ANÁLISE DA ENVOLTÓRIA EM EDIFICAÇÃO ESCOLAR DE ENSINO SUPERIOR: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA INI-C

Anna Rita Tomich Magalhães Felippe (1); Fernando Augusto de Campos Pinheiro Moreira (2); Fabrício Microni de Freitas Ferreira (3); Roberta Vieira Gonçalves de Souza (4); Luisa Fiorot Dell' Santo (5); Larissa Arêdes Monteiro (6)

(1) Doutoranda, arquiteta, annarita@unifei.edu.br; (2) Doutorando, arquiteto, engenharia.itaguara@yahoo.com.br; Mestrando, arquiteto, fabricio.mff@gmail.com; (4) Doutora, arquiteta, robertavgs@ufmg.br; Depto de Tecnologia do Design, da Arquitetura e do Urbanismo, UFMG; (5) Graduanda, Arquitetura e Urbanismo, luisafiorotds@gmail.com; (6) Doutoranda, arquiteta, lam2019@ufmg.br

RESUMO

A promulgação da Instrução Normativa Inmetro n° 42/2021 atualizou os métodos de avaliação e introduziu, no cenário brasileiro, novas formas de calcular a carga térmica da envoltória. Assim, fez-se relevante testar os novos programas disponibilizados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), para melhor entender as variáveis e a aplicabilidade do método simplificado. O presente trabalho tem como objetivo o cálculo da carga térmica total anual da envoltória, por meio do método simplificado da INI-C, de uma edificação pública de ensino superior em Belo Horizonte, Minas Gerais, levantando pontos positivos e limitações do novo método. A metodologia abarcou a verificação das informações técnicas da edificação, através das plantas, dos cortes e do memorial descritivo, além da inserção dos dados recolhidos na interface *web* metamodelo para a obtenção da carga térmica de refrigeração anual. Após o levamento de todos os parâmetros da envoltória, a interface realizou o cálculo da carga térmica total anual, em kW/ano e, então, comparou-se a carga térmica com e sem a contribuição da ventilação natural. O nível de eficiência energética do bloco, obtido a partir do coeficiente de redução da carga térmica total anual e contabilizando o percentual de horas em conforto foi da classificação D para A. A ventilação natural permitiu uma redução global de 89% desta carga térmica e classificação do sistema individual da envoltória atingiu o nível A. Quanto ao método, barreiras foram identificadas na divisão de zonas térmicas e na contabilização das horas de conforto, não contabilizada pela interface *web*.

Palavras-chave: envoltória, carga térmica, INI-C, método simplificado.

ABSTRACT

The publication of the Inmetros' Normative Instruction n° 42/2021 updated the evaluation methods and introduced, in the Brazilian scenario, new ways of calculating the thermal load of the envelope. Therefore, it became relevant to test the new programs made availed by the Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), to better understand the variables and the applicability of the simplified method. The current paper aims to calculate the annual conduction thermal load of the envelope of a higher educational building, located at the city of Belo Horizonte, Minas Gerais, by applying the simplified method of described by INI-C raising positive points and limitations of the new method. The article's methodology involved the verification of the building's technical information, through its architectural plans, sections, and descriptive memorial, besides the insertion of the collected data on the metamodel's web interface in order to obtain the annual thermal load. After collecting all the envelope parameters, the web interface calculated the total annual thermal load. kW/year. Subsequently, it was made a comparison between the calculated thermal load with and without the contribution of natural ventilation. The level of energy efficiency of the building, including the percentage of hours in discomfort and the coefficient of reduction of the total annual thermal load for classification D to A. Natural ventilation allowed a global reduction of 89% of this thermal load and the classification of the individual system of the envelope reached the level A. As for the method barriers were identified in the division of thermal zones and in the final accounting of comfort hours, not possible to be made by the web interface.

Keywords: envelope, thermal load, INI-C, simplified method.

1. INTRODUÇÃO

O impacto das ações antrópicas sobre o meio ambiente tem raízes em diversas atividades econômicas, sendo assim o setor da construção civil não pode ser excluído das discussões acerca da sustentabilidade e das formas de preservação dos recursos naturais. No que tange o consumo de energia, no Brasil, o setor de edificações foi o responsável pela maior parcela gasta de eletricidade, representando 52% total do Balanço Energético Nacional realizado no ano de 2019 (EPE, 2020). O uso de fontes de energia não renováveis contribui para o aumento da temperatura média do planeta e da poluição, além de agravar questões ambientais, como o aumento de buracos na camada de ozônio. Nesse sentido, a criação de novas regulamentações que possibilitem o estabelecimento de metas para tornar as construções mais sustentáveis, tanto sob o ponto de vista energético quanto construtivo, é imperativa na mitigação dos efeitos dos seres humanos na natureza (JORDÃO, 2021).

Ainda na década de 1980, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, Inmetro, fomentou discussões acerca da importância da conservação de energia, apresentando conceitos relacionados a eficiência energética. Tal pontapé deu origem ao Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) que, em seus anos iniciais, era voltado para a emissão de etiquetas de produtos eletrodomésticos. Entretanto, no ano de 2003 foi instituído o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações, PROCEL EDIFICA, uma parceria entre ELETROBRAS e PROCEL com foco na promoção do uso racional de energia elétrica nas edificações. Por meio de tal associação o processo de obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) foi viabilizado, com a promulgação dos Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, o RTQ-C, em 2009 (SLTI N.° 2/2014).

Rodrigues (2020) fez um levantamento sobre questões relativas à aplicação do RTQ-C através de levantamento bibliográfico de 29 publicações de 2010 a 2018, nas quais o método prescritivo foi aplicado e avaliado e verificou que, a maioria das considerações levantadas sobre esse, se referem ao sistema de envoltória. Dessas, 25% tratavam de pré-requisitos que não refletem a condição real de eficiência do edifício e podiam estar superestimados; 15% abordavam limitações recorrentes da consideração da volumetria da edificação; e 60% abordavam outros parâmetros do sistema. Os sistemas de iluminação e de condicionamento de ar apresentaram semelhança no número de vezes que foram citados, aproximadamente 25% cada. As demais considerações (14%) abordavam assuntos gerais do método prescritivo de avaliação (RODRIGUES, 2020).

Tem-se ainda que o RTQ-C não fornecia uma ideia de grandeza relacionada ao consumo real da edificação e essa limitação não permitia que a economia gerada por medidas de eficiência energética fosse quantificada (LABEEE, 2020). Segundo Bavaresco e Ghisi (2016), em países nos quais as normas de etiquetagem são consolidadas, as etiquetas de sistemas de certificação mostram o consumo energético anual de energia por unidade de área. Os autores concluíram, ainda, que a apresentação da energia primária na etiqueta de eficiência energética do edifício facilita a compreensão, aproximando-a do público em geral. Este consumo pode representar energia primária que considera as perdas na sua transformação até a sua utilização ou energia final que considera a energia tal como é recebida pelo usuário.

Com o avanço das pesquisas e das inovações tecnológicas, tornou-se necessário revisar a norma vigente, assim o PROCEL EDIFICA, em conjunto ao Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E), divulgaram um novo método para a avaliação do desempenho das edificações, aprovado em 2021, a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comercias, de Serviços e Públicas – INI-C (BRASIL, 2021). Esta apresenta procedimentos para avaliar os níveis de eficiência energética das edificações, através da especificação de critérios e de métodos que consideram o consumo de energia primária de quatro sistemas: envoltória, condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água.

Neste novo método a classificação da envoltória é realizada mediante a comparação dos valores preditos de carga térmica total anual para a refrigeração da edificação nas condições reais e de referência, sendo a última equivalente à classificação D. Ressalta-se que a normativa permite considerar a contribuição da ventilação natural através do método de avaliação simplificado, antes, no RTQ-C, tal condição só era contabilizado por meio da simulação computacional.

Em relação, ao impacto da ventilação natural na classificação de edificações, Doria *et al* (2021), ao considerar esta ventilação, apresentou resultados que variavam entre 19% e 32% da redução da carga térmica total anual de um edifício de escritórios, através da combinação de diferentes formas de aberturas e do uso ou não de ventiladores de teto. Inclusive, segundo os autores, a melhor porcentagem de redução (32%) alterou a classificação final do objeto de estudo, do nível B para o nível A - utilizando-se o método simplificado.

Ubicides de Moraes, Oliveira, Fandi e Moraes (2021) avaliaram a efetividade da ventilação natural, por meio da porcentagem de horas ocupadas em conforto térmico (POC), em salas de aula e de laboratório, no município mineiro de Uberaba. O referido trabalho constatou que a dimensão e a situação das aberturas

influenciam na referida porcentagem, sendo que em ambientes que mantém as portas e as janelas fechadas o POC não ultrapassa 0%, ou seja, não há conforto térmico em nenhum momento da ocupação. Os autores recorreram à simulação computacional e consideraram, dentre outros parâmetros, a variação da taxa de ocupação e das potências de iluminação e de equipamentos instalados nos recintos analisados.

O foco deste trabalho é a avaliação da envoltória pelo método simplificado da INI-C do Centro de Atividades Didáticas 2 (CAD 2), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em Belo Horizonte.

2. OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho foi determinar a classificação de eficiência energética relativa à envoltória de uma edificação pública de ensino superior, o Centro de Atividades Didáticas – Ciências Humanas – CAD 2, com foco no bloco 2, por meio da aplicação do método simplificado da INI-C. Buscou-se pormenorizar o processo da inserção dos dados na interface *web* do metamodelo, descrever a separação das zonas térmicas e, ao mesmo tempo, levantar os pontos positivos e as limitações do método.

3. MÉTODO

A metodologia adotada consistiu no levantamento de dados projetuais e das características da edificação para a viabilidade da aplicação do método simplificado proposto pela INI-C, 2021. Para o cálculo da estimativa de carga térmica total anual (CgTT), foram avaliados os limites estabelecidos em norma, em seguida foi realizada a divisão das zonas térmicas e, então, feita a inserção dos dados no metamodelo desenvolvido pela Instrução Normativa. Com os resultados iniciais, foi possível determinar o nível de classificação de eficiência energética, que varia do nível A até E, sendo o primeiro a mais eficiente e o segundo o menos eficiente. Ressalta-se que a para a obtenção da classificação, os valores calculados da edificação em análise devem ser comparados com os valores de uma edificação de referência (nível D). Assim, é por meio da comparação entre tais dois valores, com o coeficiente de redução, que se classifica o edifício dentro da escala proposta em norma (BRASIL, 2021).

Em relação aos procedimentos matemáticos, destaca-se que o cálculo da equação 1 é realizado para a estimativa de carga térmica total anual da edificação real, com o aproveitamento da ventilação natural. Já a equação 2 apresenta o intervalo para as classificações de eficiência energética da envoltória, na qual são definidos os valores limites máximos e mínimos para cada nível de eficiência (A até E).

$$\mathrm{CgTT_{real}} = \mathrm{CgTR_{real}} \cdot \mathrm{FH_{desc}} \quad \text{- Equação 1}$$

$$i = \frac{(\mathrm{CgTTref} \cdot \mathrm{CRCgTT_{D-A}})}{3} \quad \text{- Equação 2}$$

Onde: $CgTT_{real}$ é a carga térmica total anual da envoltória da edificação real (kWh/ano); $CgTR_{real}$ é a carga térmica de refrigeração anual edificação real (kWh/ano); FH_{desc} é fração de horas excedentes por calor no ano; i é o coeficiente que representa os intervalos entre classes; $CgTT_{ref}$ é a carga térmica total da edificação em sua condição de referência (kWh/ano); $CRCgTT_{D\text{-}A}$ é o coeficiente de redução de carga térmica total da classificação D para a A.

A supracitada predição pode ser feita por meio dos métodos simplificado e de simulação, e a escolha de qual método será seguido, dependerá das características da edificação a ser avaliada, como a sua tipologia e a sua adequação aos parâmetros limites de aplicação do método simplificado.

Em relação ao procedimento da avaliação a partir do método simplificado, é importante que a edificação atenda às condições limites dos parâmetros avaliados – Tabela 1. Além disso, a aplicação do método não permite a classificação de edifícios que possuam estratégias construtivas não-convencionais, como fachadas ventiladas, vidros com comportamento dinâmico e dispositivos móveis de sombreamento interno – tais edificações devem ser avaliadas pelo método de simulação.

Tabela 1 - Limites dos parâmetros de avaliação da envoltória pelo método simplificado.

Parâmetros	**Limites**	
	Valor mínimo	**Valor máximo**
Absortância solar da cobertura (α_{cob})	0,2	0,8
Absortância solar das paredes externas (α_{par})	0,2	0,8
Ângulo de obstrução vizinha (AOV)	0°	80°
Ângulo horizontal de sombreamento (AHS)	0°	80°
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	0°	45°
Capacidade térmica da cobertura (CT_{cob})	0,22 kJ/(m².K)	450 kJ/(m².K)

Capacidade térmica da parede externa (CT_{par})	0,22 kJ/(m².K)	450 kJ/(m².K)
Densidade de potência de equipamentos (DPE)	4 W/m²	40 W/m²
Densidade de potência de equipamentos (DPI)	4 W/m²	40 W/m²
Fator solar do vidro (FS)	0,2	0,87
Pé-direito (PD)	2,6 m	6,6 m
Percentual de área de abertura na fachada (PAF)	0%	80%
Transmitância térmica da parede externa (U_{par})	0,5 W/(m².K)	4,4 W/(m².K)
Transmitância térmica da cobertura (U_{cob})	0,51 W/(m².K)	5,07 W/(m².K)
Transmitância térmica do vidro (U_{vid})	1,9 W/(m².K)	5,7 W/(m².K)

Para a determinação da carga térmica total anual da envoltória pode-se seguir o fluxo de trabalho estipulado pelo Manual da INI-C, que prevê cinco etapas principais: levantamento da DPI do edifício, divisão das zonas térmicas, determinação dos parâmetros de entrada, predição da carga térmica anual por zona (uso da interface *web* para as condições real e de referência) e, por fim, a determinação do percentual de redução da carga térmica total anual. A aplicação do metamodelo na interface *web*, para o cálculo da carga térmica, apesar da imposição de restrições, é mais ágil e acessível aos profissionais sem experiência na área.

3.1. Objeto de estudo

O Centro de Atividades Didáticas 2 (CAD 2) é um dos prédios institucionais da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), localizado no *campus* Pampulha, no município de Belo Horizonte. Tal centro foi inaugurado em 2021, com área construída bruta de 12.949,56 m², e é composto por quatro blocos, sendo os três primeiros dedicados a salas de aula, de informática e ao setor administrativo, enquanto o quarto bloco contém dois espaços de auditório. O foco do artigo é o bloco 2, que possui uma área total de 412,85 m², pé direito de 3,01 m e conta com cinco (5) pavimentos: térreo, 2°, 3°, 4° andares e cobertura.

A figura 1-a elucida a inserção do centro em seu entorno imediato, onde pode-se perceber a presença de vegetação extensiva no fundo dos blocos e da alocação de outra edificação universitária, o prédio da Faculdade de Letras (FALE 2). Além disso, na figura 1-b destacou-se o bloco 2 em vermelho, escopo da análise.

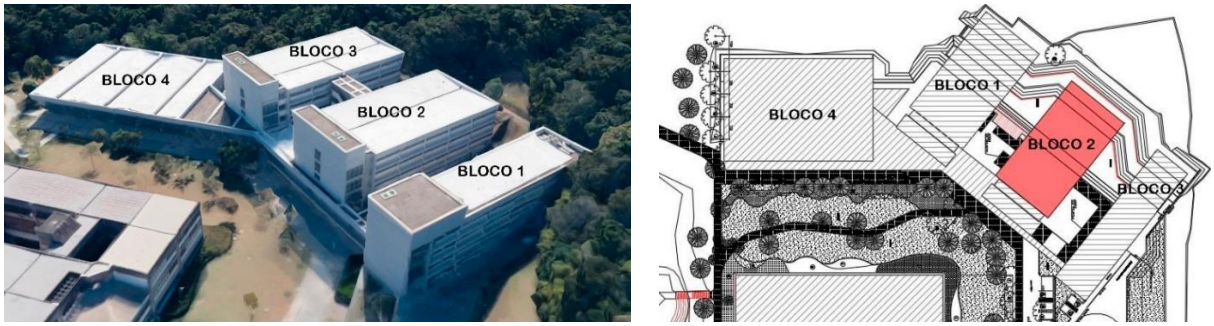

Figura 1 – a) Vista aérea do Centro de Atividades Didáticas, CAD 2. (Fonte: Google Earth, 2023). b) Planta de implantação da edificação no terreno; bloco 2 marcado em vermelho (Fonte: Departamento de Planejamento Físico e Projetos – DPFP, 2009).

Por meio da análise projetual e das imagens do conjunto, foi possível identificar algumas das estratégias de conforto térmico presentes na edificação, como o uso de *brises* verticais e horizontais, para a proteção das aberturas, além de amplas janelas que permitem a contribuição da ventilação e da iluminação naturais. As figuras 2 e 3 apresentam a vista da fachada principal e a fachada das salas do bloco 2.



Figura 2 - Vista da fachada de entrada do Bloco (Fonte: Google Images).



Figura 3 - Vista do bloco 2 a partir do bloco 3. (Fonte: Google Images).

3.2. Aplicação do método simplificado

O método simplificado da envoltória possui requisitos que devem ser atendidos para a viabilização de sua aplicação, uma vez que a análise se dá por metamodelos desenvolvidos para *websites*, que possuem restrições quanto às características construtivas mais complexas, como vidros com comportamento dinâmico, fachadas ventiladas, dentre outros (BRASIL, 2021). Assim, foi necessário avaliar os limites estabelecidos pela norma, para então iniciar o processo de separação das zonas térmicas.

A divisão das zonas térmicas foi realizada para os cinco pavimentos do bloco 2, utilizando os parâmetros estabelecidos pela INI-C. O método prevê cinco critérios para a separação de zonas térmicas, são eles: tipologia da edificação, tipo de sistema de condicionamento de ar, pé-direito da edificação, espaços com piso em contato com o solo ou em contato com o exterior e, por fim, espaços com cobertura em contato com o exterior. A norma disponibiliza um passo a passo para divisão, que pode ser conferido na figura 4.

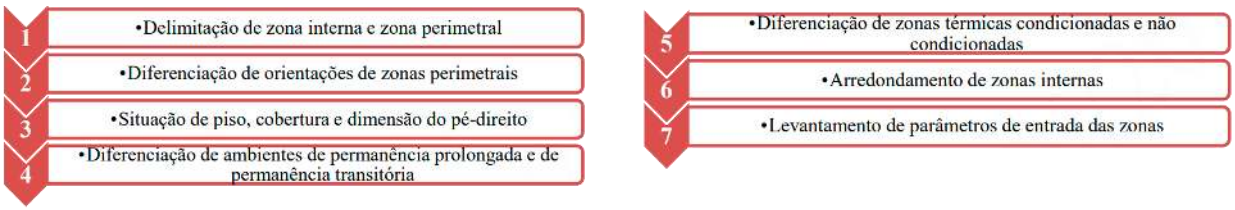

Figura 4 - Fluxograma para a divisão das zonas térmicas (Fonte: BRASIL, 2021. Adaptada pelos autores.).

Assim, como visto na Figura 4, a primeira etapa para a divisão das zonas térmicas é a diferenciação entre as zonas internas e perimetrais. Para tal, é necessário traçar uma linha a partir da parede interna da edificação e a mover paralelamente de seu ponto inicial em 4,5 metros. A área residual dentro de tal delimitação será a da zona interna, enquanto as áreas em contato com as paredes de fachada serão as zonas perimetrais. Estas, por suas vezes, deverão ser divididas de acordo com a sua orientação solar (norte, sul, leste e oeste). Para tanto, deve-se traçar uma linha que divide os planos perpendiculares de duas paredes externas, formando um ângulo de 45° (BRASIL, 2021). A partir desta divisão inicial, o usuário deverá analisar as particularidades do projeto, segmentando as zonas de acordo com os demais critérios previstos em norma. No objeto de estudo, as condicionantes de maior influência foram o contato da laje com o solo, o sistema de condicionamento de ar e a diferenciação de ambientes de permanência prolongada e de permanência transitória.

4. RESULTADOS

De uma forma geral, o bloco 2 possui algumas particularidades que requerem maior atenção ao dividir as zonas térmicas, em especial, a sua geometria escalonada, na qual o contato da laje com o solo acontece até o terceiro pavimento, como mostra a Figura 5. Além disso, a edificação possui quatro fachadas com orientações que coincidem com os eixos da rosa dos ventos – Figura 6. A partir da compreensão do projeto, foi iniciado o processo da divisão das zonas térmicas.

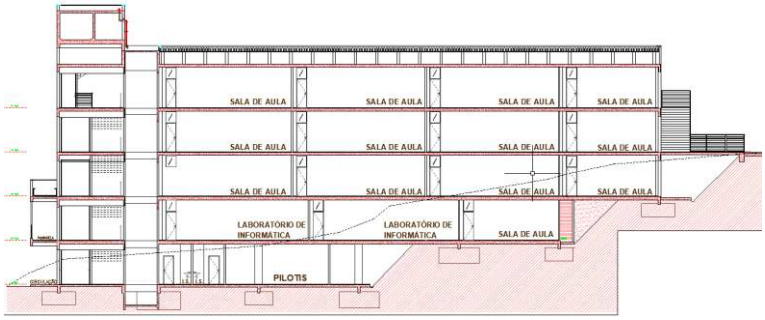

Figura 5 – Corte longitudinal do bloco 2 – Atenção aos pavimentos que possuem contato com o solo (Fonte: Departamento de Planejamento Físico e Projetos – DPFP, 2009).

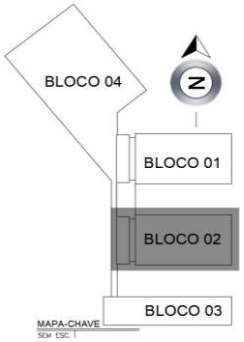

Figura 6 – Situação e orientação do CAD (Fonte: Departamento de Planejamento Físico e Projetos – DPFP, 2009).

As figuras a seguir (7, 8 e 9) representam, esquematicamente, a divisão das zonas térmicas realizada para o segundo pavimento do bloco 2.

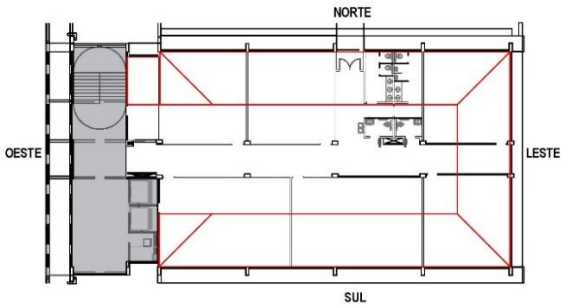

Figura 7: Delimitação das zonas perimetrais e internas - marcação em vermelho. (Fonte: Departamento de Planejamento Físico e Projetos – DPFP, 2009. Modificado pelos autores, 2023).

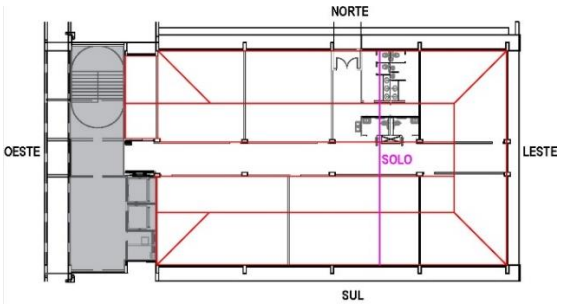

Figura 8: Repartição das zonas a partir da situação de piso - marcações em vermelho e em rosa. (Fonte: Departamento de Planejamento Físico e Projetos – DPFP, 2009. Modificado pelos autores, 2023).

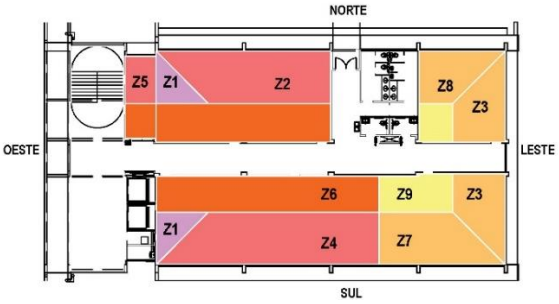

Figura 9: Configuração final das zonas térmicas. (Fonte: Departamento de Planejamento Físico e Projetos – DPFP, 2009. Modificado pelos autores, 2023).

A figura 7 compreende o primeiro passo: delimitação das zonas perimetrais e internas – logo de início, desconsiderou-se a área da hachura em cinza, destinada à circulação. A figura 8 representa a delimitação da parte do pavimento que está em contato com o solo. A figura 9 apresenta a configuração final das zonas térmicas, considerando apenas os ambientes de permanência prolongada – as áreas sem hachura não foram contabilizadas para o cálculo da carga térmica total anual.

As figuras de 10 a 13 representam as divisões de zonas térmicas feitas em cada pavimento do bloco 2, obtidas após a conclusão do procedimento observado na figura 4. Os critérios mais determinantes, neste estudo de caso, foram os relativos à orientação solar, diferenciação entre ambientes de permanência prolongada e de permanência transitória e contato da laje de piso com o solo.

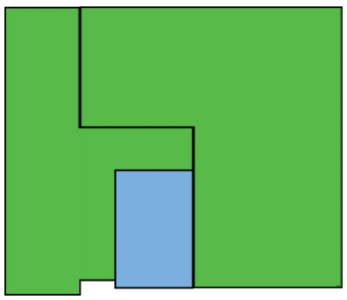

Figura 10 - Zonas térmicas do primeiro pavimento. Em verde: circulação; em azul: instalações sanitárias (Fonte: Elaborado pelos autores, 2022).

O primeiro pavimento (Figura 10) está em completo contato com o solo, mas não há zona térmica, uma vez que toda a área é destinada à circulação e às instalações sanitárias.

A divisão do segundo pavimento rendeu nove zonas térmicas, sendo duas internas e nove perimetrais. Já a divisão do terceiro pavimento resultou em oito zonas térmicas, mas apenas uma (1) foi considerada como interna (Figura 12).

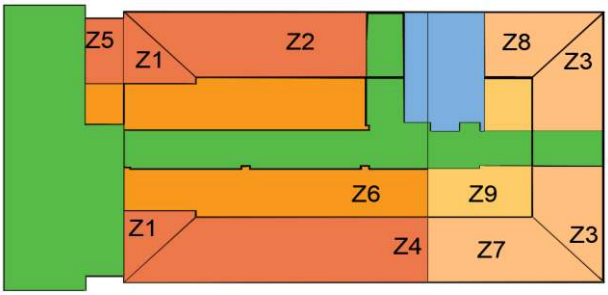

Figura 11 - Zonas térmicas do segundo pavimento. Em verde: circulação; em azul: instalações sanitárias; em laranja: zona interna; em amarelo claro: zonas internas sobre o solo; em marrom claro: zonas perimetrais sobre o solo (Fonte: Elaborado pelos autores, 2022).

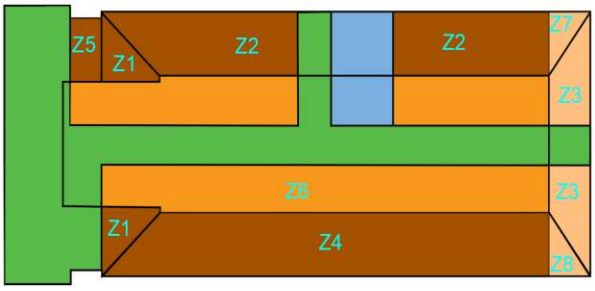

Figura 12 - Zonas térmicas do terceiro pavimento. Em verde: circulação; em azul: instalações sanitárias; em laranja: zona interna; em marrom: zonas perimetrais; em marrom claro: zonas perimetrais sobre o solo (Fonte: Elaborado pelos autores, 2022).

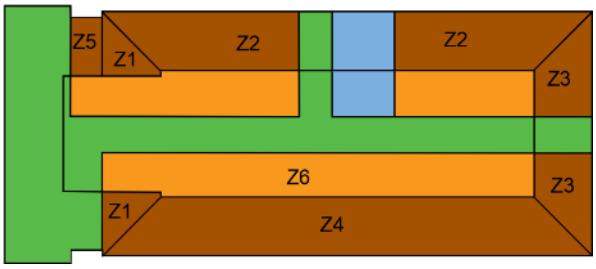

Figura 13 – Zonas térmicas repetidas no quarto e no quinto pavimento. Em verde: circulação; em azul: instalações sanitárias; em laranja: zona interna; em marrom: zonas perimetrais (Fonte: Elaborado pelos autores, 2022).

A figura 13 representa as zonas do quarto e do quinto pavimento, que são repetidas. Em cada andar existem seis zonas, das quais apenas uma é interna. Em tais pavimentos não há mais a influência da laje em contato com o solo, assim, o critério que mais determinaram a divisão foram: orientação solar, sistema de ventilação do ar e diferenciação entre as áreas de permanência prolongada e as de permanência transitória.

Com a conclusão da divisão das zonas térmicas, a etapa seguinte foi relativa ao levantamento dos parâmetros de entrada das zonas. Para o cálculo no metamodelo, foi necessária a inserção de 23 dados sobre as propriedades geométricas e térmicas da envoltória, além da localização da edificação, do número de pavimentos e da quantidade de zonas por pavimentos. A tabela 2 apresenta as 23 informações requeridas pelo metamodelo.

Tabela 2 - Parâmetros de entrada no metamodelo da INI-C.

Parâmetros de entrada	
1) Área da zona (m²)	13) Transmitância térmica da cobertura (W/(m².K))
2) Tipo de zona (perimetral/interna)	14) Transmitância térmica das paredes externas (W/(m².K))
3) Contato com o solo (sim/não)	15) Absortância solar da cobertura
4) Cobertura em contato com o ar externo (sim/não)	16) Absortância solar da parede
5) Isolamento térmico no piso (sim/não)	17) Pé direto (m)
6) Orientação solar (N, NE, L, SE, S, SO, O e NO)	18) Ângulo vertical de sombreamento – AVS (°)
7) Horas de ocupação por dia (horas)	19) Ângulo horizontal de sombreamento - AHS (°)
8) Densidade de potência dos equipamentos (W/m²)	20) Ângulo de obstrução vizinha – AOV (°)
9) Densidade de potência da iluminação (W/m²)	21) Capacidade térmica da cobertura (kJ/(m².K)
10) Percentual de área de abertura da fachada da zona térmica	22) Capacidade térmica das paredes externas (kJ/(m².K)
11) Fator solar do vidro	23) Zona sobre pilotis (sim/não)
12) Transmitância térmica do vidro (W/(m².K))	

De início, buscou-se calcular os dados relacionados à transmitância e à capacidade térmicas das paredes externas e da cobertura com o auxílio do site ProjetEEE (Projetando Edificações Energeticamente Eficientes), através da calculadora de propriedades dos componentes construtivos. No projeto arquitetônico e no memorial descritivo, foram descritas as características da envoltória e, portanto, obteve-se as dimensões das camadas, necessárias para o processamento da calculadora.

As paredes da edificação foram feitas com tijolos cerâmicos furados com dimensões de 14,0 x 19,0 x 29,0 cm e argamassa de 2,0 cm para os lados interno e externo da alvenaria. Os resultados da capacidade e da transmitância térmicas foram, respectivamente, de 128,8 kJ/m²K e de 1,9 W/m²K (figuras 14 e 15).

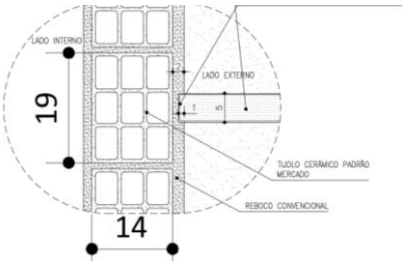

Figura 14 – Detalhamento da parede externa do bloco 2 – CAD 2 (Fonte: Departamento de Planejamento Físico e Projetos – DPFP, 2009).

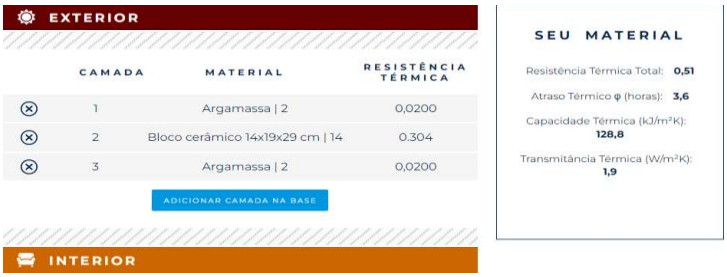

Figura 15 –Valores das propriedades construtivas obtidos através do site ProjetEEE (Fonte: ProjetEEE, 2023).

A cobertura da edificação, localizada no quinto pavimento, é composta por telha metálica de 0,1 centímetro e por laje de concreto maciço de 24,0 cm. Os valores obtidos para a capacidade e a resistência térmicas foram, em sequência, de 579,6 kJ/m²K e de 1,8 W/m²K (figura 16).



Figura 16 - Resultado das propriedades térmicas da cobertura do bloco 2 - CAD 2 (Fonte: ProjetEEE, 2023).

Em relação aos parâmetros da absortância, tanto as características da pintura da parede quanto as da cobertura foram definidas através das tabelas presentes no Anexo V da Portaria Inmetro n° 50, publicada em 2013, (INMETRO, 2013). O tipo de tinta utilizada na parede foi a acrílica fosca, número 07, cor branco gelo, de absortância solar 37,2 (α). Já a tinta empregada na cobertura foi a do tipo acrílica semibrilho, número 21, cor branco gelo, de absortância sola 36,2 (α). As tabelas de referência podem ser conferidas na figura 17.

a)

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

b)

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

Figura 17 – a) Tabela de referência para tinta acrílica fosca usada na parede. b) Tabela de referência para tinta acrílica semibrilho aplicada na cobertura (Fonte: DORNELLES *apud* INMETRO, 2013).

As aberturas, junto aos ângulos de sombreamento, possuem influência direta no comportamento térmico da edificação, uma vez que estas permitem a entrada direta da luz solar e podem contribuir com o aumento da carga térmica interna. Assim, é fundamental determinar as porcentagens de abertura das fachadas e como estas são conformadas nos edifícios, se estão expostas à irradiação ou se são protegidas por meio de dispositivos de sombreamento. A INI-C estabelece três ângulos que atestam os valores necessários para a medição da radiação na envoltória, são eles: ângulo vertical de sombreamento (AVS – referente às proteções horizontais), ângulo horizontal de sombreamento (AHS – referente às proteções verticais) e ângulo de obstrução vizinha (AOV – referente à proteção gerada por edificações vizinhas). O primeiro tipo é medido através da vista em corte, na qual traça-se uma linha do peitoril da abertura até o dispositivo de sombreamento horizontal mais próximo. O valor do segundo tipo é obtido a partir da vista em planta da zona, na qual deve-se traçar uma linha, que parte de cada lado das aberturas, até o elemento de sombreamento vertical mais próximo. Já a análise do último, o ângulo de obstrução vizinha, deve ser feita a partir da mensuração de um ângulo do corte e dois ângulos em planta, sendo que o valor final é o menor encontrado dentre os três (figura 18).

Alguns dos valores dos dados de entrada foram retirados de tabelas disponibilizadas pelo manual da INI-C, como os valores de horas de uso para edificações educacional que correspondem a oito horas diárias, retirados da tabela A.2. Além disso, a densidade de potência de equipamentos (W/m²), equivalente a 15,0 W/m² para a tipologia, também foi retirada do material da norma, na Tabela 8. Já a densidade de potência de iluminação (W/m²) foi informada por um projeto de estudo da área de eficiência energética da UFMG, o Projeto Oásis, enquanto o fator solar do vidro foi fornecido pelo fabricante.

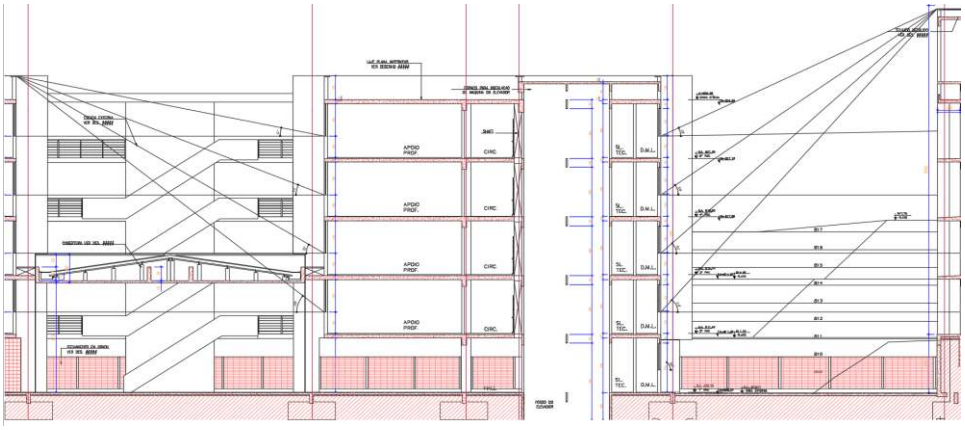

Figura 18 – Indicação do AOV no bloco 2 – CAD 2 (Fonte: Departamento de Planejamento Físico e Projetos – DPFP, 2009. Modificado pelos autores).

Após a coleta de todos os valores dos parâmetros da edificação, utilizou-se o metamodelo da interface *web* fornecido pelo site do PBE Edifica. Com os parâmetros cadastrados, o sistema calcula inicialmente o valor da carga térmica em kW/ano real e a carga térmica da edificação de referência – que, depois, serão comparadas para a classificação da edificação. Em seguida, a interface solicita a inserção de dois outros dados: o percentual de horas em desconforto térmico por calor (PHOCt) e o coeficiente de redução de carga térmica total anual da classificação D para a A, obtido por meio do cálculo do fator de forma da edificação (FF) (equação 3).

$$FF = \frac{A_{env}}{V_{tot}} \qquad \text{Equação 3}$$

Onde: A_{env}: área da envoltória (m²); V_{tot}: volume total construído da edificação (m³).

O coeficiente da edificação pode ser consultado na tabela 8.12 da INI-C (2022), na qual deve-se encontrar o grupo climático do munícipio, que no presente artigo é Belo Horizonte, grupo 10. O valor fator de forma encontrado foi de 0,28, o que corresponde à 0,16 do $CRCgTT_{D\text{-}A}$. Entretanto, o *website* não deduz o aproveitamento da ventilação natural que auxilia no combate da carga térmica, assim, foi necessário realizar o cálculo separadamente para, então, obter a classificação da edificação, apresentado pela Tabela 3. Ademais, o valor da fração de horas excedentes por calor no ano (FHdesc) calculado através da ferramenta *Python* foi disponibilizada pelo Projeto Oásis, cujo escopo de trabalho era avaliação dos três blocos do CAD 2 tendo sido o valor obtido de 14%.

Tabela 3 - Resultados relativos à carga térmica da edificação obtidos através do metamodelo PBE Edifica.

Variável	**Bloco 2**
Fator de forma (FF)	0,28
$CRCCgTT_{D\text{-}A}$	0,16
$CgTR_{ref}$ (kWh/ano)	505.799,96
$CgTR_{real}$ (kWh/ano)	**389.573,31**
Redução (%) sem ventilação	23,0%
FHdesc Interface Python	13,90%
$CgTT_{real}$ (kWh/ano)	**51.470,38**
Classificação final	**A**
Redução final (%)	**89,0%**

5. CONCLUSÕES

O método simplificado aplicado na análise da edificação pública de ensino superior provou ser de fácil acesso aos usuários, mesmo com algumas das restrições impostas pelo metamodelo desenvolvido pela INI-C. A etapa mais trabalhosa foi a de divisão de zonas térmicas e a decisão sobre a consideração ou não de se pequenos recortes na fachada configurariam mudança de orientação para a zona térmica. Na avaliação feita de acordo com a metodologia prevista pela INI-C apresentada no fluxograma da figura 4, levou a significativo retrabalho quando da consideração dos ambientes acima e abaixo da zona térmica em análise. Através dos procedimentos de cálculos previstos em norma a edificação recebeu a classificação A, ou seja, a condição real do edifício

atingiu um alto nível de eficiência energética, com a consideração da ventilação natural, o que reflete a orientação adequada da edificação e a presença de proteções solares em todas as fachadas. Inclusive, a redução de carga térmica pela possibilidade de ventilação natural pode ser um indicativo da qualidade dos sistemas empregados e das estratégias projetuais para o controle da carga térmica.

Entretanto, é importante ressaltar ainda que os usuários também possuem participação ativa e decisiva no uso dos edifícios, e que, através da adoção de hábitos sustentáveis, é possível aumentar ainda mais a economia de energia e estimular soluções que visem a preservação ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAVARESCO, M. V., GHISI, E. **Métodos de avaliação de eficiência energética por consumo global e energia primária**. Florianópolis: CB3E, 2016. Disponível em: http://cb3e.ufsc.br/publicacoes. Acesso em: 15 maio 2018.

BRASIL. Eletrobras/Procel. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E). **Manual de aplicação da INI-C Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. V.1. junho de 2021. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual%20INI-C_JUN_V01.pdf

_____. Ministério Da Economia. Instituto Nacional De Metrologia, Qualidade E Tecnologia (INMETRO). Portaria Nº 309, de 6 de setembro de 2022. **Instruções Normativas e os Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética das Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas e Residenciais – Consolidado**. 2022. Disponível em: http://sistema-sil.inmetro.gov.br/rtac/RTAC002989.pdf.

CELL, A. M.; GUARDA, E. L. A.; DOMINGOS, R. M. A. **Desempenho Energético de um Edifício de Escritórios: Aplicação do Método Simplificado da Nova Proposta de Etiquetagem de Edifícios Comerciais.** Porto Alegre, Anais Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), v.18, 2020.

DORIA, Gabrielli Posca et al.. **Potencial de aproveitamento da ventilação natural na classificação de eficiência energética de uma edificação de escritórios: aplicação da ferramenta natural comfort**. In: Anais do XVI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído/ XII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Anais...Palmas (TO) online, 2021. Disponível em: <https//www.even3.com.br/anais/encac2021/340192-POTENCIAL-DE-APROVEITAMENTO-DA-VENTILACAO-NATURAL-NA-CLASSIFICACAO-DE-EFICIENCIA-ENERGETICA-DE-UMA-EDIFICACAO-DE->.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Anexo V da Portaria Inmetro N°50/2023 Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações – RAC. Rio de Janeiro, 2013.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, LABEEE. **Novo método de avaliação energética de edificações com base em energia primária**, 2020. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/novo-metodo-avaliacao-cb3e. Acesso em: 15 março 2021

PIMENTEL, B. P.; SILVA, A. S.; BARBOSA, A. T. R.; REIS, M. de M. Comparação dos métodos simplificado e de simulação propostos no novo regulamento brasileiro de etiquetagem de edificações públicas. **Ambiente Construído**, 2021.

PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM (PBE). Nova INI-C 2022. Disponível em: https://pbeedifica.com.br/nova-ini/. Acesso em: mar. 2023.

_____ . PBE EDIFICA, 2022. Interface Web para a estimativa da carga térmica de resfriamento anual da envoltória (edificações condicionadas artificialmente). Disponível em: http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index_with_angular.html#. Acesso em: mar. 2023.

PROJETEEE: PROJETANDO EDIFICAÇÕES ENERGICAMENTE EFICIENTES. 2018. Disponível em: . Acesso em: 05 jun. 2023.

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

UBICES DE MORAES, A. A.; OLIVEIRA, G. A.; FANDI, J. C. de O.; MORAES, S. C. J. de. Estudo do conforto térmico devido à ventilação natural em salas de aula do Bloco C - ICTE/UFTM. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, Uberaba - MG, v. 6, n. 2, p. 78–94, 2022. DOI: 10.18554/rbcti.v6i2.4898. Disponível em: https://seer.uftm.edu.br/revistaeletronica/index.php/rbcti/article/view/4898. Acesso em: 3 jun. 2023.

INMETRO. Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia – VIM, Portaria 029 de 1995, 3ª. Edição, 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA - INMETRO. Anexo V. Anexo Geral V – Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros. Anexo da Portaria: nº 50/2013

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) pelo fomento à pesquisa.