



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**ANÁLISE DA CARGA TÉRMICA DE UM REFEITÓRIO INDUSTRIAL COM BASE  
NA ABNT NBR 16655-3:2019**

**ANDRE ENIO PAIVA SOUTO**

**Tucuruí – PA  
2023**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**ANÁLISE DA CARGA TÉRMICA DE UM REFEITÓRIO INDUSTRIAL COM BASE  
NA ABNT NBR 16655-3:2019**

**ANDRE ENIO PAIVA SOUTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica do Campus de Tucuruí, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

**Orientador: Prof. Dr. Jessé Luís Padilha**

**Tucuruí – PA  
2023**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

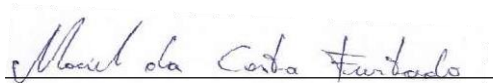
**ANÁLISE DA CARGA TÉRMICA DE UM REFEITÓRIO INDUSTRIAL COM BASE  
NA ABNT NBR 16655-3:2019**

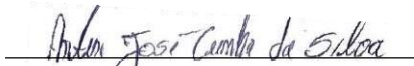
ANDRE ENIO PAIVA SOUTO

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

**BANCA EXAMINADORA**

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

  
Membro Interno: Prof. Me. Maciel da Costa Furtado  
FEM/CAMTUC/UFPA

  
Membro Convocado: Eng. Me. Artur José Cunha da Silva  
FEM/CAMTUC/UFPA

**Conceito: BOM**

**Tucuruí, 27 de março de 2023**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por todo apoio em minhas caminhadas e conquistas que me deu conforto nos momentos difíceis da minha vida e não me deixando desistir. Aos meus pais Adevaldo Souto e Angela do Socorro que sempre me proporcionaram tudo de melhor que estava ao seu alcance e por sempre me incentivarem em tudo e as minhas irmãs Raquel Paiva e Brena Paiva que sempre me deram apoio e incentivo.

A Universidade Federal do Pará, Campus de Tucuruí pelas experiências ao longo dessa caminhada e pelos excelentes professores que sempre deram todo apoio necessário durante a jornada acadêmica. Ao projeto BAJA SAE do qual sou grato por ter participado, pois aprendi bastante, como desenvolver um projeto desde sua fase inicial, assim como, o trabalho em equipe que é muito importante para todo tipo de trabalho que for fazer na vida. Quero deixar meus agradecimentos ao departamento de TI da UFPA (DTIC) dos quais tive a oportunidade de trabalhar por dois anos como bolsista me fornecendo não só a oportunidade de desenvolver meus conhecimentos em informática como também, o apoio financeiro que me ajudou bastante ao longo do curso e por sempre enfatizarem que meus estudos eram mais importantes não deixando que nenhum trabalho no departamento me impedisse de estudar.

Aos meus amigos que fiz ao longo dessa caminhada e aos que já estavam na minha vida antes, principalmente Rosiana Valente, Lucas Sousa, Rafael Silva e Patrick Kelven dos quais me ajudaram em muitas dificuldades que tive no curso e me proporcionaram momentos de alegria. Aos meus amigos de trabalho Mateus Almeida e Ivanildo Ramos que me deram auxílio na minha nova jornada e em especial no apoio que me deram na concepção desse projeto.

Quero agradecer, também, as duas pessoas que me deixaram durante a minha jornada e que foram muito importantes na minha vida principalmente ao meu avô Epaminondas Souto que sempre fez parte da minha vida mesmo eu estando longe devido a faculdade e trabalho sempre me tratava com carinho e ao meu amigo João Everaldo (Coquinho) que nos deixou muito cedo, mas sempre será lembrado.

Finalmente, quero agradecer a todos que me apoiaram, fizeram e fazem parte da minha vida até aqui, muito obrigado.

## **ANÁLISE DA CARGA TÉRMICA DE UM REFEITÓRIO INDUSTRIAL COM BASE NA ABNT NBR 16655-3:2019**

### **RESUMO**

*Nos dias atuais a quantidade de pessoas que trabalham e frequentam ambientes fechados tem aumentado em um ritmo alto. Visando o conforto térmico dos ocupantes do local e a redução do consumo de energia elétrica é importante um bom projeto de climatização, pois é perceptível a influência negativa que um ambiente desconfortável termicamente pode causar nos seres humanos, podendo causar irritação e a perda da concentração nas suas tarefas diárias. Desta maneira o trabalho tem como objetivo é calcular a carga térmica de um refeitório industrial que possui uma área total de aproximadamente 1278m<sup>2</sup> e com uma capacidade de 378 pessoa utilizando a metodologia presente na ABNT NBR16655-3:2019. Deste modo, com base nos resultados encontrados foi possível estimar a carga total do projeto em 361.057,06 BTU/h tendo isso como base foi possível realizar um comparativo dos resultados obtidos através dos equipamentos instalados no local podendo desta forma comprovar o superdimensionamento do ambiente. confirmando o motivo das reclamações dos ocupantes do recinto sobre sentir “Frio” no refeitório visto que o projeto inicial conta com duas centrais a mais do que o necessário. E levando em consideração a escolha dos equipamentos presentes no local, eles se mostraram satisfatórios e quando bem dimensionados são capazes de prover o conforto térmico dos ocupantes do refeitório.*

**Palavras-chaves:** Conforto térmico, ABNT NBR 16655-3:2019, Climatização, Carga térmica.

**THERMAL LOAD ANALYSIS OF AN INDUSTRIAL REFECTORY  
BASED ON ABNT NBR 16655-3:2019**

**ABSTRACT**

*Nowadays, the number of people who work and go to indoor environments has increased at a high rate. Aiming at the thermal comfort of the occupants of the place and the reduction of electricity consumption, a good air conditioning project is important, as it is noticeable the negative influence that a thermally uncomfortable environment can cause in human beings, which can cause suffering and loss of concentration in your internal tasks. In this way, the objective of the work is to calculate the thermal load of an industrial cafeteria that has a total area of approximately 1278m<sup>2</sup> and with a capacity of 378 people using the methodology present in ABNT NBR16655-3: 2019. Thus, based on the results found, it was possible to estimate the total load of the project at 361,057.06 BTU/h. Having this as a basis, it was possible to compare the results obtained through the equipment installed on site, thus being able to verify the oversizing of the environment. confirming the reason for the complaints from the occupants of the enclosure about feeling “Cold” in the cafeteria since the initial project has two more power plants than necessary. And taking into account the choice of equipment present on site, they feel protected and, when properly sized, are able to provide thermal comfort for the occupants of the refectory.*

**Keywords:** *Thermal comfort, ABNT NBR 16655-3:2019, Climatization, Thermal load.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Efeitos da umidade relativa.....                                          | 16 |
| Figura 2. Sensação térmica em relação a velocidade do vento .....                   | 17 |
| Figura 3. Trocas térmicas entre o corpo e o ambiente.....                           | 18 |
| Figura 4. Transmissão de calor por superfícies opacas .....                         | 19 |
| Figura 5. Carga térmica por insolação.....                                          | 22 |
| Figura 6. Transmissão de calor através de superfícies reflexivas.....               | 22 |
| Figura 7. Troca de calor por radiação através do ambiente.....                      | 23 |
| Figura 8. Comparativo de eficiência das lâmpadas .....                              | 24 |
| Figura 9. Modelos mais comuns de lâmpadas.....                                      | 25 |
| Figura 10. Esquema de ação do vento em uma residência .....                         | 26 |
| Figura 11. Infiltração de ar pelas paredes do recinto.....                          | 27 |
| Figura 12. Refeitório industrial .....                                              | 28 |
| Figura 13. Localização por satélite do refeitório.....                              | 29 |
| Figura 14. Interior do refeitório industrial.....                                   | 30 |
| Figura 15. Planta baixa do refeitório .....                                         | 30 |
| Figura 16. Janelas do tipo blindex do refeitório .....                              | 31 |
| Figura 17. Refeitório em sua lotação máxima.....                                    | 38 |
| Figura 18. Rampa de Buffet self-service e suqueira refresqueira inóx .....          | 40 |
| Figura 19. Cargas térmicas do refeitório em BTU/h .....                             | 44 |
| Figura 20. Distribuição dos condicionadores de ar no recinto .....                  | 46 |
| Figura 21. Ar condicionado split teto Springer space air .....                      | 47 |
| Figura 22. Etiqueta de eficiência energética dos aparelhos de ar condicionado ..... | 50 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1. Coeficiente de transmissão de calor através de superfícies opacas (paredes, pisos lajes e telhados) ..... | 20 |
| Tabela 2. Coeficiente de transmissão de calor através de pisos, paredes internas e janelas ...                      | 21 |
| Tabela 3. Condições das temperaturas internas de referência para o verão. ....                                      | 32 |
| Tabela 4. Condições de temperatura e umidade do ar externo para o verão. ....                                       | 32 |
| Tabela 5. Condições de temperatura interna e externa. ....                                                          | 33 |
| Tabela 6. Valores de CLTD para diferentes cidades, corrigido para as 16 h. ....                                     | 33 |
| Tabela 7. Valores de resistividade térmica da estrutura do refeitório .....                                         | 35 |
| Tabela 8. Valores de área e de CLTD das paredes e janelas do refeitório .....                                       | 35 |
| Tabela 9. Transferência de calor das paredes do refeitório .....                                                    | 36 |
| Tabela 10. Valores para o fator de ganho por insolação SHGF em $W/m^2$ .....                                        | 37 |
| Tabela 11. Carga de insolação – Fator de resfriamento para às 16 h .....                                            | 37 |
| Tabela 12. Coeficiente de sombreamento (adimensional) para diferentes tipos de janela. ....                         | 37 |
| Tabela 13. Carga térmica do refeitório devido a insolação .....                                                     | 38 |
| Tabela 14. Carga térmica devido a indivíduos no refeitório .....                                                    | 39 |
| Tabela 15. Carga térmica devido a iluminação e equipamentos do refeitório .....                                     | 40 |
| Tabela 16. Carga térmica devido a infiltração de ar no refeitório .....                                             | 42 |
| Tabela 17. Valores para carga térmica total do refeitório .....                                                     | 43 |
| Tabela 18. Dados Ar Condicionado Split Springer Space Air .....                                                     | 47 |
| Tabela 19. Aparelhos de ar condicionado .....                                                                       | 48 |
| Tabela 20. Dimensionamento ideal para o projeto .....                                                               | 48 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

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

BTU – British Thermal Unit (Unidade Térmica Britânica)

CLF – Cooling Load Factor (Fator de resfriamento)

CLTD – Cooling Load Temperature Differences (Diferença de Temperatura da Carga de Resfriamento)

IEI – International Energy Initiative (Iniciativa Internacional de Energia)

LED – Light Emitting Diode

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

SC – Fator de Sombreamento

SHGF – Solar heating Gain Factor (Fator de Ganho de Calor por Insolação)

BTU – British Thermal Unit (Unidade Térmica Britânica)

TR – Tonelada Refrigeração

ENCE – Etiqueta Nacional de Consumo de Energia

## LISTA DE SÍMBOLOS

$Q_{ae}$  – É a vazão de ar externo, expresso em metro cúbico por hora ( $m^3/h$ );

$Q_{inf}$  – É a vazão de ar externo infiltrado ou de renovação expresso em metro cúbico por hora ( $m^3/h$ ) por metro quadrado de piso ( $m^2$  de piso);

$A$  – É a área do piso, expressa em metro quadrado ( $m^2$ );

$m_{ae}$  – É a vazão em massa de ar externo, expressa em quilograma por segundo (kg/s);

$\rho$  – É a massa específica do ar externo, expressa em quilograma por metro cúbico ( $kg/m^3$ );

$q_{lae}$  – É o calor total, expresso em watts (W);

$h_{lv}$  – É o calor latente de vaporização da água 2 501 kJ/kg, expresso em quilo joule por quilograma (kJ/kg);

$w_{ae}$  – É a umidade absoluta do ar externo, expressa em quilograma por quilograma (kg/kg);

$w_{amb}$  – É a umidade absoluta do ar do ambiente, expressa em quilograma por quilograma (kg/kg);

$h_{ae}$  – É a entalpia do ar externo, expressa em quilo joule por quilograma (kJ/kg);

$h_{amb}$  – É a entalpia do ar do ambiente, expressa em quilo joule por quilograma (kJ/kg);

$q_{Sae}$  – É o calor sensível do ar externo, expresso em watts (W);

$q_{tae}$  – O calor total, expresso em watts (W);

$q_{strans}$  – Transmissão de calor pelas paredes (W);

$CLTD$  – é a diferença de temperatura para a carga de resfriamento, expressa em graus Celsius ( $^{\circ}C$ );

$C_{Sp}$  – Calor sensível por pessoa.

$R$  – É a resistividade térmica da superfície, expressa em metros quadrados, multiplicado por graus Celsius, dividida por watts ( $m^2 \cdot ^{\circ}C/W$ );

$SC$  = É o fator de sombreamento;

$SHGF$  = É o fator de ganho de calor por insolação, expresso em watts por metro quadrado ( $W/m^2$ );

$CLF$  = É o fator de carga de resfriamento em função do horário.

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

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

$\rho$  - Massa específica do ar ( $kg/m^3$ )

$W$  - Watts

$V$  - Volts

## SUMÁRIO

|                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b>                                       | <b>13</b> |
| 1.1 MOTIVAÇÃO                                             | 14        |
| 1.2 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO                              | 14        |
| 1.3 OBJETIVOS                                             | 14        |
| 1.3.1 Objetivo geral                                      | 14        |
| 1.3.2 Objetivo específico                                 | 14        |
| <b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>                            | <b>15</b> |
| 2.1 CONFORTO TÉRMICO                                      | 15        |
| 2.2 VARIÁVEIS DE CONFORTO TÉRMICO                         | 15        |
| 2.2.1 Temperatura radiante média                          | 15        |
| 2.2.2 Umidade relativa                                    | 15        |
| 2.2.3 Velocidade do Ar                                    | 16        |
| 2.2.4 Aspectos Pessoais                                   | 17        |
| 2.3 CARGA TÉRMICA                                         | 18        |
| 2.4 TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR SUPERFÍCIES OPACAS         | 19        |
| 2.5 CARGA TÉRMICA POR INSOLAÇÃO                           | 21        |
| 2.6 CARGA TÉRMICA POR INDIVÍDUOS NO RECINTO               | 23        |
| 2.7 CARGA TÉRMICA POR ILUMINAÇÃO E EQUIPAMENTOS           | 24        |
| 2.8 CARGA TÉRMICA DEVIDO A INFILTRAÇÃO DE AR              | 26        |
| <b>3 METODOLOGIA</b>                                      | <b>28</b> |
| 3.1 DESCRIÇÃO DO REFEITÓRIO INDUSTRIAL                    | 29        |
| 3.2 CARGA TÉRMICA                                         | 31        |
| 3.2.1 Carga térmica de transmissão por superfícies opacas | 31        |
| 3.2.2 Carga térmica devido a insolação                    | 36        |
| 3.2.3 Carga térmica devido a indivíduos no recinto        | 38        |
| 3.2.4 Carga térmica por iluminação e equipamentos         | 39        |
| 3.2.5 Carga térmica devido à infiltração de ar            | 41        |
| 3.3 CARGA TÉRMICA TOTAL                                   | 42        |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>                          | <b>44</b> |
| 4.1 ANÁLISE DE DADOS                                      | 44        |
| 4.2 COMPARATIVO COM OS EQUIPAMENTOS INSTALADOS            | 45        |
| <b>5 CONCLUSÕES</b>                                       | <b>51</b> |

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....                                                        | 52 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                                 | 53 |
| ANEXO A – Cotas da planta do refeitório.....                                                     | 56 |
| ANEXO B – Calor cedido ao ambiente (W), segundo a atividade desenvolvida pelo indivíduo<br>..... | 57 |
| ANEXO C – Distribuição das luzes do refeitório .....                                             | 58 |

## 1. INTRODUÇÃO

Quando se fala em climatização é perceptível a influência negativa que pode causar nos seres humanos quando não estão termicamente confortáveis com um ambiente, podendo causar irritação e a perda da concentração nas suas tarefas diárias. Em virtude disso, nos dias atuais é visível que grande parte da população tem estado em locais e ambientes fechados a maior parte do seu dia. Em algumas regiões não só do Brasil, como também do mundo é necessário o uso de outros meios para se ter conforto térmico adequado por não ter um conforto ambiente natural necessário. Para Lamberts (2011) conforto térmico é definido como uma sensação humana que pode variar entre as pessoas, pois depende de fatores físicos, fisiológicos e psicológicos. Os fatores físicos determinam as trocas de calor do corpo com o meio em que o usuário está ocupando, já os fatores fisiológicos tratam-se a alterações na resposta fisiológica do organismo, resultantes da exposição constante de uma determinada condição térmica.

Um projeto de carga térmica tem como objetivo mostrar meios de reduzir o desconforto térmico através de métodos que se adequam a cada ambiente, devido a isso faz-se necessário um trabalho que leve em consideração os parâmetros necessários do local a ser climatizado, assim como, dimensionamentos adequados do projeto para se obter o equipamento necessário para o conforto térmico do ambiente. Para Creder (2004), o condicionamento de ar tratasse de um processo do qual o ar é tratado de forma simultânea, a temperatura e a umidade junto com a temperatura e a distribuição desse ar para atender as necessidades de um determinado local e as pessoas que frequentam ele.

Com base na sensação de conforto, a carga térmica não está somente ligado ao fato de estar termicamente desconfortável para o calor, à locais onde o frio é predominante. Diante disso, é necessário realizar um projeto de forma que possa suprir suas demandas térmicas para que o ambiente esteja confortável nos dois extremos de temperatura. A NBR 16401-1 (2008) diz que o projeto deve satisfazer termicamente 80% dos ocupantes do recinto, vale ressaltar que é impossível que todos os ocupantes se sintam confortáveis e desse modo buscando sempre a satisfação da maior parte das pessoas que ocupam o local.

O intuito do trabalho é calcular a carga térmica de um refeitório industrial de uma grande mineradora da região que se localiza na cidade de Parauapebas no sudeste do estado do Pará tendo como base na NBR 16655-3 (2019), para se encontrar os valores de cada carga apresentada na metodologia presente na norma utilizada no projeto, tendo assim, os resultados de carga térmica total do recinto. Será feita uma análise dos valores encontrados entre as maiores e menores cargas térmicas para saber se estão de acordo como esperado, além disso

será realizado um comparativo dos resultados obtidos no trabalho com os equipamentos instalados no local para saber se os equipamentos estão de acordo com a demanda necessária do recinto e trazer conforto para os ocupantes.

### 1.1 MOTIVAÇÃO

O trabalho em questão é motivado pelo fato do alto índice de insatisfação dos ocupantes do refeitório em relação a grande variação térmica do local dos quais muitos sentem “Frio” no recinto.

O trabalho pode se trazer benefícios para obras futuras, tendo em vista que a maioria dos refeitórios presentes na mineradora são padrões em sua construção, podendo assim ser utilizado para novos projetos.

### 1.2 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

O trabalho tem como alvo dimensionar a carga térmica de um refeitório industrial aplicando a metodologia presente na NBR 16655-3 (2019). Por se tratar de um ambiente que pertence a uma grande mineradora da região, limitações de acesso ao local e a falta de equipamentos de medições de temperatura adequados impossibilitaram de se realizar outros tipos de análises térmicas no recinto. Dessa maneira, o trabalho tem como propósito encontrar cada carga térmica sugerida pela norma com intuito de descobrir a carga total necessária para trazer o conforto térmico aos ocupantes do recinto, e como o refeitório já contém aparelhos condicionadores de ar instalados será realizada uma análise entre os equipamentos e os resultados obtidos com o objetivo de encontrar a causa da insatisfação térmica do ambiente.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 OBJETIVO GERAL

Dimensionar cada parcela de carga térmica do refeitório com base na norma ABNT NBR16655-3 (2019).

#### 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar no refeitório a metodologia de cálculo presente norma NBR 16655-3;
- Fazer o comparativo entre valores encontrados com os equipamentos presentes no local;
- Analisar se os aparelhos presentes no recinto atendem as condições de conforto do ambiente;

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 CONFORTO TÉRMICO**

Com base na norma ABNT NBR 16401-2 (2008) existem vários fatores que podem contribuir para o conforto ou desconforto térmico de um indivíduo e dentre eles as condições ambientais da região em que o local se encontra como a temperatura a umidade do ar e a temperatura operativa. Outros fatores contribuem para o conforto térmico, como as roupas que o usuário do local está utilizando que pode definir e influenciar a troca de calor do corpo com o ambiente. Para Lamberts (2002) os estudos térmicos tem como principal objetivo estabelecer condições térmicas a um local para que se adequem as mais variadas atividades humanas. Toda e qualquer atividade realizada por um a pessoa gera calor que vai ser dissipado pelo ambiente que afetam as condições de temperatura interna do recinto.

Para o desenvolvimento dos cálculos desse trabalho de análise térmica deve-se reavaliar o projeto já existente e apontar os fatores que validam se o mesmo está de acordo com as normas provendo a capacidade necessária para estabelecer conforto térmico ao recinto. Segundo Gomes (2019) quando se calcula uma carga térmica máxima de arrefecimento para um ambiente a maior parcela do ganho de calor do local se da por meio das paredes externas, janelas e teto.

### **2.2 VARIÁVEIS DE CONFORTO TÉRMICO**

#### **2.2.1 Temperatura radiante média**

Segundo Lamberts (2002) é a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor por radiação é a mesma de um ambiente não uniforme. A temperatura de ar médio é colocada ao ambiente entorno do espaço em que os ocupantes então, o objetivo disso é de se saber se está ocorrendo troca de calor por convecção entre as pessoas e o local. Desta forma, é possível saber a temperatura real do ar e a temperatura de bulbo seco (ASHRAE 2010). Martinelli (2002) diz que a temperatura indicada por um termômetro que não está em contato direto com a radiação é a verdadeira temperatura de ar úmido de um ambiente. A radiação térmica não depende só do ar ou de qualquer outro meio físico para se propagar, e a quantidade de energia radiante emitida por um corpo depende da temperatura de sua superfície.

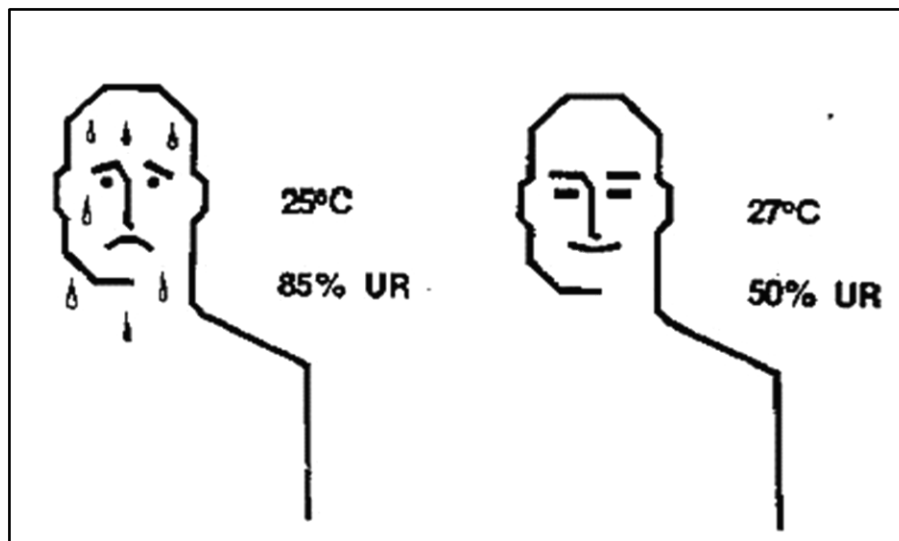
#### **2.2.2 Umidade Relativa**

Segundo Silva (2008) o vapor de água e os gases que à compõe na atmosfera tem uma pressão em todas as direções que depende de uma determinada concentração de vapor na atmosfera, dependendo da influência direta da temperatura. De acordo com Ashrae (2010), a

umidade relativa é definida como a razão entre a pressão parcial de vapor d'água no ar pela pressão de saturação do vapor d'água sobre a mesma temperatura e pressão total.

Matos (2010) diz que o fato de se saber a temperatura do ar não é suficiente para saber se o local é termicamente confortável, pois se estiver muito quente e a umidade relativa do ar for muito baixa pode-se suportar maiores temperaturas devido ao suor evaporar mais rápido no corpo. Já quando a temperatura está baixa e a umidade relativa do ar é alta a chance de se sentir calor é maior, porque o suor evapora de sua pele com mais dificuldade o que faz com que a sensação térmica do ambiente seja mais alta como pode se observar na figura 1.

**Figura 1. Efeitos da umidade relativa**

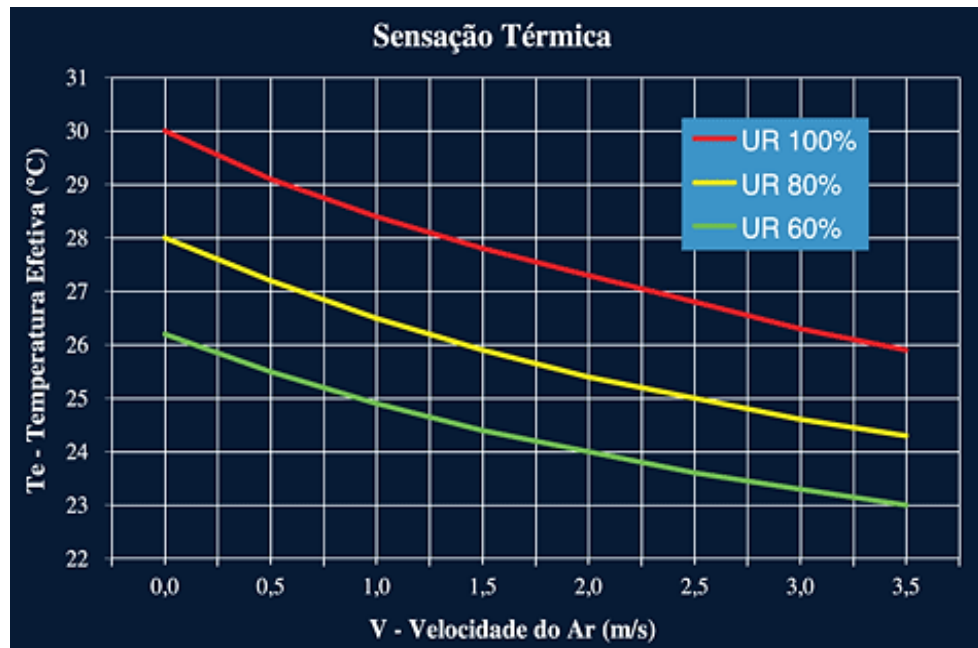


Fonte: Matos (2017).

### **2.2.3 Velocidade do Ar**

Lamberts (2002) diz que a velocidade do ar pode gerar um desconforto em alguma região específica do corpo humano isso é um problema comum que pode ser observado em ambientes ventilados no geral e que pode ocorrer em automóveis e outros locais que sofrem a influência do vento. O gráfico na figura 2 permite demonstrar como a temperatura é sentida pelo ser humano já que ela varia conforme a velocidade do vento, pois quanto mais vento maior é a sensação de frio e que essa sensação está ligado a umidade quanto mais úmido mais abafado fica Monolito (2018). Cada pessoa sente a variação do vento de forma diferente e a medida que a velocidade do mesmo aumenta ou diminui pode-se sentir uma sensação de desconforto em uma determinada região do corpo.

Figura 2. Sensação térmica em relação a velocidade do vento

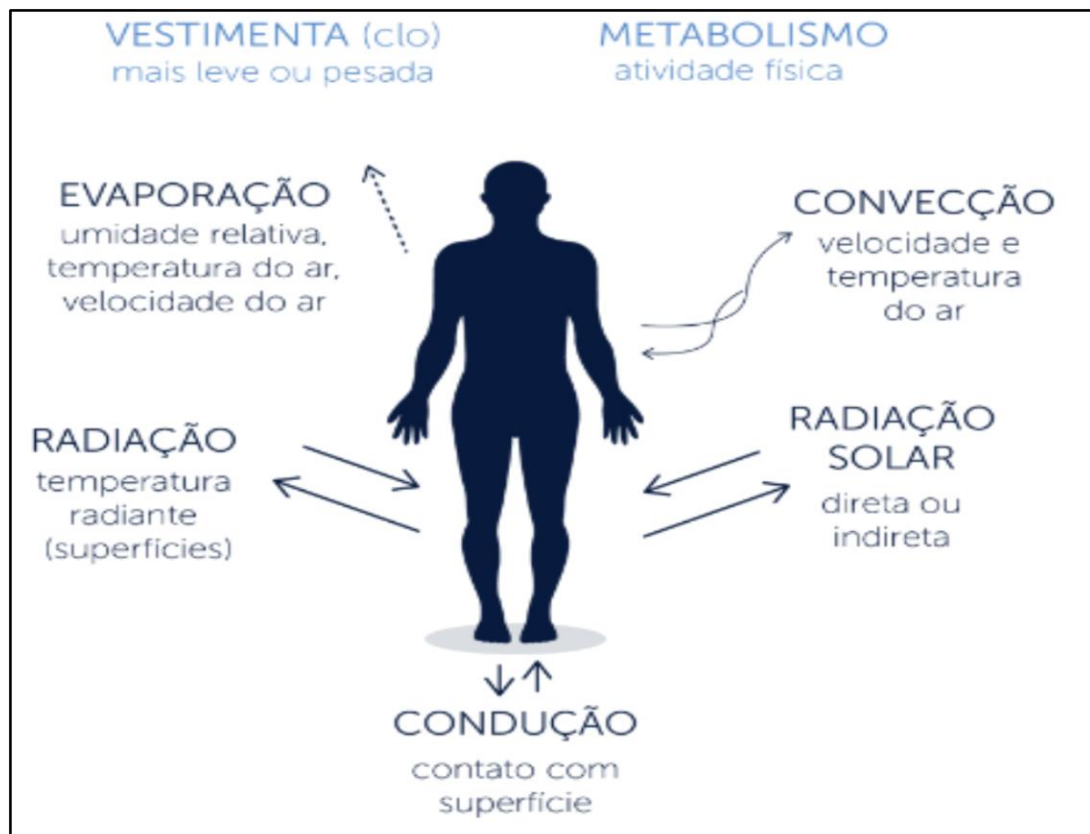


Fonte: Monolito (2018).

#### 2.2.4 Aspectos Pessoais

Cada pessoa reage de forma diferente em cada condição térmica a qual ela está exposta, umas podem sentir mais frio ou calor enquanto para outras pode estar em suas condições ideais de conforto. Ashrae (2017) diz que a satisfação térmica de um ser humano depende do seu estado mental. Costa (2021) fala que o elemento essencial é a atividade física desenvolvida pela pessoa em um determinado local, pois o conforto térmico de um indivíduo está diretamente ligada ao seu metabolismo. Matos (2010) diz que o corpo humano é uma máquina térmica em que seu combustível é a alimentação e o calor gerado pelo metabolismo é eliminado por convecção, radiação e evaporação. Na figura 3, pode-se observar os fatores que influenciam e devem ser levados em consideração durante a estimativa da carga térmica do recinto.

**Figura 3. Trocas térmicas entre o corpo e o ambiente**



Fonte: A. Salles (2019).

Segundo a norma ABNT (2019), quanto mais informação for retirada do local como horário de pico, mês do ano e como o local foi construído e o material da construção maior será a garantia de que o projeto terá uma maior confiabilidade tornando o projeto mais adequado possível.

### 2.3 CARGA TÉRMICA

Segundo Creder (2004) para se saber as condições de conforto de um local utiliza-se dos cálculos de carga térmica, que por definição é a quantidade de calor que deve ser retirada ou fornecida a um local ou sistema. Para isso são levadas em consideração determinadas condições térmicas como o ganho de calor por meio de revestimentos, pessoas, iluminação, equipamentos internos e infiltrações que são os principais fatores para dimensionamento de um sistema de refrigeração com ar condicionado.

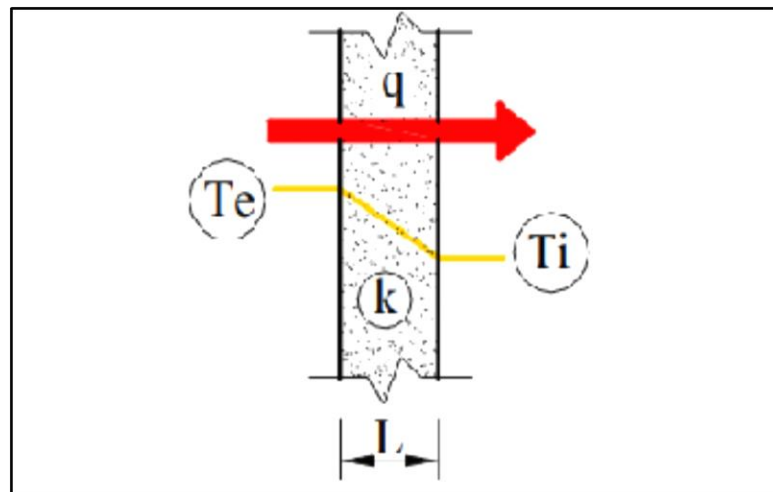
O objetivo principal de se realizar o cálculo de carga térmica é o de avaliar de forma adequada as mudanças que ocorrem na temperatura de acordo com o ambiente em que vai ser utilizada. Deste modo, pode-se realizar uma boa análise dos materiais e equipamentos que devem ser utilizados de forma que o projeto atenda a todos os requisitos não só térmicos, mas também financeiros.

Para o desenvolvimento do trabalho de análise térmica do refeitório industrial foram utilizadas os modelos disponíveis na norma ABNT NBR 16401-2 (2008) dos quais informam os parâmetros que tratam sobre as condições de conforto com base em fatores que podem afetar o conforto dos ocupantes de um local com grandes variações térmicas e principalmente a NBR 16655-3 (2019) que fornece a metodologia necessária para a obtenção dos valores de carga térmica para o ambiente.

#### 2.4 TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR SUPERFÍCIES OPACAS

Segundo Frota e Schiffer (2001) a condução é a troca de energia que ocorre da partícula mais energética para uma menos energética quando ambas entram em contato e a intensidade dessa troca depende de fatores como densidade do material e sua natureza química. Çengel & Ghajar (2011), reafirmam experimentalmente que a quantidade de calor que flui através de um elemento opaco depende do material da qual é constituída as janelas, parede e o telhado. A espessura do elemento é bastante importante, quanto maior for o isolamento menor será a taxa de transferência de calor (Figura 4).

**Figura 4: Transmissão de calor por superfícies opacas**



Fonte: Rodrigues (2010).

As estimativas em relação à transferência de calor passa por mudanças de condutibilidade de acordo com todo o processo de construção dos pisos, paredes e lajes do ambiente. Os materiais utilizados na construção são importantes, pois sabendo isso pode-se selecionar de maneira correta a condutividade térmica de um material em específico e através disso e utilização do método Cooling Load Temperature Differences (CLTD) pode-se obter os resultados para os cálculos de carga térmica para as superfícies. Com isso, a ABNT NBR 16655-3 (2019) mostra dados obtidos dos materiais dos quais são mais utilizados na indústria como podem ser observados na tabela 1 e 2 logo abaixo ressaltando a importância de se saber as características físicas de cada elemento utilizado na construção de um recinto.

**Tabela 1. Coeficiente de transmissão de calor através de superfícies opacas (paredes, pisos lajes e telhados)**

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

Fonte: NBR 16655-3 (2019).

Tabela 2. Coeficiente de transmissão de calor através de pisos, paredes internas e janelas

| Elemento construtivo              | Piso/laje interna                                                    | Parede interna                                                       | Janela externa simples                                               | Janela externa cortina                                               |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|                                   | Resistividade térmica ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ) | Resistividade térmica ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ) | Resistividade térmica ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ) | Resistividade térmica ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ) |
| Filme de Ar externo               | 0                                                                    | 0                                                                    | 0,044                                                                | 0,044                                                                |
| Concreto laje maciço e contrapiso | 0,079                                                                | 0                                                                    | 0                                                                    | 0                                                                    |
| Drywall                           | 0                                                                    | 0,152                                                                | 0                                                                    | 0                                                                    |
| Vidro                             | 0                                                                    | 0                                                                    | 0,008                                                                | 0,016                                                                |
| Espaço de ar (vidro duplo)        | 0                                                                    | 0                                                                    | 0                                                                    | 0,160                                                                |
| Filme de ar interno               | 0,242                                                                | 0,242                                                                | 0,121                                                                | 0,121                                                                |
| Total                             | 0,321                                                                | 0,394                                                                | 0,173                                                                | 0,341                                                                |

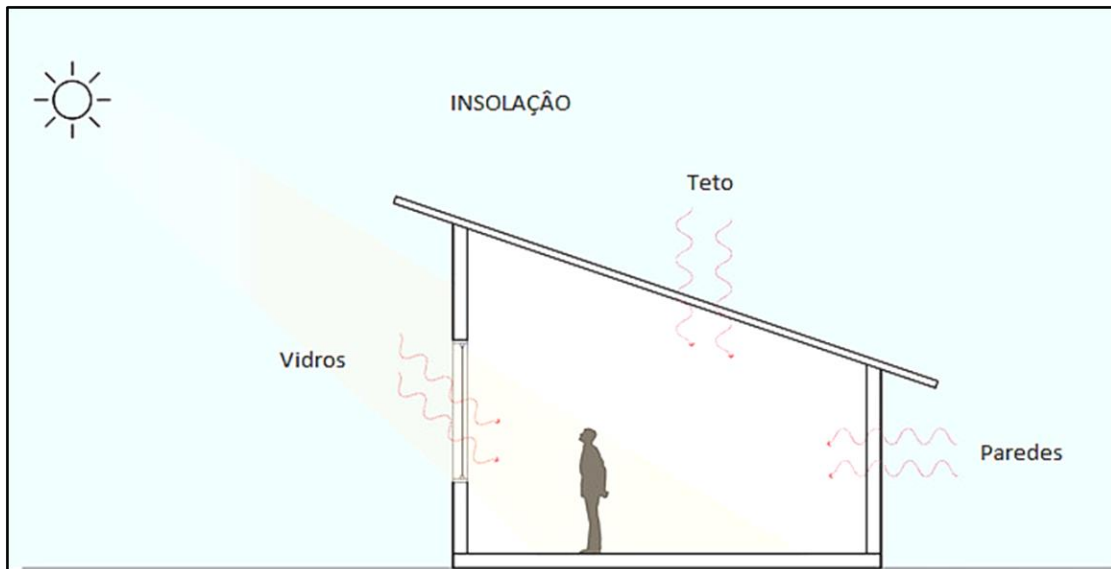
Fonte: NBR 16655-3 (2019).

Portanto, através da seleção dos coeficientes de condutibilidade adequados de um determinado material pode-se encontrar a taxa de transferência de calor de um local. Este método de cálculo manual leva em consideração o ganho de calor por condução através não só da insolação direta, como também, através das superfícies translúcidas. É levado em consideração a resistência térmica do material, transmissão do calor através dele, sua inércia térmica, o efeito do sol e a diferença da temperatura interna e externa do local NBR ABNT (2019).

## 2.5 CARGA TÉRMICA POR INSOLAÇÃO

Segundo Ashrae (55-2017), a quantidade de isolamento térmico que uma pessoa pode sofrer tem um impacto grande no conforto térmico. O isolamento é expresso de várias maneiras como, pelo local, em que o ocupante se encontra e o material que o compõe a posição em que a radiação é mais constante no recinto e, além disso, suas vestimentas. Segundo Frota e Schiffer (2001) carga térmica por insolação é o ganho de energia térmica provocado pela incidência de radiação solar direta sobre um ambiente podendo ser medida, porém existe muita dificuldade na obtenção dos resultados devido levar em consideração movimentação do sol coordenadas geográficas do local intensidade da radiação solar. Com isso, a radiação varia com a hora do dia, o tempo, a cobertura de nuvens e a parte do céu onde é recebida. A radiação não pode, entretanto, ser atribuída a uma direção específica, pois trata-se de várias radiações dispersas, inclinação dos raios do sol em relação ao plano do equador, Creder (2004).

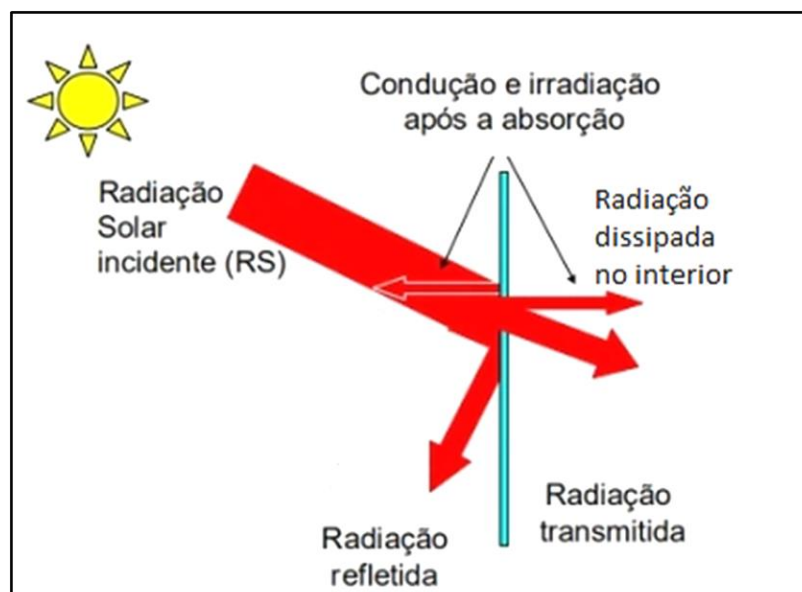
**Figura 5: Carga térmica por insolação**



Fonte: Adaptado ArchDaily (2008).

Portanto, vários outros fatores podem influenciar no ganho de calor como o tipo de construção, cor, rugosidade e se superfície tem capacidades reflexivas. Além disso, as trocas de calor ocorrem com mais frequência nas superfícies transparentes de um recinto como janelas, domos ou claraboias devido ao material permitir maior transmissão devido a sua característica de ser um material translúcido. Segundo Creder (2004) a energia que atravessa as superfícies transparentes se dividem em três partes sendo elas a que é absorvida pelo vidro, refletida ou transmitida através do vidro, a figura 6 mostra como a radiação interage com o material.

**Figura 6: Transmissão de calor através de superfícies reflexivas**



Fonte: Adaptado Unisul (2018).

É necessário levar em consideração alguns fatores importantes na obtenção do cálculo de carga térmica como o Solar Heating Gain Factor (SHGF) fator esse que leva em consideração

a potência que a insolação pode ter considerando um determinado período do ano onde o índice de radiação é maior e a região em que acontece. Além disso, também é importante se determinar o Cooling load fator (CLF) que é o fator de resfriamento que também leva em consideração o local e além disso as direções nos pontos cardeais em que se encontra e, também, fatores de sombreamento externos que possam gerar sombras no local NBR ABNT (2019).

## 2.6 CARGA TÉRMICA INDIVÍDUOS NO RECINTO

Creder (2004) diz que todo ser humano emite calor, e podem ocorrer de formas diferentes variando de um indivíduos em repouso para um indivíduo realizando alguma atividade, pois dependendo da atividade realizada pode-se aumentar de forma notória o seu calor em comparação à quando se está em repouso.

Çengel & Ghajar (2011) diz que as pessoas podem perder radiação através do ambiente que os envolve, como a temperatura das paredes, tetos e pisos. Isso acontece devido as superfícies está em maior ou menor temperatura em relação aos ocupantes do recinto, devido a isso o corpo humano utiliza de mecanismos de defesa tanto para a perda de calor excessiva, quanto para transferência de calor para o mesmo.

**Figura 7: Troca de calor por radiação através do ambiente**



Fonte: Çengel & Ghajar (2011)

Segundo Creder (2004) se levar em consideração a temperatura normal de um corpo humano que em média é  $37,3^{\circ}\text{C}$  se a temperatura do recinto for maior que a do corpo o calor é transferido para o mesmo provocando o suor e a transpiração, quando ocorre de o local ter uma temperatura menor em relação ao corpo o calor do mesmo é transferido para o ambiente em que se encontra. Devido a isso, para ambientes quentes dependendo da umidade relativa do ambiente o corpo libera água pelas glândulas de suor e recorre a refrigeração por evaporação,

já em ambientes mais frios o organismo reduz a temperatura da pele diminuindo a taxa de perda de calor da mesma mantendo a temperatura corporal interna estável Çengel & Ghajar (2011).

Com isso, alguns fatores são importantes no cálculo da carga térmica do recinto como saber a capacidade máxima do local visto que um local comportando mais pessoas do que a sua capacidade total suporta pode gerar um grande desconforto térmico ABNT NBR 16401-2 (2008).

## 2.7 CARGA TÉRMICA POR ILUMINAÇÃO E EQUIPAMENTOS

As principais fontes de geração de calor em ambientes fechados são as luzes, os equipamentos de operação interna e os ocupantes do local. Todos os equipamentos elétricos que atuam dentro do recinto devem ser levados em consideração, pois eles também adicionam carga térmica ao recinto levando em conta sempre se sua utilização é esporádica ou se está sempre funcionando (MATOS 2010). Com relação a iluminação a escolha das lâmpadas é um fator importante tendo em vista que existe uma variedade de modelos, as lâmpadas incandescentes foram as primeiras que usaram energia elétrica para funcionar seguido das fluorescentes que foram uma grande evolução em relação as incandescentes sendo cerca de 75% mais econômicas, porém nos dias atuais a *Light Emitting Diode* (LED) tem se destacando devido a sua grande variedade de potência, eficiência, custo benefício e vida útil (IEI BRASIL, 2019). Na figura 8 pode-se visualizar alguns dados em relação aos vários modelos de Lâmpadas presentes no mercado.

**Figura 8: Comparativo de eficiência das lâmpadas**

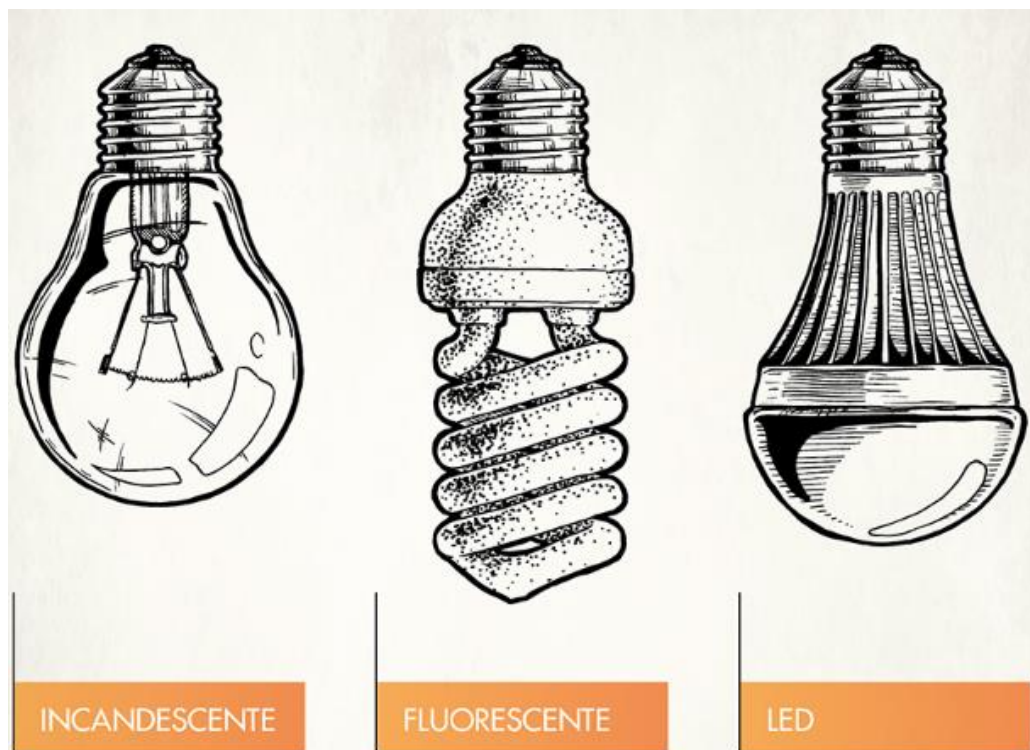
|                                                                                       |      | Incandescentes |       | Fluorescentes (CFLs) | LEDs |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------|----------------|-------|----------------------|------|
|                                                                                       |      | Alto           | Baixo | Baixíssimo           |      |
| Consumo                                                                               |      |                |       |                      |      |
| Vida útil (horas)                                                                     |      | 1.000          | 6.000 | 25.000               |      |
| Eficiência luminosa<br>Quantidade de luz que a lâmpada produz por segundo, em lumens. | 1600 | 100 w          | 20 w  | 20 w                 |      |
|                                                                                       | 1100 | 75 w           | 15 w  | 15 w                 |      |
|                                                                                       | 800  | 60 w           | 12 w  | 12 w                 |      |
|                                                                                       | 450  | 40 w           | 8 w   | 8 w                  |      |
|                                                                                       | 210  | 25 w           | 5 w   | 5 w                  |      |

Fonte: Adaptado RETECjr (2017)

Logo, as quantidades de calor gerado proveniente das lâmpadas depende da potência delas e do tipo de conexão elétrica utilizada a energia dissipada deve ser levada em consideração no cálculo de carga térmica, pois a parcela de calor gerada pelas lâmpadas é absorvida pelas paredes, pisos e mobílias do recinto já equipamentos é necessário estima-los pela potência período ou frequência de utilização Stoecker e Jones (1999).

Segundo Gomes (2019), o ganho de calor devido a iluminação do ambiente gerado por lâmpadas fluorescentes gera cerca de 20% de ganho de calor adicionado ao ambiente gerado pelo reator contribuindo bastante para o ganho de calor do recinto em que é utilizado dependendo da sua potencia e a quantidade da mesma no local. Para Frota e Schiffer (2001) lâmpadas incandescentes convertem apenas 10% de sua potência em luz sendo assim 90% da mesma se transforma em calor, já para as lâmpadas fluorescentes sua conversão se dá por 25% em luz e todo o resto é dissipado por calor radiante e por condução, sendo sua maior parcela referente a 50% do calor. Na figura 9 pode-se observar os tipos mais comuns.

**Figura 9: Modelos mais comuns de lâmpadas**

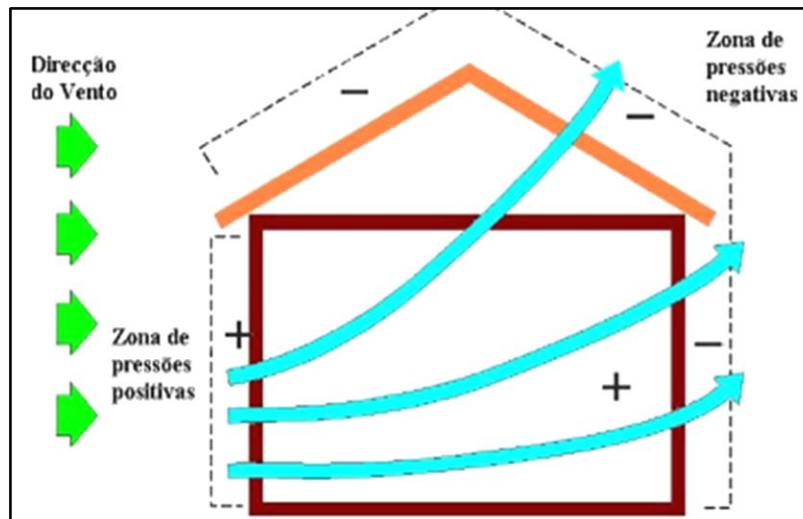


Fonte: Adaptado Empórioluz (2020)

## 2.8 CARGA TÉRMICA DEVIDO A INFILTRAÇÃO DE AR

Em todos os tipos de construções existe a possibilidade de haver infiltração de ar devido ao recinto não ser totalmente impermeável contra esse fator, tanto para entrada de ar quanto para a saída do mesmo. O vento é considerado o principal motivo para fuga de ar criando uma zona de alta pressão nas áreas onde ele entra criando zonas de alta pressão diferencial que causam infiltração a sua parcela de contribuição depende da sua duração e velocidade Ferreira (2006), como pode-se ver na figura 10.

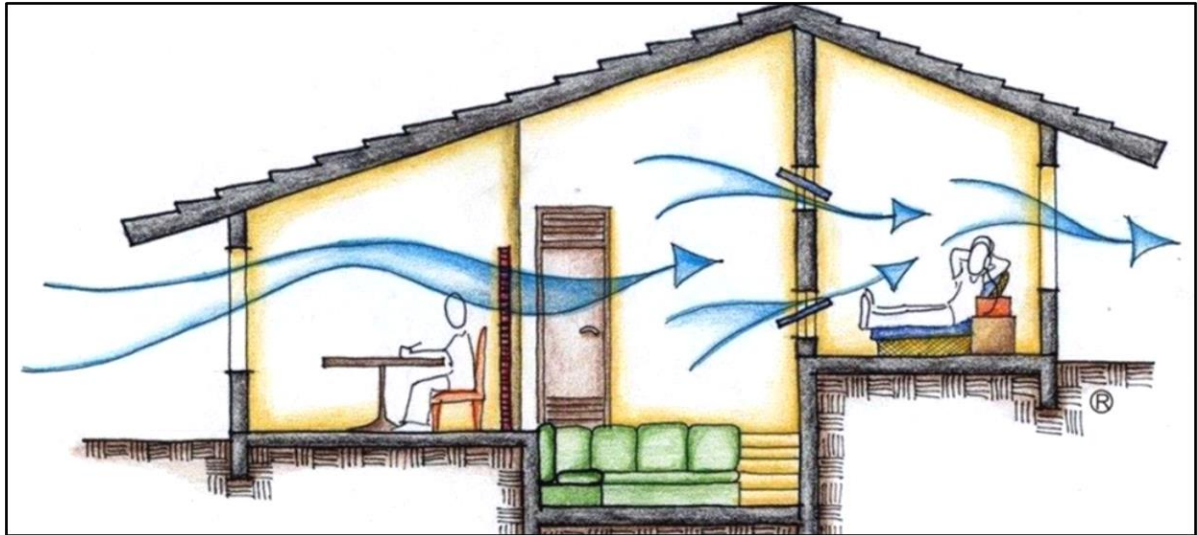
**Figura 10: Esquema de ação do vento em uma residência**



Fonte: Ferreira (2006)

A NBR 16401-1 2008 define que infiltração é o fluxo de ar externo que entra em uma edificação esse fato ocorre devido a pequenas aberturas entre as janelas e portas ou ate paredes e o teto do ambiente e essa penetração permite a adição de carga térmica sensível ou latente. Costa e Fortunato (2007), reforçam a ideia de que quando existe infiltrações de ar de fora diretamente no ambiente através das aberturas do local como frestas, portas e janelas como já foi mencionado faz-se necessário calcular a quantidade de ar que entrou nesse meio para se saber o ganho de calor que pode ser conhecido como carga específica do ambiente (Figura 11).

**Figura 11: Infiltração de ar pelas aberturas do recinto**



Fonte: Quality (2022)

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

### 3. METODOLOGIA

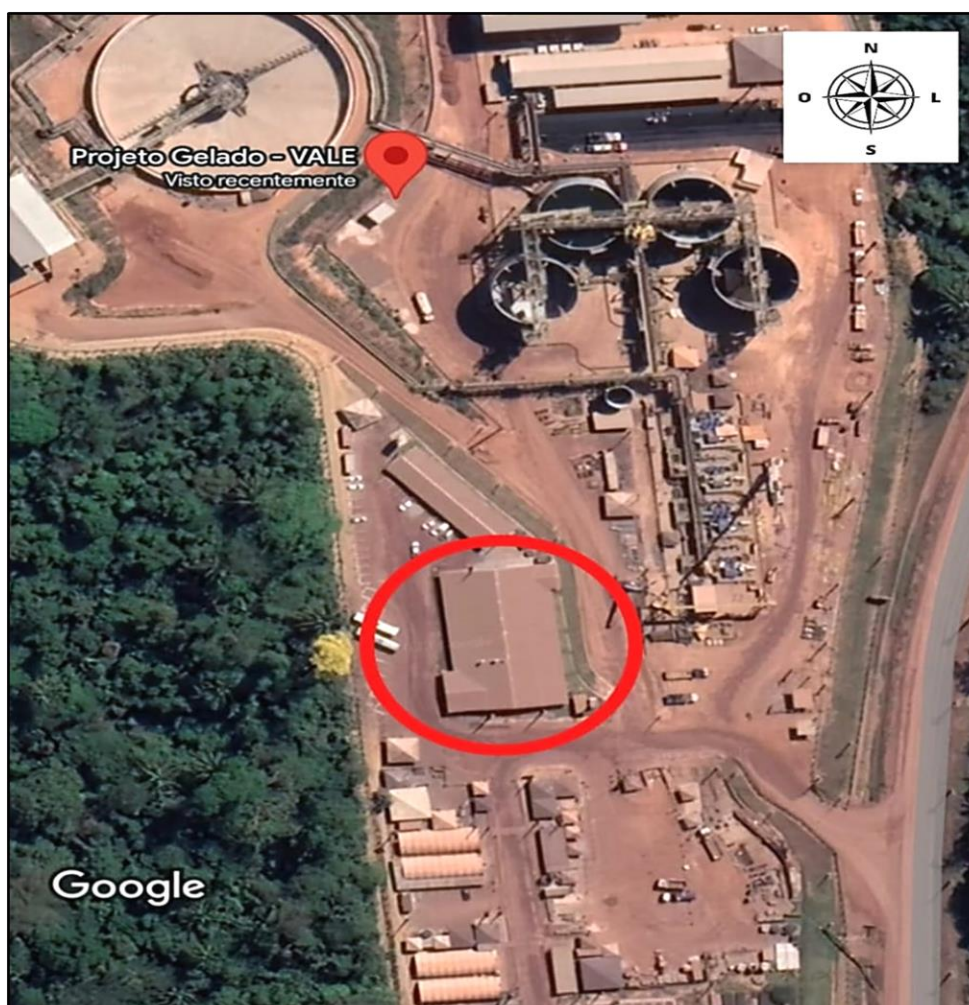
A área de análise do trabalho é referente ao refeitório industrial localizado na Serra dos Carajás que pertence ao município de Parauapebas no sudeste do estado do Pará como pode ser visto na figura 12 e 13. O local do refeitório fica localizado à cerca de 50km do município em uma área de atividade de uma mineradora de grande porte que atua na região, dos quais o projeto visa a recuperação do produto de minério de ferro que sobra provenientes das barragens de rejeito localizadas na mina através de dragas elétricas que puxam esse material do fundo para o seu reaproveitamento.

**Figura 12: Refeitório industrial**



Fonte: Autoria própria (2023)

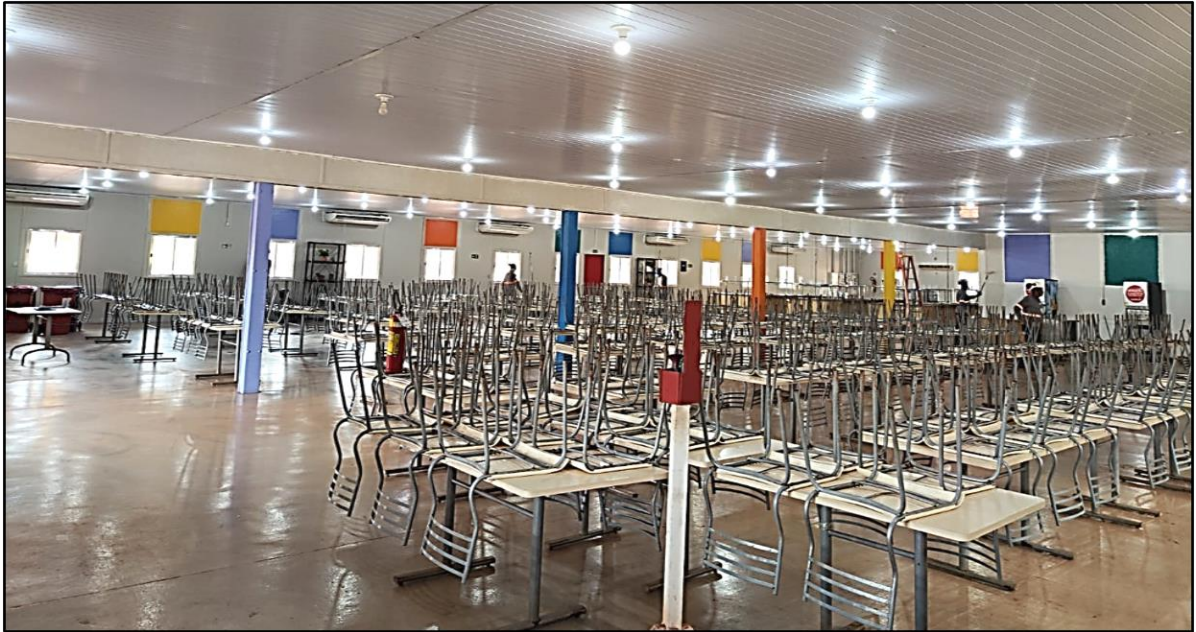
Figura 13: Localização por satélite do refeitório



Fonte: Google maps (2023)

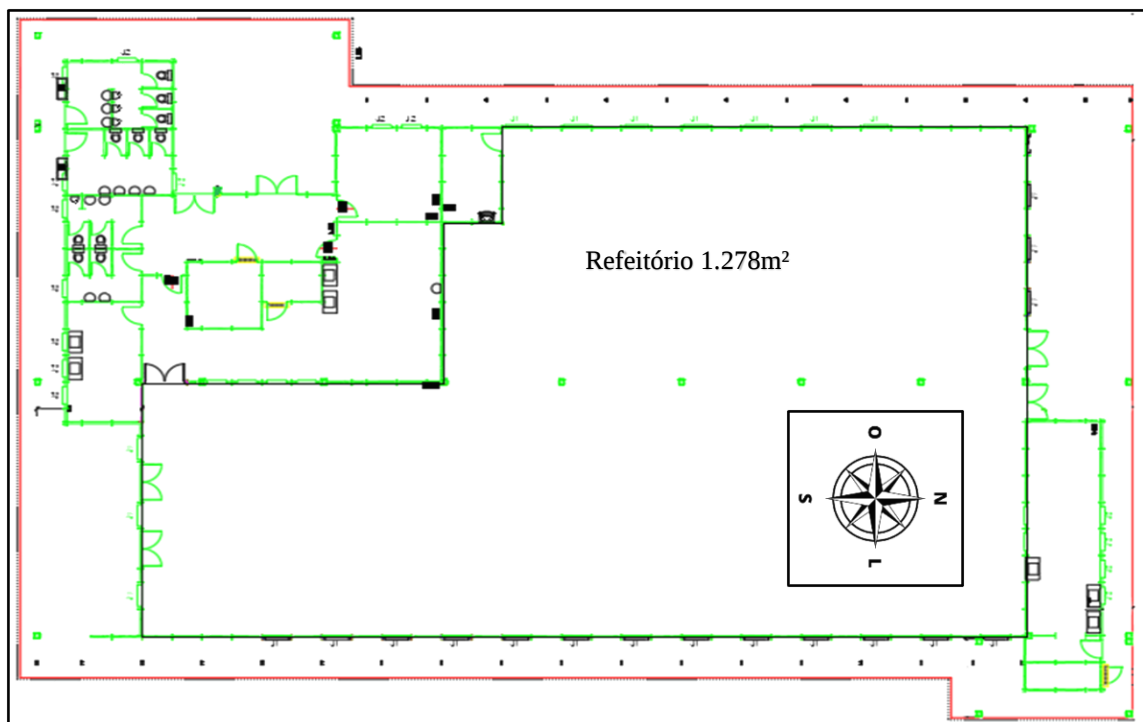
### 3.1 DESCRIÇÃO DO REFEITÓRIO INDUSTRIAL

O projeto teve início a partir do levantamento da área que iria ser observada para se fazer uma análise das características físicas do local. Com isso, foi realizada uma visita ao local para se fazer medições e analisar todo o recinto com o objetivo de obter informações como os horários de funcionamento que se tem maior incidência de usuários, número de lugares disponíveis, contabilização da quantidade de equipamentos eletrônicos, além da composição dos materiais que foram utilizados na construção do refeitório. A figura 14 a seguir mostra o interior do refeitório.

**Figura 14: Interior do refeitório industrial**

Fonte: Autoria própria (2023)

O refeitório possui uma área total de 1278 m<sup>2</sup> considerando suas áreas externas dos quais fornecem apoio aos colaboradores do local com banheiros, lavanderia para material de cozinha e uma área de dispensa de alimentos. Deste modo, internamente o refeitório tem capacidade para 378 pessoas e o seu funcionamento se dá durante toda a semana incluindo sábados e domingos.

**Figura 15: Planta baixa do refeitório**

Fonte: Construtora Barbosa Mello (2020)

Com base na planta arquitetônica do refeitório pertencente a mineradora e que pode ser visto na figura 15 logo acima e no ANEXO A com todas as cotas. Dados importantes para o projeto puderam ser extraídos como as dimensões das paredes, quantidade de janelas e sua posição. O ambiente possui o pé direito de 3 metros, tendo duas portas de acesso logo na entrada e o mesmo para as portas de saída, além de duas saídas de emergência, o local possui todas as janelas blindex de tamanho padrão (1,00 x 1,00) e as lâmpadas, também, são todas padronizadas como pode ser observado na figura 16 a seguir.

**Figura 16: Janelas do tipo blindex do refeitório**



Fonte: Autoria própria (2023)

Portanto, outras informações muito importantes para a continuidade do projeto também foram coletadas como o material utilizado na construção do refeitório e das janelas que compõe o ambiente podendo assim se obter melhores resultados.

## **3.2 CARGA TÉRMICA**

### **3.2.1 Carga térmica de transmissão por superfícies opacas**

A ABNT NBR 16655-3 (2019) explica sobre o projeto e instalação de centrais de ar, onde descreve os requisitos mínimos do projeto, como procedimentos para assegurar que a instalação, desempenho, operação e a confiabilidade do projeto de carga térmica satisfaçam o usuário final. Escolher as temperaturas de projeto do ambiente condicionado adequadas às pessoas em função de sua idade, atividade e roupas, além de determinar as características adicionais da edificação, como: localização, orientação, sombreamento externo e massa, as quais afetam o ganho de calor por insolação.

Quando se fala em condições de conforto alguns fatores devem ser levados em consideração para se ter um resultado mais satisfatório, como o número de pessoas que frequentam o local, materiais e equipamentos que possam alterar as condições climáticas do recinto, as dimensões de paredes, janelas e portas.

Para iniciar os procedimentos de cálculo de carga térmica é importante definir as temperaturas de umidade do ar externa e interna das quais serão utilizadas no projeto. Esses dados não foram encontrados para cidade de Parauapebas-Pa, no entanto a norma NBR 16655-3 (2019) define alguns valores que podem ser utilizados para referência. Deste modo, foram utilizados os dados da cidade de Belém do Pará que é a capital do estado e o local mais próximo da cidade em que se encontra o refeitório como pode ser vista na Tabela 3 e 4.

**Tabela 3. Condições das temperaturas internas de referência para o verão**

| Ar interno | Altitude m | Temperatura máxima de bulbo seco °C | Temperatura máxima de bulbo úmido coincidente °C | Pressão Atmosférica kPa | Umidade absoluta Kg /kg | Volume específico m³/kg | Entalpia KJ/kg |
|------------|------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|
| Condição 1 | 50         | 24,0                                | 50,0                                             | 100,73                  | 0,0094                  | 0,860                   | 47,92          |
| Condição 2 | 50         | 26,0                                | 50,0                                             | 100,73                  | 0,0106                  | 0,867                   | 53,03          |
| Condição 3 | 500        | 24,0                                | 50,0                                             | 95,46                   | 0,0099                  | 0,908                   | 49,25          |
| Condição 4 | 500        | 26,0                                | 50,0                                             | 95,46                   | 0,0112                  | 0,916                   | 54,54          |
| Condição 5 | 750        | 24,0                                | 50,0                                             | 92,63                   | 0,0102                  | 0,936                   | 50,03          |
| Condição 6 | 750        | 36,0                                | 50,0                                             | 92,63                   | 0,0115                  | 0,944                   | 55,43          |
| Condição 7 | 1000       | 24,0                                | 50,0                                             | 89,87                   | 0,0105                  | 0,965                   | 50,84          |
| Condição 8 | 1000       | 26,0                                | 50,0                                             | 89,87                   | 0,0119                  | 0,974                   | 56,34          |

Fonte: NBR 16655-3 (2019).

**Tabela 4. Condições de temperatura e umidade do ar externo para o verão.**

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

|                     |     |    |    |        |       |       |
|---------------------|-----|----|----|--------|-------|-------|
| <b>Referência 1</b> | 50  | 35 | 25 | 0,0160 | 0,901 | 76,13 |
| <b>Referência 2</b> | 750 | 35 | 25 | 0,0178 | 0,982 | 80,78 |

Fonte: NBR 16655-3 (2019).

Para a realização desse trabalho como já foi mencionado, foi considerado a localização de Belém visto que é a região mais próxima do local, também pelo seu clima variado considerando o clima amazônico que tem como sua principal característica as constantes mudanças de temperatura e altos índices de calor durante o ano. Dessa forma, com as temperaturas selecionadas pode-se observar as diferenças entre elas, além na mudança dos demais parâmetros como é o caso da entalpia que tem uma queda em seu valor como pode ser visto na Tabela 5 logo abaixo.

**Tabela 5. Condições de temperatura interna e externa.**

| <b>Belém</b>                    | <b>Temperatura máxima de bulbo seco °C</b> | <b>Umidade absoluta Kg de vapor/kg ar seco</b> | <b>Volume específico m³/kg</b> | <b>Entalpia KJ/kg</b> |
|---------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| <b>Ar externo para o verão.</b> | 33,2                                       | 0,0182                                         | 0,895                          | 79,87                 |
| <b>Ar interno para o verão.</b> | 24,0                                       | 0,0094                                         | 0,860                          | 47,92                 |

Fonte: Autoria própria (2023).

Segundo a norma ABNT NBR 16655-3 (2019) para se calcular o fator de transmissão de calor através de superfícies opacas utiliza-se a Equação 3.1.

$$q_{s_{trans}} = [A \cdot (CLTD)]/R \quad (3.1)$$

Onde:

- $A$  - a área da superfície (m²);
- $CLTD$  - a diferença de temperatura das paredes (°C);
- $R$  - a resistividade térmica da superfície (m²· °C)/W;
- $q_{s_{Trans}}$  - Carga térmica Total através da parede (W);

A diferença de temperatura das paredes ou CLTD, tem valores definidos que podem ser encontrados na NBR 16655 (2019) com diversos resultados de acordo com algumas regiões com os valores que estão corrigidos para o horário de 16 h que estão listados na Tabela 6.

**Tabela 6. Valores de CLTD para diferentes cidades, corrigido para as 16 h**

| <b>Orientação</b> | <b>Valor de referência (°C)</b> | <b>Belém, Pa (°C)</b> | <b>Brasília, DF (°C)</b> | <b>Porto Alegre, RS (°C)</b> | <b>Rio de Janeiro, RJ (°C)</b> | <b>São Paulo, SP (°C)</b> |
|-------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| <b>Norte</b>      | 10                              | 11,1                  | 15,1                     | 11,85                        | 11,2                           | 9,95                      |
| <b>Nordeste</b>   | 15                              | 16,1                  | 20,2                     | 16,85                        | 16,2                           | 14,95                     |
| <b>Leste</b>      | 19                              | 20,1                  | 24,2                     | 20,85                        | 20,2                           | 18,95                     |
| <b>Sudeste</b>    | 20                              | 21,1                  | 25,2                     | 21,85                        | 21,2                           | 19,95                     |

|                   |    |      |      |       |      |       |
|-------------------|----|------|------|-------|------|-------|
| <b>Sul</b>        | 18 | 19,1 | 23,2 | 19,85 | 19,2 | 17,95 |
| <b>Sudoeste</b>   | 18 | 19,1 | 23,2 | 19,85 | 19,2 | 17,95 |
| <b>Oeste</b>      | 15 | 16,1 | 20,2 | 16,85 | 16,2 | 14,95 |
| <b>Noroeste</b>   | 11 | 12,1 | 16,2 | 12,85 | 12,2 | 10,95 |
| <b>Horizontal</b> | 24 | 25,1 | 29,2 | 25,85 | 25,2 | 23,95 |
| <b>Vidro</b>      | 8  | 9,1  | 13,2 | 9,85  | 9,2  | 7,95  |

Fonte: NBR 16655-3 (2019).

No momento da escolha dos valores a NBR 16655 (2019) também define que em alguns casos tem necessidade de fazer uma correção na CLTD devido alguns ambientes internos que não fazem parte dos ambientes condicionados. Dito isso, deve-se utilizar a equação 3.2 para corrigir os valores dessas divisões de espaço interno do local.

$$CLTD_r = CLTD + (25 - TBS_p) + (TBS_{aem} - 29) \quad (3.2)$$

Onde:

- $CLTD_r$  - Diferença de temperatura das paredes corrigida (°C);
- $CLTD$  - Diferença de temperatura das paredes (°C);
- $TBS_p$  - Temperatura de bulbo seco interna (°C);
- $TBS_{aem}$  - Temperatura de bulbo seco de ar externo (°C);

Para se encontrar os valores de carga térmica para as superfícies opacas utiliza-se os valores da equação 3.1 e relacionando com os dados fornecidos pela norma que foram apresentados na Tabela 1 foi possível encontrar grande parte dos valores de condutividade necessários para o trabalho. As paredes do local são compostas de compensado naval 0,22mm os valores de resistência térmica para esse material foram retiradas de Çengel & Ghajar e da norma ABNT NBR 15220-2 (2005), relacionando a condutibilidade térmica do material com a sua espessura foi encontrado o valor de  $0,173\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$  para o material de construção do local. Outros valores foram considerados como filme de ar interno e externo além do acabamento utilizado reboque + pintura  $0,034\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ .

Com relação ao teto a NBR 15220-2 (2005) fornece valores para resistência térmica de telhados de fibrocimento já considerando o forro do local que é constituído de PVC que na norma tem sua condutividade térmica de  $0,20\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ . Aplicando todas as correções de condutibilidade térmica foi encontrado o valor da resistividade de  $0,595\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ . Os valores para as janelas foram retirados da Tabela 2 podendo assim fazer uma junção de todos os valores obtidos para uma melhor análise.

A tabela 7 logo abaixo apresenta os valores para a resistividade de todas as paredes, teto e janelas do refeitório com dados retirados da NBR 16655 (2019) como proposto pela norma.

**Tabela 7. Valores de resistividade térmica da estrutura do refeitório**

| Resistividade térmica total |             |         |
|-----------------------------|-------------|---------|
| (m <sup>2</sup> ·°C) / W.   |             |         |
| Paredes do refeitório       | Laje / Teto | Janelas |
| 0,406                       | 0,595       | 0,173   |

Fonte: Adaptado NBR 16655-3 (2019).

Logo após a obtenção de todos os dados de resistividade da estrutura do refeitório é necessário se obter a área das paredes e janelas do ambiente para da prosseguimento com o projeto. As portas são do mesmo material das paredes e as mesmas ficam fechadas e por norma podem ser desconsideradas, podendo levar em consideração apenas as janelas do local dos quais se subtrai da área total das paredes em que elas se encontram. Dessa forma, as dimensões das paredes e janelas do ambiente estudado são mostradas na tabela 8.

**Tabela 8. Valores de área e de CLTD das paredes e janelas do refeitório**

| Paredes      |                        |      |
|--------------|------------------------|------|
| Orientação   | Área (m <sup>2</sup> ) | CLTD |
| Parede Norte | 65,54                  | 12,1 |
| Janela Norte | 4                      | 12,1 |
| Parede Leste | 92,97                  | 20,1 |
| Janela Leste | 15                     | 20,1 |
| Parede Sul   | 66,54                  | 12,2 |
| Janela Sul   | 3                      | 12,2 |
| Parede Oeste | 100,97                 | 16,1 |
| Janela Oeste | 7                      | 16,1 |
| Laje / Teto  | 695,96                 | 25,1 |

Fonte: Adaptado NBR 16655-3 (2019).

Após se obter cada dado referentes a resistências térmicas de toda a estrutura do refeitório pode-se estimar os valores de carga térmica através da NBR 16655-3 (2019) que fornece a metodologia para se realizar o cálculo e a partir da equação 3.1. Os resultados de carga térmica das paredes e janelas podem ser encontrados como é visto na tabela 9.

**Tabela 9. Transferência de calor das paredes do refeitório**

| Transferência de calor pelas superfícies |                                                 |                        |              |                                               |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------|--------------|-----------------------------------------------|
| Paredes/janelas/Teto                     | Resistividade térmica<br>(m <sup>2</sup> .°C)/W | Área (m <sup>2</sup> ) | CLTD<br>(°C) | Transmissão de calor pelas<br>superfícies (W) |
| Parede Norte                             | 0,406                                           | 65,54                  | 12,1         | 1953,28                                       |
| Janela Norte                             | 0,173                                           | 4                      | 12,1         | 279,76                                        |
| Parede Leste                             | 0,406                                           | 92,97                  | 20,1         | 4602,70                                       |
| Janela Leste                             | 0,173                                           | 15                     | 20,1         | 1742,77                                       |
| Parede Sul                               | 0,406                                           | 66,54                  | 12,2         | 1983,08                                       |
| Janela Sul                               | 0,173                                           | 3                      | 12,2         | 209,82                                        |
| Parede Oeste                             | 0,406                                           | 100,97                 | 16,1         | 4003,98                                       |
| Janela Oeste                             | 0,173                                           | 7                      | 16,1         | 651,44                                        |
| Laje / Teto                              | 0,595                                           | 695,96                 | 25,1         | 29358,98                                      |
| Total                                    |                                                 |                        |              | 42832,53                                      |

Fonte: Autoria própria (2023).

### 3.2.2 Carga térmica devido a insolação

Os valores para o fator de ganho (SHGF) foram escolhidos da mesma forma do início do projeto utilizando como referência a cidade de Belém–Pa no período de janeiro dos quais seus valores podem variar conforme a posição da janela e em decorrência disso a NBR 16655-3 (2019) apresenta alguns dados em relação ao fator de ganho por insolação com base nas características descritas que são apresentados na tabela 10. Para saber a carga térmica por insolação que passam pelas janelas do refeitório é necessário considerar alguns fatores como horário, mês do ano e também fator de sombreamento e ganho de calor que pode ser calculado através da equação 3.3 fornecida pela norma.

$$Q_{ins} = A_j \cdot SC \cdot SHGF \cdot CLF \quad (3.3)$$

No qual:

- $A_j$  - Área da janela (m<sup>2</sup>);
- $Q_{ins}$  - Carga térmica na superfícies das janelas (W);
- SHGF - Fator de ganho de calor por insolação (W/m<sup>2</sup>);
- SC - Fator de sombreamento (Adimensional);
- CLF - Fator de carga por resfriamento em função do horário (Adimensional);

**Tabela 10. Valores para o fator de ganho por insolação SHGF em W/m<sup>2</sup>**

| Cidade     | Belém, Pa<br>(W/m <sup>2</sup> ) | Brasília, DF<br>(W/m <sup>2</sup> ) | Porto Alegre,<br>RS (W/m <sup>2</sup> ) | Rio de Janeiro, RJ<br>(W/m <sup>2</sup> ) | São Paulo, SP<br>(W/m <sup>2</sup> ) |
|------------|----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|
| Mês        | Janeiro                          | Janeiro                             | Janeiro                                 | Janeiro                                   | Janeiro                              |
| Norte      | 363                              | 135                                 | 204                                     | 142                                       | 142                                  |
| Nordeste   | 634                              | 363                                 | 458                                     | 555                                       | 555                                  |
| Leste      | 615                              | 666                                 | 678                                     | 672                                       | 672                                  |
| Sudeste    | 243                              | 582                                 | 532                                     | 407                                       | 407                                  |
| Sul        | 120                              | 163                                 | 128                                     | 145                                       | 145                                  |
| Sudoeste   | 243                              | 582                                 | 532                                     | 407                                       | 407                                  |
| Oeste      | 615                              | 666                                 | 678                                     | 672                                       | 672                                  |
| Noroeste   | 634                              | 363                                 | 458                                     | 555                                       | 555                                  |
| Horizontal | 820                              | 876                                 | 866                                     | 877                                       | 877                                  |

Fonte: NBR 16655-3 (2019).

A NBR 16655-3 (2019) mostra valores para o (CLF) como já foi mencionado logo acima como o fator de carga de resfriamento, seus valores variam de acordo com a orientação geográfica do local e horário, seguindo a norma pode-se conhecer esses valores com o horário definido para as 16h. Com isso, os fatores de sombreamento podem ser encontrados na tabela 11.

**Tabela 11. Carga de insolação – Fator de resfriamento para às 16 h**

| Orientação | Fator de carga de resfriamento em função do horário<br>(Adimensional) |
|------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Norte      | 0,75                                                                  |
| Nordeste   | 0,2                                                                   |
| Leste      | 0,17                                                                  |
| Sudeste    | 0,22                                                                  |
| Sul        | 0,35                                                                  |
| Sudoeste   | 0,81                                                                  |
| Oeste      | 0,82                                                                  |
| Noroeste   | 0,73                                                                  |
| Horizontal | 0,58                                                                  |

Fonte: NBR 16655-3 (2019).

Para prosseguir com o projeto é necessário conhecer também o fator de sombreamento (SC) que é um fator que corrige a transmissão solar para o local em função do tipo de vidro utilizado em sua construção agregando fatores como absorção de calor e reflexão do mesmo, a NBR 16655-3 (2019) fornece os valores calculados dos quais podem ser vistos na tabela 12.

**Tabela 12. Coeficiente de sombreamento (adimensional) para diferentes tipos de janela.**

| Vidro 6mm |                   |                     |
|-----------|-------------------|---------------------|
| Simplex   | Simplex + cortina | Refletivo + cortina |
| 0,87      | 0,55              | 0,30                |

Fonte: NBR 16655-3 (2019).

Portanto, com base na equação 3.3 pode-se calcular o valor da carga térmica para cada orientação. A tabela 9 fornece as informações de área das janelas e tendo conhecimento do fator de carga de resfriamento (CLF), ganho de calor (SHGF) e o coeficiente de sombreamento (SC) a carga térmica devido a insolação nas janelas do refeitório pode ser calculada como é apresentada na tabela 13.

**Tabela 13. Carga térmica do refeitório devido a insolação**

| Carga térmica das janelas |                        |      |                          |      |                          |
|---------------------------|------------------------|------|--------------------------|------|--------------------------|
| Orientação                | Área (m <sup>2</sup> ) | CLF  | SHGF (W/m <sup>2</sup> ) | SC   | Transmissão de calor (W) |
| Norte                     | 4                      | 0,75 | 363                      | 0,87 | 947,43                   |
| Leste                     | 15                     | 0,17 | 615                      | 0,87 | 1364,37                  |
| Sul                       | 3                      | 0,35 | 120                      | 0,87 | 109,62                   |
| Oeste                     | 7                      | 0,82 | 615                      | 0,87 | 3071,18                  |
| <b>Total</b>              |                        |      |                          |      | <b>5492,60</b>           |

Fonte: Autoria própria (2023).

### 3.2.3 Carga térmica devido a indivíduos no recinto

Tratando-se de um refeitório a maior parte da carga térmica do recinto se dá pelo fato da grande presença de pessoas tanto em pé se servindo, quanto sentados se alimentando. Para se realizar o cálculo de carga térmica é necessário saber a emissão de calor que cada pessoa pode gerar quando se está realizando uma determinada atividade. O refeitório conta com uma capacidade de 348 pessoas sentadas, porém foi necessário estimar a quantidade de pessoas em pé andando e se servindo e mais as duas serventes em cada rampa de buffet térmico, e em um período de uma semana foi possível encontrar uma média de 15 pessoas em cada rampa já contando com as duas ajudantes totalizando 378 ocupantes no recinto em média como pode ser visualizado na figura 17.

**Figura 17: Refeitório em sua lotação máxima**



Fonte: Autoria própria (2023)

Dessa forma, a NBR 16655-3 (2019) fornece o método para se saber o ganho de calor por os indivíduos no recinto que é dado pela equação 3.4.

$$Q_{pessoas} = n_p \cdot CS_p \cdot CLF \quad (3.4)$$

No qual:

- $n_p$  - Quantidade de pessoas no local;
- $CS_p$  - Calor sensível por pessoa (W);
- $CLF$  - Fator de carga de resfriamento adimensional;
- $Q_{pessoas}$  - Carga térmica total devido a pessoas (W);

Com base nisso, a NBR 16655-3 (2019) fornece valores para saber o calor sensível que os indivíduos podem fornecer a um ambiente, porém a norma tem limitações de atividades que podem ser realizadas por uma pessoa. Com isso fez-se necessário dados mais próximos para as atividades exercidas no refeitório e os valores encontrados foram retirados de Frota e Schiffer (2001) que pode ser visto no ANEXO B. Desta forma, foram considerados 75W para as pessoas andando no refeitório e 65W para a maioria dos ocupantes do local que estão sentados se alimentando. Portanto, a carga térmica devido a indivíduos no recinto pode ser apresentada na tabela 14.

**Tabela 14. Carga térmica devido a indivíduos no refeitório**

| Carga térmica devido a indivíduos |            |                               |     |                 |
|-----------------------------------|------------|-------------------------------|-----|-----------------|
| Pessoas                           | Quantidade | Calor sensível por pessoa (W) | CLF | Calor total (W) |
| Pessoas andando                   | 30         | 75                            | 1   | 2250            |
| Pessoas sentadas cosendo a mão.   | 348        | 65                            | 1   | 22620           |
| <b>Total</b>                      |            |                               |     | <b>24870,00</b> |

Fonte: Autoria própria (2023).

### 3.2.4 Carga térmica por iluminação e equipamentos

Um fator importante para o cálculo de carga térmica se da pelos equipamentos e a iluminação do local. Deste modo, faz-se necessário uma análise rigorosa em relação a quantidade de lâmpadas e equipamentos elétricos do refeitório. A NBR 16655-3 (2019) fornece o método para se encontrar os valores para se obter a carga térmica do projeto utiliza-se a equação 3.5.

$$q_{sequip} = P_{sequip} \cdot CLF \quad (3.5)$$

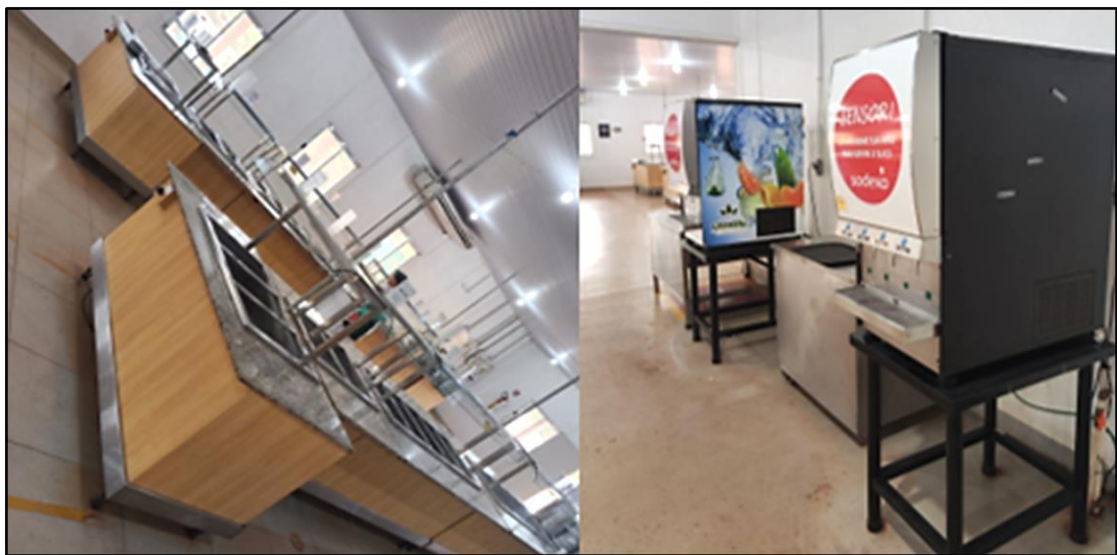
No qual:

- $q_{sequip}$  - É a carga térmica de equipamentos (W)

- $P_{s_{equip}}$  - Potência instalada do equipamento (W)
- $CLF$  - Fator de carga de resfriamento adimensional;

Após se analisar o projeto alguns dados foram coletados, a quantidade e lâmpadas de toda a área onde os funcionários ficam são no total de 91 lâmpadas do tipo led e cada uma delas possui uma potência estimada em 5W distribuídas uniformemente pelo refeitório o ANEXO C mostra distribuição interna das luzes. o local também conta com duas suqueiras resfresqueiras de dois tanques 242W e duas rampas de buffet de 220V e com 12 cubas com potência de 2500W os valores foram retirados dos próprios equipamentos conforme destacadas na figura 18.

**Figura 18: Rampa de Buffet self-service e suqueira resfresqueira inox**



Fonte: Autoria própria (2023)

É necessário determinar o fator de resfriamento (CLF) a NBR 16655-3 (2019) fornece alguns valores definidos para alguns tipos de equipamentos e em função de iluminação, como se trata de um refeitório em relação os equipamentos foi considerado a situação de uso máximo, o espaço possui muitas lâmpadas com todas elas bem distribuídas e foi considerado um fator de resfriamento de 1 devido a sua baixa potência. Portanto, os resultados para carga térmica devido iluminação e equipamentos pode ser visto na tabela 15.

**Tabela 15. Carga térmica devido a iluminação e equipamentos do refeitório**

| Carga térmica devido a iluminação e equipamentos |            |                       |     |                 |
|--------------------------------------------------|------------|-----------------------|-----|-----------------|
| Equipamentos                                     | Quantidade | Potência unitária (W) | CLF | Calor total (W) |
| lâmpadas                                         | 91         | 5                     | 1   | 455             |
| Suqueira resfresqueira                           | 2          | 242                   | 1   | 484             |
| Rampa de Buffet                                  | 2          | 2500                  | 1   | 5000            |
| <b>Total</b>                                     |            |                       |     | <b>5939,00</b>  |

Fonte: Autoria própria (2023).

### 3.2.5 Carga térmica devido à infiltração de ar

A NBR 16655-3 (2019) define que se deve calcular a carga térmica por infiltração com base nas características construtivas do local como a vedação das portas e janelas diferença de temperatura e velocidade do vento, outras importantes considerações são as dimensões do ambiente. Com isso, é necessário calcular a renovação ou de vazão de ar de em volume infiltrado pela equação 3.6.

$$Q_{ae} = Q_{inf} \cdot A \quad (3.6)$$

No qual:

- $Q_{inf}$  - Vazão de ar externo infiltrado (m<sup>3</sup>/h);
- $A$  - Área do piso, expressa em metro quadrado (m<sup>2</sup>);
- $Q_{ae}$  - Vazão de ar externo (m<sup>3</sup>/h);

Através dos resultados obtidos para a vazão de ar externo, com base na NBR 16655-3 (2019) pode-se encontrar a vazão em massa de ar infiltrado através da equação 3.7.

$$m_{ae} = (Q_{ae}) \cdot (1/3600) \cdot p \quad (3.7)$$

No qual:

- $m_{ae}$  - Vazão em massa de ar externo (kg/s);
- $Q_{ae}$  - Vazão em volume de ar externo (m<sup>3</sup>/h), dado pela Eq 3.6;
- $p$  - Massa específica de ar externo (kg/m<sup>3</sup>)
- $(1/3600)$  - Transformação de metros cúbicos por hora para metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/h em m<sup>3</sup>/s);

Portanto, a NBR 16655-3 (2019) fornece o método para se calcular a carga térmica latente de ar externo e o calor total de ar externo infiltrado no refeitório que podem ser encontrado através das equações de 3.8 a 3.10.

$$qt_{ae} = m_{ae} \cdot (h_{ae} - h_{amb}) \quad (3.8)$$

$$ql_{ae} = m_{ae} \cdot h_v \cdot (W_{ae} - W_{amb}) \quad (3.9)$$

O calor sensível, por sua vez, será calculado como a diferença do calor total e o calor latente, como mostra a equação 3.10.

$$qs_{ae} = qt_{ae} - ql_{ae} \quad (3.10)$$

No qual:

- $qt_{ae}$  - Calor total de ar infiltrado (W);
- $m_{ae}$  - Vazão em massa de ar externo (kg/s);
- $h_{ae}$  - Entalpia de ar externo (kJ/kg)

- $h_{amb}$  - Entalpia do ar ambiente (kJ/kg);
- $ql_{ae}$  - Calor latente de ar infiltrado (W);
- $W_{ae}$  - Umidade absoluta de ar externo (kg/kg)
- $W_{amb}$  - Umidade absoluta de ar ambiente (kg/kg);
- $h_v$  - Calor latente de vaporização da água (kJ/kg)
- $qs_{ae}$  - Calor sensível de ar externo (W)

Para encontrar a vazão de ar externo utilizou-se a equação 3.6, já a vazão em massa foi obtida através da equação 3.7. A NBR 16655-3 (2019) define um valor recomendado para a renovação de ar de  $1,0 \text{ (L/s} \cdot \text{m}^2\text{)}$  que é igual a  $3,6 \text{ (m}^3\text{/h} \cdot \text{m}^2\text{)}$ . A Tabela 16 mostra o valor deste cálculo juntamente com os valores dos demais parâmetros obtidos pelas equações 3.8, 3.9 e 3.10, Também utilizou-se os valores da entalpia e umidade absoluta mostrados nas tabelas 3 e 4. Com isso, pode-se encontrar os valores para o calor latente, calor sensível e por fim, calor total do ar externo que é a carga térmica para o ambiente.

**Tabela 16. Carga térmica devido a infiltração de ar no refeitório**

| Carga térmica devido a infiltração de ar |                                         |                      |                   |                    |                              |
|------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------|-------------------|--------------------|------------------------------|
| local                                    | Vazão de ar externo (m <sup>3</sup> /h) | Vazão mássica [kg/s] | Calor latente (W) | Calor sensível (W) | Calor total do arexterno (W) |
| Refeitório                               | 2505,45                                 | 0,8351               | 18376,34          | 8304,91            | -                            |
| <b>Total</b>                             |                                         |                      |                   |                    | 26681,25                     |

Fonte: Autoria própria (2023).

### 3.3 CARGA TÉRMICA TOTAL

A carga térmica total do refeitório industrial pode ser encontrado através do somatório de todas as cargas térmicas que foram obtidas nos cálculos anteriores como demonstra a equação 3.11 fornecida pela norma.

$$Q_{total} = Q_{Opacas} + Q_{Insol.} + Q_{Indiv.} + Q_{Itum.} + Q_{infil.} \quad (3.11)$$

Os valores de carga térmica são obtidos em Watt (W) para o projeto do refeitório faz-se necessário a conversão desses resultados para uma melhor avaliação no comparativo com os equipamentos, visto que é mais comum ser representada por Unidade Térmica Britânica (BTU) e para cargas ainda maiores e utilizado a Tonelada de refrigeração (TR).

Portanto, é necessário saber que 1 W vale 3,41 BTU/h e 1 TR equivale à 12000 BTU/h. Sabendo disso, a carga total do refeitório pode ser vista na tabela 17.

**Tabela 17. Valores para carga térmica total do refeitório**

| Cargas Térmicas           | W         | BTU/h     | TR    |
|---------------------------|-----------|-----------|-------|
| superfícies opacas        | 42832,53  | 146150,66 | 12,18 |
| insolação                 | 5492,60   | 18741,56  | 1,56  |
| indivíduos no recinto     | 24870,00  | 84859,95  | 7,07  |
| iluminação e equipamentos | 5939,00   | 20264,71  | 1,69  |
| infiltração de ar         | 26681,25  | 91040,20  | 7,59  |
| Total                     | 105815,38 | 361057,06 | 30,09 |

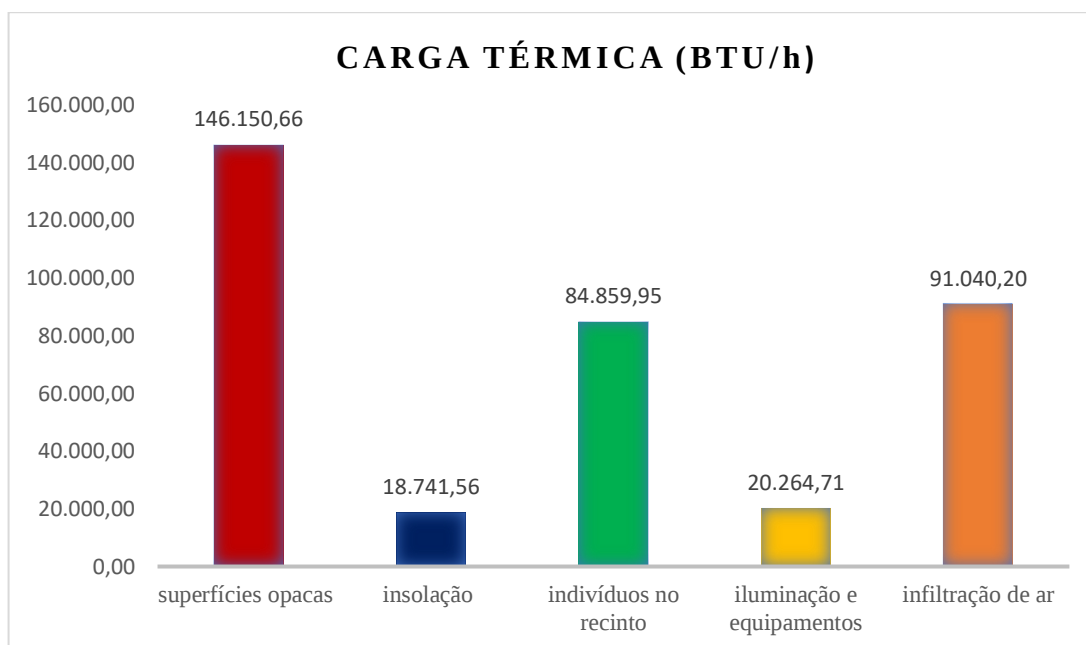
Fonte: Autoria própria (2023).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ANÁLISE DE DADOS

O objetivo principal da metodologia de cálculo aplicada anteriormente é a de estimar todos os valores de carga térmica para que assim pudesse fazer a seleção de modelos de equipamentos condicionadores que se aproximassem dos valores encontrados e, também, viabilizasse o projeto de refrigeração financeiramente e que fosse eficiente, a figura 19 a seguir mostra um gráfico com cada carga térmica encontrada para o recinto.

**Figura 19: Cargas térmicas do refeitório em BTU/h**



Fonte: Autoria própria (2023)

O gráfico de resultados mostra os valores encontrados e como cada parcela de carga térmica atua no refeitório. A carga térmica através das superfícies opacas como pode ser observada na figura 19 mostrou-se com maior contribuição térmica para o recinto podendo contribuir com cerca de 40% da carga total encontrada para o local, seguido da carga térmica por infiltração de ar e esses valores podem ser compreendidos devido a várias características construtivas do ambiente como o material que o compõe que se difere dos mais comuns, além do ambiente possuir muitas janelas e ter um espaço de dimensões grandes. Dessa forma, tendo os valores mais expressivos para a contribuição de carga térmica do ambiente. Outro valor bastante expressivo que foi encontrado é em relação ao número de pessoas do recinto que era esperado devido ao alto fluxo de indivíduos no refeitório podendo chegar a 20% na parcela de contribuição de carga para o recinto podendo variar de acordo com o fluxo de pessoas no ambiente.

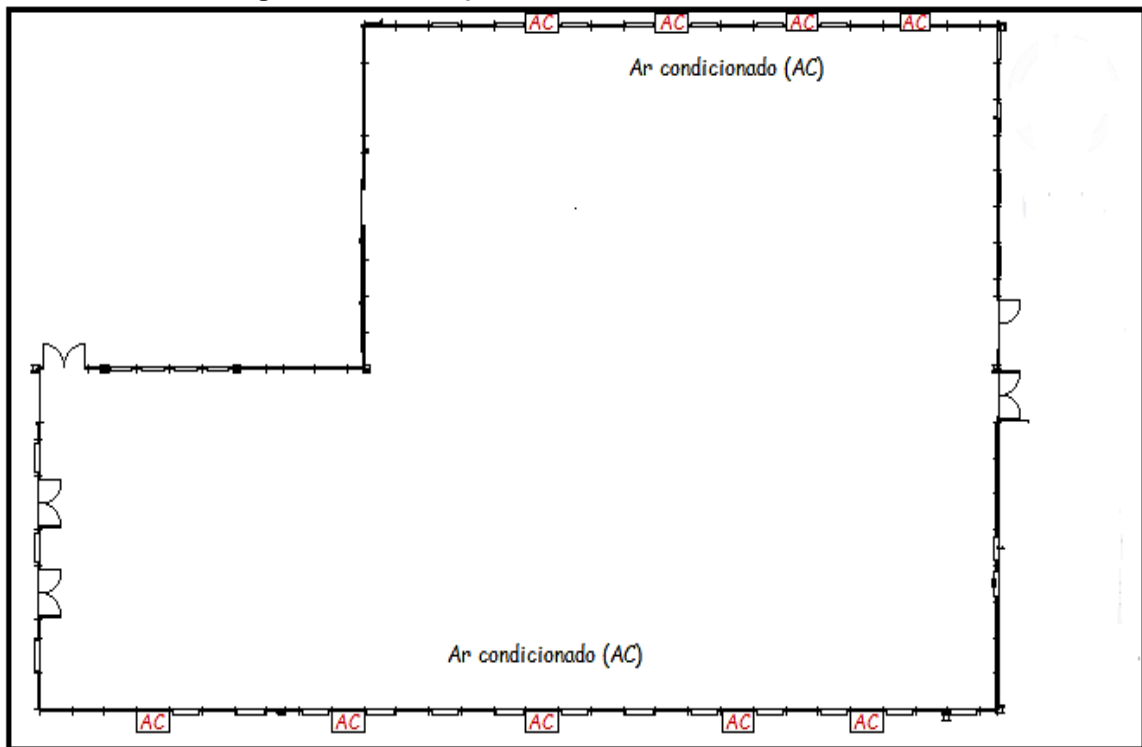
Nos resultados para a insolação pode-se notar um valor que se difere bastante dos outros encontrados, pois está ligado a várias características das janelas que tem no local. No refeitório a maior quantidade de janelas está localizada em apenas uma das paredes e devido a isso, fatores como a carga de resfriamento (CLF) e o fator de ganho por insolação (SHGF) que dependem da posição das janelas em relação ao sol influenciam de forma direta nesse resultado. Com relação a iluminação e equipamentos o valor era esperado devido a baixa quantidade de equipamentos do local as rampas de buffet como esperado seriam os maiores contribuintes na parcela de carga térmica e apesar da grande quantidade de lâmpadas a potência delas é relativamente baixa apesar do projeto ser baseado ser realizado em todas as condições de uso máximo.

A NBR 16401-1 (2008) apresenta uma série de condições e modelos para os quais se possa ter uma qualidade de ar ambiente melhor, demonstrando como se dimensionar um ambiente com equipamentos adequados para cada tipo de construção e proporção do mesmo de forma que melhorem o projeto, e por ser um ambiente de grandes dimensões uma das alternativas seria a utilização do self contained devido a suas grandes capacidades e, além disso, faz sua distribuição de ar por dutos podendo ser mais eficiente na divisão de saídas de ar com uma área mais ampla de refrigeração para todo o refeitório sendo um dos métodos mais utilizados em ambientes dos quais tem grandes proporções e conta com um grande número de pessoas.

#### 4.2 COMPARATIVO COM OS EQUIPAMENTOS INSTALADOS

O projeto do refeitório se diferenciou pelo fato de já ter equipamentos condicionadores de ar no refeitório. Todos os valores encontrados foram com o objetivo de comparar com os equipamentos já instalados no local podendo estimar se o projeto era confortável termicamente. O ambiente conta com nove ar condicionados que estão distribuídos somente em duas paredes sendo eles quatro na parede oeste e cinco na parede leste do local conforme apresentado na figura 20.

**Figura 20: Distribuição dos condicionadores de ar no recinto**



Fonte: Autoria própria (2023)

O equipamento possui a capacidade de 57.000,00 BTU/h da marca Springer como pode ser observado na figura 21. É importante ter conhecimento de todas as especificações técnicas do equipamento utilizado no refeitório como suas dimensões, potência, peso e, além disso, sua classificação energética entre outros dados importantes como o tipo de gás que no caso do aparelho instalado no refeitório utiliza-se do R410-A que não degrada a camada de ozônio sendo assim um fluido refrigerante ecologicamente correto podendo ser aplicado na refrigeração comercial, essas características estão descritas na tabela 18.

**Figura 21: Ar condicionado split teto Springer space air**



Fonte: CentralAr.com (2023)

**Tabela 18. Dados Ar Condicionado Split Springer Space Air**

| Especificações Técnicas |             |                                    |            |
|-------------------------|-------------|------------------------------------|------------|
| Evaporadora             |             |                                    |            |
| Voltagem                | Vazão de ar | Largura / Altura                   | Peso       |
| 380V                    | 2,380m³/h   | 1,66 x 0,230m                      | 40,3kg     |
| Condensadora            |             |                                    |            |
| Voltagem                | Fase        | Gás                                | Frequência |
| 380V                    | Trifásico   | R410-A                             | 60Hz       |
| Capacidade              |             | Classificação Energética (INMETRO) |            |
| 57.000,00BTU/h          |             | B                                  |            |
| Largura                 | Altura      | Profundidade                       | Peso       |
| 0,623m                  | 0,759m      | 0,623m                             | 59,1kg     |

Fonte: CentralAr.com (2023)

Observando as características do aparelho pode-se notar que o equipamento é capaz de fornecer o necessário para suprir a demanda térmica de ambientes com uma área grande. Deste modo, faz-se necessário o comparativo das cargas térmicas que foram encontradas para o refeitório com as centrais de ar instaladas no local. A tabela 19 mostra a capacidade frigorífica total do ambiente junto com uma estimativa de custo.

**Tabela 19. Aparelhos de ar condicionado**

| Aparelho              | Qnt | Capacidade frigorífica BTU/h | Valor         |
|-----------------------|-----|------------------------------|---------------|
| Ar condicionado Split | 9   | 57.000,00                    | R\$ 8.741,06  |
| Total                 |     | 513.000,00                   | R\$ 78.669,54 |

Fonte: Autoria própria (2023).

A partir dos dados obtidos na tabela 17 o projeto de carga térmica do refeitório obteve-se um valor total de 361.057,06 BTU/h e relacionando com a capacidade dos equipamentos já instalados no local percebe-se uma diferença relativamente alta de aproximadamente 152.000,00 BTU/h em relação ao que seria o correto para o refeitório, contribuindo com uma carga de 40% a mais em relação ao total encontrado e consequentemente tornando o projeto um pouco mais caro e superdimensionado. A NBR 16401-2 (2008) estipula que o ambiente deve produzir uma sensação aceitável de conforto térmico em 80% ou mais das pessoas, a ideia do trabalho surgiu devido ao alto índice de reclamações de “Frio” no refeitório que, devido a isso os responsáveis pelo recinto desativaram três dos aparelhos e o restante ficou operando à 18°C. Vale ressaltar que o local se utiliza da sua capacidade máxima de pessoas em raros momentos. Tendo isso em vista observa-se que o projeto estava atuando com uma capacidade além do necessário tornando o ambiente desconfortável para os usuários.

Levando em consideração a escolha dos equipamentos, foi uma seleção satisfatória visto que eles atendem as condições para tornar o ambiente termicamente confortável. Deste modo, resultados mais eficientes poderiam ser obtidos com uma distribuição melhor dos equipamentos pelo recinto e os custos de compra dos condicionadores poderiam ser reduzidos. Tendo em vista que sete dos aparelhos que já estão no local atuando com 90% da sua capacidade supririam a demanda térmica em suas condições máximas e com um fator de segurança térmica de 10% podendo assim suprir qualquer variação de temperatura interna e, além disso gerando quase R\$ 18.000,00 de economia para o projeto e o conforto dos ocupantes.

**Tabela 20. Dimensionamento ideal para o projeto**

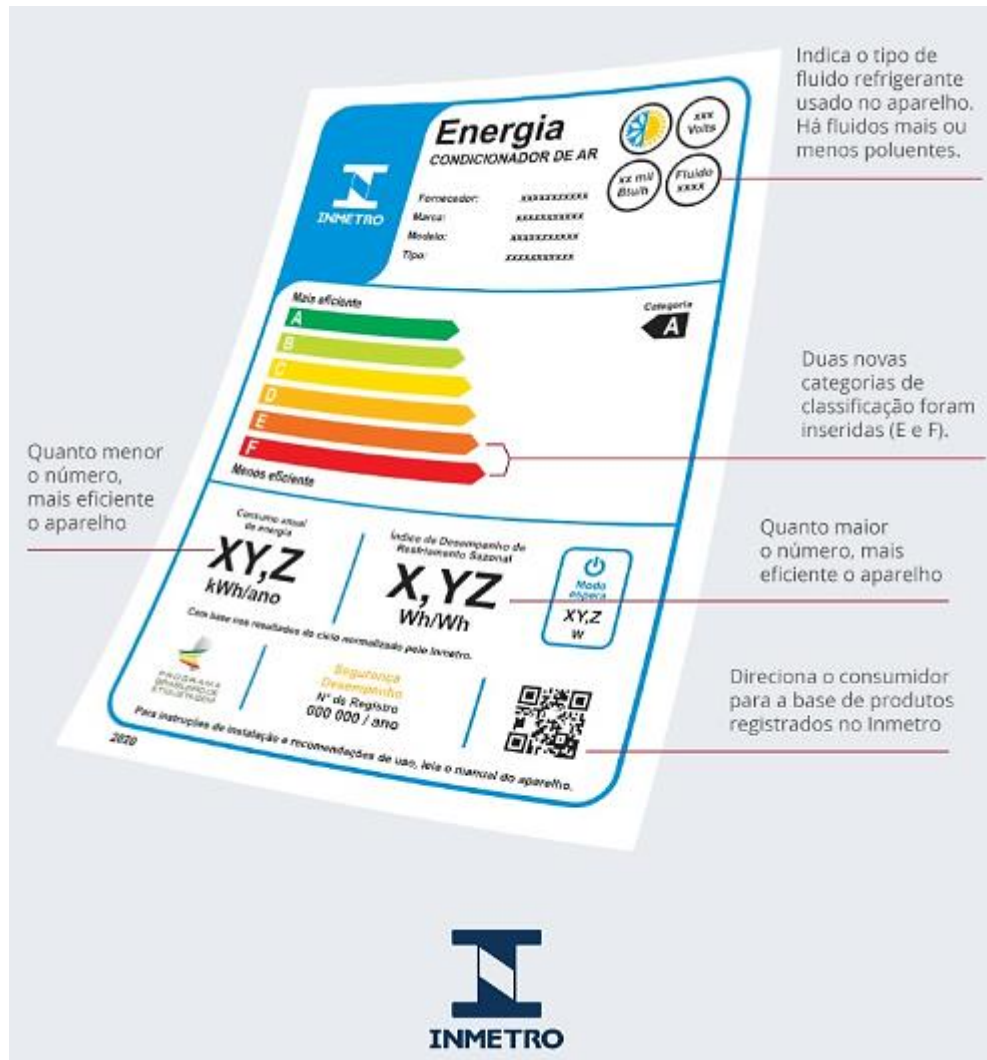
| Aparelho                     | Qnt | BTU/h      |
|------------------------------|-----|------------|
| Ar condicionado Split        | 7   | 57.000,00  |
| Carga total dos equipamentos |     | 399.000,00 |
| <b>Dados do projeto</b>      |     |            |
| Carga total do projeto       |     | 361.057,06 |
| Carga de segurança (10%)     |     | 37.943,00  |

Fonte: Autoria própria (2023).

Na tabela 20, observa-se que a carga de segurança tem um valor alto, devido a isso poderia-se substituir um dos equipamentos refrigeradores por um modelo de 36.000,00 BTU/h para que o projeto ficasse totalmente adequado, no entanto economicamente é questionável a substituição do aparelho visto que seus valores não têm uma diferença tão grande em relação ao equipamento já presentes no local.

Em relação a fatores de eficiência e economia o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) define algumas classificações para que um aparelho eletrônico caso do modelo de ar condicionado escolhido para o local ele possui uma classificação “B” que se difere de um modelo em que seu coeficiente de consumo é melhor, ou seja, consome menos energia realizando a mesma atividade e sua diferença seria pelo valor do equipamento já que uma central de ar com a classificação “A” e com as mesmas capacidades de demanda térmica está em média R\$ 2.500,00 mais caro em relação ao modelo instalado no refeitório, no entanto a longo prazo seria uma opção mais viável para o projeto. No caso dos aparelhos de ar condicionado suas classificações vão de “A” para os que consomem menos energia durante o uso e “D” para aqueles que tem um maior gasto. A Etiqueta Nacional de Consumo de Energia (ENCE) é o selo de conformidade do produto como pode ser visto na figura 22.

Figura 22: Etiqueta de eficiência energética dos aparelhos de ar condicionado



Fonte: INMETRO (2020)

O principal objetivo da etiqueta é de informar aos usuários na hora da compra quais fatores levar em consideração no momento de comprar o eletrônico podendo avaliar os melhores aspectos do produto como sua classificação, desempenho e consumo para que possa fazer uma escolha que julgue melhor, desse modo podendo gerar uma economia de energia de ate 20% em relação ao equipamento de classificação mais baixa e como já foi mencionado a longo prazo pode se tornar uma opção mais viável dependendo da escolha do consumidor.

## 5. CONCLUSÕES

Com os valores encontrados para as cargas térmicas utilizando a NBR 16655-3 (2019) obteve-se resultados satisfatórios com relação ao projeto ideal para o refeitório demonstrando os parâmetros de conforto aceitável para o local com o objetivo de evitar o superdimensionamento dos equipamentos.

Devido a isso foi possível estimar a carga térmica para cada requisito importante na concepção do projeto, observado-se que a carga térmica através das superfícies foi o resultado com maior parcela de contribuição para o projeto o que era esperado devido ao fato do ambiente ter uma área consideravelmente grande. É importante observar que cada dado obtido é diferente do outro, devido a isso faz-se necessário encontrar os dados para infiltração de ar, indivíduos no recinto, insolação, além de iluminação e equipamentos assim como foi realizado na metodologia do trabalho para se dimensionar com mais precisão cada carga térmica importante para a concepção do projeto.

Após se encontrar a carga térmica para todos os requisitos exigidos pela norma NBR 16655-3 (2019) foi encontrado uma carga térmica total que convertida equivale a 361.057,06 BTU/h, tendo em vista isso foi realizado um comparativo dos valores encontrados com relação aos equipamentos já presentes no local foi encontrado uma diferença bastante significativa. Com isso, percebe-se que o projeto inicial não atendeu as normas tendo sido superdimensionado em mais de 40% do ideal em virtude disso houve um desconforto térmico informado pelos ocupantes do recinto.

O projeto inicial do refeitório conta nove condicionadores de ar do tipo split padronizados de 57.000,00 BTU/h cada, que em média custa R\$ 8.741,06. Dessa forma, levando em consideração a capacidade e valores do equipamento eles atendem aos requisitos do projeto atual podendo fornecer conforto térmico adequado aos ocupantes do recinto com a ressalva de que apenas sete dos aparelhos de ar-condicionado do mesmo modelo suprem as necessidades térmicas do ambiente e com um bom fator de segurança de 10% em relação ao valor total calculado no trabalho sem riscos de ficar subdimensionado, deste modo tornando o ambiente mais confortável termicamente.

Portanto, concluiu-se que o principal objetivo do trabalho foi realizado, tendo em vista a comprovação do superdimensionamento dos equipamentos do recinto e, além disso ressaltando a importância de seguir as normas recomendadas no momento de elaborar um projeto visando não só o desempenho, mas também a economia e a satisfação dos ocupantes local.

### 5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliação de conforto térmica do mesmo local utilizando o modelo Voto Médio Previsto (PMV) e pela Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PDD)
- Análise de consumo de energia total visando a viabilidade econômica do projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 16655-3:2019: Instalação de sistemas residenciais de ar-condicionado - Split e compacto. Parte 3: Método de cálculo da carga térmica residencial.** Rio de Janeiro, RJ: ABNT. 2019.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 16401-:2008: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projetos das instalações.** Rio de Janeiro, RJ: ABNT. 2008.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 16401-2:2008: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 2: Projetos das instalações.** Rio de Janeiro, RJ: ABNT. 2008.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro, ABNT, 2005. 15 p.
- ArchDaily. **Como evitar as principais fontes de perda de energia nos edifícios.** Disponível em: < <https://www.archdaily.com.br/br/915544/evite-as-principais-fontes-de-perda-de-energia-em-sua-casa/5cc638df284dd12d4f000117-evite-as-principais-fontes-de-perda-de-energia-em-sua-casa-foto>>. Acesso em: 27 nov. 2022.
- ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **ANSI/ASHRAE Standard 2010: Ventilation for acceptable indoor air quality**, GA 30329. Atlanta: ASHRAE, 2010.
- ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **ANSI/ASHRAE Standard 55-2017: Thermal environmental conditions for human occupancy.** Atlanta: ASHRAE. 2017.
- A.salles. **Trocas térmicas entre corpo e ambiente e variáveis físicas ambientais e individuais.** Disponível em: < <https://www.asalles.com.br/conforto-termico-interacao-entre-corpos-e-ambiente/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.
- BRASIL. Ministério da Economia. **Inmetro – Etiqueta para condicionadores de ar.** 21 de fev. de 2022. Disponível em: < <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica> > Acesso em: 22 de dez. 2022. BRASIL. Ministério de Minas e Energia.
- BARBOSA MELLO, Construtora. **Projeto refeitório do gelado – Vale.** Pará; Parauapebas. 2020.

ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. 4ª Edição, AMGH, 2012.

CentralAr.com, **Ar condicionado Springer Space 57000BTU**. Disponível em: < <https://www.centralar.com.br/p/ar-condicionado-split-teto-on-off-springer-space-air-57000-btus-frio-220v-trifasico>>. Acesso em: 18 fev. 2023.

COSTA, Hudes Natan; Fortunato, Valerio Maria. **Renovação de ar energeticamente em instalações de ar condicionado** (2007). Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Mecânica) - Universidade Federal do Espírito Santo, 2007.

COSTA, Thiago Barroso. **Avaliação do conforto térmico de um escritório localizado no município de tucuruí/pa com base na norma abnt nbr 16401-2**. TCC (Graduação) 2021 – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará. Tucuruí, 2021.

CREDER, Hélio. **Instalações de Ar condicionado**. 6 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2004.

ENERGY INITIATIVE BRASIL (IEI BRASIL). **Você sabe escolher lâmpadas? Parte 1 – tipos de lâmpadas**. Disponível em: < <https://iei-brasil.org/2019/09/24/tipos-de-lampadas/>>. Acesso em: 20 Jan. 2023.

EMPÓRIOLUZ. **Saiba qual lâmpadas escolher para sua casa**. Disponível em: < <https://www.emporioluz.com.br/blog/dicas/saiba-qual-lampada-escolher-para-melhorar-a-iluminacao-da-sua-casa/>>. Acesso em: 20 Fev. 2023.

FERREIRA, P.A. Sistemas de ventilação híbridos em edifícios: análise energética resultante da implementação de sistemas de ventilação inovativos. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) — Universidade do Porto, Porto, 2006.

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

GOOGLE MAPS. **Google Earth website**. Disponível em: < <https://www.google.com/maps/@-6.001038,-50.133887,832m/data=!3m1!1e3>>. Acesso em: 9 dez. 2022.

GOMES, Stéphanie Murta. **Estudo da carga térmica e reset setpoint do sistema de condicionamento de ar em edificação pública baseado nos parâmetros externos**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Energia) - Universidade de Brasília Faculdade do Gama, Brasília, 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Ar-condicionado: Inmetro atualiza critérios para Programa Brasileiro de Etiquetagem**. Disponível em: <<https://www.gov.br/inmetro/pt-br/centrais-de-conteudo/noticias/ar-condicionado-inmetro-atualiza-criterios-para-o-programa-brasileiro-de>>

etiquetagem>. Acesso em: 20 Jan. 2023.

INTERNATIONAL ENERGY INITIATIVE BRASIL (IEI BRASIL). **O que é a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia? - (ENCE)**. Disponível em: <<https://iei-brasil.org/2019/05/30/o-que-e-a-etiqueta-nacional-de-conservacao-de-energia-ence/>>. Acesso em: 20 Jan. 2023.

LAMBERTS, Roberto. **Conforto térmico e stress térmico**. Florianópolis: LABEEE, 2002.

LAMBERTS, Roberto. **Conforto e stress térmico**. Florianópolis: LABEEE, 2011.

MARTINELLI, Luiz Carlos Jr. **Refrigeração e ar-condicionado: Psicrometria**. Panambi: DeTEC, 2002.

MATOS, R. S. **Climatização: Carga térmica em climatização**. Paraná, 2010. Disponível em: <[https://docs.ufpr.br/~rudmar/clima/material/5\\_CARGA%20TERMICA%20EM%20CLIMATIZACAO.pdf](https://docs.ufpr.br/~rudmar/clima/material/5_CARGA%20TERMICA%20EM%20CLIMATIZACAO.pdf)>. Acesso em: 09 jan. 2023

QUALITY, Ambiental. **Como deixar sua casa mais fresca sem usar ar-condicionado**. Disponível em: < <https://grupoqualityambiental.com.br/2022/04/24/ventilacao-natural-como-deixar-a-casa-fresca-sem-usar-ar-condicionado/>>. Acesso em: 05 Jan. 2023.

RETECjr, Soluções em energia. **A eficiência dos diferentes tipos de lâmpadas e quanto cada uma impacta na conta de energia**. Disponível em: <<https://www.retecjr.com/single-post/2017/12/06/a-efici%C3%A2ncia-dos-diferentes-tipos-de-l%C3%A2mpadas-e-quanto-cada-uma-impacta-na-conta-de-energ>>. Acesso em: 27 jan. 2023.

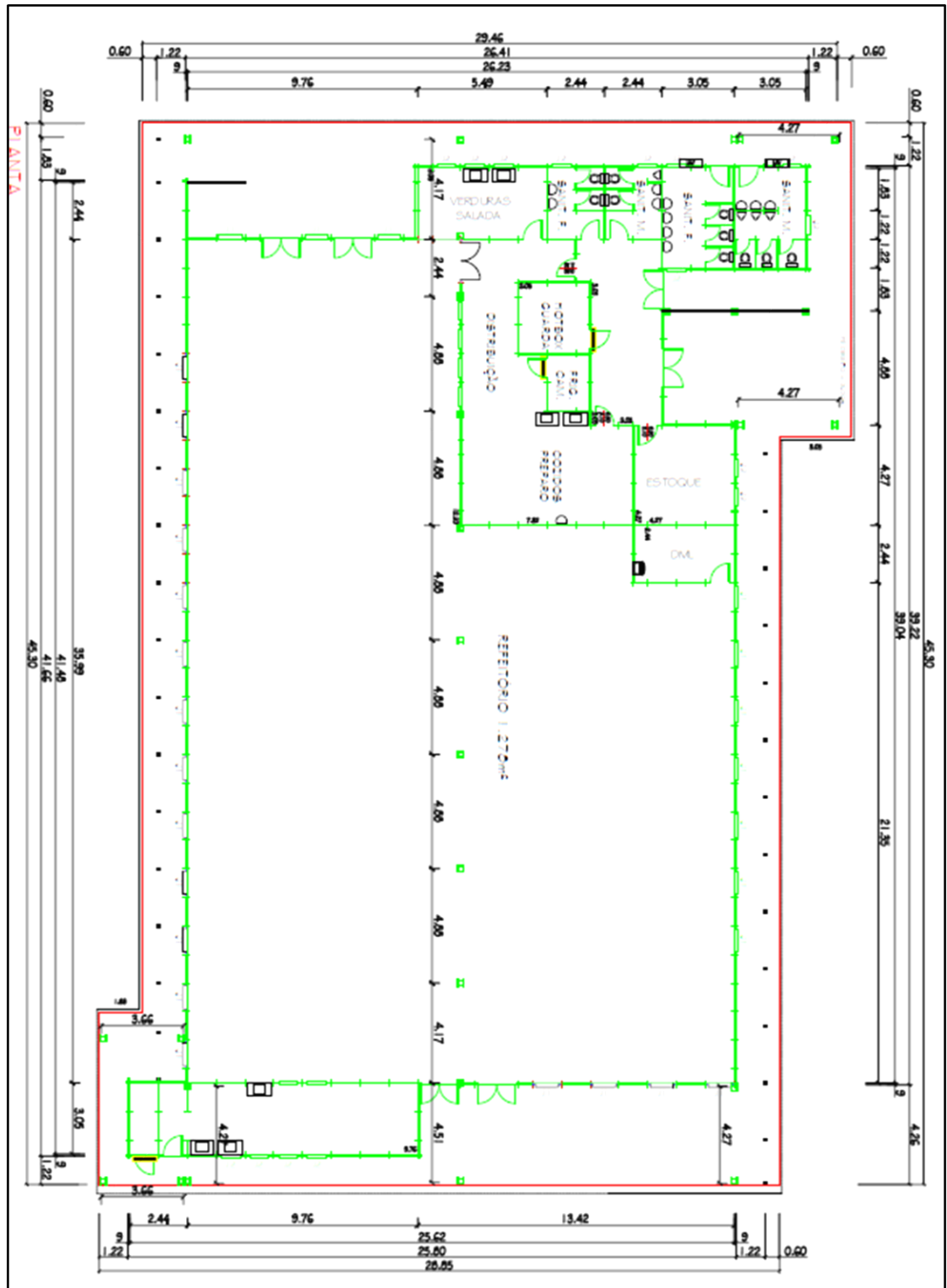
RODRIGUES, E. **Conforto térmico das construções: Processos de Transmissão de Calor**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2010. INTERNATIONAL

SILVA, Juarez de Sousa e et al.. **Princípios básicos de Psicrometria**. In: SILVA, Juarez de Sousa e. (Aut.). Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. 2 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2008.

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

UNISUL. **Eficiência energéticas em janelas**. Disponível em: <<https://Fenomenosdetransporte2unisul.wordpress.com/2018/06/29/>>. Acesso em: 27 nov. 2022.

ANEXO A – Cotas da planta do refeitório



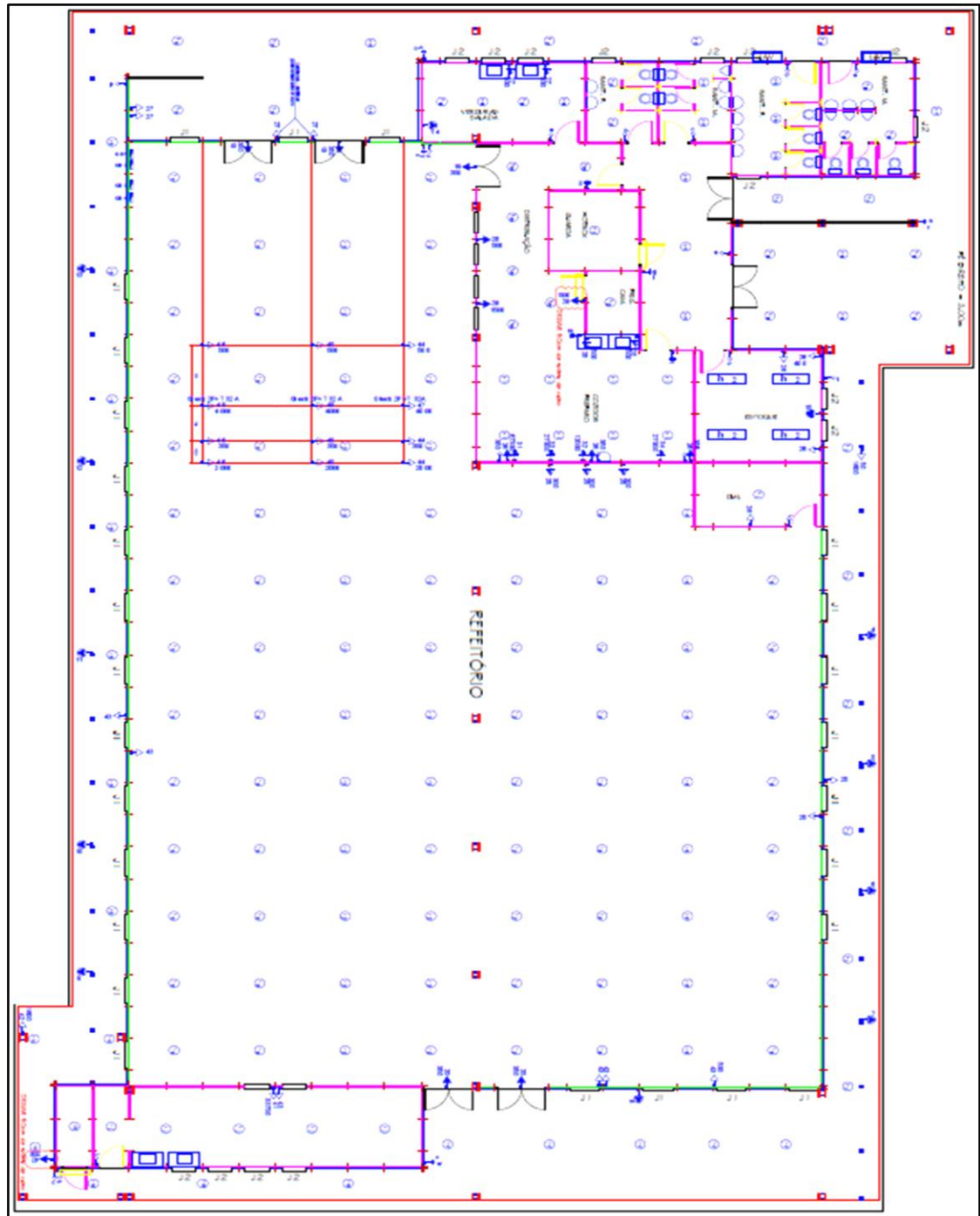
Fonte: Construtora Barbosa Mello (2020)

ANEXO B – Calor cedido ao ambiente (W), segundo a atividade desenvolvida pelo indivíduo

| <b>Atividade</b>                | <b>Calor Metabólico</b> | <b>Calor Sensível</b> | <b>Calor Latente</b> |
|---------------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|
| durante o sono (basal)          | 80                      | 40                    | 40                   |
| sentado, em repouso             | 115                     | 63                    | 52                   |
| em pé, em repouso               | 120                     | 63                    | 57                   |
| sentado, cosendo à mão          | 130                     | 65                    | 65                   |
| escritório (atividade moderada) | 140                     | 65                    | 75                   |
| em pé, trabalho leve            | 145                     | 65                    | 80                   |
| datilografando rápido           | 160                     | 65                    | 95                   |
| lavando pratos                  | 175                     | 65                    | 110                  |
| confeccionando calçados         | 190                     | 65                    | 125                  |
| andando                         | 220                     | 75                    | 145                  |
| trabalho leve, em bancada       | 255                     | 80                    | 175                  |
| garçom                          | 290                     | 95                    | 195                  |
| descendo escada                 | 420                     | 140                   | 280                  |
| serrando madeira                | 520                     | 175                   | 345                  |
| nadando                         | 580                     | —                     | —                    |
| subindo escada                  | 1280                    | —                     | —                    |
| esforço máximo                  | 870 a 1400              | —                     | —                    |

Fonte: Frota e Schiffer (2001)

## ANEXO A – Distribuição das luzes do refeitório



Fonte: Construtora Barbosa Mello (2020)