



Artigo

# Especificação de um sistema de ar condicionado: Cálculo de cargas térmicas e seleção de equipamentos

Matheus Costa Pereira <sup>[1]</sup>, Gustavo Henrique Judice <sup>[2]</sup> e Pedro José Papandrea <sup>[3]</sup>

<sup>[1]</sup> Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá/MG; matheusc\_pereira@hotmail.com

<sup>[2]</sup> Centro Universitário UNA (UNA), Pouso Alegre/MG; gustavo.judice@prof.una.br

<sup>[3]</sup> Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), Varginha/MG; pedro.papandrea@unifal-mg.edu.br

*Recebido:* 29/09/2023;

*Aceito:* 22/12/2023;

*Publicado:* 26/12/2023.

**Resumo:** Avaliação analítica de um sistema de ar-condicionado, com estudo de caso baseado em um evento localizado em Pouso Alegre/MG. Através da definição e do estudo arquitetônico do espaço, realizado por meio de um croqui do ambiente, foi possível elaborar um memorial de cálculos com o propósito de avaliar uma série de dados. Essa análise precisa permitiu a escolha dos melhores equipamentos, garantindo uma refrigeração ideal, além de proporcionar uma boa limpeza e um ambiente com cheiro agradável, que seja totalmente saudável e adequado. Vale ressaltar que o diagnóstico e o estudo foram desenvolvidos com a assistência de profissionais especializados no ramo, que mesclaram seu conhecimento empírico na análise de viabilidade.

**Palavras-chave:** Ar condicionado; Cargas térmicas; Refrigeração; Renovação de ar.

**Abstract:** Analytical evaluation of an air conditioning system, with a case study based on an event located in Pouso Alegre/MG. Through the definition and architectural study of the space, conducted by means of a sketch of the environment, it was possible to develop a calculation report with the purpose of assessing a series of data. This precise analysis allowed for the selection of the best equipment, ensuring optimal cooling, as well as providing good cleanliness and a pleasant-smelling environment that is completely healthy and suitable. It is worth noting that the diagnosis and study were conducted with the assistance of specialized professionals in the field, who combined their empirical knowledge in the feasibility analysis.

**Key-words:** Air conditioning; Thermal loads; Refrigeration; Air renewal.

## 1. INTRODUÇÃO

O condicionamento de ar é uma prática muito antiga, remontando à Roma antiga, na qual a água dos aquedutos era utilizada para circular e resfriar as casas, proporcionando conforto. Além disso, o objetivo deste trabalho é planejar o sistema de condicionamento de ar da empresa e de seus espaços internos para a realização de eventos.

Por meio desse planejamento, serão definidas a disposição dos aparelhos de ar-condicionado, levando em consideração cálculos precisos, determinando onde cada um será instalado e os valores necessários para que a especificação esteja de acordo com as solicitações do cliente e as normas aplicáveis, visando um projeto econômico, de qualidade e sustentável. O conforto térmico do ambiente pode ser ajustado e otimizado por meio do estudo de diferentes arranjos [1].

Todos os dados e detalhes devem ser considerados, desde a quantidade de pessoas, o uso de equipamentos até o dimensionamento dos ambientes e a localização com maior incidência solar.

As aplicações do ar condicionado não se limitam apenas ao controle de temperatura, mas também abrangem a umidade relativa, a qualidade do ar, a renovação e a circulação do ar, nível de ruído, vestimenta, pressão, altitude e movimentação de ar, que são de suma importância. O conforto térmico, como mencionado, está relacionado à satisfação e ao bem-estar do indivíduo no ambiente [2].

Inicialmente, o cliente forneceu os dados necessários para a realização dos cálculos. A Figura 1 apresenta de forma sucinta o layout do ambiente estudado, seguida das informações disponibilizadas para a escolha dos equipamentos de ar-condicionado.

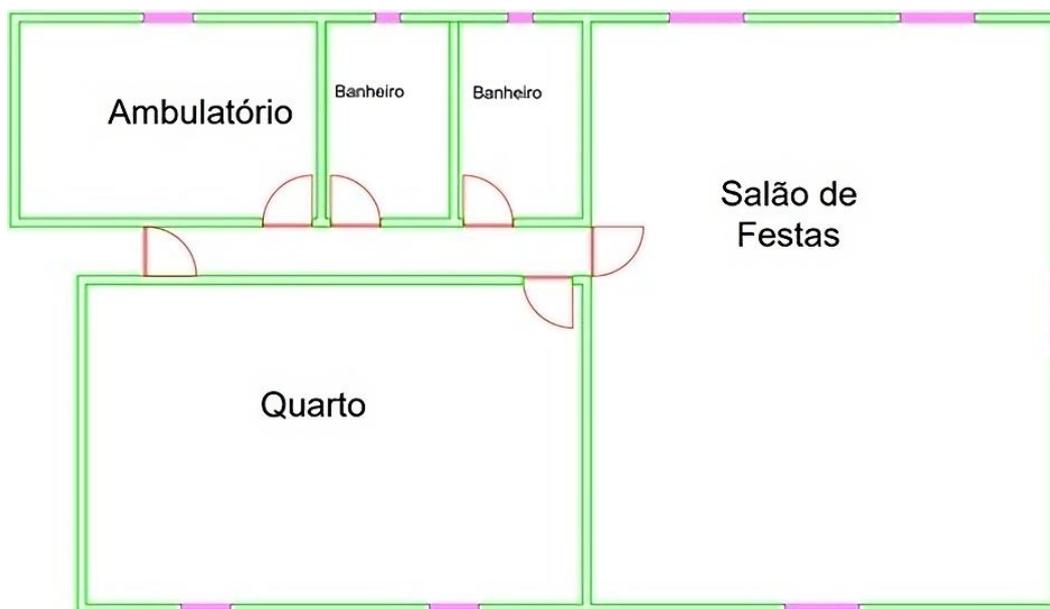


FIGURA 1. Planta completa (autoria própria).

A temperatura desejada no interior dos ambientes é de 20,00 °C. A área do salão é de 110,00 m<sup>2</sup>, a área do quarto é de 65,00 m<sup>2</sup>, a área do ambulatório é de 24,00 m<sup>2</sup>, a área do corredor é de 9,00 m<sup>2</sup> e a área de cada banheiro é de 10,00 m<sup>2</sup>. O pé-direito de todos os ambientes é de 3,00 m e as paredes são construídas com tijolos cerâmicos de espessura de 170,00 mm.

A oscilação da temperatura, umidade relativa, altitude e sua previsão são importantes devido aos danos que isso pode causar. As mudanças climáticas representam um enorme problema atual para os seres humanos [3].

Todas as paredes são revestidas com chapisco, emboço e reboco do lado externo, e com gesso e papel de parede do lado interno. A cobertura de toda a edificação é feita com telhas cimentícias e forro de policloreto de vinila (PVC).

As janelas no ambulatório e no quarto têm dimensões de 1,00 m por 0,80 m e são compostas por vidro simples com esquadrias de alumínio. As janelas do salão de eventos têm dimensões de 1,50 m por 1,00 m e são de vidro simples com esquadrias de alumínio. Todas as portas dos ambientes têm dimensões de 2,00 m por 1,00 m e são maciças, feitas de madeira.

O salão de eventos possui 8 caixas de som de 70 W de potência cada, um sistema de controle de áudio de 150 W, dois computadores de 110 W cada, um sistema de iluminação no palco com 60 lâmpadas de 12 W cada, iluminação ambiente com 36 lâmpadas de *light-emitting diode* (LED) tubular T8 de 18 W cada, além de três projetores da marca Epson PowerLite S41+. O quarto possui 8 lâmpadas de LED tubular T8 de 18 W cada. O ambulatório possui 6 lâmpadas de LED tubular T8 de 18 W cada, um notebook de 95 W de potência, um respirador mecânico e um sistema de monitoramento cardíaco com monitor.

Em relação ao número de ocupantes em cada ambiente, o salão é dividido em duas áreas: metade da área destina-se a pessoas sentadas e a outra metade a pessoas em pé. A capacidade máxima é determinada pela relação de 0,40 m<sup>2</sup>/pessoa para o público em pé e 1,0 m<sup>2</sup>/pessoa para o público sentado. O quarto tem capacidade para acomodar 1 pessoa a cada 1,50 m<sup>2</sup>, e o ambulatório tem capacidade máxima para 3 ocupantes em macas e mais 2 profissionais da saúde.

Existem várias formas de reduzir o consumo de energia e melhorar a climatização, como a recuperação de calor, sistemas de absorção e aprimoramento dos sistemas de refrigeração [4]. O objetivo do ar-condicionado é climatizar o ar em um ambiente fechado, mantendo a temperatura e a umidade relativa controladas de acordo com o conforto térmico solicitado [5].

## 2. DEFINIÇÃO E PEQUENA HISTÓRIA DO AR-CONDICIONADO

O processo de tratamento do ar interior em espaços fechados é conhecido como condicionamento de ar e tem como objetivo regular o ar em diferentes condições, garantindo a sua qualidade. Os sistemas de condicionamento de ar possuem funções como aquecimento, resfriamento, umidificação, filtragem e ventilação do ar.

A escolha do ar-condicionado correto é de extrema importância para a qualidade de vida, pois estão relacionados à qualidade do ar interior do estabelecimento [6]. A climatização é um processo similar ao

condicionamento de ar, mas não inclui a função de umidificação ou outras semelhantes. O ar está constantemente sujeito a diversas ações que causam alterações na temperatura [7].

O primeiro sistema de ar-condicionado foi implementado por Joseph McCreary em 1897, mas foi chamado de "lavador de ar" devido ao uso de borrifação de água [8].

Em 1902, o engenheiro Willis Carrier inventou um processo mecânico para condicionar o ar. Ele colocou em prática o controle climático para resolver um problema de impressão em uma empresa nos Estados Unidos. Segundo Carrier, era possível remover a umidade da fábrica por meio de dutos resfriados artificialmente. A indústria têxtil foi o primeiro grande mercado para os sistemas de ar-condicionado [9].

O termo "ar condicionado" surgiu em 1906 com Stuart Cramer, que desenvolveu seu próprio aparelho com o objetivo de adicionar umidade em sua fábrica de tecidos, explorando diferentes formas e aplicações [10].

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A primeira etapa deste estudo envolveu a coleta de dados iniciais fornecidos pelo cliente, que serviram como base para os cálculos e especificações necessários e com o layout do ambiente. É importante ressaltar que a variação da temperatura ao longo do tempo e sua previsão foram consideradas, uma vez que as mudanças climáticas são uma preocupação atual significativa.

As características da edificação também fazem diferença no momento de calcular a carga térmica, tudo isso deve ser considerado, uma vez que influencia diretamente na escolha dos equipamentos de ar-condicionado necessários para cada ambiente.

Com base nas cargas térmicas calculadas, foram selecionados os equipamentos de condicionamento de ar adequados para cada ambiente. Foram escolhidos equipamentos com capacidade suficiente para atender às demandas de resfriamento e aquecimento, bem como sistemas de controle de temperatura e umidade.

O projeto da distribuição de ar envolveu a determinação da localização das unidades de tratamento de ar (UTA) e dos dutos de distribuição que são cilíndricos metálicos, bem como a especificação dos tipos de difusores e grelhas utilizados em cada ambiente.

Por fim, uma análise de custos foi realizada para determinar a viabilidade econômica do projeto, levando em consideração os investimentos em equipamentos, instalações e operação do sistema de condicionamento de ar ao longo do tempo. Além de também ser analisado o gasto médio mensal.

### 4. MEMORIAL DE CÁLCULO

Os dados climáticos utilizados foram obtidos através do Weather Spark (2022), uma plataforma que fornece relatórios, gráficos e dados sobre temperaturas e climas em diversas regiões do mundo. Para a análise do projeto, foram utilizados dados específicos da cidade de Pouso Alegre, onde está localizada a edificação do evento. Com isso, tornou-se possível analisar uma variedade de dados climáticos, incluindo:

- Clima geral da região (em °C);
- Temperatura média ao longo do ano (em °C);
- Nuvens e cobertura do céu que é a medida que o céu está encoberto por nuvens (em %);
- Velocidade e direção dos ventos (em m/s);
- Horas de sol;
- Fases da lua que são representados pelos oito principais estágios;
- Precipitação pluviométrica (em mm);
- Estações de cultivo que são expressas em meses;
- Topografia local (em m).
- Umidade relativa ao longo do ano (em %);
- Altitude que leva em consideração a localização da edificação, em m);
- Pressão (em Pa);

Na Figura 2, é apresentado o perfil climático de Pouso Alegre no ano de 2022, demonstrando que o clima na região é geralmente ameno, com variações de temperatura entre 10 °C e 30 °C e em poucas situações sendo inferior a 7° e superior a 34°. Essa informação é relevante para compreender as diferenças entre clima quente, ameno e agradável. Além disso, o índice de turismo indica a melhor qualidade climática para visitação.

É importante considerar as mudanças climáticas no estudo do projeto de refrigeração, conforme mencionado por [11]. As alterações climáticas têm consequências significativas em diferentes aspectos, como social, ambiental e econômico, sendo essencial compreender essas mudanças para o desenvolvimento adequado do sistema de refrigeração.

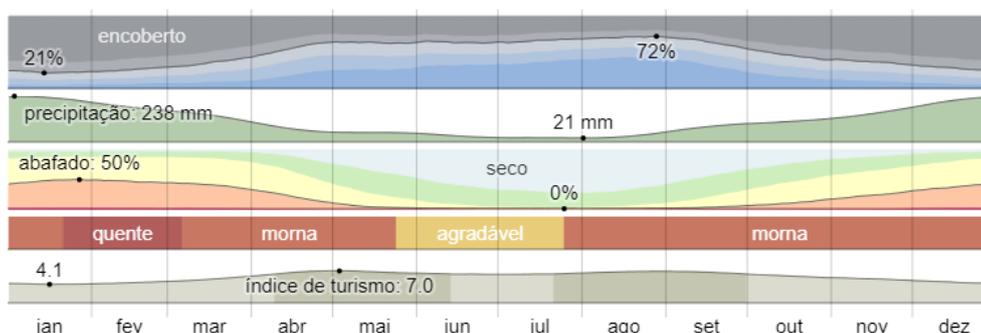


FIGURA 2. Clima em Pouso Alegre em 2022 [12]

É importante compreender a amplitude entre as temperaturas máximas e mínimas, bem como a análise das temperaturas médias mensais. Para isso, são empregados métodos de interpolação, visando calcular ponderações e correlações entre as temperaturas máximas e mínimas [13].

A Figura 3 apresenta as temperaturas máximas e mínimas registradas ao longo do mesmo período. Com isso, é possível observar que fevereiro é o mês mais quente, enquanto julho é o mês mais frio em termos de temperatura. Essas informações são relevantes para compreender as variações sazonais e planejar adequadamente o sistema de refrigeração.

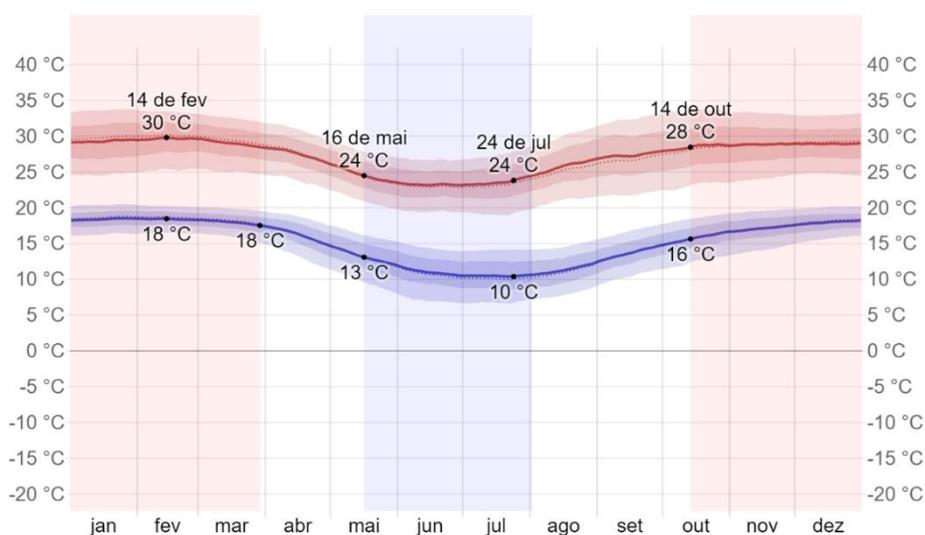


FIGURA 3. Temperaturas máximas e mínimas em Pouso Alegre em 2022 [14]

É crucial realizar cálculos levando em consideração condições extremas, considerando os dados mais críticos [15]. São avaliados o controle de um sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado com o propósito de manter o conforto sob a avaliação das cargas térmicas em [16].

Utilizando os dados fornecidos sobre o local e outras informações obtidas na região, foram realizados cálculos para determinar a troca de ar, as cargas térmicas, as cargas das paredes e as condições de temperatura de cada um dos cômodos refrigerados. É importante destacar o processo de troca de ar, no qual um corpo absorve calor do ambiente e o outro o rejeita [17].

Após realizar os cálculos que estão disponíveis no Apêndice A1, foi utilizada uma planilha para determinar a carga térmica total de cada ambiente, levando em consideração todas as variações e incógnitas relevantes para o planejamento do ambiente ideal. Inicialmente, os dados são classificados em oito fontes de calor, que são:

- Tipo I: Janela com isolamento;
- Tipo II: Janela com transmissão;
- Tipo III: Paredes;
- Tipo IV: Teto;
- Tipo V: Piso;
- Tipo VI: Pessoas;
- Tipo VII: Iluminação e aparelhos;
- Tipo VIII: Portas ou vãos.

Cada uma dessas fontes de calor possui várias subdivisões, levando em conta fatores como orientação, tipo de material e atividade das pessoas. Também devem ser consideradas as dimensões (largura, altura e comprimento), além dos tipos de construção e proteção.

Em cada linha da planilha, é feito um cálculo que corresponde à quantidade de Btu/h da unidade multiplicada pelo fator correspondente. O valor somado de cada tipo é destacado em negrito, resultando no subtotal. Em seguida, é aplicado o fator climático da região de Pouso Alegre, que é de 85,00%. O subtotal é multiplicado por 0,85 para obter a carga térmica total em Btu/h, que também é expressa em toneladas de refrigeração (TR).

Essa redução é importante, uma vez que métodos tradicionais de conforto térmico têm um impacto significativo no consumo de energia [18]. No caso do salão de festas, há uma grande quantidade de calor gerada pela presença de pessoas, principalmente durante atividades físicas como dança, o que aumenta consideravelmente a carga térmica. É essencial compreender o problema físico e os vários fatores que influenciam no princípio estudado [19].

O cálculo da carga térmica de todos os ambientes é realizado segundo as normas técnicas [20] e [21]. A Tabela 1 apresenta todos os detalhes do cálculo da carga térmica do salão de festas, que totaliza 171.327 Btu/h.

TABELA 1. Cálculo de carga térmica do salão de festas (autoria própria).

Procedência de calor	Dimensões			Fatores		Total
<b>Tipo II – Janelas de transmissão</b>	Largura	Altura	Área	Fator		<b>1.260,00</b>
2.1 Vidro comum	6,00	1,00	6,00	210,00		1.260,00
<b>Tipo III – Paredes</b>	Largura	Altura	Área	Construção leve	Construção pesada	<b>7.514,00</b>
3.1 Externas voltadas para o sol	9,30	3,00	27,90	55,00	42,00	1.172,00
3.2 Externas com outras orientações	42,28	3,00	126,84	84,00	50,00	6.342,00
<b>Tipo IV – Teto</b>	Comprimento	Largura	Área	Fator		<b>17.618,00</b>
4.5 Sob telhado sem isolamento	11,84	9,30	110,11	160,00		17.618,00
<b>Tipo VI – Pessoas</b>	Quantidade			Fator		<b>172.650,00</b>
5.1 Em atividade normal	55,00			630,00		34.650,00
5.2 Em atividade física	138,00			1.000,00		138.000,00
<b>Tipo VII – Iluminação e aparelhos</b>	Potência			Fator		<b>11.685,04</b>
7.1 Lâmpadas LED fluorescentes	1.368,00			4,00		5.472,00
7.2 Aparelhos elétricos	1.600,00			3.414,00		5.462,40
7.3 Computadores e notebooks	220,00			3.412,00		750,64
<b>Tipo VIII – Portas e vãos</b>	Largura	Altura	Total	Fator		<b>1.890,00</b>
8.1 Abertos constantemente	1,00	2,00	3,00	630,00		1.890,00
<b>Subtotal</b>						212.617,00
<b>Fator climático</b>						0,85
<b>Carga térmica (BTU/h)</b>						<b>171.327,00</b>
<b>TR</b>						<b>14,28</b>

Assim como no salão de festas, a quantidade de pessoas no quarto também tem uma contribuição significativa para a carga térmica. Na Tabela 2, são apresentados os cálculos detalhados da carga térmica do quarto, totalizando 35.670 Btu/h.

TABELA 2. Cálculo de carga térmica do quarto (autoria própria).

Procedência de calor	Dimensões			Fatores		Total
<b>Tipo II – Janelas de transmissão</b>	Largura	Altura	Área	Fator		<b>336,00</b>
2.1 Vidro comum	1,60	1,00	1,60	210,00		336,00
<b>Tipo III – Paredes</b>	Largura	Altura	Área	Construção leve	Construção pesada	<b>3.975,00</b>
3.2 Externas com outras orientações	26,50	3,00	79,50	84,00	50,00	3.975,00
<b>Tipo IV – Teto</b>	Comprimento	Largura	Área	Fator		<b>10.400,00</b>
4.5 Sob telhado sem isolamento	6,50	10,00	65,00	160,00		10.400,00
<b>Tipo VI – Pessoas</b>	Quantidade			Fator		<b>27.090,00</b>
5.1 Em atividade normal	43,00			630,00		27.090,00
<b>Tipo VII – Iluminação e aparelhos</b>	Potência			Fator		<b>576,00</b>
7.1 Lâmpadas LED fluorescentes	144,00			4,00		576,00
<b>Tipo VIII – Portas e vãos</b>	Largura	Altura	Total	Fator		<b>1.890,00</b>
8.1 Abertos constantemente	1,00	2,00	3,00	630,00		1.890,00
<b>Subtotal</b>						44.267,00
<b>Fator climático</b>						0,85
<b>Carga térmica (BTU/h)</b>						<b>35.670,00</b>
<b>TR</b>						<b>27,97</b>

Ao contrário dos cálculos mencionados anteriormente, no ambulatório a maior carga térmica é proveniente dos aparelhos elétricos, especialmente da iluminação local. Na Tabela 3, é possível visualizar detalhadamente a carga térmica do ambulatório, com um total de 13.769 Btu/h.

TABELA 3. Cálculo de carga térmica do ambulatório (autoria própria).

Procedência de calor	Dimensões			Fatores		Total
<b>Tipo II – Janelas de transmissão</b>	Largura	Altura	Área	Fator		<b>168,00</b>
2.1 Vidro comum	0,80	1,00	0,80	210,00		168,00
<b>Tipo III – Paredes</b>	Largura	Altura	Área	Construção leve	Construção pesada	<b>2.808,00</b>
3.1 Externas voltadas para o sol	8,00	3,00	24,00	55,00	42,00	1.008,00
3.2 Externas com outras orientações	12,00	3,00	36,00	84,00	50,00	1.800,00
<b>Tipo IV – Teto</b>	Comprimento	Largura	Área	Fator		<b>3.840,00</b>
4.5 Sob telhado sem isolamento	4,00	6,00	24,00	160,00		3.840,00
<b>Tipo VI – Pessoas</b>	Quantidade			Fator		<b>3.150,00</b>
5.1 Em atividade normal	5,00			630,00		3.150,00
<b>Tipo VII – Iluminação e aparelhos</b>	Potência			Fator		<b>6.491,66</b>
7.1 Lâmpadas LED fluorescentes	108,00			4,00		432,00
7.2 Aparelhos elétricos	1.680,00			3.414,00		5.735,52
7.3 Computadores e notebooks	95,00			3.412,00		324,14
<b>Tipo VIII – Portas e vãos</b>	Largura	Altura	Total	Fator		<b>630,00</b>
8.1 Abertos constantemente	1,00	2,00	3,00	630,00		630,00
<b>Subtotal</b>						17.088,00
<b>Fator climático</b>						0,85
<b>Carga térmica (BTU/h)</b>						<b>13.769,00</b>
<b>TR</b>						<b>1,15</b>

Por fim, calcula-se a soma de todas as cargas térmicas dos ambientes, onde o Tipo VI, que representa a quantidade de pessoas, possui um valor significativamente maior em relação aos outros tipos de transmissão de calor. Na Tabela 4, é apresentada a carga térmica total dos ambientes, já considerando a redução do fator climático, que resultou em 221.861 Btu/h ou 18,49 TR.

Nesse cálculo, observa-se que o telhado é a segunda maior fonte de calor, seguida pela iluminação, aparelhos elétricos e paredes. As outras fontes de calor têm valores mais baixos e são menos significativas para o cálculo.

TABELA 4. Cálculo de carga térmica total (autoria própria).

Procedência de calor	Dimensões			Fatores		Total
<b>Tipo II – Janelas de transmissão</b>	Largura	Altura	Área	Fator		<b>1.764,00</b>
2.1 Vidro comum	8,40	3,00	25,20	210,00		1.764,00
<b>Tipo III – Paredes</b>	Largura	Altura	Área	Construção leve	Construção pesada	<b>14.396,00</b>
3.1 Externas voltadas para o sol	17,30	9,00	155,70	55,00	42,00	2.180,00
3.2 Externas com outras orientações	42,28	3,00	727,02	84,00	50,00	12.117,00
3.3 Ambientes não condicionados	3,00	1,00	3,00	33,00		99,00
<b>Tipo IV – Teto</b>	Comprimento	Largura	Área	Fator		<b>31.858,00</b>
4.5 Sob telhado sem isolamento	22,34	25,30	565,20	160,00		31.858,00
<b>Tipo VI – Pessoas</b>	Quantidade			Fator		<b>202.890,00</b>
5.1 Em atividade normal	103,00			630,00		64.890,00
5.2 Em atividade física	138,00			1.000,00		138.000,00
<b>Tipo VII – Iluminação e aparelhos</b>	Potência			Fator		<b>18752,70</b>
7.1 Lâmpadas LED fluorescentes	1.620,00			4,00		6.480,00
7.2 Aparelhos elétricos	3.280,00			3.414,00		11.197,92
7.3 Computadores e notebooks	315,00			3.412,00		1074,78
<b>Tipo VIII – Portas e vãos</b>	Largura	Altura	Total	Fator		<b>5.670,00</b>
8.1 Abertos constantemente	3,00	6,00	9,00	630,00		5.670,00
<b>Subtotal</b>						275.330,00
<b>Fator climático</b>						0,85
<b>Carga térmica (BTU/h)</b>						<b>221.861,00</b>
<b>TR</b>						<b>18,49</b>

## 5. CÁLCULO PARA A ESCOLHA DO EQUIPAMENTO

Com o uso de planilhas e fórmulas, foi possível realizar o cálculo para a escolha dos equipamentos ideais para os clientes. Inicialmente, é importante compreender a planta completa da empresa, seguida pela planta detalhada, na qual os equipamentos selecionados estão descritos em seus respectivos locais. A carga térmica deve ser calculada utilizando o método *Cooling Load Temperature Difference* [22], enquanto também há o método RTS para calcular a carga de resfriamento, dado por [23].

Com o conhecimento teórico e prático sobre refrigeração, foi possível determinar a quantidade de BTU/h necessária para cada cômodo. A renovação de ar é essencial e obrigatória para garantir uma refrigeração de

alta qualidade e atender às demandas esperadas e ter uma boa qualidade de ar no interior do ambiente para os indivíduos. A partir disso, foi feita uma análise dos equipamentos, considerando sua utilização, viabilidade e custos para o desenvolvimento do projeto.

O fator climático da região de Minas Gerais é de 0,85, conforme mencionado anteriormente. Após obter o subtotal de BTU/h para cada ambiente, multiplica-se esse valor pelo fator climático para obter o valor total real.

Com os cálculos das cargas térmicas, obtém-se os seguintes valores resultantes para a elaboração do relatório e a definição dos equipamentos a serem adquiridos para cada local. Todos os dados já foram ajustados levando em consideração o fator climático:

- Salão de festas: 171.327 BTU/h → 3 equipamentos de 60.000 BTU/h.
- Quarto: 35.670 BTU/h → 1 equipamento de 36.000 BTU/h.
- Ambulatório: 17.088 BTU/h → 1 equipamento de 18.000 BTU/h.
- Carga térmica total: 221.781 BTU/h → 5 aparelhos de ar-condicionado.

Para o dimensionamento adequado do sistema de renovação de ar, foi realizado o cálculo da quantidade de m<sup>3</sup>/h de ar necessário para cada cômodo, visando garantir sua eficácia. De acordo com [24], é crucial otimizar a eficiência energética e manter a qualidade do ar, sendo a taxa de renovação do ar um aspecto essencial para garantir esse objetivo. No salão e no quarto, será utilizado o mesmo equipamento de renovação de ar, o RA-1500. No entanto, devido à maior umidade presente no salão, o equipamento será instalado na parede.

No salão, serão utilizados 4 ventiladores de ar, cada um com potência de 300 W e capacidade de vazão de ar variável, podendo atingir até 1.500 m<sup>3</sup>/h. No quarto, será utilizado 1 ventilador de 300 W, também com capacidade de vazão de ar variável de até 1.500 m<sup>3</sup>/h. No ambulatório, devido ao espaço reduzido e à menor demanda de renovação de ar, será utilizado um ventilador com vazão máxima de 200 m<sup>3</sup>/h.

No banheiro, serão utilizados exaustores com funcionamento automático, acionados por sensores que os ligam durante o uso e desligam 1 minuto após o uso. Além disso, serão instaladas grelhas nas portas do banheiro e corredor para melhorar a circulação de ar.

A Figura 4 ilustra a planta detalhada com os aparelhos de ar-condicionado, renovadores de ar e todo o sistema, incluindo as medidas de cada detalhe mencionado, o que fornece uma visão detalhada de como os equipamentos estão distribuídos e integrados ao projeto. O salão de festas é o local com a maior quantidade de dispositivos. Na Figura 5, encontra-se a legenda do significado de cada elemento apresentado.

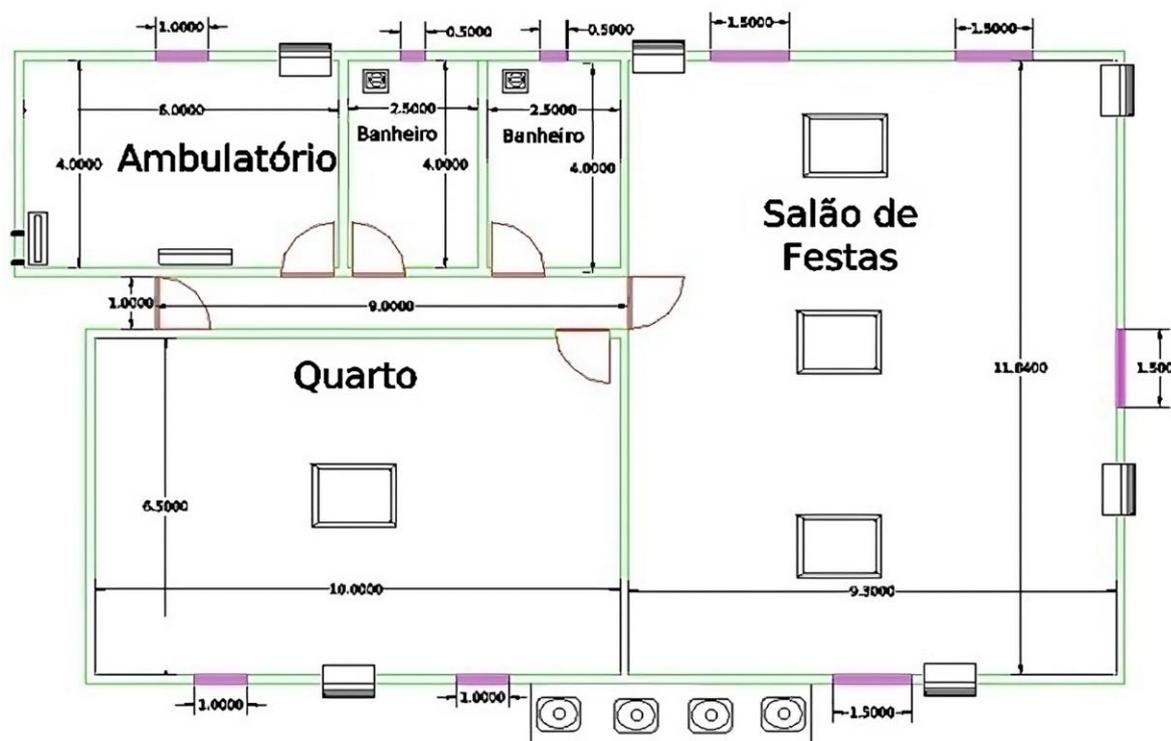


FIGURA 4. Planta detalhada (autoria própria).

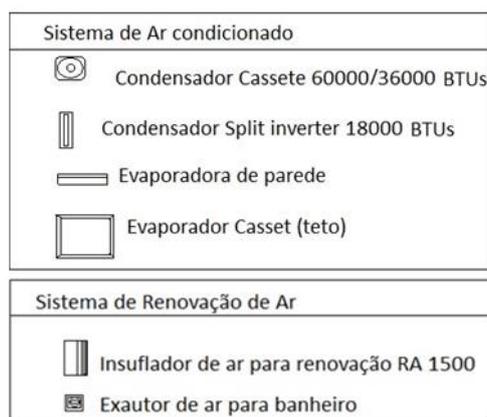


FIGURA 5: Sistema de ar condicionado (autoria própria).

## 6. RESULTADOS

Além das informações apresentadas nos capítulos anteriores, é necessário ter um conhecimento mais amplo para decidir qual produto escolher. Na escolha do aparelho, é importante adquirir um que possua a tecnologia *inverter*, a qual permite que o motor permaneça em funcionamento durante todo o período sem ligar e desligar como os aparelhos convencionais. Com essa inovação, elimina-se o ciclo de "liga-desliga" e o aparelho chega a consumir apenas 60% da energia em comparação aos demais. Além disso, garante uma temperatura ideal no ambiente durante todo o funcionamento, e proporcionando um ambiente livre de ruídos.

O projeto de distribuição dos equipamentos de ar-condicionado foi elaborado levando em consideração as necessidades de refrigeração de cada ambiente, como mencionado anteriormente. Abaixo estão listados os equipamentos que serão instalados em cada recinto:

No ambulatório, será instalado um Ar-condicionado Split LG Dual Inverter Voice 18.000 BTUs Frio. Esse modelo foi selecionado devido ao tamanho reduzido do ambiente. A instalação será feita com o condensador posicionado no telhado e protegido por uma cobertura individual que receberá apenas a incidência solar da tarde. A Figura 6 ilustra o ar-condicionado que será instalado nesse local.



FIGURA 6. Ar-condicionado Split ambulatório [25].

No quarto, será utilizado o Ar-Condicionado Split Cassete Inverter Philco 36.000 BTUs Frio 220 V. Esse modelo proporcionará uma distribuição uniforme do ar no ambiente. O condensador será instalado na casa de máquinas localizada do lado externo do próprio quarto, minimizando a necessidade de tubulação adicional. A Figura 7 apresenta o ar-condicionado que será utilizado no quarto.



FIGURA 7. Ar-condicionado Cassete quarto [26].

No salão de festas, serão instalados 3 aparelhos de Ar-Condicionado Split Cassete Inverter Philco 60.000 BTUs Frio 380 V/3F, totalizando uma capacidade de refrigeração de 180.000 BTUs. Essa capacidade é um pouco superior à necessidade de refrigeração do ambiente, que é de aproximadamente 171.000 BTUs, garantindo assim uma margem de folga.

O modelo cassete foi escolhido devido à necessidade de distribuição homogênea do ar no ambiente. Os condensadores serão instalados na casa de máquinas localizada do lado externo do próprio salão, seguindo a mesma estratégia do quarto, a fim de reduzir a extensão da tubulação necessária. A representação do ar-condicionado que será utilizado no salão de festas é mostrada na Figura 8.



FIGURA 8. Ar-condicionado Cassete salão de festas [27].

A casa de máquinas será cercada por um alambrado em suas laterais para facilitar a troca de calor com o ambiente. Além disso, contará com uma cobertura independente que a protegerá da incidência direta do sol em todos os períodos do dia.

Com os dados em mãos, foi possível realizar o orçamento total dos equipamentos. Vale ressaltar que essa consulta foi realizada em julho de 2023 em sites especializados em ar-condicionado e eletrodomésticos/eletroeletrônicos.

- Ambulatório: 1 Ar-condicionado Split Dual Inverter 18.000 BTUs 220 V, no valor de R\$ 3.099,00;
- Quarto: 1 Ar-condicionado Split Cassete 36.000 BTUs 220 V, no valor de R\$ 7.599,00;
- Salão: 3 Ar-condicionados Split Cassete 60.000 BTUs Frio 380 V/3F no valor de R\$ 33.594,53;
- Instalação: 5 equipamentos + manutenção, no valor de R\$ 6.000,00
- Total de R\$ 50.292,53.

Após analisar os valores de cada equipamento, também foi feita uma estimativa dos gastos mensais de cada um, permitindo compreender o gasto individual e total em relação a energia elétrica. Essas informações estão apresentadas na Tabela 5.

TABELA 5. Gasto mensal dos equipamentos (autoria própria).

Recinto	Equipamento	Potência (kW)	Horas diárias	Dias	Total mensal (R\$)
Salão de eventos	Split 18.000 BTUs	1,56	10	30	R\$ 468,00
Quarto	Cassete 36.000 BTUs	3,77	10	30	R\$ 1.131,00
Ambulatório	Cassete 60.000 BTUs	6,05	6	30	R\$ 1.089,00
TOTAL					R\$ 2.688,00

## 7. CONCLUSÃO

Inicialmente, realizou-se o dimensionamento de cada equipamento a ser utilizado para climatizar o salão de festas e os demais cômodos da área comercial do cliente. O objetivo era não alterar a arquitetura do local, apenas dimensionar os equipamentos necessários. No entanto, é possível fazer alterações na arquitetura local para reduzir a carga térmica, e essas propostas podem ser consideradas pelo cliente devido à significativa redução de carga.

Foram apresentados diversos modelos de ar-condicionado para que fosse possível compreender qual sistema de ar-condicionado e renovação de ar seria indicado para cada ambiente.

Todos os dados necessários, como a temperatura desejada pelo cliente, a área de cada cômodo, o tipo de alvenaria, o histórico climático do local e as temperaturas médias e máximas, foram levados em consideração no início do projeto.

Com o auxílio do software AutoCAD, foi possível desenhar a planta com a disposição clara e detalhada de todos os equipamentos a serem instalados no local, garantindo o entendimento de todas as partes envolvidas.

Além disso, uma empresa sul mineira auxiliou na obtenção de informações, que forneceu dados e experiência prática sobre a instalação, limpeza e manutenção de ar-condicionado, contribuindo para o desenvolvimento e representação dessa simulação e cálculo.

A partir dos dados fornecidos sobre o local e de outras informações relevantes sobre a região, foi possível calcular a troca de ar, as cargas térmicas, as cargas das paredes e as temperaturas em cada um dos cômodos refrigerados, entre outros aspectos importantes para obter o resultado desejado. Os cálculos resultaram em uma carga total de 221.781 BTU/h ou 18,49 TR, que foram distribuídos nos seguintes equipamentos:

- Salão de festas: 3 equipamentos de 60.000 BTU/h - Ar-condicionado Split Cassete Inverter Philco 60.000 BTUs Frio 380V/3F;
- Quarto: 1 equipamento de 36.000 BTU/h - Ar-condicionado Split Cassete Inverter Philco 36.000 BTUs Frio 220V;
- Ambulatório: 1 equipamento de 18.000 BTU/h - Ar-condicionado Split LG Dual Inverter Voice 18.000 BTUs Frio.

Além disso, foi realizado o cálculo da renovação de ar em cada cômodo, a fim de garantir uma boa qualidade do ar. Os equipamentos selecionados foram os seguintes:

- Salão: 3 ventiladores de 300 W (com capacidade de até 1.500 m<sup>3</sup>/h);
- Quarto: 1 ventilador de 300 W (com capacidade de até 1.500 m<sup>3</sup>/h);
- Ambulatório: 1 ventilador com vazão máxima de 200 m<sup>3</sup>/h;
- Banheiro: exaustores com funcionamento automático.

O valor aproximado para aquisição dos equipamentos, incluindo a mão de obra necessária, foi de R\$ 50.292,53. Foram apresentadas algumas opções que podem reduzir a troca térmica e diminuir a necessidade de refrigeração dos ambientes, resultando em menor custo. Os gastos, as trocas térmicas, os equipamentos e todos os detalhes relacionados aos equipamentos refrigerantes, manutenção e sua disposição foram descritos detalhadamente ao longo do desenvolvimento do projeto.

## REFERÊNCIAS

- [1] DAGHIGH, Roonak et al. Thermal comfort of an air-conditioned office through different windows-door opening arrangements. **Building Services Engineering Research and Technology**, v. 30, n. 1, p. 49-63, 2009.

- [2] FABBRI, Kristian. Indoor Thermal Comfort Perception. **A questionnaire approach focusing on children**. Springer, 2015.
- [3] AFZALI, Mahboubeh; AFZALI, Afsaneh; ZAHEDI, Gholamreza. Ambient air temperature forecasting using artificial neural network approach. In: **International Conference on Environmental and Computer Science IPCBEE**. 2011. p. 176-180.
- [4] AL-RABGHI, Omar M.; AKYURT, Mohammed M. A survey of energy efficient strategies for effective air conditioning. **Energy conversion and management**, v. 45, n. 11-12, p. 1643-1654, 2004.
- [5] ARAÚJO, Eliete de Pinho. **Apostila de ar condicionado e exaustão**. 2011
- [6] YU, B. F. et al. Review of research on air-conditioning systems and indoor air quality control for human health. **International journal of refrigeration**, v. 32, n. 1, p. 3-20, 2009.
- [7] FRADE, João; SEVERO, Francisco. Climatização geral. **Instituto Superior de Engenharia de Lisboa-Área Departamental de Engenharia Mecânica**, 2006.
- [8] DA SILVA, Jesué Graciliano. **Introdução à Tecnologia da Refrigeração e da Climatização**. Artliber, 2010.
- [9] CARRIER, Willis H. The Theory of Atmospheric Evaporation—With Special Reference to Compartment Dryers. **Industrial & Engineering Chemistry**, v. 13, n. 5, p. 432-438, 1921.
- [10] CRAMER, R. Stuart; DEHN, Jonathan D. The use of Ada to achieve fault tolerance in AAS. In: **Proceedings of the conference on TRI-Ada'92**. 1992. p. 545-552.
- [11] SCHELLHUBER, H.J. et al. **Avoiding dangerous climate change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.
- [12] **Weather Spark**. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/30400/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Pouso-Alegre-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em: 10 jul. 2023.
- [13] CAESAR, John; ALEXANDER, Lisa; VOSE, Russell. Large-scale changes in observed daily maximum and minimum temperatures: Creation and analysis of a new gridded data set. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 111, n. D5, 2006.
- [14] **Weather Spark**. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/30400/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Pouso-Alegre-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em: 10 jul. 2023.
- [15] GUIMARÃES, Maria Fernanda Gayer. **Estudo de cargas térmicas de uma aeronave e dimensionamento de um sistema de ar condicionado**. 2011.
- [16] ARGUELLO-SERRANO, Betzaida; VELEZ-REYES, Miguel. Nonlinear control of a heating, ventilating, and air conditioning system with thermal load estimation. **IEEE transactions on control systems technology**, v. 7, n. 1, p. 56-63, 1999.
- [17] AFONSO, Clito. **Environmental Friendly Refrigeration Systems**. 2005.
- [18] GAYÃO, Marcus Vinícius. **Sistema de Ar Condicionado para Ônibus Urbano**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Energia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Engenharia, Dourados, 2014.
- [19] SEBASTIANI, Tullia Midori. **Application of computational fluid dynamics (CFD) in refrigerating chambers: review and perspectives**. 2021.
- [20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro. 2004.
- [21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5858: Condicionador de Ar Doméstico**. Rio de Janeiro. 1983
- [22] SAHU, S. K. **Cooling Load Estimation for a Multi-story Office Building**. National Institute of Technology: Department of Mechanical Engineering. Rourkela, India. 2014.
- [23] HUANG, C. et al. **Experimental Study on the Radiant Cooling Load of Floor Based on the Radiant Time Series Method**. University of Shanghai for Science and Technology. Shanghai, China. 2015.
- [24] ARAÚJO, Andreia Idalina Ribeiro de. **Avaliação da taxa de renovação de ar de edifícios de habitação**. 2013. Tese de Doutorado.
- [25] **Clima Rio**. Disponível em: <<https://climario.vteximg.com.br/arquivos/ids/181376-1000-1000/conj1.jpg?v=637456473332770000>>. Acesso em: 05 jul. 2023.
- [26] **Americanas**. Disponível em: <[https://images-americanas.b2w.io/produtos/1473969612/imagens/ar-condicionado-split-cassete-philco-36000-btus-quente-e-frio-220v/1473969612\\_1\\_xlarge.jpg](https://images-americanas.b2w.io/produtos/1473969612/imagens/ar-condicionado-split-cassete-philco-36000-btus-quente-e-frio-220v/1473969612_1_xlarge.jpg)>. Acesso em: 05 jul. 2023.
- [27] **Magazine Luiza**. Disponível em: <<https://a-static.mlcdn.com.br/800x560/ar-condicionado-split-cassete-philco-60-000-btu-h-quente-e-frio-trifasico-pac60000cqfm5-380-volts/friopecas/126762/86ce8d9fd6f1d092b25fdb07c1c27b68.jpg>>. Acesso em: 05 jul. 2023.
- [28] **EC Web**. Disponível em: <[https://api.aecweb.com.br/tematico/img\\_figuras/tabela-material\\$\\$16579.webp](https://api.aecweb.com.br/tematico/img_figuras/tabela-material$$16579.webp)>. Acesso em: 01 jul. 2023.

APÊNDICE A1 – Informações para o cálculo de carga térmica e renovação de ar

Na Tabela A1, foram calculadas as taxas de troca de ar para cada ambiente, levando em consideração o número de pessoas presentes no local e as temperaturas de cada ambiente.

TABELA A1. Troca de ar (autoria própria).

Dados/Locais	Salão de festas	Quarto	Ambulatório
Número de pessoas	193	43	5
q (m <sup>3</sup> /h)	5.211,00	1.161,00	135,00
T (20°C)	0,0038	0,0038	0,0038
T (35°C)	0,0253	0,0253	0,0253
ρ <sub>ar</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	1,20	1,20	1,20
C (kg/h)	134,44	29,95	3,48
Q <sub>t</sub> (Kcal/h)	78.380,74	17.463,07	2.030,59
Q <sub>s</sub> (kcal/h)	32,49	7,24	0,84
Q <sub>t</sub> (Kcal/h)	78.413,23	17.470,30	2.031,43
Q <sub>t</sub> (TR)	25,93	5,78	0,67

Na Tabela A2, são apresentadas as cargas térmicas de cada ambiente devido à incidência solar, levando em consideração o tamanho de cada janela.

TABELA A2. Cargas térmicas provenientes do sol (autoria própria).

Janelas	Posição	Cota (m <sup>2</sup> )	Quant.	U (kcal/h·m <sup>2</sup> )	Coefficiente	Q (Kcal/h)
Salão de eventos	Leste	1,50	1	475,25	1,15	819,81
Salão de eventos	Norte	1,50	2	304,75	1,15	1.051,39
Salão de eventos	Sul	1,50	1	59,75	1,15	103,07
Quarto	Sul	0,80	2	59,75	1,15	109,94
Ambulatório	Norte	0,80	1	304,75	1,15	280,37

Na Tabela A3, foram apresentados os valores e influências dos tijolos e dos revestimentos de chapisco, emboço, reboco externo e gesso nas paredes.

TABELA A3. Paredes (autoria própria).

Paredes	kcal/h·m <sup>2</sup> ·°C	h·m <sup>2</sup> ·°C/kcal
Tijolo comum (meia vez)	0,62	0,2742
Emboço e reboco (20 mm)	2,39	0,4184
Gesso 1/2"	10,99	0,0910
Ar dentro parado	7,13	0,1403
Ar fora 12km/h	19,50	0,0513
RT		0,9751
U		1,0255

Na Tabela A4, são apresentadas as temperaturas no lado exterior do ambiente estudado, considerando suas diferentes orientações.

TABELA A4. Temperatura exterior (autoria própria).

<b>Situação com a temperatura exterior de 35 °C</b>	
D	15,00
$\Delta T$ para norte	2,70
$\Delta T$ para leste e oeste	5,50

Na Tabela A5 a A7, estão apresentadas as cargas térmicas provenientes das paredes do salão de festas, do ambulatório e do quarto, respectivamente.

TABELA A5. Cargas térmicas das paredes no salão de festas (autoria própria).

<b>Salão de festas</b>	<b>Q (Kcal/h)</b>
Parede norte	506,18
Parede leste	746,36
Parede sul	428,96

TABELA A6. Cargas térmicas das paredes no salão no ambulatório (autoria própria).

<b>Ambulatório</b>	<b>Q (Kcal/h)</b>
Parede norte	326,57
Parede leste	276,75
Parede sul	252,15

TABELA A5. Cargas térmicas das paredes no quarto (autoria própria).

<b>Quarto</b>	<b>Q (Kcal/h)</b>
Parede norte	299,81
Parede leste	299,81
Parede sul	409,74

Na Tabela A8, foram calculados a resistência térmica (RT) e o fator U, que são parâmetros relacionados à eficiência térmica do sistema. Na Tabela A9, são apresentadas as médias das temperaturas em Pouso Alegre em 2022, considerando as temperaturas mínima, média e máxima. Essas médias são calculadas com base nos dados registrados ao longo do ano. Na Tabela A10, são fornecidos os dados referentes à área e ao volume total do local refrigerado, considerando todas as áreas dos ambientes analisados. Essas informações são relevantes para o dimensionamento e a adequação do sistema de refrigeração.

TABELA A8. RT e Fator U (autoria própria).

Paredes com contato com o banheiro	RT = 1,064 (h·m <sup>2</sup> ·°C/kcal)
	U = 0,9398 (h·m <sup>2</sup> ·°C/kcal)
	Q (Kcal/h)
Salão de Festa x Banheiro	169,1600
Ambulatório x Banheiro	169,1600

TABELA A9. Temperaturas em Pouso Alegre em 2022 (autoria própria).

<b>Média de temperatura máxima (°C)</b>	24,63
<b>Média de temperatura mínima (°C)</b>	15,53
<b>Média de temperatura média (°C)</b>	19,68

TABELA A10. Área e volume refrigerado (autoria própria).

<b>Área total (m<sup>2</sup>)</b>	228,00
<b>Área refrigerada (m<sup>2</sup>)</b>	199,00
<b>Volume total (m<sup>3</sup>)</b>	684,00
<b>Volume refrigerado (m<sup>3</sup>)</b>	597,00

Uma das estratégias eficazes para reduzir a carga térmica é o uso de toldos nas janelas. Essa medida proporciona uma significativa diminuição da carga térmica. Na Equação A1 é apresentada a fórmula utilizada para calcular a carga de condução.

$$Q = A \cdot U \cdot D \quad (A1)$$

Onde:

$Q$ : Taxa de fluxo de calor transmitida [kcal/h];

$A$ : Área da superfície normal ao fluxo [m<sup>2</sup>];

$U$ : 1/Resistência total [V]

$D$ : Diferença de temperatura entre as superfícies separadas por uma espessura  $x$  [°C]

Utilizando a Equação A1, foi possível calcular a carga térmica antes e depois da utilização dos toldos. Os resultados desses cálculos estão apresentados na Tabela A11, que demonstra os valores da redução da carga térmica alcançada com a instalação dos toldos nas janelas.

TABELA A11. Cálculo da redução da carga térmica (autoria própria).

Posição	Cota (m <sup>2</sup> )	Quant.	U (kcal/h.m <sup>2</sup> .°C)	Coef. (W/(m <sup>2</sup> .°C))	Q (Kcal/h)	Q <sub>Toldo</sub> (Kcal/h)
Leste	1,50	1	475,25	1,15	819,80	163,96
Norte	1,50	2	304,75	1,15	1051,38	210,27
Sul	1,50	1	59,75	1,15	103,06	20,613
Sul	0,80	2	59,75	1,15	109,94	21,988
Norte	0,80	1	304,75	1,15	280,37	56,074
<b>Total</b>					2364,57	472,91

Com a aplicação do toldo, é possível obter uma redução significativa de 5 vezes no fluxo de carga através das janelas, um valor extremamente relevante na escolha do ar-condicionado adequado.

Além disso, utilizou-se outra técnica para reduzir o fluxo de carga, dessa vez no telhado, através da utilização de uma manta térmica. Para realizar esse cálculo, foi empregada a Equação A2.

$$Q = A \cdot U \cdot [(T_e - T_i) + \Delta T] \quad (A2)$$

Onde:

$Q$ : Taxa de fluxo de calor transmitida por meio de superfícies opacas [kcal/h];

$A$ : Área da superfície [m<sup>2</sup>];

$U$ : Coeficiente global;

$T_e$ : Temperatura exterior [°C]

$T_i$ : Temperatura interior [°C]

$\Delta T$ : Acréscimo ao diferencial de temperatura [°C]

Para realizar esse cálculo, utilizam-se os dados obtidos na Tabela A12, disponibilizados por uma empresa especializada em mantas térmicas.

TABELA A12. Mantas Térmicas [28].

Isolante	Espessura Isolante (mm)	Espessura Revestimento externo/interno de aço galvanizado (mm)	Coefficiente Global (W/m <sup>2</sup> K)
3TC	10	#043/-	0,18

A Tabela A13 apresenta o valor do fluxo encontrado para a carga térmica com a utilização de mantas térmicas no telhado.

TABELA A13. Valor do fluxo de carga térmica (autoria própria).

Área (m <sup>2</sup> )	T <sub>e</sub> (°C)	T <sub>i</sub> (°C)	U (Kcal/h.m <sup>2</sup> .°C)	ΔT(°C)	Q (Kcal/h)
4.228,00	35,00	20,00	0,18	8,30	956,23

Para o dimensionamento adequado do sistema de renovação de ar, foi realizado o cálculo da quantidade de m<sup>3</sup>/h de ar necessário para cada cômodo, visando garantir sua eficácia. De acordo com Araújo (2013), é crucial otimizar a eficiência energética e manter a qualidade do ar, sendo a taxa de renovação do ar

um aspecto essencial para garantir esse objetivo. A Tabela A14 apresenta o cálculo da renovação de ar necessária para cada um dos ambientes.

TABELA A14. Cálculo da renovação de ar (autoria própria).

<b>Recinto</b>	<b>Número de pessoas</b>	<b>Valor q (m<sup>3</sup>/h)</b>
Salão	193	5.211,00
Quarto	43	1.161,00
Ambulatório	5	135,00