



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVESITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

GABRYEL SALUSTRINO FRAZÃO

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DA CARGA TÉRMICA EM UM
ESCRITÓRIO DE ENGENHARIA EM BELÉM DO PARÁ**

TUCURUÍ - PA
2025

GABRYEL SALUSTRINO FRAZÃO

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DA CARGA TÉRMICA EM UM
ESCRITÓRIO DE ENGENHARIA EM BELÉM DO PARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica do Compus de Tucuruí, como parte dos requisitos para obtenção do título Bacharel em Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Jessé Luís Padilha

TUCURUÍ - PA
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F848e Frazão, Gabryel Salustrino.
ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DA CARGA TÉRMICA EM
UM ESCRITÓRIO DE ENGENHARIA EM BELÉM DO PARÁ /
Gabryel Salustrino Frazão. — 2025.
61 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Jessé Luís Padilha
Trabalho de Conclusão (Graduação) - Universidade Federal do
Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de Engenharia
Mecânica, Tucuruí, 2025.

1. Eficiência energética. 2. Subdimensionado. 3. Conforto
térmico. 4. ABNT NBR 16401:2024. 5. ABNT NBR
16655:2019. I. Título.

CDD 620

GABRYEL SALUSTRINO FRAZÃO

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DA CARGA TÉRMICA EM UM
ESCRITÓRIO DE ENGENHARIA EM BELÉM DO PARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Mecânica do Compus de
Tucuruí, como parte dos requisitos para obtenção do
título bacharel em Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Jessé Luís Padilha

Data da aprovação: 09/09/2025

Conceito: Excelente

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Jessé Luís Padilha
FEM/CAMTUC/UFPA

Examinador Interno: Prof. Dr. Wassim Raja El Banna
FEM/CAMTUC/UFPA

Examinador Interno: Prof. Me. Arthur dos Reis Lemos Fontana
FEM/CAMTUC/UFPA

“Pois o meu jugo é suave e o meu fardo é leve.”

Bíblia Sagrada, Mateus 11:30

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir e garantir que minha jornada fosse bem-sucedida até aqui, sempre me dando forças para superar os desafios.

À minha mãe, Clélia Andrade, minha eterna fonte de inspiração e apoio. Obrigado por acreditar em mim mesmo quando eu hesitava, por me fazer enxergar meu próprio potencial e por estar ao meu lado de todas as formas possíveis. Esta conquista é, sem dúvida, também sua.

À minha avó, Edineia Lúcia, por sua generosidade e acolhimento. Sua casa foi meu abrigo, sua comida meu sustento, e suas palavras minha esperança. Sem o seu cuidado, este caminho teria sido muito mais difícil.

Ao meu irmão, João Victor, espero ser exemplo de dedicação e superação. Que suas conquistas continuem a me inspirar, e saiba que estarei sempre ao seu lado, em todos os momentos.

À minha família e aos amigos, pelo amor incondicional, pela paciência nos dias difíceis e pelo incentivo constante. Vocês foram meu alicerce emocional e minha rede de apoio em cada etapa dessa caminhada.

A universidade Federal do Pará, campus de Tucuruí, por proporcionar um ambiente acolhedor com experiências únicas, além de todo apoio que presta aos estudantes que com dificuldade conseguem ingressar no ensino superior.

Aos professores e colegas do curso, que enriqueceram minha formação com debates instigantes, trocas de ideias valiosas e experiências que levarei comigo por toda a vida.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma maneira, fizeram parte desta trajetória. Cada gesto, cada palavra e cada ensinamento contribuíram para que este trabalho se tornasse realidade. Meu sincero e profundo agradecimento.

RESUMO

O advento da tecnologia nos possibilitou controlar termicamente os ambientes em que trabalhamos. O presente trabalho consiste em apresentar detalhadamente o estudo de caso no qual consiste em analisar a carga térmica de um escritório de engenharia no município de Belém, localizado no estado do Pará. O escritório possui área total de 58,77 m² e sua fachada é orientada para o leste. Este trabalho foi desenvolvido em conformidade com as diretrizes estabelecidas pelas normas ABNT NBR 16401:2024 e ABNT NBR 16655:2019. Nos cálculos efetuados, foram considerados as formas de transferências de calor, incluindo: condução térmica por superfícies opacas, ganho de calor por radiação solar, carga térmica por renovação do ar, infiltração de ar externo, bem como cargas internas decorrente das pessoas, iluminação e equipamentos. A carga térmica total apurada foi de 65.601,41 BTU/h. Verificou-se que a principal fonte de ganho térmico corresponde à transferência de calor por condução. Com base nessa constatação, foi possível realizar um comparativo dos resultados obtidos com os equipamentos instalados nos ambientes, evidenciando, assim, o subdimensionamento do sistema. Os resultados obtidos evidenciam a relevância de um dimensionamento adequado do sistema de climatização, com o objetivo de atingir o conforto térmico, a eficiência energética e a qualidade do ar.

Palavras-chave: eficiência energética; subdimensionado; conforto térmico; ABNT NBR 16401:2024, ABNT NBR 16655:2019.

ABSTRACT

The advent of technology has enabled thermal control of the environment in which we work. This study presents a detailed case analysis of the thermal load in an engineering office located in the city of Belém, in the state of Pará, Brazil. The office has a total area of 58.77 m², with its façade oriented to the east. The study was conducted in accordance with the guidelines established by standards ABNT NBR 16401:2024 and ABNT NBR 16655:2019. The calculations considered various modes of heat transfer, including thermal conduction through opaque surfaces, heat gain from solar radiation, thermal load due to air renewal, infiltration of external air, as well as internal loads from occupants, lighting, and equipment. The total thermal load calculated was 65,601.41 BTU/h. It was found that the primary source of heat gain was thermal conduction. Based on this finding, a comparison was made between the calculated results and the performance of the equipment installed in the environment, revealing an undersized HVAC system. The results highlight the importance of proper HVAC system sizing to ensure thermal comfort, energy efficiency, and indoor air quality.

Keywords: energy efficiency; undersized; thermal comfort; ABNT NBR 16401:2024, ABNT NBR 16655:2019.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Fontes de Calor para o Cálculo da Carga Térmica.	19
Figura 2. Transferência de Calor por Condução.....	20
Figura 3. Carga térmica por Insolação.....	24
Figura 4. Carga térmica por Infiltração do ar.	28
Figura 5. Troca de calor entre o corpo humano e o ambiente.	31
Figura 6. Carga térmica proveniente da iluminação.....	33
Figura 7. Carga térmica gerada por equipamentos eletrônicos.	35
Figura 8. Localização por satélite do edifício na cidade de Belém-PA.....	37
Figura 9. Fachada do edifício na cidade de Belém-PA.	38
Figura 10. Planta baixa do escritório.	39
Figura 11. Janela de vidro temperado do escritório.....	40
Figura 12. Representação percentual da distribuição da carga térmica total do escritório.	54
Figura 13. Carga térmica por ambiente do escritório em Watts.....	56
Figura 14. Ar condicionado Split WH Frio Consul.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Coeficientes de transmissão de calor por condução através de superfícies opacas (paredes, pisos, lajes e telhados).....	21
Tabela 2. Coeficientes de transmissão de calor através de piso, parede interna e janelas.	21
Tabela 3. Diferença de temperatura para a carga de refrigeração CLTD, corrigida às 16 h.	22
Tabela 4. Fator de ganho de calor por insolação SHGF em W/m ²	25
Tabela 5. Carga de insolação – Fator de carga de resfriamento às 16 h.....	25
Tabela 6. Coeficiente de sombreamento (adimensional) para películas protetoras e sombreamento interno (cortinas).....	26
Tabela 7. Condições de temperatura e umidade do ar externo para o verão.	28
Tabela 8. Condições das temperaturas internas de referência para o verão.	29
Tabela 9. Carga térmica interna em função de pessoas.	32
Tabela 10. Carga térmica interna em função de iluminação.	34
Tabela 11. Carga térmica interna em função de equipamentos.	36
Tabela 12. Dimensões da sala técnica.	40
Tabela 13. Dimensões da coordenação técnica.	41
Tabela 14. Dimensões da administração financeiro.	41
Tabela 15. Dimensões da coordenação geral.....	41
Tabela 16. Dimensões da copa.	41
Tabela 17. Dimensões do servidor.	42
Tabela 18. Resistividade térmica dos elementos construtivos utilizados e CLTD.....	43
Tabela 19. Fatores de insolação, resfriamento e sombreamento, utilizados no estudo.	44
Tabela 20. Condições internas e externas de temperatura e umidade.	45
Tabela 21. Número de Pessoas e Esforço Físico por Ambiente Climatizado.	46
Tabela 22. Dados da potência instalada, quantidade de luminárias e o CLF.	46
Tabela 23. Dados da potência instalada, quantidade de equipamentos e o CLF.....	47
Tabela 24. Transferência de calor das paredes do escritório.	48
Tabela 25. Carga térmica devido a insolação nas janelas do escritório.	50
Tabela 26. Vazão volumétrica e mássica para cada ambiente.....	51
Tabela 27. Carga térmica por infiltração para cada ambiente.	51
Tabela 28. Carga térmica devido a pessoas nos ambientes.	52
Tabela 29. Carga térmica devido a iluminação nos ambientes.....	52

Tabela 30. Carga térmica devido aos equipamentos nos ambientes.....	53
Tabela 31. Carga térmica total por ambiente.....	54
Tabela 32. Carga térmica total em diferentes unidades.....	54
Tabela 33. Dados ar condicionado Split HW Frio Consul.	57
Tabela 34. Comparativo entre a capacidade instalada e requerida em BTU/h.	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
(Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado)

BTU - British Thermal Unit (Unidade Térmica Britânica)

CLF - Cooling Load Factor (fator de carga de resfriamento)

CLTD - Cooling Load Temperature Differences (Diferença de temperatura da carga de resfriamento)

LED - Light-Emitting Diode (diodo emissor de luz)

NBR - Norma Brasileira

PVC - polyvinyl chloride (cloreto de polivinilo)

SC - Shading Coefficient (Coeficiente de Sombreamento)

SHGF - Solar Heating Gain factor (Fator de ganho de calor por insolação)

TR - Tonelada de Refrigeração

UFPA – Universidade Federal do Pará

LISTA DE SÍMBOLOS

Q_T - Carga térmica total do local (W)

Q_{co} - Carga térmica devido a condução (W)

Q_{ins} - Carga térmica devido a insolação (W)

Q_{inf} - Carga térmica devido a infiltração (W)

$Q_{pessoas}$ - Carga térmica devido as pessoas (W)

Q_{equip} - Carga térmica devido os equipamentos (W)

Q_{ilum} - Carga térmica devido a iluminação (W)

kcal - Quilocaloria

$CLTD_r$ - Diferença de temperatura da carga de resfriamento ($^{\circ}C$)

TBS_p - Temperatura de bulbo seco de projeto ($^{\circ}C$)

TBS_{aem} - Temperatura de bulbo seco média do ar externo ao longo do dia ($^{\circ}C$)

h - Hora

s - Segundo

m - Metro

m^2 - Metro quadrado

m^3 - Metro cúbico

mm – Milímetro

W - Watts

A_s - Área da superfície (m^2)

R - Resistividade térmica da superfície ($m^2 \cdot ^{\circ}C/W$)

A_j - Área da janela (m^2)

SC - Fator de sombreamento

SHGF - Fator de ganho de calor por insolação (W/m^2)

CLF - Fator de carga de resfriamento em função do horário

Q_{ae} - Vazão de ar externo (m^3/h)

Q_{inf} - Vazão de ar externo infiltrado (m^3/h)

A_p - Área do piso (m^2)

m_{ae} - Vazão em massa de ar externo (kg/s)

ρ - Massa específica do ar externo (kg/m³)

h_{ae} - Entalpia do ar externo (kJ/kg)

h_{amb} - Entalpia do ar do ambiente (kJ/kg)

$q_{S_{pessoas}}$ - Calor sensível referente às pessoas (W)

$n^{\circ}_{pessoas}$ - Quantidade de pessoas

CS_{pessoa} - Calor sensível por pessoa, em função da atividade (W/pessoa)

$q_{l_{pessoas}}$ - Calor latente referente às pessoas (W)

ct_{pessoa} - Calor total por pessoa, em função da atividade (W/pessoa)

PS_{ilum} - Potência instalada de iluminação (W)

CS_{ilum} - Potência instalada específica (W/m²)

qs_{ilum} - Carga sensível de iluminação (W)

CL - Fator de carga de resfriamento adimensional

$q_{S_{equip}}$ - Carga sensível de equipamentos (W)

PS_{equip} - Potência instalada de equipamentos (W)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVO GERAL.....	17
2.1.1	Objetivos específicos.....	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	CARGA TÉRMICA	18
3.2	CARGA TÉRMICA DEVIDO A CONDUÇÃO	20
3.3	CARGA TÉRMICA DEVIDO A INSOLAÇÃO.....	23
3.4	CARGA TÉRMICA DEVIDO A INFILTRAÇÃO DO AR.....	27
3.5	CARGA TÉRMICA DEVIDO ÀS PESSOAS	31
3.6	CARGA TÉRMICA GERADA POR ILUMINAÇÃO E EQUIPAMENTOS	33
4	ESTUDO DE CASO.....	37
4.1	DESCRIÇÃO DA LOCALIZAÇÃO	37
4.2	DESCRIÇÃO DO LAYOUT E AMBIENTES INTERNOS	38
4.3	ESTUDO DA CARGA TÉRMICA	42
4.3.1	Carga térmica por condução	42
4.3.2	Carga térmica por insolação	43
4.3.3	Carga térmica por infiltração de ar.....	44
4.3.4	Carga térmica por pessoas.....	45
4.3.5	Carga térmica por iluminação e equipamentos.....	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
5.1	CARGA TÉRMICA POR CONDUÇÃO.....	48
5.2	CARGA TÉRMICA POR INSOLAÇÃO	49
5.3	CARGA TÉRMICA POR INFILTRAÇÃO DE AR.....	50
5.4	CARGA TÉRMICA POR PESSOAS	51
5.5	CARGA TÉRMICA POR ILUMINAÇÃO E EQUIPAMENTOS	52
5.6	CARGA TÉRMICA TOTAL	53
5.7	COMPARATIVO DOS EQUIPAMENTOS ATUALMENTE INSTALADOS.	56
6	CONCLUSÃO	59
6.1	SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS.....	59

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a refrigeração, a construção civil e a arquitetura passaram por grandes avanços. Com o desejo crescente das pessoas de viverem em ambientes termicamente confortáveis, o desenvolvimento do ar-condicionado tornou-se essencial para garantir bem-estar e qualidade de vida.

Para Broday e Xavier (2018) garantir o conforto térmico dos ocupantes, é necessário que o ambiente seja submetido ao controle adequado da carga térmica, a qual representa a quantidade de calor sensível e latente. Manter um espaço agradável contribui para o bem-estar, refletindo positivamente na produtividade e satisfação daqueles que o frequentam.

De acordo com a ASHRAE (2017), a carga térmica de um ambiente pode variar devido a diversos fatores, como a quantidade de pessoas presentes, a orientação em relação ao sol, as condições climáticas externas, os equipamentos em uso, a infiltração de ar e a transferência de calor pelas estruturas do edifício. Esses elementos tornam o cálculo da carga térmica um processo complexo, exigindo uma análise detalhada para garantir um ambiente confortável e eficiente.

Belém, apresenta características climáticas específicas, com altas temperaturas e umidade relativa do ar elevada, o que torna a instalação de sistemas de climatização indispensável para o conforto térmico. A carga térmica de um escritório de engenharia deve ser cuidadosamente calculada para evitar problemas com a eficiência do sistema de climatização, o que poderia resultar em desconforto para os ocupantes ou aumento desnecessário do consumo de energia.

O projeto de climatização de qualquer ambiente deve estar alinhado às normas técnicas vigentes, como a ABNT NBR 16401-2024 e a ABNT NBR 16655-2019, que orienta sobre o conforto térmico para 80% dos ocupantes do local. Embora seja impossível garantir conforto térmico absoluto para todos, as medidas tomadas devem buscar a satisfação do maior número de pessoas possível. Além disso, o uso adequado do sistema de climatização pode evitar o sobrecusto com equipamentos superdimensionados ou subdimensionados, que comprometeriam tanto a eficiência energética quanto o custo operacional do sistema.

O presente trabalho tem por objetivo atingir a necessidade do conforto térmico em um ambiente através de uma análise detalhada das características específicas do ambiente, levando em consideração não apenas os aspectos técnicos, mas também as preferências e necessidades dos ocupantes.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo analisar os variados fatores que afetam a carga térmica em ambientes climatizados. Para isso, serão analisados aspectos como as condições externas e internas de temperatura e umidade, a localização geográfica e sua influência na incidência solar, o número de pessoas e equipamentos presentes no espaço, além da renovação e qualidade do ar.

2.1.1 Objetivos específicos

- Caracterizar o local do estudo de caso, apresentando e analisando os dados do ambiente;
- Calcular a carga térmica utilizando as normas vigentes;
- Analisar se os aparelhos presentes no recinto atendem as condições de conforto do ambiente.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CARGA TÉRMICA

Segundo Creder (2004), carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente, geralmente expressa em BTU/h, ou kcal/h, que deve ser retirada ou colocada no recinto a fim de proporcionar as condições de conforto desejadas. Para Creder (2004), essa carga térmica pode ser introduzida no recinto a condicionar por condução, insolação, dutos, pessoas, equipamentos, infiltração e ventilação.

É fundamental determinar com precisão a carga térmica, para o dimensionamento correto dos sistemas de climatização. Um sistema com dimensionamento inadequado, seja subdimensionado ou superdimensionado, apresenta problemas significativos: o primeiro não será capaz de garantir o conforto térmico, enquanto o segundo resultará em desperdício de energia e aumento de custos.

O cálculo da carga térmica estabelece a capacidade necessária dos sistemas de aquecimento e resfriamento, influenciando diretamente a performance operacional e os custos de energia. Além disso, uma avaliação precisa da carga térmica é essencial para promover práticas sustentáveis, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa relacionadas ao consumo energético.

De acordo com a ABNT (2024), o processo de condicionamento de ar envolve a transferência de calor. O calor latente é quando o vapor de água evapora ou condensa, produzindo uma variação de umidade do ar sem alteração da temperatura. Já o calor sensível é quando a umidade do ar não sofre mudança de fase, porém sua temperatura sofre uma alteração.

Para Pena (2002), a localização da cidade da edificação influencia nas temperaturas externas ambientes, acarretando maiores ou menores cargas por condução, através de paredes ou outros elementos externos da construção. De acordo com a ASHRAE (2017), a energia absorvida pelas paredes, piso, móveis, etc., contribui para a carga de resfriamento somente após um intervalo de tempo, podendo esta energia ainda ser irradiada mesmo que encerrada a fonte de calor original.

No dia a dia, a carga térmica de um local pode apresentar diversas variações devido à sua posição em relação ao sol, infiltração, temperaturas externas, taxa de ocupação e outros fatores. Sendo esse um cálculo minucioso, é necessário para o dimensionamento correto da carga térmica e escolha dos equipamentos adequados para o local.

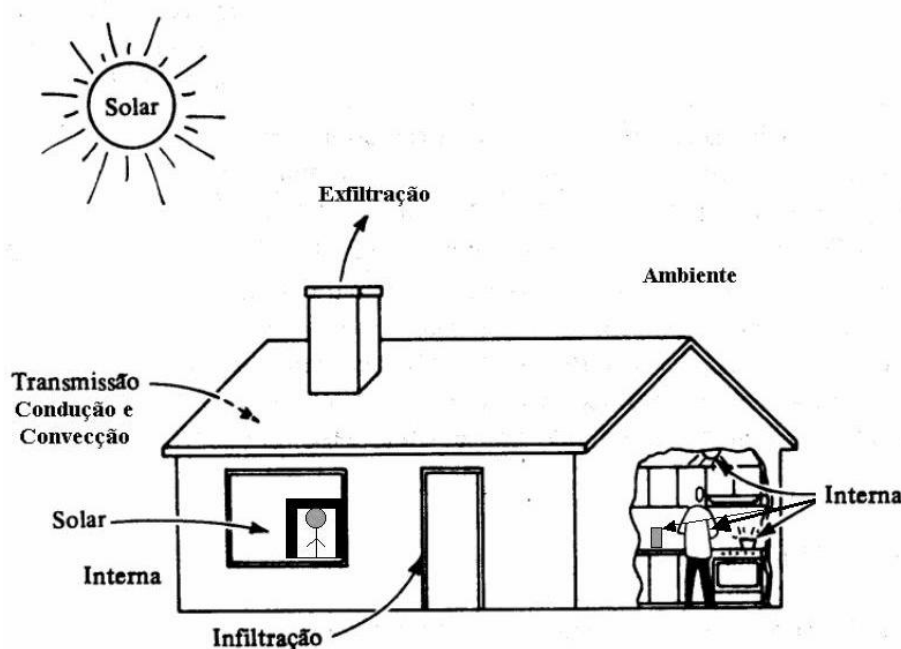
Para tal cálculo utilizou-se da norma ABNT (2024) para sistemas com zona única ou pequeno número de zonas, admitindo o método da ASHRAE CLTD/CLF – Cooling Load Temperature Difference / Cooling Load Factor, que consiste em tabelas de fatores e coeficientes pré-calculados para construções e situações típicas. A carga térmica é calculada levando em consideração a carga devido: condução, insolação, infiltração, pessoas, equipamentos e iluminação, como mostra a Equação 1 a seguir:

$$QT = Q_{co} + Q_{ins} + Q_{inf} + Q_{pessoas} + Q_{equip} + Q_{ilum} \quad (1)$$

Onde

- QT = Carga térmica total do local (W);
- Q_{co} = Carga térmica devido a condução (W);
- Q_{ins} = Carga térmica devido a insolação (W);
- Q_{inf} = Carga térmica devido a infiltração (W);
- $Q_{pessoas}$ = Carga térmica devido as pessoas (W);
- Q_{equip} = Carga térmica devido os equipamentos (W);
- Q_{ilum} = Carga térmica devido a iluminação (W).

Figura 1. Fontes de Calor para o Cálculo da Carga Térmica.

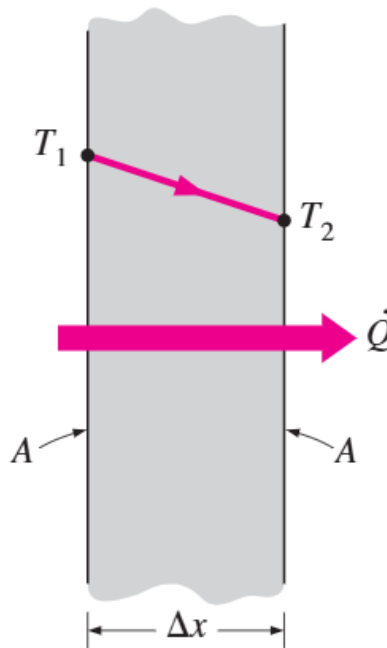


Fonte: MENEZES (2010)

3.2 CARGA TÉRMICA DEVIDO A CONDUÇÃO

Do ponto de vista de Kreith (2014), a condução é o processo pelo qual a transferência de calor ocorre entre uma extremidade quente de um meio (geralmente sólido) para a extremidade mais fria, através da troca de energia intermolecular. A condução de calor ocorre devido às interações entre as partículas de uma substância, podendo ser interpretada como a transferência de energia de partículas mais energéticas para as menos energéticas. Como aponta Incropera (2014) sendo assim, temperaturas mais altas estão diretamente associadas às energias moleculares mais elevadas.

Figura 2. Transferência de Calor por Condução.



Fonte: CENGEL e GHAJAR (2012)

A determinação dos coeficientes de transferência de calor por condução é influenciada pela disposição e espessura dos materiais empregados na construção de paredes, pisos e lajes de um recinto. Esses coeficientes podem ser encontrados no ASHRAE Handbook-Fundamentals (2017), que serve como referência para o cálculo de carga térmica. As Tabelas 1 e 2 subsequentes ilustram os arranjos de materiais mais frequentemente utilizados para o cálculo do coeficiente de transmissão de calor por condução.

Tabela 1. Coeficientes de transmissão de calor por condução através de superfícies opacas (paredes, pisos, lajes e telhados).

Elementos de construção–Características físicas			Parede externa	Laje externa+ espessura ar	Laje externa+ isolamento
Elemento construtivo	Espessura m	Coeficiente de condutibilidade k W/(m . °C)	Resistividade térmica (m ² .°C)/W	Resistividade térmica (m ² .°C)/W	Resistividade térmica (m ² .°C)/W
Filme do ar externo	Não	0	0,044	0,044	0,044
Reboque + pintura	0,025	0,73	0,034	0	0
Bloco de concreto	0,200	1,04	0,192	0	0
Concreto laje maciça e contrapiso	0,150	1,9	0	0,079	0,079
Drywall Gesso	0,070	0,46	0	0,152	0
Vidro	0,006	0,76	0	0	0
Espaço de ar	Não	0	0	0,160	0
Isolamento 25 mm lâ de vidro	0,025	0,032	0	0	0,78125
Reboque + pintura	0,025	0,73	0,034	0,034	0
Filme de ar interno	não	0	0,121	0,121	0
Total	0	0	0,426	0,590	0,904

Fonte: ABNT (2019)

Tabela 2. Coeficientes de transmissão de calor através de piso, parede interna e janelas.

Elemento construtivo	Piso/Laje interna	Parede interna	Janela externa simples	Janela externa cortina
	Resistividade térmica (m ² .°C)/W	Resistividade térmica (m ² .°C)/W	Resistividade térmica (m ² .°C)/W	Resistividade térmica (m ² .°C)/W
Filme do ar externo	0	0	0,044	0,044
Concreto laje maciça e contrapiso	0,079	0	0	0
Drywall	0	0,152	0	0
Vidro	0	0	0,008	0,016
Espaço de ar (vidro duplo)	0	0	0	0,16
Filme de ar interno	0,242	0,242	0,121	0,121
Total	0,321	0,394	0,173	0,341

Fonte: ABNT (2019)

Para os elementos construtivos que não estão especificados nas Tabelas 1 e 2, é necessário realizar o cálculo conforme as diretrizes do ASHRAE Handbook-Fundamentals (2017). Além disso, deve-se desconsiderar as paredes que separam ambientes com a mesma temperatura.

De acordo com a ABNT (2019), na elaboração de projetos e na determinação das diferenças de temperatura para a carga térmica de refrigeração (CLTD), é importante considerar uma série de condições. Estas incluem a latitude, a orientação do edifício, o mês do ano, as temperaturas de bulbo seco externas e internas, o horário, bem como as características construtivas do edifício. Tais fatores são essenciais para a definição de condições de projeto precisas. A Tabela 3 a seguir apresenta os valores das diferenças de temperatura para a carga de resfriamento em algumas capitais brasileiras, considerando suas respectivas orientações.

Tabela 3. Diferença de temperatura para a carga de refrigeração CLTD, corrigida às 16 h.

Condição	Valor de referência °C	Cidade				
		Belém, PA °C	Brasília, DF °C	Porto Alegre, RS °C	Rio de Janeiro, RJ °C	São Paulo, SP °C
Norte	10	11,1	15,2	11,85	11,2	9,95
Nordeste	15	16,1	20,2	16,85	16,2	14,95
Leste	19	20,1	24,2	20,85	20,2	18,95
Sudeste	20	21,1	25,2	21,85	21,2	19,95
Sul	18	19,1	23,2	19,85	19,2	17,95
Sudoeste	18	19,1	23,2	19,85	19,2	17,95
Oeste	15	16,1	20,2	16,85	16,2	14,95
Noroeste	11	12,1	16,2	12,85	12,2	10,95
Horizontal	24	25,1	29,2	25,85	25,2	23,95
Vidro	8	9,1	13,2	9,85	9,2	7,95

Fonte: ABNT (2019)

De acordo com a ABNT (2019), caso seja necessário corrigir o CLTD, deve-se utilizar a Equação 2.

$$CLTD_r = CLTD + (25 - TBS_p) + (TBS_{aem} - 29) \quad (2)$$

Onde

- $CLTD_r$ = é a diferença de temperatura da carga de resfriamento, expressa em graus Celsius (°C);
- TBS_p = é a temperatura de bulbo seco de projeto, expressa em graus Celsius (°C);
- TBS_{aem} = é a temperatura de bulbo seco média do ar externo ao longo do dia, expressa em graus Celsius (°C).

Segundo a ABNT (2019), para o cálculo da transmissão de calor por superfícies opacas, deve-se utilizar a Equação 3.

$$q_{S_{trans}} = [A_s \cdot (CLTD_r)] / R \quad (3)$$

Onde

- A_s = é a área da superfície, expressa em metros quadrados (m^2);
- $CLTD_r$ = é a diferença de temperatura para a carga de resfriamento, expressa em graus Celsius ($^{\circ}C$);
- R = é a resistividade térmica da superfície, expressa em metros quadrados, multiplicado por graus Celsius, dividida por watts ($m^2 \cdot ^{\circ}C / W$).

3.3 CARGA TÉRMICA DEVIDO A INSOLAÇÃO

Insolação é uma das principais fontes de carga térmica em ambientes, resultante da radiação solar direta que incide sobre as superfícies de um ambiente, como paredes, janelas e tetos. Segundo Creder (2004), a energia solar é a maior fonte de calor recebida pela Terra e tem um grande impacto no conforto térmico dos ocupantes de um recinto, sendo responsável por uma parte significativa da carga térmica em sistemas de ar condicionado. Na visão de Creder (2004) a quantidade de energia que penetra no ambiente depende de fatores como a capacidade das superfícies externas de refletir ou absorver calor, com superfícies mais escuras absorvendo mais energia.

Segundo Rivero (1985), a orientação da edificação é uma determinante de grande influência e que muitas vezes decide o partido arquitetônico. Para o autor, a composição de um edifício deve adequar-se às solicitações do meio exterior, de maneira a satisfazer, na melhor forma possível, as exigências térmicas do usuário. Segundo Da Silva, L. et al. (2018), a insolação representa entre 35% a 60% do consumo energético em edificações institucionais. A orientação solar, os materiais utilizados e a geometria do edifício são fatores essenciais para controlar esse impacto.

Figura 3. Carga térmica por Insolação.



Fonte: Adaptado PROJETEEE (2013)

Em decorrência do movimento aparente do sol, onde ele nasce no Leste e se põe ao Oeste, tem-se a variação da incidência solar de acordo com o horário do dia. Há fatores importantes que devem ser levados em consideração nos cálculos dessa carga térmica, como por exemplo: o ganho de calor por insolação (SHGF), fator de carga de resfriamento (CLF) apropriados e as características adicionais do edifício como localização, orientação (norte, leste, sul e oeste) e sombreamento externo devido a outras construções ou mesmo árvores.

A ABNT (2019) apresenta os valores do Fator de Ganho de Calor Solar (SHGF) para o mês de janeiro em cinco cidades brasileiras, considerando a orientação das superfícies. No entanto, a norma não especifica os horários correspondentes a esses valores.

Tabela 4. Fator de ganho de calor por insolação SHGF em W/m².

	Cidade				
	Belém, PA	Brasília, DF	Porto Alegre, RS	Rio de Janeiro, RJ	São Paulo, SP
Latitude sul (°)	1,38	17,87	30,00	22,82	23,62
Mês	Janeiro	Janeiro	Janeiro	Janeiro	Janeiro
Unidade W/m ²					
Norte	363	135	204	142	142
Nordeste	634	363	458	555	555
Leste	615	666	678	672	672
Sudeste	243	582	532	407	407
Sul	120	163	128	145	145
Sudoeste	243	582	532	407	407
Oeste	615	666	678	672	672
Noroeste	634	363	458	555	555
Horizontal	820	876	866	877	877

Fonte: ABNT (2019)

A ABNT (2019) apresenta o Fator de Carga de Resfriamento (CLF) como o coeficiente responsável por corrigir os valores de carga térmica, considerando o efeito de retardamento da incidência do calor. Esse fenômeno ocorre devido à radiação emitida por equipamentos, iluminação e pessoas, que, em função da temperatura de suas superfícies e da radiação solar, influenciam a dissipação térmica no ambiente.

Tabela 5. Carga de insolação – Fator de carga de resfriamento às 16 h.

Orientação geográfica	Fator de carga de resfriamento em função do horário (adimensional)
Norte	0,75
Nordeste	0,20
Leste	0,17
Sudeste	0,22
Sul	0,35
Sudoeste	0,81
Oeste	0,82
Noroeste	0,73
Horizontal	0,58

Fonte: ABNT (2019)

Para A grande quantidade de energia térmica que penetra nas edificações através das janelas torna comum a utilização de dispositivos de sombreamento para reduzir a incidência solar. Çengel & Ghajar (2012) classificam esses dispositivos em internos e externos. Os dispositivos internos são instalados na parte interna do ambiente e têm a função de bloquear a entrada de luz. Por outro lado, os dispositivos externos são posicionados na parte externa das janelas, impedindo a incidência direta da luz solar no recinto.

De acordo com a ABNT (2019), o coeficiente de sombreamento (SC) representa o fator de correção da radiação solar transmitida ao ambiente, considerando as características físicas do vidro, tais como propriedades ópticas de reflexão ou absorção, espessura e sua configuração construtiva.

Tabela 6. Coeficiente de sombreamento (adimensional) para películas protetoras e sombreamento interno (cortinas).

Vidro 6 mm		
Simples	Simples + cortina	Refletivo + cortina
0,87	0,55	0,30

Fonte: ABNT (2019)

Assim, a ABNT (2019) estabelece a seguinte equação para determinar o ganho de calor solar por meio dos vidros e janelas:

$$q_{s_{ins}} = A_j \cdot SC \cdot SHGF \cdot CLF \quad (4)$$

Onde

- A_j = é a área da janela, expressa em metros quadrados (m^2);
- SC = é o fator de sombreamento;
- $SHGF$ = é o fator de ganho de calor por insolação, expresso em watts por metro quadrado (W/m^2);
- CLF = é o fator de carga de resfriamento em função do horário.

3.4 CARGA TÉRMICA DEVIDO A INFILTRAÇÃO DO AR

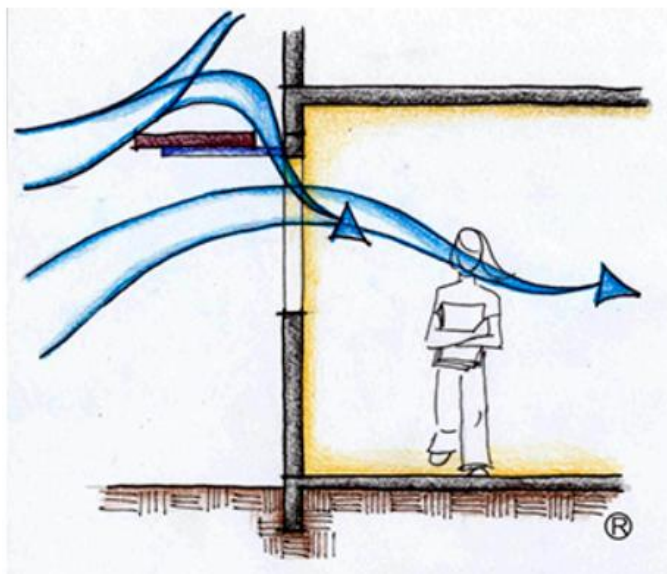
A renovação do ar ambiente é essencial para o conforto térmico e a qualidade do ar, pois dissipa o calor e reduz a concentração de gases da expiração humana, prevenindo sintomas como dor de cabeça e sonolência. Como indica Sander (2017), esse processo pode ocorrer por meio de equipamentos mecânicos, como filtros de ar e ventiladores, ou por métodos naturais, como a abertura de portas e janelas para recirculação do ar.

Segundo Westphal (2002), o termo “ventilação” refere-se à quantidade de ar externo necessária para garantir condições saudáveis e confortáveis dentro de um ambiente, e é especificado durante o projeto do sistema de condicionamento de ar. Na concepção de Westphal (2002), a “infiltração” é a entrada não planejada de ar externo através de aberturas e frestas, que frequentemente apresenta condições diferentes das do ar interno, comprometendo o desempenho do sistema de climatização.

A ABNT (2024) define que infiltração é o fluxo de ar externo que entra em uma edificação esse fato ocorre devido a pequenas aberturas entre as janelas e portas ou até paredes e o teto do ambiente e essa penetração permite a adição de carga térmica sensível ou latente.

O Creder (2004), diz que ainda que essa carga não possa ser estimada com precisão devido a variações na construção do local existem dois métodos para se calculá-los e são eles: método da fresta e o método da troca de ar. Deste modo, o método das frestas consiste em utilizar valores experimentais esses dados tabelados são em função da quantidade de ar média que passa pelas aberturas, já o método da troca de ar consiste pela troca de ar do recinto por hora nesse método deve ser considerado fatores como a área do local e seu número de janelas. Nesse estudo, será utilizado o método da troca de ar.

Figura 4. Carga térmica por Infiltração do ar.



Fonte: Adaptado PROJETEEE (2013)

A seguir, na Tabela 7 é apresentada as condições do ar externo para o verão de algumas cidades e referências do Brasil, mostrando sua altitude, temperatura máxima de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido coincidente, umidade absoluta, volume específico e entalpia.

Tabela 7. Condições de temperatura e umidade do ar externo para o verão.

Cidade	Altitude m	Temperatura máxima de bulbo seco °C	Temperatura de bulbo úmido coincidente °C	Umidade absoluta kg de vapor /kg ar seco	Volume específico m³/kg	Entalpia kJ/kg
Belém	16	33,2	25,9	0,0182	0,895	79,87
Brasília	1060	32,2	17,1	0,0082	0,995	53,32
Porto Alegre	3	34,7	24,6	0,0186	0,898	82,43
Recife	10	34,0	27,1	0,0199	0,899	85,20
Rio de Janeiro	3	34,1	25,2	0,0166	0,894	76,72
São Paulo	802	32,1	20,4	0,0117	0,970	62,29
Teresina	67	38,2	23,5	0,0123	0,907	69,95
Referência 1	50	35,0	25,0	0,0160	0,901	76,13
Referência 2	750	35,0	25,0	0,0178	0,982	80,78

NOTA Os valores de referência podem ser usados em caso de dúvida da cidade equivalente em termos de clima.

Fonte: ABNT (2019)

Posteriormente, na Tabela 8 é apresentada as condições das temperaturas internas de referência para o verão, mostrando o ar interno, altitude, temperatura de bulbo seco, umidade relativa, pressão atmosférica, umidade absoluta, volume específico e entalpia.

Tabela 8. Condições das temperaturas internas de referência para o verão.

Ar interno	Altitude m	Temperatura de bulbo seco °C	Umidade relativa %	Pressão atmosférica Kpa	Umidade absoluta kg/kg	Volume específico m³/kg	Entalpia kJ/kg
Condição 1	50	24,0	50,0	100,73	0,0094	0,860	47,92
Condição 2	50	26,0	50,0	100,73	0,0106	0,867	53,03
Condição 3	500	24,0	50,0	95,46	0,0099	0,908	49,25
Condição 4	500	26,0	50,0	95,46	0,0112	0,916	54,54
Condição 5	750	24,0	50,0	92,63	0,0102	0,936	50,03
Condição 6	750	26,0	50,0	92,63	0,0115	0,944	55,43
Condição 7	1000	24,0	50,0	89,87	0,0105	0,965	50,84
Condição 8	1000	26,0	50,0	89,87	0,0119	0,974	56,34

NOTA As condições de temperatura de bulbo seco de 26 °C são consideradas como valores para instalações de menor custo inicial e operacional (energia elétrica) sem a perda do conforto.

Fonte: ABNT (2019)

Conforme a norma ABNT (2019), deve-se considerar o valor mínimo recomendado para a vazão de ar externo infiltrado em ambientes residenciais é de 1 L/s.m² (3,6 m³/h.m²). Além disso, a determinação dessa vazão deve ser realizada com base na Equação 5, apresentada a seguir.

$$Q_{ae} = Q_{inf} \cdot A_p \quad (5)$$

Onde

- Q_{ae} = é a vazão de ar externo, expresso em metros cúbicos por hora (m³/h);
- Q_{inf} = é a vazão de ar externo infiltrado ou de renovação expresso em metro cúbicos por hora (m³/h) por metro quadrado de piso (m² de piso);
- A_p = é a área do piso, expressa em metro quadrado (m²).

A determinação da vazão de massa de ar infiltrado ou de renovação depende da vazão de ar externo calculada na Equação (5), apresentada a seguir na Equação 6.

$$m_{ae} = Q_{ae} \cdot (1/3600) \cdot \rho \quad (6)$$

Onde

- m_{ae} = é a vazão em massa de ar externo, expressa em quilograma por segundo (kg/s);
- Q_{ae} = é a vazão em volume de ar externo, expressa em metro cúbico por hora (m^3/h);
- $(1h/3600)$ = é a transformação de metros cúbicos por hora em metros cúbicos por segundo (m^3/h em m^3/s).
- ρ = é a massa específica do ar externo, expressa em quilograma por metro cúbico (kg/m^3).

O cálculo do calor total externo pode ser realizado com base na Equação 7, apresentada a seguir.

$$qt_{ae} = m_{ae} \cdot (h_{ae} - h_{amb}) \quad (7)$$

Onde

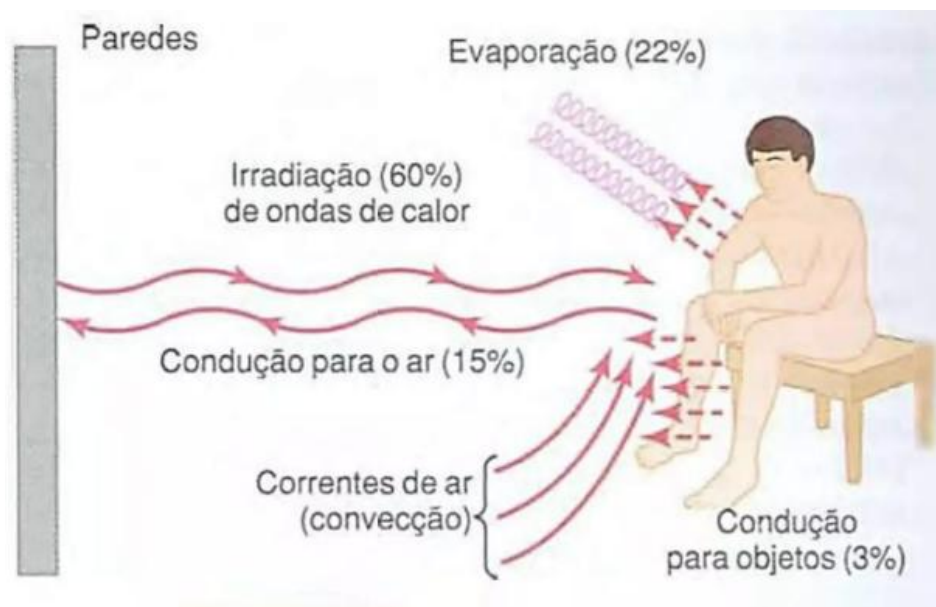
- m_{ae} = é a vazão em massa de ar externo, expressa em quilograma por segundo (kg/s);
- h_{ae} = é a entalpia do ar externo, expressa em quilo joule por quilograma (kJ/kg);
- h_{amb} = é a entalpia do ar do ambiente, expressa em quilo joule por quilograma (kJ/kg).

3.5 CARGA TÉRMICA DEVIDO ÀS PESSOAS

O ganho de calor gerado pela presença de pessoas em um ambiente é composto por dois componentes: calor sensível e calor latente. A proporção de cada um influencia diretamente a velocidade com que a carga térmica é impactada pela ocupação. Segundo McQuiston, Parker e Spitler (2005), tanto o ganho total de calor quanto a distribuição entre os componentes variam conforme o tipo e a intensidade da atividade realizada. Consequentemente, quanto maior for o nível de atividade, maior será a carga térmica, uma vez que o calor latente se converte imediatamente em carga térmica.

De acordo com Magalhães *et al* (2001) o vestuário minimiza as perdas de calor por condução e convecção ao permitir a criação de uma camada de ar, não renovada, junto à superfície corporal. Contudo, esta capacidade perde-se quando as roupas se tornam molhadas ou húmidas. Conforme Çengel e Ghajar (2011), que destacam a influência das vestimentas na percepção do conforto térmico. De acordo com suas análises, indivíduos trajados tendem a necessitar de uma temperatura ambiente mais baixa para atingir a sensação de conforto, enquanto aqueles sem vestimentas requerem uma temperatura mais elevada para alcançar o mesmo nível de bem-estar térmico.

Figura 5. Troca de calor entre o corpo humano e o ambiente.



Fonte: DEL VECCHIO (2013)

A seguir na tabela 9, será apresentada a carga térmica interna em função das atividades das pessoas de acordo com a ABNT (2019).

Tabela 9. Carga térmica interna em função de pessoas.

Atividade	Calor sensível	Calor total	CLF
	W/pessoa	W/pessoa	Adimensional
Pessoas sentadas, trabalho leve	75	150	1
Dançando	120	375	–

NOTA O calor total de pessoa é igual à soma da parcela de calor sensível e de calor latente.

Fonte: ABNT (2019)

O calor total gerado por indivíduos é determinado pela soma do calor sensível e do calor latente. Conforme estabelecido pela norma ABNT (2019), as equações apresentadas, especificamente as Equações 8 e 9, permitem calcular a carga térmica interna associada à presença de pessoas em um ambiente.

$$q_{S_{\text{pessoas}}} = n^{\circ}_{\text{pessoas}} \cdot CS_{\text{pessoa}} \cdot CLF \quad (8)$$

Onde

- $q_{S_{\text{pessoas}}}$ = é o calor sensível referente às pessoas, expressa em watts (W);
- $n^{\circ}_{\text{pessoas}}$ = é a quantidade de pessoas;
- CS_{pessoa} = é o calor sensível por pessoa, em função da atividade, expresso em watts por pessoa (W/pessoa);
- CLF = é o fator de carga de resfriamento adimensional.

$$q_{l_{\text{pessoas}}} = n^{\circ}_{\text{pessoas}} \cdot (ct_{\text{pessoa}} - CS_{\text{pessoa}}) \quad (9)$$

Onde

- $q_{l_{\text{pessoas}}}$ = é o calor latente referente às pessoas, expressa em watts (W);
- $n^{\circ}_{\text{pessoas}}$ = é a quantidade de pessoas;
- ct_{pessoa} = é o calor total por pessoa, em função da atividade, expresso em watts por pessoa (W/pessoa);
- CS_{pessoa} = é o calor sensível por pessoa, em função da atividade, expresso em watts por pessoa (W/pessoa).

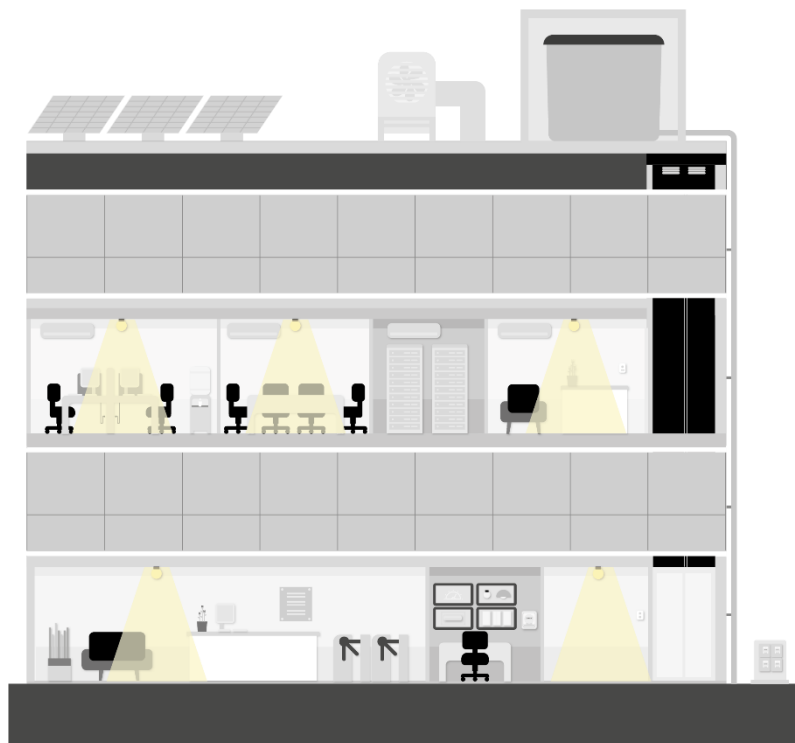
3.6 CARGA TÉRMICA GERADA POR ILUMINAÇÃO E EQUIPAMENTOS

A carga térmica interna de um ambiente é influenciada por diversas fontes de calor, incluindo iluminação e equipamentos elétricos. Esses elementos contribuem significativamente para o dimensionamento de sistemas de climatização, sendo essencial considerar seus efeitos no conforto térmico e na eficiência energética dos espaços.

Para Frota e Schiffer (2001) a conversão de energia elétrica em luz gera calor sensível. Esse calor é dissipado, por radiação, para as superfícies circundantes, por condução, através dos materiais adjacentes, e por convecção para o ar.

A iluminação artificial gera calor devido à dissipação de energia elétrica. A quantidade de calor emitida depende do tipo de lâmpada utilizada e de sua potência. Segundo Menezes (2005), lâmpadas incandescentes possuem uma eficiência térmica elevada, convertendo grande parte da energia consumida em calor, enquanto lâmpadas fluorescentes e LED apresentam menor impacto térmico devido à sua maior eficiência energética.

Figura 6. Carga térmica proveniente da iluminação.



Fonte: MITSIDI PROJETOS (2024)

De acordo com a norma ABNT (2019) na Tabela 10 é mostrada as cargas relativas à iluminação, a potência por m^2 e o fator de carga de resfriamento CLF.

Tabela 10. Carga térmica interna em função de iluminação.

Cargas internas	Potência por m²	Fator de carga de resfriamento CLF
Iluminação	W/m²	Admencional
Escritório	12	1
Sala de jantar	23	1
Quartos de dormir	10	1

NOTA Os valores dessa tabela correspondem a uma densidade de potência de iluminação em W/m².

Fonte: ABNT (2019)

No caso conhecida a potência instalada no recinto, recomenda-se a utilização deste valor. Consideram como fator de carga de resfriamento (CLF) o valor 1.

Segundo a norma ABNT (2019), a potência instalada de iluminação deve ser calculada conforme as Equações 10.

$$P_{S_{ilum}} = A_p \cdot c_{S_{ilum}} \quad (10)$$

Onde

- $P_{S_{ilum}}$ = é potência instalada de iluminação, expressa em watts (W);
- A_p = é a área do piso expressa em metros quadrados (m²);
- $c_{S_{ilum}}$ = é a potência instalada específica, expressa em watts por metro quadrado (W/m²).

De acordo com a norma ABNT (2019), a carga sensível de iluminação deve ser calculada conforme as Equações 11.

$$q_{S_{ilum}} = P_{S_{ilum}} \cdot CLF \quad (11)$$

Onde

- $q_{S_{ilum}}$ = é a carga sensível de iluminação, expressa em watts (W);
- $P_{S_{ilum}}$ = é potência instalada de iluminação, expressa em watts (W);
- CLF = é o fator de carga de resfriamento adimensional.

Os equipamentos elétricos também contribuem para o aumento da carga térmica interna. De acordo com Stoecker & Jones (1985), a dissipação de calor por equipamentos depende da potência nominal e do tempo de operação. Equipamentos como computadores, impressoras e eletrodomésticos geram calor sensível, enquanto alguns dispositivos podem liberar calor latente devido à evaporação de líquidos ou processos térmicos internos.

O calor dissipado por motores para o ambiente é função de sua potência e de suas características. Como sustenta Frota e Schiffer (2001), no que se refere aos equipamentos, adota-se como calor cedido ao ambiente cerca de 60% da potência nominal dos aparelhos elétricos, a não ser, é claro, no caso de aparelhos cuja função seja aquecer, como secador de cabelo, aquecedor de ambiente etc.

Figura 7. Carga térmica gerada por equipamentos eletrônicos.



Fonte: MITSIDI PROJETOS (2024)

Conforme a norma ABNT (2019) nos fornece os dados referentes a potência, o fator de carga de resfriamento e as cargas térmicas relativas dos equipamentos de televisão e computador desktop. As informações a seguir estão devidamente apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11. Carga térmica interna em função de equipamentos.

Equipamentos	W	W/ equipamentos W	Fator de carga de resfriamento CLF Adimensional	Carga térmica W
Televisão 40 polegadas	250	250	0,8	200
Computador desktop	135	135	0,8	108

NOTA O fator de carga de resfriamento CLF pode ser alterado em função do uso do equipamento considerado.

Fonte: ABNT (2019)

Para o calcular a carga sensível dos equipamentos, devemos levar em conta a carga de resfriamento (CLF) para cada equipamento, podendo se alterar em função do uso ABNT (2019).

$$q_{S_{\text{equip}}} = P_{S_{\text{equip}}} \cdot \text{CLF} \quad (12)$$

Onde

- $q_{S_{\text{equip}}}$ = é a carga sensível de equipamentos, expressa em watts (W);
- $P_{S_{\text{equip}}}$ = é potência instalada de equipamentos, expressa em watts (W);
- CLF = é o fator de carga de resfriamento adimensional.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 DESCRIÇÃO DA LOCALIZAÇÃO

O objetivo do estudo corresponde a um escritório situado no terceiro andar em um edifício comercial na cidade de Belém. Analisou-se a planta baixa do escritório, bem como o levantamento dos dados essenciais para o cálculo da carga térmica. As Figuras 8 e 9, apresentadas a seguir, correspondem à imagem do edifício comercial obtida por satélite e à vista externa do local de estudo, respectivamente.

Figura 8. Localização por satélite do edifício na cidade de Belém-PA.



Fonte: GOOGLE (2025)

Figura 9. Fachada do edifício na cidade de Belém-PA.



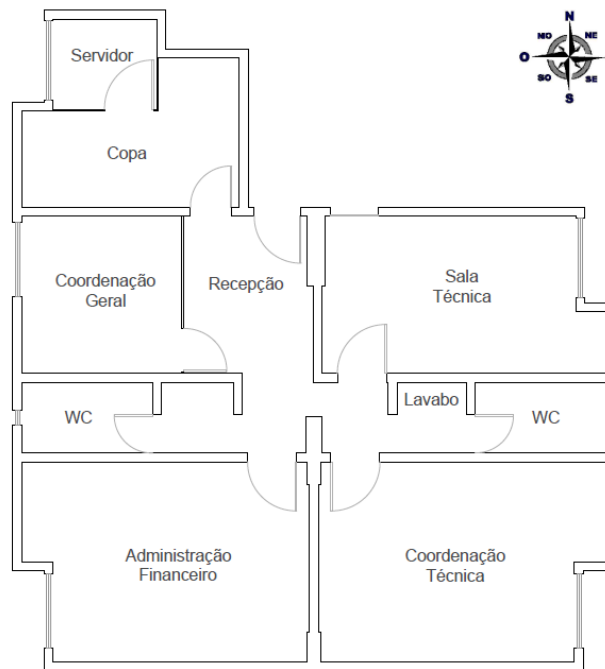
Fonte: GOOGLE (2025)

Para a realização dos cálculos de carga térmica, foi levado em conta o ambiente do escritório, subdividido em salas, considerando que a temperatura interna das partes não climatizadas se mantém relativamente estável. Além disso, foi estabelecido que as paredes são homogêneas, possuindo os mesmos coeficientes de transmissão de calor, materiais e coloração, salvo aquelas construídas em Drywall, que constituem uma exceção. Ademais, os vidros de todas as janelas apresentam características uniformes e dimensões semelhantes, garantindo coerência na análise térmica do espaço.

4.2 DESCRIÇÃO DO LAYOUT E AMBIENTES INTERNOS

O levantamento inicial da área de estudo foi conduzido com o objetivo de permitir uma avaliação detalhada das características físicas do local. Realizou-se uma visita in loco, durante a qual foram efetuadas medições e observações abrangentes do espaço. O objetivo foi coletar informações relevantes, tais como os horários de funcionamento, o número de equipamentos eletrônicos presentes, bem como a composição dos materiais empregados na construção do escritório. A planta baixa apresentada a seguir ilustra a disposição interna do ambiente, incluindo os diferentes recintos, como coordenação técnica, administração financeira, sala técnica, coordenação geral, copa e servidor.

Figura 10. Planta baixa do escritório.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Informações essenciais para o desenvolvimento do projeto puderam ser obtidas, como as dimensões das paredes, a quantidade de janelas e suas respectivas posições. O ambiente apresenta um pé-direito de 2,80 metros e conta com uma porta de acesso logo na entrada, sendo a mesma de saída. Todas as janelas do local são de vidro temperado, todas possuem persianas verticais de PVC, com dimensões padronizadas de 1,35 x 0,95 metro, e as lâmpadas seguem um padrão uniforme, conforme ilustrado na figura 11 a seguir.

Figura 11. Janela de vidro temperado do escritório.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Conforme a norma ABNT (2019), para a realização deste estudo, é necessário determinar a área das paredes externas do edifício do escritório, considerando a área total da parede descontada a área correspondente às janelas. Além disso, segundo a mesma norma, as áreas das portas não serão consideradas no cálculo. Por fim, as dimensões das áreas das paredes de cada sala do escritório estão especificadas nas Tabelas 12, 13, 14, 15, 16 e 17.

Tabela 12. Dimensões da sala técnica.

Sala técnica	Comprimento m	Altura m	Área m²
Parede Norte	4,19	2,80	11,73
Parede Leste	2,63	2,80	7,36
Janela Leste	1,35	0,95	1,28
Parede Sul	4,74	2,80	13,27
Parede Oeste	2,63	2,80	7,36

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Tabela 13. Dimensões da coordenação técnica.

Coordenação técnica	Comprimento m	Altura m	Área m²
Parede Norte	4,76	2,80	13,33
Parede Leste	3,34	2,80	9,35
Janela Leste	1,35	0,95	1,28
Parede Sul	4,24	2,80	11,87
Parede Oeste	3,34	2,80	9,35

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Tabela 14. Dimensões da administração financeiro.

Administração financeiro	Comprimento m	Altura m	Área m²
Parede Norte	4,76	2,80	13,33
Parede Leste	3,34	2,80	9,35
Parede Sul	4,24	2,80	11,87
Parede Oeste	3,34	2,80	9,35
Janela Oeste	1,35	0,95	1,28

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Tabela 15. Dimensões da coordenação geral.

Coordenação geral	Comprimento m	Altura m	Área m²
Parede Norte	2,67	2,80	7,48
Parede Leste	2,63	2,80	7,36
Parede Sul	2,67	2,80	7,48
Parede Oeste	2,63	2,80	7,36
Janela Oeste	1,35	0,95	1,28

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Tabela 16. Dimensões da copa.

Copa	Comprimento m	Altura m	Área m²
Parede Norte	3,63	2,80	10,16
Parede Leste	2,5	2,80	7,00
Parede Sul	3,63	2,80	10,16
Parede Oeste	1,61	2,80	4,51

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Tabela 17. Dimensões do servidor.

Servidor	Comprimento m	Altura m	Área m²
Parede Norte	1,77	2,80	4,96
Parede Leste	1,51	2,80	4,23
Parede Sul	1,77	2,80	4,96
Parede Oeste	1,51	2,80	4,23
Janela Oeste	1,35	0,95	1,28

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

4.3 ESTUDO DA CARGA TÉRMICA

4.3.1 Carga térmica por condução

Para determinar a carga térmica de condução devemos determinar, além da temperatura externa, o tipo de material utilizado na construção das paredes, e a presença ou ausência de cortinas nas janelas e a carga de refrigeração. Para as paredes foi considerado bloco de concreto de 0,200 m, revestido de reboque + pintura de 25mm internamente e externamente. Os valores dos coeficientes globais devem ser calculados a partir dos dados da tabela 1. A carga térmica da laje não foi considerada, uma vez que os pavimentos superior e inferior são climatizados. As salas do escritório utilizam persianas nas janelas, por isso, considerou-se janelas externa com cortina e por meio da tabela 2 definiu-se sua resistividade térmica. A área das paredes que trocam calor, assim como as janelas, podem ser encontradas nas tabelas 12, 13, 14, 15, 16 e 17.

Por último, torna-se essencial calcular as variações de temperatura considerando as condições de transmissão. Na Tabela 3, foram obtidas as diferenças de temperatura referentes à carga de refrigeração (CLTD), devidamente ajustadas para as 16h, conforme cada direção de orientação na cidade de Belém.

Tabela 18. Resistividade térmica dos elementos construtivos utilizados e CLTD.

Coeficiente de transmissão de calor através de paredes e janelas			
Elemento construtivo	Parede externa Resistividade térmica (m ² .°C)/W	Janela externa cortina Resistividade térmica (m ² .°C)/W	
Filme de ar externo	0,044	0,044	
Reboque + pintura	0,034	0	
Bloco de concreto	0,192	0	
Vidro	0	0,016	
Reboque + pintura	0,034	0	
Filme de ar interno	0,121	0,121	
Total	0,425	0,181	
CLTD corrigido às 16 h para a cidade de Belém-PA (°C)			
Norte	Sul	Leste	Oeste
11,1	19,1	20,1	16,1

Fonte: Adaptado da ABNT (2019)

4.3.2 Carga térmica por insolação

Para determinar a carga de calor solar através da janela, aplica-se a Equação 4. Este cálculo requer a determinação de três fatores básicos: fator de ganho de calor por insolação, fator de carga de resfriamento e coeficiente de sombreamento.

Os valores do fator de ganho de calor por insolação (SHGF) são derivados da Tabela 4, considerando os dados específicos da cidade de Belém-PA, no mês de janeiro, onde este parâmetro varia em função da orientação das janelas. Por sua vez, o fator de carga de resfriamento horário (CLF) também varia em função da posição da janela no ambiente, e seus valores são extraídos da Tabela 5.

No contexto do projeto, foi especificado que as janelas deveriam ter cortinas, por isso foi necessário utilizar o coeficiente de sombreamento (SC) correspondente a uma janela simples mais cortina com espessura de vidro de 6 mm, captado da tabela 6. A tabela 19 a seguir organiza dados relacionados a SHGF, CLF e SC.

Tabela 19. Fatores de insolação, resfriamento e sombreamento, utilizados no estudo.

SHGF para a cidade de Belém-PA (W/m²)			
Mês de Janeiro			
Norte	Sul	Leste	Oeste
363	120	615	615
CLF às 16 h (adimensional)			
Norte	Sul	Leste	Oeste
0,75	0,35	0,17	0,82
SC para películas protetoras e sombreamento interno (Adimensional)			
Vidro			
6 mm			
Simples + cortina			
0,55			

Fonte: Adaptado da ABNT (2019)

4.3.3 Carga térmica por infiltração de ar

Com base nos dados apresentados sobre a quantidade e dimensões das janelas, a área do escritório e a localização dessas aberturas, é possível determinar a carga térmica gerada pela entrada de ar no ambiente por meio das frestas das portas, janelas e outras vias de acesso ou saída.

Para o cálculo da vazão, a norma ABNT (2019) considera a área do piso como fator multiplicador da taxa de infiltração do ar externo ou da renovação do ar. No exemplo apresentado pela norma, adota-se um valor de renovação de ar de 7,2 (m³/h·m²), adequado para espaços mais amplos. No entanto, para os ambientes do escritório analisado, considera-se um valor mínimo de renovação de 3,6 (m³/h·m²).

Na sequência, a tabela 20 apresenta as condições internas e externas de temperatura e umidade que foram utilizadas como referência neste estudo.

Tabela 20. Condições internas e externas de temperatura e umidade.

Condições de temperatura e umidade do ar externo para o verão							
Cidade	Altitude m	Temperatura máxima de bulbo seco °C	Temperatura de bulbo úmido coincidente °C	Umidade absoluta kg de vapor /kg ar seco	Volume específico m³/kg	Entalpia kJ/kg	
Belém	16	33,2	25,9	0,0182	0,895	79,87	
Condições das temperaturas internas de referência para o verão							
Ar interno	Altitude m	Temperatura de bulbo seco °C	Umidade relatica %	Pressão atmosférica kPa	Umidade absoluta kg/kg	Volume específico m³/kg	Entalpia kJ/kg
Condição 1	50	24,0	50,0	100,73	0,0094	0,86	47,92

Fonte: Adaptado da ABNT (2019)

4.3.4 Carga térmica por pessoas

Para determinar a carga térmica gerada pelos ocupantes de um ambiente, é fundamental identificar tanto o número de pessoas presentes quanto o tipo de atividade desempenhada. No caso específico de um escritório, a maior parte da carga térmica provém da presença de indivíduos que permanecem sentados em frente ao computador, realizando tarefas predominantemente intelectuais e de baixo esforço físico.

A análise do projeto permite definir a quantidade de pessoas em cada espaço, o que possibilita um cálculo preciso da carga térmica. Para isso, é essencial considerar a quantidade de calor emitida por cada indivíduo, que varia conforme o nível de atividade executado.

Como o ambiente analisado trata-se de um escritório de engenharia, foi estabelecido um cenário no qual os ocupantes desempenham atividades predominantemente sedentárias e de baixa intensidade, garantindo que o cálculo da carga térmica seja condizente com a realidade operacional do espaço. Essa análise foi feita e organizada na tabela 20.

Tabela 21. Número de Pessoas e Esforço Físico por Ambiente Climatizado.

Ambiente	Quantidade de pessoas	Nível de atividade	Calor sensível W/pessoa	CLF Adimensional
Sala técnica	3	Pessoas sentadas, trabalho leve	75	1
Coordenação técnica	2	Pessoas sentadas, trabalho leve	75	1
Administração financeiro	3	Pessoas sentadas, trabalho leve	75	1
Coordenação geral	1	Pessoas sentadas, trabalho leve	75	1
Copa	2	Pessoas sentadas, trabalho leve	75	1
Servidor	1	Pessoas sentadas, trabalho leve	75	1

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

4.3.5 Carga térmica por iluminação e equipamentos

A carga térmica gerada pela iluminação é influenciada pela potência das lâmpadas utilizadas e pela área do ambiente onde estão instaladas. Para a determinação desse valor, foi aplicada a Equação 11. Como o escritório não dispõe de um projeto elétrico específico para iluminação e tomadas, a potência instalada foi definida com base na análise das luminárias existentes. Para garantir um cálculo preciso, considerou-se o cenário mais crítico, assumindo que todas as lâmpadas estariam acesas simultaneamente. A tabela 21 apresentará os dados relativos à potência de cada lâmpada e sua respectiva distribuição nos diferentes ambientes.

Tabela 22. Dados da potência instalada, quantidade de luminárias e o CLF.

Ambiente	Quantidade de luminárias	Potência W/m²	CLF Adimensional
Sala técnica	1	24	1
	3	18	
Coordenação técnica	2	18	1
Administração financeiro	2	20	1
Coordenação geral	1	20	1
Copa	1	25	1
Servidor	1	12	1

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Para determinar a carga térmica gerada pelos equipamentos, é essencial identificar o tipo de dispositivo, sua quantidade e a potência dissipada. Para o cálculo específico da carga térmica de equipamentos eletrônicos, foi aplicada a Equação 12. De acordo com a ABNT (2019), o valor do CLF pode ser ajustado conforme o nível de utilização dos dispositivos em determinado período, permitindo uma abordagem mais realista na estimativa térmica do ambiente. Dessa forma, adotou-se um fator de uso variável para cada tipo de equipamento, visando assegurar que os cálculos reflitam fielmente a realidade operacional do escritório. Considerou-se o cenário mais crítico, ou seja, a hipótese em que todos os ambientes operam em plena capacidade e todos os ocupantes utilizam computadores simultaneamente, conforme apresentado na tabela 23.

Tabela 23. Dados da potência instalada, quantidade de equipamentos e o CLF.

Ambiente	Equipamento	Quantidade	Potência W	CLF Adimensional
Sala técnica	Computador	5	180	1
	Monitor	3	65	1
Coordenação técnica	Computador	2	180	1
	Monitor	2	65	1
Administração financeiro	Computador	3	180	1
	Monitor	3	65	1
	Impressora	1	1584	0,5
Coordenação geral	Computador	1	180	1
	Monitor	1	65	1
	Televisão	1	250	0,2
Copa	Frigobar	1	70	1
	Cafeteira	1	750	0,5
	Bebedouro	1	90	1
	Microondas	1	1400	0,2
Servidor	Servidor completo	1	2000	1

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No capítulo quatro foi feito todo o levantamento necessário para execução do cálculo da carga térmica do escritório. Observou-se que os ambientes internos tiveram a maior influência na carga térmica total do sistema, pois trocam calor diretamente com o ambiente externo não climatizado. Além disso, os espaços que mais contribuíram para a carga térmica do escritório foram aqueles com maior concentração de pessoas, uma vez que, além do calor gerado pelo corpo humano, esses locais demandam uma maior taxa de renovação de ar, resultando em um acréscimo na carga térmica total do estabelecimento.

5.1 CARGA TÉRMICA POR CONDUÇÃO

Para realizar o cálculo da carga térmica por condução, foi empregada a equação 3, em conjunto com as informações presentes nas tabelas 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18. Com base nesses dados, foi possível elaborar a tabela 24.

Tabela 24. Transferência de calor das paredes do escritório.

Sala técnica	Área m²	CLTD °C	Resistividade térmica (m².°C)/W	Transmissão de calor W
Parede Norte	11,73	11,1	0,425	306,36
Parede Leste	7,36	20,1	0,425	348,08
Janela Leste	1,28	20,1	0,181	142,14
Parede Sul	13,27	19,1	0,425	596,37
Parede Oeste	7,36	16,1	0,425	278,81
TOTAL				1671,77
Coordenação técnica	Área m²	CLTD °C	Resistividade térmica (m².°C)/W	Transmissão de calor W
Parede Norte	13,33	11,1	0,425	348,15
Parede Leste	9,35	20,1	0,425	442,20
Janela Leste	1,28	20,1	0,181	142,14
Parede Sul	11,87	19,1	0,425	533,45
Parede Oeste	9,35	16,1	0,425	354,20
TOTAL				1820,14
Administração financeiro	Área m²	CLTD °C	Resistividade térmica (m².°C)/W	Transmissão de calor W
Parede Norte	13,33	11,1	0,425	348,15

Parede Leste	9,35	20,1	0,425	442,20
Parede Sul	11,87	19,1	0,425	533,45
Parede Oeste	9,35	16,1	0,425	354,20
Janela Oeste	1,28	16,1	0,181	113,86
TOTAL				1791,86
Coordenação geral	Área m²	CLTD °C	Resistividade térmica (m².°C)/W	Transmissão de calor W
Parede Norte	7,48	11,1	0,425	195,36
Parede Leste	7,36	20,1	0,425	348,08
Parede Sul	7,48	19,1	0,425	336,16
Parede Oeste	7,36	16,1	0,425	278,81
Janela Oeste	1,28	16,1	0,181	113,86
TOTAL				1272,28
Copa	Área m²	CLTD °C	Resistividade térmica (m².°C)/W	Transmissão de calor W
Parede Norte	3,63	11,1	0,425	94,81
Parede Leste	7,00	20,1	0,425	331,06
Parede Sul	10,16	19,1	0,425	456,60
Parede Oeste	4,51	16,1	0,425	170,85
TOTAL				1053,32
Servidor	Área m²	CLTD °C	Resistividade térmica (m².°C)/W	Transmissão de calor W
Parede Norte	4,96	11,1	0,425	129,54
Parede Leste	4,23	20,1	0,425	200,05
Parede Sul	4,96	19,1	0,425	222,91
Parede Oeste	4,23	16,1	0,425	160,24
Janela Oeste	1,28	16,1	0,181	113,86
TOTAL				826,60

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

5.2 CARGA TÉRMICA POR INSOLAÇÃO

A equação 4 permite determinar a carga térmica proveniente da insolação para cada orientação geográfica. Para esse cálculo, considera-se a área das janelas, conforme apresentado no tópico 4.1, além do fator de carga de resfriamento (CLF), do ganho de calor por insolação (SHGF) e do coeficiente de sombreamento (SC), todos detalhados na tabela 19. O resultado obtido encontra-se na tabela 25.

Tabela 25. Carga térmica devido a insolação nas janelas do escritório.

Sala técnica	Área m ²	CLF	SHGF W/m ²	SC	Transmissão de calor W
Janela Leste	1,28	0,17	615	0,55	73,60
TOTAL					73,60
Coordenação técnica	Área m ²	CLF	SHGF W/m ²	SC	Transmissão de calor W
Janela Leste	1,28	0,17	615	0,55	73,60
TOTAL					73,60
Administração financeiro	Área m ²	CLF	SHGF W/m ²	SC	Transmissão de calor W
Janela Oeste	1,28	0,82	615	0,55	355,03
TOTAL					355,03
Coordenação geral	Área m ²	CLF	SHGF W/m ²	SC	Transmissão de calor W
Janela Oeste	1,28	0,82	615	0,55	355,03
TOTAL					355,03
Servidor	Área m ²	CLF	SHGF W/m ²	SC	Transmissão de calor W
Janela Oeste	1,28	0,82	615	0,55	355,03
TOTAL					355,03

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

5.3 CARGA TÉRMICA POR INFILTRAÇÃO DE AR

De acordo com a ABNT (2019), o cálculo da carga térmica decorrente da infiltração de ar deve considerar as características construtivas do ambiente, incluindo a vedação de portas e janelas, a diferença de temperatura entre o interior e o exterior, além da velocidade do vento. Outro fator relevante para essa análise são as dimensões do espaço avaliado.

Para determinar a vazão de ar externo, foi empregada a Equação 5; conhecendo-se a massa específica do ar, realizou-se a conversão da vazão volumétrica para mássica por meio da Equação 6. A norma ABNT (2019) recomenda um valor padrão para a renovação do ar, estipulado em 1,0 (L/s·m²), equivalente a 3,6 (m³/h·m²). A massa específica do ar na pressão atmosférica padrão e a temperatura à 25°C é de 1,20 kg/m³.

Com o auxílio do software AutoCAD, foi possível determinar com precisão a área de cada ambiente. A partir desses valores e aplicando as Equações 5 e 6, obteve-se os resultados da vazão volumétrica e mássica, os quais estão organizados na Tabela 26.

Tabela 26. Vazão volumétrica e mássica para cada ambiente.

Ambiente	Área m²	Renovação de Ar (m³/h.m²)	Massa específica do ar kg/m³	Vazão volumétrica m³/h	Vazão mássica kg/s
Sala técnica	11,61	3,6	1,20	41,79	0,0139
Coordenação técnica	15,13	3,6	1,20	54,46	0,0182
Administração financeiro	15,13	3,6	1,20	54,46	0,0182
Coordenação geral	7,02	3,6	1,20	25,28	0,0084
Copa	7,05	3,6	1,20	25,36	0,0085
Servidor	2,61	3,6	1,20	9,40	0,0031

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Com base nesses parâmetros e nos valores de entalpia do ar externo e interno, apresentados na Tabela 20, foi possível calcular a carga térmica gerada pela infiltração. Os resultados obtidos por meio desses cálculos estão detalhados na Tabela 27.

Tabela 27. Carga térmica por infiltração para cada ambiente.

Ambiente	Entalpia do ar externo kj/kg	Entalpia do ar interno kj/kg	Variação de entalpia kj/kg	Vazão mássica kg/s	Carga térmica total W
Sala técnica	79,87	47,92	31,95	0,0139	445,05
Coordenação técnica	79,87	47,92	31,95	0,0182	580,02
Administração financeiro	79,87	47,92	31,95	0,0182	580,02
Coordenação geral	79,87	47,92	31,95	0,0084	269,23
Copa	79,87	47,92	31,95	0,0085	270,14
Servidor	79,87	47,92	31,95	0,0031	100,16

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

5.4 CARGA TÉRMICA POR PESSOAS

Para calcular a carga térmica gerada pela presença de pessoas, foi considerada a condição mais crítica, levando em conta a ocupação máxima do ambiente. Também foram analisados o calor gerado por indivíduo, conforme a atividade desempenhada, e o fator de carga de resfriamento.

Os dados relevantes para esse cálculo estão organizados na tabela 21, proporcionando uma visão detalhada dos parâmetros envolvidos. O valor do fator de carga de resfriamento (CLF) abordado de forma mais aprofundada no Tópico 3.5, é estabelecido pela norma ABNT (2019) como 1. Dessa forma, sua aplicação nos cálculos não é necessária. Com base nessas

informações, aplicou-se a equação 8 para determinar a carga térmica correspondente. Os resultados obtidos, referentes a cada ambiente estudado, estão apresentados na tabela 28.

Tabela 28. Carga térmica devido a pessoas nos ambientes.

Ambiente	Nº Pessoas	Nível de atividade	Calor sensível W/pessoa	Calor total W
Sala técnica	3	Pessoas sentadas, trabalho leve	75	225
Coordenação técnica	2	Pessoas sentadas, trabalho leve	75	150
Administração financeiro	3	Pessoas sentadas, trabalho leve	75	225
Coordenação geral	1	Pessoas sentadas, trabalho leve	75	75
Copa	2	Pessoas sentadas, trabalho leve	75	150
Servidor	1	Pessoas sentadas, trabalho leve	75	75

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

5.5 CARGA TÉRMICA POR ILUMINAÇÃO E EQUIPAMENTOS

Com base nos dados apresentados na tabela 22, é possível determinar a quantidade de lâmpadas presentes no ambiente, bem como sua respectiva potência. A partir dessas informações, a carga térmica gerada pela iluminação pode ser calculada por meio da equação 11.

Os resultados obtidos para cada ambiente analisado estão organizados na tabela 29, permitindo uma avaliação detalhada do impacto da iluminação na carga térmica total.

Tabela 29. Carga térmica devido a iluminação nos ambientes.

Ambiente	Nº Luminárias	Potência W/m²	CLF Adimensional	Calor total W
Sala técnica	1	24	1	24
	3	18	1	54
Coordenação técnica	2	18	1	36
Administração financeiro	2	20	1	40
Coordenação geral	1	20	1	20
Copa	1	25	1	25
Servidor	1	12	1	12

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

A tabela 23 apresenta informações detalhadas sobre a quantidade e a potência dos equipamentos, bem como o fator de uso correspondente. Com base nesses dados, foi possível calcular a carga térmica gerada pelos equipamentos eletrônicos utilizando a equação 12.

O resultado obtido para a carga térmica dos equipamentos eletrônicos nas salas do escritório está elucidado na tabela 30.

Tabela 30. Carga térmica devido aos equipamentos nos ambientes.

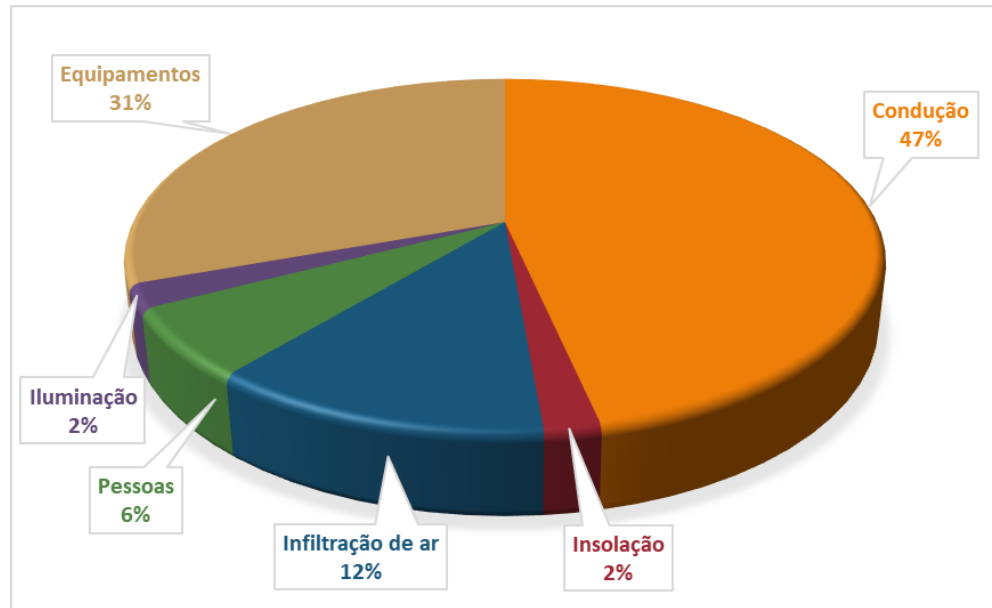
Ambiente	Equipamento	Quantidade	Potência W	CLF Adimensional	Carga total W
Sala técnica	Computador	5	180	1	900
	Monitor	3	65	1	195
Coordenação técnica	Computador	2	180	1	360
	Monitor	2	65	1	130
Administração financeiro	Computador	3	180	1	540
	Monitor	3	65	1	195
	Impressora	1	1584	0,5	792
Coordenação geral	Computador	1	180	1	180
	Monitor	1	65	1	65
	Televisão	1	250	0,2	50
Copa	Frigobar	1	70	1	70
	Cafeteira	1	750	0,5	375
	Bebedouro	1	90	1	90
	Microondas	1	1400	0,2	280
Servidor	Servidor	1	2000	1	2000

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

5.6 CARGA TÉRMICA TOTAL

A carga térmica total do escritório pode ser determinada pelo somatório de todas as cargas térmicas obtidas nos cálculos anteriores, conforme demonstrado na equação 1. Os valores são expressos, por norma, em Watt (W), contudo, é comum representá-los em Unidade Térmica Britânica (BTU). Para cargas térmicas mais elevadas, utiliza-se a Tonelada de Refrigeração (TR). Assim, é fundamental compreender que 1 W equivale a 3,41 BTU/h, enquanto 1 TR corresponde a 12.000 BTU/h. Com esses parâmetros, a carga térmica total do escritório está apresentada nas tabelas 31 e 32.

Figura 12. Representação percentual da distribuição da carga térmica total do escritório.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Tabela 31. Carga térmica total por ambiente.

CARGA TÉRMICA (W)							
Ambiente	Condução	Insolação	Infiltração	Pessoas	Illum.	Equip.	Total
Sala técnica	1.671,77	73,60	445,05	225,00	78,00	1.095,00	3.588,43
Coordenação técnica	1.820,14	73,60	580,02	150,00	36,00	490,00	3.149,77
Administração financeiro	1.791,86	355,03	580,02	225,00	40,00	1.527,00	4.518,91
Coordenação geral	1.272,28	355,03	269,23	75,00	20,00	295,00	2.286,53
Copa	1.053,32	0,00	270,14	150,00	25,00	815,00	2.313,45
Servidor	826,60	355,03	100,16	75,00	12,00	2.000,00	3.368,79
TOTAL							19.225,88

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Tabela 32. Carga térmica total em diferentes unidades.

Ambiente	Watts	BTU/h	TR
Sala técnica	3.588,43	12.244,23	1,02
Coordenação técnica	3.149,77	10.747,46	0,90
Adiministração financeiro	4.518,91	15.419,15	1,28
Coordenação geral	2.286,53	7.801,96	0,65
Copa	2.313,45	7.893,83	0,66
Servidor	3.368,79	11.494,78	0,96
TOTAL	19.225,88	65.601,41	5,47

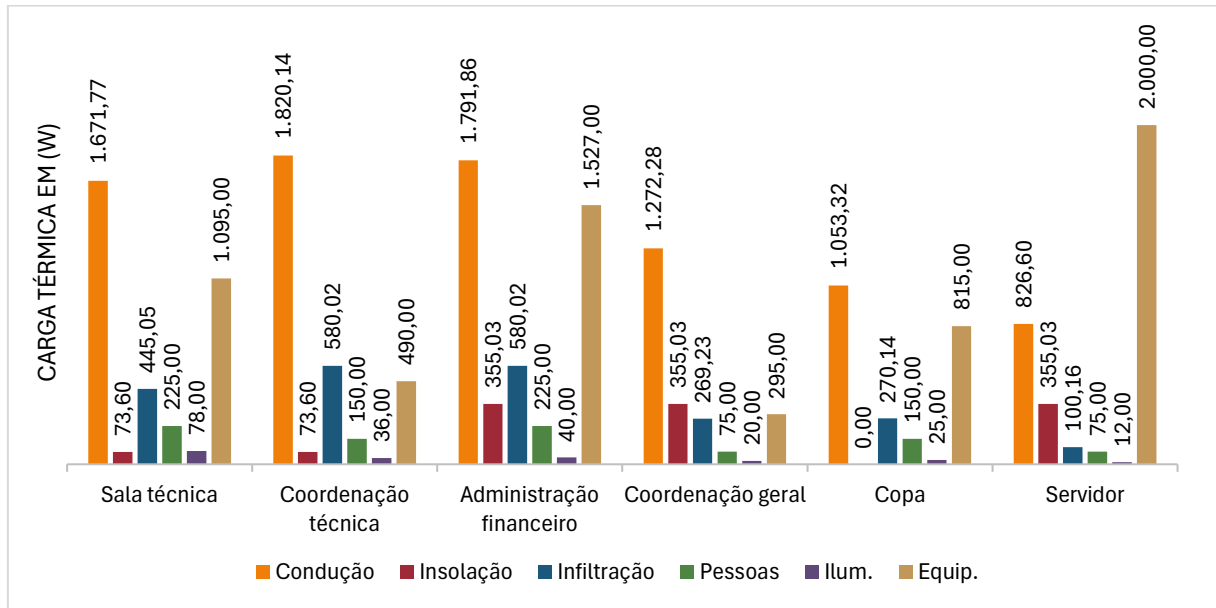
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

Os ambientes que tiveram maior impacto na carga térmica total foram a sala de administração financeira, a sala técnica e o servidor. Dois desses espaços possuem a maior capacidade de ocupação, o que evidencia a influência do calor gerado pelo metabolismo humano nesse estudo.

Verificou-se os componentes que contribuem para a carga térmica dos ambientes que mais influenciaram para a carga térmica total, observa-se que, conforme mencionado anteriormente, a condução se destaca como o principal fator, seguida pela influência dos equipamentos. No entanto, no caso do servidor, essa relação se inverte, sendo a carga térmica gerada pelos equipamentos superior àquela proveniente da condução. Esse fenômeno ocorre devido à elevada quantidade de dispositivos eletrônicos presentes nesse ambiente, necessários para viabilizar o funcionamento do escritório, o que resulta em um aumento significativo na carga térmica associada aos equipamentos.

A sala de administração financeira apresenta a maior média de carga térmica entre todos os ambientes analisados, resultado de uma combinação de fatores que contribuem significativamente para o aumento da temperatura. A condução térmica, aliada às suas dimensões, favorece a absorção e retenção de calor, intensificando a sensação térmica. Os equipamentos eletrônicos, como a impressora, exerceram um papel relevante, já que o uso frequente desse dispositivo gera uma carga térmica considerável. Outro aspecto importante é a infiltração de ar, que influencia na variação da temperatura ao permitir a troca de calor com o ambiente externo. Além disso, o número de pessoas presentes na sala, equiparado ao da sala técnica, também se destaca como um fator determinante. A respiração e a movimentação dos ocupantes contribuem diretamente para a elevação da carga térmica.

Figura 13. Carga térmica por ambiente do escritório em Watts.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

A transferência de calor por insolação está diretamente relacionada a quantidade e as características construtivas da janela. No entanto, segundo a figura 13, a copa apresentou uma carga térmica por insolação igual a zero, isso ocorre porque não existem janelas neste ambiente, o que elimina a influência dessa carga térmica, sua análise é desconsiderada.

Todas as janelas do escritório possuem dimensões idênticas. No entanto, conforme indicado na figura 13, os ambientes da administração financeiro, coordenação geral e servidor apresentam uma carga térmica por insolação mais elevada quando comparados à sala técnica e à coordenação técnica. Esse fenômeno ocorre devido aos valores mais altos do fator de carga de resfriamento em função do horário (CLF), que impactam diretamente a variação térmica nesses espaços ao longo do dia. Por outro lado, o fator de ganho de calor por insolação (SHGF) permanece constante entre todas as salas, uma vez que compartilham o mesmo valor devido a sua orientação.

5.7 COMPARATIVO DOS EQUIPAMENTOS ATUALMENTE INSTALADOS.

O projeto do escritório de engenharia se destacou por já contar com sistemas de climatização, dispondo de um condicionador de ar em cada ambiente analisado. Os valores obtidos foram utilizados para comparar com os equipamentos já instalados, permitindo estimar o nível de conforto térmico proporcionado pelo projeto.

Os aparelhos de ar-condicionado presentes nas salas são idênticos, todos com capacidade de 9.000 BTU/h, da marca Consul, conforme ilustrado na figura 14. É essencial compreender todas as especificações técnicas desses dispositivos, incluindo suas dimensões, potência, peso e classificação energética, que, no caso dos equipamentos utilizados, é A. Além dessas informações, outros aspectos relevantes envolvem o tipo de gás refrigerante empregado. O modelo instalado opera com R410-A, um fluido que não causa danos à camada de ozônio, sendo, portanto, uma alternativa ecologicamente correta e aplicável na refrigeração comercial. Essas características encontram-se detalhadas na tabela 33.

Figura 14. Ar condicionado Split WH Frio Consul.



Fonte: CentralAr.com (2025)

Tabela 33. Dados ar condicionado Split HW Frio Consul.

Especificação técnica			
Evaporadora			
Voltagem	Vazão de ar	Largura x altura	Peso
220V	55 m ³ /h	77 x 28 cm	10 kg
Condensadora			
Voltagem	Potência	Largura x altura	Peso
220V	1.315 W	42,7 x 55,5 cm	18 kg

Fonte: CentralAr.com (2025)

A tabela 34 apresenta os valores dos sistemas de climatização instalados nas salas do escritório, bem como o valor calculado necessário para garantir o conforto térmico. Conforme observado, os aparelhos de ar condicionado instalados conseguem atender à demanda em duas

das seis salas, pois superam a carga térmica requerida dentro de uma margem aceitável. Esse equilíbrio evita que o sistema reduza excessivamente a temperatura, mantendo o conforto térmico sem gerar consumo excessivo de energia devido à instalação de potência superior à necessária.

Nas demais salas, o sistema de climatização apresenta subdimensionamento, com potência instalada inferior à requerida. No entanto, a sala de Coordenação Técnica é considerada adequada, pois a diferença entre a demanda atendida e a capacidade instalada é inferior a 17%. Já nas salas de Administração Financeira, Servidor e Sala Técnica, a potência instalada está significativamente inferior da ideal, atendendo, respectivamente, a apenas 58,37%, 78,30% e 73,50% da carga térmica total. Esse déficit pode resultar, a longo prazo, em falhas no funcionamento dos aparelhos, além de aumentar o consumo energético, uma vez que os sistemas precisarão operar continuamente em sua capacidade máxima para atingir a temperatura desejada.

Vale ressaltar que o cálculo da carga térmica foi realizado considerando uma temperatura externa de 33,2 °C, a mais elevada registrada ao longo de um ano. Entretanto, na maior parte do tempo, a temperatura externa é inferior a esse valor, o que significa que, em determinados momentos, a carga térmica pode ser menor do que a estimada.

Tabela 34. Comparativo entre a capacidade instalada e requerida em BTU/h.

Ambiente	Total instalado	Total requerido	Capacidade suprida
Sala técnica	9.000,00	12.244,23	73,50%
Coordenação técnica	9.000,00	10.747,46	83,74%
Administração financeiro	9.000,00	15.419,15	58,37%
Coordenação geral	9.000,00	7.801,96	115,36%
Copa	9.000,00	7.893,83	114,01%
Servidor	9.000,00	11.494,78	78,30%
Total	54.000,00	65.601,41	82,32%

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA

6 CONCLUSÃO

Diante do apresentado observa-se que o esperado foi alcançado com sucesso, ou seja, uma vez feito o cálculo de carga térmica para cada sala designada e avaliado a demanda energética desses ambientes de modo a obter um resultado que permite a comparação dos sistemas disponíveis atualmente, entende-se que os objetivos do respectivo trabalho foram cumpridos, apesar de toda a dificuldade que o envolveu sobretudo no entendimento do método e na modelagem dos dados para o cálculo, na medida em que para esse autor constituíam novo campo de conhecimento.

Ao final deste trabalho foi constatado que o ar condicionado instalado atualmente atende à minoria das salas, excetuando-se a sala de Coordenação Técnica e Copa. Foi percebido também que o calor recebido pela condução de modo geral é o maior responsável pela carga térmica dos ambientes, seguido pela carga térmica gerada pelos equipamentos. São pouco significativas para a maioria das salas as cargas térmicas devido à iluminação por possuírem lâmpadas de baixa potência e a carga por pessoas, pois o escritório conta com poucos colaboradores. A carga térmica referente a janelas só é significativa para as salas Administração Financeiro, Coordenação Geral e Servidor, por possuir janelas voltadas para o oeste, orientações com maior incidência solar.

Considerando o resultado do item 5.7 fica em evidência o fato de que o sistema está subdimensionado. Portanto, como consequência o estado atual implica num tempo maior para os aparelhos atingirem a temperatura ideal em cada ambiente, isso significa também que os aparelhos irão operar com sua capacidade máxima durante praticamente todo o período em que estiverem ligados, além disso, pode ocorrer um maior desgaste dos componentes internos dos equipamentos, gerando a necessidade de aumento da manutenção dos mesmos e, logo, um menor tempo de vida útil.

6.1 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

- Como sugestão de trabalhos futuros observa-se uma avaliação que compreenda também o estudo do sistema elétrico do prédio avaliando a demanda elétrica dos equipamentos propostos versus a capacidade de fato instalada.
- Elaboração de um Plano de Manutenção, Operação e Controle do sistema de ar condicionado – PMOC.
- Realizar um estudo de comparação entre o método adotado e uma análise computacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE, **American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers**, Inc. Handbook Fundamentals. Atlanta, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-1**: Instalações de Ar-Condicionado – Sistemas centrais e unitários Parte 1: Projeto das instalações. Rio de Janeiro, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-1**: Instalações de Ar-Condicionado – Sistemas centrais e unitários Parte 3: Qualidade do ar interior. Rio de Janeiro, 2024.
- BRODAY, E. E., XAVIER, A. A. P., OLIVEIRA, R. Comparative analysis of methods for determining the metabolic rate in order to provide a balance between man and the environment. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 2018.
- Çengel e Ghajar, **Transferência de Calor e Massa**, 4ª edição, Editora AMGH, 2012.
- CentralAr.com, **Ar Condicionado Split Hi Wall - Inverter - Consul - 9.000 BTUs – Frio**. Disponível em: < [Ar Condicionado Split Hi Wall Inverter Triple Consul 9.000 BTUs Frio Bivolt - CentralAr](#)>. Acesso em 16 abr. 2025.
- CREDER, Hélio. **Instalações de Ar Condicionado**. 6ª Edição. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2004.
- DA SILVA, Luiz CP et al. **Sustainable Campus Model at the University of Campinas—Brazil: An Integrated Living Lab for Renewable Generation, Electric Mobility, Energy Efficiency, Monitoring and Energy Demand Management**. In: Towards Green Campus Operations. Springer, Cham, 2018. p. 457-472.
- DEL VECCHIO, DR. Fabrício Boscolo, **Termorregulação – capacidade do corpo manter a temperatura interna constante**, 2013. Disponível em: < [Termorregulação - Fisiologia | PPT](#)>. Acesso em 01 fev. 2025.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.
- GOOGLE. 2025. Belém. **Google Maps**. Disponível em: <[Centro Profissional Wall Street - Google Maps](#)>. Acesso em 20 mar. 2025
- INCROPERA, F.P., BERGMAN, T.L., LAVINE, A. S. Fundamentos de transferência de calor e de massa. 6ª ed. Editora LTC, Rio de Janeiro-RJ, 2014.
- Kreith, Frank. **Princípios de transferência de calor**, 7ª edição. São Paulo; Cengage Learning, 2014.
- MAGALHÃES, Sónia *et al.* **TERMORREGULAÇÃO**. Faculdade de medicina da universidade de porto serviço de fisiologia, 2001. Disponível em: < [Regulação da Temperatura Corporal](#)>. Acesso em 01 fev. 2025.

Mcquiston, F.C., Parker, J.D. and Spitler, J.D. Heating, **Ventilating and Air Conditioning Analysis and Design**. 6th Edition, John Wiley and Sons, Hoboken, 2005.

MENEZES, MILTON SERPA. **Apostila de Refrigeração e Ar Condicionado** ,Passo Fundo – RS, 2005.

MENEZES, MILTON SERPA. **Apostila de Refrigeração e Ar Condicionado** ,2010.

MITSIDI PORJETOS. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES**, 2024.
Disponível em: < [Sinduscon](#)>. Acesso em 05 fev. 2025.

PENA, Sérgio Meirelles. **Sistema de Ar Condicionado e Refrigeração**, 2002.

PROJETEEE – **Paredes – Aquecimento Solar Passivo**. Disponível em: < [Paredes - Aquecimento Solar Passivo - ProjetEEE](#)>. Acesso em: 27 jan. 2025.

PROJETEEE – **Aumentando o diferencial de pressão**. Disponível em: < [Aumentando o diferencial de pressão - ProjetEEE](#)>. Acesso em: 27 jan. 2025.

SANDER, Lucas Nogueira. **Dimensionamento do Sistema de Refrigeração para o Bloco C-Campus UFRJ Macaé**. 2017. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2017.

STOECKER, W.; Jones, J.W. **Refrigeração e ar condicionado**; tradução: José M. Saiz Jabarco. et al.; São Paulo: McGraw Hill do Brasil, 1985.

WESTPHAL, F. S. **Desenvolvimento de um algoritmo para estimativa do consumo de energia elétrica de edificações não residenciais a partir de dados climáticos simplificados**. 2002. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil): Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.