



UFRJ

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Gabriel Guerhart da Costa

**DIMENSIONAMENTO DA CARGA TÉRMICA E SELEÇÃO
DOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO PARA FRAÇÕES
AUTÔNOMAS DO EDIFÍCIO DO TEATRO MUNICIPAL DE
MACAÉ**

MACAÉ - RJ
2023

CIP - Catalogação na Publicação

D287

Costa, Gabriel Guerhart

Dimensionamento da carga térmica e seleção dos sistemas de refrigeração para frações autônomas do edifício do Teatro Municipal de Macaé / Gabriel Guerhart Costa - Macaé, 2023.

54 f.

Orientador(a): Diego Cunha Malagueta.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico, Bacharel em Engenharia Mecânica, 2023.

1. Carga térmica. 2. Sistemas de refrigeração. 3. Conforto térmico.
4. Teatro Municipal (Macaé, RJ). I. Malagueta, Diego Cunha, orient. II. Título.

CDD 624

GABRIEL GUERHART DA COSTA

**Dimensionamento da Carga Térmica e Seleção dos Sistemas de
Refrigeração para Frações Autônomas do Edifício do Teatro
Municipal de Macaé**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
submetido ao corpo docente do Instituto
Politécnico da Universidade Federal do Rio de
Janeiro – Campus Macaé, como parte dos
requisitos necessários à obtenção do título de
Engenheiro Mecânico.

Orientador: Diego Cunha Malagueta

MACAÉ - RJ
2023

GABRIEL GUERHART DA COSTA

DIMENSIONAMENTO DA CARGA TÉRMICA E SELEÇÃO DOS SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO PARA FRAÇÕES AUTÔNOMAS DO EDIFÍCIO DO TEATRO MUNICIPAL DE MACAÉ

Trabalho de conclusão de curso de graduação submetido ao corpo docente do Instituto Politécnico da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

BANCA EXAMINADORA

Prof^o Diego Cunha Malagueta, Orientador

Prof^o Marcelo Costa Cardoso, Membro

Prof^o Raquel Jahara Lobosco, Membro

Macaé, 27 de fevereiro de 2023

RESUMO

Este trabalho pretende dimensionar os sistemas de refrigeração adequados para ambientes que compõem o edifício do Teatro Municipal de Macaé. O prédio, de cinco andares, é utilizado para atividades recreativas, acadêmicas e burocráticas tais como: apresentações teatrais e aulas de música, dança ou teatro, pesquisas ministradas e trabalhos administrativos. Propôs-se o dimensionamento dos espaços fundamentais do edifício e, após tal estudo, se deu a seleção dos sistemas de refrigeração que mais se adequam a cada ambiente e que são capazes de atender às respectivas cargas térmicas de forma eficiente conforme as normas regulamentadoras vigentes, tais como a ABNT NBR 16401/2008 e as normas da ASHRAE (Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado), tendo em vista o devido conforto térmico de acordo com o padrão definido por essas normas. O trabalho contou com duas etapas de levantamento de dados, ambas envolvendo o cálculo de cargas térmicas e também contou com a definição dos sistemas adequados a cada fração autônoma estudada do edifício. Percebeu-se que o sistema atual está subdimensionado e por isso não supre a carga térmica necessária além de aumentar o desgaste dos aparelhos, portanto recomendou-se a atualização dos equipamentos segundo a seleção realizada.

Palavras-chave: Carga térmica; Sistemas de Refrigeração; Conforto Térmico.

ABSTRACT

This work aims to design the appropriate cooling system for the rooms of the municipal theater building. The Five-floor building is used to recreational, academics and bureaucratic activities, such as: presentations and classes of music, dance or theatrical performances, guided instructions, researches and office work. It was proposed the design of some main spaces in the building in order to select the cooling systems that best suit with each environment in it which are the same time able to resist the thermal loads applied and are in accordance with the regulatory standards, such as ABNT NBR 16401 /2008 and ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers) to offer the proper thermal comfort requires by this standards. The study was divided into two data collection stages, calculation of thermal loads and definition of the appropriate systems for each selected autonomous fraction in the building. It was noticed that the current system is undersized and therefore does not supply the thermal load required, in addition, it causes more devices wearing. The updating of this equipments according to the selection was suggested.

Key-words: Thermal load; Refrigeration Systems; Thermal comfort.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVOS.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. CALOR	15
2.2. CONDUÇÃO	15
2.3. CONVECCÃO	15
2.4. RADIAÇÃO.....	16
2.5. RESISTÊNCIA TÉRMICA	16
2.6. CICLOS DE REFRIGERAÇÃO.....	17
2.7. TIPOS DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO	18
2.7.1. Sistema unitário ou unidades de janela	18
2.7.2. Refrigerador split	19
2.7.3. Sistema Chiller	19
2.8. CARGA TÉRMICA.....	20
2.8.1. Condições Meteorológicas	21
2.8.2. Características da Construção	22
2.8.3. Carga Térmica de Transmissão	23
2.8.4. Carga Térmica de Ventilação e Infiltração	23
2.8.5. Fontes de Calor Internas	25
2.8.6. Somatório de Carga Térmica	28
3. METODOLOGIA	30
3.1. CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS	30
3.2. CARACTERÍSTICAS DA CONSTRUÇÃO.....	31
3.3. CARGA TÉRMICA DE TRANSMISSÃO	31
3.3.1. Superfícies Translúcidas	31
3.3.2. Superfícies Opacas	32
3.4. CARGA TÉRMICA DE VENTILAÇÃO E INFILTRAÇÃO	34
3.5. FONTES DE CALOR INTERNAS	35
3.5.1. Ocupação de Pessoas e Equipamentos	35
3.5.2. Iluminação	36
4. RESULTADOS	38
4.1. DADOS DE ENTRADA.....	38
4.2. CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS	38
4.3. SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS.....	39
4.4. COMPARAÇÃO COM SISTEMA ATUAL	40

5	CONCLUSÃO	43
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
7	APÊNDICES.....	46
8	ANEXOS	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Edifício do Teatro Municipal de Macaé.....	13
Figura 2 - Ciclo de Refrigeração por Compressão de Vapor Ideal	17
Figura 3 - Unidade de Janela.....	18
Figura 4 - Sistema Split.....	19
Figura 5 - Sistema Chiller	20
Figura 6 - Desenho técnico do Teatro Municipal de Macaé	47
Figura 7 - Desenho técnico dos ambientes que compõem o 2º andar do prédio.....	48
Figura 8 - Desenho técnico da sala Benedito Lacerda	49
Figura 9 - Desenho técnico do Auditório Eusébio Luiz Costa.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resistividade térmica e Resistência térmica referente à unidade de área para materiais de construção	22
Tabela 2 - Vazão Eficaz Mínima de ar Exterior para ventilação.....	24
Tabela 3 - Potência dissipada de alguns equipamentos.....	25
Tabela 4 - Potência dissipada por outros equipamentos.....	26
Tabela 5 - Fonte de calor por pessoas	26
Tabela 6 - Potência instalada por recinto	27
Tabela 7 - Fator de Carga Térmica (FCR) de resfriamento para iluminação	28
Tabela 8 - Área de janelas, portas, paredes e tetos	31
Tabela 9 - Dados para Cálculo de Carga Térmica de Transmissão em Superfícies Translucidas	32
Tabela 10 - Dados sobre Carga Térmica de Transmissão em Superfícies Opacas.....	33
Tabela 11 - Isolação Térmica(L/k) de portas, paredes e tetos	34
Tabela 12 - Dados sobre Carga Térmica de Ventilação e Infiltração.....	35
Tabela 13 - Dados sobre Fontes de Calor Internas – Ocupação/Equipamentos e Máquinas	36
Tabela 14 – Dados sobre Fontes de Calor Internas - Iluminação.....	37
Tabela 15 – Carga Térmica por ambiente BTU/h	38
Tabela 16 – Equipamentos Selecionados	40
Tabela 17 – Detalhamento Final	40
Tabela 18 – Sistema Atual x Demanda Térmica Calculada	41
Tabela 19 – Tabela de dados sobre os sistemas atuais utilizados no edifício	46
Tabela 20 - Tabela de dados sobre as características construtivas coletadas	51

LISTA DE GRÁFICOS

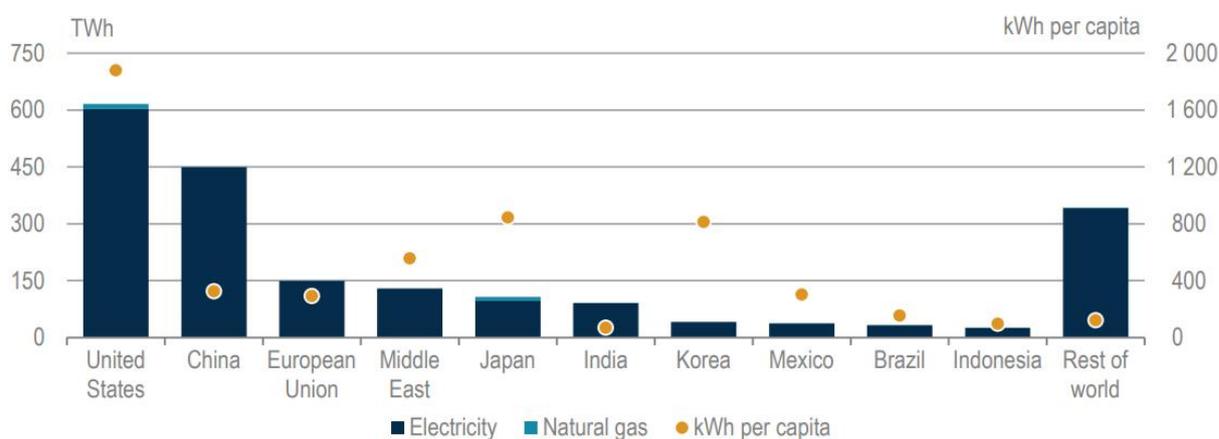
Gráfico 1 - Demanda de energia para refrigeração de ambientes no ano de 2016.....	11
Gráfico 2 - Posse de ar condicionado no setor brasileiro	12
Gráfico 3 - Carga Térmica por ambiente BTU/h.....	39
Gráfico 4 - Qtd de ar condicionado/ ambiente (Azul – proposto/Laranja – antigo).....	42
Gráfico 5 - Do somatório da Carga Térmica referente a Zona Térmica Geral.....	52
Gráfico 6 - Dados de Temperatura Externa/ Real e solar ao longo de 28/11/2021 – 28/11/2022	53
Gráfico 7 - Radiação Térmica ao longo de 28/11/2021 até 28/11/2022.....	54

1. INTRODUÇÃO

O uso consciente da energia é uma preocupação da época atual que vem crescendo desde a segunda metade do século XX. Prova disso são mecanismos que confirmam a conjuntura atual tais como a Primeira Conferência Mundial sobre o Homem e o meio ambiente (1972), O relatório Brundtland (1987), a Rio 92 e as Cops cuja mais recente é a Cop 27 (2022). O estilo de vida moderno principalmente nos países desenvolvidos necessita de grandes quantias de energia para se manter; dentre tantas causas é possível destacar o grande número de indivíduos consumindo. Não à toa em setembro de 2015, em nova york, foi estabelecida a agenda 2030 da ONU com participação de 193 estados membros, 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas universais que tem por finalidade mitigar problemas dessa modernidade, entre os ODS's vale ressaltar o 7 e o 12 que versam respectivamente sobre consumo e energia limpa.

Dentro desse contexto, a parcela de energia gasta atualmente com a refrigeração de ambientes seja em edifícios residenciais ou comerciais vem aumentando. O Gráfico 1 apresenta o consumo global de energia elétrica para resfriamento de edifícios, de todos os setores, por país no ano de 2016. A maior parcela de energia destinada para refrigeração do mundo cabe aos Estados Unidos que teve um consumo de cerca de 1.880 kWh per capita e o Brasil teve um consumo de cerca de 150 kWh per capita e, o Japão e a Coréia, mais de 800 kWh (TOCCHIO, 2020).

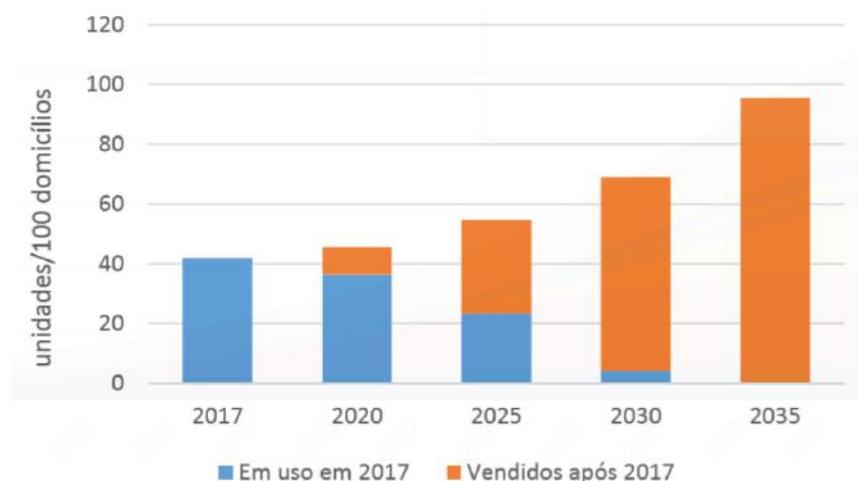
Gráfico 1 – Demanda de energia para refrigeração de ambientes no ano de 2016



Fonte: IEA, 2018

No Brasil em 2017, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2018), o consumo final referente à utilização de aparelhos de ar condicionado foi de 18,7 TWh, levando em conta somente o setor residencial, e as projeções indicam um crescimento de aproximadamente 40% nos próximos 10 anos, conforme é retratado no Gráfico 2. Os números revelam a importância de políticas de eficiência energética voltadas para uso de aparelhos de ar condicionado nas edificações (EPE, 2018).

Gráfico 2 – Posse de ar condicionado no setor brasileiro



Fonte: NOTA TÉCNICA EPE 030/2018 (2018)

Apesar do panorama de crescente demanda energética, seja no Brasil ou no mundo, sabe-se que uma parte desse gasto se constitui como indispensável, pois “traz benefícios para o desenvolvimento humano, saúde, bem estar, produtividade econômica...” (IEA, 2018) e principalmente quando se fala de conceitos envolvendo parâmetros de conforto térmico. Existem espaços nos quais uma climatização adequada é essencial, entre eles, podemos citar; Hospitais, Laboratórios, Teatro, cinema, escritórios, shoppings, aeroportos e bibliotecas, entre outros (SANDER, 2017).

Para mitigar uma parte do problema energético surgiram novas ideias como o conceito de eficiência energética colocado como a vanguarda das estratégias nacionais para o desenvolvimento sustentável (BRUNDTLAND et al, 1987). Nesse sentido, observa-se que diversas iniciativas podem ser empregadas tal como um aperfeiçoamento dos aparelhos de ar condicionados ou “estabelecer padrões mínimos globais de desempenho energético para os equipamentos de ar condicionado” (LEONARDO, 2018). Entretanto, uma das formas mais simples de consumir menos, com mais eficiência e custos mais reduzidos é fazendo um projeto de dimensionamento bem feito evitando

assim um superdimensionamento ou subdimensionamento do ambiente em análise. Tal projeto necessita do levantamento correto da carga térmica do local.

1.1. OBJETIVOS

A partir disso é de interesse a realização do dimensionamento de sistemas de refrigeração por ar condicionado para o edifício do Teatro Municipal de Macaé, respeitando a legislação nacional. O prédio que pode ser visualizado na Figura 1 é localizado na Avenida Rui Barbosa N° 780 no centro da cidade de Macaé e conta com cinco andares, mas o foco será dado as áreas que necessitam mais de um sistema de refrigeração, quais sejam, o teatro propriamente dito, no primeiro piso térreo, o 2° piso caracterizado pela biblioteca, a diretoria, a secretaria, que possui uma quantidade razoável de pessoas trabalhando num modelo de escritório, e demais salas, o 3° e 5° piso que apresentam salas de aulas.

Figura 1 - Edifício do Teatro Municipal de Macaé



Fonte: Autorial Própria

O processo de dimensionamento culminará com uma avaliação adequada da demanda energética para cada um desses espaços separadamente considerando-os frações autônomas da edificação e os resultados serão comparados com os dados atuais coletados na etapa de levantamento de dados. Por fim, propõe-se os sistemas de refrigeração convenientes de forma a evitar aparelhos com potência mais elevada que o necessário.

Um relatório será encaminhado para os responsáveis pelo espaço com o objetivo de que o presente trabalho seja útil na prática quando esses requisitarem uma reforma dos sistemas de refrigeração atuais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CALOR

O calor pode ser definido como uma energia térmica que flui de um corpo a outro, ou mesmo no vácuo, por meio de um gradiente de temperatura existente num meio ou entre meios. Esse movimento é chamado transferência de calor e ocorre sempre que existe uma diferença de temperatura entre pontos no espaço (INCROPERA, 2008) sendo que o sentido de movimento se dá do meio mais quente para o mais frio. A transferência de calor acontece de 3 formas, são elas a condução, a convecção e a radiação. No projeto em questão todas constituem fontes de calor a serem estudadas. Nos itens abaixo a discussão sobre tais fontes se aprofunda em cada uma delas.

2.2. CONDUÇÃO

Pode ser descrita como uma das 3 formas de transferência de calor, a qual necessita de um meio sólido opaco para ocorrer (WANG, 2001). Na condução o calor é transmitido através da vibração entre partículas vizinhas de um meio estacionário, portanto, o calor é transportado sem que haja o transporte de matéria. A equação matemática desse processo foi estabelecida por Fourier e diz que para o caso de uma parede plana o calor por condução é proporcional à diferença de temperatura existente entre os extremos da parede e a sua área transversal e inversamente proporcional ao comprimento da mesma, considerando um caso unidimensional (STOECKER *et al.*, 1985).

2.3. CONVECÇÃO

Esse fenômeno de transferência do calor acontece mediante o movimento relativo entre camadas de um fluido por meio de um mecanismo de “mistura” e pode ocorrer de duas formas: forçada ou natural (PENA, 2002). A convecção forçada ocorre quando uma fonte de potência causa o movimento do fluido, já na convecção natural esse movimento

acontece naturalmente devido a fatores como diferença de pressão e densidade (WANG, 2001).

2.4. RADIAÇÃO

O calor também pode ser transmitido sem a necessidade de um meio contínuo através do fenômeno chamado de radiação. É o que acontece com a luz do sol por exemplo quando atravessa o espaço e ao chegar na terra penetra por uma janela aquecendo um piso, o qual também irá irradiar seu calor para o ambiente (PENA, 2002). Pode-se dizer, então, que esse calor é transportado na forma de ondas eletromagnéticas ou fótons que viajam na velocidade da luz de uma superfície a outra, podendo ser absorvidos, refletidos ou transmitidos (STOECKER *et al.*, 1985). A absorvidade (α) determina a fração de radiação que é absorvida, a refletividade (π) determina a fração de radiação que é refletida, enquanto a transmissividade (τ) representa a parcela que é transmitida pela superfície (SANDER, 2017).

2.5. RESISTÊNCIA TÉRMICA

A resistência térmica é diretamente proporcional a diferença de temperatura e inversamente ao fluxo de calor e por isso pode ser definida como um quociente entre a variação de temperatura que ocorre entre os extremos de uma superfície sólida e a taxa de calor que transpõe essa superfície (INCROPERA, 2008). Uma alta resistência térmica implica numa capacidade do material da superfície em questão em fazer o fluxo de calor ser menor. Ela está presente no cálculo de carga térmica em superfícies opacas e possui outra forma de ser expressa que é de particular interesse nesse âmbito. Ela depende diretamente da espessura do material no qual o calor atravessa e inversamente da condutividade do material e de sua área de seção transversal. Isso significa que no caso de um fluxo de calor que atravessa uma parede quanto maior sua espessura maior é a resistência térmica para uma mesma condutividade térmica e área de seção. É importante ressaltar que o conceito de resistência térmica só pode ser aplicado a superfícies onde o calor funciona em regime estacionário e unidimensional (ÇENGEL, 2011). Para o cálculo da Resistência térmica é necessário conhecer valores de condutividade térmica (k) dos materiais ou a sua grandeza inversa chamada de resistividade térmica ($1/k$), bem como obter a espessura (L) das paredes pertinentes. O produto da resistividade térmica pela espessura do material (L/k) é denominado Isolamento Térmico e difere da resistência

térmica somente por um fator de $(1/A)$, onde A é área da seção transversal na qual atravessa um dado fluxo de calor. A associação de resistências térmicas pode ser descrita tal como a associação de resistores de modo que quando o fluxo de calor atravessa resistências térmicas em série a resistência total é dada pela soma de cada resistência, já quando há divisão de fluxo de calor ela será a soma dos inversos das resistências tal como num circuito em paralelo.

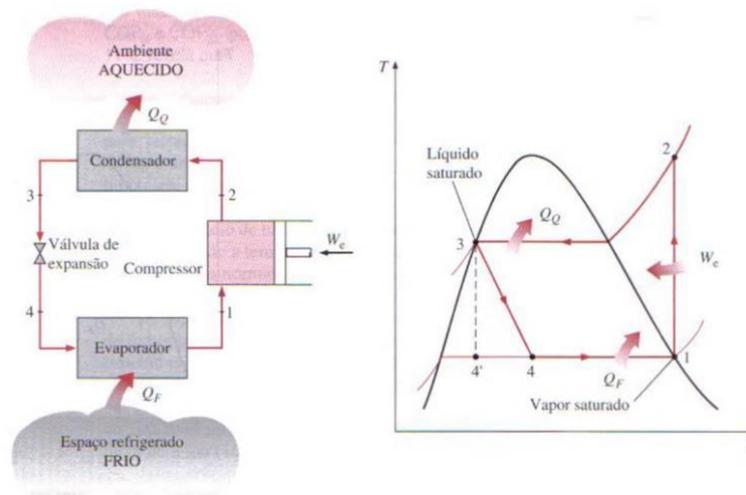
2.6. CICLOS DE REFRIGERAÇÃO

A transferência de calor de uma região com temperatura mais baixa para uma região com temperatura mais alta exige dispositivos especiais chamados de refrigeradores (ÇENGEL, 2011). Os ciclos nos quais esses equipamentos operam são denominados ciclos de refrigeração. Existem diversos tipos de ciclos de refrigeração tais como: o ciclo de refrigeração por compressão de vapor, o ciclo de refrigeração a gás, a refrigeração em cascata, a refrigeração por absorção, a refrigeração termoelétrica etc...

O ciclo de refrigeração por compressão de vapor é o mais usado para refrigeradores, sistemas de condicionamento de ar e bombas de calor. Portanto, cabe aqui um aprofundamento maior em sua análise.

No ciclo de refrigeração por compressão de vapor o refrigerante é vaporizado e condensado alternadamente e é comprimido na fase de vapor como é possível visualizar na Figura 2.

Figura 2 - Ciclo de Refrigeração por Compressão de Vapor Ideal



Fonte: Termodinâmica Cengel 5ª Ed.2006

Observa-se que esse ciclo consiste de 4 processos, quais sejam:

- 1-2 Compressão isoentrópica em um compressor
- 2-3 Rejeição de calor a pressão constante em um condensador
- 3-4 Estrangulamento em dispositivo de expansão
- 4-1 Absorção de calor a pressão constante em um evaporador

O ciclo de refrigeração acima apresentado, vale ressaltar, é um ciclo ideal por compressão de vapor no qual o refrigerante entra no compressor no estado 1 como vapor saturado e é comprimido de forma isoentrópica até a pressão do condensador. A temperatura do refrigerante aumenta durante esse processo de compressão isoentrópica até bem acima da temperatura da vizinhança. Em seguida, o refrigerante entra no condensador como vapor superaquecido no estado 2 e sai como líquido saturado no estado 3 como resultado da rejeição de calor para a vizinhança. A temperatura do refrigerante nesse estado ainda está acima da temperatura da vizinhança.

2.7. TIPOS DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

2.7.1. Sistema unitário ou unidades de janela

Os sistemas unitários, contêm o condensador e o evaporador em uma única caixa que move o ar quente para fora do edifício e o ar frio para dentro. Eles são também conhecidos como unidades de janela pois são projetados para serem pequenos o suficiente para caber em uma moldura de janela padrão (IEA, 2018). Além disso, são recomendados para uso em residências e em ambientes pequenos, possuem uma instalação prática e barata, mas o custo de energia e o barulho são algumas de suas desvantagens. A Figura 3 ilustra o sistema em questão.

Figura 3 - Unidade de Janela

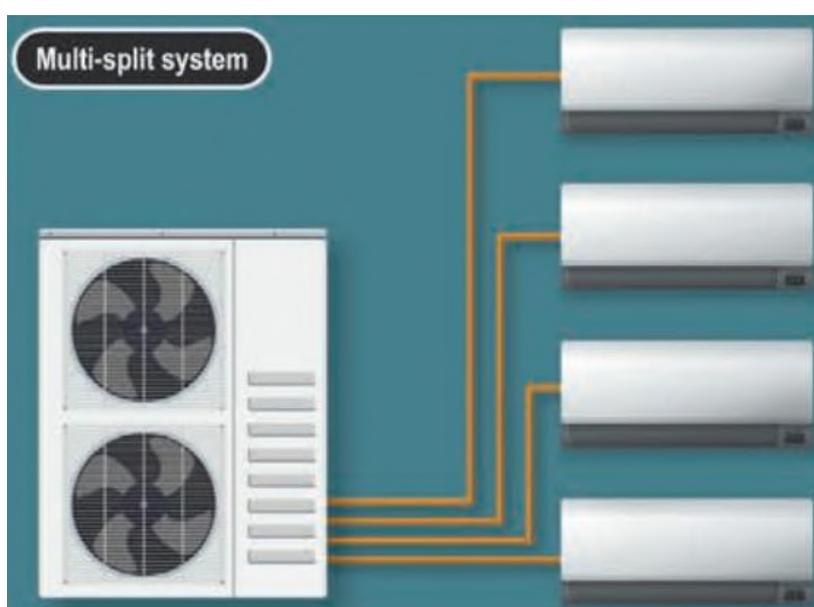


Fonte: Adaptado Blog DuFrio 2019

2.7.2.Refrigerador split

Os refrigeradores do tipo split ou ACs de sistema dividido variam de pequenas unidades de sala a grandes sistemas que podem resfriar um grande complexo de edifícios. Em todos os casos, o condensador está localizado fora do edifício e é separado por meio de tubulação que transporta o refrigerante para o evaporador, ou unidade de tratamento de ar, no interior do edifício.

Figura 4 - Sistema Split



Fonte: IEA, 2018

2.7.3.Sistema Chiller

Chillers são grandes ACs que produzem água gelada e a distribuem por todo o edifício, proporcionando uma refrigeração em rede através de tubos para um sistema interno que resfria o ar. Os chillers de ciclo de compressão podem ser centrífugos, alternativos ou acionados por parafuso. Os chillers de ciclo de absorção podem ser alimentados por eletricidade, gás natural ou mesmo calor solar.

Existem três tipos principais de chillers:

- Os chillers resfriados a água usam um condensador e refrigerante para rejeitar o calor para a água, que é bombeada para uma torre de resfriamento e circulada usando aletas para expelir o calor para a atmosfera (normalmente através de evaporação). Em

certos casos, as torres de resfriamento podem ser substituídas por trocadores de calor no solo, o que pode reduzir a quantidade de água a ser evaporada.

- Os chillers resfriados a ar possuem condensadores nos quais o refrigerante rejeita calor diretamente para o ar externo usando um ou mais ventiladores para resfriar as bobinas de troca de calor.

- Os chillers resfriados por evaporação envolvem o uso de um spray de água para rejeitar o uso de calor com mais eficiência. Esses chillers podem fazer uso de gás natural ou fontes de calor cogeneradas para acionar o ciclo de refrigeração. Isso pode ser particularmente útil em edifícios com grandes necessidades de refrigeração ou com necessidade simultânea de ar condicionado e aquecimento. Eles também aliviam a carga geral de eletricidade.

Figura 5 - Sistema Chiller



Fonte: IEA, 2018

2.8. CARGA TÉRMICA

Para evitar o subdimensionamento ou superdimensionamento de um ambiente ao se adotar um determinado sistema de refrigeração é necessário o correto cálculo de carga térmica (ASHRAE, 2013), ou seja, a escolha do tipo de sistema de refrigeração e da quantidade de ares condicionados de cada ambiente de uma edificação depende desse cálculo que nada mais é que uma contabilização das Cargas Térmicas. Uma carga térmica é definida como uma taxa de calor a ser retirada ou inserida no ambiente a fim de se manter a temperatura e a umidade relativas em níveis aceitáveis de conforto térmico (SANDER, 2017). Quanto a um projeto de refrigeração ela se refere, portanto, ao calor

que deve ser retirado do ambiente. As origens dessa taxa de calor variam de forma a constituir diferentes tipos de carga térmica, ou seja, existem calores ou taxas de calor que possuem natureza distinta sendo cada uma delas cargas térmicas a serem retiradas do espaço e contabilizadas no cálculo de carga térmica. A contabilização dos variados tipos de carga térmica será melhor explorada no item somatório de carga térmica. Toda carga térmica se apresenta em ciclos diários pois pode ser contabilizada de hora em hora e, justamente por isso, a recomendação da norma NBR 16401 é que as cargas térmicas de um recinto ou uma zona térmica sejam calculadas em quantas horas do dia forem necessárias para se determinar a carga térmica máxima, bem como as épocas de sua ocorrência. Portanto, todas as três formas de calor discutidas nos 3 primeiros subitens desta seção 2. influenciam nos tipos de Cargas Térmicas à sua maneira, sendo essas medidas em Watts ou BTU/h. A seguir discorre-se sobre os conceitos necessários para que posteriormente seja executado o cálculo. No fundo o que se tem são os desdobramentos das diferentes formas de transferência de calor na prática para o cálculo da Carga Térmica.

2.8.1. Condições Meteorológicas

Numa primeira etapa de levantamento obter dados sobre clima se constitui como um fator essencial nos projetos de ares condicionados pois eles estão intimamente ligados com o calor de radiação que corresponde como um dos fatores que mais interfere na Carga Térmica de Transmissão em Superfícies Translúcidas (SANDER, 2017). Portanto, um dos dados mais importantes é a radiação térmica (medida em W/m^2), além dessa, outras características meteorológicas relevantes são a temperatura externa ao longo do tempo, as condições do vento e a umidade do ar. Todas essas grandezas configuram as condições do meio externo de uma edificação. A partir disso, é necessário coletar esses dados em ciclos diários e de hora em hora, pois ao se realizar o cálculo de carga térmica de um recinto ou zona térmica é preciso analisar qual a Carga Térmica Máxima do conjunto de valores garantindo, portanto, o conforto para o ambiente em qualquer ocasião ao longo do ano ou período determinado como estações do ano (STOECKER *et al.*, 1985). Para os valores de temperatura externa é recomendado pela ASHRAE que estes sejam transformados na temperatura Sol – ar que corresponde a um termo de equivalência entre a temperatura externa, o coeficiente convectivo, radiação solar e absorvidade da parede. Essa conversão é de particular importância pois o efeito de armazenamento térmico de

superfícies pode ser significativo. Na prática a temperatura Sol -ar é maior que temperatura externa coletada o que implica uma segurança maior para o projetista no cálculo de carga térmica em garantir que o conforto térmico seja atingido sem porém estar cometendo superdimensionamento.

2.8.2. Características da Construção

Dentro da etapa de levantamento de dados é mister a coleta dos detalhes construtivos e arquitetônicos da edificação.

Dentre os fatores importantes ligados à construção estão o material de janelas, portas, paredes e tetos, suas dimensões e suas propriedades térmicas como condutividade térmica, resistividade térmica, isolamento térmica e resistência térmica. Isso acontece pois tais informações influenciam diretamente na forma como acontece a transferência de calor e, logo, algumas são dados de entrada nas diferentes equações que computam as cargas térmicas ou são necessárias para a obtenção de outros parâmetros e coeficientes que serão utilizados nessas equações segundo o cálculo de carga térmica.

A norma NBR 16401 da suporte para que as análises necessárias sejam feitas não só por meio de seu conteúdo descritivo, mas também através das tabelas contendo referências fundamentais sobre esses parâmetros e coeficientes necessários a devida aplicação das equações envolvidas no cálculo. É o que se encontra, por exemplo, na Tabela 1 abaixo e posteriormente em outras que se seguirão no decorrer do trabalho.

Numa segunda etapa de levantamento de dados é feita visita ao local no qual para cada ambiente que se pretende obter a carga térmica as seguintes informações são coletadas:

- Número de Pessoas no ambiente;
- Número de Lâmpadas, seu tipo e potência;
- Número de Equipamentos, seu tipo e potência;
- Quantidade de Janelas, seu material e suas dimensões;
- Quantidade de Portas, seu material e suas dimensões;
- Dimensões e Materiais de Paredes;
- Dimensões e Materiais de Tetos ou Lajes.

Tabela 1 - Resistividade térmica e Resistência térmica referente à unidade de área para materiais de construção

Materiais	1/ k (m × K / W)	R (k/W)
<i>Exteriores:</i> Tijolo aparente	0,76	
Tijolo comum	1,39	
Estuque	1,39	0,04
Bloco de concreto de 200 mm	5	
Laterais de madeira compensada, 10 mm		0,10
Laterais de alumínio ou aço e isolante 10 mm		0,32
<i>Revestimento:</i> Madeira compensada	8,66	
Placas de fibra, densidade normal, 13 mm		0,23
Placas de madeira aglomerada com resina	7,35	
<i>Telhados:</i> Telhado pré-moldado 10 mm		0,06
<i>Concreto:</i> À base de areia e cascalho	0,55	
Agregado leve	1,94	
<i>Materiais isolantes:</i> Manta de fibra mineral, 75-90 mm		1,94
Enchimento de fibra mineral, 160 mm		3,35
<i>Materiais interiores:</i> Estuque de 15 mm		0,08
Rebocos à base de cimento	1,39	
Rebocos à base de gesso leve 16 mm		0,066
Madeira pinho macia.	8,66	
<i>Parede e portas:</i> DryWall	26,3	
<i>Vidro Plano</i>		
Vidro simples	1,25	
<i>Propriedades</i>	Tau	Alpha
Vidro simples	0,85	0,07
	<i>U, (W/m²K)</i>	
	Verão	Inverno
Vidro simples	5,9	6,2
Folha dupla, 6 mm de espaço de ar	3,5	3,3

Fonte: Adaptada de Stoeckers e Jones (1985).

2.8.3.Carga Térmica de Transmissão

A Carga térmica de transmissão pode ser dividida em Carga térmica de Superfícies Translúcidas e Carga térmica de Superfícies Opacas. O primeiro caso diz respeito à interação do calor com as características construtivas feitas de materiais translúcidos, tipicamente Janelas, enquanto o segundo caso refere-se, quase sempre, à interação com paredes e tetos (ALVAREZ, 2019).

2.8.4.Carga Térmica de Ventilação e Infiltração

A ventilação e infiltração estão ligadas a taxa de renovação de ar, ela pode ser realizada por equipamentos mecânicos, como filtros de ar e ventiladores ou mesmo por métodos naturais como a abertura de portas e janelas. Sua função é o aumento da dissipação de calor acumulada e diminuição da concentração de gases gerados na expiração do ser humano (SANDER, 2017).

A Tabela 2 serve de base para o levantamento de parâmetros presentes na equação que caracteriza os efeitos da carga térmica de ventilação e infiltração.

Tabela 2 - Vazão Eficaz Mínima de ar Exterior para ventilação

Local	Pessoas/100m ²	Fp (l/s.pessoas)	Fs (l/s.m ²)
Supermercado de alto padrão	8	4,8	0,4
Supermercado de médio padrão	10	4,8	0,4
Supermercado popular	12	4,8	0,4
Centros comerciais	40	4,8	0,4
Lojas	15	4,8	0,8
Salão de beleza	25	12,5	0,8
Pet shops	10	4,8	1,1
Lavanderias	20	4,8	0,4
Hall de edifícios, recepção	10	3,1	0,4
Escritórios de diretoria	6	3,1	0,4
Escritórios de baixa densidade	11	3,1	0,4
Escritórios de média densidade	14	3,1	0,4
Escritórios de alta densidade	20	3,1	0,4
Sala de reunião	50	3,1	0,4
CPD	4	3,1	0,4
Call center	60	4,8	0,8
Bancos, área pública	41	4,8	0,4
Caixa forte	5	3,1	0,4
Saguão de aeroporto	15	5,3	0,4
Sala de embarque de aeroportos	100	5,3	0,4
Biblioteca	10	3,5	0,8
Museu e galeria de arte	40	5,3	0,4
Local de culto	120	3,5	0,4
Plenário de legislativo	50	3,5	0,4
Lobby de teatro, cinema e auditório	150	3,5	0,4
Platéia de teatro, cinema e auditório	150	3,5	0,4
Palco de teatro, cinema e auditório	70	6,3	0,4
Sala de audiências de tribunal	70	3,5	0,4
Boliche	40	6,3	0,8
Ginásio, área do público	150	4,8	0,4
Ginásio coberto	-	-	0,4
Piscina coberta	-	-	3,0

Academia aeróbica	40	12,5	0,4
Academia aparelhos	10	6,3	0,8
Sala de aula	35	6,3	0,8
Laboratório de informática	25	6,3	0,8
Laboratório de ciências	25	6,3	1,1
Apartamento de hóspedes	-	6,9	-
Banheiro privativo de hotéis	-	2,5	-
Sala de estar e lobby de hotéis	30	4,8	0,4
Sala de convenções	120	3,1	0,4
Dormitório coletivo	20	3,1	0,4
Salão de refeições de restaurante	70	4,8	1,1
Salão de coquetéis de bares	100	4,8	1,1
Cafeteria, lanchonete e refeitórios	100	4,8	1,1
Salão de jogos	120	4,8	1,1
Discoteca e danceterias	100	12,5	0,4
Jogos eletrônicos	20	4,8	1,1
OBS: densidade do ar(ρ) é $1,2 \text{ kg/m}^3$ e calor específico do ar é 1009 J/kg.K			

Fonte: Adaptado NBR 16401-3 “Instalações de ar-condicionado – Sistemas Centrais e Unitários. Parte 3: Qualidade do ar anterior”

2.8.5. Fontes de Calor Internas

As fontes de calor internas podem ser divididas em ocupação de pessoas, iluminação e equipamentos. Todos esses elementos constituem fontes de calor que devem ser computados no cálculo de carga térmica.

Para o caso das contribuições de carga térmica devido aos equipamentos presentes deve ser considerada as Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Potência dissipada de alguns equipamentos

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

Fonte: ABNT NBR-16401-1

Tabela 4 - Potência dissipada por outros equipamentos

Impressoras e copiadoras	Uso contínuo (W)	1 página por minuto (W)	Ligada em espera (W)
• Impressoras a laser			
De mesa, pequena	130	75	10
De mesa	215	100	35
De escritório, pequena	320	160	70
De escritório, grande	550	275	125
• Copiadoras			
De mesa	400	85	20
De escritório	1100	400	300

Fonte: ABNT NBR-16401-1

Para o caso das contribuições de carga térmica devido a ocupação de pessoas deve ser considerada a Tabela 5.

Tabela 5 - Fonte de calor por pessoas

Nível de atividade	Local	Calor total (W)		Calor Sensível (W)	Calor Latente (W)
		Homem adulto	Ajustado M/F ¹		
Sentado no teatro	Teatro Matinê	115	95	65	30
Sentado no teatro, noite	Teatro noite	115	105	70	35
Sentado, trabalho leve	Escritórios, hotéis, apartamentos	130	115	70	45
Atividade moderada em trabalhos de escritório	Escritórios, hotéis, apartamentos	140	130	75	55
Parado em pé, trabalho moderado, caminhando	Loja de varejo ou de apartamentos	160	130	75	55
Caminhando; parado em pé	Farmácia, agência bancária	160	145	75	70
Trabalho sedentário	Restaurante	145	160	80	80
Trabalho leve em bancada	Fábrica	235	220	80	140
Dançando moderadamente	Salão de baile	265	250	90	160
Caminhando 4,8km/h; trabalho leve em máquina operatriz	Fábrica	295	295	110	185
Jogando boliche	Boliche	440	425	170	255
Trabalho pesado	Fábrica	440	425	170	255

Trabalho pesado em máquina operatriz; carregando carga	Fábrica	470	470	185	285
Praticando esportes	Ginásio, academia	585	525	210	315

Fonte: Adaptado NBR 16401-1 “Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projetos das instalações”

Já no caso das contribuições de carga térmica devido a iluminação deve ser considerada as Tabelas 6 e 7.

Tabela 6 - Potência instalada por recinto

Local	Tipos de Iluminação	Nível de iluminação(lux)	Potência dissipada (W/m ²)
Escritórios e bancos	Fluorescente	500	16
Lojas	Fluorescente	750	17
	Fluorescente compacta		23
	Valor Metálico		28
Residências	Fluorescente compacta	150	9
	Incandescente		30
Supermercados	Fluorescente	1000	21
	Vapor Metálico		30
Armazéns climatizados	Fluorescente	100	2
	Vapor Metálico		3
Cinemas e teatros	Fluorescente Compacta	50	6
	Vapor Metálico		4
Museus	Fluorescente	200	5
	Fluorescente compacta		11
Bibliotecas	Fluorescente	500	16
	Fluorescente compacta		28
Restaurantes	Fluorescente compacta	150	13
	Incandescente		41
Auditórios			
a) Tribuna	Fluorescente	750	30
	Fluorescente compacta		32
b) Plateia	Fluorescente	150	10
c) Sala de Espera	Vapor metálico	200	18
	Fluorescente compacta		8

Hotéis			
a) Corredores	Fluorescente compacta	100	8
b) Sala de leitura	Fluorescente	500	15
	Fluorescente compacta		22
c) Quartos	Fluorescente compacta	150	9
	Incandescente		30
d) Sala de Convenções			
- Platéia	Fluorescente	150	8
- Tablado	Fluorescente	750	30
	Fluorescente compacta		30
e) Portaria e Recepção	Fluorescente	200	8
	Fluorescente compacta		9

Fonte: Adaptada de Stoeckers e Jones (1985).

Tabela 7 - Fator de Carga Térmica (FCR) de resfriamento para iluminação

Nº de horas após as luzes se acenderem	Lâmpadas penduradas e ventiladas Horas de Operação		Lâmpadas penduradas e ventiladas Horas de Operação	
	10 horas	16 horas	10 horas	16 horas
8	0,82	0,87	0,95	0,95
9	0,84	0,88	0,96	0,96
10	0,85	0,89	0,07	0,97
11	0,82	0,90	0,22	0,98
12	0,29	0,91	0,18	0,98
13	0,26	0,92	0,14	0,98

Fonte: Adaptada de Stoeckers e Jones (1985).

2.8.6. Somatório de Carga Térmica

A Carga Térmica total num determinado ambiente é obtida a partir da soma de todas as cargas térmicas mencionadas acima, considerando o princípio de superposição (SANDER, 2017). Logo, o valor encontrado no cálculo para um recinto ou considerando uma zona térmica é na verdade um Tipo de Carga térmica provinda da soma de toda a quantidade de calor contabilizada naquele espaço, ou seja, a interação entre o calor, seus modos de transmissão e esse meio gera os distintos tipos de carga térmica. Na prática se tem para um dado ambiente um conjunto de valores de carga térmica total diferentes a depender da hora do dia devido a fatores intrínsecos da edificação em questão e físicos

do ambiente que a cerca que naturalmente geram essa diferença. Para o cálculo de carga térmica esses valores devem ser analisados de forma a encontrar-se o valor máximo ao longo de um dado período de tempo.

Para cada espaço o que se terá de fato é uma grande quantidade de Valores de Carga térmica total diferentes segundo a temperatura exterior utilizada, pois essa afeta os valores de carga térmica de transmissão em superfícies opacas e valores de carga térmica de ventilação e infiltração. O tratamento que se dá a esses valores é visto no capítulo 3.

3. METODOLOGIA

3.1. CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

Numa primeira etapa de levantamento os dados de radiação e temperatura externa foram obtidos através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) diretamente da Estação Meteorológica de Macaé – A608, bem como as informações sobre condições de vento e umidade do ar, todavia a opção de manter um valor constante para o coeficiente convectivo he acarreta no descarte dessas. O instituto forneceu os dados de hora em hora e por isso tanto para a radiação quanto para a temperatura externa foi realizada uma análise do máximo valor dentro de um ciclo diário, resultando em valores máximos ao longo de um período de um ano. Esse conjunto serviu de input para o cálculo da carga térmica total diária de um ambiente e posteriormente tomou-se a Carga Térmica máxima dentro do referido tempo.

Para valores de carga térmica referentes a Transmissão em Superfícies Opacas, adotou-se a temperatura ‘sol-ar’, conforme mencionado no item 2.8.1. Definida, de acordo com Stoecker&Jones (1985), na equação (1):

$$T_{sol-ar} = \left(\frac{\alpha I_t}{h_e} + T_e \right) \quad (1)$$

Onde:

α : absorvidade;

T_e : Temperatura externa, em °C;

h_e : Coeficiente de convecção externo, em W/m²K ou W/m²°C;

I_t : Irradiação da superfície exterior, em W/m². Considera-se aqui a soma dos termos de radiação direta mais a radiação difusa;

Nessa primeira etapa de levantamento de dados realizou-se o tratamento de dados com o auxílio do programa excel, consolidando os dados de entrada de temperatura externa, temperatura externa sol-ar e radiação. Conforme dito, as informações foram reunidas numa tabela de valores máximos de cada dia completando um período de um

ano ou 367 linhas de dados. Devido a tamanha quantidade de valores, uma opção de visualização dos mesmos são os anexos A e B, o qual apresenta os gráficos de temperatura externa, temperatura externa solar e radiação térmica respectivamente. Para a temperatura interna fixou-se um valor de projeto de 23°C atendendo aos parâmetros de conforto térmico.

3.2. CARACTERÍSTICAS DA CONSTRUÇÃO

Em visita feita ao local coletou-se os dados que constituem as características da construção conforme item 2.8.2 e esses foram devidamente organizados por meio dos desenhos técnicos presentes nos apêndices B, C, D e E utilizando software AutoCAD. Já o Excel auxiliou todo o tratamento de dados necessários para o presente estudo e o correto cálculo de carga térmica, sendo por meio desse também o cálculo da área de janelas, portas, paredes e teto. A Tabela 8 expõe esses dados de entrada.

Tabela 8 - Área de janelas, portas, paredes e tetos

Ambientes Dimensionados	A(m ²) Janelas	A(m ²) Portas	A(m ²)Parede- DryWall	A(m ²)Parede- Concreto	A(m ²) Teto
Teatro Municipal	0,0	3,29	0,0	828,31	454,40
Biblioteca	4,80	3,29	20,62	22,39	31,65
Sala A	2,40	1,64	37,55	12,79	31,65
Sala de Música	7,20	1,64	27,47	21,91	36,71
Sala de Aula	7,20	1,64	26,51	20,95	34,18
Sala B	2,40	1,64	37,55	12,79	31,65
Diretoria	2,40	1,64	29,96	2,81	15,85
Secretaria	4,80	1,64	17,94	30,38	32,05
Sala Benedito Lacerda	14,41	1,64	25,24	42,86	70,90
Auditório Eusébio Luiz Costa	14,41	3,29	23,60	73,24	141,8

Fonte: Autoria Própria

3.3. CARGA TÉRMICA DE TRANSMISSÃO

3.3.1. Superfícies Translúcidas

Para o cálculo de carga térmica em superfícies translúcidas foi considerada a equação (2) segundo (STOECKER *et al.*, 1985):

$$q_{tr} = \left(\frac{\alpha U}{h_e} + \tau \right) \cdot I_t \cdot A \quad (2)$$

Onde:

α : absortividade do vidro;

τ : transmitância do vidro;

h_e : Coeficiente de convecção externo, em W/m²K ou W/m²°C;

U: Coeficiente global de transferência de calor;

I_t : Irradiação da superfície exterior, em W/m². Considera-se aqui a soma dos termos de radiação direta mais a radiação difusa;

A: Área das janelas expostas diretamente a radiação solar, em m².

Alguns dos parâmetros pertinentes para aplicação da equação acima foram obtidos a partir da análise da Tabela 1 do item 2.8.2 e são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Dados para Cálculo de Carga Térmica de Transmissão em Superfícies Translucidas

Janelas	
A todos os ambientes adotou-se os seguintes parâmetros:	
Coeficiente Global	5,9 W/m ² K
Tau	0,85
Alpha	0,07

Fonte: Autoria Própria

3.3.2. Superfícies Opacas

Para o cálculo de carga térmica em Superfícies Opacas foi considerada a equação (3) segundo (STOECKER *et al.*, 1985):

$$q_{op} = A \cdot (T_{sol-ar} - T_i) / \left(\frac{L}{k} \right) \quad (3)$$

Onde:

T_{sol-ar} : Temperatura externa, em °C;

T_i : Temperatura interna, em °C;

A: Área das paredes expostas diretamente a radiação solar, em (m²)

L: Espessura das paredes, em (m);

k: condutividade térmica do material de paredes e tetos, em (W/mK);

A Tabela 10 consolida os parâmetros e coeficientes devidos para o uso da equação acima mencionada e foi baseada na análise da Tabela 1 do item 2.8.2.

Tabela 10 - Dados sobre Carga Térmica de Transmissão em Superfícies Opacas

Portas	
A todos os ambientes adotou-se os seguintes parâmetros:	
Coeficiente (1/k)	26,3
Material	DryWall
Exceto o Auditório Eusébio Luiz Costa, o qual utilizou-se:	
Coeficiente (1/k)	1,25
Material	Vidro Simples
Paredes e Teto/Laje	
A todos os ambientes adotou-se os seguintes parâmetros:	
Coeficiente (1/k) – Tijolo Aparente	0,76
Coeficiente (1/k) – Estuque/Reboco	1,39
OBS: Para o Teto de todos os ambientes considerou-se bloco de concreto de 200mm de espessura com resistividade térmica de 5 (m ² k)/W	

Fonte: Autoria Própria

Para finalizar esse item restam ainda os dados sobre Isolação Térmica relacionados aos materiais que constituem portas, paredes e teto, eles são apresentados na Tabela 11

Tabela 11 - Isolação Térmica(L/k) de portas, paredes e tetos

A todos os ambientes adotou-se os seguintes parâmetros:		
Portas	DryWall	0,921
	VidroComum	0,0
Paredes	Tijolo	0,076
	Estuque	0,014
	Reboco	0,042
	OBS: Paredes de DryWall usar mesmo valor das portas de DryWall	
Tetos	Laje	Ver Tabela1

Fonte: Autoria Própria

3.4. CARGA TÉRMICA DE VENTILAÇÃO E INFILTRAÇÃO

Para o cálculo de carga térmica relacionada aos fenômenos de ventilação e infiltração de ar foi considerada as equações (4) e (5), de acordo com a NBR16401:

$$q_{vent} = \rho_{ar} \cdot C_{p,ar} \cdot \dot{Q}_{vazão} \cdot (T_e - T_i) \quad (4)$$

Onde:

Rô ar: densidade do ar, 1,2 Kg/m³;

Cp,ar: calor específico do ar, 1009 J/kg.K ;

Te: Temperatura externa;

Ti: Temperatura interna.

E a equação (5):

$$\dot{Q}_{vazão} = \frac{(F_p \cdot n_p - F_s \cdot A)}{1000} \quad (5)$$

Onde:

Fp: Vazão por pessoa, em L/s.pessoa;

np: Número de pessoas no recinto;

Fs: Vazão por área útil ocupada;

A: Área útil ocupada pelas pessoas, em m².

Quanto a Carga Térmica de Ventilação e Infiltração os parâmetros obtidos foram baseados na análise da Tabela 2 do item 2.8.4 e estão reunidos na Tabela 12.

Tabela 12 - Dados sobre Carga Térmica de Ventilação e Infiltração

Ventilação do Local		
Ambientes Dimensionados	<i>Fp L/s.pessoas</i>	<i>Fs L/s.m²</i>
Teatro Municipal	3,5	0,4
Biblioteca	3,5	0,8
Sala A	6,3	0,8
Sala de Música	6,3	0,8
Sala de Aula	6,3	0,8
Sala B	6,3	0,8
Diretoria	3,1	0,4
Secretaria	3,1	0,4
Sala Benedito Lacerda	6,3	0,8
Auditório Eusébio Luiz Costa	6,3	0,8
Outros Parâmetros		
<i>Densidade do ar - (rô) kg/m³</i>	1,2	
<i>Calor específico do ar – Cp,ar J/kg.K</i>	1009	

Fonte: Autoria Própria

3.5. FONTES DE CALOR INTERNAS

3.5.1. Ocupação de Pessoas e Equipamentos

Para o cálculo de carga térmica devido a ocupação de pessoas foi considerada a equação (6), juntamente com o auxílio da Tabela 5 do item 2.8.5.

$$q_{ocup} = N^{\circ}_{ocupantes} \cdot Q_{pessoas} \quad (6)$$

Onde:

N^oocupantes: Número de pessoas ocupando o recinto;

Q_{pessoas}: Calor liberado por indivíduo.

Para o caso das contribuições de carga térmica devido aos equipamentos presentes considerou-se as Tabelas 3 e 4 do item 2.8.5 e o uso da equação (6) com uma pequena modificação de nomenclatura, onde o N° de ocupantes passou a ser a quantidade de um certo equipamento e o calor liberado passou a ser o calor referido nas tabelas de acordo com as especificações de cada equipamento.

3.5.2. Iluminação

Para o cálculo de carga térmica devido a iluminação presente em cada ambiente foi considerada a equação (7), bem como as Tabelas 6 e 7 do item 2.8.5.

$$q_{ilum} = P_{lamp} \cdot F_u \cdot F_r \cdot (FCR) \quad (7)$$

Onde:

Plamp: potência instalada de lâmpadas, em W/m²;

Fu: Fator ou fração de lâmpadas usadas;

Fr: Fator do reator de lâmpadas fluorescentes;

FRC: Fator de carga térmica de resfriamento.

Por fim, as Tabelas 13 e 14 agrupam os dados sobre Fontes de Calor Internas que foram obtidos por meio da análise das Tabelas 3, 4, 5, 6 e 7 do item 2.8.5.

Tabela 13 - Dados sobre Fontes de Calor Internas – Ocupação/Equipamentos e Máquinas

Ocupação	
Ambientes Dimensionados	Perda em W/pessoa
Teatro Municipal	115
Biblioteca	130
Sala A	130
Sala de Música	130
Sala de Aula	130
Sala B	130
Diretoria	140
Secretaria	140

Sala Benedito Lacerda	130
Auditório Eusébio Luiz Costa	265
Equipamentos e Máquinas	
<i>Perda em W/Comp - Diretoria e Secretaria</i>	55
<i>Perda em W/Impres - secretaria</i>	130
OBS1: Demais ambientes não possuem	

Fonte: Aatoria Própria

Tabela 14 – Dados sobre Fontes de Calor Internas - Iluminação

Iluminação		
Ambientes Dimensionados	<i>Local considerado</i>	<i>Perda em W/m²</i>
Teatro Municipal	Cinemas e Teatros	6
Biblioteca	Bibliotecas	16
Auditório Eusébio Luiz Costa	Auditórios: b) Plateia	10
Demais ambientes	Escritórios e Bancos	16
OBS1: Considerou-se para todos os locais (FRC) de 0,95		
OBS2: Considerou-se Fu = 1,0 e Fr =1,2		

Fonte: Aatoria Própria

4. RESULTADOS

4.1. DADOS DE ENTRADA

A metodologia definida acima foi aplicada obtendo-se as condições meteorológicas, as características da construção e todos os parâmetros e coeficientes pertinentes para o cálculo de carga térmica. Portanto, as informações apresentadas tanto nas tabelas acima quanto nos apêndices B, C, D e E e anexos A e B representam todos os dados de entrada necessários e suficientes para o dimensionamento em questão. A partir desses inputs e através do software Excel determinou-se a consolidação dos resultados.

4.2 CONSOLIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Uma vez aplicados os dados de entrada, expostos nos subitens do item 3, nas equações convenientes, segundo a metodologia indicada, alcançaram-se os resultados de demanda térmica por ambiente que são apresentados na Tabela 15. Nela estão os valores dos Máximos Somatórios de Carga Térmica para cada ambiente previstos no projeto em BTU/h. Os valores representam ao longo do período de um ano a demanda térmica suficiente para atender cada recinto ou fração autônoma em qualquer época e hora do dia. Um perfil do Somatório de Carga Térmica Total considerando a Zona Térmica Geral do edifício é apresentado no anexo B.

Tabela 15 – Carga Térmica por ambiente BTU/h

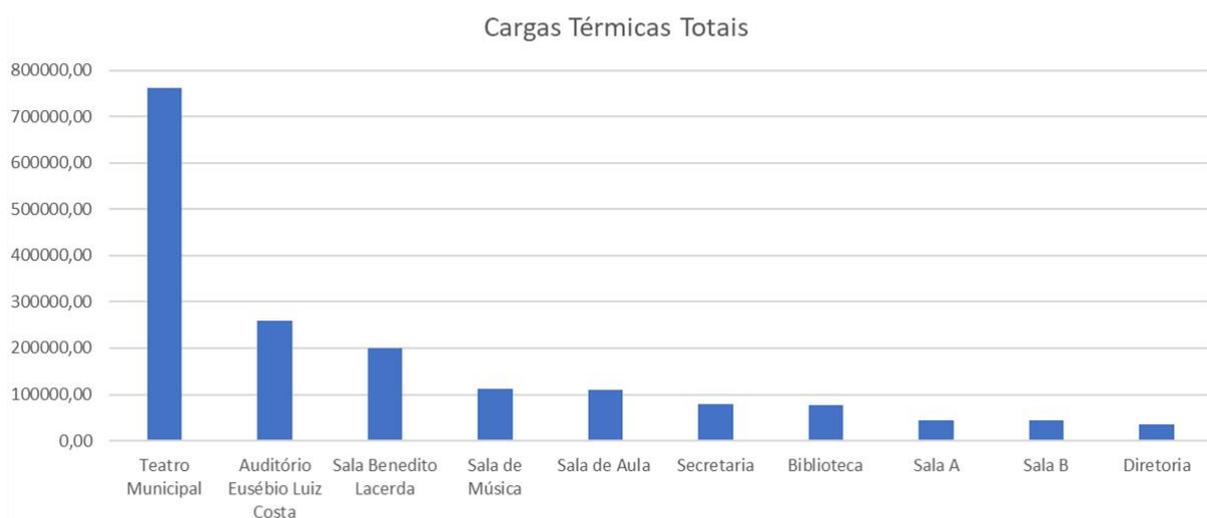
<i>Piso Térreo - Zona Térmica 1</i>		
Teatro Municipal	760941,75	BTU/h
<i>Segundo Piso - Zona Térmica 2</i>		
Biblioteca	76975,52	BTU/h
Sala A	43233,44	BTU/h
Sala de Música	111637,67	BTU/h
Sala de Aula	110953,62	BTU/h
Sala B	43233,44	BTU/h
Diretoria	34541,30	BTU/h
Secretaria	79644,70	BTU/h
<i>Terceiro Piso - Zona Térmica 3</i>		
Sala Benedito Lacerda	200698,23	BTU/h
<i>Quinto Piso - Zona Térmica 4</i>		
Auditório Eusébio Luiz Costa	258233,65	BTU/h

Somatório de Carga Térmica para Ambientes - Zona Térmica Geral		
Carga Térmica Total	1720093,32	BTU/h

Fonte: Autoria Própria

Para uma melhor visualização dos dados apresentados acima construiu-se o Gráfico 3.

Gráfico 3 – Carga Térmica por ambiente BTU/h



Fonte: Autoria Própria

O gráfico nos permite observar como a carga térmica tem uma forte relação com a área de superfície, portanto, é natural que o Teatro Municipal que possui uma área maior necessite de uma carga térmica cerca de 3 vezes maior que o Auditório Eusébio Luiz Costa, espaço que fica em segundo em termos de área de superfície. Fato esse que irá certamente influenciar na robustez do equipamento adequado para esse espaço.

4.3 SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Após dimensionar a demanda térmica dos espaços e realizar consulta em catálogos em busca dos equipamentos que atendam ao requisito térmico selecionou-se os equipamentos adequados. Foi consultado o catálogo de produtos Mecalor e o catálogo de climatização da Elgin. Os equipamentos são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Equipamentos Selecionados

Nome	Marca	Descritivo	kcal/h	Btu/h
RLA - 210	Mecalor	Linha RLA - Chillher Industrial	220000	872446,7
ERF-30000-2	Elgin	Linha Janela- Eqpt de Janela	7564,9	30000
PHFI-60000-2/PHFE-60000-3	Elgin	Piso Teto Atualle - Eqpt Split	15129,9	60000

Fonte: Aatoria Própria

Os Equipamentos selecionados atendem de maneira satisfatória todas as zonas calculadas. A capacidade se encontra ligeiramente acima da demanda, pois modelos inferiores já não atendem o projeto de modo a garantir o conforto térmico almejado. A partir disso, pode construir-se a Tabela 17 explicitando a quantidade de equipamentos necessária para cada ambiente.

Tabela 17 – Detalhamento Final

Ambientes Dimensionados	Demanda Térmica (BTU/h)	Equipamento	Capacidade(BTU/h)	Qtd de Equip	Capacidade Total (BTU/h)
Teatro Municipal	760941,75	RLA - 210	872446,7	1	872446,7
Biblioteca	76975,52	ERF-30000-2	30000	3	90000
Sala A	43233,44	PHFI-60000-2/PHFE-60000-3	60000	1	60000
Sala de Música	111637,67	PHFI-60000-2/PHFE-60000-3	60000	2	120000
Sala de Aula	110953,62	PHFI-60000-2/PHFE-60000-3	60000	2	120000
Sala B	43233,44	PHFI-60000-2/PHFE-60000-3	60000	1	60000
Diretoria	34541,30	PHFI-60000-2/PHFE-60000-3	60000	1	60000
Secretaria	79644,70	ERF-30000-2	30000	3	90000
Sala Benedito Lacerda	200698,23	PHFI-60000-2/PHFE-60000-3	60000	4	240000
Auditório Eusébio Luiz Costa	258233,65	PHFI-60000-2/PHFE-60000-3	60000	5	300000

Fonte: Aatoria Própria

4.4 COMPARAÇÃO COM SISTEMA ATUAL

Os dados do sistema atual para cada espaço foram coletados no dia da visita ao local e constituem parte das informações presentes no apêndice A. Na Tabela 18 compara-se a capacidade do sistema instalado com os valores de demanda calculados.

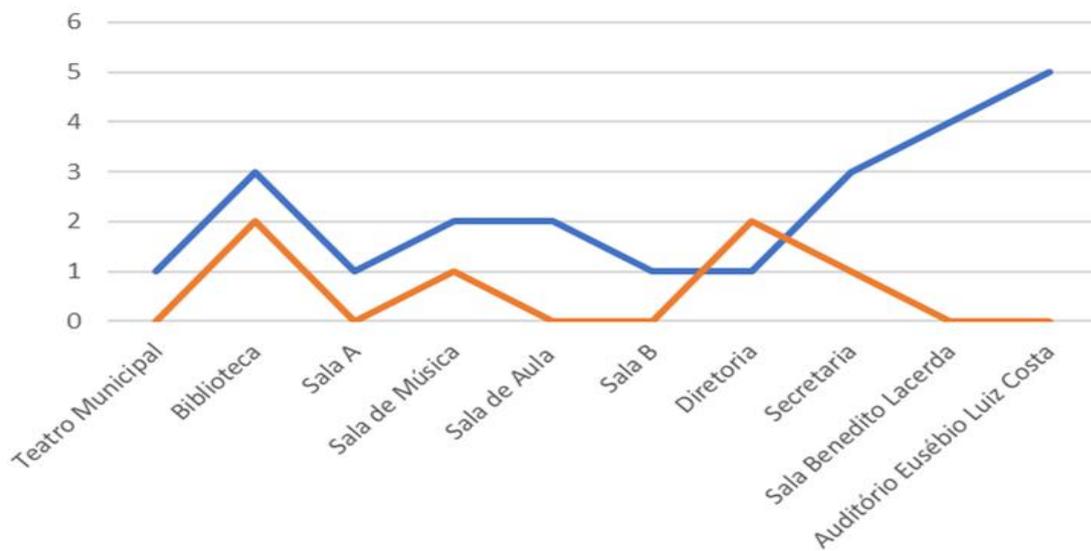
Tabela 18 – Sistema Atual x Demanda Térmica Calculada

Ambientes Dimensionados	Demanda Térmica (BTU/h)	Equipamento	Capacidade Individual (BTU/h)	Qtd Eqpt	Capacidade Total (BTU/h)
Teatro Municipal	760941,75	Não Possui	0	0	0
Biblioteca	76975,52	Unidade de Janela	10000	2	20000
Sala A	43233,44	Não Possui	10000	1	10000
Sala de Música	111637,67	Sistema split	12000	1	12000
Sala de Aula	110953,62	Não Possui	10000	1	10000
Sala B	43233,44	Não Possui	10000	1	10000
Diretoria	34541,30	Sistema split	12000	2	24000
Secretaria	79644,70	Sistema split	12000	1	12000
Sala Benedito Lacerda	200698,23	Não Possui	10000	3	30000
Auditório Eusébio Luiz Costa	258233,65	Não Possui	10000	2	20000
OBS: Os recintos com descritivo em vermelho indicam que apesar de o ambiente não possuir nenhum sistema de ar condicionado possuem espaço construtivo em suas paredes para instalação de ar condicionado de janela de 10000 BTUs/h					

Fonte: Autoria Própria

Tendo estabelecido na Tabela 17 uma quantidade de equipamentos para cada ambiente é interessante estabelecer uma comparação das quantidades, dado o sistema atual e por isso construiu-se o Gráfico 4.

Gráfico 4 – Qtd de ar condicionado/ ambiente (Azul – proposto/Laranja – antigo)



Fonte: Autoria Própria

O gráfico nos permite observar que muitos ambientes que atualmente não possuem nenhuma refrigeração necessitam de uma quantidade razoável de aparelhos, como é o caso do Auditório Eusébio Luiz Costa.

Nota-se que os sistemas atuais estão subdimensionados, pois não conseguem atender a demanda de carga térmica necessária e isso ocorre tanto onde há algum sistema em funcionamento quanto onde já existiu um dia.

5 CONCLUSÃO

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

Considerando o resultado do item 4.4 fica em evidência o fato de que o sistema está subdimensionado. Portanto, como consequência o estado atual implica num tempo maior para os aparelhos atingirem a temperatura ideal em cada ambiente, isso significa também que os aparelhos irão operar com sua capacidade máxima durante praticamente todo o período em que estiverem ligados, além disso, pode ocorrer um maior desgaste dos componentes internos dos equipamentos, gerando a necessidade de aumento da manutenção dos mesmos e, logo, um menor tempo de vida útil. Constata-se que hoje o edifício do Teatro Municipal de Macaé não atende às condições de conforto térmico. Deve se esclarecer que a maior partes dos recintos, tal como já observado na Tabela 17 não possui qualquer sistema de refrigeração, o que não significa que esses já não existiram um dia, embora, independente disso, os resultados são claros em demonstrar que seja os sistemas de fato existentes ou aqueles que por ventura existiram ambos são incapazes de atingir a demanda térmica das frações autônomas mencionadas. Sendo assim, cabe aos administradores do local requererem junto aos órgãos públicos cabíveis uma reestruturação na parte de refrigeração do prédio. Os resultados obtidos serão entregues aos responsáveis para que essas informações possam contribuir de fato.

Como sugestão de trabalhos futuros observa-se uma avaliação que compreenda também os custos de aquisição dos equipamentos e o estudo do sistema elétrico do prédio avaliando a demanda elétrica dos equipamentos propostos versus a capacidade de fato instalada. Outro apontamento seria quanto ao tipo de sistema, analisando a viabilidade e os custos de um único sistema centralizado. Além disso, sugere-se uma análise quanto implementação de sistemas de ar condicionados que funcionem com energia solar uma vez que o edifício possui amplo espaço para o uso de placas solares em seu rooftop, o que possivelmente traria economia perceptível a longo prazo. Fica como sugestão também

uma abordagem do cálculo de carga térmica que seja específica para um determinado espaço com objetivo de analisar as características dessa construção e observar o que é passível de alteração em termos de Layout de paredes, portas e janelas, materiais e equipamentos afim de se propor mudanças que diminuam a carga térmica do local sem a necessidade de um equipamento de ar condicionado.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 16401: “Instalações de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários – Parte 1 (Projetos das Instalações), Parte 2 (Parâmetros de Conforto Térmico), Parte 3 (Qualidade do ar interior).” Rio de Janeiro, 2008.

ALVAREZ, Mario Eusebio Torres. **Refrigeração, Ar Condicionado e Ventilação**. Londrina, 2019.

Brundtland, G. H., Khalid, M., Agnelli, S., Al-Athel, S. A., Chidzero, B., Fadika, L. M., et al. (1987). Our common future ; by world commission on environment and development. Oxford: Oxford University Press.

IEA (International Energy Agency) (2018), The Future of Cooling, OECD/IEA, Tysepet.

Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/0bb45525-277f-4c9c-8d0c-9c0cb5e7d525/The_Future_of_Cooling.pdf. Acesso em: mês ano.

INCROPERA, F.K., “Fundamentos da Transferência de Calor”, editora LTC, 6ª ed, 2008.

LEONARDO. O Futuro da Refrigeração. **Leonardo Energy**, Brasil, 20 mar. 2018.

PENA, Sérgio Meirelles. **Sistema de Ar Condicionado e Refrigeração**, 2002. 96 f.

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

STOECKER, W. F., e JONES, J. W., 1985, “Refrigeração e Ar Condicionado”, Editora Mcgraw-Hill do Brasil.

WANG, Shan K. (Shan Kuo) Handbook of air conditioning and refrigeration / Shan K. Wang—2nd ed. New York 2001.

7 APÊNDICES

APÊNDICE A

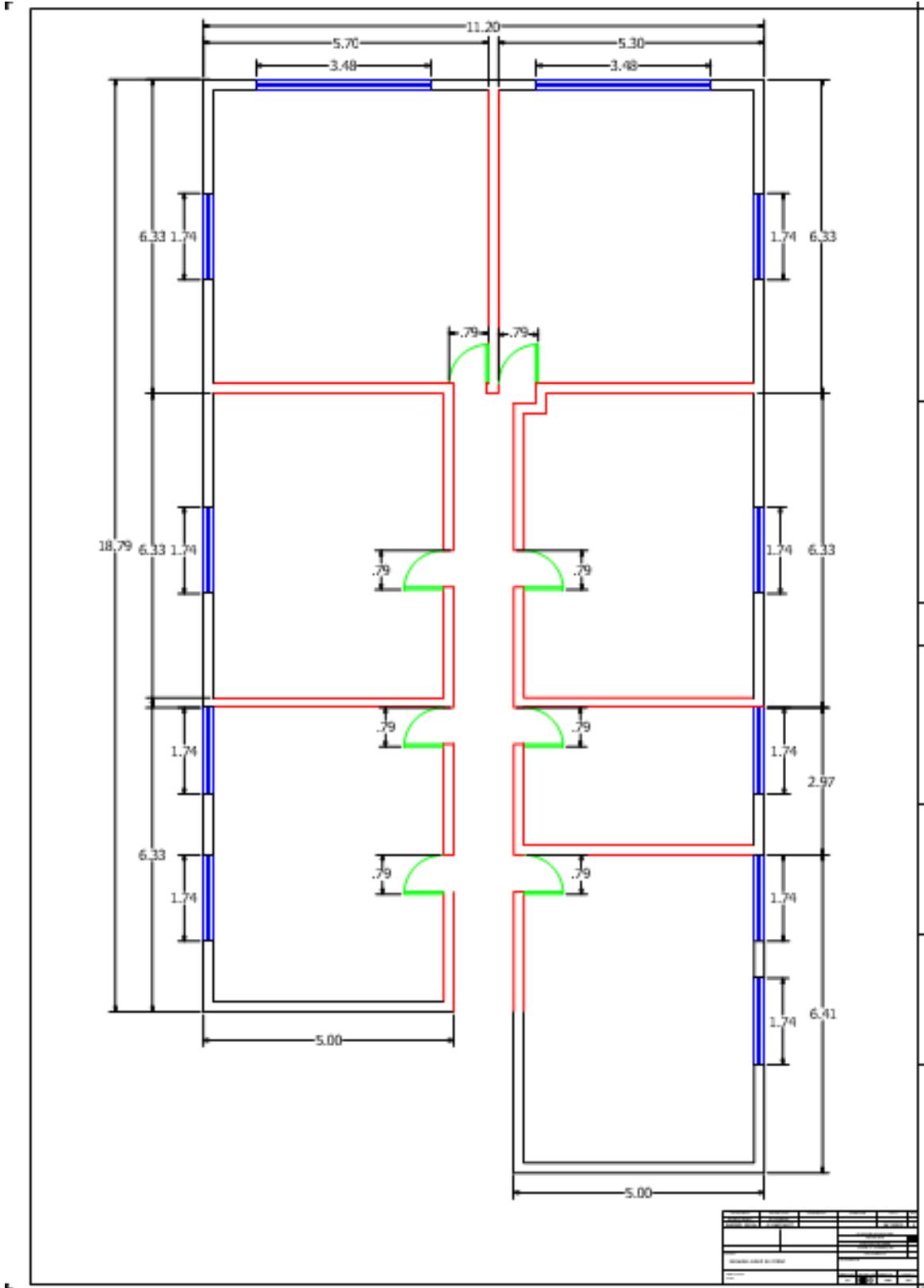
Tabela 19 – Tabela de dados sobre os sistemas atuais utilizados no edifício

Ambientes Dimensionados	Unidade Condensadora (Sim/Não)	Qtd de Equip	Tipo de Sistema	Capacidade (BTU/h)	Total	Observações	Estimado (BTU/h)
Teatro Municipal	Não	0	Não Possui	0	0	Já possuiu sistema central de 2 compressores	
Biblioteca	Sim	2	Unidade de Janela	10000	20000		
Sala A	Não	0	Não Possui	0	0	Possui espaço para 1 Unidade de Janela	10000
Sala de Música	Sim	1	Sistema split	12000	12000		
Sala de Aula	Não	0	Não Possui	0	0	Possui espaço para 1 Unidade de Janela	10000
Sala B	Não	0	Não Possui	0	0	Possui espaço para 1 Unidade de Janela	10000
Diretoria	Sim	2	Sistema split	12000	24000		
Secretaria	Sim	1	Sistema split	12000	12000		
Sala Benedito Lacerda	Não	0	Não Possui	0	0	Possui espaço para 3 Unidades de Janela	30000
Auditório Eusébio Luiz Costa	Não	0	Não Possui	0	0	Possui espaço para 2 Unidades de Janela	20000

Fonte: Autoria Própria

APÊNDICE C

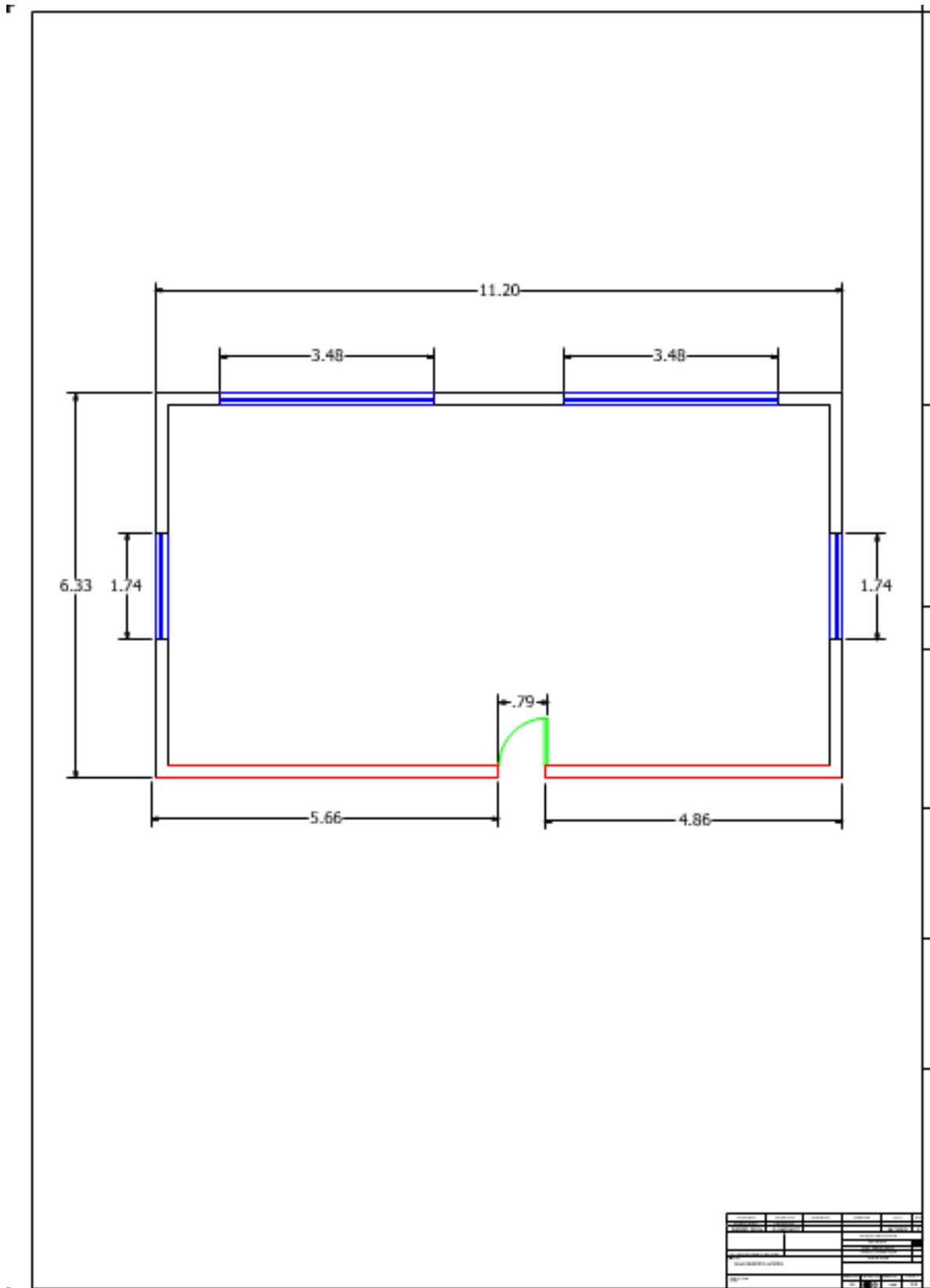
Figura 7 - Desenho técnico dos ambientes que compõem o 2º andar do prédio



Fonte: Autoria Própria

APÊNDICE D

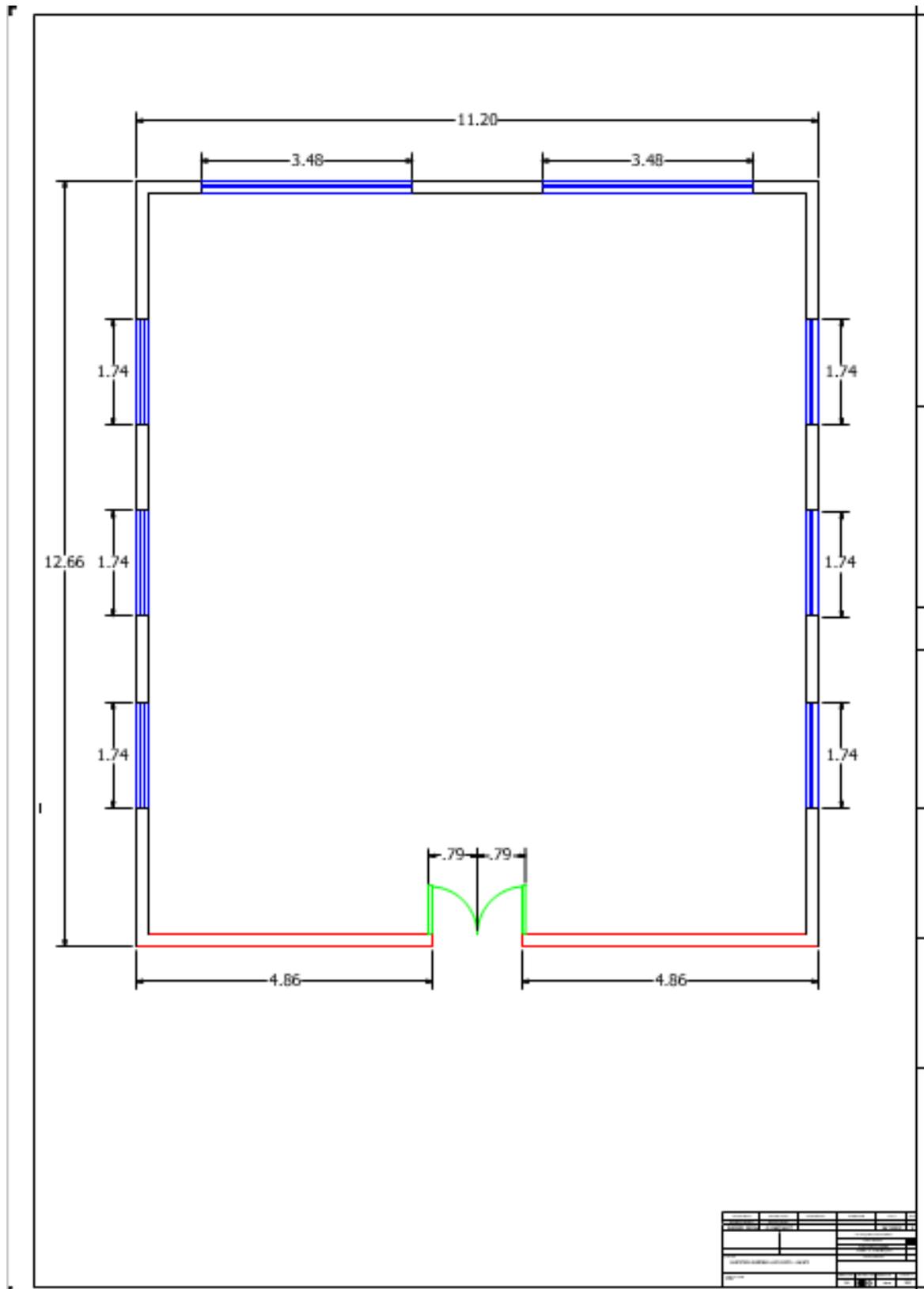
Figura 8 - Desenho técnico da sala Benedito Lacerda



Fonte: Autoria Própria

APÊNDICE E

Figura 9 - Desenho técnico do Auditório Eusébio Luiz Costa



Fonte: Autoria Própria

APÊNDICE F

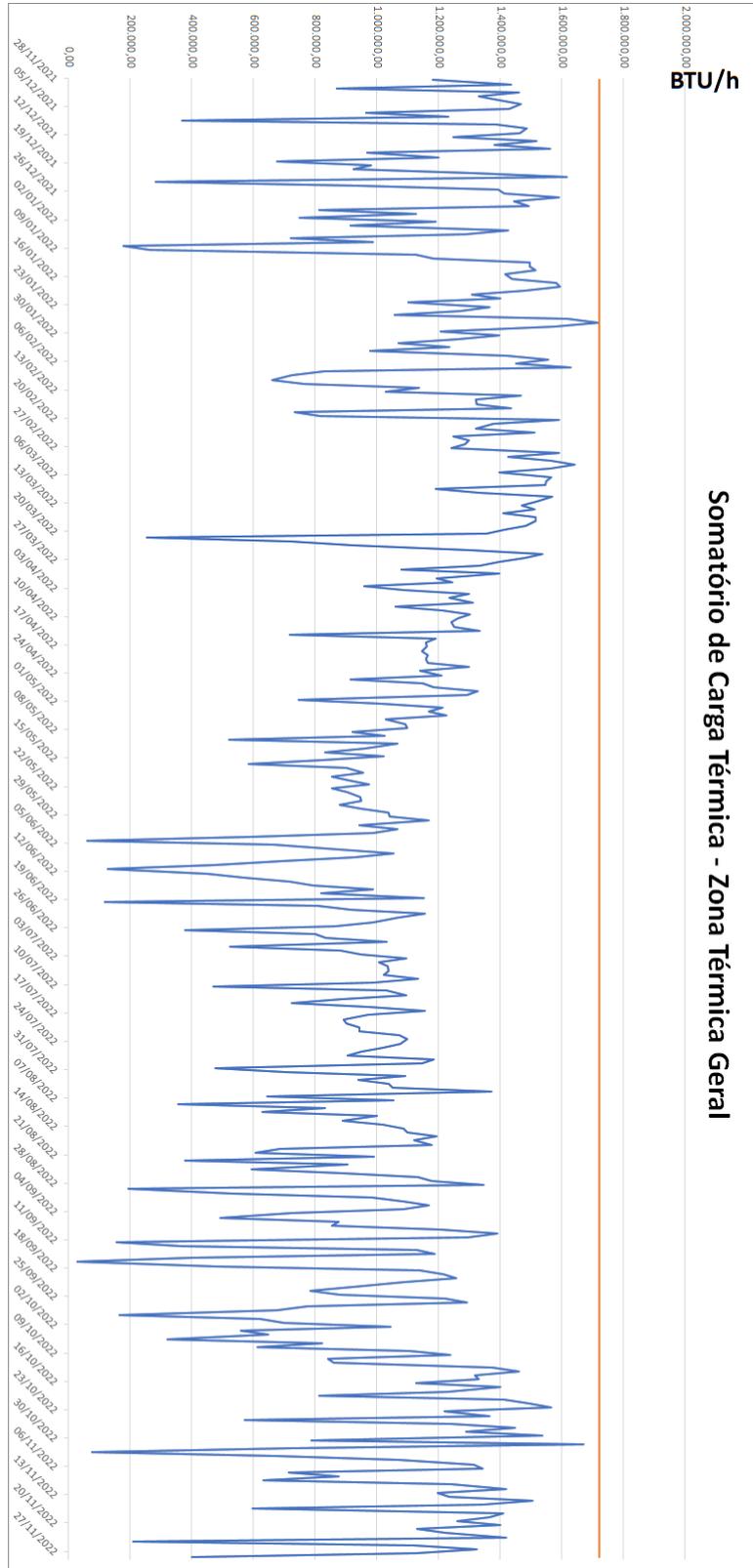
Tabela 20 - Tabela de dados sobre as características construtivas coletadas

Ambientes Dimensionados	Altura até o teto	Altura de janelas	Altura da portas
Teatro Municipal	9 metros	0	2,08 metros
Biblioteca	2,40metros	1,38 metros	2,08 metros
Sala A	2,40metros	1,38 metros	2,08 metros
Sala de Música	2,40metros	1,38 metros	2,08 metros
Sala de Aula	2,40metros	1,38 metros	2,08 metros
Sala B	2,40metros	1,38 metros	2,08 metros
Diretoria	2,40metros	1,38 metros	2,08 metros
Secretaria	2,40metros	1,38 metros	2,08 metros
Sala Benedito Lacerda	2,40metros	1,38 metros	2,08 metros
Auditório Eusébio Luiz Costa	2,40metros	1,38 metros	2,08 metros
OBS: Para todos os ambientes coletou-se os dados : espessura de portas e paredes DryWall 0,035 m (Porta de vidro 0,010 m), espessura do tijolo 0,1 m, espessura do estuque 0,01 m e espessura do reboco 0,03 m			

Fonte: Aatoria Própria

APÊNDICE G

Gráfico 5 – Do somatório da Carga Térmica referente a Zona Térmica Geral

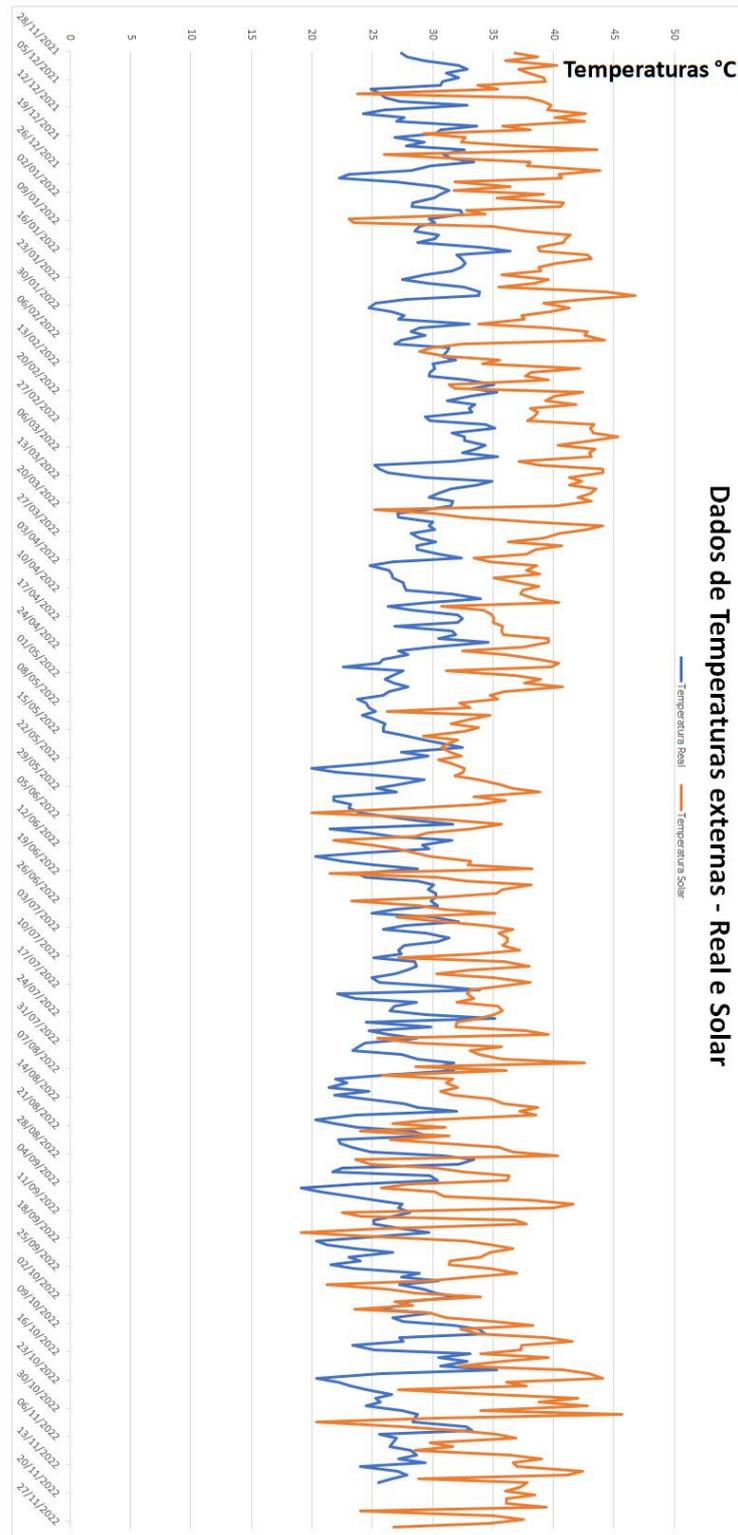


Fonte: Autoria Própria

8 ANEXOS

ANEXO A

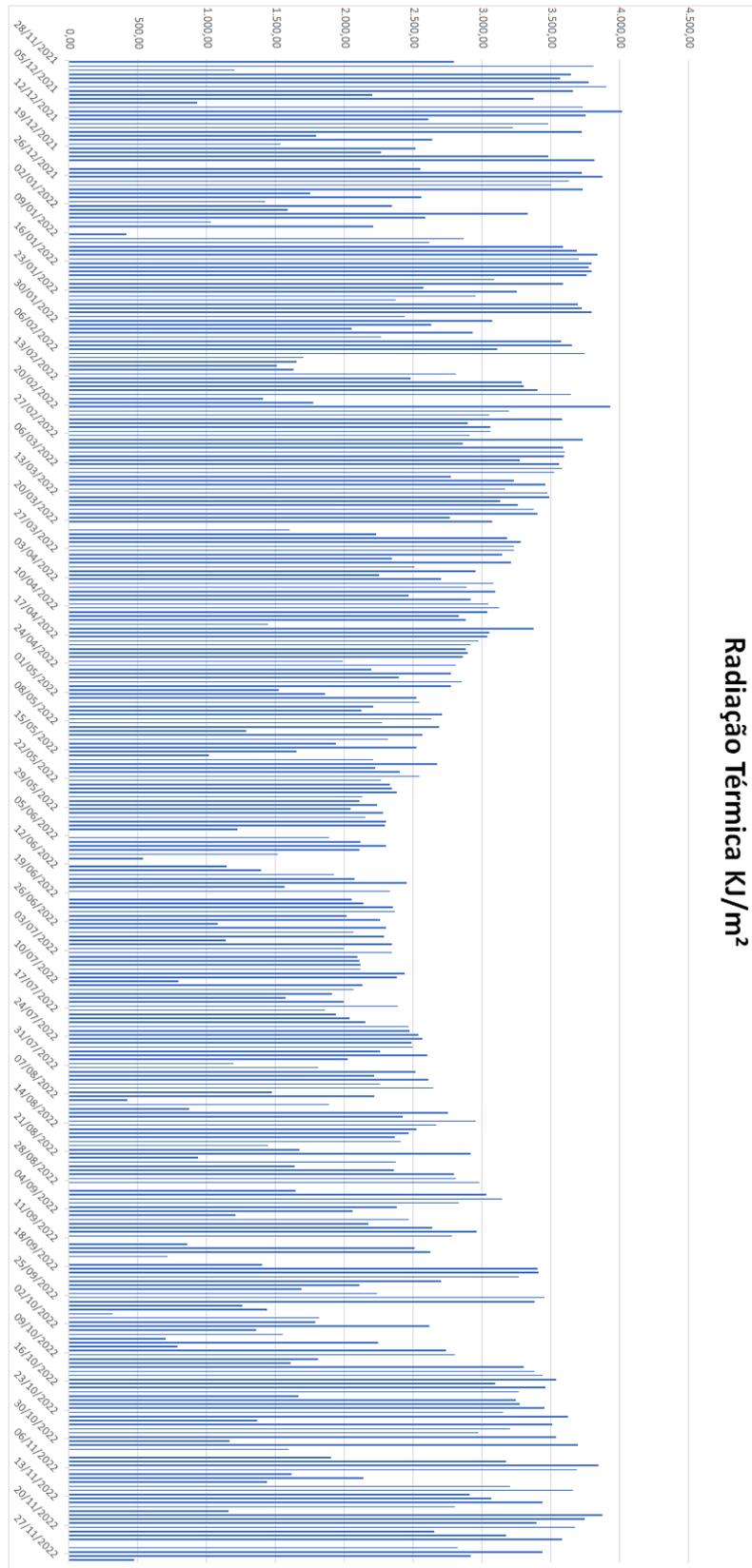
Gráfico 6 – Dados de Temperatura Externa/ Real e solar ao longo de 28/11/2021 – 28/11/2022



Fonte: Autoria Própria

ANEXO B

Gráfico 7 – Radiação Térmica ao longo de 28/11/2021 até 28/11/2022



Fonte: Autoria Própria