



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP**

**ESCOLA DE MINAS**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**



**LUCAS ANTONIO MARQUES RIBEIRO**

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE CONDICIONAMENTO  
DE AR A PARTIR DO CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA PARA UM  
ESCRITÓRIO ATRAVÉS DO *SOFTWARE* HAP**

**OURO PRETO - MG  
2025**

**LUCAS ANTONIO MARQUES RIBEIRO**  
**lucas.amr@aluno.ufop.edu.br**

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE CONDICIONAMENTO  
DE AR A PARTIR DO CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA PARA UM  
ESCRITÓRIO ATRAVÉS DO *SOFTWARE* HAP**

Monografia apresentada ao Curso de  
Graduação em Engenharia Mecânica  
da Universidade Federal de Ouro Preto  
como requisito para a obtenção do  
título de Engenheiro Mecânico.

**Professor orientador:** DSc. Luís Antônio Bortolaia

**OURO PRETO – MG**  
**2025**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

R484d Ribeiro, Lucas Antonio Marques.

Dimensionamento de um sistema de condicionamento de ar a partir do cálculo da carga térmica para um escritório através do software HAP. [manuscrito] / Lucas Antonio Marques Ribeiro. Lucas Antonio Marques Ribeiro. - 2025.

51 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Dr. Luís Antônio Bortolaia.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Ar condicionado. 2. Ar condicionado - Carga térmica. 3. Energia - Consumo - Eficiência energética. 4. Aclimação. 5. HAP (Software). I. Ribeiro, Lucas Antonio Marques. II. Bortolaia, Luís Antônio. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



## FOLHA DE APROVAÇÃO

Lucas Antonio Marques Ribeiro

### Dimensionamento de um sistema de condicionamento de ar a partir do cálculo da carga térmica para um escritório através do *software* HAP

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico

Aprovada em 26 de março de 2025

#### Membros da banca

DsC. Luís Antônio Bortolaia - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)  
DsC. Elisângela Martins Leal - (Universidade Federal de Ouro Preto)  
DsC. Washington Luís Vieira da Silva - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Luís Antônio Bortolaia, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 05/04/2025



Documento assinado eletronicamente por **Luís Antonio Bortolaia, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/04/2025, às 07:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0890621** e o código CRC **4A5C97D3**.

Dedico a minha mãe, ao meu pai e a minha irmã, por serem minha fonte de amor, apoio e inspiração.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, meus maiores apoiadores e financiadores em tudo o que fiz. Além do cuidado e dos diversos ensinamentos.

Aos meus professores e orientador, que com dedicação e sabedoria guiaram meus passos, instigando meu pensamento crítico e me desafiando a ir além. Seu conhecimento e disponibilidade foram essenciais para a construção deste trabalho.

Aos meus amigos, que compartilharam essa caminhada acadêmica comigo. A parceria e o incentivo de vocês fizeram toda a diferença.

*“Todos os nossos sonhos podem se tornar realidade se  
tivermos a coragem de persegui-los”.*

Walt Disney

## RESUMO

Este trabalho aborda o dimensionamento de um sistema de condicionamento de ar para um escritório, utilizando o *software* HAP para calcular a carga térmica e garantir conforto térmico. O problema investigado refere-se à necessidade de um ambiente termicamente confortável, equilibrando eficiência energética e bem-estar dos ocupantes. A justificativa para o estudo baseia-se na crescente preocupação com a qualidade ambiental dos espaços de trabalho e no impacto direto do conforto térmico na produção e no consumo de energia. O objetivo principal consiste em calcular e dimensionar um sistema de climatização adequado para um escritório, considerando fatores como insolação, ocupação, equipamentos eletrônicos e características construtivas. Para isso, a pesquisa apresentou uma abordagem quantitativa, utilizando revisão bibliográfica, análise documental e simulação computacional. O *software* HAP utilizado para realizar o cálculo da carga térmica do ambiente, considerando temperaturas climáticas e estruturais. Os resultados indicam que a carga térmica total do escritório foi de 69266,48 BTU/h. Com base nesses dados, o sistema de climatização foi dimensionado utilizando dois equipamentos do tipo split cassete inverter de 36.000 BTU/h, escolhidos por sua eficiência energética e melhor distribuição do ar. A análise dos resultados evidenciou a importância do uso de ferramentas computacionais para melhorar o planejamento térmico e evitar o superdimensionamento ou subdimensionamento do sistema de climatização. Conclui-se que a simulação computacional é essencial para o dimensionamento de sistemas de ar-condicionado, garantindo eficiência energética e conforto térmico adequados. O estudo reforça a necessidade de considerar fatores ambientais e tecnológicos na escolha de equipamentos de climatização.

**Palavras-chave:** Conforto térmico, Carga térmica, Eficiência energética, Climatização, *Software* HAP.

## ABSTRACT

*This study addresses the sizing of an air conditioning system for an office, using the HAP software to calculate the thermal load and ensure thermal comfort. The investigated problem concerns the need for a thermally comfortable environment, balancing energy efficiency and occupant well-being. The justification for this study is based on the growing concern for the environmental quality of workspaces and the direct impact of thermal comfort on productivity and energy consumption. The main objective is to calculate and design an appropriate air conditioning system for an office, considering factors such as solar radiation, occupancy, electronic equipment, and construction characteristics. To achieve this, the research adopted a quantitative approach, utilizing bibliographic review, document analysis, and computational simulation. The HAP software was used to calculate the thermal load of the environment, taking into account climatic and structural temperatures. The results indicated that the total thermal load of the office was 69266,48 BTU/h. Based on these data, the air conditioning system was sized using two 36,000 BTU/h split cassette inverter units, chosen for their energy efficiency and better air distribution. The analysis of the results highlighted the importance of using computational tools to improve thermal planning and prevent the oversizing or undersizing of the air conditioning system. It is concluded that computational simulation is essential for accurately sizing air conditioning systems, ensuring adequate energy efficiency and thermal comfort. The study reinforces the need to consider environmental and technological factors when selecting air conditioning equipment.*

**Keywords:** *Thermal comfort, Thermal load, Energy efficiency, Air conditioning, HAP software.*

**LISTA DE SÍMBOLOS**

P – Pressão.

$\omega$  – Umidade absoluta.

$\phi$  – Umidade relativa.

TBS – Temperatura de bulbo seco.

TBU – Temperatura de bulbo úmido.

$v$  – Volume específico.

$k$  – Condutividade térmica do material.

$\Delta x$  – Espessura da camada.

$A$  – Área.

$h$  – Coeficiente de transferência de calor por convecção.

$\sigma$  – Constante de Stefan Boltzmann.

$T$  – Temperatura.

$\varepsilon$  – Emissividade.

SC – Fator de sombreamento do vidro.

SHGF – Fator de ganho de calor solar.

IAC – Coeficiente de atenuação devido ao sombreamento interno.

$U$  – Transmitância global da janela.

$T_o$  – Temperatura externa.

$T_i$  – Temperatura interna.

$M$  – Massa molar do ar.

COP – Coeficiente de *performance*.

$g$  – Aceleração da gravidade.

$R$  – Constante universal dos gases.

$\gamma$  – Constante psicrométrica.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Percentagem estimada de insatisfeitos (PEI) em função do voto médio estimado (VME).....	7
Figura 2: Esquema T-s do ciclo ideal de refrigeração.....	9
Figura 3: Diagrama T-s do ciclo ideal de refrigeração.....	10
Figura 4: Carta psicrométrica à pressão total de 1 atm.....	12
Figura 5: Modos de transferência de calor: condução, convecção e radiação.....	13
Figura 6: Fluxograma de materiais e métodos. ....	28
Figura 7: Planta baixa escritório.....	32
Figura 8: Corte AA.....	32
Figura 9: Variação média mensal da temperatura de bulbo seco e da temperatura de bulbo úmido para a cidade de Belo Horizonte.....	34
Figura 10: Variação da umidade relativa média em Belo Horizonte. ....	35
Figura 11: Interface do <i>software</i> HAP.....	37
Figura 12: Propriedades Climáticas do <i>software</i> HAP.....	38
Figura 13: Propriedades do Espaço do <i>software</i> HAP. ....	38
Figura 14: Propriedades do Sistema de Ar do <i>software</i> HAP. ....	39
Figura 15: Variação da carga térmica média mensal do escritório ao longo do ano.....	41
Figura 16: Comparativo de ar-condicionado.....	42
Figura 17: Características Técnicas Gerais <i>Split</i> Cassete Inverter 40KVCB36C5.....	44
Figura 18: Ar condicionado <i>Split</i> Cassete Inverter Carrier 4KVCB36C5.....	44

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Variáveis e Indicadores. ....	30
Tabela 2: Características construtivas do escritório. ....	33
Tabela 3: Características internas do escritório.....	34
Tabela 4: Carga térmica do escritório.....	41
Tabela 5: Classes de eficiência energética para condicionadores de ar tipo <i>split</i> . ....	43
Tabela 6: Análise comparativa de equipamentos de climatização. ....	43

**LISTA DE EQUAÇÕES**

Equação 1: Taxa de condução de calor.....	14
Equação 2: Taxa de transferência de calor por convecção.....	15
Equação 3: Taxa máxima de radiação emitida.....	16
Equação 4: Taxa de radiação emitida real.....	16
Equação 5: Ganho de calor através da parede ou cobertura.....	21
Equação 6: Fluxo de calor através da janela.....	22
Equação 7: Fluxo de calor através da parede.....	23
Equação 8: Ganho de calor sensível.....	24
Equação 9: Ganho de calor latente.....	24
Equação 10: Coeficiente de <i>performance</i> .....	25
Equação 11: Pressão atmosférica.....	35
Equação 12: Pressão de vapor saturado.....	36
Equação 13: Pressão de vapor.....	36
Equação 14: Umidade relativa.....	36

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Geral .....	3
1.3.2	Específicos.....	3
1.4	Estrutura do Trabalho .....	3
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
2.1	Conforto Térmico .....	5
2.2	Refrigeração.....	8
2.3	Psicrometria .....	10
2.4	Mecanismos de transferência de calor.....	13
2.4.1	Condução .....	14
2.4.2	Convecção .....	14
2.4.3	Radiação .....	15
2.6	Método TFM ( <i>Transfer function Method</i> ).....	20
2.6.1	Ganho de calor através de paredes externas e teto .....	21
2.6.2	Ganho de calor através de janelas.....	22
2.6.3	Ganho de calor através de paredes internas.....	22
2.6.4	Ganho de calor interno .....	23
2.6.5	Ganho de calor por infiltração/ ventilação de ar externo.....	24
2.7	Desempenho para sistemas de climatização .....	24
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
3.1	Tipo de Pesquisa.....	26
3.2	Materiais e Métodos .....	28
3.3	Variáveis e Indicadores .....	29
3.4	Instrumento de coleta de dados .....	30
3.5	Tabulação dos dados.....	30
3.6	Considerações Finais .....	31
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>32</b>
4.1	Local de estudo .....	32

4.1.1	Definição do ambiente estudado.....	32
4.1.2	Definição da localização e dados climáticos .....	34
4.2	Cálculo através do <i>software</i> HAP.....	37
4.3	Carga térmica do escritório .....	40
4.4	Seleção dos equipamentos .....	42
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>46</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>51</b>
	<b>ANEXO A - PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS (PAREDES).....</b>	<b>51</b>
	<b>ANEXO B - PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS (COBERTURAS).....</b>	<b>51</b>
	<b>ANEXO C - PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS (VIDROS).....</b>	<b>51</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Formulação do Problema

A busca pelo conforto térmico é essencial para garantir um ambiente propício ao bem-estar e à produtividade dos ocupantes. Mitchell e Braun (2018) explicam que o dimensionamento adequado da carga térmica é fundamental para garantir um equilíbrio entre temperatura, umidade e ventilação. Neste contexto a *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE) define conforto térmico como: "condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico [...]" (ASHRAE, 2004, p.2).

Para Mitchell e Braun (2018) a percepção de conforto tende a surgir quando indivíduos se encontram em um estado termicamente neutro, onde não experimentam sensações de calor excessivo ou frio, e suas temperaturas corporais estão em um nível que se alinha com seu bem-estar físico e emocional, tendo uma relação entre sensação térmica e conforto térmico influenciada por variáveis psicológicas.

Segundo o Laboratório de Eficiência em Edificações - LABEEE (2016), o conforto térmico é entendido como uma sensação humana subjetiva e depende de fatores físicos, fisiológicos e psicológicos. O autor define que os fatores físicos influenciam as trocas de calor entre o corpo e o ambiente. Ele também afirma que os fatores fisiológicos dizem respeito às mudanças na resposta do organismo devido à exposição prolongada a certas condições térmicas. Por último, o LABEEE (2016) também afirma que os fatores psicológicos envolvem as variações na percepção e na reação a estímulos sensoriais, que são influenciadas pelas experiências anteriores e pelas expectativas de cada indivíduo.

Portanto, a neutralidade térmica é necessária, mas não o suficiente para garantir o conforto térmico de uma pessoa. Como afirma o LABEEE (2016, p. 7):

Como o corpo humano é um sistema termodinâmico, que produz calor e interage continuamente com o ambiente para alcançar o balanço térmico, existe uma constante troca de calor entre o corpo e o meio, regida pelas leis da física é influenciada pelos mecanismos de adaptação fisiológica, condições ambientais e fatores individuais. A sensação de conforto térmico está diretamente relacionada ao esforço realizado pelo organismo para manter o balanço térmico e assim sendo, se faz necessário conhecer a termorregulação humana e o balanço térmico do corpo humano.

Para Stoecker e Jones (1985), ao dimensionar a carga térmica para um ambiente, é essencial considerar todas as variáveis que influenciam o conforto térmico dos ocupantes. Isso inclui não apenas as características físicas do ambiente, mas também fatores externos, como localização geográfica e orientação do espaço em relação ao sol (STOECKER e JONES, 1985). Além disso, os autores definem que a ocupação do ambiente e o uso de equipamentos eletrônicos também desempenham um papel importante na determinação da carga térmica. Portanto, uma abordagem abrangente e holística é necessária para garantir um ambiente térmico confortável e eficiente em termos energéticos.

De acordo com a Carrier (2020) a utilização de um software especializado como o HAP (*Hourly Analysis Program*) permite realizar cálculos precisos de cargas térmicas horárias, levando em consideração uma ampla gama de variáveis, como a localização geográfica, a orientação do edifício, as características dos materiais de construção e o uso de equipamentos internos.

A Carrier (2020) afirma ainda que o *software* facilita a modelagem detalhada de edifícios e sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (HVAC), fornecendo relatórios que ajudam na tomada de decisões informadas para projetos de climatização eficientes e confortáveis. A utilização do HAP no estudo de caso permitirá uma análise aprofundada e precisa das necessidades térmicas do ambiente, contribuindo para a implementação de soluções otimizadas em termos de conforto térmico e eficiência energética.

Este 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. Sendo assim, chega-se ao problema:

**Como dimensionar um sistema de condicionamento de ar, garantindo a eficiência energética e o conforto térmico, a partir do cálculo da carga térmica para um escritório através do *software* HAP?**

## **1.2 Justificativa**

Este trabalho é justificado pela crescente preocupação com a qualidade do ambiente de trabalho e a produtividade dos funcionários.

De acordo com Sommer (1973) o conforto térmico exerce uma influência significativa no desempenho cognitivo e emocional das pessoas. Portanto, garantir um ambiente

termicamente confortável não é apenas uma questão de comodidade, mas também de eficiência e bem-estar dos trabalhadores. Além disso, a eficiência energética é uma prioridade cada vez mais importante, dada a crescente conscientização sobre os impactos ambientais das atividades humanas.

Assim, este trabalho busca abordar o desafio de conciliar o conforto térmico dos ocupantes com a eficiência energética nos ambientes de trabalho, contribuindo para melhorias tanto no desempenho dos funcionários quanto na sustentabilidade dos espaços de trabalho.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Geral**

Dimensionar um sistema de condicionamento de ar através do *software* HAP para um escritório, visando garantir o conforto térmico dos ocupantes e promover eficiência para o sistema de climatização.

#### **1.3.2 Específicos**

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre: conforto térmico, refrigeração, psicrometria, mecanismos de transferência de calor, métodos de cálculo de carga térmica e coeficiente de *performance*.
- Caracterizar o local do estudo de caso, apresentando e analisando os dados do ambiente;
- Calcular a carga térmica através do *software* HAP;
- Analisar resultados e especificar o equipamento de condicionamento de ar adequado.

### **1.4 Estrutura do Trabalho**

O trabalho está dividido em cinco capítulos, sendo que no primeiro capítulo é apresentado a formulação do problema, a justificativa para a realização do trabalho e seus objetivos geral e específicos.

O segundo capítulo consiste em uma revisão bibliográfica, a qual define os principais conceitos abordados e explicita informações relevantes para a sequência do trabalho.

No terceiro capítulo é abordada a metodologia utilizada, descrevendo o método de pesquisa, as ferramentas, materiais e procedimentos para o cálculo da carga térmica.

O quarto capítulo contém os resultados do cálculo da carga térmica e os equipamentos selecionados.

No quinto capítulo é reservado para a conclusão do trabalho realizado, descrevendo o cumprimento dos objetivos e discorrendo sobre possíveis trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Conforto Térmico

Para Felix (2008) há necessidade das pessoas se sentirem confortáveis em seus ambientes para realizar tarefas com eficiência. Isso motiva a ampla adoção de sistemas de climatização artificial em espaços fechados. O mesmo autor afirma que quando o conforto térmico não é alcançado, o sistema termorregulador do corpo humano é ativado para manter a temperatura interna estável, independentemente das variações ambientais. Ele também enfatiza ainda que o corpo humano interage dinamicamente com os elementos do ambiente, buscando equilibrar a produção de energia interna com a perda de calor para o ambiente externo, assegurando assim a estabilidade da temperatura corporal interna.

Felix (2008) adotou os critérios de conforto térmico propostos por Fanger (1972) para avaliar as condições em salas cirúrgicas, conforme estipulado pelas normas ISO 7730:1994 e ASHRAE 55 (ASHRAE, 2004).

Para Fanger (1972), três principais condições influenciam o conforto térmico de pessoas que permanecem por períodos prolongados em um ambiente: o equilíbrio das trocas de calor entre o corpo e o ambiente, a temperatura média da pele e a produção de suor. O estudo deve considerar variáveis como vestimenta, nível de atividade e características específicas do ambiente, utilizando questionários para avaliações subjetivas. O autor concluiu que o método de Fanger (1972) foi apropriado para avaliar o conforto térmico em salas cirúrgicas, embora tenha destacado os desafios de proporcionar condições ideais para toda a equipe cirúrgica devido às diferentes atividades e tipos de vestimenta. Além disso, fatores ambientais locais também influenciaram os resultados, comprovando que uma temperatura em torno de 22 °C proporcionou melhores condições de conforto térmico para os profissionais (FANGER, 1972).

Felix (2008) também investigou a influência dos sistemas de ar-condicionado no controle de contaminação em salas cirúrgicas, observando que o sistema de fluxo unidirecional (laminar) contribuiu significativamente para o controle de contaminantes e proporcionou melhores condições de conforto térmico para a equipe.

Nakano *et al* (2002) conduziram um estudo no Japão em um ambiente de escritório composto por japoneses e não japoneses, analisando suas percepções sobre o ambiente de trabalho. Dos 406 questionários distribuídos, apenas 26% dos trabalhadores consideraram o ambiente de trabalho confortável. O estudo revelou que diferenças na percepção do ambiente

podem afetar o desempenho no trabalho. Enquanto alguns indivíduos podem se sentir satisfeitos com as condições climatizadas, outros podem experimentar desconforto no mesmo ambiente.

Gomes (2003) explora estudos sobre conforto térmico, cujo objetivo é analisar e estabelecer condições para adequar ambientes térmicos às pessoas e atividades realizadas neles. Em seu estudo, ele utilizou a temperatura externa como parâmetro para avaliar sensações de conforto, além de comparar diferentes vestimentas entre homens e mulheres. Essa diferença de vestuário influenciou na precisão dos índices analíticos, sendo menos preciso para o sexo masculino devido ao maior isolamento térmico das roupas. Gomes (2003) sugere que a temperatura externa é um bom parâmetro para estimar sensações de conforto térmico.

A zona de conforto evoluiu ao longo do tempo à medida que o ambiente de trabalho e as roupas foram mudando, resultando em temperaturas de conforto mais altas do que as anteriormente recomendadas (MITCHELL E BRAUN, 2018).

Um método comum para avaliar o conforto térmico é a escala de sensação térmica que segundo a ASHRAE (2013) varia de sete pontos, indo de frio a quente. A média das respostas sobre a sensação térmica de um grupo de indivíduos é chamada de Voto Médio Estimado (VME), usada para medir o conforto de um ambiente específico. A Percentagem Estimada de Insatisfeitos (PEI) quantifica a proporção de pessoas que provavelmente considerará o ambiente desconfortável.

A Figura 1 ilustra a correlação entre a Percentagem Estimada de Insatisfeitos (PEI) e o Voto Médio Estimado (VME) de sensação térmica. Como as percepções individuais variam, nem todos consideram um conjunto específico de condições como igualmente confortável ou desconfortável. As diretrizes da ASHRAE (2013) sugerem que um ambiente é aceitável se 90% dos ocupantes estiverem satisfeitos, representado pela faixa estreita entre "ligeiramente frio" e "ligeiramente quente".

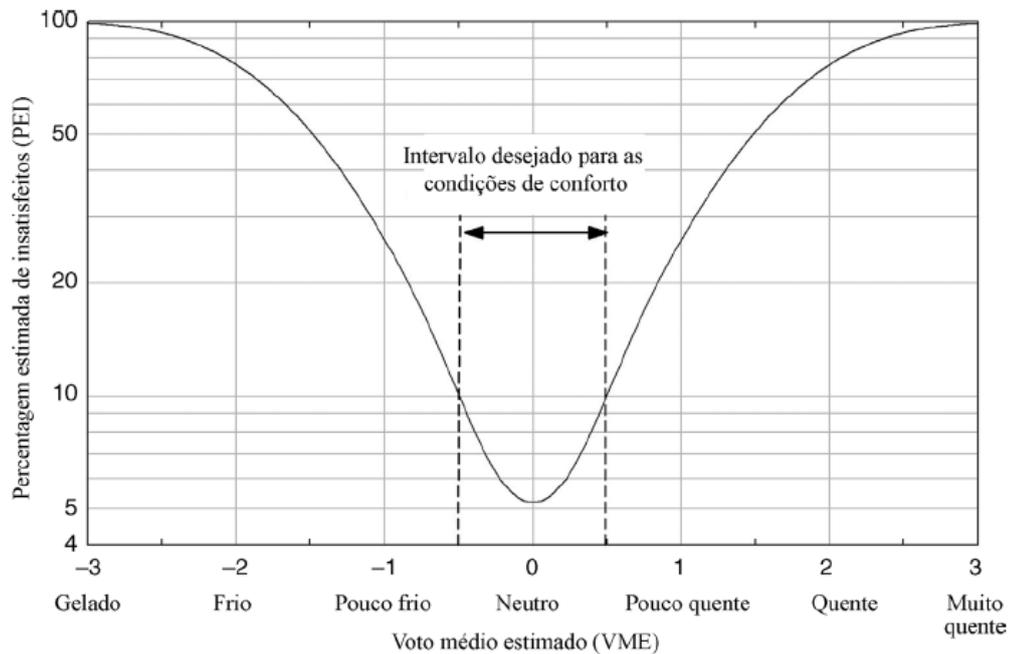


Figura 1: Percentagem estimada de insatisfeitos (PEI) em função do voto médio estimado (VME).  
Fonte: Mitchell e Braun (2018).

Conforme evidenciado na Figura 1, mesmo nas melhores condições, aproximadamente 95% das pessoas em um espaço estarão satisfeitas, enquanto 5% permanecem insatisfeitas. Sob outras condições de conforto, até 10% podem se sentir desconfortáveis. As diferenças individuais na percepção térmica tornam desafiador criar um ambiente que seja satisfatório para todos os ocupantes de um edifício de escritórios.

Como pode ser visto nos aspectos relacionados às necessidades humanas, Frota e Schiffer (2001) dizem que as condições de conforto térmico dependem da atividade realizada pelo indivíduo, da sua vestimenta e das variáveis ambientais que facilitam as trocas de calor entre o corpo e o ambiente. Adicionalmente, é essencial considerar outras variáveis, como sexo, idade, biotipo e hábitos alimentares, entre outros fatores (FROTA E SCHIFFER, 2001).

Os índices de conforto térmico buscam reunir, em um único parâmetro, o efeito combinado dessas variáveis. Frota e Schiffer (2001) apresentam que esses índices são elaborados considerando um tipo específico de atividade e a vestimenta utilizada pelo indivíduo. A partir dessa base, eles relacionam as variáveis ambientais, compilando, na forma de gráficos, as diversas condições ambientais que provocam respostas semelhantes às dos indivíduos (FROTA E SCHIFFER, 2001).

## 2.2 Refrigeração

Segundo Silva *apud* Dalavechia (2017), a refrigeração pode ser entendida como o processo de remoção do calor de um meio, reduzindo sua temperatura e mantendo essa condição por meios mecânicos ou naturais.

De acordo com Ferraz e Gomes (2008), desde as civilizações mais antigas, algumas técnicas de refrigeração já eram empregadas. Silva (2019) explica o uso de gelo natural, que era colhido das superfícies dos lagos ou do topo das montanhas e armazenado em poços cavados na terra. Inicialmente, o objetivo principal era apenas refrigerar alimentos e bebidas para melhorar seu sabor. No entanto, o autor aborda a invenção do microscópio no século XVII, as pessoas descobriram a existência de micro-organismos invisíveis a olho nu, como micróbios e bactérias, que são responsáveis pela decomposição dos alimentos e por causar várias doenças.

Silva (2019) explica que estudos realizados no século XVIII comprovaram que a reprodução desses micro-organismos podia ser impedida ou pelo menos limitada pela redução da temperatura do ambiente. O autor também explica que essas descobertas impulsionaram o desenvolvimento de tecnologias voltadas para a refrigeração de ambientes, visando a preservação de alimentos. Essa técnica de conservação ganhou destaque porque, ao contrário de outras técnicas como salgar, defumar e uso de condimentos, ela não alterava o sabor nem a qualidade dos alimentos conservados (SILVA, 2019).

É interessante distinguir entre dois termos frequentemente tratados como sinônimos: refrigeração e climatização. Ambos envolvem a remoção de calor e a consequente redução da temperatura de um ambiente. No entanto, segundo Lumertz (2015), a climatização tem como objetivo principal a manutenção de condições ambientais confortáveis para os indivíduos presentes no local, ajustando a temperatura para valores geralmente acima de 20 °C. Por outro lado, a refrigeração se preocupa em evitar a degradação de alimentos ou viabilizar outros processos, operando com temperaturas próximas ou abaixo de 0 °C (LUMERTZ, 2019).

Segundo Çengel e Boles (2013), os dispositivos que produzem refrigeração são chamados de refrigeradores, e os ciclos nos quais eles operam são chamados de ciclos de refrigeração. Os autores ainda afirmam que o ciclo de refrigeração mais usado é o ciclo de refrigeração por compressão de vapor, no qual o refrigerante é vaporizado e condensado alternadamente e é comprimido na fase de vapor, como é representado na figura 2 a seguir.

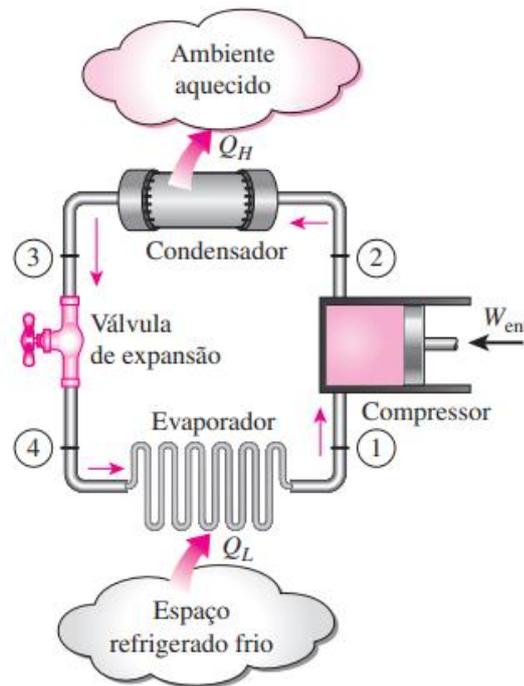


Figura 2: Esquema do ciclo ideal de refrigeração.  
Fonte: Çengel e Boles (2013).

No ciclo, indicado na figura 2, o fluido refrigerante (refrigerante) entra no compressor como vapor saturado e é comprimido de forma isentrópica até a pressão do condensador, resultando em um aumento de temperatura. Çengel e Boles (2013) explicam que no condensador, o refrigerante superaquecido rejeita calor para o ambiente, tornando-se líquido saturado, esse líquido então passa por uma válvula de expansão, onde a pressão e a temperatura cai abaixo da temperatura do espaço refrigerado. No evaporador, o refrigerante absorve calor do espaço refrigerado e evapora, retornando ao compressor como vapor saturado, completando assim o ciclo (ÇENGEL E BOLES, 2013).

Segundo Çengel e Boles (2013), o ciclo de refrigeração por compressão de vapor é o mais usado para refrigeradores, sistemas de condicionamento de ar e bombas de calor. A figura 3 indica a representação esquemática do ciclo de refrigeração por compressão de vapor em relação ao esquema T-s.

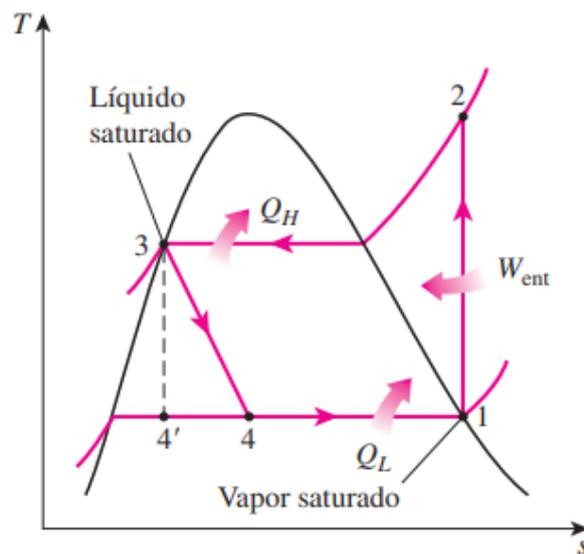


Figura 3: Diagrama T-s do ciclo ideal de refrigeração.  
Fonte: Çengel e Boles (2013).

Os processos representados na figura 3 podem ser representados segundo Çengel e Boles (2013) da seguinte forma:

- 1-2 Compressão isentrópica em um compressor;
- 2-3 Rejeição de calor a pressão constante em um condensador;
- 3-4 Estrangulamento em um dispositivo de expansão;
- 4-1 Absorção de calor a pressão constante em um evaporado.

### 2.3 Psicrometria

Mitchell e Braun (2018) explicam que os sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado (AVAC) são projetados para proporcionar conforto aos ocupantes de edificações, condicionando o ar para alcançar a temperatura e umidade adequadas.

O processo utilizado para atender aos critérios de conforto inclui aquecimento, resfriamento, desumidificação e umidificação (MITCHELL E BRAUN, 2018).

Para calcular as transferências de umidade e energia que ocorrem, Mitchell e Braun (2018) definem que é necessário conhecer as propriedades de uma corrente de ar que contenha vapor de água. A área do conhecimento que lida com essas propriedades é chamada psicrometria. O termo deriva das palavras gregas “psicro”, que significa frio, e “metria”, que significa medida (MITCHELL E BRAUN, 2018).

Çengel e Boles (2013) afirmam que a psicrometria é fundamental no projeto de sistemas de AVAC e é essencial para entender os detalhes da adição ou remoção de umidade. Embora os processos psicrométricos possam parecer confusos no início, com prática e experiência, eles se tornam mais intuitivos e compreensíveis, isso facilita a elaboração de um projeto bem-sucedido de um sistema, garantindo um ambiente confortável e adequado para os ocupantes.

Com o objetivo de determinar as propriedades do ar a uma pressão específica, foi criado o diagrama psicrométrico ou carta psicrométrica. Esta ferramenta é extremamente útil para a simulação de processos, como o aquecimento ou resfriamento de ambientes. Vale destacar que, ao conhecer dois valores referentes ao ar do ambiente em estudo, é possível obter todas as outras propriedades usando as linhas apresentadas no diagrama.

Em suma, conforme destacado por Çengel e Boles (2013), às propriedades referidas são:

- a) Pressão De Vapor (P): É a pressão que o vapor de água exerceria se existisse sozinho, à mesma temperatura e ao mesmo volume do ar atmosférico (kPa);
- b) Umidade Absoluta ( $\omega$ ): Quantidade em massa de vapor de água contido em uma unidade de massa de ar seco. (kg de vapor d'água/ kg de ar seco);
- c) Umidade Relativa ( $\Phi$ ): É a razão entre a quantidade real de umidade no ar a uma determinada temperatura e a quantidade máxima que o ar pode conter naquela temperatura (%);
- d) Temperatura de Bulbo Seco (TBS): É a temperatura comum do ar atmosférico (°C);
- e) Temperatura de Bulbo Úmido (TBU): Temperatura medida em um termômetro com o bulbo envolvido em algodão totalmente molhado com água, e em seguida exposto a uma corrente de ar (°C);
- f) Volume Específico (v): Determinado pelo volume por unidade de massa ( $\text{m}^3/\text{kg}$ );
- g) Entalpia (h): Soma da energia interna e da energia de pressão (kJ/kg);
- h) Temperatura De Ponto De Orvalho ( $T_{po}$ ): É definida como a temperatura na qual a condensação começa quando o ar é resfriado a pressão constante (°C).

Çengel e Boles (2013) explicam que o gráfico psicrométrico é uma ferramenta prática para visualizar processos de condicionamento de espaços e avaliar as propriedades da mistura ar-vapor de água. Este gráfico é ajustado para uma pressão atmosférica específica e geralmente

utiliza a razão de umidade e a temperatura de bulbo seco como eixos de coordenadas (ÇENGEL E BOLES, 2013). As propriedades representadas no gráfico psicrométrico convencional são ilustradas na Figura 4.

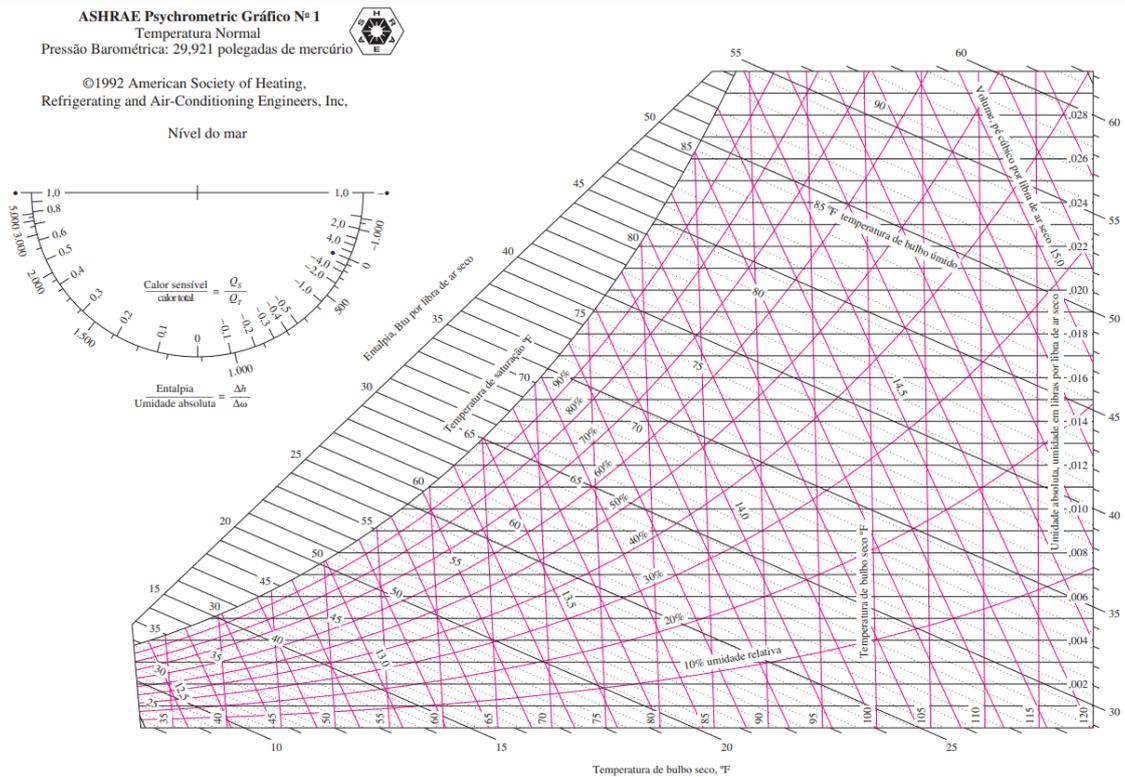


Figura 4: Carta psicrométrica à pressão total de 1 atm.  
Fonte: Çengel e Boles (2013).

O gráfico psicrométrico, como o mostrado na Figura 2, se refere às condições ao nível do mar. A pressão padrão ao nível do mar é de 14,696 psia (101,3 kPa), e as propriedades psicrométricas são geralmente calculadas para esta pressão. Para Çengel e Boles (2013) é incomum que a pressão local seja exatamente igual à do nível do mar, uma vez que praticamente todas as regiões estão situadas acima deste nível.

Os autores Çengel e Boles (2013) explicam que a pressão do ar local depende do peso da atmosfera acima do local específico e, portanto, em altitudes elevadas, há menos ar acima do solo, resultando em uma pressão inferior à do nível do mar, além disso, a pressão atmosférica varia de acordo com as condições meteorológicas. Os autores explicam também que quando o ar está frio e seco, a pressão é maior do que quando o ar está quente e úmido. Devido às constantes mudanças nas condições climáticas, a pressão atmosférica também está em constante variação (ÇENGEL E BOLES, 2013).

## 2.4 Mecanismos de transferência de calor

Segundo Bergman *et al.* (2014, p. 2), transferência de calor é “energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperaturas no espaço”. Sempre que houver uma diferença de temperatura em um meio ou entre diferentes meios, ocorrerá, inevitavelmente, uma transferência de calor (BERGMAN *et al.*, 2014).

Para Bergman *et al.* (2014), quando há um gradiente de temperatura em um meio estacionário, seja ele sólido ou fluido, a transferência de calor que ocorre através desse meio é denominada condução.

Em contraste, Bergman *et al.* (2013), aborda o termo convecção que se refere à transferência de calor que acontece entre uma superfície e um fluido em movimento, quando ambos estão a diferentes temperaturas.

O terceiro modo de transferência de calor é a radiação térmica, onde todas as superfícies com temperaturas acima de zero emitem energia na forma de ondas eletromagnéticas (BERGMAN *et al.*, 2014).

Assim, na ausência de um meio interposto participante, ocorre transferência líquida de calor por radiação entre duas superfícies com temperaturas diferentes (BERGMAN *et al.*, 2014). A figura 5 ilustra os 3 tipos de mecanismos de transferência de calor.

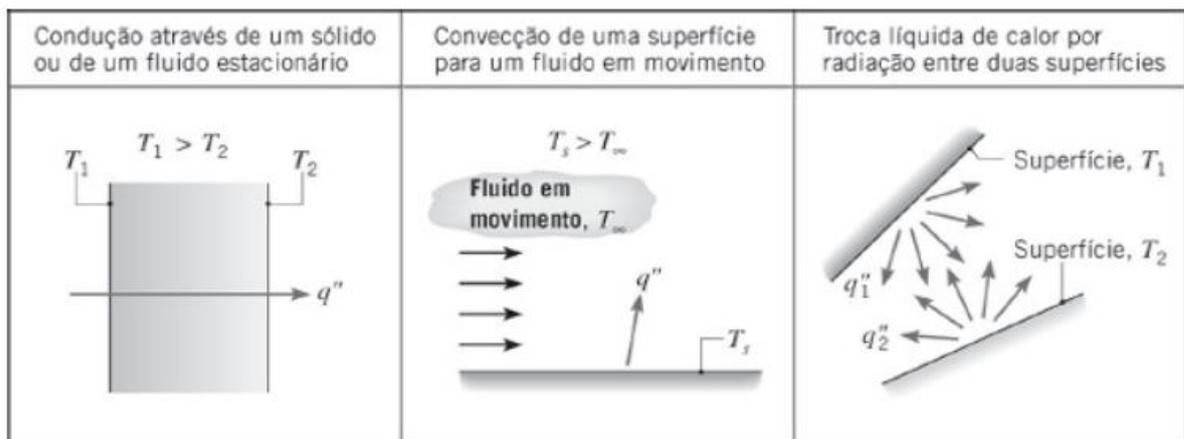


Figura 5: Modos de transferência de calor: condução, convecção e radiação.  
Fonte: Bergman *et al.* (2014).

Como mostrado na figura 3, todos os modos de transferência de calor requerem uma diferença de temperatura para ocorrer e sempre fluem da região de maior temperatura para a de menor temperatura.

### 2.4.1 Condução

Çengel e Ghajar (2012, p. 17) definem a condução como “transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para partículas vizinhas adjacentes menos energéticas, como resultado da interação entre elas”. Podendo ocorrer em sólidos, líquidos ou gases.

De acordo com Çengel e Ghajar (2012), a taxa de condução de calor através de um meio depende de vários fatores, incluindo a geometria, a espessura, o tipo de material e a diferença de temperatura a que o meio está submetido. Os autores explicam ainda que quanto maior for o isolamento térmico do material, menor será a perda de calor. Com isso temos a taxa de condução pode ser escrita forme a equação 1.

$$\dot{q}_{cond} = k \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -k \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

Onde:

- $\dot{q}_{cond}$  = Taxa de condução de calor (W);
- $k$  = Condutividade térmica do material (W/m.K);
- $T_1$  e  $T_2$  = Temperaturas das superfícies do corpo por onde está fluindo o calor (K);
- $\Delta x$  = Espessura da camada (m);
- $(A)$  = Área da superfície de transferência de calor (m<sup>2</sup>).

### 2.4.2 Convecção

Çengel e Ghajar (2012, p. 25) conceituam a convecção como o “modo de transferência de energia entre a superfície sólida e a líquida ou gás adjacente, que está em movimento e que envolve os efeitos combinados de condução e de movimento de um fluido”.

Tal movimento, na presença de um gradiente de temperatura, contribui para a transferência de calor. Dado que as moléculas nos agregados mantêm seus movimentos aleatórios, a transferência total de calor resulta da superposição do transporte de energia pelo movimento aleatório das moléculas e do transporte devido ao movimento global do fluido (BERGMAN *et al*, 2014).

Segundo Bergman *et al* (2014), a transferência de calor por convecção pode ser classificada de duas formas, a primeira é a convecção forçada quando o escoamento é causado por meios externos e a segunda é a convecção natural, onde o fluido é conduzido por forças de empuxo, que são originadas a partir de diferenças de densidades causadas por variações de temperatura no fluido.

De acordo com Çengel e Ghajar (2012) a taxa de transferência de calor e a diferença de temperatura entre a superfície do sólido e o fluido são proporcionais e pode ser expressa pela lei de Newton do resfriamento através da equação:

$$\dot{q}_{conv} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_\infty) \quad (2)$$

Onde:

- $\dot{q}_{conv}$  = Taxa de transferência de calor por convecção (W);
- $h$  = Coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m<sup>2</sup>.K);
- $T_s$  e  $T_\infty$  = Temperaturas da superfície do sólido e do fluido distante da superfície, respectivamente (K);
- $A_s$  = Área da superfície de transferência de calor (m<sup>2</sup>).

### 2.4.3 Radiação

Para Çengel e Ghajar (2012, p. 27) a radiação é caracterizada como a “energia emitida pela matéria sob a forma de ondas eletromagnéticas (ou fótons) como resultado das mudanças nas configurações eletrônicas de átomos ou moléculas.”

Segundo Bergman *et al* (2014), essa emissão pode ser atribuída a mudanças nas configurações eletrônicas dos átomos ou moléculas que constituem a matéria. Eles afirmam ainda que a energia do campo de radiação é transportada por ondas eletromagnéticas, ou alternativamente, por fótons.

Enquanto a transferência de energia por condução ou convecção requer a presença de um meio material, a radiação não necessita dele (BERGMAN *et al*, 2014). Na realidade, a transferência por radiação ocorre mais eficientemente no vácuo.

Segundo Çengel e Ghajar (2012) a taxa máxima de radiação que pode ser emitida de uma superfície na temperatura termodinâmica  $T_s$  é dada pela lei de Stefan-Boltzmann da radiação térmica. Essa taxa de radiação é emitida somente por um corpo negro e pode ser expressa pela equação a seguir:

$$\dot{q}_{emit,max} = \sigma \cdot A_s \cdot T_s \quad (3)$$

Onde:

- $\dot{q}_{emit,max}$  = Taxa máxima de radiação emitida (W);
- $\sigma$  = Constante de Stefan Boltzmann ( $5,670 \times 10^{-8} \text{ W /m}^2 \cdot \text{k}^4$ );
- $A_s$  = Área da superfície de transferência de calor ( $\text{m}^2$ );
- $T_s$  = Temperatura termodinâmica na qual o corpo negro se encontra (K).

Já, a radiação emitida por superfícies reais é menor do que a emitida por um corpo negro com mesma temperatura e pode ser expressa a seguinte forma:

$$\dot{q}_{emit} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s \cdot T_s \quad (4)$$

Onde:

- $\dot{q}_{emit}$  = Taxa de radiação emitida real (W);
- $\varepsilon$  = Emissividade;
- $\sigma$  = Constante de Stefan Boltzmann ( $5,670 \times 10^{-8} \text{ W /m}^2 \cdot \text{k}^4$ );
- $A_s$  representa a área da superfície de transferência de calor ( $\text{m}^2$ );
- $T_s$  = Temperatura termodinâmica na qual o corpo negro se encontra (K).

Onde  $\varepsilon$  é a emissividade da superfície. A propriedade emissividade, cujo valor está na faixa de  $0 \leq \varepsilon \leq 1$ , é a medida de quanto uma superfície aproxima-se do comportamento de um corpo negro, para o qual  $\varepsilon = 1$  (ÇENGEL e GHAJAR, 2012).

## 2.5 Métodos de cálculo de carga térmica

Segundo o Manso e Bastos (2020), entre 2005 e 2017, o consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro aumentou aproximadamente 61%, enquanto o consumo atribuído aos condicionadores de ar registrados um crescimento expressivo de quase 237%.

Para Westphal (2002), as iniciativas para diminuir esse consumo incluem desde o planejamento arquitetônico dos edifícios até o sistema de controle dos equipamentos de climatização. A estimativa do consumo de energia elétrica de aparelhos de ar-condicionado e a busca por alternativas para reduzir esse consumo têm sido foco de estudo para diversos pesquisadores desde o início do século XX (WESTPHAL, 2002).

Al-Homoud (2001) aborda diversas ferramentas contemporâneas empregadas para a análise energética de edificações, abrangendo desde métodos mais simples até sofisticadas simulações horárias. Conforme as palavras do Al-Homoud (2001, p. 429):

Embora esses programas possam desenvolver a simulação hora-a-hora dos sistemas de aquecimento e resfriamento, com diferentes opções de resultados incluindo análise econômica, eles requerem muito tempo em treinamento, preparação dos dados de entrada, execução e interpretação dos resultados com diferentes graus de dificuldade para cada programa.

O autor Al-Homoud (2001), ainda argumenta a favor da criação de ferramentas e métodos simplificados para a análise energética de edificações, especialmente quando o objetivo é examinar tendências ou comparar diferentes sistemas e alternativas.

Entretanto, o avanço tecnológico tem permitido ampliar as capacidades e recursos dos programas existentes, o que, por outro lado, também aumenta a complexidade e a dificuldade na utilização dessas ferramentas. O *software* HAP exemplifica essa evolução tecnológica, permitindo ao usuário além do cálculo de carga térmica, a simulação hora a hora das 8760 horas/ano (CAISM, 2020).

A discussão de diversas aplicações de programas de simulação em escritórios de engenharia e arquitetura é abordada por Hong e Chou (2000), onde o autor aborda que no setor de edificações, os *softwares* são amplamente utilizados para projetar soluções que reduzam o consumo de energia e minimizem o impacto ambiental, sem comprometer o conforto interno dos ocupantes. Além disso, a simulação térmica e energética de edificações pode ser usada para definir parâmetros de projeto, assegurando a conformidade com as normas de conforto térmico e eficiência energética (HONG e CHOU, 2000).

Westphal (2002) afirma que além da eficiência energética, o próprio projeto de um sistema de condicionamento de ar deve considerar diversas variáveis que influenciam a carga térmica dentro da edificação. Ele também destaca que o dimensionamento de um ar-condicionado deve ser feito para suportar a carga térmica máxima possível no interior do edifício. Para isso, é essencial levar em conta as zonas térmicas que cada aparelho irá climatizar,

as contribuições de cada fonte de ganho de calor para a carga térmica total, em relação à temperatura de controle desejada, e a probabilidade de que essa carga máxima ocorra (WESTPHAL, 2002).

A utilização de simulação computacional tem permitido o desenvolvimento de várias metodologias para determinar a carga térmica em edificações. A ASHRAE (2017) propõe quatro métodos para esse cálculo: Balanço Térmico, Fatores de Peso (TFM), CLTD/CLF e TETD/TA, dentre eles, o Balanço Térmico é considerado o mais preciso. No entanto, segundo Westphal (2002), nenhum desses métodos consegue representar de forma completa e detalhada todo o processo de transferência de calor, pois isso resultaria em um modelo excessivamente complexo e inviável, mesmo com os avanços tecnológicos atuais.

Para Westphal (2002), a maioria dos métodos divide o cálculo da carga térmica em pelo menos duas etapas: inicialmente, avalia-se os ganhos (fluxos) de calor que entram e são gerados na zona, e posteriormente, considera-se a remoção desse calor pelo sistema de climatização.

De acordo com Strand *et al* (2001), o método do Balanço Térmico fundamenta-se na primeira lei da termodinâmica, que trata da conservação da energia. Ele é dividido em quatro processos principais: o balanço térmico na superfície externa da parede (ou cobertura), a condução de calor através da parede (ou cobertura), o balanço térmico na superfície interna da parede (ou cobertura) e o balanço térmico no ar interno (STRAND *et al*, 2001).

O método CLTD/CLF (*Cooling Load Temperature Differences/Cooling Load Factors*) utiliza valores tabelados para situações específicas. Devido às suas limitações, a ASHRAE (2017) optou por abandonar suas pesquisas nesse método, direcionando esforços para abordagens mais promissoras.

Similarmente, segundo a ASHRAE (2017), o método TETD/TA (*Total Equivalent Temperature Differential/Time-Averaging*) também foi deixado de lado devido à falta de validação científica e à necessidade de uma significativa experiência do usuário para uma aplicação eficaz. O autor explica que esse método aplica a equação básica de transferência de calor em superfícies opacas, substituindo a diferença de temperatura externa e interna pelos valores de TETD, que são tabelados considerando componentes construtivos específicos, latitude, temperatura interna média, temperatura externa máxima e variações de temperatura externa.

De acordo com Strand *et al.* (2001), o método de Balanço Térmico (HB : *Heat Balance*) deveria ser o mais preciso, exigindo pouquíssimas suposições por parte do usuário. Contudo, Westphal (2002) aborda que até alguns anos atrás, sua aplicação era limitada pela falta de equipamentos avançados capazes de realizar os cálculos e iterações em tempo hábil. Mesmo com o avanço tecnológico, o programa desenvolvido e distribuído pela ASHRAE para cálculo de carga térmica ainda utiliza o método dos Fatores de Peso (TFM) como ponto de partida para as iterações necessárias à resolução do HB (PEDERSEN *et al.*, 1998). A complexidade do método HB reside na quantidade de equações que precisam ser resolvidas para calcular com precisão a carga térmica de um ambiente.

A ASHRAE tem patrocinado novas pesquisas para simplificar e ampliar a aplicabilidade do método de Balanço Térmico. Nesse contexto, Pedersen *et al.* (1998) apresentaram o método RTS (*Radiant Time Series*), que é uma evolução do Balanço Térmico e substituiu todos os outros métodos simplificados mencionados em ASHRAE (2017). O autor explica que o método RTS divide o ganho de calor por condução através de cada superfície de uma sala e a geração interna de calor em porções radiantes e convectivas. A porção convectiva é imediatamente adicionada à carga térmica da sala, enquanto a porção radiante é processada por meio de coeficientes RTS, que determinam a fração do ganho de calor que será convertida em carga térmica ao longo da hora atual e das subsequentes (PEDERSEN *et al.*, 1998).

Segundo Westphal (2002), o método que mais se assemelha ao Balanço Térmico é o TFM (Método de Função de Transferência), e sua aplicação é simples, combinada com a precisão aceitável dos resultados. O mesmo autor explica que esse método utiliza uma primeira série de fatores de peso para representar a inércia térmica de superfícies opacas no processo de condução de calor.

Além disso, Westphal (2002) apresenta uma segunda série de coeficientes que é aplicada sobre os ganhos de calor e as cargas que possuem componentes radiantes. Ele explica que esses coeficientes têm como objetivo representar o armazenamento de calor na envoltória do edifício e nos objetos internos, antes de transferi-lo para o ar como carga térmica que será removida pelo sistema de climatização. De acordo com Mitalas (1972), a principal vantagem do TFM é ir além do cálculo da carga térmica, permitindo o cálculo da taxa de extração de calor e da temperatura interna da sala.

Harris e McQuiston (1988) descrevem a metodologia utilizada para classificar paredes e coberturas em diferentes grupos, bem como a aplicação das tabelas do TFM. A ASHRAE

(2017), em seu manual de fundamentos, inicialmente apresentou o método CLTD para o cálculo de carga térmica e o dimensionamento de condicionadores de ar. No entanto, o autor explica que o método CLTD abrangia apenas 7 tipos de paredes e 26 tipos de coberturas, o que tornava necessária a realização de ajustes complexos se a parede ou cobertura em questão não correspondesse exatamente a esses tipos. Desde então, vários métodos foram desenvolvidos para caracterizar o comportamento transiente de paredes e coberturas, classificando os componentes construtivos com base no atraso térmico e no amortecimento.

## 2.6 Método TFM (*Transfer function Method*)

Conforme Westphal (2002), desde a década de 70 até 2001, a ASHRAE adotou o TFM como o método principal para o cálculo de carga térmica em edificações. Durante esse período, o TFM foi amplamente utilizado em vários programas de simulação térmica e energética.

Segundo a ASHARE (2017), o cálculo pelo método TFM fundamenta-se em dois conceitos cruciais: Funções de Transferência por Condução (CTF - *Conduction Transfer Functions*) e Fatores de Peso (WF - *Weighting Factors*). Os CTFs e WFs são coeficientes que conectam o valor presente de uma variável com seus valores passados, assim como com outras variáveis, dentro de um período de tempo específico, geralmente de 1 hora (ASHARE, 2017).

De acordo com Westphal (2002), os coeficientes CTF são empregados para representar o fluxo de calor por condução através de elementos opacos, como paredes e coberturas, integrando os efeitos da convecção e radiação nas superfícies interna e externa. O autor ainda afirma que o cálculo do fluxo de calor em um dado momento é baseado nos valores de fluxo anteriores, além das temperaturas interna e externa. Esses coeficientes CTF são determinados de forma analítica e variam conforme as propriedades físicas do material e os coeficientes de convecção das superfícies limitantes (ASHARE, 2017).

Para Westphal (2002), os Fatores de Peso (WF), também conhecidos como Funções de Transferência do Ambiente (RTF), conectam a carga térmica horária devida a cada tipo de ganho de calor com seus valores anteriores e com as cargas térmicas previamente geradas por esse ganho. O autor ainda explica que a parte do ganho de calor transmitida por convecção é imediatamente somada à carga térmica do ambiente no momento em que é calculada. Outra explicação apresentada pelo autor é na parte transmitida por radiação que é primeiramente absorvida pelas superfícies e objetos do ambiente antes de ser incorporada à carga térmica. A transferência dessa fração de calor para o ar, convertendo-se em carga térmica, é mediada pelos

Fatores de Peso, que são específicos para cada ambiente, de acordo com suas características térmicas e a natureza do ganho de calor (WESTPHAL, 2002).

Em estudo feito por Sowell (1988), onde ele realizou cálculos de Fatores de Peso para 200.640 tipos de zonas térmicas, abrangendo uma variação de 14 parâmetros distintos, como o número de paredes externas, geometria da zona, área envidraçada, tipo de parede, cobertura e piso. Os resultados obtidos pelo autor permitiram agrupar zonas com comportamentos térmicos similares.

### 2.6.1 Ganho de calor através de paredes externas e teto

Segundo a ASHARE (2017), para o cálculo do fluxo de calor através de superfícies opacas, o método TFM utiliza a temperatura sol-ar para representar as condições externas, assumindo que a temperatura interna da sala permanece constante. O mesmo autor explica que os coeficientes CTF (Função de Transferência por Condução) são aplicados à parte do ganho de calor que é transferida ao ar interno por meio da radiação. Outra afirmação feita pelo autor é no ganho de calor que é transmitido por convecção e imediatamente convertido em carga térmica. Diante dessas condições, a equação fundamental de transferência de calor é aplicada a cada superfície do ambiente. O fluxo de calor ( $q_{e,\theta}$ ) através de um elemento construtivo opaco em um determinado instante  $\theta$  é expresso pela equação (5), conforme descrito por McQuiston e Spitler (1992).

$$q_{e,\theta} = A \left[ \sum_{n=0}^n b_n(T_{e,\theta-n\delta}) - \sum_{n=1}^n \frac{d_n(q_{e,\theta-n\delta})}{A} - T_{rc} \sum_{n=0}^n c_n \right] \quad (5)$$

Onde:

- $q_{e,\theta}$  = Ganho de calor através da parede ou cobertura (W);
- $A$  = Área da superfície interna do elemento construtivo (m<sup>2</sup>);
- $\theta$  = Hora calculada;
- $\delta$  = Intervalo de tempo (h);
- $n$  = Índice de somatório;
- $T_{e,\theta-n\delta}$  = Temperatura sol-ar no instante  $\theta - n\delta$  (°C);
- $T_{rc}$  = Temperatura interna (°C);
- $b_n, c_n, d_n$  = Coeficientes CTF.

A equação 5 segundo McQuiston e Spitler (1992) precisa ser solucionada por meio de iterações, iniciando com valores estimados para os fluxos de calor nas primeiras 24 horas. Os autores afirmam que o processo é repetido sucessivamente até que se atinja a convergência, o que, em geral, não demanda mais do que 5 iterações.

### 2.6.2 Ganho de calor através de janelas

Como afirma Westphal (2002), o calor que passa por uma superfície envidraçada é resultado de três principais mecanismos: condução e convecção causadas pela diferença de temperatura entre os ambientes interno e externo; troca de calor por radiação em ondas longas entre a janela e as superfícies próximas; e a radiação solar em ondas curtas que atinge a janela, seja de forma direta, difusa ou refletida. Simplificadamente, esse fluxo de calor pode ser determinado usando a equação 6.

$$q = A[S \cdot SHG \cdot IAC + U(T_o - T_i)] \quad (6)$$

Onde:

- $q$  = Fluxo de calor através da janela (W);
- $A$  = Área da superfície envidraçada ( $m^2$ );
- $SC$  = Fator de sombreamento do vidro;
- $SHGF$  = Fator de ganho de calor solar ( $W/m^2$ );
- $IAC$  = Coeficiente de atenuação devido ao sombreamento interno;
- $U$  = Coeficiente global de transferência de calor da janela ( $W/m^2.K$ );
- $T_o$  = Temperatura externa ( $^{\circ}C$ );
- $T_i$  = Temperatura interna ( $^{\circ}C$ ).

A determinação da transmitância global da janela deve considerar as diferenças entre a transmitância no centro do vidro, bordas do vidro e esquadria (WESTPHAL, 2002). Já existem programas computacionais tradicionais para o cálculo desses valores.

### 2.6.3 Ganho de calor através de paredes internas

Através da abordagem de Westphal (2002), o fluxo de calor através de paredes internas, que separam duas zonas adjacentes, pode ser calculado pela equação 7, assumindo que a temperatura  $t_b$  do espaço adjacente se mantenha quase constante. O mesmo autor explica que se a temperatura  $t_b$  variar significativamente ao longo do dia, deve-se calcular essa variação e

usar a equação 5 para determinar o fluxo de calor através da parede, substituindo a temperatura externa  $t_e$  pela temperatura do ambiente adjacente  $t_b$ .

$$q_{p,\theta} = UA(T_b - T_{rc}) \quad (7)$$

Onde:

- $q_{p,\theta}$  = Fluxo de calor através da parede (W);
- $U$  = Transmitância térmica global da parede que separa os dois ambientes adjacentes (W/m<sup>2</sup>.K);
- $T_b$  = Temperatura do ambiente adjacente (°C);
- $T_{rc}$  = Temperatura de controle do ambiente em questão (°C);
- $A$  = Área da parede interna (m<sup>2</sup>).

#### 2.6.4 Ganho de calor interno

A ASHRAE (2017) aborda que os ganhos de calor interno provenientes de pessoas, iluminação e equipamentos, atualmente podem representar a maior parte da carga de resfriamento em uma construção, principalmente por causa dos avanços tecnológicos, que resultam em uma maior modernização dos ambientes. Fatores como o aumento do uso de equipamentos eletrônicos e o advento de espaços de ocupação densa exemplificam o motivo do aumento considerável das cargas internas atualmente. (ASHRAE, 2017, p. 18.3).

No que diz respeito ao sistema de iluminação, a ASHRAE (2017) afirma que o calor gerado pelas lâmpadas e reatores se divide entre convecção e radiação. Segundo a ASHRAE (2017), para lâmpadas incandescentes, aproximadamente 80% da potência nominal é emitida como radiação, enquanto 20% é transferido ao ambiente por convecção. Já para lâmpadas fluorescentes, cerca de 50% da potência total do sistema, incluindo lâmpadas e reatores, é emitida na forma de radiação (ASHRAE, 2017).

Para outros equipamentos elétricos, a ASHRAE (2017) oferece tabelas detalhadas que indicam as taxas de calor sensível e latente emitidas durante o funcionamento normal e em *stand-by*. O autor também explica que o calor sensível é dividido entre radiação e convecção; em geral, para equipamentos típicos de escritórios, assume-se que 50% do calor sensível é transferido ao ar por convecção, enquanto os outros 50% são inicialmente absorvidos pelas

superfícies do ambiente na forma de radiação antes de se converterem em carga térmica para o ar.

### 2.6.5 Ganho de calor por infiltração/ ventilação de ar externo

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. Em contraste, 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 (WESTPHAL, 2002).

O impacto no ganho ou perda de calor devido à entrada de ar externo na edificação pode ser avaliado usando a equação (8) para calcular a transferência de calor sensível ( $q_{\text{sensível}}$ ) e a equação (9) para determinar a transferência de calor latente ( $q_{\text{latente}}$ ) entre o ar externo e o interno (ASHRAE, 2017).

$$q_{\text{sensível}} = 1,23 \cdot \text{VazãoAr}(T_o - T_i) \quad (8)$$

$$q_{\text{latente}} = 3010 \cdot \text{VazãoAr}(W_o - W_i) \quad (9)$$

Onde:

- $q_{\text{sensível}}$  = Ganho de calor sensível (W);
- $q_{\text{latente}}$  = Ganho de calor latente (W);
- $\text{VazãoAr}$  = Vazão de ar infiltrado ou ventilado (l/s);
- $T_o$  e  $T_i$  = Temperatura do ar externo e interno (°C);
- $W_o$  e  $W_i$  = Conteúdo de umidade do ar externo e interno ( $\text{kg}_{\text{água}}/\text{kg}_{\text{ar seco}}$ ).

### 2.7 Desempenho para sistemas de climatização

O desempenho dos sistemas de climatização está relacionado à proporção entre a energia térmica removida do ambiente e a energia consumida pelo sistema para realizar esse processo (MORAN *et al*, 2018). Essa relação é expressa pela equação 10 que permite calcular um indicador de eficiência, avaliando o quanto de calor é extraído em comparação com o trabalho fornecido ao sistema.

$$COP = \frac{Q_{sai}}{W_{ent}} \quad (10)$$

Onde:

- COP = Coeficiente de *performance*;
- $Q_{sai}$  = Calor retirado do ambiente (kW);
- $W_{ent}$  = Trabalho fornecido ao sistema (kW).

O coeficiente de *performance* é um valor adimensional que mede a eficiência energética de um sistema de climatização. Quanto maior seu valor, mais eficiente é o sistema, pois indica que uma menor quantidade de energia é consumida para atender a uma determinada carga térmica (MORAN *et al*, 2018).

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo são abordadas as características da metodologia utilizada no desenvolvimento da pesquisa, incluindo a classificação quanto à forma de levantamento e tratamento dos dados, bem como a descrição dos procedimentos técnicos adotados durante o cálculo de carga térmica através do *software* HAP para um escritório.

#### 3.1 Tipo de Pesquisa

Conforme Marconi e Lakatos (2017), a metodologia é um processo estruturado que reúne técnicas e procedimentos para conduzir uma pesquisa ou estudo, abrangendo desde a identificação do problema até a análise dos dados obtidos. Funciona como um guia que orienta o pesquisador na busca dos objetivos de forma organizada e rigorosa. Inclui a escolha do tipo de pesquisa, a definição dos participantes, os métodos de coleta e análise de dados, e a interpretação dos resultados (MARCONI e LAKATOS, 2017).

A pesquisa é um processo dedicado à busca e aquisição de informações relevantes para aprofundar o conhecimento sobre um tema específico. Conforme Gil (2002), a pesquisa é um procedimento que visa fornecer respostas para problemas identificados e pode ser realizada de várias formas, utilizando diversas ferramentas. “A pesquisa é desenvolvida com base nos conhecimentos disponíveis e na aplicação cuidadosa de métodos e técnicas de investigação científica” (GIL, 2002, p. 17).

A forma de pesquisa abordada pelo trabalho é a pesquisa quantitativa que é uma abordagem amplamente utilizada em diversos projetos de investigação. Caracteriza-se pela coleta de dados que são tratados de forma numérica e analisados estatisticamente. Esse tipo de pesquisa busca quantificar fenômenos, fazendo uso de dados estatísticos para comprovar teorias e realizar análises detalhadas desses dados (SAMPIERI *et al*, 2013).

De acordo com Gil (2002, p. 17), a investigação científica é definida como “o procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos”. Em outras palavras, trata-se de um processo metódico cujo objetivo principal é fornecer respostas precisas e adequadas para problemas previamente identificados e delimitados.

O objetivo deste trabalho é buscar e adquirir informações pertinentes sobre um determinado tema, um tipo de estudo comumente utilizado para isso é a pesquisa exploratória.

Conforme Gil (2002), a pesquisa exploratória visa estabelecer uma base de conhecimento com o objetivo de gerar hipóteses para o estudo. Além disso, Gil (2002) ressalta que muitas pesquisas acadêmicas, em seus estágios iniciais, possuem um caráter exploratório, especialmente devido à falta de clareza e definição precisa sobre o objeto de pesquisa.

Segundo Rodrigues (2024), as pesquisas realizadas podem ser categorizadas com base nos métodos técnicos empregados. O presente trabalho aborda os procedimentos técnicos que podem ser classificados como pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa experimental e estudo de caso.

A pesquisa bibliográfica consiste na busca e análise de artigos, livros e outros materiais já publicados sobre o tema de interesse, permitindo que o pesquisador obtenha uma visão geral do assunto e identifique lacunas no conhecimento existente. Como afirma Gil (2002), a pesquisa bibliográfica proporciona vantagens na identificação de questões concretas, pois permite uma investigação mais detalhada e abrangente. Isso acontece através da exploração e análise de conceitos presentes em fontes já existentes, contribuindo para uma base mais robusta e fundamentada sobre o tema em questão.

Por sua vez, a pesquisa documental, conforme Gil (2002), é elaborada a partir de diversas fontes, sem a necessidade de tratamentos analíticos. Os autores Marconi e Lakatos (2017), trazem que análise de documentos envolve três etapas fundamentais:

- **Seleção dos Documentos:** O pesquisador deve escolher documentos relevantes para a pesquisa com base na natureza do problema e nos objetivos do estudo.
- **Leitura:** Após a seleção, o pesquisador realiza uma leitura cuidadosa dos documentos para identificar informações relevantes e pertinentes. Durante essa etapa, é essencial fazer anotações e destacar os pontos mais importantes.
- **Análise dos Dados:** Na última etapa, o pesquisador analisa os dados coletados, buscando relações e conexões entre as informações. Técnicas de análise de conteúdo podem ser empregadas para categorizar e codificar as informações, facilitando a compreensão e interpretação dos dados.

De modo geral, a pesquisa experimental segundo Gil (2002, p. 47), “consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto”.

O estudo de caso, segundo Gil (2002), consiste na análise detalhada de um ou mais casos específicos relacionados ao tema de pesquisa. Seu objetivo é entender as particularidades do assunto em questão e investigar as possíveis causas ou efeitos associados.

Por fim, Marconi e Lakatos (2017) destacam a relevância de avaliar tanto a confiabilidade quanto a validade dos dados obtidos através da análise documental. Para isso, é fundamental que o pesquisador selecione documentos provenientes de fontes confiáveis e defina critérios específicos e claros para a escolha das normas que servirão de base, bem como dos instrumentos utilizados na coleta de informações (MARCONI e LAKATOS, 2017).

### 3.2 Materiais e Métodos

Segundo Rodrigues (2024), materiais e métodos são partes interdependentes de um estudo, cujo objetivo é definir as diretrizes e os procedimentos que orientarão a realização da pesquisa.

Para Goldenberg (1997), métodos são descritos como uma observação estruturada e sistemática dos fenômenos da realidade, seguindo uma sequência de etapas orientadas por fundamentos teóricos, com o objetivo de explicar as causas desses fenômenos, suas inter-relações e aspectos ocultos.

Com o objetivo de realizar o dimensionamento de um sistema de condicionamento de ar para um escritório, é necessário elencar os passos e métodos para realização do objetivo deste trabalho, como pode ser observado na figura 6.

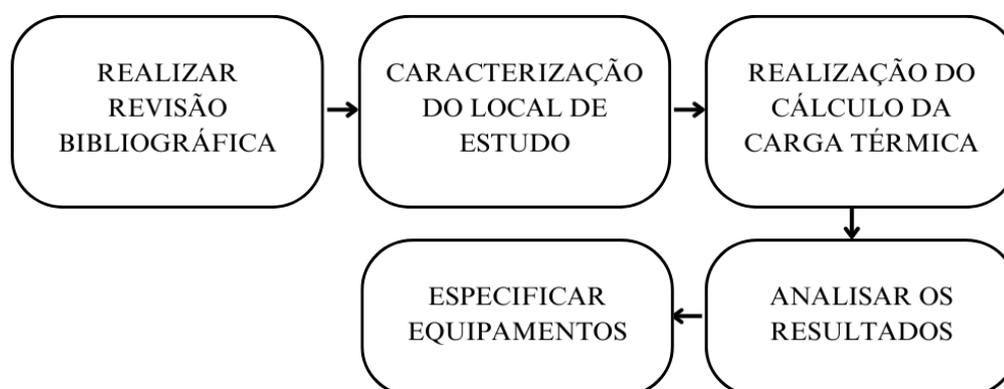


Figura 6: Fluxograma de materiais e métodos.  
Fonte: Pesquisa direta (2024).

O primeiro passo observado na figura 6, representa a elaboração da revisão bibliográfica, abordando temas como conforto térmico, refrigeração e mecanismos de

transferência de calor. Também inclui o estudo de cálculo de carga térmica e o uso de *softwares* para a execução de simulações.

O segundo passo, é o levantamento de dados que caracterizam o local de estudo, bem como localização geográfica, características construtivas e as necessidades requeridas pelos ocupantes do local.

No terceiro passo é realizado o cálculo de carga térmica por meio da simulação através do *software* HAP, onde é fornecido os dados de entrada coletados no passo anterior, com todas as informações necessárias é possível fazer a simulação do local, tendo como saída a carga térmica para atender as necessidades de conforto para os ocupantes do ambiente estudado.

No quarto passo, é feito a análise dos resultados gerados pela simulação, com a criação de gráficos e tabelas no *Microsoft Excel*. O objetivo é proporcionar representações visuais que facilitem a compreensão e a interpretação dos resultados de forma mais eficiente.

E no quinto e último passo, após a análise dos resultados da simulação é possível especificar qual ou quais equipamentos atendem melhor às necessidades estipuladas de conforto térmico.

### **3.3 Variáveis e Indicadores**

Conforme Marconi e Lakatos (2017), uma variável é uma categoria ou medida que varia e pode ser mensurada, representando um aspecto ou característica de um objeto de estudo. Assim pode-se dizer que uma variável pode ser classificada em duas ou mais categorias.

Segundo Gil (2002), as variáveis são elementos que podem ter seu valor ou classificação modificados, sendo divididas em variáveis de entrada, que são aquelas obtidas, medidas ou observadas, e variáveis de saída, que representam o resultado gerado pelas variáveis de entrada após um processo.

De acordo com Walliman (2015), o conceito de indicadores está relacionado a uma medida ou variável que permite avaliar um fenômeno tanto quantitativa quanto qualitativamente, sendo sua escolha baseada na capacidade de refletir os aspectos centrais da hipótese da pesquisa.

Além disso, Gil (2002), afirma que os indicadores podem estabelecer o valor da variável. Com isso pode-se concluir que a escolha dos indicadores é uma tarefa de grande importância para as pesquisas, visto que o indicador irá caracterizar as variáveis.

Para garantir maior precisão nos resultados, a seleção dos indicadores está diretamente relacionada aos objetos de estudo desta pesquisa e às variáveis de entrada já identificadas na etapa de pesquisa bibliográfica. A Tabela 1 apresenta os indicadores mais relevantes para cada um dos objetos de estudo escolhidos.

Tabela 1: Variáveis e Indicadores.

Variáveis	Indicadores
Escritório	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Estrutura;</li> <li>● Localização;</li> <li>● Insolação ( paredes, teto e janelas);</li> <li>● Número de ocupantes;</li> <li>● Calor gerado por equipamentos elétricos.</li> </ul>
Ar-condicionado	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Capacidade de refrigeração.</li> <li>● Eficiência energética.</li> </ul>

Fonte: Pesquisa direta (2024).

### 3.4 Instrumento de coleta de dados

A coleta de dados é realizada através da revisão bibliográfica por meio da utilização de artigos e manuais, que conceituam as normas para o cálculo da carga térmica. Outro método de coleta dos dados é através da análise da planta do local de estudo.

### 3.5 Tabulação dos dados

A tabulação dos dados é feita com três *softwares*, HAP, para gerar os resultados de carga térmica. Em seguida, esses resultados, juntamente com as informações da pesquisa bibliográfica, são organizados e analisados usando os *softwares Microsoft Excel e Microsoft Word*.

### **3.6 Considerações Finais**

Neste capítulo, são detalhados os procedimentos metodológicos empregados na realização deste estudo, incluindo os *softwares* utilizados para a aquisição e processamento dos dados.

No capítulo 4, é descrito os resultados obtidos através da simulação no *software* HAP, abordando os resultados obtidos.

## 4 RESULTADOS

Este capítulo tem como propósito apresentar os métodos e cálculos empregados, detalhar as características do local analisado, descrever o processo de seleção dos equipamentos e expor os resultados obtidos, com o intuito de determinar o sistema mais adequado.

### 4.1 Local de estudo

#### 4.1.1 Definição do ambiente estudado

Para este trabalho é analisado somente a área do escritório, não considerando as áreas adjacentes (ambientes climatizados). A posição geográfica e as dimensões podem ser observadas na planta baixa conforme a figura 7, e na vista em corte na figura 8.

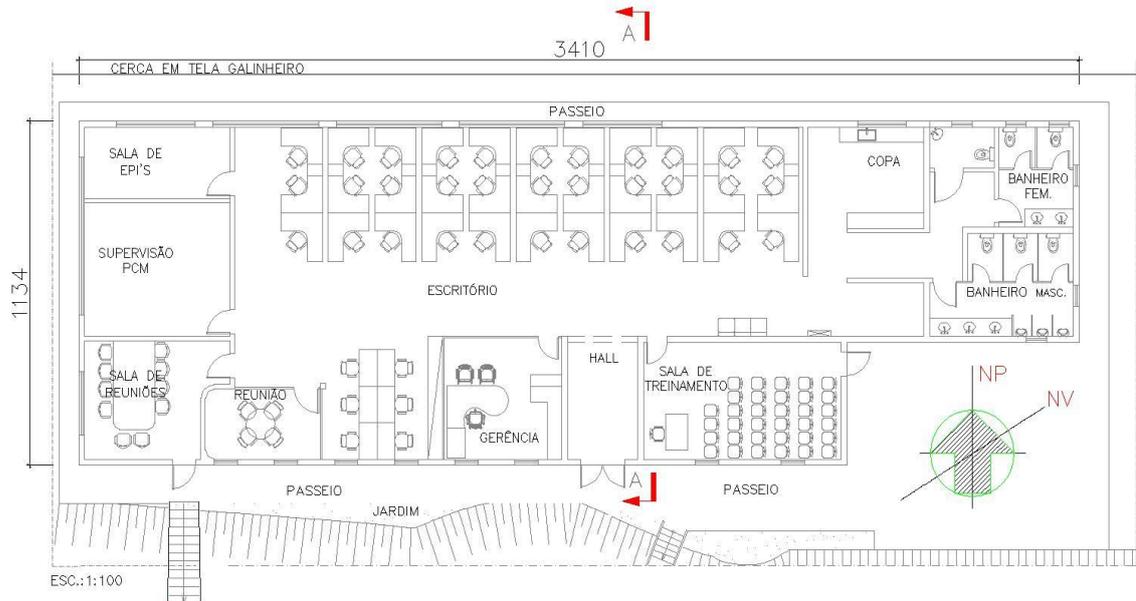
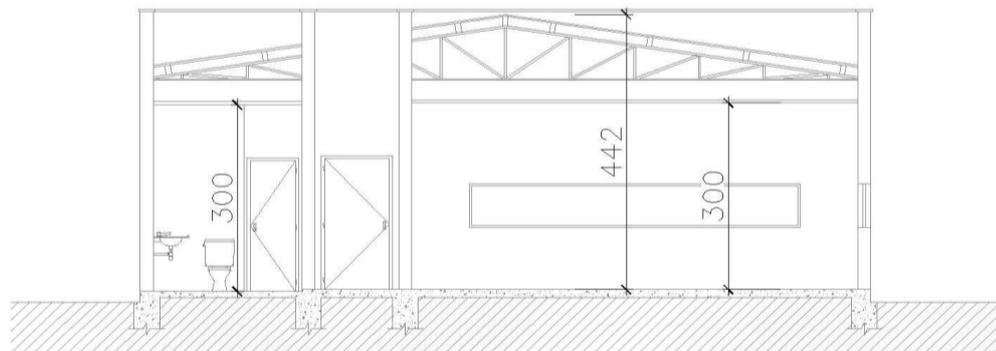


Figura 7: Planta baixa do escritório.

Fonte: Adaptado da empresa estudada (2024).



CORTE AA  
ESC.: 1:100

Figura 8: Corte AA.

Fonte: Adaptado da empresa estudada (2024).

O ambiente estudado é um escritório, localizado no município de Itabirito em Minas Gerais, com uma área de 172,48 m<sup>2</sup> e pé direito livre de 3 metros. Para as paredes, é considerado que elas são compostas de tijolos cerâmicos, reboco nas duas faces e pintura clara, conforme o Anexo A, com piso em concreto e revestimento cerâmico. A cobertura é composta por telhas metálicas de zinco, conforme o Anexo B, as portas e janelas são de vidro descrito no Anexo C, com cortinas do tipo persiana nas janelas.

Na tabela 2 pode-se observar um resumo das características construtivas, assim como seus coeficientes de transferência de calor global, obtidos pelo catálogo de propriedades térmicas do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO).

Tabela 2: Características construtivas do escritório.

<b>Características Construtivas Escritório</b>			
<b>Item</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Materiais</b>	<b>Coefficiente Global de Transferência de Calor [W/(m<sup>2</sup>k)]</b>
Parede Norte	57,09	Reboco 25 mm + bloco cerâmico 140 mm + reboco 25 mm + pintura escura	2,46
Parede Sul	61,08	Reboco 25 mm + bloco cerâmico 140 mm + reboco 25 mm + pintura escura	2,46
Parede Leste	44,5896	Reboco 25 mm + bloco cerâmico 140 mm + reboco 25 mm + pintura escura	2,46
Parede Oeste	39,99	Reboco 25 mm + bloco cerâmico 140 mm + reboco 25 mm + pintura escura	2,46
Piso	172,48	Concreto	-
Cobertura	172,48	Laje pré-moldada 12cm (concreto 4cm + EPS 7cm + argamassa 1cm) Câmara de ar (> 5,0 cm) Telha metálica 0,06cm	1,54
Janela Norte	8,94	Vidro de controle solar (4mm) + Pvb incolor + Vidro incolor (4mm)	5,7
Janela Sul	1,12	Vidro de controle solar (4mm) + Pvb incolor + Vidro incolor (4mm)	5,7
Porta Sul	7,4	Vidro de controle solar (4mm) + Pvb incolor + Vidro incolor (4mm)	5,7
Porta Oeste	4,8	Vidro de controle solar (4mm) + Pvb incolor + Vidro incolor (4mm)	5,7

Fonte: Pesquisa direta (2024).

Para as características internas do ambiente, é considerado que o escritório possui uma capacidade de ocupação total de 39 pessoas, cada uma com um laptop de 65 Watts, totalizando uma potência dissipada de 2535 Watts. O escritório conta ainda com uma impressora e 32 luminárias, cada uma contendo 4 lâmpadas tubulares de 9 watts, totalizando 1152 Watts, conforme o site Dicas Led (2019), o calor produzido por lâmpadas de led varia de 20% a 30% da sua potência em energia térmica, ou seja, tem-se 345,6 Watts de dissipação térmica. A tabela 3 apresenta as características internas do escritório.

Tabela 3: Características internas do escritório

Características Internas Escritório			
Item	Quantidade	Potência dissipada	Período diário
Pessoas	39	-	8 horas
Iluminação	128	345,6 Watts	8 horas
Laptop	39	2535 Watts	8 horas
Impressora	1	204,17 Watts	24 horas

Fonte: Pesquisa direta (2024).

#### 4.1.2 Definição da localização e dados climáticos

Devido à ausência de uma estação meteorológica no município de Itabirito, os dados climáticos utilizados são da estação meteorológica Cercadinho da cidade de Belo Horizonte, localizada a uma distância de 28,51 km do escritório.

O site do Instituto Nacional de Meteorologia INMET, disponibiliza os arquivos na extensão compatível com o *software* de análise que será utilizado. O arquivo climático apresenta os dados anuais da cidade monitorada e é carregado diretamente no *software* HAP. Com estes dados climáticos fornecidos pelo INMET é possível realizar uma análise precisa da variação de temperatura e umidade ao longo do ano, e conseqüentemente a variação de carga térmica do ambiente analisado.

A seguir, a figura 9 ilustra a variação da temperatura de bulbo úmido e de bulbo seco ao longo dos meses de 2024 para a cidade de Belo Horizonte.

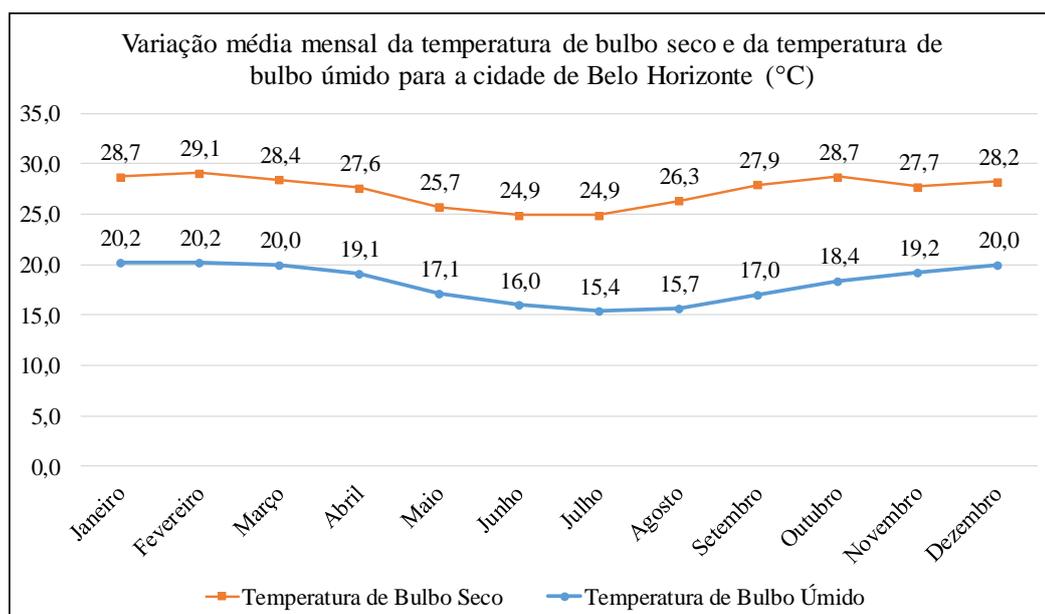


Figura 9: Variação média mensal da temperatura de bulbo seco e da temperatura de bulbo úmido para a cidade de Belo Horizonte.

Fonte: Adaptado de INMET (2025).

Pode-se observar que Belo Horizonte apresenta uma média de temperaturas de bulbo seco acima de 24 °C. Também se observa que a diferença entre as temperaturas de bulbo seco e úmido mantém-se em torno de 9 °C ao longo do ano.

Na figura 10 apresentam-se os dados de umidade relativa calculados para cada mês de 2024 para a cidade de Belo Horizonte.

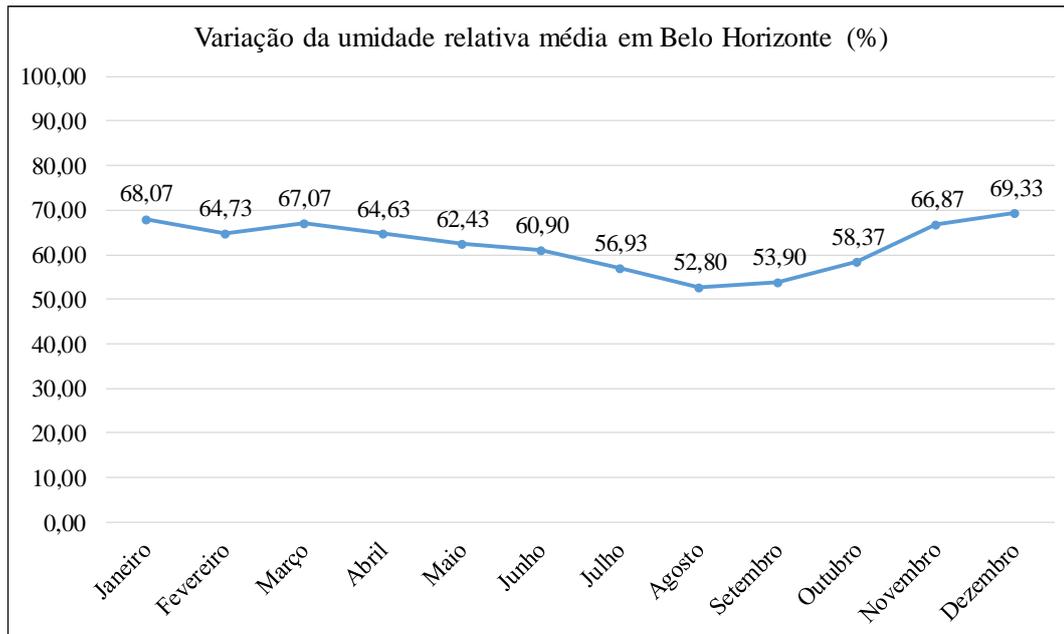


Figura 10: Variação da umidade relativa média em Belo Horizonte.  
Fonte: Adaptado de INMET (2025).

Verifica-se, através da figura 10, que a umidade relativa da cidade de Belo Horizonte apresenta índices médios, mantendo-se sua média mensal abaixo dos 70% durante o ano.

Outro fator importante é a altitude, conforme dados obtidos na ABNT 16401-1 de 2008, Belo Horizonte situa-se a 917 metros em relação ao nível do mar, dessa forma calcula-se a pressão atmosférica em função da altitude de acordo com a equação 11 abaixo:

$$P_{atm} = P_{atm_{nível\ do\ mar}} \cdot e^{\frac{-Mg}{RT} \cdot Alt} \quad (11)$$

Onde:

- $P_{atm}$  = Pressão atmosférica (kPa);
- $P_{atm_{nível\ do\ mar}}$  = Pressão atmosférica a nível do mar (101,325 kPa);
- $M$  = Massa molar do ar (adotado 28,96 g/ mol<sup>-1</sup>);
- $g$  = Aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>);
- $R$  = Constante universal dos gases (8,31 J/mol K);

- T = Temperatura do local (adotada temperatura ambiente de 298 K);
- Alt = Altitude do local (km).

Assim, através da equação, obtém-se a pressão atmosférica de 90,78 kPa.

Os dados da umidade relativa do ar (informações importantes para os cálculos de análise) são obtidos em função das temperaturas médias de bulbo úmido e bulbo seco relacionando as pressões de vapor e de vapor saturado conforme as equações 12, 13 e 14 respectivamente apresentadas abaixo:

$$P_s = Ap \cdot 10^{7,5 \cdot \frac{T}{273,3} + T} \quad (12)$$

Onde:

- $P_s$  = Pressão de vapor saturado ( $P_a$ );
- $Ap$  = Constante (610,8  $P_a$ );
- T = Temperatura ( $^{\circ}C$ ).

$$P_v = P_{s,tbu} - \gamma \cdot P_{atm} \cdot (TBS_e - TBU_e) \quad (13)$$

Onde:

- $P_v$  = Pressão de vapor ( $P_a$ );
- $P_{s,tbu}$  = Pressão de vapor saturado ( $P_a$ );
- $\gamma$  = Constante psicrométrica ( $6,6 \cdot 10^6 / K$ );
- $P_{atm}$  = Pressão atmosférica local ( $P_a$ );
- $TBS_e$  = Temperatura de bulbo seco externa ( $^{\circ}C$ );
- $TBU_e$  = Temperatura de bulbo úmido externa ( $^{\circ}C$ ).

$$\phi = \frac{P_v}{P_s} * 100 \quad (14)$$

Onde:

- $\phi$  = Umidade relativa (%).

## 4.2 Cálculo através do *software* HAP

Para o cálculo da carga térmica é utilizado o *software* HAP, na sua versão para testes. O *software* apresenta uma interface simples e intuitiva, permitindo o carregamento de arquivos climáticos disponibilizados pelo INMET, de acordo com a cidade selecionada.

Na figura 11 pode-se observar a interface do programa com as suas principais funções.

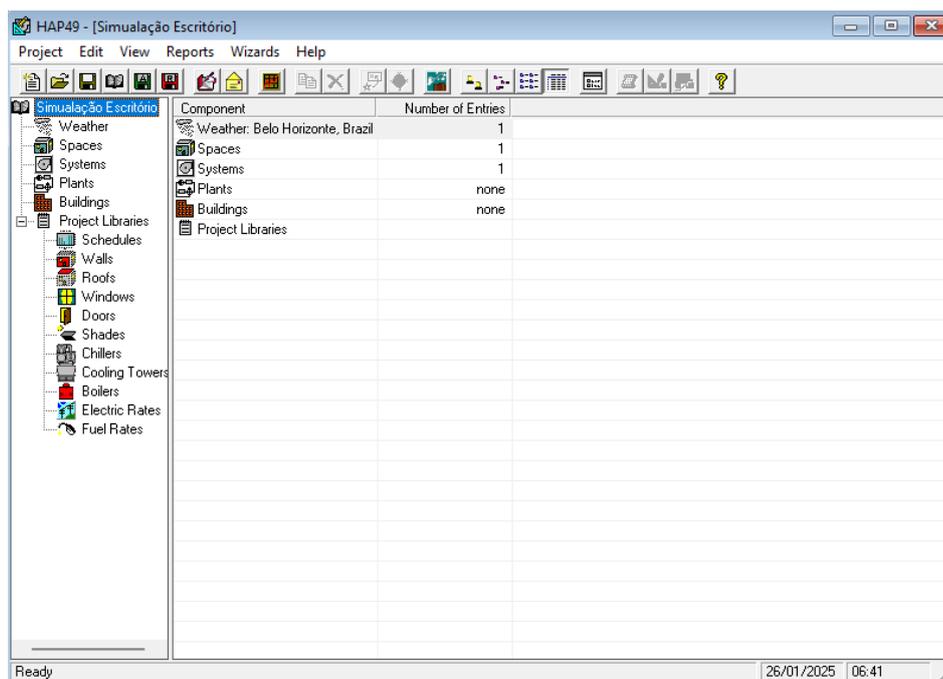


Figura 11: Interface do *software* HAP.

Fonte: HAP (2025).

Como pode ser visto na figura 11, o *software* é estruturado com a categorização dos dados em cinco grupos principais: informações climáticas do local selecionado (*Weather*), especificações externas e internas dos espaços (*Spaces*), detalhes dos sistemas de climatização e ventilação (*Systems*), características dos sistemas centrais (*Plants*) e parâmetros relacionados ao edifício (*Buildings*).

Na categoria *Weather*, relacionada às condições climáticas, o *software* define as características específicas para os períodos de verão e inverno com base no local selecionado. O HAP realiza as simulações utilizando o arquivo climático fornecido, incorporando os perfis de temperatura e umidade correspondentes a essas estações. A figura 12 ilustra a tela onde são fornecidas as propriedades climáticas do local estudado.

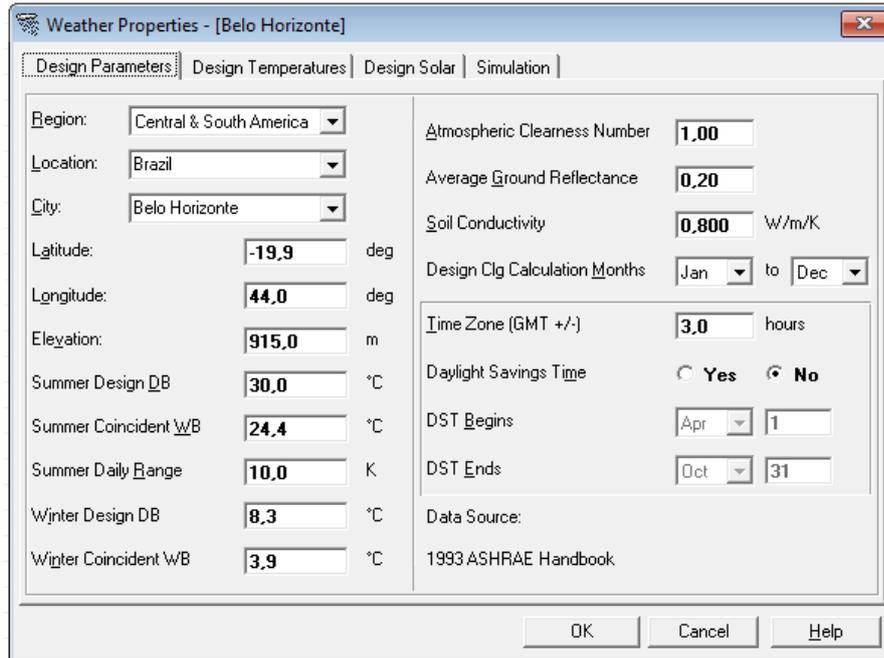


Figura 12: Propriedades Climáticas do *software* HAP.  
Fonte: HAP (2025).

Como pode ser observado na figura 12, essa categoria possui 4 abas de seleção de dados, onde o próprio *software* possui uma biblioteca de dados climáticos das principais cidades do mundo, esses dados também podem ser inseridos manualmente.

Na categoria *Spaces*, observada na figura 13, abrange as características externas e internas do ambiente, o *software* permite a inserção de dados relacionados à geometria do modelo, considerando a área das superfícies e a orientação geográfica, informações geralmente obtidas a partir do projeto.

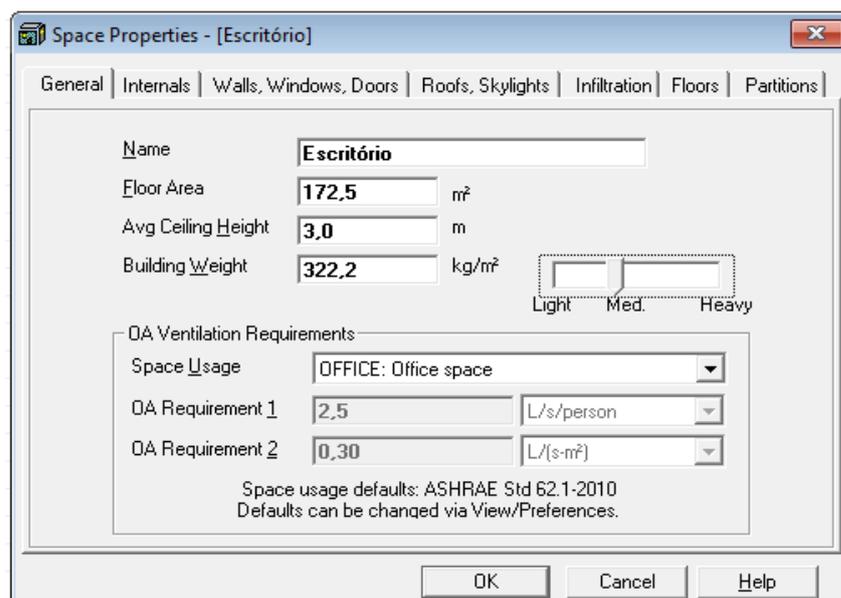


Figura 13: Propriedades do Espaço do *software* HAP.  
Fonte: HAP (2025).

Como é observado na figura 13, para a caracterização completa do espaço, é necessário fornecer os seguintes dados nos campos específicos do *software*:

- Cargas internas (iluminação, equipamentos, pessoas, diversos);
- Paredes, janelas, portas e sombreamento;
- Coberturas e claraboias;
- Infiltrações de ar;
- Pavimentos (sobre o solo ou entre andares);
- Divisórias internas (paredes ou teto).

Na categoria *Systems*, relativa aos sistemas de climatização e ventilação, o *software* permite a inserção de informações específicas sobre o tipo de sistema de climatização e/ou ventilação a ser utilizado, como pode ser observado na figura 14.

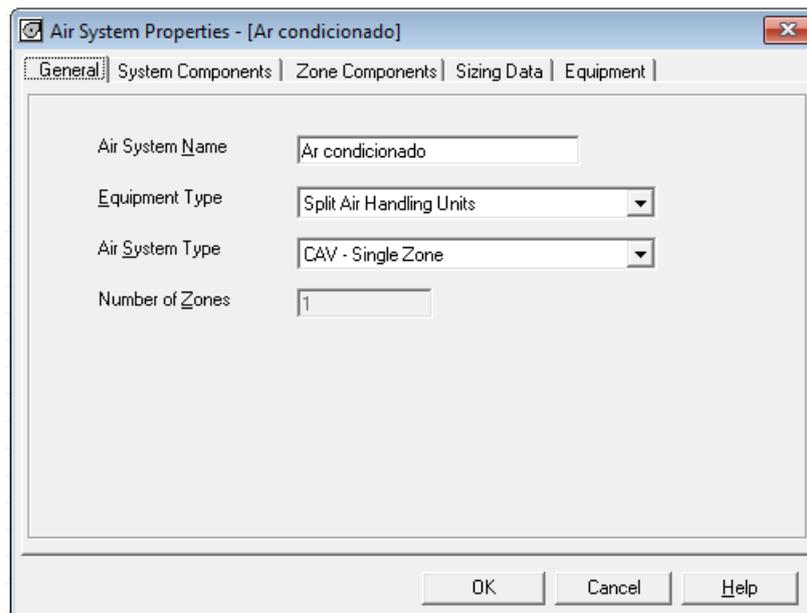


Figura 14: Propriedades do Sistema de Ar do *software* HAP.  
Fonte: HAP (2025).

A figura 14 ilustra a tela inicial de seleção do tipo de equipamento a ser utilizado no sistema. Além disso, nessa categoria existe a possibilidade do ajuste dos perfis de horários e das temperaturas desejadas para cada zona climatizada, garantindo maior precisão nas simulações.

Na categoria *Plants*, correspondente aos sistemas centrais, o *software* possibilita a configuração e identificação das centrais térmicas associadas aos sistemas, abrangendo a definição de elementos como centrais de água gelada, água quente e vapor. Essa etapa permite correlacionar os sistemas de climatização às suas respectivas infraestruturas de suporte térmico.

Na categoria *Buildings*, relacionada às informações sobre os edifícios, o *software* permite criar ou associar edifícios, incluindo todos os sistemas de HVAC vinculados às zonas térmicas previamente configuradas. Essa etapa possibilita a análise detalhada do perfil de consumo energético dos sistemas, além de fornecer uma estimativa dos custos operacionais associados.

As categorias *plants* e *building* não foram utilizadas nesse trabalho, pois oferecem recursos desnecessários para esse trabalho, pois ambas as categorias não impactam nos resultados das simulações e não se aplicam no problema deste estudo.

### 4.3 Carga térmica do escritório

A carga térmica total num determinado ambiente é obtida a partir da soma de todas as cargas térmicas, considerando o princípio de superposição (SANDER, 2017).

Dessa forma, o valor obtido no projeto para um ambiente ou zona térmica corresponde a um Tipo de Carga Térmica, resultando da soma de toda a quantidade de calor acumulada no espaço. Isso ocorre devido à interação entre o calor, seus modos de transmissão e o meio em que está inserido, originando diferentes tipos de carga térmica.

Na prática, cada ambiente apresenta variações na carga térmica total ao longo do dia, influenciadas tanto pelas características da edificação quanto pelos fatores ambientais externos. Para um dimensionamento adequado, é essencial analisar esses valores e determinar o pico máximo de carga térmica dentro de um determinado período.

A Tabela 4 apresenta a carga térmica calculada por meio do *software* HAP para o escritório. É importante destacar que os resultados obtidos representam o dia típico de projeto, conforme definido por Goulart *et al.* (1998). Esse dia é determinado como uma média de períodos com temperaturas mais elevadas, calculada a partir das declinações solares. Assim, obtém-se a condição de carga térmica crítica que o sistema de climatização precisa suportar, garantindo um dimensionamento adequado às demandas térmicas do ambiente.

Tabela 4: Carga térmica do escritório.

Dias de Projeto Verão			
Dados de Janeiro às 14:00 TBS = 29,7 °C / TBU = 24,3 °C			
Zonas Analisadas	Detalhes	Calor Sensível (W)	Calor Latente (W)
Janelas	13 m <sup>2</sup>	886	-
Parede	181 m <sup>2</sup>	3965	-
Teto	173 m <sup>2</sup>	899	-
Portas	9 m <sup>2</sup>	633	-
Piso	173 m <sup>2</sup>	0	-
Partições	29 m <sup>2</sup>	113	-
Iluminação	346 W	268	-
Equipamentos Elétricos	2739 W	2487	-
Pessoas	39	2016	2343
Infiltração	-	500	1531
<b>Cargas Totais da Zona</b>	-	<b>11767</b>	<b>3874</b>
Carga de Ventilação	149 L/s	777	2816
<b>Condicionamento Total</b>	-	<b>12544</b>	<b>6690</b>

Fonte: Adaptado do *software* HAP (2025).

Os relatórios com as variações de carga térmica ao longo do ano descritos da figura 15 para o escritório, através das simulações realizadas no software HAP, o que possibilitou confecção de um gráfico com uma média mensal da carga térmica ao longo do ano da carga térmica do escritório.

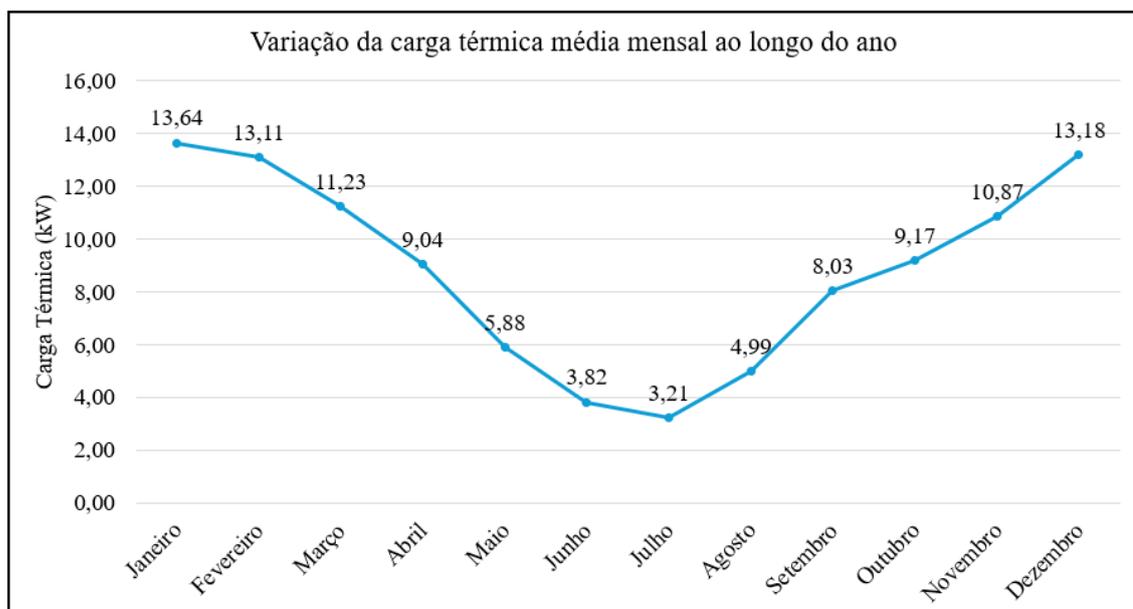


Figura 15: Variação da carga térmica média mensal do escritório ao longo do ano.

Fonte: Adaptado do *software* HAP (2025).

Observa-se que o período compreendido entre os meses de dezembro a fevereiro de 2024 apresenta as maiores cargas térmicas médias mensais devido as características climáticas

do local, consequência das elevadas temperaturas médias. Período esse conhecido como verão, apresentando a situação de maior ganho de calor, apresentado na tabela 4.

#### 4.4 Seleção dos equipamentos

O valor da carga térmica calculado pelo *software* HAP foi de 12,5 kW de calor sensível e 6,69 kW de calor latente, totalizando 20,3 kW, o equivalente a 69266,48 BTU/h, a partir dessa informação é possível selecionar um equipamento que atendesse a carga térmica requerida pelo ambiente.

Para a seleção do equipamento é preciso atender os seguintes requisitos: vazão, capacidade de refrigeração e eficiência energética.

A vazão é importante devido as características construtivas do local. Segundo Dufrio blog (2021), o equipamento *split* cassete oferece uma melhor distribuição de ar refrigerado de maneira mais uniforme para o ambiente, melhorando a circulação do ar em comparação os equipamentos com saída de ar somente para uma direção.

A capacidade de refrigeração precisa atender a carga térmica calculada do escritório. Essas características podem ser encontradas analisando a figura 16.

		PISO TETO	HI WALL	CASSETE
VAZÃO	DIREÇÃO	FRENTE	FRENTE	QUATRO LADOS
	DISTÂNCIA	8 METROS	3 METROS	3 METROS
INSTALAÇÃO		PISO OU TETO	ALTO DA PAREDE	EMBUTIDO NO TETO
CAPACIDADE (BTU)		24.000 A 80.000	9.000 A 30.000	18.000 A 60.000
VALOR		< CASSETE > HI WALL	< PISO TETO	> PISO TETO

PISO TETO X HI WALL X CASSETE

Figura 16: Comparativo de ar-condicionado.  
Fonte: Totalar (2019).

A partir da análise da figura 16, é selecionado o tipo de equipamento, sendo selecionado o cassete por atender as necessidades determinadas.

Quanto a eficiência energética, o INMETRO classifica os equipamentos condicionadores de ar *split*, com base no IDRS (Índice de desempenho de resfriamento sazonal), esse índice define a eficiência energética de um aparelho de ar-condicionado. Calculado por uma razão entre a quantidade anual total de calor que o equipamento pode

remover do ar interno quando operado para resfriamento e a quantidade anual total de energia consumida pelo equipamento durante o mesmo período.

Anteriormente, os índices de eficiência eram todos em termos do COP a plena carga e em uma temperatura fixa do ambiente externo, o que não reflete a realidade de operação, principalmente para os equipamentos dotados de tecnologias de velocidade variável nos compressores e ventiladores.

A tabela 5 apresenta a classificação mais recente do IDRS para condicionadores de ar *split*.

Tabela 5: Classes de eficiência energética para condicionadores de ar tipo *split*.

CONDICIONADORES DE AR SPLIT (com prazo de adequação para fabricação e importação até 31/12/2025)	
CLASSES	Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal – IDRS (Wh/Wh)
A	≥ 7,00
B	≥ 6,00
C	≥ 5,30
D	≥ 4,60
E	≥ 3,90
F	≥ 3,50

Fonte: INMETRO (2020).

Uma análise comparativa foi realizada entre as principais fabricantes de ar-condicionado *split* cassette a partir do cálculo da carga térmica realizado pelo *software* HAP, para a seleção dos equipamentos de climatização. A tabela 6 apresenta as características principais dos equipamentos comparados, com a classificação do IDRS em 2023.

Tabela 6: Análise comparativa de equipamentos de climatização.

Marca/ Modelo	Capacidade de refrigeração		Potência elétrica (W)	IDRS	Classificação energética
	BTU/h	W			
Carrier 40KVCB36C5	36000	10550	3160	6,8	A
Gree GULD36T1/A-S(B)	36000	10550	3600	5,55	A
Elgin KVFI36B2NM	36000	10550	3249	5,5	A

Fonte: Pesquisa direta (2024).

Com a análise da tabela 6, é selecionado o equipamento *split cassette inverter* modelo 40KVCB36C5 da fabricante Carrier, com capacidade nominal de refrigeração de 36000 BTU/h, sendo necessário dois equipamentos para atender a carga térmica de 69266,48 BTU/h do local. Esse equipamento dentre os analisados apresenta as melhores características energéticas, com o melhor IDRS sendo o equipamento com a melhor eficiência energética.

A figura 17 contém algumas informações técnicas fornecidas no catálogo do fabricante.

CÓDIGOS CARRIER		40KVCB36C5	38CCVA36515MC
CAPACIDADE NOMINAL REFRIGERAÇÃO - kW (BTU/h)		10,55 (36.000)	
ALIMENTAÇÃO (V-Ph-Hz)		220-1-60	
CORRENTE	NOMINAL (A)	14,36	
	MÁXIMA (A)	18,50	
POTÊNCIA	NOMINAL (W)	3160	
	MÁXIMA (W)	4063	
CABEAMENTO ELÉTRICO/DISJUNTOR		Ver norma NBR 5410	
REFRIGERANTE		R-410A	
SISTEMA DE EXPANSÃO	TIPO / TAMANHO	Válvula EXV	
	LOCAL	Condensadora	

Figura 17: Características Técnicas Gerais do *Split Cassete Inverter* 40KVCB36C5.  
Fonte: Carrier (2020).

Segundo o fabricante o uso desse *split* cassete inverter com compressores de velocidade variável, é ideal para climatizar grandes ambientes residenciais, salas amplas e conjuntos comerciais com distribuição uniforme no ambiente.

A razão pela escolha de um equipamento inverter segundo a Carrier é pela eficiência energética superior em comparação aos modelos convencionais, pois seu compressor ajusta continuamente a velocidade de operação conforme a necessidade térmica do ambiente, evitando picos de consumo e redução do gasto energético. Essa tecnologia proporciona maior estabilidade na temperatura, eliminando oscilações bruscas e aumentando o conforto térmico. Além disso, o funcionamento mais suave do compressor reduz o nível de ruído e aumenta a vida útil do equipamento, tornando-o uma opção mais econômica e sustentável a longo prazo.

A figura 18 ilustra o modelo *split* cassete selecionado, o mesmo oferece distribuição uniforme do ar devido à sua instalação no teto, ideal para ambientes amplos. Esse modelo também otimiza o uso do espaço, mantendo uma estética discreta e sofisticada, além de fornecer alta capacidade de refrigeração com menor impacto visual e acústico.



Figura 18: Ar-condicionado *Split Cassete Inverter* Carrier 40KVCB36C5.  
Fonte: Leroy Merlin (2025).

## 5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 Conclusão

O presente estudo tem como objetivo dimensionar um sistema de condicionamento de ar para um escritório, garantindo conforto térmico e eficiência energética por meio da análise da carga térmica com o *software* HAP. Durante a pesquisa, são abordados conceitos fundamentais de conforto térmico, mecanismos de transferência de calor e métodos de cálculo de carga térmica, além da caracterização do ambiente de estudo e da definição das variáveis envolvidas no processo de climatização.

Os resultados obtidos mostram a importância da simulação computacional no planejamento térmico de ambientes, permitindo uma avaliação detalhada dos fatores que influenciam a carga térmica, como orientação solar, materiais construtivos, equipamentos eletrônicos e ocupação do espaço. A escolha do sistema de climatização é fundamentada em dados simulados, sendo selecionado um modelo de ar-condicionado da Carrier de 36000 BTU/h do tipo inversor cassette dividido, que apresenta maior eficiência energética e melhor distribuição do ar no ambiente, atendendo a carga térmica de 69266,48 BTU/h do local.

Com isso, conclui-se que a utilização do *software* HAP para o dimensionamento do sistema de ar-condicionado é eficaz, proporcionando um projeto bem fundamentado e alinhado às necessidades do ambiente. O estudo contribui para o avanço na área de climatização de ambientes, podendo servir como referência para futuras pesquisas e aplicações práticas.

### 5.2 Recomendações

A partir do estudo realizado, sugerem-se os seguintes trabalhos futuros:

- Avaliação de diferentes sistemas de climatização considerando custos de implantação, operação e eficiência energética, com base nas necessidades do local;
- Análise comparativa entre diferentes sistemas de ar-condicionado quanto ao consumo energético e impacto ambiental;
- Estudo das propriedades de diferentes fluidos refrigerantes, avaliando seu impacto na carga térmica e eficiência energética.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT 16401-1**: Instalações de ar-condicionado: Sistemas centrais e unitários Parte 1: Projetos das instalações. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

AL-HOMOUD, M. S. Computer-aided building energy analysis techniques. **Building and Environment**, v. 36, 4. ed, p. 421-433, mai. 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132300000263>. Acesso em: 10 set. 2024.

ANSI - American National Standards Institute. **ANSI/ASHRAE Standard 55-2004**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2004. Disponível em: [http://www.ditar.cl/archivos/Normas\\_ASHRAE/T0080ASHRAE-55-2004-ThermalEnviromCondiHO.pdf](http://www.ditar.cl/archivos/Normas_ASHRAE/T0080ASHRAE-55-2004-ThermalEnviromCondiHO.pdf)>. Acesso em: 20 mai. 2024.

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Handbook of Fundamentals**, 2017.

BERGMAN, T.; *et al.* **Icropera - Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 8ª ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2014.

CAISM - UNICAMP. **Memória de cálculo do sistema de climatização e renovação de ar para o escritório da diretoria executiva**. Campinas, 2020.

CARRIER. Hourly Analysis Program (HAP). Disponível em: <https://carrierdobrasil.com.br/hourly-analysis-program/>>. Acesso em: 20 mai. 2024.

ÇENGEL, Y; BOLES, M. **Termodinâmica**. 7. ed. Porto Alegre: Editora AMGH, 2013.

ÇENGEL, Y; GHAJAR, A. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. 4. ed. Porto Alegre: Editora AMGH, 2012.

DALAVECHIA, A. L. **Otimização da Performance de Congelamento de Produtos Frigoríficos em Túneis Contínuos**. 2017. Dissertação (Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos): Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Santa Maria, Panambi, 2017. Disponível em: [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/12202/TCCE\\_EEAPP\\_EaD\\_2017\\_DALAVECHIA\\_ANDRE.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/12202/TCCE_EEAPP_EaD_2017_DALAVECHIA_ANDRE.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 13 jun. 2024.

DICASLED. **Gestão térmica nas luminárias LED**. 2022. Disponível em: <https://www.dicasled.pt/gestao-termica-das-luminarias-led/>. Acesso em: 20 dez. 2024.

DUFRIO REFRIGERAÇÃO. Ar-condicionado Cassete: cinco benefícios especiais. **Dufrio blog**. Porto Alegre, 30 nov. 2021. Disponível em: <https://blog.dufrio.com.br/ar-condicionado/ar-condicionado-cassete-cinco-beneficios-especiais/>. Acesso em: 04 mar. 2025.

FELIX, V. B. **Condições de conforto térmico e desconforto local em salas cirúrgicas**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: < [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3150/tde-02102008-173221/publico/dissertacao\\_victor\\_revisada.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3150/tde-02102008-173221/publico/dissertacao_victor_revisada.pdf)>. Acesso em: 13 jun. 2024.

FERRAZ, F; GOMES, M. **O Histórico da Refrigeração, Fluidos Refrigerantes, Ozônio: Processo de Formação e Destruição, Sistemas de Refrigeração, Componentes de um Sistema de Refrigeração**. 2008. Dissertação (Graduação em Eletromecânica): Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia, Santo Amaro, 2008. Disponível em: < <https://fabioferrazdr.files.wordpress.com/2008/08/ref1.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2024.

FROTA, A. B; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar: Como fazer pesquisa qualitativa em Ciências Sociais**. 8. ed. Rio de Janeiro: Record, 1997.

GOMES, C. **Análise dos níveis de conforto térmico em um edifício de escritórios na cidade de Maringá**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: < [https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO\\_Cesar\\_Henrique\\_De\\_Godoy\\_Gomes\\_0.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO_Cesar_Henrique_De_Godoy_Gomes_0.pdf)>. Acesso em: 13 jun. 2024.

GOULART, S.; *et al.* **Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras**. 2. ed. Florianópolis: Ufsc, 1998.

HARRIS S. M; McQUISTON, F.C. **A study to categorize walls and roofs on the basis of thermal response**. Atlanta, 1988.

HONG, T, CHOU. SK. Building simulation: an overview of developments and information sources. **Building and Environment**, v. 35, 4. ed, p. 347-361, mai. 2000. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132399000232>. Acesso em: Acesso em: 10 set. 2024.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil**. Brasília. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em 02 jan. 2025.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Portaria PR nº234/2020**. Aperfeiçoamento parcial dos Requisitos de Avaliação da Conformidade para Condicionadores de Ar, estabelecendo o Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal (IDRS). INMETRO. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-234-de-29-de-junho-de-2020-264423659>. Acesso em: Acesso em: 04 mar. 2025.

INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Requisitos de avaliação da conformidade para eficiência energética de edificações residencial, comercial, de serviço e público**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/>. Acesso em: 20 dez. 2024.

LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. **Desempenho Térmico de Edificações**. Florianópolis, 2016. Disponível em: <[https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161\\_v2016.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf)>. Acesso em: 13 jun. 2024.

LEROY MERLIN. **Ar Condicionado Split Cassete Inverter Carrier 36000 Btu/h Frio Monofásico 40kvcb36c5 - 220 Volts**. São Paulo. 2025. Disponível em: [https://www.leroymerlin.com.br/ar-condicionado-split-cassete-inverter-carrier-36000-btu-h-frio-monofasico-40kvcb36c5---220-volts\\_1567737261](https://www.leroymerlin.com.br/ar-condicionado-split-cassete-inverter-carrier-36000-btu-h-frio-monofasico-40kvcb36c5---220-volts_1567737261). Acesso em: 28 jan. 2025.

LUMERTZ, R. **Entenda como funciona o Sistema de Refrigeração e Climatização**. Porto Alegre, 2015. Disponível em: < <https://climatizacaolumertz.com.br/2015/05/09/refrigeracao-climatizacao/>>. Acesso em: 13 jun. 2024.

MANSO, C. A; BASTOS, F.S. **Caminhos para a eficiência energética do ar-condicionado no Brasil**. Instituto Escolhas, 2020. Disponível em: [https://www.escolhas.org/wp-content/uploads/2020/09/Estudo\\_Caminhos-para-eficiencia-do-arcondicionado-no-Brasil\\_RELATORIO.pdf](https://www.escolhas.org/wp-content/uploads/2020/09/Estudo_Caminhos-para-eficiencia-do-arcondicionado-no-Brasil_RELATORIO.pdf). Acesso em: 04 mar. 2025.

MARCONI, M; LAKATOS, E. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MITALAS, G. P. Transfer function method of calculating cooling loads, heat extraction and space temperature. **Ashare Journal**, Ottawa, v. 14, n. 12, p. 54-56, dec. 1972.

MITCHELL, J. W; BRAUN, J. E. **Princípios de Aquecimento, Ventilação e Condicionamento de Ar em Edificações**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

McQUISTON, F. C; SPITLER, J. D. **Cooling and Heating Load Calculation Manual**, 2. ed. 1992.

MORAN, M. J *et al.* **Princípios de termodinâmica para a engenharia**. 8. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

MORGANTI, A. C; SOUZA, R. O. **Climatização utilizando resfriamento evaporativo: Estudo teórico da aplicabilidade em comparação com o sistema de climatização convencional**. 2022. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Joinville, 2022.

PEDERSEN, C.; *et al.* **Cooling and heating load calculation principles**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeratin and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1998.

RODRIGUES, J. D. **Análise do Impacto da utilização de diferentes fluidos refrigerantes no sistema de refrigeração de uma câmara frigorífica**. 2024. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Mecânica): Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2024.

SANDER, L. N. **Dimensionamento do Sistema de Refrigeração para o Bloco C-Campus UFRJ Macaé**. 2017. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2017.

SAMPIERI, R; *et al.* **Metodologia de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Grupo A, 2013.

SOMMER, R. **Espaço Pessoal**. São Paulo: EPU, 1973.

SOWELL, E. F. Classification of 200,640 parametric zones for cooling load calculations. **ASHRAE Transactions**, Atlanta, p. 754-777, 1988.

STOECKER, W; JONES, J. **Refrigeração e Ar-Condicionado**. Tradução: José M. Saiz Jabardo São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.

STRAND, R.; *et al.* Modularization and simulation techniques for heat balance based energy and load calculation programs: the experience of the ASHRAE loads toolkit and Energyplus. **Building Simulation**, Rio de Janeiro, p. 43-50, ago. 2001.

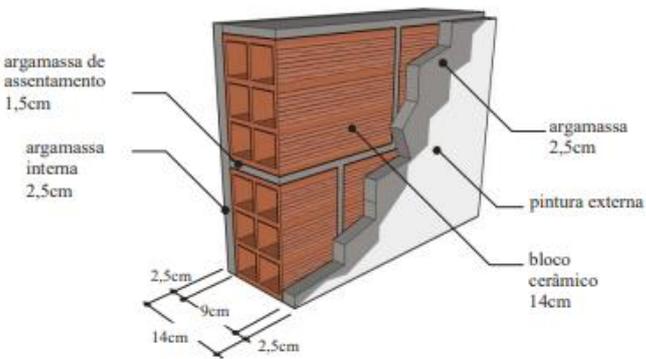
TOTALAR1. Guia completo Split Piso Teto. **Refrigeração e Ar-Condicionado**. 20 nov. 2019. Disponível em: <https://totalar.blog/2019/11/20/guia-completo-split-piso-teto/>. Acesso em: 04 mar. 2025.

WALLIMAN, N. **Métodos de Pesquisa**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2015.

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.

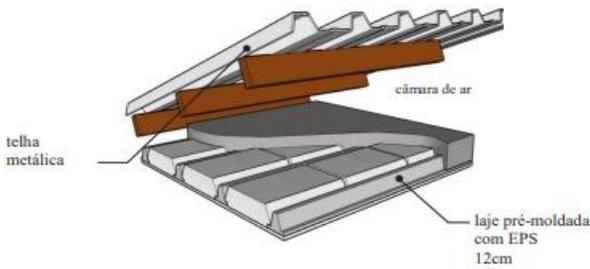
## ANEXOS

## ANEXO A - PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS (PAREDES)

	Descrição:	9			
	<p>Argamassa interna (2,5cm)          Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm)          Argamassa externa (2,5cm)          Pintura externa (<math>\alpha</math>)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>U [W/(m<sup>2</sup>K)]</th> <th>C<sub>T</sub> [kJ/m<sup>2</sup>K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">2,46</td> <td style="text-align: center;">150</td> </tr> </tbody> </table>	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	C <sub>T</sub> [kJ/m <sup>2</sup> K]	2,46
U [W/(m <sup>2</sup> K)]	C <sub>T</sub> [kJ/m <sup>2</sup> K]				
2,46	150				

## ANEXO B - PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS (COBERTURAS)

ANEXO DA PORTARIA INMETRO Nº 50/ 2013

	Descrição:	16			
	<p>Laje pré-moldada 12cm (concreto 4cm + EPS 7cm + argamassa 1cm)          Câmara de ar (&gt; 5,0 cm)          Telha metálica 0,06cm</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>U [W/(m<sup>2</sup>K)]</th> <th>C<sub>T</sub> [kJ/m<sup>2</sup>K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1,54</td> <td style="text-align: center;">134</td> </tr> </tbody> </table>	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	C <sub>T</sub> [kJ/m <sup>2</sup> K]	1,54
U [W/(m <sup>2</sup> K)]	C <sub>T</sub> [kJ/m <sup>2</sup> K]				
1,54	134				

## ANEXO C - PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS (VIDROS)

Nº	Tipo de vidro	Camadas e espessuras (mm)	FS	$\alpha$	U
01	Laminado incolor A	Vidro de controle solar (4mm) + Pvb incolor + Vidro incolor (4mm)	0,44	22%	5,7