

**ANÁLISE TERMODINÂMICA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM SISTEMA DE
REFRIGERAÇÃO APLICADO EM UMA SALA DE AULA**

**GIANLUCA PERUFFO
VICTOR YGOR CARVALHO DE SOUSA**

**ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL DOM BOSCO
FACULDADE DE ENGENHARIA DE RESENDE
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**GIANLUCA PERUFFO
VICTOR YGOR CARVALHO DE SOUSA**

**ANÁLISE TERMODINÂMICA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM SISTEMA DE
REFRIGERAÇÃO APLICADO EM UMA SALA DE AULA**

**RESENDE - RJ
2021**

**GIANLUCA PERUFFO
VICTOR YGOR CARVALHO DE SOUSA**

**ANÁLISE TERMODINÂMICA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM SISTEMA DE
REFRIGERAÇÃO APLICADO EM UMA SALA DE AULA**

Monografia apresentada à Associação Educacional Dom Bosco, Faculdade de Engenharia de Resende, curso de bacharelado em Engenharia Mecânica como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Eng. Me. Alexandre Roberto Soares

RESENDE - RJ

2021

Catálogo na fonte
Biblioteca Central da Associação Educacional Dom Bosco – Resende-RJ

P471 Peruffo, Gianluca
Análise termodinâmica de eficiência energética de um sistema de refrigeração aplicado em uma sala de aula / Gianluca Peruffo; Victor Ygor Carvalho de Souza - 2021.
56f.

Orientador: Alexandre Roberto Soares
Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à finalização do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia de Resende da Associação Educacional Dom Bosco.

1. Engenharia. 2. Refrigeração. 3. Ar condicionado. 4. Climatização. I. Souza, Victor Ygor Carvalho de. II. Soares, Alexandre Roberto. III. Faculdade de Engenharia de Resende. IV. Associação Educacional Dom Bosco. V. Título.

CDU 621.56(043)

**GIANLUCA PERUFFO
VICTOR YGOR CARVALHO DE SOUSA**

**ANÁLISE TERMODINÂMICA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM SISTEMA DE
REFRIGERAÇÃO APLICADO EM UMA SALA DE AULA**

Monografia apresentada à Associação Educacional Dom Bosco, Faculdade de Engenharia de Resende, curso de bacharelado em Engenharia Mecânica como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

BANCA AVALIADORA:

Prof. Dr. Rodrigo Alexandre de Alencar Nascimento

Prof. Eng. Me. Diniz Felix dos Santos Filho

Prof. Eng. Me. Alexandre Roberto Soares

Resende,2021

Agradecimentos

Aos meus avós Vilma Carvalho e José Natal, pelo apoio e incentivo durante esses cinco anos de estudo, dedicação e sempre me mantendo motivado para alcançar novos objetivos.

Ao meu colega de Trabalho de conclusão de curso Gianluca Peruffo por ser um excelente dupla e acima de tudo um grande amigo

Aos membros da banca, por terem aceitado avaliar nosso trabalho e também pelas dicas.

A todos os professores durante todo nosso curso, pelos preciosos ensinamentos passados a nós.

Muito obrigado!

Victor Ygor Carvalho de Sousa.

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais, Giancarlo Peruffo e Daniela Cito, que sempre me ajudaram e me deram suporte em todos os estágios da minha vida, e se hoje estou entregando meu TCC no 5º ano de engenharia mecânica, isto se deve a eles.

À minha tia, Bianca Cito, por me proporcionar conhecimentos extracurriculares maravilhosos e por ser um exemplo de profissionalismo e idoneidade para mim.

Ao motorista do transporte universitário, Sr. Pedro, por passar anos levando a mim e outros alunos com segurança, responsabilidade e um grande sorriso no rosto.

Ao professor Farney Coutinho por disponibilizar seu tempo e seus conhecimentos na orientação do nosso TCC.

Ao professor Alexandre Roberto Soares por disponibilizar seu tempo e seus conhecimentos na orientação do nosso TCC.

À minha dupla de TCC Victor Ygor Carvalho De Sousa, por ter sido uma ótima companhia ao longo desses anos de faculdade e um amigo que vou levar para a vida.

Muito obrigado!

Gianluca Peruffo.

RESUMO

A refrigeração de uma instalação em termos termodinâmicos não ocorre de forma espontânea, é preciso que uma máquina térmica invertida (ar condicionado) gaste energia para refrigerar um ambiente. Para a instalação de um sistema de ar condicionado é necessário fazer um levantamento do ambiente a ser condicionado com o intuito de descobrir as cargas térmicas incidentes no sistema, para que seja possível dimensionar o equipamento de refrigeração a ser utilizado, assim permitindo obter o valor real de eficiência energética do sistema. O ambiente de aplicação do estudo foi uma sala de aula da instituição de ensino Associação Educacional Dom Bosco, localizada na cidade de Resende-RJ, cujas condições de conforto térmico objetivadas foram estabelecidas por normas brasileiras vigentes e referenciadas no projeto. A metodologia de avaliação envolveu as dimensões e medições no local da sala, seguido da criação de um modelo 3D em software para facilitar a visualização e soma das áreas das superfícies. Além disso, a listagem de materiais constituintes da construção e de outros fatores como nível atividade física das pessoas, número de alunos, características bioclimáticas da região, orientação geográfica da construção, exposição ou não a luz solar, presença de equipamentos elétricos, iluminação artificial e renovação de ar, também foram considerados. Os cálculos foram divididos por tipo de carga térmica, cada um com a sua respectiva fórmula, a fim de obter um valor de carga térmica total posteriormente. Após a realização do estudo e da aplicação dos devidos cálculos, foi possível chegar a um valor de carga térmica total de 13406,68 Watts que equivalem a 45745,49 BTU/h, esse valor possibilitou a escolha do aparelho de condicionamento de ar adequado, que quando comparado com um refrigerador ideal de Carnot apresentou uma eficiência de 7,24%. Vale ressaltar que neste projeto optou-se pela utilização do sistema de refrigeração por compressão de vapor *split system*. Com isso foi possível apresentar também uma projeção do gasto energético do aparelho baseado na utilização proposta pelo estudo, de maneira que a faculdade possa analisar a viabilidade do projeto, assim como sugestões de melhorias estruturais de forma a diminuir o gasto com refrigeração.

Palavras-chave: Ambiente, Calorimetria, Eficiência energética, Máquinas térmicas, refrigeração.

ABSTRACT

The cooling of an installation in thermodynamic terms does not occur spontaneously, it is necessary that an inverted thermal machine (air conditioning) expend energy to cool an environment. For the installation of an air conditioning system, it is necessary to carry out a survey of the environment to be conditioned in order to discover the thermal loads incident on the system, so that it is possible to size the refrigeration equipment to be used, thus allowing to obtain the real value of system energy efficiency. The study application environment was a classroom of the Educational Institution Association of Dom Bosco, located in the city of Resende-RJ, whose objective thermal comfort conditions were established by current Brazilian standards and referenced in the project. The assessment methodology involved dimensions and measurements at the location of the room, followed by the creation of a 3D model in software to facilitate visualization and summation of surface areas. In addition, the listing of materials that make up the construction and other factors such as people's physical activity level, number of students, bioclimatic characteristics of the region, geographic orientation of the construction, exposure or not to sunlight, presence of electrical equipment, artificial lighting and air renewal were also considered. The calculations were divided by type of thermal load, each with its respective formula, in order to obtain a value of total thermal load later on. After performing the study and applying the appropriate calculations, it was possible to reach a total thermal load value of 13406.68 Watts, which is equivalent to 45745.49 BTU/h, this value made it possible to choose the appropriate air conditioning device, that when compared to an ideal Carnot refrigerator showed an efficiency of 7.24%. It is noteworthy that in this project we chose to use the split system vapor compression refrigeration system. With this, it was also possible to present a projection of the energy expenditure of the device based on the use proposed by the study, so that the faculty can analyze the project's feasibility, as well as suggestions for structural improvements in order to reduce expenditure on refrigeration.

Keywords: Environment, Calorimetry, Energy efficiency, Thermal machines, refrigeration.

Lista de Figuras

Figura 1 - Sistema de refrigeração	14
Figura 2 - Ciclo de refrigeração	14
Figura 3 - Esquema de um refrigerador de Carnot	18
Figura 4 - Diagrama T-s do ciclo de Carnot reverso	18
Figura 5 - Zoneamento bioclimático brasileiro	26
Figura 6 - Parâmetros Ambientais conforme ABNT NBR 16401-1:2008.	26
Figura 7 - Esquema de uma parede de alvenaria com duas camadas isolantes	30
Figura 8 – Taxas típicas de calor liberado por pessoas	32
Figura 9 - Selo Procel de Economia de Energia	35
Figura 10 - Foto tirada da sala do 5º Ano de Engenharia Mecânica	39
Figura 11 - Modelo em 3D REVIT mostrando as janelas da sala.	39
Figura 12 - Modelo em 3D REVIT mostrando a entrada da sala.	40
Figura 13 - Corte A da sala, modelo criado no REVIT	40
Figura 14 - Planta Baixa, modelo criado no REVIT	41
Figura 15 - Tabela de dissipação de calor de equipamentos de escritório	47
Figura 16 - Ar-Condicionado <i>Split</i> Teto Carrier Xperience Quente e Frio 55000 BTUs	50

Lista de Quadros

Quadro 1 - Propriedades dos materiais da parede, ABNT NBR 15220-2	42
Quadro 2 - valores de carga térmica por condução	43
Quadro 3 - Condições do projeto	44
Quadro 4 - Resistências térmicas superficiais, ABNT NBR 15220-2	45
Quadro 5 - Parâmetros da vazão eficaz	46
Quadro 6 - Valores de carga térmica por equipamentos	49
Quadro 7 - Valores de Carga térmica	51
Quadro 8 - Carga térmica x Valor	51

SUMÁRIO

Lista de Figuras	7
Lista de Quadro	8
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 ESCOPO DO TRABALHO.....	12
1.2 MOTIVAÇÃO.....	12
1.3 OBJETIVOS.....	13
1.3.1 OBJETIVOS GERAIS.....	13
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Ciclo de refrigeração.....	14
2.2 1º lei da termodinâmica (lei da conservação da energia ou do balanço energético).....	15
2.3 2º lei da termodinâmica.....	17
2.4 Ciclo de Carnot reverso.....	17
2.5 Transferência de calor:.....	20
2.5.1 Tipos de transferência de calor:.....	20
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3.1 Aparelhos de refrigeração.....	23
3.1.1 Fluido refrigerante.....	23
3.1.2 Compressor.....	23
3.1.3 Condensador.....	24
3.1.4 Tubo capilar ou válvula de expansão.....	24
3.1.5 Evaporador.....	24
3.1.6 Termostato.....	24
3.1.7 Válvula termostática.....	24
3.2 Transferência de calor:.....	25
3.3 Condições climáticas e de conforto térmico.....	25
3.3.1 Termômetro de bulbo seco e úmido.....	27
3.3.2 Umidade absoluta e relativa.....	27
3.3.3 Ventilação.....	28
3.4 CARGA TÉRMICA.....	29

3.4.1 Carga térmica de condução.....	29
3.4.2 Carga térmica de insolação.....	30
3.4.3 Carga térmica por infiltração/ renovação.....	31
3.4.4 Carga térmica de ocupação.....	32
3.4.5 Carga térmica de iluminação.....	33
3.4.6 Carga térmica de equipamentos.....	33
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
5.1 Planta baixa e corte da sala.....	41
5.2 Condições do projeto.....	43
5.2.1 Carga térmica real de condução.....	44
5.2.2 Carga térmica real de insolação, equação (22):.....	45
5.2.3 Carga térmica real por infiltração/ renovação.....	45
5.2.4 Carga térmica real de ocupação.....	46
5.2.5 Carga térmica real de iluminação.....	46
5.2.6 Carga térmica real de equipamentos.....	47
5.2.7 Carga térmica de Total.....	48
5.2.8 Equipamento de condicionamento de ar.....	49
6 CONCLUSÕES.....	53
6.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	54
7 REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

Uma das grandes áreas de aplicação da termodinâmica é a refrigeração, que se trata da transferência de calor de uma região com temperatura mais baixa (fonte fria) para outra com temperatura mais alta (fonte quente). Os dispositivos que produzem refrigeração são os refrigeradores, e os ciclos nos quais eles operam são chamados de ciclo de refrigeração. O ciclo de refrigeração mais utilizado 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.

Conforme a 2^o lei da termodinâmica, esse processo de transferir calor da fonte fria para a fonte quente não é algo espontâneo ou natural, ou seja, demanda-se energia para refrigerar um ambiente ou uma câmara, dessa forma o conhecimento das fontes de calor incidentes no ambiente que se deseja refrigerar é algo fundamental, tão como o correto dimensionamento do equipamento de refrigeração.

Como bem explicitado e orientado pela (ABNT NBR 16401-1 de 2008), o cálculo da carga térmica vai permitir a instalação de um sistema que não falte nem sobre potência para resfriar o ambiente, sendo assim, a possibilidade de determinar um aparelho específico de refrigeração permite encontrar um valor específico de eficiência energética dessa instalação, assim como torna possível projetar o custo de funcionamento e instalação.

Em casos de edifícios com ocupação de pessoas, existem alguns aspectos que devem ser levados em conta durante um projeto de climatização. Neste ambiente é necessário que o ar respirado pelos ocupantes seja de boa qualidade e que o conforto térmico seja estabelecido de forma eficiente (MARTINS, 2018).

1.1 ESCOPO DO TRABALHO

O capítulo 3 apresenta o ciclo de refrigeração, 1ª e 2ª Lei da termodinâmica e o Ciclo de Carnot Reverso com o objetivo de apresentar a formulação teórica e discutir seus fenômenos.

O capítulo 4 apresenta os componentes fundamentais para um aparelho de refrigeração. Também é discutido sobre transferência de calor juntamente com as condições climáticas, e finalizando o capítulo é falado sobre os tipos e comportamentos de carga térmica.

O capítulo 5 aborda os materiais e métodos usados durante a pesquisa e análise, onde é apresentado os motivos da a sala da instituição e os materiais/ferramentas que foram utilizados para coletar os dados necessários.

O capítulo 6 expõe os resultados obtidos durante a pesquisa feita, onde foram apresentadas condições do projeto, carga térmica dos meios e a carga térmica total do ambiente escolhido para análise. É apresentado o aparelho de ar condicionado adequado para o ambiente escolhido, levando em conta o número de pessoas que a sala comporta, e apresentando os cálculos que comprovam as afirmações feitas.

O capítulo 7 será relatada a conclusão dos resultados que foram obtidos durante a pesquisa então realizada e sugestões para trabalhos futuros.

1.2 MOTIVAÇÃO

Considerando as características climáticas do Brasil, o trabalho busca apresentar um projeto para o aumento do conforto térmico dos estudantes da Associação Educacional Dom Bosco, analisando a eficiência energética de um sistema de ar-condicionado hipotético aplicado em uma sala de aula da instituição.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVOS GERAIS

Neste trabalho de pesquisa nós iremos fazer um estudo termodinâmico a fim de analisar a eficiência energética em sistemas de refrigeração em salas de aulas no campus da faculdade Associação Educacional Dom Bosco, para trazer conforto aos alunos da instituição.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

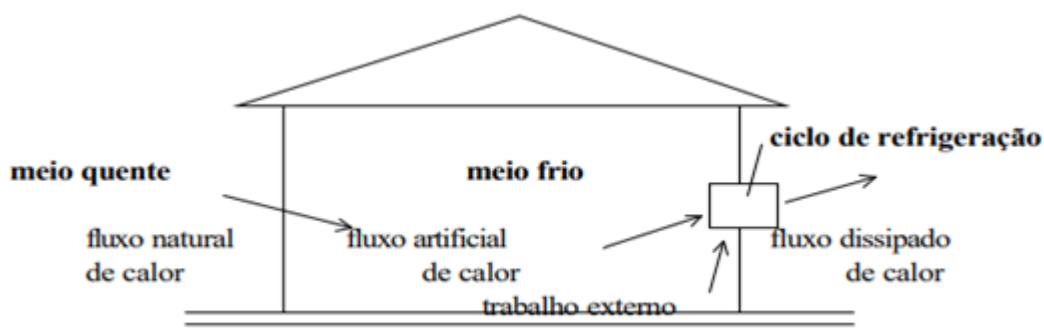
Buscar valores reais do consumo energético de um sistema de ar-condicionado para a sua implementação em uma sala de aula do campus da ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL DOM BOSCO.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Ciclo de refrigeração

Pode ser definido como um sistema térmico que continuamente transfere energia térmica (calor) de uma região de baixa temperatura para outra em alta temperatura. Como este fluxo contraria a tendência natural do calor, só é possível absorver trabalho externo, conforme a figura 1.

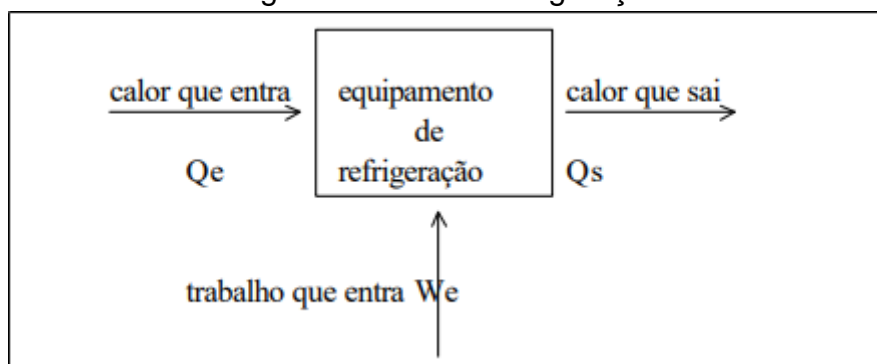
Figura 1: Sistema de refrigeração



Fonte: Anexo ABNT 16401-1

O ciclo de refrigeração tem uma entrada de calor, uma saída de calor e uma entrada de trabalho. Ampliando o equipamento de refrigeração tem-se a figura 2.

Figura 2: Ciclo de refrigeração



Fonte : <<https://www.passeidireto.com/arquivo/77736278/rac-modulo-2-2>>, acessado em 02/08/21

- A transferência de calor de compartimentos de baixa temperatura para outros a temperaturas maiores é chamada de refrigeração;

- Equipamentos que produzem refrigeração são chamados de refrigeradores, que operam segundo um ciclo frigorífico;
- O fluido de trabalho dos refrigeradores são os refrigerantes;
- Os refrigeradores utilizados com o propósito de aquecer um espaço fazendo uso do calor de um reservatório mais frio, são denominadas bombas de calor.

Podemos entender melhor os conceitos dos refrigeradores através das leis da termodinâmica.

2.2 1º lei da termodinâmica (lei da conservação da energia ou do balanço energético)

Em um sistema térmico em regime estacionário, o somatório de energias “Ee” que entram é igual ao somatório de energias “Es” que saem, conforme as equações 1, 2 e 3:

$$\sum E_e = E_s \quad (1)$$

$$Q_L + W_e = Q_H \quad (2)$$

$$W_e = Q_H - Q_L \quad (3)$$

onde “QL” é o calor que entra em watts, “We” o trabalho que entra em watts e “QH” o calor que sai, em watts.

Nestas equações pode ser visto que o calor que sai do sistema é maior que o calor que entra, pois leva consigo o trabalho do sistema, ou o trabalho sai na forma de calor. Isto concorda com o proposto por Robert Mayer em 1842, que o trabalho e calor são elementos equivalentes, que foi o início da 1ª lei da termodinâmica.

Uma outra aplicação da 1ª lei é a eficiência, que em ciclos de refrigeração pode passar de 100 % e por isso é chamado de COP - Coeficiente de Performance, obtendo-se a equação 4.

$$\text{COP} = \frac{(\text{Efeito Útil})}{(\text{Energia Gasta})} \quad (4)$$

Outro dispositivo que transfere calor de um meio a baixa temperatura para um meio a alta temperatura é a bomba de calor. Os refrigeradores e as bombas de calor são essencialmente iguais. O que os difere é o objetivo de cada um. O objetivo de um refrigerador é manter um espaço refrigerado a uma temperatura baixa, removendo esse calor do ambiente. A rejeição desse calor em um meio de temperatura mais alta é apenas uma parte necessária do processo, e não sua finalidade. Já a bomba de calor, tem como objetivo manter o espaço aquecido a uma temperatura mais alta, ou seja, ou seja, o calor que entra é muito importante.

O efeito útil pode ser o frio produzido ou o calor produzido, chegando-se em duas definições para o COP:

$$\text{COP REF} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} \quad (5)$$

$$\text{COP BC} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} \quad (6)$$

Onde:

QH- Calor da fonte quente;

QL – Calor da fonte fria;

COP REF é o coeficiente de performance para refrigeração, e COP BC para aquecimento. Como $Q_H = Q_L + W_e$, tem-se:

$$\text{COP BC} = \frac{Q_H}{W_e} + \frac{Q_L + W_e}{W_e} + \frac{Q_L}{W_e} \frac{W_e}{W_e} = \text{COP REF} + 1 \quad (7)$$

Ou seja, o COP de aquecimento é igual ao COP de refrigeração mais um. Isto se as condições de funcionamento do ciclo não forem alteradas.

2.3 2º lei da termodinâmica

A segunda lei da termodinâmica diz que a energia flui naturalmente do maior potencial para o menor potencial, vencendo as resistências térmicas existentes no caminho. Do contrário, só às custas de trabalho externo. Em termos de entropia, necessário para ciclos, a segunda lei diz que em um sistema térmico em regime estacionário, a variação total de entropia do sistema é igual à soma das variações reversíveis mais as irreversíveis, obtendo as equações 8 e 9:

$$dS = dS_r + dS_i \quad (8)$$

$$\oint \frac{dQ}{T} \leq 0 \quad (9)$$

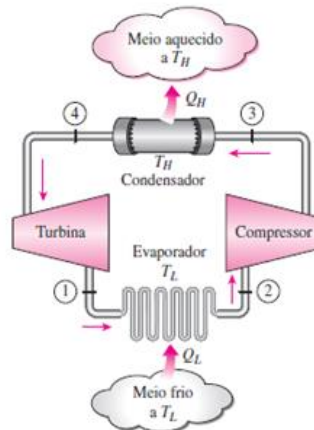
onde “dS” é a variação total de entropia, “dS_r” as variações reversíveis e “dS_i” as irreversíveis. O termo “dQ” representa os fluxos de calor e T a temperatura absoluta. A segunda equação de é chamada desigualdade de Clausius, formulada em 1854 e que deu origem à 2ª lei da termodinâmica. O sinal igual vale para processos reversíveis e o maior para processos irreversíveis. Quanto mais irreversível, maior a desigualdade.

Pela equação 9, constata-se que o melhor sistema será aquele que tiver as menores variações irreversíveis de entropia, por exemplo, causadas por atrito, e chega-se à conclusão que o melhor ciclo é aquele que tiver irreversibilidade zero, no caso o ciclo de Carnot, cuja base foi formulada por Sadi Carnot em 1824 como ciclo ideal. Este ciclo é direto (horário) em motores térmicos, e reverso (anti-horário) em refrigeração. Tal conceito é corroborado por Almeida; Barbosa e Fontes (2010, pág.75)

2.4 Ciclo de Carnot reverso

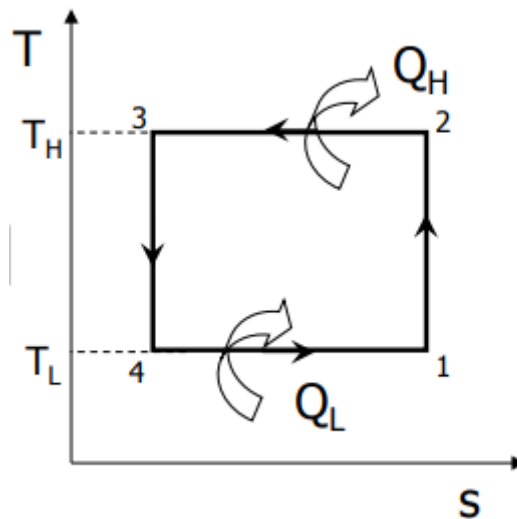
Sabe-se que o ciclo de Carnot é um ciclo totalmente reversível que consiste em dois processos isotérmicos reversíveis e em dois processos isentrópicos. Ele tem a eficiência térmica máxima para determinados limites de temperaturas e serve como padrão de comparação para os ciclos de potência reais.

Figura 3: Esquema de um refrigerador de Carnot



Fonte: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/77736278/rac-modulo-2-2>>, acessado em 04/08/21

Figura 4: Diagrama T-s do ciclo de Carnot reverso



Fonte: Análise do desempenho de um refrigerador doméstico funcionando com uma válvula de expansão micrométrica, (Lima, 2017, pág. 17).

Os quatro processos são:

- 1-2: Compressão adiabática isentrópica com entrada de trabalho.
- 2-3: Compressão isotérmica com saída de calor.
- 3-4: Expansão adiabática isentrópica com saída do trabalho.
- 4-1: Expansão isotérmica com entrada de calor.

Os coeficientes de performance dos refrigeradores de Carnot e das bombas de calor são expressos pelas relações entre as temperaturas, é o que se pode observar nas equações 10 e 11.

$$\text{COP REF} = \frac{T_L}{T_H - T_L} \quad (10)$$

$$\text{COP BC} = \frac{T_L}{T_H - T_L} \quad (11)$$

Onde:

TL – Temperatura da fonte fria;

TH – Temperatura da fonte quente

Segundo o autor (Dutra, 2008, pág. 23) “Dentre as diferentes técnicas de refrigeração existentes, destaca-se o ciclo de refrigeração por compressão mecânica de vapor. O primeiro registro de confecção de um refrigerador que opera segundo essa técnica é de 1834, e pertence ao norte-americano Jacob Perkins.”

Calor sensível

Calor sensível é uma grandeza física que corresponde a quantidade de calor recebida ou cedida por um corpo, gerando assim um aumento ou diminuição da temperatura. Porém, vale ressaltar que os corpos que participam desse processo não mudam seu estado físico.

$$QS = m.c.\Delta T \quad (12)$$

Onde:

QS - Quantidade de calor sensível, [kJ];

m - Massa, [kg];

c - Calor específico, [kJ/kgK];

ΔT - Variação de temperatura, [K].

Calor latente

O calor latente se designa à quantidade de calor que cada grama de substância precisa receber ou perder para mudar seu estado físico. Enquanto a substância não mudar de fase ela não varia a temperatura.

$$QL = m.Lt \quad (13)$$

Onde:

QL - quantidade de calor latente, [kJ];

Lt - calor latente, [kJ/kg];

M - Massa [kg];

2.5 Transferência de calor:

Transferência de Calor (ou Calor) é energia em trânsito devido a uma diferença de temperatura. Sempre que existir uma diferença de temperatura em um meio ou entre meios ocorrerá transferência de calor.

Importante associação da termodinâmica e transferência de calor

Embora a termodinâmica trate das interações do calor e o papel que ele desempenha na primeira e na segunda leis, ela não leva em conta nem o mecanismo de transferência nem os métodos de cálculo da taxa de transferência de calor. A termodinâmica trata com estados de equilíbrio da matéria onde inexistente gradiente de temperatura. Todavia a termodinâmica possa ser usada para determinar a quantidade de energia requerida na forma de calor para um sistema passar de um estado de equilíbrio para outro, ela não pode quantificar a taxa (velocidade) na qual a transferência do calor ocorre.

2.5.1 Tipos de transferência de calor:

Condução: transferência de calor em um meio físico interveniente sem deslocamento de massa, o meio de transferência mais relevante para os sólidos.

No cálculo da condutividade térmica devem ser considerados a condutividade térmica do material, a área de contato, a diferença de temperatura entre as superfícies e a variação de espaço ou espessura do objeto.

$$Q/t = -KxAx \frac{\Delta T}{L} \quad (14)$$

Onde:

K – Condutividade térmica do material;

A – área superficial;

ΔT – diferença de temperatura;

L – Espessura do meio;

É válido ressaltar que a resistividade térmica dos materiais pode ser associada, aprimorando os fatores de cálculo.

Convecção: transferência de calor em um meio físico interveniente com deslocamento de massa, ocorre em meios fluidos onde a alteração da temperatura em determinadas regiões do fluido promove o seu escoamento. Seu cálculo é obtido a partir da área de contato do fluido com o sólido onde está ocorrendo a troca de calor, seu coeficiente de película e a diferença entre as temperaturas.

$$Q/t = -h x A x \Delta T \quad (15)$$

Onde:

h – Coeficiente de transferência térmica;

A – área superficial;

ΔT – diferença de temperatura

Radiação: transferência de calor sem a necessidade de um meio físico interveniente, com a energia sendo emitida na forma de ondas eletromagnéticas entre duas superfícies a diferentes temperaturas. A emissividade de um objeto pode ser calculada sendo comparada com a emissividade de um corpo negro, que é a superfície capaz de emitir o máximo de radiação térmica teórica, para isso basta saber a constante de Boltzman e a temperatura em Kelvin do corpo, ressaltando que a forma do objeto influencia na sua emissão de radiação.

- **Corpo Negro**

$$EB = \sigma \times T^4 \quad (16)$$

Onde:

EB – Emissividade do corpo negro perfeito

σ – Constante de Boltzmann

T – Temperatura em kelvin

- **Emissividade Real**

$$E = \frac{E_{real}}{E_b} \quad (17)$$

Onde:

E – Emissividade

- **Fator Forma**

$$A_1 \times F_{12} = A_2 \times F_{21} \quad (18)$$

Onde:

A- Área do corpo

F- Fator forma

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Aparelhos de refrigeração

“Dentre as diferentes técnicas de refrigeração existentes, destaca-se o ciclo de refrigeração por compressão mecânica de vapor. O primeiro registro de confecção de um refrigerador que opera segundo essa técnica é de 1834, e pertence ao norte-americano Jacob Perkins”. (DUTRA, 2008, pág.23).

Os sistemas de refrigeração podem ser subdivididos entre sistemas de expansão direta e indireta. O sistema escolhido para a aplicação neste trabalho foi o sistema de expansão direta, mais especificamente o split-system, por ser mais tradicional e adequado para a implementação em escritórios e salas. Esse aparelho de refrigeração é composto por uma unidade evaporadora e outra condensadora, que são interligadas por tubulações de cobre.

3.1.1 Fluido refrigerante

O fluido deve possuir baixa pressão de vaporização e alta pressão de condensação. Existem uma gama de fluidos refrigerantes no mercado, cada um com as suas respectivas características positivas e negativas.

Na última década a indústria de refrigeração e ar condicionado passou por grandes modificações devido às discussões e análises dos impactos ambientais causados pela eliminação dos CFCs (clorofluorcarbonos) e HCFCs (hidroclorofluorcarbonos). Após o Protocolo de Montreal, em 1987, o Brasil se comprometeu a cumprir o Cronograma de Redução das Substâncias que Destroem o Ozônio - SDO (“Ozone-depleting substances – ODS”). (Alves e Saúde, 2012, pág.19).

3.1.2 Compressor

Como a transferência de calor de uma fonte fria para uma fonte quente não é espontânea, faz-se necessária uma quantidade de energia externa, que ocorre na forma de trabalho, quem realiza esse trabalho é o compressor. Ele funciona como o coração do refrigerador. Reduzindo o volume do fluido, aumentando da energia interna do fluido e, conseqüentemente, aumentando a sua temperatura. Esse processo pode ser considerado um processo adiabático.

3.1.3 Condensador

O condensador situa-se na parte traseira do refrigerador ou externa ao ambiente que deseja resfriar. Ele é o componente que vai receber o fluido na fase vapor e vai retirar calor do fluido por convecção, reduzindo a temperatura e o volume, de forma a passar o fluido para o estado líquido.

3.1.4 Tubo capilar ou válvula de expansão

Esse dispositivo permite uma expansão repentina do fluido, fazendo com que uma parte do fluido evapore, para isso retirando energia interna do fluido e conseqüentemente reduzindo a sua temperatura. Esse processo também pode ser considerado adiabático.

3.1.5 Evaporador

É composto por um tubo em forma de serpentina que fica localizado dentro do refrigerador, sendo a parte que faz com que os itens no refrigerador fiquem frios. Esse componente é responsável por terminar de evaporar totalmente o fluido refrigerante, aumentando a sua temperatura. Para isso ele retira calor do ambiente que se deseja resfriar. A maior parte do processo ocorre por convecção.

3.1.6 Termostato

O termostato controla o processo de refrigeração ao monitorar a temperatura e, então, ligar ou desligar o compressor. O termostato também tem a função de proteger o compressor, visto que uma pequena quantidade de fluido refrigerante no estado líquido poderia estragar o compressor, assim ele garante que o evaporador vai dar conta de evaporar todo o fluido.

3.1.7 Válvula termostática

Com a mesma função proteger o compressor, que o termostato possui, a válvula condensadora termostática, busca trazer mais eficiência para o processo, evitando um desligamento abrupto do compressor. Dotada de uma lâmpada conectada a uma agulha que se utiliza do seu alto coeficiente de dilatação para regular a passagem do fluido para garantir a sua evaporação completa antes de chegar ao compressor novamente.

3.2 Transferência de calor:

Transferência de Calor (ou Calor) é energia em trânsito devido a uma diferença de temperatura. Sempre que existir uma diferença de temperatura em um meio ou entre meios ocorrerá transferência de calor.

Importante associação da termodinâmica e transferência de calor

Embora a termodinâmica trate das interações do calor e o papel que ele desempenha na primeira e na segunda leis, ela não leva em conta nem o mecanismo de transferência nem os métodos de cálculo da taxa de transferência de calor. A termodinâmica trata com estados de equilíbrio da matéria onde inexistente gradiente de temperatura. Embora a termodinâmica possa ser usada para determinar a quantidade de energia requerida na forma de calor para um sistema passar de um estado de equilíbrio para outro, ela não pode quantificar a taxa (velocidade) na qual a transferência do calor ocorre.

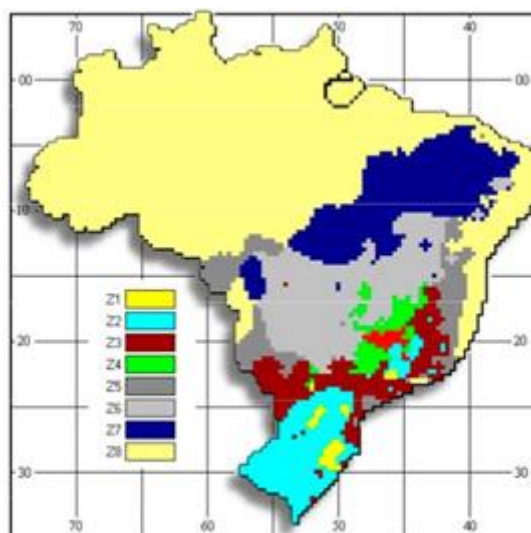
3.3 Condições climáticas e de conforto térmico

Conforme a (NBR 16401-1, 2008), o projeto deve se basear nas condições climáticas da localidade, para projeto residenciais e comerciais as frequências anuais de médias máximas e mínimas de temperatura para termômetros de bulbo seco e bulbo úmido devem apresentar uma frequência de 1% e 99%

“Para localidades não listadas no Anexo A, adotar os dados da localidade listada cujos parâmetros mais se aproximam dos parâmetros climáticos da localidade do projeto: mês mais quente e mês mais frio, altitude, média, comparando as condições de projeto de localidades não listadas, em base ao zoneamento bioclimático” (NBR 16401-1,2008, p.9).

O zoneamento bioclimático é o resultado do cruzamento de dados de zonas de conforto térmico humano, dados climáticos, estratégias construtivas e de condicionamento térmico passivo, com o objetivo de estabelecer critérios para proporcionar conforto térmico nas edificações habitacionais (SILVA, 2004).

Figura 5: zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: <<http://bioclimatismo.com.br/bioclimatismo/zoneamento-bioclimatico-brasileiro/>> acessado 03/10/21

Para fins de projeto, pela cidade de Resende não estar listada no anexo A da NBR 16401-1 será levado em consideração a tabela com os dados climáticos da cidade de Belo Horizonte por pertencer à mesma zona climática de Resende, a zona 3.

Figura 6: ABNT NBR 16401-1:2008. ANEXO A, Pág. 35.

MG	Belo Horizonte Tancerto Neves		Latitude	Longit.	Altitude	Pr.atm	Período	Extrem.	TBU	TBSmx	s	TBSmn	s
			19,83S	43,93W	917m	90,78	90/01	anuais	28,4	34,6	0,9	8,4	1,8
Mês>Qt	Freq.	Resfriamento e desumidificação				Baixa umidade			Mês>Fr	Umidificação			
Fev	anual	TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	anual	TBS	TPO	w	TBSc
	0,4%	32,1	20,5	23,3	28,2	22,1	18,8	25,1	99,6%	11,1	4,9	6,0	21,2
ΔTmd	1%	31,1	20,8	22,8	27,9	21,2	17,8	24,4	99%	12,2	6,1	6,5	20,3
	9,7	2%	30,2	20,7	22,4	27,5	21,0	17,6	24,2				

Fonte: Anexo ABNT NBR 16401-1

Conforme a norma (ABNT NBR 16401-2, 2008) os parâmetros ambientais que afetam o conforto térmico são a temperatura operativa, a velocidade do ar e a umidade relativa do ar. Os valores destes parâmetros dependem de fatores pessoais como o tipo de roupa usada pela pessoa (expressa em "clo", referente ao índice de resistência térmica, 1 clo = 0,155 m²K/W) e o nível de atividade física da pessoa (expressa em "met", referente ao metabolismo, 1 met = 58,2 W/m², admitindo superfície média da pessoa com 1,8 m²). Tais valores são confirmados por Silva (1994, p.30).

A norma NBR 16401-2 também define o intervalo de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar para cada estação e considerando atividade sedentária ou leve (1,0 a 1,2 met), assim como a roupa típica de cada estação e o seu índice de resistência térmica médio. A região delimitada para o verão (0,5 clo) fica entre 22,5°C a 25,5°C com umidade relativa de 65% e 23,0°C a 26,0°C com umidade relativa de 35%. Já no inverno (0,9 clo) a região fica entre 21,0°C a 23,5°C com umidade relativa de 60% e 21,5°C a 24,0°C com umidade relativa de 30%.

3.3.1 Termômetro de bulbo seco e úmido

A temperatura do ar, chamada de temperatura de bulbo seco, TBS, costuma ser medida com a temperatura de bulbo úmido através do psicômetro giratório. A temperatura de bulbo úmido é medida com um termômetro semelhante ao usado para medir a TBS, porém com um tecido no bulbo do termômetro de forma que a umidade seja considerada.

A temperatura de bulbo úmido é a temperatura mais baixa que pode ser alcançada apenas pela evaporação da água. É a temperatura que se sente quando a pele está molhada e está exposta a movimentação de ar. Ao contrário da temperatura de bulbo seco, a temperatura de bulbo úmido é uma indicação da quantidade de umidade no ar. Quanto menor a umidade relativa do ar, maior o resfriamento.

A temperatura ambiente é a temperatura do ar no ambiente onde está instalado o termômetro, ou seja, a temperatura de bulbo seco.

3.3.2 Umidade absoluta e relativa

A umidade ou umidade é a quantidade de vapor de água na atmosfera. Fisicamente, a umidade relativa é definida como a razão da quantidade de vapor de água presente numa porção da atmosfera com a quantidade máxima de vapor de água que a atmosfera pode suportar a uma determinada temperatura.

Dessa forma, a umidade absoluta representa a massa de água contida em uma unidade de massa de ar (g/kg) e a umidade relativa, a relação entre a umidade absoluta do ar e a umidade absoluta do ar saturado para a mesma temperatura e pressão.

3.3.3 Ventilação

A ventilação é um fator crucial para manter a qualidade do ar de um sistema aceitável, tanto para promover a renovação de ar como para diminuir a concentração de poluentes no ar. A ventilação leva em consideração o tipo de recinto e dependendo da localidade exigirá até filtragem.

Para quantificar a vazão eficaz de ar exterior adequada para o projeto, devem ser considerados dois fatores, a quantidade de pessoas admitidas no recinto e a área do recinto. Ela é calculada pela seguinte equação:

$$V_{ef} = P_z \cdot F_p + A_z \cdot F \quad (19)$$

Onde:

V_{ef} - Vazão eficaz de ar exterior, [L/s];

P_z - Número máximo de pessoas na zona de ventilação;

F_p - Vazão por pessoa, [L/s·pessoa];

A_z - Área útil ocupada pelas pessoas, [m²];

F - Vazão por área útil ocupada, [L/s·m²].

Essas duas vazões verificadas na equação anterior referente a área e ao número de pessoas, que vão fornecer a vazão eficaz de ar exterior, são listadas na tabela 1 da (ABNT NBR 16401-3, 2008). A tabela classifica essas vazões quanto a localidade e a 3 níveis de utilização que variam sendo o nível 1 o mínimo necessário, o nível 2 o mais usual e o nível 3 para o caso de instalações para evitar manifestações alérgicas. Neste trabalho, serão utilizados os valores do nível 2 referentes ao tipo de local de instalação, assim como não exigirá sistema de filtragem do ar exterior.

3.4 CARGA TÉRMICA'

A climatização por não se tratar de um processo natural espontâneo, mas sim estar atrelada a características específicas do conforto subjetivo do ser humano, o processo de refrigeração precisa estar constantemente vencendo o fluxo natural de calor comprovado pela segunda lei da termodinâmica e pela lei da entropia do universo. Tal afirmação é por Dewes (2019)

Segundo Creder (2004) “Carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente, geralmente expressa em BTU/h, ou kcal/h, * que deve ser retirada ou colocada no recinto a fim de proporcionar as condições de conforto desejadas”.

“Basicamente a carga térmica é o somatório de todas as formas de calor presentes em um ambiente. O cálculo desta carga térmica envolve a identificação das variáveis climáticas, das variáveis humanas e das variáveis arquitetônicas” (Alves e Saúde, 2013, pág. 24).

Com a obtenção de todas as características arquitetônicas quantitativas e qualitativas listadas, assim como as condições climáticas e de conforto pré-estabelecidas, as cargas térmicas úteis para o projeto podem ser divididas em cargas térmicas internas, que estão dentro do ambiente como, pessoas, aparelho e a própria iluminação, ou então cargas térmicas externas como a carga térmica por insolação, condução e infiltração.

3.4.1 Carga térmica de condução

A carga térmica devido à transmissão de calor é uma função do diferencial de temperatura entre o ambiente externo e o interior, elementos construtivos da câmara (paredes, teto, piso, portas, etc.) e da área das superfícies expostas ao diferencial de temperaturas. Esta carga térmica pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$Q = Rt \cdot A \cdot \Delta T \quad (20)$$

Onde:

Q – Calor da carga térmica;

R_t – Resistência térmica;

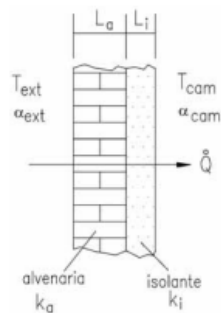
A – Área da superfície;

ΔT – Diferença de temperatura;

De maneira geral, a resistência térmica fornecida por uma camada construtiva, pode ser encarada da maneira análoga ao cálculo das resistências elétricas, ou seja, o “sanduiche” de materiais ou as camadas de materiais de uma parede por exemplo vão fornecer uma certa resistência ao fluxo de calor, considerando-se a condutividade térmica de cada material e a sua espessura. Vale ressaltar que os coeficientes de convecção ou de película, internos ou externos, também são importantes serem incluídos no cálculo para aumentar a sua precisão. Assim, a fórmula da resistência térmica fica assim:

$$R_t = \frac{1}{\alpha_{ext}A} + \frac{L_a}{K_aA} + \frac{L_i}{K_iA} + \frac{1}{\alpha_{int}A} \quad (21)$$

Figura 7: - Esquema de uma parede de alvenaria com duas camadas isolantes.



Fonte: *Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial e comercial*, (Marcelino Silva, figura 2.39, pág. 69).

3.4.2 Carga térmica de insolação

Carga térmica de insolação

A energia solar emitida na forma de radiação se divide em 3 componentes, a parte que é refletida, a que é absorvida e a que atravessa o vidro. A componente que atravessa o vidro é transmitida para o interior do ambiente está ligada a transferência

de calor por radiação apresentada no começo do trabalho. Essa componente e a sua intensidade vai estar ligada ao coeficiente de transmissão de calor do vidro, que por sua vez está relacionada ao material constituinte do vidro, sua orientação geográfica na construção e no mapa, as horas do dia e o período do ano, tais condições também são confirmadas por (Quintas, 2017, pág. 33).

$$Q = A X U [(t_e - t_i) + \Delta t] \quad (22)$$

Q =watts;

A = área em m²;

U = coeficiente global de transmissão de calor em kcal/h·m²;

t_e = temperatura do exterior em °C;

t_i =temperatura do interior em °C;

Δt =acrécimo ao diferencial de temperatura utilizado para superfícies opacas como paredes.

3.4.3 Carga térmica por infiltração/ renovação

Como explicitado no tópico de condições climáticas e de conforto, todo ambiente fechado de temperatura condicionada necessita de uma vazão eficaz de ar, ou seja, um ar que é insuflado para dentro da sala, seja por dutos ou por frestas, com o objetivo de renovar o ar e manter possível a permanência de pessoas no ambiente.

Pelo fato de o projeto conceber a aplicação de um sistema de ar-condicionado split de zona única, a quantidade de ar insuflada por infiltração e por renovação serão consideradas uma só, baseando-se no cálculo da vazão eficaz apresentada anteriormente. Essa vazão de ar traz consigo uma parcela de calor, que acaba influenciando diretamente na carga térmica total do ambiente.

A fórmula descrita abaixo, foi obtida a partir de documento da ASHRAE, A Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, que é utilizada como referência pela norma a (ABNT NBR 16401-1, 2008).

$$Q_{ra} = 1230. V_{ef}. \Delta T \quad (23)$$

Q_{ra} - carga térmica de renovação de ar, [W];

V_{ef} = Vazão eficaz de ar exterior, [m³/s];

ΔT - variação média de temperatura, [K].

3.4.4 Carga térmica de ocupação

Os seres humanos por se tratarem de animais homeotérmicos, nossa atividade celular faz com que nosso metabolismo se transforme em uma máquina térmica capaz de emitir calor sensível e calor latente constante a um determinado nível de atividade física, tal ponto de vista é reforçado por Silva (1994).

Figura 8: ABNT NBR 16401-1:2008. ANEXO A, Pág. 55.

Tabela C.1 — Taxas típicas de calor liberado por pessoas

Nível de atividade	Local	Calor total (W)		Calor Sensível (W)	Calor latente (W)	% Radiante do calor sensível	
		Homem adulto	Ajustado M/F ^a			Baixa velocidade do ar	Alta velocidade do ar
Sentado no teatro	Teatro matinê	115	95	65	30		
Sentado no teatro, noite	Teatro noite	115	105	70	35	60	27
Sentado, trabalho leve	Escritórios, hotéis, apartamentos	130	115	70	45		

Fonte: Anexo ABNT NBR 16401-1

Para o cálculo da carga térmica de ocupação, a tabela “C.1” da (ABNT NBR 16401-1, 2008) estabelece valores de calor sensível e calor latente de 70W e 45 W respectivamente para um ser humano com o nível de atividade física compatível com o do projeto. O cálculo da carga térmica de ocupação consiste na multiplicação do número de pessoas pelo calor liberado, sensível e latente.

$$Q_{oc} = n_p \cdot (q_s + q_l) \quad (24)$$

Q_{oc} - carga térmica de ocupação, [W];

n_p - número de pessoas;

q_s - carga térmica relativa ao calor sensível, [W];

q_l - carga térmica relativa ao calor latente, [W].

3.4.5 Carga térmica de iluminação

Geralmente as lâmpadas possuem uma certa diversidade quanto ao processo pelo qual elas convertem energia elétrica em energia luminosa, havendo uma parte que se dissipa na forma de calor e outra que se dissipa na forma de energia luminosa.

Sendo assim, fica evidente que uma lâmpada transmite calor e esse também deve ser levado em conta para o cálculo da carga térmica.

Para se ter a carga térmica em kcal/h, usar a relação: 1 kW · h = 860 kcal. A iluminação fluorescente necessita de um equipamento adicional para prover a tensão necessária à partida e, após esta, a limitação de corrente. Esse equipamento é o reator, que adiciona cerca de 25% de carga;

$$Q_i = N \cdot W \cdot 0,86 \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right) \quad (25)$$

Q_i - Carga térmica de iluminação, [W];

N - Número de lâmpadas;

P_i - Potência de iluminação [W];

0,86 = fator de conversão de W para kcal/h

Nota: No cálculo para lâmpadas fluorescentes, deve ser acrescentado um adicional de 25% referente ao calor fornecido pelo reator da lâmpada.

3.4.6 Carga térmica de equipamentos

A carga térmica de equipamentos nada mais é que a contabilização dos tipos de equipamentos referentes às suas respectivas potências, bem como suas quantidades, que no caso de uma sala de aula variam de computadores, ventiladores, projetores, celulares, etc.

$$Q_e = N_e \cdot P_e$$

(26)

Q_e - carga térmica dos equipamentos eletrônicos, [W];

N_e - número de equipamentos eletrônicos; P

P_e - potência dos equipamentos eletrônicos, [W];

3.4.7 Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE)

Criado em 1984, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) contempla atualmente 30 programas diferentes, incluindo edificações e a eficiência na utilização de recursos naturais nos empreendimentos; fogões, fornos, automóveis e ar-condicionado.

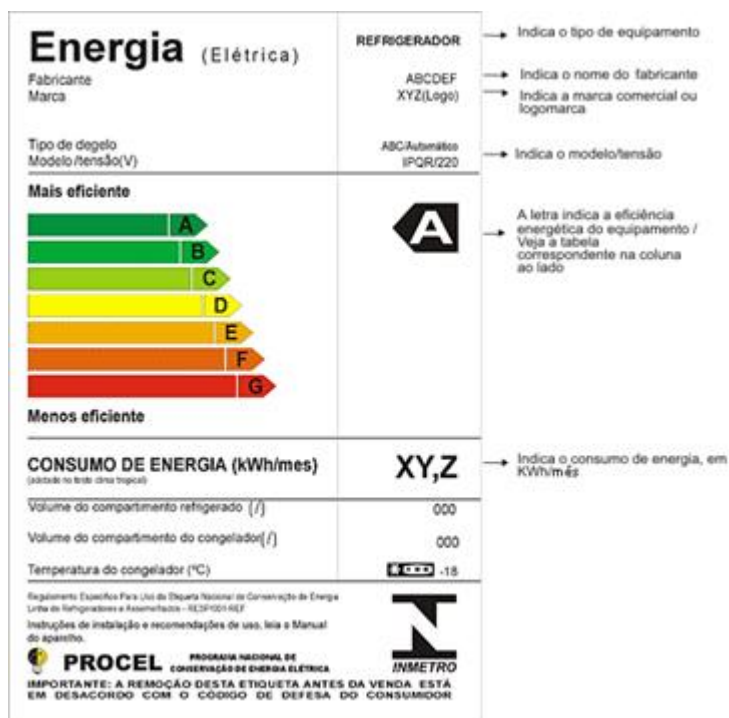
O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) é um programa de governo, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia – MME e executado pela Eletrobrás que tem como objetivo incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais nas edificações brasileiras, reduzindo o desperdício e os impactos sobre o meio ambiente (MARTINS, 2018).

Na área de eficiência energética é importante aliado do consumidor, na hora de comprar, pois fornece informações sobre o consumo de energia dos aparelhos, ajudando na economia de energia elétrica.

O Selo Procel é uma etiqueta que identifica os aparelhos eletrodomésticos mais econômicos, de acordo com a eficiência energética, medida pelo CEE – Coeficiente de Eficiência Energética. A classificação é dividida em A, B, C, D e E. O EER (*Energy Efficiency Ratio*) é definido pela razão entre a capacidade total de resfriamento e a energia consumida, sob condições operacionais estabelecidas. Quanto mais alto for o EER, mais eficiente é o aparelho.

O EER (*Energy Efficiency Ratio*) é definido pela razão entre a capacidade total de resfriamento (Btu/h) ou (W) e a energia consumida (W), sob condições operacionais estabelecidas. Quanto mais alto for o EER, mais eficiente é o aparelho.

Figura 9 - Selo Procel de Economia de Energia.



Fonte: <http://guiadecompras.casasbahia.com.br/eletrodomesticos/conheca-o-selo-procel-de-economia-de-energia>

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O tipo de análise de eficiência energética, será dada por meio de uma pesquisa aplicada ao ambiente das salas da Associação Educacional Dom Bosco, para isso se utilizando de um método de pesquisa descritivo.

Escolher a sala e a sua disposição em relação ao prédio onde se concentram as turmas da engenharia no campus da faculdade Dom Bosco é um fator importante, pois além disso diferenciar a dimensão da sala, a sua exposição em relação a radiação solar também muda.

Dotado de trena eletrônica e trena curta, realizar a medição física da sala de aula escolhida para o desenho de um croqui além de realizar a listagem dos materiais que compõem a sala de aula, como os materiais constituintes das paredes, forro, lajes, área envidraçada, assim como o tipo de iluminação artificial que a sala possui e a sua lotação máxima demarcada pelo número de cadeiras que compõem a sala, e considerar seu posicionamento em relação ao prédio inteiro.

Para facilitar a visualização do ambiente para o leitor também será criado um modelo 3D da sala de aula escolhida no Autodesk Revit, com imagens renderizadas.

Com os dados quantitativos em mãos, será possível identificar valores essenciais para o cálculo das cargas térmicas internas e externas como, a volumetria da sala, a condutância de cada uma das faces da sala de aula, calor irradiado pela área envidraçada, infiltração de ar externo entre outras cargas internas devido à presença humana na sala e iluminação artificial, entre outras. Esses valores aplicados em um estudo a uma temperatura externa específica compatível com as condições meteorológicas médias de Resende durante os meses mais quentes e uma temperatura de conforto interna também estabelecida, será possível a obtenção de todas as cargas térmicas incidentes no ambiente.

A partir do somatório desses valores, será possível a obtenção da carga térmica total, que apesar de poder ser expressa em Watts, será necessariamente convertida para BTUs/h por ser uma unidade muito utilizada para o dimensionamento de equipamentos de refrigeração no Brasil.

A obtenção do valor em BTUs/h possibilitará a escolha do aparelho de refrigeração, que conforme as características e aplicação será o sistema *SPLIT-SYSTEM* ou *Multi Split*. Assim, fazendo uso do programa brasileiro de etiquetagem do INMETRO será possível obter a eficiência do aparelho que será incluída no consumo geral de energia do sistema aplicado à sala, dessa forma será possível dividir o consumo energético total pelo valor do KW/h atualizado fornecido pela concessionária de energia e obter o custo mensal específico desse sistema de refrigeração aplicado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A sala escolhida é a atual sala do 5º ano de engenharia mecânica e ela se localiza no penúltimo pavimento do prédio da engenharia da AEDB.

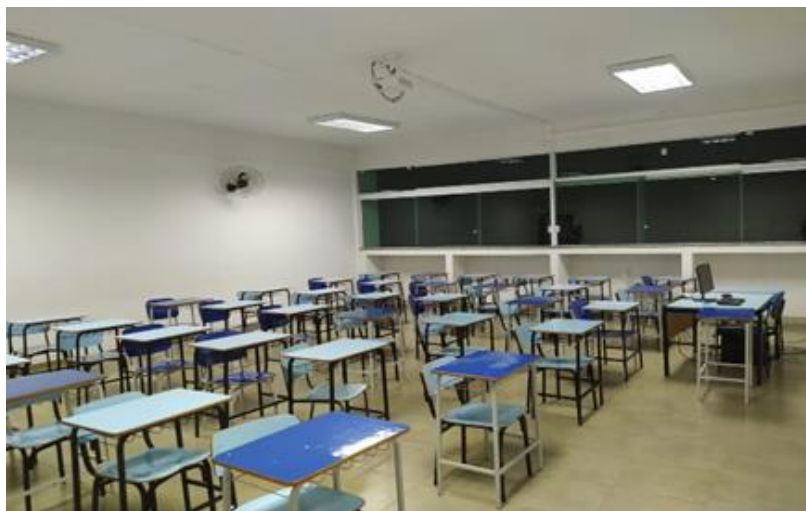
Características da sala:

- Teto de laje abaixo de outro pavimento com 3 paredes de alvenaria e 1 divisória de gesso.
- 2 paredes de alvenaria são de 15 cm de espessura voltadas para o ambiente externo, e duas 2 paredes voltadas o ambiente interno sendo uma de alvenaria de 10 cm e uma divisória de *drywall* de 10 cm formada por duas placas de gessos de ½ polegada. Tanto a laje quanto o piso são voltadas para ambientes internos por se tratar de um pavimento intermediário, e isso é um fator crucial na carga térmica.
- A área envidraçada formada está voltada para o sul e é composta por painéis de *blindex* de 1cm de espessura e é composta por duas janelas triplas de correr, dois painéis basculantes na parte superior e dois painéis fixos na parte superior.
- A sala comporta 40 pessoas com base no número de carteiras;
- A sala possui um pé direito de 3,42m;
- A iluminação é composta por 4 luminárias de 4 lâmpadas fluorescentes tubulares de 1,2m cada, considerando um reator para cada luminária 18w;

A sala possui instalação para 4 ventiladores rotativos de parede delta de 170w cada além de possuir um projetor, um computador e um monitor.

A figura abaixo é uma fotografia tirada na sala do 5º Ano de Engenharia Mecânica, local onde nós estaríamos estudando se estivéssemos em modelo de aulas presenciais na AEDB.

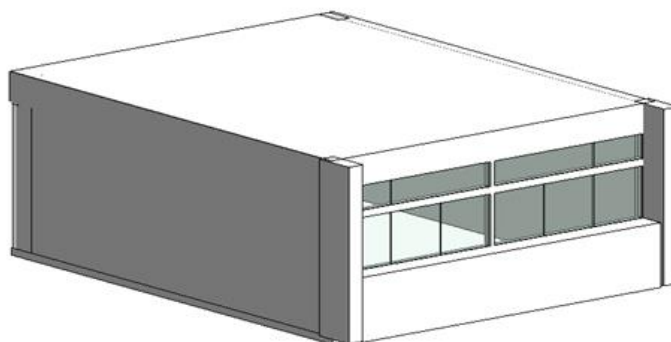
Figura 10: - Foto tirada da sala do 5° Ano de Engenharia Mecânica



Fonte: Autoria Gianluca e Victor

Para melhor análise de nosso estudo, criamos um modelo em 3D através do Software REVIT. As medidas tiradas da sala foram feitas através de uma trena eletrônica para termos medidas precisas do ambiente, levando em conta todas as características do espaço conforme listado anteriormente. Abaixo a figura 11 apresenta o modelo em 3D da sala pela visão dos fundos, ou seja, olhando do lado de fora para a janela.

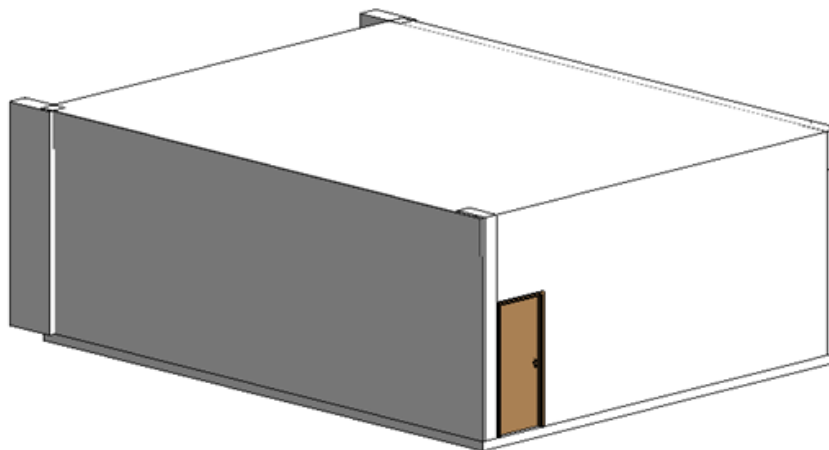
Figura 11: - Modelo em 3D REVIT mostrando as janelas da sala.



Fonte: Elaborado pelos autores

A figura 12 é um modelo em três dimensões com o objetivo de mostrar o ambiente pela visão frontal da entrada da sala por dentro do prédio.

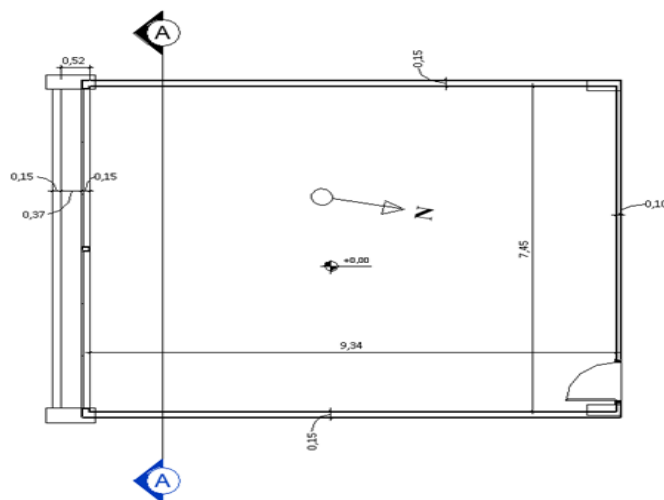
Figura 12: - Modelo em 3D REVIT mostrando a entrada da sala.



Fonte: Elaborado pelos autores

As figuras 13 e 14 mostram, respectivamente, a planta baixa da sala e o corte A perpendicular a planta baixa voltado para face A da sala.

Figura 13: - Planta Baixa, modelo criado no REVIT

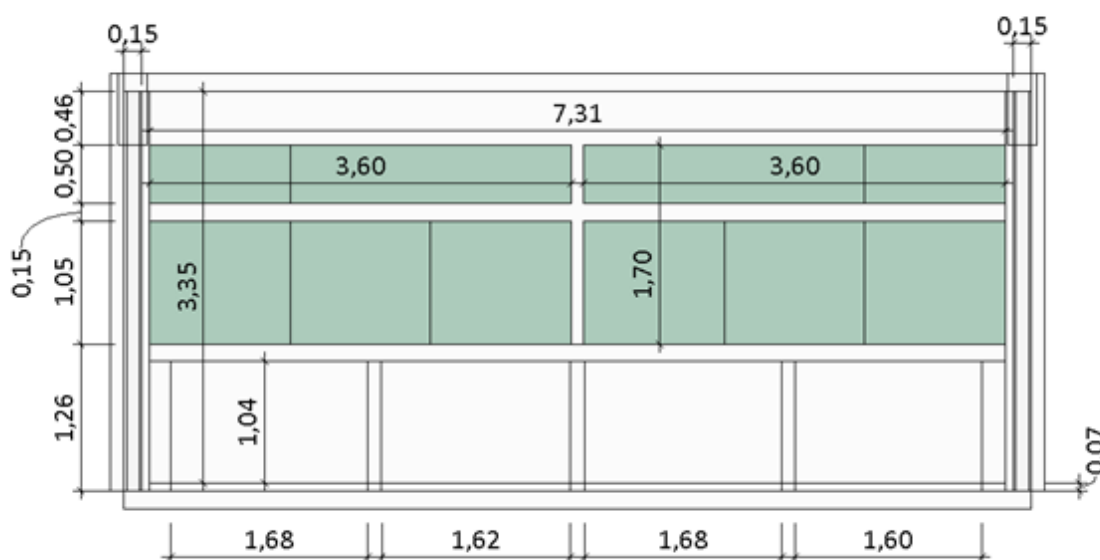


Fonte: Elaborado pelos autores, criado no REVIT

5.1 Planta baixa e corte da sala

Conforme observado nas imagens e no modelo 3d feito no Autodesk Revit, para maior compreensão do estudo e melhor adequação aos cálculos de transferência de calor, a sala foi subdividida em vistas para que fossem obtidas as áreas de cada superfície relativas às suas respectivas composições respectivas

Figura 14: - Corte A da sala, modelo criado no REVIT



Fonte: Elaborada pelos autores, feita no software REVIT

- Face A: 15,02m² de parede de alvenaria 15 cm de espessura
3,42 m² viga 35 cm
- Face B: 25,87 m² parede de alvenaria 15 cm de espessura
6,61 m² de viga de 35 cm
- Face C: 21,68 parede de alvenaria 10cm
3,80 m² de viga 35 cm

- Face D: 25,87m² parede *drywall* 10 cm e 6,61 m² de viga 35 cm
- Chão: 73,37m² de laje de 15 cm de placa cimentícia com 5 cm de piso cerâmico acabado.
- Teto: 69,58m² de laje de 15 cm de placa cimentícia com 5 cm de piso cerâmico acabado na parte superior.
- Área envidraçada: 11,16 m² de *blindex* de 1cm de espessura.
- Moldura metálica dos vidros: 1,26 m²
- Porta: 1,84 m² madeira

Quadro 1: Propriedades dos materiais da parede, ABNT NBR 15220-2.

CONDUTIVIDADE TÉRMICA POR MATERIAL	
TIPO	W/Mk
Concreto normal	1,75
Argamassa	1,15
Cerâmica	0,7
Gesso cartonado	0,35
Vidro	1
Madeira em placas prensadas	0,12
Alumínio	230

Fonte: Elaborada pelos autores

Quadro 2 - valores de carga térmica por condução

FACE	fluxo [w]
chão	1286,90
teto	1220,43
face A	808,57
face B	596,21
face C	452,44
face D	519,90
total:	4884,45

Fonte: Elaborada pelos Autores

5.2 Condições do projeto

A temperatura de bulbo seco externa (TBS) foi extraída da (ABNT NBR 16401-1, 2008). Nesta norma foram utilizados os dados da cidade de Belo Horizonte relacionados para 1% de frequência de ocorrência, por pertencer à mesma zona bioclimática que Resende.

As condições internas de conforto adotadas para esse projeto, foram tomadas em conformidade com a (ABNT NBR 16401-2, 2008), citadas anteriormente na revisão bibliográfica, que são de 24°C para temperatura de bulbo seco e 50% de umidade relativa do ar, com o aparelho funcionando durante período em que ocorrem as aulas, que é o período de 19:00 às 22:00.

Quadro 3 - Condições do projeto

Condição	Valor
Temperatura de Bulbo Seco externa (TBS) [°C]	31,1
Temperatura de Bulbo Úmido externa coincidente (TBUc) [°C]	20,8
Temperatura de Bulbo Seco interna (TBS) [°C]	24
Umidade interna [%]	50
Diferença entes (TBS) interna e externa (ΔT_0) [°C]	7,1
Horário de operação do aparelho de ar-condicionado [horas]	19:00-22:30

Fonte: Elaborada pelos autores

5.2.1 Carga térmica real de condução

Como visto anteriormente, as resistências térmicas se associam em série ou em paralelo, que no final dos cálculos gera um valor único de transmissibilidade de calor por superfície, que varia conforme a espessura e área dos componentes, assim como a diferença de temperatura interna e externa e condutividade térmica dos constituintes.

Usando a equação (20), anteriormente citada:

$$Q = Rt \cdot A \cdot \Delta T$$

Para o cálculo da carga térmica de condução não se pode esquecer do coeficiente de película, o coeficiente de película gera uma resistência térmica que será associada às demais.

Usando a equação (21), anteriormente citada:

$$Rt = \frac{1}{\alpha_{ext}A} + \frac{L\alpha}{K\alpha A} + \frac{Ki}{KiA} + \frac{1}{\alpha_{int}A}$$

A resistência térmica superficial varia de acordo com vários fatores, tais como: emissividade, velocidade do ar sobre a superfície e temperaturas da superfície, do ar e superfícies próximas, e a sua consideração é essencial para obtenção da transmissibilidade geral da superfície calculada.

Segundo a norma brasileira (ABNT NBR 15220-2, 2008), a resistência térmica superficial é a quantidade de calor transferido do ar para uma superfície numa forma de filme, e para isso, ela estabelece valores padronizados para auxiliar nos cálculos.

Quadro 4 - Resistências térmicas superficiais, ABNT NBR 15220-2.

Resistência térmica superficial	U[m ² K/W]
interna com vento horizontal	0,13
externa com vento horizontal	0,04
interna com vento vertical	0,17
externa com vento vertical	0,04

5.2.2 Carga térmica real de insolação, equação (22):

$$Q = A . U [(T_e - T_i) + \Delta T]$$

Como o estudo aplicação do projeto se deu no horário padrão em que ocorrem as aulas, ou seja, à noite entre 19:00 e 22:30, o coeficiente global de transmissão de calor do vidro “U” e o diferencial de temperatura devido às superfícies opacas “ ΔT ” é igual a zero. Todavia, conhecendo a área envidraçada, a sua disposição para o sul e a cor clara da construção, é perfeitamente possível a adição deste valor de carga térmica caso o horário de funcionamento mude.

5.2.3 Carga térmica real por infiltração/ renovação

Se tratando de um sistema split em uma sala de aula as cargas de infiltração e renovação foram unidas em uma única carga térmica.

Como apresentada anteriormente, a vazão eficaz, estabelecida pela NBR 16401-3 com os respectivos valores de vazão por pessoa e por área útil tabelados de acordo com o tipo de local e o nível de atividade física. Assim foi relacionada a ocupação máxima de 40 pessoas para a sala com a área útil da sala.

Quadro 5 - Parâmetros da vazão eficaz

Condição	valor
P_z - número máximo de pessoas na zona de ventilação	40
F_p - vazão por pessoa, [L/s.pessoa]	6,3
A_z - área útil ocupada pelas pessoas [m ²]	73,37
F_a - vazão por área útil ocupada, [L/s.m ²]	0,8

Equação (19):

$$V_{ef} = P_z . F_p + A_z . F_a$$

$$V_{ef} = 40 . 6,3 . 73,37 . 0,8$$

$$V_{ef} = 0,31 \text{ m}^3/\text{s}$$

A norma, americana ASHRAE Fundamentals, que é referenciada pelas normas (ABNT NBR 16401, 2008), por meio da vazão eficaz determina a seguinte relação, permite quantificar a carga térmica de renovação de ar fazendo uso da vazão eficaz.

$$Q_{ra} = 1230 \cdot V_{ef} \cdot \Delta T$$

$$Q_{ra} = 1230 \cdot 0,31 \cdot (31,1 - 24)$$

$$\mathbf{Q_{rd} = 2707,23W \text{ ou } 2,7 Kw}$$

5.2.4 Carga térmica real de ocupação

Um fator determinante a ser considerado para o cálculo de carga térmica é o número de pessoas no recinto e sua atividade. Como explicitado por Creder (2004), o corpo humano emite tanto calor sensível e latente para regular a sua temperatura, e esses valores podem variar em até 5 vezes dependendo do nível de atividade desempenhada pelo corpo.

Como apresentado anteriormente, os valores de calor sensível e calor latente estabelecidos para o estudo em questão são de 70W e 45 W respectivamente.

Equação (24):

$$Q_{oc} = np \cdot (q_s + q_l)$$

$$Q_{oc} = 40 \cdot (70 + 45)$$

$$\mathbf{Q_{oc} = 4600w}$$

5.2.5 Carga térmica real de iluminação

A iluminação da sala em questão é feita por 4 luminárias sobrepostas de 4 lâmpadas fluorescentes tubulares de 1,2m e 18w cada lâmpada, e na ausência destas informações, devem ser adotados os valores típicos para as densidades de potência de iluminação estipulados também na Tabela "C.1" da (ABNT NBR 16401-3, 2008).

A partir dos dados obtidos, o valor da carga térmica de iluminação ficou em 288 Watts.

5.2.6 Carga térmica real de equipamentos

Os equipamentos eletrônicos presentes na sala são basicamente um computador, um monitor, um projetor, quatro ventiladores de parede mais os reatores da iluminação fluorescente que geralmente representam 25% de potência adicional das lâmpadas que compõem a luminária. Esses equipamentos dissipam uma potência que precisa ser incluída no cálculo de carga térmica. Para isso, alguns valores foram retirados da tabela “C.3” do anexo c da (ABNT NBR 16401-1, 2008) e os demais da ficha técnica dos aparelhos identificados.

Figura 15 - Tabela de dissipação de calor de equipamentos de escritório

Tabela C.3 — Taxas típicas de dissipação de calor de equipamentos de escritório – Computadores

Computadores	Uso contínuo W	Modo economizador W
Computadores		
Valor médio	55	20
Valor com fator de segurança	65	25
Valor com fator de segurança alto	75	30
Monitores		
Pequeno (13 pol. a 15 pol.)	55	0
Médio (16 pol. a 18 pol.)	70	0
Grande (19 pol. a 20 pol.)	80	0

Fonte: (NBR ABNT 16401-1, 2008)

Quadro 06 - Valores de carga térmica por equipamentos

Tipo	valor [W]
Computador	65
Monitor	55
Projeter	55
Reatores	72
Ventiladores	680
Total	927

5.2.7 Carga térmica de Total

Após a realização do cálculo de todas as cargas térmicas relevantes consideradas para a implementação do sistema de ar-condicionado, é possível encontrar o valor global de carga térmica somando todas as cargas térmicas, certificando-se que estão todas na mesma unidade.

$$Q_{total} = Q_{cd} + Q_{ins} + Q_{ra} + Q_{oc} + Q_i + Q_e \quad (27)$$

Quadro 7 - Valores de Carga térmica

Carga térmica	[W]
condução	4884,45
insolação	0,00
infiltração/renovação	2707,23
ocupação	4600,00
iluminação	288,00
equipamentos	927,00
total	13406,68

O valor total de carga térmica vai representar o fluxo de calor que a máquina de refrigeração deverá vencer para que mantenha a temperatura de conforto estabilizada. No Brasil, uma unidade de potência de refrigeração muito utilizada no comércio é o BTU/h, sendo que 1 Watts corresponde a 3,412141633 BTU/h, assim

como o TR, que significa “tonelada de refrigeração”, que também é utilizada para máquinas de grandes potências pois 1TR equivale a 12000 BTU/h.

Tabela 8 - Carga térmica x Valor

Carga térmica total	Valor
[BTU/hr]	45745,49
[TR]	3,81

Com isso, a partir deste ponto da pesquisa, foi possível chegar ao consenso que o aparelho com a mínima capacidade para atender os requisitos da sala, nas condições de uso estabelecidas, deve possuir 46.000 BTU/h ou 4TR.

5.2.8 Equipamento de condicionamento de ar

Após o cálculo de carga térmica, é possível escolher no mercado as opções de aparelhos de refrigeração disponíveis com as potências de refrigeração iguais ou superiores a encontrada no trabalho. Todavia, a norma brasileira (ABNT NBR 16401-1, 2008) estabelece uma margem de segurança com 10% do valor total que foi achado, ficando a critério do projetista a sua utilização ou não.

Dessa forma, o aparelho escolhido mais próximos das necessidades energéticas para instalação na sala de aula é o Ar-Condicionado *Split* de Teto *Carrier Xperience* Quente e Frio 55000 BTUs modelo (42ZQA60C5) de 220 Volts do tipo Ar Condicionado Piso Teto de tecnologia convencional de compressão a vapor, contudo, utilizando o fluido refrigerante R-410A atóxico, não é inflamável e que não agride a camada de ozônio.

Figura 16: Ar-Condicionado *Split Teto Carrier Xperience* Quente e Frio 55000 BTUs



Fonte: <<https://www.casasbahia.com.br/ar-condicionado-split-teto-on-off-xperience-carrier-55000-btus-quente-frio-380v>>

A unidades condensadora e evaporada atendem pelos códigos (38CQU060535MC) e (42ZQA60C5) respectivamente.

A fabricante, *Midea Carrier*, informa que o aparelho é adequado para áreas de até 73 m², área coincidente com a área da sala do estudo, reforçando ainda mais a escolha do aparelho.

O ar-condicionado possui uma potência elétrica utilizada para refrigeração de 5320W e pertence ao PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), sendo assim, na razão de eficiência energética EER (W/W), que nada mais é que o coeficiente de performance do aparelho, apresenta o valor de 3,03.

$$\text{BTU/h} = W \times 3,412141633$$

$$55000 = W \times 3,412141633$$

$$W = 16118,90$$

$$COP_{ref} = \text{EER (W/W)} = \frac{W_{ref}}{W_e} = \frac{16118,90}{5320} = 3,03$$

Haja vista de aparelhos de ar-condicionado que possuam classificação entre 3,02 e 3,23 se enquadram na classe B, o aparelho em questão é de classificação B segundo o Inmetro.

Agora, para que seja conhecida a eficiência do sistema de refrigeração, é preciso que a eficiência do aparelho, que é de 3,03, seja comparada com um refrigerador de Carnot hipotético aplicado ao sistema.

$$COP_{REF} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

(T) em Kelvin:

$$COP_{REF} = \frac{273 + 24}{(273 + 31,1) - (273 + 24)}$$

$$COP_{REF} = 41,83$$

Assim:

$$EF_{sist} = \frac{COP_{real}}{COP_{Carnot}} \times 100$$

$$EF_{sist} = \frac{3,03}{41,83} \times 100$$

$$EF_{sist} = 7,24\%$$

Desta forma, é possível afirmar que o conjunto de cargas térmicas existentes na sala com as suas respectivas características físicas, e com a utilização do aparelho

de refrigeração escolhido que atende os requisitos de refrigeração calculados, a eficiência do sistema é de 7,24%.

Estabelecendo o horário de funcionamento da sala de aula para o projeto das 19:00 às 22:30, e que ela é utilizada 5 dias por semana, temos que o aparelho de ar-condicionado ficará ligado 3,5 horas por dia, 20 dias no mês. Sabendo que o consumo do aparelho declarado pelo fabricante de 115,5 Kwh/mês e considerando o valor unitário do KWH aplicado pela concessionária de energia elétrica de Resende no mês de novembro de 2021 sendo R\$1,09044.

Temos:

$$R\$ = \frac{(horas \times dias) + KWH + tarifa}{30}$$

$$R\$ = \frac{(3,5 \times 20) + 115,5 + 1,09044}{30}$$

$$R\$ = 293,87$$

6 CONCLUSÕES

O conhecimento das normas brasileiras vigentes para instalação de sistemas de ar-condicionado, bem com o conhecimento da norma ASHRAE americana, que foram citadas ao longo do trabalho, foram muito importantes para evidenciar como fatores não construtivos, mas sim de utilização da sala como a quantidade de pessoas e nível de atividade física das mesmas, são fatores que alteram consideravelmente a carga térmica do projeto.

Nos aspectos construtivos, construção de um modelo 3D no software “Autodesk Revit 2019” possibilitou a contagem de áreas mais rebuscadas na construção, facilitando no cálculo das cargas térmicas de condução e insolação, ademais, foi útil para a visualização do objeto de estudo de maneira isolada do resto da construção.

Nos resultados, foi possível calcular separadamente o valor de cada carga térmica a fim de saber a carga térmica total, que foi de 45.745,49 BTU/hr, com isso foi possível dimensionar e escolher o aparelho de ar condicionado a ser aplicado, podendo assim descobrir a eficiência geral do sistema de refrigeração quando comparado ao refrigerador de Carnot, que foi de 7,24%. Também, ajudou a estipular um valor de gasto mensal com energia que seria acrescentado ao orçamento da faculdade caso o aparelho seja instalado, baseando-se no custo do KWH atualizado com a data do desenvolvimento do trabalho, valor esse divulgado pela concessionária de energia de Resende, e considerando horários de utilização da sala no projeto.

Contudo, vale ressaltar que caso o horário padrão de funcionamento da sala de aula seja alterado, por exemplo, para o horário de maior incidência de raios solares, 8 horas da manhã, cujo coeficiente transmissibilidade de calor por radiação representa $113,5 \text{ W/m}^2$, as janelas de $11,16 \text{ m}^2$ voltadas para o sul representam um incremento de 8.953,66 Watts ou 30548,90 BTU/hr, resultando em um aparelho de potência mínima de 76000 BTU/hr. Assim, caso o horário padrão de utilização do ar condicionado mude, aspectos a evoluir na estrutura das salas deverão ser considerados, visto que a colocação de anteparos como cortinas ou insulfilmes nas janelas reduziriam consideravelmente o gasto energético de refrigeração proveniente da redução da carga térmica de insolação.

Foi possível concluir com a realização dessa pesquisa, que Edificações que fazem uso de climatização artificial apresentam um acentuado consumo de energia, sendo assim, novas Soluções de climatização que visam à eficiência energética possuem um grande potencial de economia.

6.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Aplicar a mesma sequência processual para sistemas de refrigeração em demais salas da instituição, apontando novos cenários de utilização assim como uma projeção mais ampla do gasto energético no prédio, bem como a criação de uma planilha de orçamento entre modelos e tipos de aparelhos.

Conforme o aumento da relevância na utilização de energias limpas e renováveis e considerando o grande impacto que sistemas de refrigeração causam no aumento do consumo energético da construção, propor um projeto de instalação de placas solares na cobertura da construção a fim de amortizar o gasto com o consumo de energia elétrica.

Desenvolver projetos ressaltando aspectos a evoluir na construção para o aumento do conforto térmico. Conforme mencionado na conclusão, a colocação de anteparos nas janelas diminuiria carga térmica de insolação, nesse sentido a realização de uma pesquisa comparando diferentes níveis de filtragem da luz solar seria relevante para o mesmo objetivo deste trabalho.

Neste trabalho foi utilizado de maneira simplificada o software de modelagem 3D Autodesk Revit, entretanto um trabalho que aborde de maneira mais profunda aspectos convectivos de difusão do ar no ambiente, poderia utilizar o software ou outro para a simulação de instalação dos condicionadores de ar no ambiente.

O desenvolvimento de trabalhos que abordem outras soluções para o mesmo problema desta pesquisa, como uso dos sistemas *multi split*, compressores *inverter*, resfriamento evaporativo, ventilação forçada e sistemas de expansão indireta, poderiam focar em minimizar os custos operacionais e aumentar a eficiência energética.

7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 16401-1**: informação e documentação. ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 16401-2**: informação e documentação. ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 16401-3**: informação e documentação. ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 15220-2**: informação e documentação. ABNT, 2005.

ALVES, Diego. SAÚDE, Rafael. **Procedimento básico de elaboração e Implantação de projetos de sistema de ar condicionado baseado na ABNT NBR 16401**, 110 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, 2013.

QUINTAS, Thiago Rodrigues de Carvalho. **Análise de condicionamento de ar para tenda de 3500 pessoas**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade federal fluminense, Niterói, 2017.

MARTINS, Marcelo. **Estudo de caso de eficiência energética e controle de qualidade do ar interior em ambiente condicionado**, 84 f. PROJETO DE GRADUAÇÃO - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Mecânica, 2018.

CREDER, Hélio. **Instalações de ar condicionado**. Livros Técnicos e Científicos. 6ª edição. Rio de Janeiro, 2004.

DA SILVA, MARCELINO NASCIMENTO. **Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial e comercial**. PROCEL, Rio de Janeiro, 2005.

ALMEIDA, Igor Marcel Gomes; BARBOSA, Cleiton Rubens Formiga; FONTES, Francisco de Assis Oliveira. **Análise energética de um Sistema de Refrigeração por absorção de simples efeito operando com o par LiBr/H₂O**. HOLOS, v. 3, p. 69-81, 2010.

SILVA, Antonio Cesar Silveira Baptista da. **Zoneamento bioclimático brasileiro para fins de edificação**. 1994.

DEWES, Eduardo. **Cálculo da carga térmica de resfriamento utilizando o método RTS. Monografia**. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019.

INMETRO: **Programa brasileiro de etiquetagem**. Disponível em: <gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem. Acesso em out. 2021>.