

**UNICESUMAR - UNIVERSIDADE DE MARINGÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO PARA CONFORTO  
TÉRMICO DE UMA IGREJA**

**FELIPE SICHIERI ANDRELO**

**MARINGÁ – PR**  
**2021**

FELIPE SICHIERI ANDRELO

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO PARA CONFORTO  
TÉRMICO DE UMA IGREJA**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica do Centro Universitário de Maringá - UNICESUMAR como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Dr. Anderson Rodrigues.

MARINGÁ – PR  
2021

**FOLHA DE APROVAÇÃO**  
**FELIPE SICHIERI ANDRELO**

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO PARA CONFORTO  
TÉRMICO DE UMA IGREJA**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica do Centro Universitário de Maringá - UNICESUMAR como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Dr. Anderson Rodrigues.

Aprovado em: \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA:

\_\_\_\_\_  
Nome do professor - (Titulação, nome e Instituição)

\_\_\_\_\_  
Nome do professor - (Titulação, nome e Instituição)

\_\_\_\_\_  
Nome do professor - (Titulação, nome e Instituição)

# **DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO PARA CONFORTO TÉRMICO DE UMA IGREJA**

*Felipe Sichieri Andrelo*

## **RESUMO**

Este artigo visa demonstrar como é o dimensionamento e a instalação de um sistema de climatização de uma igreja, através das informações coletados do ambiente analisado. Serão apresentados todos os cálculos que envolvam carga térmica no processo para o dimensionamento, com a finalidade de escolher o equipamento e o modo mais eficaz de ser instalado, além de garantir que o sistema de condicionamento de ar atenderá a demanda térmica do ambiente e proporcionará um conforto térmico. Por fim, todo o trabalho será fundamentado seguindo as especificações da normativa NBR 16401 - instalações de ar-condicionado - sistemas centrais e unitários. Ao final dos cálculos, foi obtido o valor de carga térmica equivalente a 7,1 TR ou 84970,13 BTUs, proporcionando duas escolhas para implementação no local. A primeira escolha seria da implementação de um sistema do tipo Dutado (Splitão) com 7,5 TR e a outra opção de um sistema do tipo Split Dual Inverter 24000 BTUs com quatro unidades, sendo selecionado o sistema Split Dual Inverter com quatro unidades de 24000 BTUs por questões de custos.

**Palavras-chave:** ar-condicionado; carga térmica; engenharia mecânica.

## **SIZING THE AIR CONDITIONING SYSTEM FOR THERMAL COMFORT IN A CHURCH**

### **ABSTRACT**

This article aims to demonstrate how the dimensioning and installation of a church's air conditioning system is, through the information collected from the analyzed environment. All calculations involving thermal load in the process will be presented for the dimensioning. So, choose the most efficient equipment and mode of installation. In addition, to ensure that the air conditioning system will meet the thermal demand of the environment and provide thermal comfort. Finally, the entire article will be based on the specifications of the NBR 16401 standard - Air conditioning installations - Central and unitary systems. At the end of the calculations, the thermal load value equivalent to 7.1 TR or 84970.13 BTUs was obtained,

providing 2 choices for implementation on site. The first choice would be to implement a ducted system (spliton) with 7.5 TR and the other option would be a split dual inverter system with 24000 BTUs with 4 units. The dual inverter split system with 4 units of 24000 BTUs was selected for cost reasons.

**Keywords:** Air Conditioning. Mechanical Engineering. Thermal load.

# **1 INTRODUÇÃO**

O conforto térmico pode ser definido como o julgamento do indivíduo em expressar sua satisfação em relação às condições térmicas do ambiente através da influência dos parâmetros físicos, psicológicos e outros (PRADO FILHO, 2014).

O desconforto da sensação térmica proveniente do clima afeta o mundo inteiro e cada ser vivo nele existente. Com isso, tanto para fins comerciais como residenciais, tem-se a necessidade de um sistema de climatização com a finalidade de promover conforto térmico.

A climatização industrial atua em vários segmentos: shoppings, farmácias, academias, escritórios, igrejas, frigoríficos, entre outros. Além do bem-estar resultante de um ambiente climatizado, ela também é responsável por manter as condições térmicas nas quais produtos e alimentos necessitam estar, de modo a se preservar suas condições ideais de consumo.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 HISTÓRIA DO AR-CONDICIONADO**

No ano de 1902, para resolver o problema de uma empresa de impressão em dias quentes, o engenheiro Willis Carrier inventou o processo mecânico para condicionar o ar. Segundo Giacomini (2019), ele teorizou que poderia remover a umidade do estabelecimento através do ar por dutos artificialmente resfriados. Deste modo, o problema com a impressão foi resolvido, havendo uma melhora no conforto térmico do ambiente.

A indústria têxtil foi o primeiro grande mercado para o condicionador de ar, tendo ocorrido somente em 1914 a primeira instalação residencial, conforme Neves (2018). Neste mesmo ano, o primeiro condicionador de ar hospitalar foi instalado, ajudando a reduzir a mortalidade por desidratação em um berçário de partos prematuros.

Nos meses quentes do verão, a procura por cinemas sofria uma drástica redução, acarretando o fechamento de diversas salas. Neste viés, a implementação do ar-condicionado, no ano de 1922, foi fundamental para o avanço da tecnologia cinematográfica.

Com a popularização dos condicionadores nas residências, em 1957, o primeiro compressor rotativo foi inserido, tornando-o mais leve, silencioso e menor. Desde então, sua escala de produção tem se globalizado devido à contínua expansão. A partir disso, a tecnologia não parou de ser aprimorada, dando início a outros modelos, como os do tipo janela, seguido

de implementações em carros na década de 80 (NEVES, 2018). Em 2000, o primeiro ar-condicionado do tipo *split* foi fabricado.

A constante busca por equipamentos com baixo custo e eficiência energética reflete nos inúmeros modelos que vêm surgindo no mercado, tornando-os cada vez mais acessíveis a todos.

## 2.2 TERMODINÂMICA

A termodinâmica pode ser definida como a ciência que estuda a transferência de calor e a realização de trabalho e das propriedades das substâncias que as envolvem de um sistema para o outro devido a diferença de temperatura entre eles (ÇENGEL, 2012).

Através destes conhecimentos é que a máquina a vapor, os motores e os sistemas de refrigeração foram fundamentados. Um exemplo da associação entre trabalho e calor pode ser observado na figura 1, criada por Heron, na qual a água é aquecida e o vapor d'água sai pelos orifícios, fazendo com que a esfera gire.

**Figura 1** - Aeolipile, dispositivo térmico de Hero de Alexandria, 50 d.C. [8]



**Fonte:** adaptado de Global First Facts (2021).

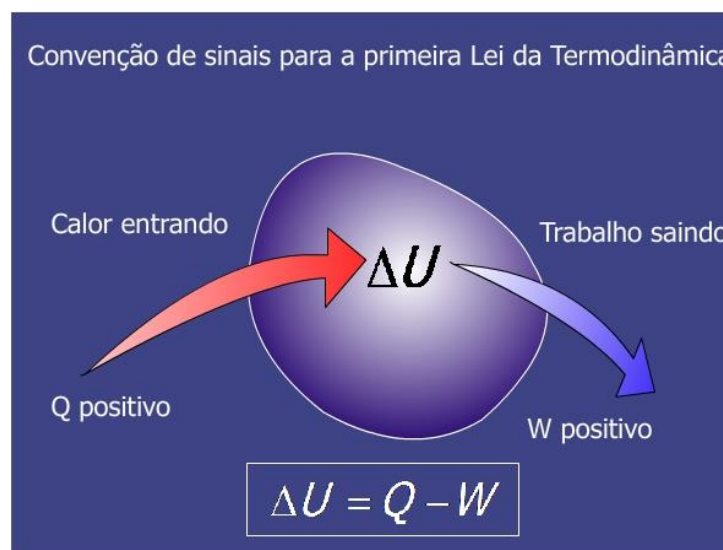
### 2.2.1 - 1ª Lei da termodinâmica

Neste trabalho, apenas a segunda e a primeira leis serão explanadas. Entretanto, a termodinâmica possui 4 leis, sendo elas: lei zero, primeira, segunda e terceira, respectivamente. A primeira lei retrata a conservação de energia e a segunda aborda a medida do grau de desordem da entropia de um sistema.

A energia pode ser definida como a capacidade de produzir trabalho. Sadi Carnot e Helmholtz afirmam que a “energia não pode ser criada nem destruída”. Essa lei estabelece que, quando uma energia é transferida ou transformada em seu meio, a energia total equivale à soma de todas as energias envolvidas, menos a energia inicial do processo, ou seja, mantendo em sua forma constante (CREDER, 2004).

A figura 2, juntamente com a equação (1), demonstra que a variação da energia interna é a consequência do calor trocado com o sistema, menos o trabalho gerado.

**Figura 2** - Convenção de sinais para a primeira Lei da Termodinâmica



**Fonte:** UFRGS (2009).

$$\Delta U = Q - W \quad (1)$$

Onde (1):

$\Delta U$  - Variação de energia interna (J)

W - Trabalho (J)

Q - Calor (J)

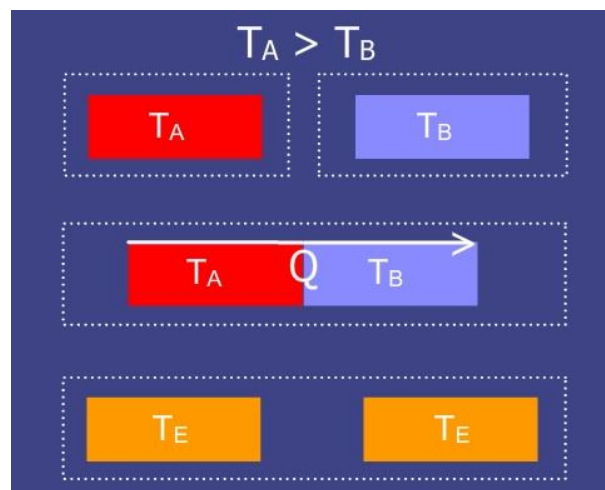


### 2.2.2 2ª lei da termodinâmica

Enquanto a primeira lei trata da conservação da energia, a segunda apresenta, de forma concisa, algumas impossibilidades da utilização da energia de forma plena.

Na figura 3 há a ilustração de dois corpos em temperaturas diferentes, estando um quente e o outro frio. Se ambos entrarem em contato, a energia térmica do mais quente é cedida para o mais frio, até que eles atinjam temperaturas iguais, não havendo mais trocas de energia, mantendo-se, portanto, em equilíbrio.

**Figura 3** -  $T_A$  (temperatura do corpo A),  $T_B$  (temperatura do corpo B),  $T_E$  (Temperatura de equilíbrio) e  $Q$  (energia térmica)



**Fonte:** adaptado de UFRGS (2009).

A energia mecânica, conforme a primeira lei, pode ser usada de modo que toda ela seja revertida para energia térmica. Porém, de forma análoga, o oposto não é possível, gerando este princípio em torno de três enunciados conhecidos.

Para Schulz (2009), o primeiro retrata a impossibilidade de se remover energia térmica de um sistema no qual a totalidade desta seja convertida em trabalho mecânico, sem modificar o sistema ou a vizinhança. O segundo demonstra a incapacidade de haver um processo em que o único efeito da energia térmica seja transmitir energia de um corpo frio para outro quente. Já no terceiro, Kelvin-Planck (1879) relata ser impossível um sistema operar em condições iniciais, tendo a realização integral de trabalho da energia sido oriunda da extração de calor de um reservatório.

Diante disso, conclui-se que o rendimento de uma máquina térmica nunca terá 100% de eficiência.

## 2.3 CALOR

Como visto anteriormente, colocando dois corpos de diferentes temperaturas em contato, observa-se que ocorre a troca de energia térmica e o equilíbrio da temperatura de ambos (lei zero da termodinâmica).

Até meados do século XIX, os cientistas da época acreditavam que o calor era uma substância. Todavia, esse conceito deixou de existir com o avanço das experiências, agregando o termo “energia”, na qual se transmite de um corpo mais quente para o outro mais frio e para às vizinhanças (CREDER, 2004).

Dois situações ocorrem com o corpo humano: ele transmite ou adquire calor latente e calor sensível. Isso ocorre através da evaporação da transpiração e da respiração, com a finalidade de manter-se constante o calor total, isto é, o corpo tem variação na temperatura ora ocorre a mudança no estado físico (líquido para vapor).

### 2.3.1 Calor latente

De acordo com Creder (2004), calor latente é a quantia de calor que se retira ou se acrescenta em um corpo, ocasionando a alteração no estado físico, sem mudar a temperatura.

Exemplificando, o gelo necessita de 80kcal/kg para converter-se no estado líquido a 0°C. Enquanto permanecer constante esse calor, a água conserva-se em temperatura inalterável.

### 2.3.2 Calor sensível

Calor sensível é a quantidade de calor que deve ser introduzido ou retirado de um ambiente, com o intuito de propiciar condições de conforto desejado. Em resumo, o calor sensível é a energia térmica que se sente (CREDER, 2004).

Em outras palavras, quando um corpo troca calor com outro, eles variam suas temperaturas, não ocorrendo, entretanto, mudança no estado físico.

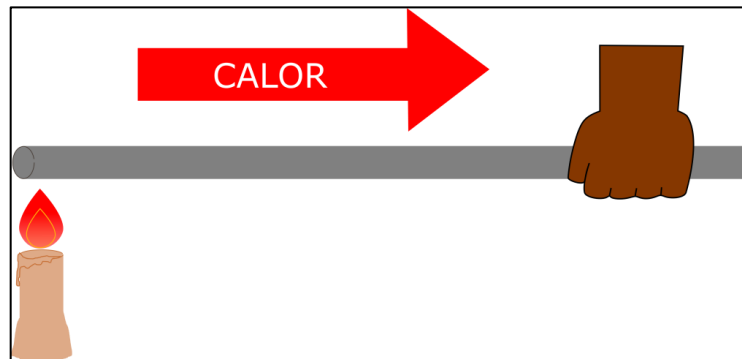
## 2.4 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Na transferência de calor ocorre a propagação de energia térmica, a qual é transferida do corpo mais quente ao mais frio. Essa condução pode ser feita de três formas distintas, as quais serão relatadas na sequência.

### 2.4.1 Condução

A condução acontece de forma direta, na qual dois corpos em contato trocam calor, como, por exemplo, a chama em contato com uma barra de ferro.

**Figura 4** - Condução de calor por uma barra metálica

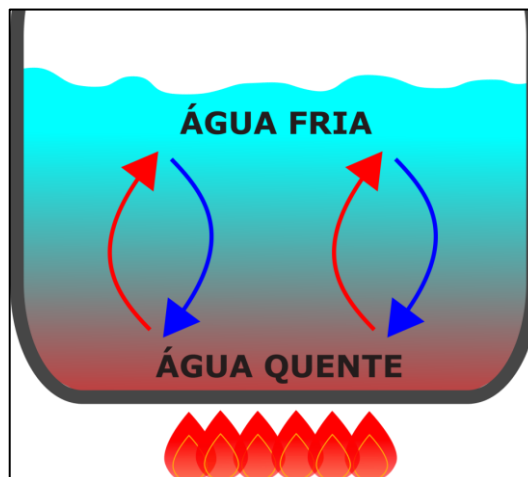


**Fonte:** adaptado de Barreiros (2021).

### 2.4.2 Convecção

A convecção ocorre em fluidos, nos quais a transmissão de calor sucede do movimento constante do próprio fluido, como, por exemplo, a água em uma chaleira sendo aquecida.

**Figura 5** - Correntes de convecção no aquecimento da água

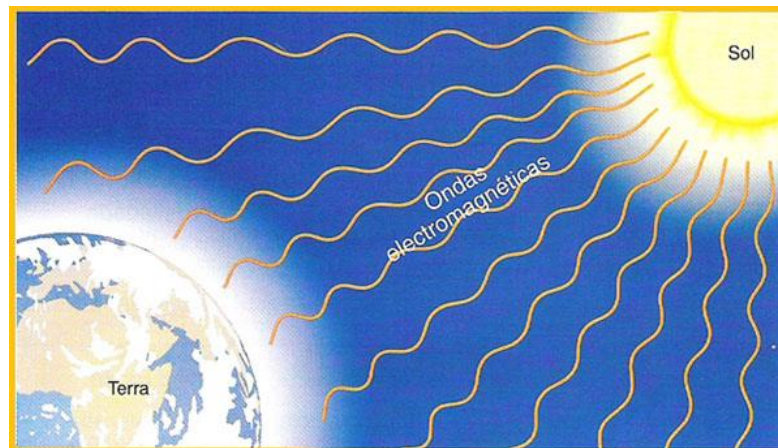


**Fonte:** adaptado de Barreiros (2021).

### 2.4.3 Radiação

Na radiação, a propagação de calor é transmitida através de ondas eletromagnéticas, como, por exemplo, o sol.

**Figura 6** - Irradiação pela propagação ondas eletromagnéticas



**Fonte:** adaptado de Fernandes (2019).

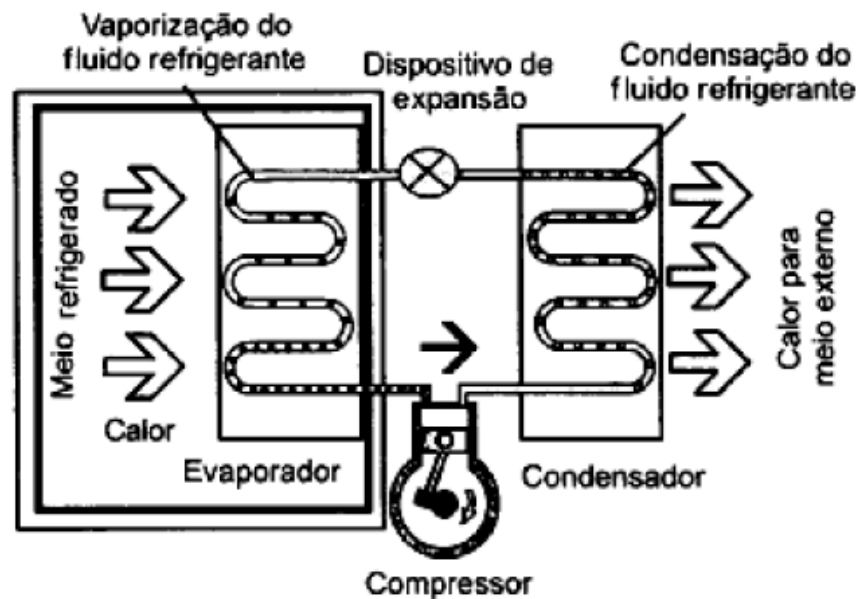
### 2.5 REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO MECÂNICA DE VAPOR

Segundo Silva (2019), a maioria dos refrigeradores domésticos trabalha por meio de compressão mecânica de vapor. Neste processo, um determinado fluido refrigerante se desloca internamente nas tubulações, o qual passa por modificações termodinâmicas ao percorrer os componentes: compressor, condensador, dispositivo de expansão e evaporador.

O fluido entra no evaporador na forma de vapor mais líquido à baixa pressão e é capaz de remover calor do ambiente interno a ser refrigerado. O compressor é responsável por comprimir e bombear, tornando o fluido em vapor superaquecido e movendo-se para o condensador, o qual tem a função de expelir a energia absorvida do ambiente interno para o meio exterior.

Após a transferência de energia, o refrigerante passa de vapor superaquecido para líquido novamente. Por fim, entra no dispositivo de expansão, que tem por sua finalidade reduzir a pressão do fluido para adentrar no evaporador e, assim, repetir o ciclo novamente, processo representado na figura a seguir.

**Figura 7 -** Ciclo de compressão mecânica de vapor



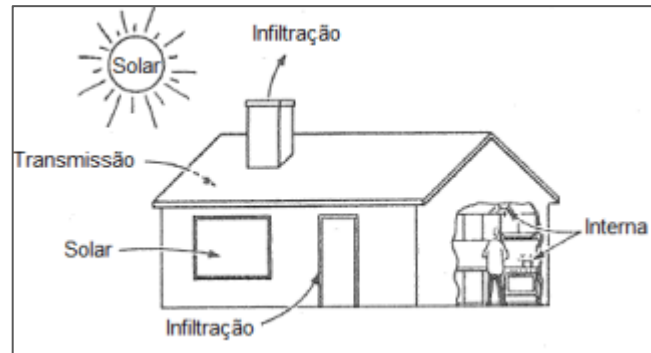
**Fonte:** adaptado de Silva (2019).

## 2.6 CARGA TÉRMICA

Carga térmica define-se como sendo a totalidade de calor latente e sensível que deve ser adicionado ou retirado em um ambiente climatizado para que se estabeleçam condições desejadas de temperatura e umidade relativa. As trocas de calor podem ser oriundas de fontes externas ou fornecidas do próprio ambiente condicionado (SILVA, 2019).

Os ganhos externos podem ser provenientes da radiação solar direta nas janelas, transferência a partir do contato com paredes e vidros e, também, infiltração do ar quente do meio exterior para o interior. Já os ganhos internos, podem consistir em calor dissipado pelas pessoas que ocupam o local, iluminação proveniente de lâmpadas que propagam calor e, também, eletrodomésticos. A figura a seguir relaciona os fatores pelos quais afetam a carga térmica:

**Figura 8** - Fatores que afetam a carga térmica



**Fonte:** adaptado de Stoecker (1985).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme representação do fluxograma da figura que será apresentada na sequência, o artigo introduziu a análise de como é o funcionamento de um sistema de condicionamento de ar, o qual consiste em realizar a troca de calor com o ambiente e resfriá-lo, fazendo então o devido conforto térmico o qual se busca.

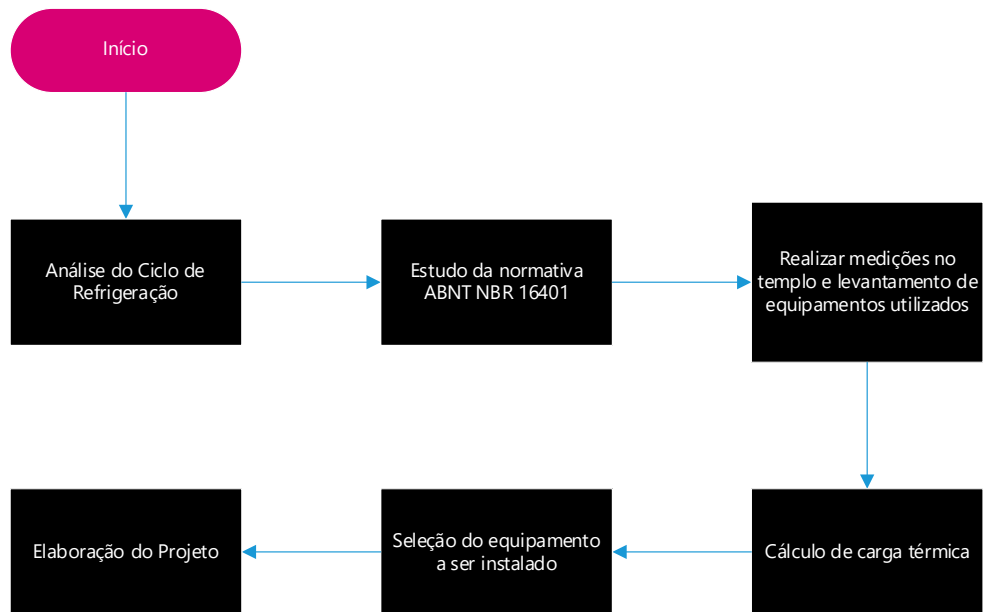
É necessário analisar e seguir a normativa ABNT NBR 16401, que tem como objetivo especificar os requisitos e parâmetros mínimos para sistemas de ar-condicionado, tendo em vista o conforto aceitável da qualidade do ar interno.

Foram realizadas medições no local onde será instalado o condicionador de ar, coletando-se as informações necessárias juntamente com um esboço da planta baixa da igreja, além da verificação dos materiais utilizados na construção, juntamente com uma lista de equipamentos utilizados no local.

O cálculo de carga térmica é uma das partes fundamentais, pois afeta diretamente na seleção do equipamento. Devido a isso, é necessário que as informações coletadas sejam precisas, de modo que não influenciem negativamente o resultado.

Por fim, obtidos todos os resultados, é possível selecionar o equipamento e prosseguir com o desenvolvimento do artigo, o qual auxiliará na instalação do sistema proposto.

**Figura 9** - Fluxograma da metodologia aplicado no artigo



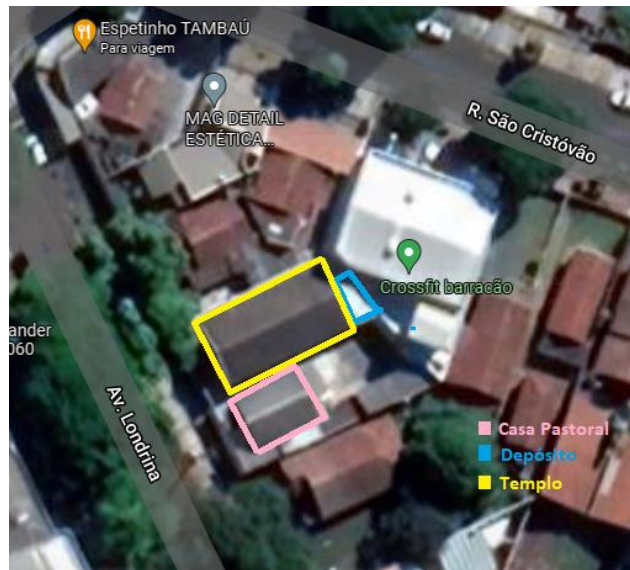
**Fonte:** o autor (2021).

### 3.1 ANÁLISE DO LOCAL PARA IMPLEMENTAÇÃO

Observando a imagem de satélite do *Google Maps* (figura 10), estão destacados o templo, a casa pastoral e o depósito. Em questão, serão avaliados somente o templo. As demais marcações ilustram apenas como o terreno foi distribuído e utilizado.

A edificação estudada é feita em alvenaria, forro em isopor, telhas de fibrocimento onduladas, com ventilação e iluminação natural através de portas e janelas, além de iluminação artificial através de lâmpadas fluorescentes.

**Figura 10** - Localização da igreja “O Brasil para Cristo”



Fonte: Google (2021).

**Figura 11** - Fachada da igreja “O Brasil para Cristo”



Fonte: o autor (2021).



**Figura 12** - Vista lateral da igreja “O Brasil para Cristo”



**Fonte:** o autor (2021).

### 3.2 DETERMINAÇÃO DA CARGA TÉRMICA DO AMBIENTE

- **1ª etapa:** dimensionar o templo e seus respectivos elementos;

**Tabela 1** – Medidas do templo

<b>Medidas</b>	<b>Dimensões (m)</b>
Comprimento	18
largura	8
altura	5

**Fonte:** o autor (2021).

**Tabela 2** - Face frontal (Sul)

<b>Elementos</b>	<b>Dimensões L x A (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Área Total (m<sup>2</sup>)</b>
<i>Porta Frontal</i>	1,50 x 2,20	3,3	3	1	3,3
<i>Janela Frontal</i>	0,60 x 1,50	0,9	3	4	3,6

**Fonte:** o autor (2021).

**Tabela 3** - Face lateral (Leste)

<b>Elementos</b>	<b>Dimensões L x A (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Área Total (m<sup>2</sup>)</b>
<i>Janela Lateral</i>	0,80 x 1,50	1,2	3	4	4,8

**Fonte:** o autor (2021).

**Tabela 4** - Face lateral (Oeste)

<b>Elementos</b>	<b>Dimensões L x A (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Área total (m<sup>2</sup>)</b>
<i>Portal Lateral</i>	1,00 x 2,10	2,1	3	1	2,1
<i>Janela Lateral</i>	0,80 x 1,50	1,2	3	4	4,8

**Fonte:** o autor (2021).

- **2ª etapa:** calcular a área das paredes e dos respectivos elementos;

$$A_f = b_f * h_f \quad (2)$$

Onde (2):

$A_f$  – área frontal (m<sup>2</sup>)

$b_f$  – base frontal (m)

$h_f$  – altura frontal (m)

$$A_l = b_l * h_l \quad (3)$$

Onde (3):

$A_l$  – área lateral (m<sup>2</sup>)

$b_l$  – base lateral (m)

$h_l$  – altura lateral (m)

Área frontal (parede Norte)

$$A_f = b_f * h_f (2)$$

$$A_f = 8 * 5 = 40 \text{ m}^2$$

Área frontal (parede Sul)

$$A_f = b_f * h_f (2)$$

$$A_f = 8 * 5 = 40 \text{ m}^2$$

$A_f \text{ total} = \text{área frontal} - \text{área da janela} - \text{área da porta}$

$$A_f \text{ total} = 40 - 3,3 - 3,6 = 33,1 \text{ m}^2$$

Área lateral (Parede Leste)

$$A_l = b_l * h_l (3)$$

$$A_l = 18 * 5 = 90 \text{ m}^2$$

$A_l \text{ total} = \text{área lateral} - \text{área da janela}$

$$A_l \text{ total} = 90 - 4,8 = 85,2 \text{ m}^2$$

Área lateral (Parede Oeste)

$$A_l = b_l * h_l (3)$$

$$A_l = 18 * 5 = 90 \text{ m}^2$$

$A_l \text{ total} = \text{área lateral} - \text{área da janela} - \text{área da porta}$

$$A_l \text{ total} = 90 - 4,8 - 2,1 = 83,1 \text{ m}^2$$

- **3ª etapa:** recolher informações tabeladas referentes a temperatura (neste caso, foram utilizadas as informações de Londrina/PR);

**Tabela 5** - Condições externas para verão (°C)

Condições externas para verão (°C)	TBS (°C)	TBU (°C)
Londrina/PR	31	23,5

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6401 (1980).

**Tabela 6 - Condições internas para verão**

Condições internas para verão					
Finalidade	Local	Recomendável		Máxima	
		(A) TBS (°C)	(B) UR (%)	(A) TBS (°C)	(B) UR (%)
Conforto	Residências Hotéis Escritórios Escolas	23 a 25	40 a 60	26,5	65
Lojas de curto tempo de ocupação	Bancos Barbearias Cabeleireiros Lojas Magazines Supermercados	24 a 26	40 a 60	27	65
Ambientes com grandes cargas de calor latente e/ou sensível	Teatros Auditórios <b>Templos</b> Cinemas Bares Lanchonetes Restaurantes Bibliotecas Estúdios de TV	<b>24 a 26</b>	<b>40 a 65</b>	27	65

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6401 (1980).

**Tabela 7 - Acréscimo diferencial de temperatura**

Acréscimo do Diferencial de Temperatura - $\Delta T$ em °F e em °C						
Superfície	Cor Escura		Cor Média		Cor Clara	
	°F	°C	°F	°C	°F	°C
<b>Telhado</b>	45	25	30	16,6	15	<b>8,3</b>
<b>Parede E ou O</b>	30	16,6	20	11,1	10	<b>5,5</b>
<b>Parede N</b>	15	8,3	10	5,5	5	<b>2,7</b>
<b>Parede S</b>	0	0	0	0	0	<b>0</b>

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6401 (1980).

- **4ª etapa:** realizar cálculo de carga térmica devido a condição nas paredes e vidros, (utilizando a tabela 6 à tabela 10);

$$Q = U * A * (t_e - t_i) + \Delta t \quad (4)$$

Onde (4):

$Q$  = Carga térmica de condução (W)

$U$  = coeficiente global de transmissão de calor ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$A$  = área da superfície ( $m^2$ )

$t_e$  = temperatura do exterior ( $^\circ C$ )

$t_i$  = temperatura do interior ( $^\circ C$ )

$\Delta t$  = acréscimo ao diferencial de temperatura ( $^\circ C$ )

$$Q(\text{vidro}) = A * \Delta t * U(\text{vidro}) + F_s * R_s \quad (5)$$

Onde (5):

$Q(\text{vidro})$  = Carga térmica de condução (W)

$U$  = coeficiente global de transmissão de calor ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$A$  = área da superfície ( $m^2$ )

$F_s$  = Fator Solar

$R_s$  = Radiação Solar ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$\Delta t$  = acréscimo ao diferencial de temperatura ( $^\circ C$ )

**Tabela 8** - Coeficientes globais de transferência de calor aproximados

<b>Material</b>	<b>Coeficiente global de transferência de calor <math>U</math> [<math>W/ (m^2 \cdot ^\circ C)</math>]</b>
Parede de tijolo de 6 furos com reboco nas duas faces	2,5

**Fonte:** adaptado de Silva (2019).

**Tabela 9 - Fator Solar Vidro**

Elemento	Tipo	U (W/m <sup>2</sup> K)
Paredes	Tijolo de 6 furos com espessura de 12,5 cm	2,39
	Tijolo de 6 furos com espessura de 17 cm (deitado)	2,08
	Tijolo de 8 furos rebocado de 12,5 cm	2,49
	Tijolo de 4 furos rebocado de 12,5 cm	2,59
	Tijolo maciço aparente de 9 cm	4,04
	Tijolo maciço rebocado de 12 cm	3,57
	Tijolo maciço rebocado de 26 cm	2,45
Janelas	Vidro comum de 3 mm	5,79

Fonte: adaptado de Ashrae (1993).

**Tabela 10 – Coeficiente de transmissão do calor solar de vidro (Fator Solar)**

22° 54' Latitude Sul														Valores Máximos em Cada Orientação entre Setembro e Março		
Verão		kcal/h · m <sup>2</sup> (Fator Solar) de Áreas de Vidro														
Hora Local		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
Face do Prédio														kcal/h · m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	
22 DEZEMBRO	S	87	98	68	54	49	43	41	43	49	54	65	98	87	98	113,5
	SE	260	421	388	290	190	73	41	38	38	38	38	27	11	420	488,8
	E	263	440	475	426	277	122	38	38	38	38	38	27	11	474	551,8
	NE	95	193	222	214	157	84	43	38	38	38	38	27	11	222	358,6
	N	11	27	33	38	41	49	49	49	41	38	38	27	11	49	56,7
	NO	11	27	33	38	38	38	43	84	157	214	217	193	95	217	352,2
	O	11	27	33	38	38	38	38	122	277	426	434	440	263	440	510,8
SO	11	27	33	38	38	38	41	73	190	290	364	421	260	420	488,8	
CLARABÓIA		41	176	361	515	629	684	738	412	629	515	429	176	41	740	857,8

Fonte: adaptado de Creder (2004).

$$Q(\text{parede Norte}) = 2,5 * 40 * (31 - 25) + 2,7$$

$$Q(\text{parede Norte}) = 602,7 \text{ W}$$

$$Q(\text{parede Sul}) = 2,5 * 33,1 * (31 - 25) + 0$$

$$Q(\text{parede Sul}) = 496,5 \text{ W}$$

$$Q(\text{vidro}) = A * \Delta t * U(\text{vidro}) + F_s * R_s$$

$$Q(\text{vidro}) = 6,9 * 5 * 5,79 + 0,87 * 113,5$$

$$Q(\text{vidro}) = 298,5 \text{ W}$$

$$Q (\text{parede Leste}) = 2,5 * 85,2 * (31 - 25) + 5,5$$

$$Q (\text{parede Leste}) = 1283,5 \text{ W}$$

$$Q(\text{vidro}) = A * \Delta t * U(\text{vidro}) + F_s * R_s$$

$$Q(\text{vidro}) = 4,8 * 5 * 5,79 + 0,87 * 551,8$$

$$Q(\text{vidro}) = 619 \text{ W}$$

$$Q (\text{parede Oeste}) = 2,5 * 83,1 * (31 - 25) + 5,5$$

$$Q (\text{parede Oeste}) = 1252 \text{ W}$$

$$Q(\text{vidro}) = A * \Delta t * U(\text{vidro}) + F_s * R_s$$

$$Q(\text{vidro}) = 6,9 * 5 * 5,79 + 0,87 * 510,8$$

$$Q(\text{vidro}) = 644,2 \text{ W}$$

- **5ª etapa:** calcular a carga térmica devido a infiltração;

**Tabela 11** - Propriedade do ar como gás ideal

T K	h kJ/kg	P <sub>v</sub>	u kJ/kg	v <sub>v</sub>	s <sup>o</sup> kJ/(kg · K)
200	199.97	0.3363	142.56	1707.0	1.295 59
210	209.97	0.3987	149.69	1512.0	1.344 44
220	219.97	0.4690	156.82	1346.0	1.391 05
230	230.02	0.5477	164.00	1206.0	1.435 57
240	240.02	0.6355	171.13	1084.0	1.478 24
250	250.05	0.7329	178.26	979.0	1.519 17
260	260.09	0.8405	185.45	887.8	1.558 48
270	270.11	0.9590	192.60	808.0	1.596 34
280	280.13	1.0889	199.75	738.0	1.632 79
285	285.14	1.1584	203.33	706.1	1.650 55
290	290.16	1.2311	206.91	676.1	1.668 02
295	295.17	1.3068	210.49	647.9	1.685 15
300	300.19	1.3860	214.07	621.2	1.702 03
305	305.22	1.4686	217.67	596.0	1.718 65
310	310.24	1.5546	221.25	572.3	1.734 98
315	315.27	1.6442	224.85	549.8	1.751 06
320	320.29	1.7375	228.42	528.6	1.766 90
325	325.31	1.8345	232.02	508.4	1.782 49
330	330.34	1.9352	235.61	489.4	1.797 83
340	340.42	2.149	242.82	454.1	1.827 90

Fonte: adaptado de International Critical Tables (ANO).

Tabela 12 - Infiltração de ar

A) Pelas frestas		
Tipo de abertura	Observação	m <sup>3</sup> /h por metro de fresta <sup>(A)</sup>
<u>Janelas</u>		
- comum		3.0
- basculante		3.0
- guilhotina com caixilho de madeira	Mal ajustada	6.5
	Bem ajustada	2.0
- guilhotina com caixilho metálico	Sem vedação	4.5
	Com vedação	1.8
<u>Portas</u>		
	Mal ajustada	13.0
	Bem ajustada	6.5

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6401 (1980).

$$q = (h_e - h_i) * \rho * Q \quad (6)$$

Onde (6):

q = Carga térmica devido a infiltração (W)

h<sub>e</sub> = Entalpia devido a temperatura externa (kJ/kg)

h<sub>i</sub> = Entalpia devido a temperatura interna (kJ/kg)



$\rho$  = Massa específica do ar (kg/m<sup>3</sup>)

Q = Vazão devido a infiltração (m<sup>3</sup>/h)

$\rho = 1,2$  kg/m<sup>3</sup>

\*  $C_{p,ar} = 1,004$  kJ/kg.K

\*  $T_e = 31^\circ\text{C} = 304$  K;  $H_e = 305,22$  kJ/kg (Valor aproximado da tabela 11)

\*  $T_i = 25^\circ\text{C} = 293$  K;  $H_i = 295,17$  kJ/kg (Valor aproximado da tabela 11)

Para Janelas:

$$q = (h_e - h_i) * \rho * Q$$

$$q = (305,22 - 295,17) * 1,2 * 3,0 = 36,18 \text{ kJ/kh} * 0,2777 = 10,05 \text{ W}$$

Para Portas:

$$q = (h_e - h_i) * \rho * Q$$

$$q = (305,22 - 295,17) * 1,2 * 6,5 = 78,39 \text{ kJ/kh} * 0,2777 = 21,77 \text{ W}$$

- **6ª etapa:** calcular a carga térmica devido as pessoas (utilizando a tabela 13);

**Tabela 13** – Calor liberado por pessoas (kcal/h)

Calor liberado por pessoas (kcal/h)												
Local	Metabolismo homem adulto	Metabolismo médio <sup>(A)</sup>	TBS									
			28		27		26		24		21	
			S	L	S	L	S	L	S	L	S	L
Teatro, escola primária	98	88	44	44	49	39	53	35	58	30	65	23
Escola secundária	113	100	45	55	48	52	54	46	60	40	68	32
Esqr., hotéis, apartamentos, Univ.	120	113	45	68	50	63	54	59	61	52	71	42
Supermercados varejistas, lojas	139											
Farmácias, drogarias	139	126	45	81	50	76	55	71	64	62	73	53
Bancos	139											
Restaurante <sup>(B)</sup>	126	139	48	91	55	84	61	78	71	68	81	58
Fábrica, trabalho leve	202	189	48	141	55	134	62	127	74	115	92	97
Salão de baile	227	214	55	159	62	152	69	145	82	132	101	113
Fábrica, trabalho moderadamente pesado	252	252	68	184	76	176	83	169	96	156	116	136
Boliches, fábricas, ginásios <sup>(C)</sup>	378	365	113	252	117	248	122	243	132	233	152	213

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6401 (1980).

$$Q(\text{pessoas}) = N * (q_s + q_l) \quad (7)$$

Onde:

Q = Carga térmica devido as pessoas

N = Número de pessoas

q<sub>l</sub> = Calor Latente (W)

q<sub>s</sub> = Calor Sensível (W)

$$q_s = \frac{64[\text{kcal/h}]}{0,8598} = 74,4 \text{ W}$$

$$q_l = \frac{62[\text{kcal/h}]}{0,8598} = 72,1$$

$$Q(\text{pessoas}) = 60 * (74,4 + 72,1) = 8790 \text{ W}$$

- **7ª etapa:** calcular a carga térmica dos equipamentos;

**Tabela 14** – Equipamentos utilizados no templo

Lista de Equipamentos	Potência (W)	Quantidade	Total
Lâmpadas	60	15	900
Canhão LED	18	6	108
Computador	300	1	300
Monitor	50	1	50
Projetor	120	1	120
Caixa de Som	800	2	1600
			3078 W

Fonte: o autor (2021).

- **8ª etapa:** calcular a carga térmica devido a ventilação (utilizando a tabela 15);

**Tabela 15** - Vazão eficaz mínima de ar exterior para ventilação

Local	D pessoas/ 100 m <sup>2</sup>	Nível 1		Nível 2		Nível 3		Exaustão mecânica L/s* m <sup>2 a</sup>
		F <sub>p</sub> L/s* pess.	F <sub>a</sub> L/s* m <sup>2</sup>	F <sub>p</sub> L/s* pess.	F <sub>a</sub> L/s* m <sup>2</sup>	F <sub>p</sub> L/s* pess.	F <sub>a</sub> L/s* m <sup>2</sup>	
<b>Edifícios públicos</b>								
Aeroporto – saguão <sup>c</sup>	15	3,8	0,3	5,3	0,4	5,7	0,5	--
Aeroporto – sala de embarque <sup>c</sup>	100	3,8	0,3	5,3	0,4	5,7	0,5	--
Biblioteca	10	2,5	0,6	3,5	0,8	3,8	0,9	--
Museu, galeria de arte <sup>d</sup>	40	3,8	0,3	5,3	0,4	5,7	0,5	--
Local de culto	120	2,5	0,3	3,5	0,4	3,8	0,5	--

Fonte: adaptado de ABNT NBR 16401 (2008).

$$q = \rho * C_{p, ar} * Q * (T_e - T_i) \quad (8)$$

Onde (8):

q = Carga térmica devido a ventilação

te = temperatura do exterior (°C)

ti = temperatura do interior (°C)

Q = Vazão m<sup>3</sup>/s

ρ = Massa específica do ar (kg/m<sup>3</sup>)

C<sub>p,ar</sub> = Calor específico do ar

(9)

$$Q = \frac{F_p * N + F_a * A}{1000}$$

Onde (9):

$Q = \text{Vazão } m^3/s$

$N = \text{Número de pessoas}$

$F_p = \text{Vazão por pessoa (L/s*pe\ss\o\aa)}$

$F_a = \text{Vazão por área útil ocupada (L/s*m}^2\text{)}$

$A = \text{Área (m}^2\text{)}$

$$Q = \frac{3,8 * 60 + 0,5 * (18 * 8)}{1000} = 0,3 m^3/s$$

$$0,3 \left[ \frac{m^3}{s} \right] * 3600 = 1080 m^3/h$$

$$q = \rho * C_{p, ar} * Q * (T_e - T_i)$$

$$q = 1,2 * 1,004 * 1080 * (304 - 298) = 7807,1W$$

- **9ª etapa:** calcular a carga térmica total;

$$Q_{total} = 602,7 + 496,5 + 298,5 + 1283,5 + 619 + 1252 + 644,2 + 10,05 + 21,77 \\ + 8790 + 3078 + 7807,1 = 27357,22W$$

$$Q_{total} = 24903,32[w] * 3,412 = 84970,13 \left[ \frac{BTU'S}{h} \right]$$

ou

$$Q_{total} = \frac{84970,13}{12000} = 7,1TR's$$

### 3.3 OPÇÕES DE AQUISIÇÕES DE AR-CONDICIONADO

- **1ª Escolha:** ar-condicionado Splitão Carrier Eco 7,5 TR Frio 220V;

**Figura 13** – Ar-Condicionado Dutado Carrier Eco 7,5 TR



**Fonte:** Google (2021).

**Figura 14** - Instalação de um sistema Dutado



**Fonte:** Google (2021).

O ar-condicionado Splitão, como é popularmente conhecido, ou ar-condicionado Dutado, é ideal para se utilizar quando há mais de um cômodo a ser climatizado ou há uma área ampla que precise de climatização uniforme.

Dentro da sua funcionalidade, suas vantagens são: satisfazer vários ambientes ao mesmo tempo; não comprometer a estética do ambiente por serem instalados acima do teto, não ficando visíveis; contam com uma excelente distribuição de ar, fazendo com o que o ambiente receba climatização uniforme.

Por outro lado, suas desvantagens são: possui maior custo de aquisição; seu nível de ruído é bem maior se comparado com os meios convencionais; a limpeza dos dutos é mais difícil.

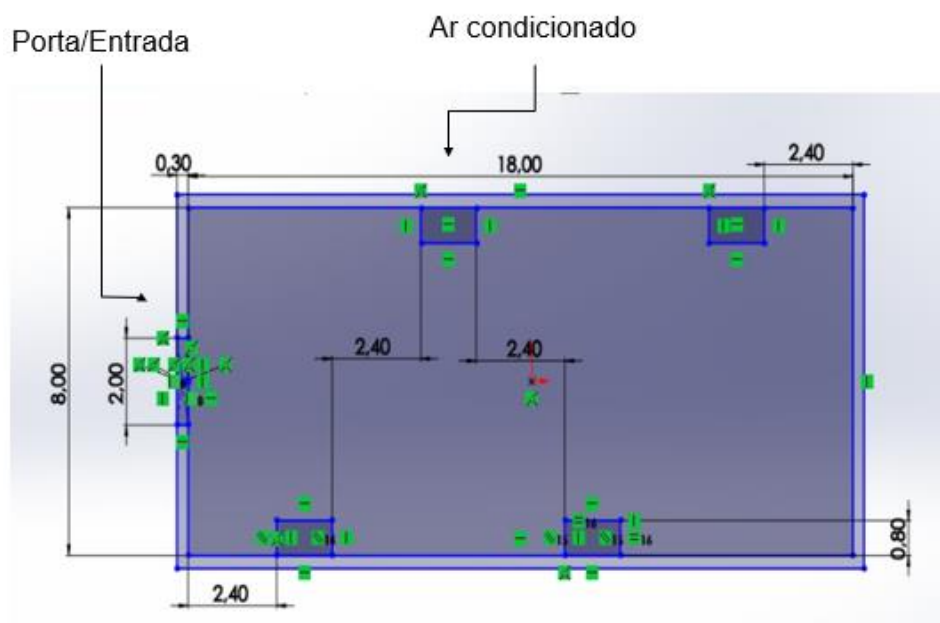
- **2ª Escolha:** 4 unidades do ar-condicionado Split LG Dual Inverter Voice 24000BTUs Frio 220V, totalizando 96000 BTUs, atendendo a necessidade do cliente, o qual precisa de 84970,13 BTUs;

**Figura 15** - Ar condicionado Split LG Dual Inverter Voice 24000BTUs



**Fonte:** Google (2021).

**Figura 16** - Planta baixa da igreja com o posicionamento do ar-condicionado



**Fonte:** o autor (2021).

As vantagens oferecidas por este sistema são: facilidade na instalação se comparado ao sistema Dutado; ausência de ruídos, pois a unidade condensadora onde contém o compressor é instalada fora do ambiente climatizado; devido ao ambiente analisado estar se encontrar em processo de expansão, conta com uma flexibilização para o uso em um novo layout.

Já as desvantagens são: devido ao fato de haver quatro unidades trabalhando, a distribuição do ar climatizado não será de maneira uniforme; a manutenção, quando necessária, terá um custo mais elevado, por conta da separação das quatro unidades; a instalação exige uma pequena reforma, para que seja passada a tubulação e haja a fixação do aparelho na parede.

#### **4 CONCLUSÃO**

O avanço tecnológico e a praticidade proveniente da internet trouxeram consigo, também, certa quantidade de informações errôneas e equivocadas, as quais podem ser encontradas na realização de pesquisas cotidianas.

Diversos sites oferecem cálculos de BTUs para auxiliar na compra de equipamentos por conta própria. Entretanto, diante dessa possibilidade, muitas pessoas estão adquirindo produtos que não precisam ou que não atenderão as suas necessidades.

Em uma breve consulta realizada foi obtido o valor de 138500 BTUs para o local analisado, aproximadamente 63% além da quantidade que é, de fato, necessária. Além do gasto excessivo com energia elétrica, o ambiente se tornaria muito frio devido à alta performance do equipamento em relação à sua potência.

Com este intuito é que o artigo foi idealizado. Para o local proposto, o pastor responsável pela igreja decidiu optar pela segunda opção, na qual obteria quatro equipamentos de 24000 BTUs, uma vez que o valor da aquisição seria menor em comparativo ao sistema Dutado, além de uma instalação mais simplificada.

A igreja passou por um processo de expansão no qual, futuramente, ao se optar pelo sistema Splitão (Dutado), seria necessária uma nova disposição dos equipamentos, a qual resultaria em gastos excessivos, pois, para que esse sistema fosse implantado, seria necessária a fabricação de vigas metálicas e dutos com a devida isolamento térmica para o transporte do ar climatizado, o que tornaria o sistema inviável no momento.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, D. N. **Procedimento Básico de Elaboração e Implantação de Projetos de Sistemas de Ar-Condicionado Baseado na ABNT NBR 16401**. 2013. 110 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013. Disponível em: [https://mecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/2012-2\\_diego\\_alves\\_e\\_rafael\\_reuter.pdf](https://mecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/2012-2_diego_alves_e_rafael_reuter.pdf). Acesso em: 05 jul. 2021.
- CARLOS, A. **Quem inventou o ar condicionado?**. 2020. Disponível em: <https://chiller.com.br/quem-inventou-o-ar-condicionado/>. Acesso em: 01 out. 2021.
- ÇENGEL, Y. A., **Transferência de calor e massa**. Rio de Janeiro: MCgraw Hill Company, 2012.
- CORREA, Y. **Duto de Ar-Condicionado nos modelos Split: Como Funciona**. 2010. Disponível em: <https://www.webarcondicionado.com.br/ar-condicionado-split-duto-dutado>. Acesso em: 27 out. 2021.
- CREDER, H. **Instalações de ar-condicionado**. Rio de Janeiro: Ltc, 2004.
- ELETROFRIGOR. **Qual a diferença entre um ar-condicionado self contained e um split?**. 2020. Disponível em: <https://www.eletrofrigor.com.br/diferenca-entre-self-contained-e-split/>. Acesso em: 17 out. 2021.
- GIACOMINI, G. **A História do Ar-Condicionado: Linha do Tempo Completa**. 2010. Disponível em: <https://www.webarcondicionado.com.br/a-historia-do-ar-condicionado>. Acesso em: 01 out. 2021.
- PIMENTA, K. Q. **Dimensionamento e Seleção de um Sistema de Ventilação e Condicionamento de Ar para a Melhoria das Condições de Conforto Térmico de um Laboratório de Computadores**. 2019. 70 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto - Mg, 2019. Disponível em: [https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1945/1/MONOGRAFIA\\_DimensionamentoSeleçãoSistema.pdf](https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1945/1/MONOGRAFIA_DimensionamentoSeleçãoSistema.pdf). Acesso em: 05 jun. 2020.
- PRADO FILHO, H. R. do **Conforto térmico: as sensações de frio e calor do ser humano**. 2014. Disponível em: <https://qualidadeonline.wordpress.com/2014/04/10/conforto-termico-as-sensacoes-de-frio-e-calor-do-ser-humano/>. Acesso em: 10 ago. 2021.
- ROSA, D. E. **Projeto Básico do Sistema de Ar-Condicionado Central e Ventilação Mecânica do Novo Restaurante Universitário do CEFET/RJ**. 2020. 101 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Cefet/Rj, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: [http://www.cefet-rj.br/attachments/article/2943/Projeto%20Final%202018\\_2%20Projeto%20Básico%20Sist%20Ar%20Condicionado%20Central%20e%20Ventilação%20Mecânica%20do%20Novo%20Restaurante%20Univers%20CEFET-RJ.pdf](http://www.cefet-rj.br/attachments/article/2943/Projeto%20Final%202018_2%20Projeto%20Básico%20Sist%20Ar%20Condicionado%20Central%20e%20Ventilação%20Mecânica%20do%20Novo%20Restaurante%20Univers%20CEFET-RJ.pdf). Acesso em: 05 jul. 2021.
- SCHULZ, D. **Leis da Termodinâmica**. 2009. Disponível em: [https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/leis\\_termodinamica.htm](https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/leis_termodinamica.htm). Acesso em: 10 out. 2021.
- SICFLUX. **Importância do conforto térmico no ambiente de trabalho**. 2019. Disponível em: <https://sicflux.com.br/blog/conforto-termico-no-ambiente-de-trabalho/>. Acesso em: 05 jul. 2021.



SILVA, J. de C.; SILVA, A. C. G. C. **Refrigeração e climatização para técnicos e engenheiros**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2019.

SLIDESHARE. **Tabelas Termodinâmicas**. 2021. Disponível em:  
<https://www.slideshare.net/dougbr/tabelas-termodinamica>. Acesso em: 17 out. 2021

ZERBINI, E. de J., **Fundamentos da Termodinâmica**. Rio de Janeiro: Edgard Blucher, 2019. p. 1-50.