

**VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DE UM MODELO SIMPLIFICADO PARA CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA**

Giovani Said Oliveira <sup>(1,2)</sup> ([giovanisaid@icloud.com](mailto:giovanisaid@icloud.com)), Ana Paula Batista <sup>(2,3)</sup> ([ana@cefetmg.br](mailto:ana@cefetmg.br)), Willian Moreira Duarte <sup>(4)</sup> ([willianmoreiraduarte@gmail.com](mailto:willianmoreiraduarte@gmail.com)), Everthon de Souza Oliveira <sup>(2,3)</sup> ([oliveira@cefetmg.br](mailto:oliveira@cefetmg.br)), Tiago de Freitas Paulino <sup>(1,2)</sup> ([tiagopaulino@cefetmg.br](mailto:tiagopaulino@cefetmg.br))

<sup>(1)</sup> Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia de Materiais

<sup>(2)</sup> Centro de Pesquisa em Energia Inteligente (CPEI), CEFET-MG

<sup>(3)</sup> Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Elétrica

<sup>(4)</sup> Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica

**RESUMO:** O conforto térmico é essencial para o bem-estar do ser humano em uma edificação. Equipamentos de ar-condicionado são tecnologia consolidada para garantia do conforto térmico, através da remoção da carga térmica do ambiente. No campo da pesquisa, análises são frequentemente realizadas por meio de modelos matemáticos. Diferentes estratégias são utilizadas para representar virtualmente o funcionamento de um equipamento de ar-condicionado. Muitas vezes, os modelos de cálculo de carga térmica não estão acoplados aos modelos de equipamentos de ar-condicionado, sendo a carga térmica calculada em softwares comerciais. Porém, em diferentes aplicações o conhecimento da carga térmica instantânea é necessário para o desenvolvimento de pesquisas. Diante disso, este trabalho visa validar um modelo matemático desenvolvido em Python, para cálculo da carga térmica. O modelo foi desenvolvido tendo como base as normas brasileiras ABNT NBR 15220 e ABNT NBR 16401. Os dados experimentais para validação foram obtidos no Centro de Pesquisa em Energia Inteligente (CPEI) do CEFET-MG. A comparação entre as temperaturas calculadas e medidas indicou que 78% dos dados ficaram dentro de um intervalo de variação de  $\pm 20\%$ , e 7% excederam o intervalo de  $\pm 30\%$ . Além disso, 72% do erro relativo ocorreu em intervalo de confiança de  $\pm 13\%$ .

**PALAVRAS-CHAVE:** CARGA TÉRMICA, SIMULAÇÃO, TEMPERATURA, VALIDAÇÃO.

**EXPERIMENTAL VALIDATION OF A SIMPLIFIED MODEL FOR THERMAL LOAD CALCULATION**

**ABSTRACT:** Thermal comfort is essential for human well-being in a building. Air-conditioning equipment is a well-established technology for ensuring thermal comfort by removing the heat load from the environment. In the field of research, analyses are often carried out using mathematical models. Different strategies are used to virtually represent the operation of air conditioning equipment. Often, heat load calculation models are not coupled to air conditioning equipment models, and the heat load is calculated using commercial software. However, in different applications, knowledge of the instantaneous thermal load is necessary for the development of research. Therefore, this work aims to validate a mathematical model developed in Python to calculate the thermal load. The model was developed based on the Brazilian standards ABNT NBR 15220 and ABNT NBR 16401. The experimental data for validation was obtained from CEFET-MG's Intelligent Energy Research Center (CPEI). The comparison between the calculated and measured temperatures indicated that 78% of the data fell within a variation range of  $\pm 20\%$ , and 7% exceeded the range of  $\pm 30\%$ . In addition, 72% of the relative error occurred within a confidence interval of  $\pm 13\%$ .

**KEYWORDS:** THERMAL LOAD, SIMULATION, TEMPERATURE, VALIDATION.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, o conforto térmico tornou-se uma necessidade básica, especialmente em regiões com climas quentes e úmidos. O aumento das temperaturas globais e a urbanização crescente têm exacerbado o problema do aquecimento excessivo em residências, escritórios e estabelecimentos comerciais. O uso desses sistemas no Brasil já é expressivo representado aproximadamente 17% do consumo da energia elétrica nas residências (EPE, 2018). Este cenário torna essencial a busca por soluções eficazes de resfriamento, sendo o ar condicionado uma das principais tecnologias empregadas para esse fim. Os aparelhos de ar condicionado foram desenvolvidos para proporcionar um ambiente interno confortável ao controlar a temperatura, umidade e qualidade do ar. Eles funcionam através de um ciclo de refrigeração que envolve a absorção do calor do ambiente interno e a sua liberação no ambiente externo. Esse processo é realizado por meio de componentes como o compressor, o condensador, o evaporador, e o dispositivo de expansão, por meio de um fluido refrigerante.

Um conceito de extrema importância na escolha e dimensionamento de um sistema de ar condicionado é a carga térmica. A carga térmica refere-se à quantidade total de calor que precisa ser removido de um espaço para manter uma temperatura desejada. Ela é determinada por diversos fatores, incluindo a área do ambiente, a quantidade de pessoas presentes, orientação solar do espaço, nível de isolamento térmico e equipamentos eletrônicos em uso. Portanto, os hábitos de uso e ocupação de um edifício, juntamente com suas características técnicas, como sistemas de iluminação e ar condicionado, também contribuem para a geração de maior carga térmica interna, aumentando assim a demanda por refrigeração (GERALDI *et. al*, 2022).

Calcular a carga térmica corretamente é fundamental para garantir que o ar condicionado funcione de maneira eficiente e eficaz. Um sistema subdimensionado não conseguirá resfriar adequadamente o ambiente, enquanto um sistema superdimensionado pode resultar em consumo excessivo de energia e ciclos de operação ineficientes, afetando a durabilidade do equipamento. Portanto, entender e considerar a carga térmica é essencial para a escolha e instalação adequadas de um sistema de ar condicionado, equilibrando conforto térmico com eficiência energética. (McQUINSTON, 2005). Para realizar o cálculo da carga térmica de modo preciso, também deve-se levar em conta uma variedade de aspectos adicionais, como a orientação e tipo de construção das paredes, janelas e tetos, já que elas influenciam diretamente na quantidade de calor que entra no ambiente (CREDER, 2004).

Diversas ferramentas comerciais, como o Block Load e o TRNSYS, são utilizadas em pesquisas que visam encontrar maior eficiência e sustentabilidade ambiental para sistemas de ar condicionado, onde a carga térmica e as variáveis que dependem da mesma são calculadas e armazenadas dentro de determinado intervalo de tempo. No entanto, esses *softwares* não podem ser acoplados diretamente a outras ferramentas de simulação, como por exemplo à aquelas que simulam os sistemas de refrigeração (DUARTE *et al.*, 2023). Visando superar essa limitação, Duarte *et al.* (2020) desenvolveram um método fundamentado nas normas brasileiras (ABNT, 2005a, 2005b, 2005c e 2008), que integrou o cálculo da carga térmica a um modelo de simulação desenvolvido em linguagem de programação Python. Ferreira *et al.* (2022) aprimoraram este método. Martins *et al.* (2024) também utilizaram o modelo desenvolvido, porém visando substituição do fluido refrigerante R22 para outras opções com menor GWP (potencial de aquecimento global).

No trabalho proposto por Ferreira *et al.* (2022), os autores conduziram uma análise comparativa em dois ambientes diferentes em três cidades (Belém-PA, Porto Alegre-RS e São Paulo-SP), onde os resultados obtidos a partir do modelo de cálculo de carga implementado em Python foram comparados com resultados oriundos do *software* comercial Block Load. Pôde-se observar então que, para médias mensais, os valores de carga térmica de ambas as leituras apresentaram uma linha de tendência similar. No que se refere a carga térmica máxima, considerando dentro de uma variação de  $\pm 20\%$ , houve uma adequação de 67% dos pontos para o primeiro ambiente e 78% para o segundo.

Tal proposta demandava então a comprovação experimental do método, já que o modelo desenvolvido por Duarte *et al.* (2020) e aprimorado por Ferreira *et al.* (2022) não foi validado experimentalmente. Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho é realizar uma validação experimental do referido modelo. Esta validação será feita por meio da comparação de resultados obtidos através de simulação computacional da temperatura do ambiente após a remoção da carga térmica do local, com as temperaturas reais observados no laboratório do CPEI (Centro de Pesquisa em Eficiência Energética) do CEFET-MG. O laboratório – equipado com estrutura adequada para coleta e registro de dados meteorológicos – já foi empregado em estudos anteriores, que abordaram a modelagem dinâmica de ambientes artificialmente condicionados (FREITAS, BATISTA e JOTA, 2007; BATISTA, FREITAS e JOTA, 2014).

Para realizar a análise proposta, será empregada uma modificação do código desenvolvido em Python. O modelo calculará e registrará os valores da temperatura interna do ambiente ao longo de um intervalo de tempo específico, considerando todas as fontes de carga térmica de interesse.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Laboratório e equipamentos

Utilizado para elaboração do projeto, o laboratório do CPEI (localizado no Campus Nova Gameleira do CEFET-MG) possui estrutura física apropriada, com diversos laboratórios integrados, incluindo: um laboratório de pesquisa com várias estações de trabalho, bancadas para construção de protótipos e plantas didáticas, laboratório de controle e conforto ambiental, usina solar fotovoltaica em operação, e estação meteorológica própria com sensores de temperatura. O laboratório de controle e conforto ambiental possui uma unidade de ar condicionado do tipo *split* compacto, de modelo RAA050B5Q da Hitachi.

Para validação do método de cálculo de carga térmica, a estrutura de coleta e registro de dados do laboratório foi utilizada, de modo que os valores de temperatura interna e externa foram obtidos através de medições no CPEI, enquanto os valores de radiação solar foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Com isso, foi feita uma comparação entre os valores registrados de temperatura interna, medidos pelos equipamentos do próprio laboratório, com as temperaturas teóricas geradas pelo programa após a remoção da carga térmica do ambiente. No experimento, foi utilizado um arquivo de indexação de dados gerado no laboratório, incluindo diversas informações de interesse do estudo, como temperaturas internas e externas, e o horário respectivo das mesmas. Os dados experimentais utilizados nessa validação foram obtidos no laboratório no dia 26 de fevereiro de 2009, entre 00:00:00 até as 16:40:44, horário local. A coleta de dados foi realizada com intervalos de leituras de 15 em 15 segundos, ao longo de um período de 18 horas. Para simplificar a explicação da metodologia de cálculo, cada uma dessas leituras de 15 segundos será referida como “intervalo de amostragem” ou “intervalos” ao longo deste trabalho.

É possível então avaliar a eficácia do modelo matemático proposto ao se comparar as temperaturas calculadas pelo modelo com as temperaturas reais medidas no ambiente. Esta comparação permite avaliar o cálculo da carga térmica, sendo importante considerar que poderão existir discrepâncias entre os dados obtidos pelo modelo matemático e os dados medidos experimentalmente. Esses possíveis erros devem ser cuidadosamente avaliados para refinamento contínuo do método de cálculo e melhoria da sua aplicabilidade prática.

## 2.2 Modelo matemático

O cálculo da temperatura interna de um ambiente após a retirada de carga térmica depende primeiramente das áreas do ambiente, explicitadas a seguir: a Equação 1 representa a área da parede ( $A_P$ ) em  $m^2$ , onde  $L$  é a largura,  $C$  é o comprimento, e  $H$  é a altura, todos em metros (m); a Equação 2 representa a área do teto do ambiente ( $A_T$ ) em  $m^2$ ; por fim, a Equação 3 representa a área do piso do ambiente ( $A_F$ ) em  $m^2$ .

$$A_P = 2 \cdot (L + C) \cdot H \quad (1)$$

$$A_T = L \cdot C \quad (2)$$

$$A_F = L \cdot C \quad (3)$$

Um dos fatores que afeta diretamente o cálculo da carga térmica é a quantidade de pessoas em um determinado ambiente. O valor da carga térmica gerada por pessoas ( $\dot{Q}_P$ ) em Watts é dado conforme a Equação 4, onde  $N$  é o número de pessoas e  $F$  é a carga térmica (em Watts) gerada por pessoa.

$$\dot{Q}_P = N \cdot F \quad (4)$$

A carga térmica gerada pela transferência de calor pelo ar ( $\dot{Q}_A$ ), em Watts – em virtude da necessidade de renovação do ar – é apresentada na Equação 5, onde  $F_P$  é o fator de renovação de ar por pessoa (dado em  $(m^3/s) / \text{pessoa}$ ),  $F_a$  é o fator de renovação de ar por área ( $(m^3/s) / m^2$ ),  $\rho_{Ar}$  é a massa específica média do ar ( $kg/m^3$ ),  $i_{ArExt}$  e  $i_{ArInt}$  são as entalpias do ar externo e interno, respectivamente (dadas em  $J/kg$ ). Deve-se ressaltar que a biblioteca *CoolProp* é utilizada no Python para se obter  $\rho_{Ar}$ ,  $i_{ArExt}$  e  $i_{ArInt}$ .

$$\dot{Q}_A = \rho_{Ar} \cdot (F_P \cdot N + F_a \cdot L \cdot H) \cdot (i_{ArExt} - i_{ArInt}) \quad (5)$$

A transferência de calor devida à insolação ( $\dot{Q}_S$ ) em Watts é apresentada na Equação 6, onde  $F_{SC}$  é o fator solar do laboratório,  $I$  é a radiação solar no instante de tempo ( $W/m^2$ ), o instante de

intervalo de amostragem em que a radiação solar alcança a estrutura do laboratório é representada por  $h$ , enquanto  $\varphi$  representa o atraso térmico. Vale ressaltar que a radiação solar foi obtida por meio do banco de dados meteorológicos do INMET, depois sendo feita uma interpolação, de modo que os valores da radiação solar se encaixassem com os respectivos intervalos de amostragem de tempo da leitura feita no laboratório.

$$\dot{Q}_S = F_{SC} \cdot I(h - \varphi) \cdot (L \cdot H) \quad (6)$$

A Equação 7 representa o valor de transferência de calor do ambiente por condução ( $\dot{Q}_C$ ) em Watts.  $U_P$ ,  $U_C$  e  $U_T$  são as taxas de transferência de calor (dadas em  $W/(m^2K)$ ) das paredes, piso e teto, respectivamente. Por fim, as temperaturas externa e interna do ar (dadas em K) são, respectivamente, representadas por  $T_{ArExt}$  e  $T_{ArInt}$ . Vale ressaltar que, para a temperatura externa, o atraso térmico também é considerado.

$$\dot{Q}_C = (U_P \cdot A_P + U_C \cdot A_C + U_T \cdot A_T) \cdot (T_{ArExt} - T_{ArInt}) \quad (7)$$

A Equação 8 apresenta o valor da carga térmica gerada no ambiente ( $\dot{Q}_G$ ) em Watts.  $\dot{Q}_{Ele}$  é o valor de carga térmica gerada por equipamentos eletroeletrônicos (W), enquanto  $\dot{Q}_{Ilu}$  é o valor de carga térmica gerada pela iluminação do escritório.

$$\dot{Q}_G = \dot{Q}_P + \dot{Q}_{Ele} + \dot{Q}_{Ilu} \quad (8)$$

A carga térmica removida pelo equipamento de ar condicionado, ou seja, a taxa de transferência de calor no evaporador, é representada por  $\dot{Q}_E$  (W). Seu cálculo é apresentado na Equação 9, onde  $V$  é a tensão elétrica (em Volts),  $a_c$  é a corrente elétrica instantânea, e  $COP$  é o coeficiente de desempenho do sistema de ar condicionado.

$$\dot{Q}_E = V \cdot a_c \cdot COP \quad (9)$$

Por último, a variação da temperatura interna ( $\Delta T$ ) em K é calculada em cada instante – ou seja, em cada intervalo – pela Equação 10.  $C_{in}$  é a capacitância térmica do ambiente (J/K), e  $dt$  é o

intervalo. Vale ressaltar que, para acelerar a convergência dos pontos, é utilizado o método matemático das secantes.

$$\Delta T = \frac{dt}{C_{in}} \cdot (\dot{Q}_G + \dot{Q}_S + \dot{Q}_C + \dot{Q}_A - \dot{Q}_E) \quad (10)$$

Os dados de entrada para os cálculos de transferência de calor estão detalhados na Tabela 1, junto com as referências bibliográficas (quando se aplicam).

**TABELA 1.** Dados de entrada.

| Dado                                                 | Valor                  | Referência                                  |
|------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------|
| Largura do ambiente (L)                              | 7,2 m                  | Planta da Edificação CPEI                   |
| Comprimento do ambiente (C)                          | 8,1 m                  | Planta da Edificação CPEI                   |
| Altura do ambiente (H)                               | 3,35 m                 | Planta da Edificação CPEI                   |
| Número de pessoas (N)                                | 2                      | –                                           |
| Carga térmica gerada por pessoa (F)                  | 130 W                  | ABNT, 2008. NBR16401-1                      |
| Fator de renovação de ar por pessoa ( $F_p$ )        | 3,1 (m³/s) /<br>pessoa | ABNT, 2008. NBR16401-1                      |
| Fator de renovação de ar por área ( $F_a$ )          | 0,5 (m³/s) / m²        | ABNT, 2008. NBR16401-1                      |
| Fator de cobertura do laboratório ( $F_{SC}$ )       | 0,01536                | ABNT, 2005. NBR15220-3                      |
| Atraso térmico ( $\varphi$ )                         | 377 intervalos         | Batista, Freitas e Jota, 2014               |
| Taxa de transferência de calor - paredes ( $U_p$ )   | 2,58 W/(m²K)           | ABNT, 2005. NBR15220-3                      |
| Taxa de transferência de calor - piso ( $U_c$ )      | 1,59 W/(m²K)           | ABNT, 2005. NBR15220-3                      |
| Taxa de transferência de calor - teto ( $U_T$ )      | 1,92 W/(m²K)           | ABNT, 2005. NBR15220-3                      |
| Carga térmica gerada por uma impressora              | 130 W                  | ABNT, 2008. NBR16401-1                      |
| Carga térmica gerada por um computador               | 55 W                   | ABNT, 2008. NBR16401-1                      |
| Tensão elétrica do equipamento (V)                   | 220 V                  | Dados do Equipamento –<br>HITACHI RAA050B5Q |
| Coeficiente de desempenho (COP)                      | 1,6                    | –                                           |
| Capacitância termal do ambiente interno ( $C_{in}$ ) | 209 J/K                | –                                           |

**Fonte:** Elaboração própria (2024).

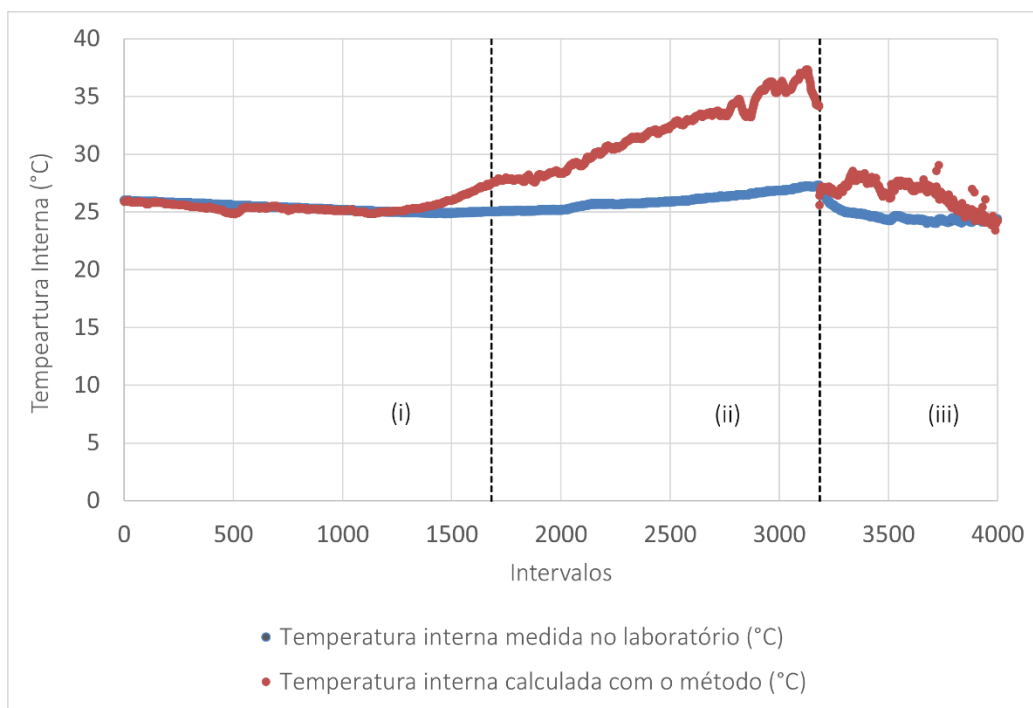


### 3. RESULTADOS

Os resultados da análise entre a temperatura interna medida no laboratório e a temperatura interna calculada pelo programa são detalhadas nas figuras a seguir.

A Figura 1 apresenta uma comparação entre ambas as temperaturas dentro de um intervalo de tempo de 4000 intervalos, onde o eixo das ordenadas representa a temperatura interna (em °C), enquanto o eixo das abscissas representa o tempo decorrido (em intervalos de 15 segundos). A linha azul é da temperatura interna medida no laboratório, e a linha vermelha é da temperatura interna calculada pelo programa com após introdução dos dados citados previamente.

**FIGURA 1.** Análise comparativa de temperaturas ao longo do tempo.



Fonte: Elaboração própria (2024).

A análise da Figura 1 pode ser realizada a partir da separação em três agrupamentos de dados: (i) o primeiro agrupamento contempla o período em que o equipamento de condicionamento de ar não está ligado e não há efeito de irradiação solar na edificação; (ii) o segundo agrupamento contempla o período em que o equipamento de condicionamento de ar não está ligado e há efeito de irradiação solar na edificação; (iii) o terceiro agrupamento contempla o período em que o



equipamento de condicionamento de ar está ligado e há efeito de irradiação solar na edificação. Uma análise dos dados em cada região é apresentada na Tabela 2. Nela, os valores médios, mínimos e máximos são obtidos para todos os pontos do referido agrupamento. Através da análise da tabela, pode-se observar que ocorre uma melhor convergência para as regiões 1 e 3.

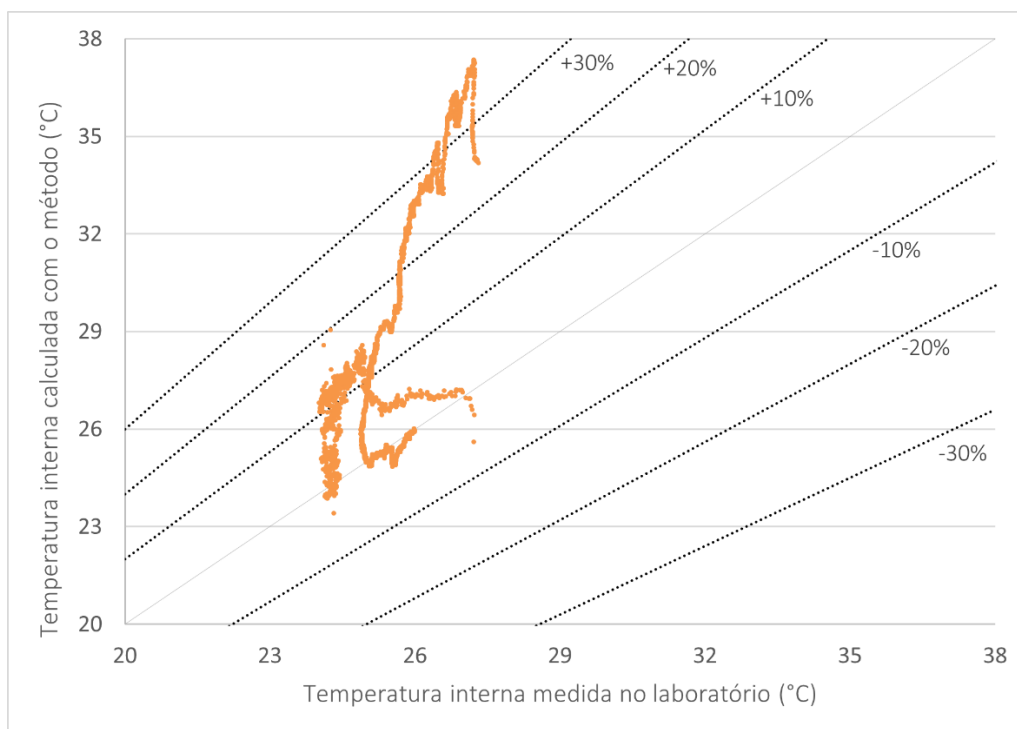
**TABELA 2.** Análise dos dados da Figura 1 por agrupamento de dados

| Agrupamento | Média | Mínimo | Máximo |
|-------------|-------|--------|--------|
| i           | -1%   | -10%   | 3%     |
| ii          | -22%  | -37%   | 6%     |
| iii         | -8%   | -20%   | 6%     |

Fonte: Elaboração própria (2024).

A Figura 2 apresenta uma análise comparativa entre as temperaturas internas, considerando intervalos de variação entre +30% e -30%. O eixo das abcissas representa a temperatura medida no laboratório e o eixo das ordenadas representa a temperatura calculada pelo programa.

**FIGURA 2.** Análise comparativa entre temperatura calculada e temperatura do laboratório



Fonte: Elaboração própria (2024).

A análise da Figura 2 é realizada considerando quatro intervalos distintos de variação dos dados:  $\pm 10\%$ ,  $\pm 20\%$ ,  $\pm 30\%$ , e maior que  $30\%$ . A Tabela 3 apresenta essa distribuição detalhada, mostrando a quantidade de pontos em cada intervalo e seus respectivos percentuais em relação ao total de 4000 leituras. Vale ressaltar que cada ponto da análise só pode ser atribuído a um intervalo específico, ou seja, um ponto que se encontra no intervalo de  $\pm 20\%$  não faz parte da contagem do intervalo de  $\pm 10\%$ .

**TABELA 3.** Análise dos dados da Figura 2 por intervalos

| Intervalo  | Quantidade | Percentual |
|------------|------------|------------|
| $\pm 10\%$ | 2202       | 55,05%     |
| $\pm 20\%$ | 906        | 22,65%     |
| $\pm 30\%$ | 612        | 15,30%     |
| $>30\%$    | 280        | 7,00%      |

**Fonte:** Elaboração própria (2024).

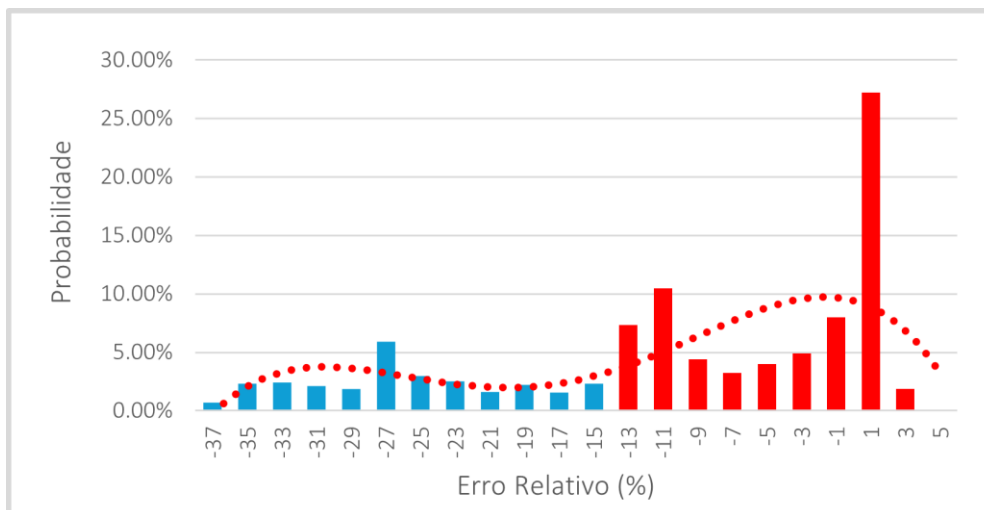
Analisando a Tabela 3, pode-se observar que a maior parte dos dados está dentro do intervalo de  $\pm 20\%$ , totalizando então 77,77% das leituras, enquanto 7% das leituras apresentam variação maior que  $30\%$ .

A Figura 3 apresenta a distribuição do erro relativo na análise comparativa entre as temperaturas internas medidas e previstas, destacando o intervalo de variação entre  $-13\%$  e  $5\%$ . O eixo das abcissas representa o erro percentual relativo, enquanto o eixo das ordenadas indica a probabilidade. O gráfico inclui uma curva polinomial aproximada da função densidade de probabilidade (PDF), indicada pela linha pontilhada vermelha, conforme a equação fornecida:

$$y = -0,00002x^4 + 0,00067x^3 - 0,00917x^2 + 0,04650x - 0,04073 \quad (11)$$

A análise visual da distribuição permite identificar a variabilidade e a frequência dos erros percentuais na estimativa das temperaturas pelo programa comparadas às medições laboratoriais. A curva estimada mostra que 72% dos erros ocorrem no intervalo de confiança de  $\pm 13\%$ .

**FIGURA 3.** Análise estatística de tendência dos erros percentuais



Fonte: Elaboração própria (2024).

#### 4. CONCLUSÕES

A validação experimental do modelo simplificado de cálculo de carga térmica, elaborado em Python com base nas normas ABNT NBR 15220 e ABNT NBR 16401, permitiu uma análise detalhada da comparação entre as temperaturas internas medidas em laboratório e aquelas calculadas pelo modelo. Durante os períodos em que o equipamento de ar condicionado estava em funcionamento, a convergência entre os dados medidos e os dados simulados foi mais precisa do que no período em que o equipamento estava desligado e o ambiente estava sob efeito da irradiação solar. Algumas discrepâncias foram identificadas, principalmente nos períodos de irradiação solar sem o ar condicionado ligado, mas se mantiveram dentro de margens previstas, considerando as aproximações realizadas pelo modelo.

Os resultados obtidos sugerem que o modelo, mesmo apresentando algumas divergências, é capaz de calcular a temperatura interna em diversos cenários. A análise dos dados indicou que a maioria dos pontos de leitura estava dentro das margens aceitáveis de variação, sendo que aproximadamente 78% dos resultados analisados por comparação ficaram dentro de uma faixa de variação de  $\pm 20\%$ , enquanto 72% do erro relativo ficou dentro de um intervalo de confiança de  $\pm 13\%$ . Esses resultados podem orientar futuras melhorias no modelo, buscando minimizar as discrepâncias observadas, aprimorar os métodos de coleta de dados e ajustar os parâmetros utilizados para aumentar a precisão das simulações.

## DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

## REFERÊNCIAS

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-1. Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projetos das Instalações. Rio de Janeiro, ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-2. Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro, ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-3. Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 3: Qualidade do ar interior. Rio de Janeiro, ABNT, 2008.

BATISTA, A.P., FREITAS, M.E.A., JOTA, F.G., *Evaluation and improvement of the energy performance of a building's equipment and subsystems through continuous monitoring. Energy and Buildings* 75, p. 368–381, 2014.

CREDER, Hélio. Instalações de Ar Condicionado. 4ª ed. Editora LTC, Rio de Janeiro, 2004.

DUARTE, Willian Moreira; PAULINO, Tiago de Freitas; TAVARES, Sinthya Gonçalves; OLIVEIRA, André Gonçalves; MACHADO, Luiz. *Comparative study of geothermal and conventional air conditioner: a case of study for office applications*. 18th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. ENCIT, 2020.

EPE, NOTA TÉCNICA EPE 030/2018. Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética, Ministério de Minas e Energia, 2018.

FREITAS, M. E. A., BATISTA, A. P. e JOTA, F.G. (2007). Avaliação Experimental do Desempenho Energético de um Condicionador de Ar de Expansão Direta. Anais do II Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, p-1-6.

GERALDI, Matheus Soares; MELO, Ana Paula; LAMBERTS, Roberto; BORGSTEIN, Edward; YUKIZAKI, Alex Y. G.; MAIA, Ana C. B.; SOARES, Jeferson B.; DOS SANTOS JUNIOR, Arnaldo. *Assessment of the energy consumption in non-residential building sector in Brazil*. Energy and Buildings, v. 273, 112371, 2022.

HITACHI. Manual do Proprietário - RAA050B5Q. Disponível em: <https://tinyurl.com/dthhm272/>. Acesso em: 24 de junho de 2024.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia - Banco de Dados Meteorológicos. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 19 de dezembro de 2023.

MCQUINSTON, F. C. *Heating, Ventilating, and Air Conditioning: Analysis and Design*. 6th ed. Oklahoma State University, EUA, 623 p., 2005.

MARTINS, Leonardo V.S.; BRAGA, Carlos H.M.; PABON, Juan J.G.; MACHADO, Luiz; DUARTE, Willian Moreira; *Assessment of total equivalent warming impact (TEWI) of alternative refrigerants for retrofit of R22 in single split air conditioning system*. Journal of Building Engineering, v. 88, p. 109085, 2024.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e pelo Centro de Pesquisa em Energia Inteligente do CEFET-MG, por meio da cessão dos dados da edificação.