

ESTUDO DE CONFORTO TÉRMICO EM UMA SALA DE ESCRITÓRIO EM GUARAPUAVA-PR

GONÇALVES, Jackson¹

VASCONCELOS, Jessica²

RESUMO: Este trabalho avalia o conforto térmico em um ambiente de trabalho, considerando a crescente dependência de sistemas de climatização artificial e seus impactos no bem-estar e produtividade dos colaboradores. O estudo foi desenvolvido em um escritório comercial localizado em Guarapuava-PR. O objetivo geral foi avaliar as condições de conforto térmico no ambiente, verificando se o sistema de climatização atende aos padrões estabelecidos pela NBR 16401. Para isso, desenvolveu-se uma planilha de cálculo considerando parâmetros de temperatura, umidade, ventilação, características dos materiais construtivos, equipamentos instalados e padrão de ocupação do espaço. Os resultados indicaram necessidade de carga térmica total de 169.646 BTU/h para o ambiente de 269 m² com 63 ocupantes. A comparação com o memorial de cálculo fornecido pela empresa apresentou discrepância de apenas 0,8%, validando a metodologia desenvolvida. O estudo demonstra que o dimensionamento fundamentado em normas e métodos consolidados, é essencial para garantir conforto térmico e eficiência energética em ambientes de trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Conforto térmico, carga térmica, climatização, ambiente de trabalho, NBR 16401.

ABSTRACT: This study evaluates thermal comfort conditions in a workplace environment, considering the growing dependence on artificial air-conditioning systems and their effects on employees' well-being and productivity. The research was conducted in a commercial office located in Guarapuava, Brazil. The main objective was to determine whether the existing air-conditioning system complies with the comfort requirements established by the Brazilian standard NBR 16401. For this purpose, a calculation spreadsheet was developed, incorporating parameters such as temperature, humidity, ventilation rates, thermal characteristics of building materials, installed equipment, and occupancy patterns. The results indicated a total thermal load requirement of 169,646 BTU/h for a 269 m² office with 63 occupants. A comparison with the company's original calculation report revealed a discrepancy of only 0.8%, validating the methodology employed. The findings demonstrate that HVAC system sizing based on technical norms and consolidated engineering methods is essential to ensuring adequate thermal comfort and energy efficiency in workplace environments.

KEYWORDS: Thermal comfort, thermal load, air conditioning, workplace, NBR 16401.

1. INTRODUÇÃO

O conforto térmico das pessoas é um tema bastante discutido nos últimos anos, e garantir boas condições climáticas em edifícios de trabalho impacta diretamente o bem-estar e o desempenho dos colaboradores. As disponibilidades climáticas de um local ou região estão entre os principais fatores que condicionam o comportamento

¹ Graduando de Engenharia Mecânica no Centro Universitário Campo Real.

engm-jakcsongoncalves@camporeal.edu.br

² Graduada em Engenharia Mecânica. Mestrado em Engenharia Mecânica. Professora no Centro Universitário do Campo Real. prof_jessicavasconcelos@camporeal.edu.br

humano e animal. Nos humanos, interferem principalmente na alimentação, na vestimenta e no tipo e intensidade das atividades. Os estudos realizados na área são direcionados geralmente para o conforto térmico no interior de ambientes residenciais e de trabalho (FROTA & SCHIFFER, 2003; NOGUEIRA, 2012).

Frota e Schiffer (2001) afirmam que, quando não submetido a estresse ou fadiga, o ser humano tende a ter melhor qualidade de vida e saúde. Assim, a arquitetura dos edifícios deve proporcionar condições térmicas adequadas ao conforto humano, independentemente das condições externas.

Desta forma, as pessoas tornam-se cada vez mais dependentes do uso de ar-condicionado, principalmente, em razão da memória térmica. Vecchi, Cândido e Lamberts (2016) descreveram que, a exposição prévia das pessoas ao ar-condicionado pode interferir no quanto elas são capazes de tolerar temperaturas mais quentes no ambiente.

Tendo em vista, que o conforto térmico tem grande impacto no desempenho e performance das pessoas em um ambiente, surge o questionamento de como é feito para identificar qual a melhor temperatura e distribuição de sistemas de refrigeração para que todos alcancem o bem-estar e conforto.

Neste trabalho será apresentado o desenvolvimento de uma planilha de cálculo de conforto térmico com o objetivo geral de avaliar as condições no escritório de uma empresa, verificando se o ambiente atende ao bem-estar dos colaboradores. O trabalho surge do objetivo do interesse e apresso do autor sobre o tema e do desejo de seguir neste ramo de trabalho após a conclusão do curso de graduação em Engenharia Mecânica. Para alcançar esse objetivo, será necessário analisar os parâmetros de temperatura, umidade e ventilação no ambiente utilizando os padrões recomendados pela NBR 16401 (2008).

Kruger & Drach (2017) reforçam que o desconforto térmico em ambientes internos tem levado ao aumento do uso de ar-condicionado, sendo influência também no comportamento do usuário em ambiente externo. Este trabalho visa desenvolver um projeto de conforto térmico em um escritório de uma empresa localizada na cidade de Guarapuava-PR. A partir dos dados calculados e apresentados será possível verificar a adequação do modelo térmico atual e, se necessário, propor ajustes para melhorar a qualidade do ambiente, contribuindo para um espaço de trabalho mais saudável e produtivo.

2. METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido para analisar os parâmetros de conforto térmico em um escritório que possui apenas sistema de refrigeração, estando fechado todo o tempo. Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso de natureza aplicada, com abordagem quantitativa. Segundo Stoecker e Jones (1985, p. 65), “os edifícios são construídos de forma a proporcionar um ambiente interno seguro e confortável, independente das condições exteriores. Um projeto pode ser considerado satisfatório se propiciar a manutenção de condições internas favoráveis de um modo econômico”.

As medições na sala foram realizadas com autorização da empresa e a quantidade de pessoas foi de acordo com o acompanhamento *in loco*. Como todos os colaboradores devem utilizar um único padrão de vestimenta como uniforme, este padrão foi considerado para critérios de cálculos.

Para embasar o dimensionamento dos sistemas de ar-condicionado e o cálculo de carga térmica, foi utilizado o livro Refrigeração e Ar-Condicionado de Stoecker e Jones (1985), uma das referências clássicas na área de engenharia térmica. A obra aborda de forma detalhada os princípios fundamentais de refrigeração e os métodos de cálculo de carga térmica. Segundo Stoecker e Jones (1985), a análise da resistência térmica dos materiais e a determinação do calor gerado por equipamentos e ocupantes são passos críticos para o adequado dimensionamento dos sistemas de climatização.

O método de estudo de caso foi escolhido por permitir uma investigação profunda e detalhada de um fenômeno específico em seu contexto real, sendo adequado para avaliar as condições de conforto térmico em um ambiente de trabalho específico.

2.1. CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico pode ser compreendido como a condição na qual o indivíduo manifesta satisfação com o ambiente, não desejando que a temperatura seja alterada. De acordo com Frota e Schiffer (2001), trata-se de um estado de equilíbrio no qual o corpo humano consegue dissipar o calor gerado pelo metabolismo para o ambiente mantendo sua temperatura interna estável.

Os principais fatores que influenciam o conforto térmico incluem a temperatura do ar, que é a responsável pela sensação térmica imediata percebida pelas pessoas; a umidade relativa, que afeta diretamente a capacidade de evaporação do suor e, conseqüentemente, o resfriamento natural do corpo; e a velocidade do ar, que contribui para as trocas térmicas por convecção, auxiliando na remoção do calor corporal. Além disso, a atividade metabólica tem influência significativa, pois diferentes níveis de esforço físico alteram a quantidade de calor produzida internamente. Por fim, a vestimenta atua como uma barreira ou resistência térmica entre o corpo e o ambiente, interferindo na forma como o calor é retido ou dissipado.

A literatura aponta que ambientes desconfortáveis afetam diretamente saúde, produtividade e desempenho cognitivo em ambientes de trabalho. Frota e Schiffer (2001) destacam que o desconforto térmico prolongado pode gerar fadiga, estresse e diminuição da capacidade de concentração, tornando essencial que edifícios comerciais atendam a parâmetros adequados de climatização. Dessa forma, compreender e quantificar os fatores que influenciam o conforto térmico torna-se fundamental para orientar projetos eficientes e garantir ambientes de trabalho mais saudáveis.

2.1.1 Normas Aplicáveis

A NBR 16401 (partes 1, 2 e 3) define os requisitos mínimos de conforto térmico e qualidade do ar para ambientes climatizados. Para escritórios, estabelece:

- a) Temperatura recomendada entre 23 °C e 26 °C no verão e entre 20 °C e 23 °C no inverno;
- b) Umidade relativa recomendada entre 40% e 65%;

Já a NBR 15220 estabelece diretrizes de desempenho térmico e apresenta o Zoneamento Bioclimático Brasileiro, que segmenta o território nacional em oito zonas. Guarapuava está classificada na Zona Bioclimática 4, onde se recomendam:

- a) Aberturas de tamanho médio;
- b) Dispositivos de sombreamento;
- c) Ganho solar moderado no inverno;
- d) Controle de ventos frios.

Essas normas orientam tanto o dimensionamento quanto a avaliação de sistemas de climatização.

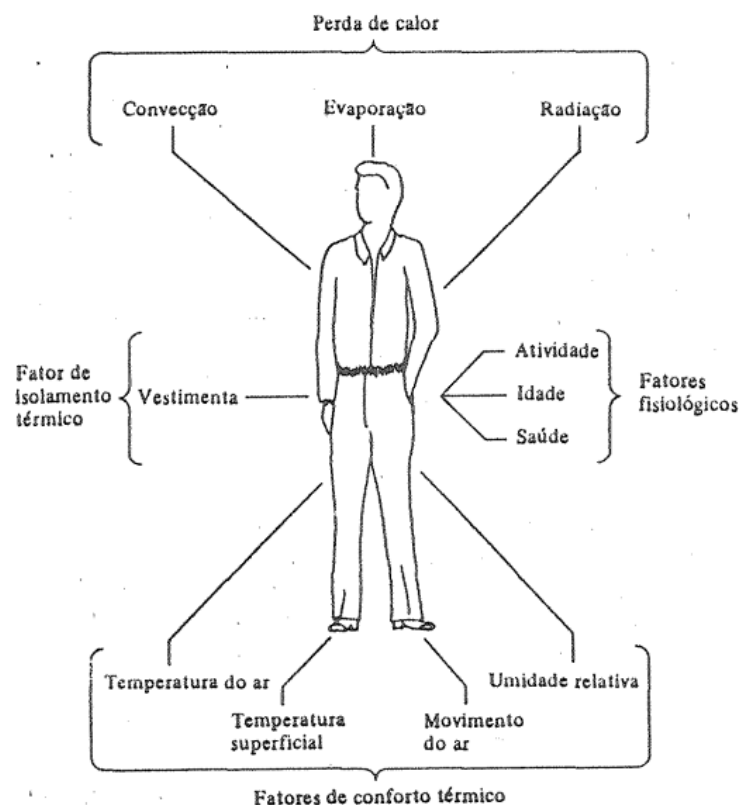
2.2. TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM EDIFICAÇÕES

Segundo Stoecker e Jones (1985), uma pessoa em repouso, realizando um trabalho leve em um ambiente condicionado elimina calor principalmente de duas maneiras.

Os mecanismos de perda de calor do corpo humano incluem a convecção, que consiste na troca de calor com o ar presente no ambiente e ocorre de forma mais intensa quando há movimento do ar, e a radiação, que acontece por meio das superfícies ao redor que estão a uma temperatura inferior à da superfície do corpo, permitindo que o calor seja transferido para essas superfícies mais frias.

A Figura 1 mostra os fatores que afetam o conforto térmico no corpo humano.

Figura 1 – Fatores que afetam o conforto térmico



Fonte: Stoecker e Jones (1985)

Os dois mecanismos juntos equivalem a 60% do calor eliminado, o restando ocorre devido respiração e transpiração. No que tange ao desempenho térmico, ele depende da resistência térmica (R) e da transmitância térmica (U), que indicam o grau de isolamento. Conforme a NBR 15220 (2003), materiais com menor transmitância reduzem significativamente as cargas térmicas externas.

Stoecker e Jones (1985) ressaltam que a análise detalhada da resistência térmica é fundamental para estimar corretamente os fluxos de calor e selecionar equipamentos de climatização adequados. Assim, o cálculo correto da transmitância térmica das superfícies torna-se uma etapa indispensável para estimar com precisão as trocas de calor entre o ambiente e o exterior.

2.2.1 Carga Térmica

A carga térmica corresponde ao total de calor que deve ser removido (ou adicionado) para que o ambiente atinja condições de conforto. Ela é composta por:

Cargas Internas	Cargas Externas
Pessoas	Radiação
Iluminação	Infiltração
Equipamentos	Ventilação

Segundo Stoecker e Jones (1985), a precisão no cálculo da carga térmica é essencial, pois determina diretamente a capacidade do sistema de climatização. Superdimensionamentos elevam o consumo energético, enquanto subdimensionamentos geram desconforto térmico recorrente.

2.2.2 Sistemas de Climatização

Os sistemas de ar-condicionado operam removendo calor do ambiente por meio de um ciclo frigorífico composto por compressor, evaporador, condensador e dispositivo de expansão. Para que o dimensionamento seja adequado, Stoecker e Jones (1985) destacam a importância de considerar diversos fatores, como as temperaturas internas e externas de projeto, que definem as condições limite de

operação, além da carga térmica total, englobando as parcelas sensível e latente que determinam a capacidade necessária do equipamento. Também é essencial atender a renovação mínima de ar exigida pela NBR 16401-3 (2008), garantindo qualidade do ar interior. Outro aspecto importante é a eficiência energética do equipamento, que influencia diretamente no consumo e no desempenho do sistema. Por fim, deve-se assegurar uma distribuição homogênea do ar no ambiente, de modo a evitar zonas de desconforto térmico e garantir condições adequadas em todo o espaço. A ASHRAE Fundamentals (2009) reforça que o dimensionamento deve manter estabilidade térmica e evitar correntes de ar excessivas.

A percepção de conforto térmico depende também de fatores humanos. A atividade metabólica influencia a produção interna de calor: atividades leves, como as realizadas em escritórios, apresentam taxa metabólica típica de 1,0 a 1,2 met. A vestimenta atua como isolamento térmico e deve ser considerada nas análises.

A memória térmica, conforme apontado por De Vecchi, Cândido e Lamberts (2016), afeta a tolerância a diferentes temperaturas: indivíduos habituados ao ar-condicionado tendem a preferir ambientes mais frios e rejeitar temperaturas ligeiramente mais elevadas. Isso explica conflitos de preferência entre usuários em escritórios coletivos.

2.3 LOCAL DO ESTUDO

O estudo foi realizado em um escritório comercial localizado na cidade de Guarapuava-PR, com área total de 269 m² e capacidade para 63 ocupantes. A escolha deste ambiente justifica-se por sua representatividade como espaço administrativo de uso contínuo e pela possibilidade de implementação de melhorias com base nos resultados obtidos.

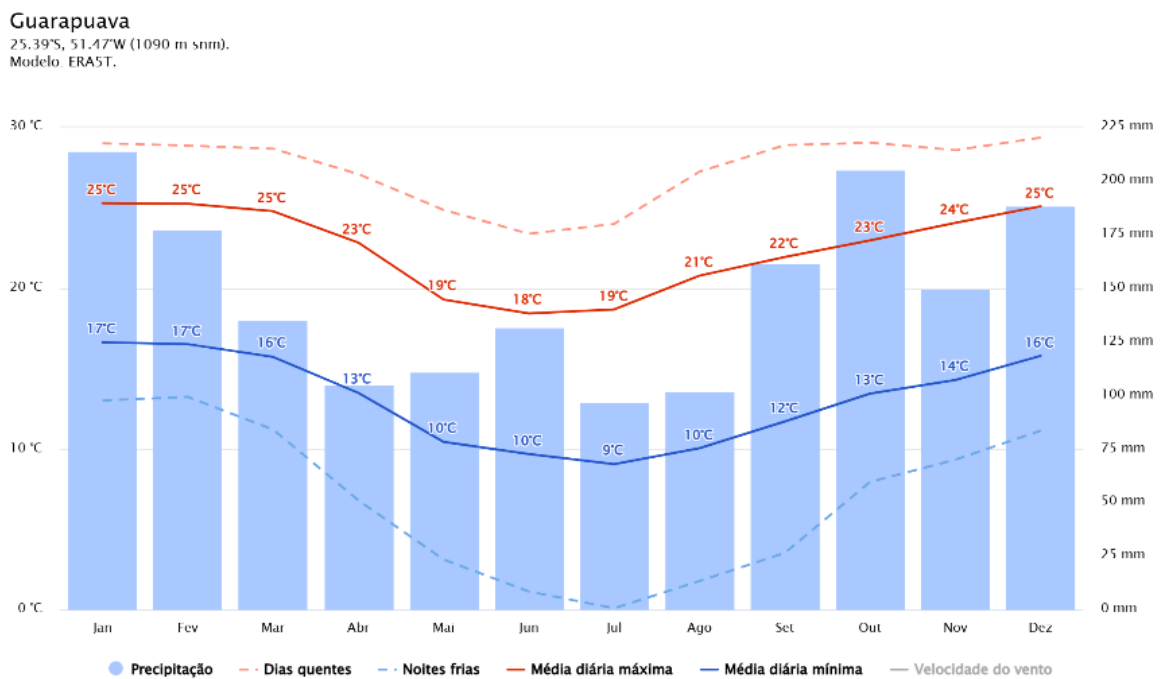
O clima da região é subtropical úmido, caracterizado por invernos rigorosos, com ocorrência frequente de geadas e eventuais episódios de neve. A temperatura média anual é de 16,8 °C, com máximas históricas próximas de 36 °C e mínimas em torno de 6,8 °C, conforme dados fornecidos pela Prefeitura Municipal de Guarapuava.

De acordo com a NBR 15220-3 (2003), Guarapuava integra a Zona Bioclimática 4, caracterizada por temperaturas amenas, necessidade de aquecimento no inverno e estratégias de sombreamento no verão. Para edificações dessa zona, a norma

recomenda aberturas de dimensões médias, preferencialmente sombreadas, além de permitir a incidência solar direta durante o inverno para aproveitamento térmico.

Visando compreender o comportamento climático da região, foram consultados dados históricos disponibilizados pela plataforma Meteoblue. A Figura 2 apresenta a média das temperaturas máximas e mínimas diárias ao longo dos últimos 30 anos, bem como dias mais quentes e noites mais frias.

Figura 2 - Temperaturas e precipitações médias nos últimos 30 anos

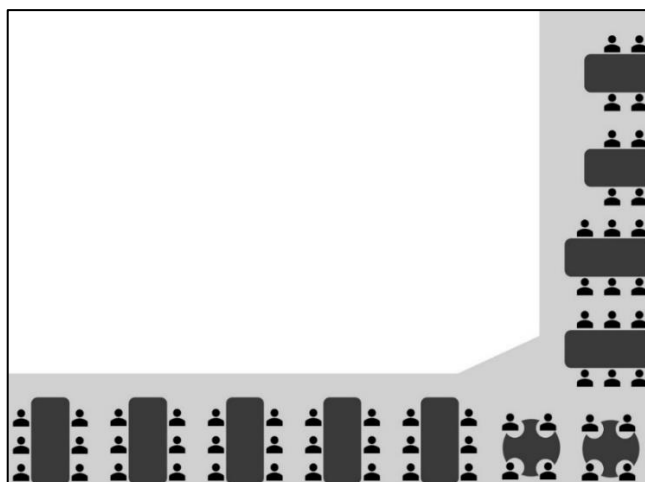


Fonte: Meteoblue (2025)

A partir dessa caracterização inicial, foram realizados levantamentos dimensionais completos do ambiente. As medições de paredes, janelas e portas foram feitas com trena a laser. Como não havia documentos que especificassem os materiais construtivos utilizados, a determinação dos elementos da envoltória foi feita tomando como base padrões construtivos regionais.

A Figura 3 apresenta o esboço do layout do escritório elaborado após visita técnica, indicando a distribuição das pessoas e mobiliário.

Figura 3 - Distribuição das pessoas na sala do Escritório



Fonte: Autor (2025)

A Tabela 1 apresenta o inventário completo dos equipamentos.

Tabela 1 – Inventário de equipamentos eletrônicos

Equipamento	Quantidade
Notebook	63
Monitor	63
Celular	63
Lâmpadas de led	45
Impressora	2

Fonte: Autor (2025)

Durante os 15 dias de amostragem, com monitoramentos efetuados por 4 horas diárias, verificou-se que aproximadamente 45% dos ocupantes permaneceram em seus postos de trabalho durante todo o período observado, enquanto os demais 55% se deslocaram temporariamente para reuniões ou atendimentos externos, resultando em variações constantes na carga interna do ambiente.

2.4 DESENVOLVIMENTO DA PLANILHA DE CÁLCULO NO EXCEL

O desenvolvimento da planilha de cálculo foi fundamentado nos princípios apresentados por Stoecker e Jones (1985) em Refrigeração e Ar-Condicionado e nas

normas ABNT NBR 16401-1 (2008), 16401-2 (2008), 16401-3 (2008) e NBR 15220 (2003).

Como apoio complementar, foram consultados parâmetros descritos no ASHRAE Fundamentals (2009). Esses referenciais fornecem diretrizes para a determinação das cargas térmicas sensíveis e latentes em ambientes climatizados e para o correto dimensionamento dos sistemas de ar-condicionado. Todas as tabelas e figuras que serão apresentadas a seguir possuem as mesmas estruturas e informações contidas na planilha de cálculo.

A planilha foi estruturada para processar automaticamente os dados inseridos pelo usuário, permitindo calcular a carga térmica total do ambiente com elevado nível de detalhamento. Entre as variáveis consideradas estão as características físicas do ambiente, como dimensões do espaço, áreas de paredes, portas e janelas, orientação solar e propriedades térmicas dos materiais. Também são incluídas as condições de ocupação, envolvendo número de pessoas, nível de atividade e o isolamento térmico proporcionado pela vestimenta. Além disso, a planilha contempla a influência de equipamentos e iluminação, considerando a potência dissipada por computadores, monitores, impressoras e luminárias. Por fim, leva em conta as condições climáticas externas, como radiação solar, infiltração de ar e ventilação, garantindo uma estimativa precisa da carga térmica total.

O software utilizado para o desenvolvimento da planilha foi o Microsoft Excel, escolhido por possibilitar automação de cálculos, elaboração de tabelas e geração de gráficos. Todas as figuras referentes aos cálculos apresentados neste trabalho foram extraídas da referida planilha.

A estruturação das fórmulas incluiu funções condicionais, cálculos matriciais e aplicação dos coeficientes normativos presentes nas tabelas das normas. Dessa forma, o usuário precisa apenas inserir os parâmetros de entrada como medidas da sala, quantidade de equipamentos e pessoas e, a planilha realiza automaticamente todos os cálculos subsequentes de carga térmica.

3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O processo de análise teve início com o cálculo da resistência térmica dos componentes construtivos do escritório, etapa fundamental para determinar a

transmitância térmica (U) e, conseqüentemente, as cargas de radiação. Conforme estrutura proposta por Stoecker e Jones (1985), a resistência térmica total depende da combinação de espessuras e condutividades dos materiais. A modelagem foi dividida em duas seções, representadas pelas Tabelas 2 e 3, com base nos dois pontos de contato predominantes das paredes.

3.1 CARGA TÉRMICA POR RADIAÇÃO

A determinação da resistência térmica das paredes é o primeiro passo para definir a parcela de calor proveniente da radiação solar incidente e das diferenças de temperatura entre interior e exterior.

A Tabela 2 apresenta o cálculo da resistência térmica na Seção A considerando como material construtivo a argamassa comum e calculando com base em cada ponto de contato. As informações de condutividade térmica foram obtidas da Tabela B.3 da NBR 15220-2 (2003).

Tabela 2 – Cálculo de resistência térmica – Seção A

Resistência térmica seção A	Valor
Ponto 1 – Espessura	0,03
Ponto 1 – Condutividade térmica	1,15
Ponto 2 – Espessura	0,09
Ponto 2 – Condutividade térmica	1,15
Ponto 3 – Espessura	0,03
Ponto 3 – Condutividade térmica	1,15

Fonte: Autor (2025)

A resistência térmica em cada ponto é dada pela Equação 1:

$$R = E / \lambda \quad (1)$$

Onde:

R: é a resistência térmica da seção A ($m^2 * \frac{K}{W}$)

E: é a espessura no ponto calculado (m)

λ : é a condutividade térmica do material utilizado naquele ponto ($\frac{W}{m*K}$)

Dessa forma, a resistência térmica da seção é dada pela soma de todas as resistências, portanto, $R_a = 0,130 \text{ m}^2 * \frac{K}{W}$. De forma equivalente, a Tabela 3 apresenta os valores referentes à Seção B, composta por argamassa, tijolos e telhas de barro.

Tabela 3 – Cálculo de resistência térmica – Seção B

Resistência térmica seção B	Valor
Ponto 1 – Espessura	0,09
Ponto 1 – Condutividade térmica	1,15
Ponto 2 – Espessura	0,09
Ponto 2 – Condutividade térmica	0,70
Ponto 3 – Espessura	0,03
Ponto 3 – Condutividade térmica	1,15

Fonte: Autor (2025)

Aplicando os mesmos conceitos de cálculo, tem-se que, $R_b = 0,181 \text{ m}^2 * \frac{K}{W}$

A Tabela 4 apresenta todas as áreas das paredes, janelas e portas utilizadas na modelagem geométrica da sala.

Tabela 4 – Cálculo da área da sala – medidas unitárias em metros

Nº da parede	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Área total	16,38	75,74	44,16	20,67	14,14	11,49	15,52	14,14	56,64
(+) Base parede	5,12	23,67	13,80	6,46	4,42	3,59	4,85	4,42	17,70
(+) Altura parede	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20
Área janela	3,85	23,10						1,93	13,48
(+) Base janela	1,25	1,25						1,25	1,25
(+) Altura janela	1,54	1,54						1,54	1,54
(+) Quantidade	2,00	12,00						1,00	7,00
Área da porta			4,80	4,80					
(+) Base porta			1,50	1,50					
(+) Altura porta			3,20	3,20					
(+) Quantidade			1,00	1,00					
Área sem janela e porta	12,53	52,64	39,36	15,87	14,14	11,49	15,52	12,22	43,17

Fonte: Autor (2025)

Os valores foram obtidos por medições com trena a laser, contabilizando paredes com e sem aberturas, portas, janelas e demais elementos da envoltória térmica. Em seguida, a planilha exigiu a inserção dos dados gerais para cálculo de cargas térmicas, apresentados na Tabela 5. Esses dados incluem temperatura externa, temperatura interna desejada, ocupação, cargas de equipamentos, coeficientes de infiltração, taxa de ventilação e propriedades dos materiais.

Os parâmetros climáticos e operacionais utilizados no cálculo da carga térmica encontram-se organizados na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros externos para cálculo de carga térmica

Nº da parede	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Diferencial de Temperatura (°C)	5,50	-	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	-	5,50
Temperatura interna (Ti) (K)	296,0	296,0	296,0	296,0	296,0	296,0	296,0	296,0	296,0
Temperatura externa (leste e sul) (K)	309,0	309,0	-	-	-	-	-	309,0	-
Temperatura externa (oeste) (K)	-	-	-	-	-	-	-	-	302,0
Temperatura externa (norte) (K)	-	-	304,0	304,0	304,0	304,0	304,0	-	-
Fator solar (adimensional)	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
Resistência térmica do Vidro $\frac{W}{m^2 \cdot K}$	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90
Radiação solar nos vidros – verão $\frac{W}{m^2}$	350,4	282,1	55,31	55,31	55,31	55,31	55,31	282,1	350,4
Densidade do ar $\frac{W}{m^3}$	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
Calor sensível do ar	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Conversão kJ/h -> W	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Vazão por metro de fresta – janelas $\frac{m^3}{h}$	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Vazão por metro de fresta – portas $\frac{m^3}{h}$	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50

Fonte: Autor (2025)

Com esses parâmetros devidamente definidos, torna-se possível quantificar de forma consistente as cargas térmicas associadas às condições externas e internas do ambiente. Essa etapa assegura que o modelo represente fielmente o cenário real de operação do escritório, reduzindo incertezas nas próximas etapas da análise.

3.3 CARGA TÉRMICA POR RADIAÇÃO

Conforme Stoecker e Jones (1985), as cargas de radiação representam o calor transferido ao ambiente por ondas eletromagnéticas provenientes do sol ou superfícies aquecidas. A equação aplicada está apresentada como Equação 2.

$$Q = U * A * (T_e - T_i) * \Delta T \quad (2)$$

Onde:

Q : carga térmica de radiação (W)

U : coeficiente global de transmissão de calor ($\frac{W}{m^2 * K}$)

A : área da superfície (m^2)

$(T_e - T_i)$: temperaturas externas e internas ($^{\circ}C$)

ΔT : acréscimo de diferencial de temperatura ($^{\circ}C$)

Além das paredes, também foram contabilizadas as cargas incidentes em vidros, conforme Equação (3).

$$Q = A * (\Delta T * U_{vidro} + FS + RS) \quad (3)$$

Onde:

Q : carga térmica de radiação (W)

U_{vidro} : coeficiente global de transmissão de calor do vidro ($\frac{W}{m^2 * K}$)

A : área da superfície (m^2)

FS : fator solar

RS : resistência solar ($\frac{m^2}{K * W}$)

A Tabela 6 resume os resultados consolidados da carga térmica de radiação para cada parede e para os elementos envidraçados.

Tabela 6 – Resultados da carga térmica de radiação

Nº da parede	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Carga térmica de radiação (W)	2.124		1.408	866	329	268	361	1.151	5.964
		10.283							
Carga incidente nas paredes (W)	476	1.976	912	369	329	268	361	459	753
Carga incidente nos vidros (W)	1.648	8.308	496	496				692	5.211

Fonte: Autor (2025)

Os resultados demonstram que as paredes com maior incidência solar direta apresentam as maiores contribuições térmicas, reforçando a importância do uso de sombreamento e materiais adequados. Esses valores integrados permitem compreender o impacto da radiação na carga total do ambiente.

3.4 CARGA TÉRMICA POR INFILTRAÇÃO

A NBR 16401-1 (2008) estabelece que a infiltração corresponde à entrada não controlada de ar externo no ambiente, através de frestas e aberturas involuntárias. Esse ar adiciona calor sensível e latente ao ambiente. A Equação (4) foi utilizada.

$$Q = (h_e - h_i) * p * q \quad (4)$$

Onde:

Q : carga térmica de infiltração (W)

$(h_e - h_i)$: entalpias externas e internas ($\frac{kJ}{kg}$)

ΔT : acréscimo de diferencial de temperatura ($^{\circ}C$)

p : fator de densidade do ar ($\frac{kg}{m^3}$)

q : vazão por metro de fresta ($\frac{m^3}{s*m}$)

As cargas de infiltração obtidas são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados da carga térmica de infiltração

Nº da parede	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Carga térmica de infiltração (W)	32	64	26	26	-	-	-	5	17
Carga incidente nas janelas (W)	32	64	-	-	-	-	-	-	5
Carga incidente nas portas (W)	-	-	26	26	-	-	-	-	-
Temperatura Interna	296	296	296	296	296	296	296	296	296
Entalpia Interna	296	296	296	296	296	296	296	296	296
Temperatura Externa	309	309	304	304	304	304	304	304	309

Fonte: Autor (2025)

Observa-se que a carga de infiltração é relativamente baixa, característica comum em ambientes com poucas aberturas e vedação adequada. Ainda assim, essa parcela não deve ser desconsiderada, pois contribui para o aumento da carga total principalmente em dias de maior variação térmica externa.

3.5 CARGA TÉRMICA POR VENTILAÇÃO

A carga térmica por ventilação foi determinada conforme exigências da NBR 16401-3 (2008), que estabelece que a ventilação é a admissão controlada de ar externo para garantir a qualidade do ar interior. A Equação (5) foi utilizada.

$$Q = \frac{F_p * N + F_a * A}{1000} \quad (5)$$

Onde:

Q : carga térmica de ventilação (W)

F_p : vazão por pessoa ($\frac{m^3}{hora}$)

N : é o número de pessoas

F_a : vazão por área útil ($\frac{m^3}{h*m^2}$)

A : área útil (m^2)

A carga térmica resultante da ventilação exigida pela norma é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados da carga térmica de ventilação

Cálculo total	Valor
Carga térmica de ventilação (W)	1.346
Vazão por pessoa ($\frac{m^3}{hora}$)	3,80
Vazão por área útil ($\frac{m^3}{h*m^2}$)	0,50

Fonte: Autor (2025)

O resultado indica que a ventilação obrigatória pela norma representa uma parcela relevante da carga térmica total, destacando a importância de sistemas de renovação de ar eficientes. Esse componente garante a qualidade do ar interior, mesmo implicando em aumento da carga térmica sensível.

3.6 CARGA TÉRMICA DOS EQUIPAMENTOS

Segundo a NBR 16401-1 (2008), equipamentos instalados nos ambientes, como computadores, impressoras, iluminação e máquinas diversas, constituem fontes internas de calor que devem ser incluídas no cálculo da carga térmica. A tabela 10 apresenta a carga térmica correspondente ao conjunto de equipamentos eletrônicos presentes no escritório. Esses valores foram obtidos multiplicando-se a potência dissipada (W) de cada equipamento pela sua quantidade no ambiente.

Os valores de carga térmica dos equipamentos são determinados pela multiplicação entre a quantidade de equipamentos e a respectiva taxa de dissipação de calor (W) de cada um, as taxas de dissipação de calor podem ser obtidas através das tabelas C.3, C.4 e C.5 da NBR 16401-1 (2008). Os valores de dissipação térmica de cada equipamento são mostrados na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultados da carga térmica dos equipamentos

Cálculo total	Valor
Carga térmica dos equipamentos (W)	13.660
Carga térmica notebook (W)	4.725
Carga térmica calor monitor (W)	5.040
Carga térmica calor celular (W)	3.465
Carga térmica impressora (W)	430

Fonte: Autor (2025)

A elevada contribuição dos equipamentos confirma que ambientes de escritório com grande concentração de dispositivos eletrônicos apresentam cargas internas significativas. Esse fator reforça a necessidade de considerar variações de uso e possíveis estratégias de gestão energética.

3.7 CARGA TÉRMICA DAS PESSOAS

A penúltima contribuição interna é a carga térmica dos ocupantes. Baseado na atividade metabólica típica de escritório, cada pessoa gera calor sensível e latente. O valor total foi obtido multiplicando-se o calor por pessoa pelo número máximo de ocupantes. Os resultados estão apresentados na Tabela 10. Os valores de calor sensível e calor latente podem ser encontrados na tabela C.1 da NBR 16401-1 (2008).

Tabela 10 – Resultados da carga térmica das pessoas

Cálculo total	Valor
Carga térmica das pessoas (W)	8.190
Calor latente (W)	55
Calor sensível (W)	75

Fonte: Autor (2025)

O calor sensível e latente gerado pelos ocupantes representa uma parcela importante da carga interna, especialmente em ambientes com alta densidade de pessoas. Esses valores mostram a necessidade de considerar padrões reais de ocupação para evitar subdimensionamento dos sistemas.

3.8 CARGA TÉRMICA DE ILUMINAÇÃO

A última contribuição é a carga térmica do sistema de iluminação utilizado, sendo encontrada através da multiplicação da quantidade de lâmpadas pela potência unitária de cada uma, para o caso estudo o resultado pode ser encontrado na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultados da carga térmica de iluminação

Cálculo total	Valor
Carga térmica de iluminação (W)	3.600
Potência das lâmpadas (W)	80

Fonte: Autor (2025)

A carga decorrente da iluminação, embora menor que a dos equipamentos e ocupantes, contribui de forma constante durante o período de operação. Esse componente destaca a relevância da escolha de luminárias eficientes e da adoção de estratégias de controle de uso.

3.9 CARGA TÉRMICA TOTAL

A soma de todas as cargas resulta no valor final necessário para o dimensionamento do sistema de climatização. A Tabela 12 apresenta o consolidado.

Tabela 12 – Resumo dos resultados de carga térmica

Cargas térmicas	Valor
Radiação (W)	22.754
Infiltração (W)	170
Ventilação (W)	1.346
Equipamentos (W)	13.660
Pessoas (W)	8.190
Iluminação (W)	3.600

Fonte: Autor (2025).

Somando todas as cargas térmicas, encontra-se uma necessidade total de 49.720 W que, utilizando o fator de conversão conhecido de 3,412 equivale-se a 169.646 BTUs/hora.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo avaliou as condições de conforto térmico em um escritório localizado em Guarapuava-PR, aplicando métodos consolidados de cálculo de carga térmica com base em Stoecker e Jones (1985), nas normas NBR 16401 (2008) e NBR 15220 (2003) e em diretrizes complementares da ASHRAE. O desenvolvimento da planilha permitiu a análise detalhada de todas as variáveis que influenciam o desempenho térmico do ambiente, oferecendo um modelo preciso e replicável para dimensionamento de sistemas de climatização.

Os resultados indicaram que o valor da carga térmica total obtido (169.646 BTU/h) é praticamente equivalente ao valor encontrado no memorial de cálculo original da empresa, com diferença relativa de apenas 0,8% (420 W). Essa proximidade demonstra consistência e validação do modelo desenvolvido. Pequenas variações são esperadas em cálculos térmicos, considerando diferenças nas metodologias, nos parâmetros climáticos e nas simplificações adotadas para a envoltória e para as cargas internas.

Além disso, o estudo evidenciou que a ocupação variável do ambiente, o uso intensivo de equipamentos eletrônicos e a incidência solar sobre superfícies

envidraçadas têm impacto significativo sobre a carga térmica total. O monitoramento da ocupação mostrou que apenas parte dos colaboradores permanece continuamente na sala, o que indica a possibilidade de ajustes operacionais ou utilização de sistemas de controle inteligente de climatização, como sensores de presença ou sistemas VRF com automação integrada.

Outro aspecto relevante é a classificação da cidade de Guarapuava na Zona Bioclimática 4, o que reforça a necessidade de estratégias construtivas específicas, como sombreamento das aberturas, aproveitamento solar no inverno e controle rigoroso da infiltração de ar. Tais estratégias podem reduzir a dependência exclusiva do ar-condicionado, aumentando a eficiência energética e a qualidade ambiental interna.

O estudo apresenta, entretanto, algumas limitações. A análise concentrou-se apenas em um ambiente do prédio administrativo, utilizando dados climáticos históricos e estimativas de materiais construtivos. Estudos futuros podem ampliar a avaliação para todos os ambientes da empresa, incorporar medições térmicas em tempo real e utilizar softwares avançados de simulação.

Conclui-se, portanto, que o modelo desenvolvido demonstra aplicabilidade prática e alta confiabilidade, podendo ser replicado em diferentes ambientes comerciais. A utilização sistemática desses métodos contribui para projetos mais eficientes, economicamente viáveis e alinhados às normas técnicas vigentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Handbook – Fundamentals**. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

DE VECCHI, Renata; CÂNDIDO, Christhina Maria; LAMBERTS, Roberto. **Thermal history and comfort in a Brazilian subtropical climate: a “cool addiction” hypothesis**. *Ambiente Construído*, v. 16, n. 1, p. 7–20, 2016.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico: Arquitetura, Urbanismo**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

METEOBLUE. **Dados históricos simulados de clima para Guarapuava-PR**. 2025. Disponível em: <https://www.meteoblue.com>. Acesso em: 17 set. 2025.

NOGUEIRA, Gustavo. **Conforto térmico em edificações**. 2012.

SANTOS, H.; SANTOS, R.; MARTINS, R. **Condutividade térmica do concreto**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 7, n. 2, 2020. Disponível em: <https://sustenere.inf.br>. Acesso em: 13 nov. 2024.

STOECKER, Wilbert F.; JONES, Jerold W. **Refrigeração e ar-condicionado**. São Paulo: McGraw-Hill, 1985.

UNIVERSIDADE DO MINHO. **Condutividade térmica do gesso**. Revista da Universidade do Minho, n. 59, 2019. Disponível em: <https://www.civil.uminho.pt>. Acesso em: 13 nov. 2024.

UNIVERSIDADE TRISUL. **Revestimento interno em gesso**. 2021. Disponível em: <https://www.universidadetrisul.com.br>. Acesso em: 13 nov. 2024.