

ANÁLISE E SUGESTÃO DE ADEQUAÇÃO DO SISTEMA HVAC PARA UM AMBIENTE DE USO COLETIVO

Diogo Luiz Vergani¹

Cátia Capeletto²

Euclésio Giuliani³

Maico Fernando Wilges Carneiro⁴

RESUMO

Este estudo de caso visa a avaliação e proposição de melhorias no sistema de climatização e na qualidade do ar interior de um restaurante de médio porte em Chapecó, Santa Catarina. Metodologicamente, combina revisão sistemática da literatura com análise de campo, incluindo medições e levantamento de dados operacionais, fundamentado em normas nacionais e internacionais como ABNT, ASHRAE e OMS. Os principais objetivos são avaliar a carga térmica e as condições atuais do ar, identificar e quantificar as fontes de liberação de calor, propor soluções técnicas para climatização e ventilação, analisar a eficiência energética e garantir conformidade normativa. Os resultados indicam subdimensionamento do sistema atual, que conta com climatizadores de 60.000 BTUh atendendo apenas 17,49% da demanda térmica que foi estimada em 343.000 BTUh, o que pode ocasionar desconforto térmico e sobrecarga dos equipamentos. A solução proposta inclui a instalação de cinco climatizadores adicionais, totalizando 300.000 BTUh disponíveis, e a adoção de uma porta automática entre cozinha e salão para reduzir o transporte de calor e odores. Espera-se com isso melhorar o conforto térmico, a qualidade do ar interior, a eficiência energética (redução estimada de até 20%), e prolongar a vida útil dos equipamentos, assegurando um ambiente confortável, saudável e sustentável conforme as regulamentações vigentes.

Palavras-chave: Climatização. Qualidade do Ar. Conforto Térmico. Eficiência Energética. Sustentabilidade. Ventilação.

1 INTRODUÇÃO

A climatização de espaços públicos e coletivos, como restaurantes, é um fator essencial para assegurar a saúde, o conforto e a satisfação dos usuários. Esses ambientes, caracterizados pelo elevado fluxo de pessoas que não pertencem ao quadro funcional, devem obedecer a regulamentações específicas que garantam a qualidade do ar interior e a operação segura e eficiente dos sistemas de climatização. Dentre os principais referenciais normativos, destacam-se a Resolução RE nº 9/2003 da ANVISA, atualmente substituída pela ABNT NBR 17037

¹ Graduando (a) em Engenharia Mecânica (UCEFF, 2025). E-mail: diogovergani@uceff.edu.br

² Mestre em Ciência Ambientais – Professora Titular, UCEFF - E-mail: catia@uceff.edu.br

³ Mestre em Projetos e Processos de Fabricação – Universidade de Passo Fundo (UPF) – E-mail: euclesio@uceff.edu.br.

⁴ Docente da UCEFF Faculdades.

(2023), e a ABNT NBR 16401 (2008), que tratam, respectivamente, dos padrões de qualidade do ar e das diretrizes para projeto, instalação, operação e manutenção de sistemas de climatização.

A antiga Resolução RE nº 9/2003 estabelecia critérios para ambientes climatizados de uso coletivo, definindo limites para a concentração de poluentes e determinando a necessidade de monitoramento e manutenção periódica dos sistemas. A ABNT NBR 16401 (2008), por sua vez, fornece parâmetros técnicos para assegurar eficiência, segurança e conforto térmico, contemplando aspectos de dimensionamento, automação e controle. O cumprimento dessas normas, além de atender às exigências legais, contribui para a redução do consumo energético, podendo gerar economias de até 30% quando estratégias adequadas de operação e controle são implementadas.

A manutenção da qualidade do ar interior é fundamental, visto que sistemas ineficientes ou negligenciados podem favorecer a disseminação de microrganismos patogênicos, provocar reações alérgicas e desconforto térmico, além de impactar negativamente a produtividade e o bem-estar dos ocupantes. Para mitigar esses riscos, é imprescindível a elaboração e execução de um Plano de Manutenção Operação e Controle (PMOC), que contemple a limpeza regular dos dutos, a substituição periódica de filtros, preferencialmente do tipo High-Efficiency Particulate Air (HEPA), em locais com maior exigência sanitária, e o monitoramento de parâmetros críticos, como a renovação do ar e a umidade relativa, idealmente mantida entre 40% e 70% (ABNT NBR 17037 (2023)).

A integração entre conformidade normativa e soluções tecnológicas inovadoras, como sensores de temperatura e presença, sistemas híbridos de ventilação e automação inteligente, permite não apenas atender às exigências regulatórias, mas também garantir ambientes internos saudáveis, confortáveis e energeticamente sustentáveis. Tais estratégias reforçam o compromisso com a saúde pública e a excelência operacional, ao mesmo tempo em que elevam a percepção de qualidade entre clientes e colaboradores.

No contexto específico dos restaurantes, os desafios são ampliados devido à presença da cozinha, uma fonte significativa de calor e poluentes que impacta diretamente o conforto térmico e a qualidade do ar no salão de refeições. O controle eficiente desses fatores é essencial tanto para a satisfação dos clientes quanto para o bem-estar dos funcionários. Além disso, qualquer proposta de otimização deve considerar a eficiência energética e a conformidade com as normas vigentes da ANVISA e da ABNT.

Diante desse cenário, surge a seguinte questão norteadora: **como otimizar os sistemas de climatização e ventilação de um restaurante de médio porte, de modo a garantir o conforto térmico e a qualidade do ar interior no salão de refeições?**

O objetivo geral deste estudo é propor soluções integradas de climatização e ventilação para um restaurante de médio porte, visando aprimorar o conforto térmico e a qualidade do ar no salão principal, controlando de forma eficiente as emissões térmicas e poluentes provenientes da cozinha e assegurando conformidade com a legislação aplicável.

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- a) Avaliar a carga térmica e as condições atuais do ar interior;
- b) Identificar e quantificar as fontes de poluentes geradas no espaço ocupado;
- c) Propor soluções técnicas de climatização e ventilação adequadas;
- d) Analisar a eficiência energética e a sustentabilidade das análises de custo;
- e) Assegurar a conformidade normativa dos sistemas propostos.

Em síntese, este estudo justifica-se pela necessidade de promover ambientes internos seguros, confortáveis e energeticamente eficientes, que atendam às exigências legais e contribuam para a sustentabilidade operacional do setor de alimentação coletiva.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 DESAFIO CLIMÁTICO E REFRIGERAÇÃO SUSTENTÁVEL

O aquecimento global é uma realidade amplamente documentada desde o século XX, e suas consequências têm impulsionado a busca por soluções energéticas sustentáveis. A Organização Meteorológica Mundial (OMM) estima probabilidade de 80% de que a temperatura média global anual exceda 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais até 2028, com variação prevista entre 1,1 °C e 1,9 °C (Siqueira *et al.*, 2025).

Com o aumento das temperaturas, o uso de sistemas de refrigeração tornou-se indispensável. No Brasil, cerca de 14% do consumo elétrico em 2022 foi destinado à climatização de ambientes, setor responsável globalmente por cerca de 1 bilhão t CO₂/ano (AIE *apud* Siqueira *et al.*, 2025). Tal cenário reforça a necessidade de tecnologias de refrigeração sustentável, baseadas em eficiência energética e menor impacto ambiental.

2.2 TECNOLOGIAS E IMPACTOS AMBIENTAIS

O crescimento urbano e o uso intensivo de ar-condicionado ampliam o consumo energético e as emissões de gases de efeito estufa, especialmente por fluidos refrigerantes de alto potencial de aquecimento global (PAG), como os Hidrofluorcarbonetos (HFCs) (Siqueira *et al.*, 2025).

Entre as alternativas sustentáveis destacam-se:

- a) uso de refrigerantes de baixo PAG (hidrocarbonetos e CO₂);
- b) integração de métodos passivos de arrefecimento com sistemas de alta eficiência, que podem reduzir até 40% do consumo energético (Siqueira *et al.*, 2025).

A transição internacional para refrigerantes A2L (como R454B e R32) e a adoção de bombas de calor refletem o movimento global rumo à eletrificação e à eliminação dos combustíveis fósseis (Ron Prager, 2024).

2.3 CONFORTO TÉRMICO E PARÂMETROS DE CONTROLE

Segundo a ASHRAE, o conforto térmico é a condição mental de satisfação com o ambiente térmico, influenciada por fatores pessoais e ambientais (Siqueira *et al.*, 2025).

As principais variáveis envolvem temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar e radiação térmica. A ABNT NBR 16401-2 (2024) recomenda temperaturas entre 22,5 °C e 25,5 °C (UR $\approx$ 65%) ou entre 23 °C e 26 °C (UR $\approx$ 35%). Cada grau acima da temperatura mínima de conforto pode representar economia de cerca de 7% no consumo elétrico (Inácio *et al.*, 2017).

A Norma Regulamentadora NR-24 (2019) estabelece as condições sanitárias e de conforto nos locais de trabalho, incluindo requisitos para sistemas de climatização que garantam ventilação adequada e qualidade do ar em ambientes internos. Para projetos de climatização, a NR-24 exige a manutenção de temperatura entre 20°C e 24°C, umidade relativa de 40% a 60% e velocidade do ar inferior a 0,35 m/s, visando prevenir desconforto térmico e riscos à saúde dos ocupantes.

2.4 VENTILAÇÃO NATURAL

A ventilação natural promove a renovação do ar por diferenças de pressão ou temperatura, reduzindo a dependência de sistemas mecânicos e melhorando a Qualidade do ar

Interno (QAI) (Macintyre, 1990; Siqueira *et al.*, 2025). Sua eficácia depende de fatores arquitetônicos e climáticos, sendo mais indicada como complemento a sistemas de refrigeração em ambientes de alta carga térmica.

Segundo Macintyre (1990) define a ventilação como operação essencial para controlar temperatura, umidade, distribuição do ar e eliminar poluentes em ambientes industriais, integrando-se diretamente a projetos de climatização. Ele enfatiza o dimensionamento por trocas de ar por hora Air Changes per Hour (ACH), que quantifica a renovação necessária para manter conforto térmico e qualidade do ar, prevenindo riscos à saúde ocupacional. Essa fundamentação teórica orienta o cálculo de cargas térmicas e seleção de sistemas HVAC, alinhando eficiência energética à remoção de contaminantes.

2.5 NORMAS E REGULAMENTAÇÕES APLICÁVEIS

A legislação brasileira exige o controle e a manutenção adequados dos sistemas heating, ventilating and air conditioning (HVAC) para garantir conforto, eficiência e qualidade do ar de acordo com a Lei 13.589/2018 obriga a elaboração do PMOC (Plano de Manutenção, Operação e Controle) em edifícios climatizados, com avaliações semestrais da QAI (Chagas *et al.*, 2018).

As principais normas da ABNT relacionadas a parte de qualidade do ar são:

- a) ABNT NBR 15575 (2013): Define os requisitos de desempenho térmico para edificações habitacionais, incluindo isolamento térmico, ganho térmico e conforto ambiental, visando eficiência energética e conforto dos usuários.
- b) ABNT NBR 15220 (2003): Apresenta estratégias para ventilação natural em edificações, com orientações para dimensionamento, execução e controle para garantir conforto térmico e qualidade do ar sem o uso de sistemas mecânicos.
- c) ABNT NBR 14518 (2020): Estabelece critérios e requisitos para sistemas de ventilação em cozinhas profissionais, focando em eficiência, segurança, controle de contaminantes e manutenção da qualidade do ar.
- d) ABNT NBR 17037 (2023): Norma recente que atualiza os limites para qualidade do ar interior, incluindo novos parâmetros para concentração de CO₂ (700 ppm), com objetivo de assegurar ambientes internos mais saudáveis e confortáveis. umidade relativa (UR) deve estar entre 35% e 65%
- e) ABNT NBR 16401 (2008): Trata do projeto de instalações de ar-condicionado, incluindo parâmetros para conforto térmico, qualidade do ar interior e eficiência energética dos

sistemas. A norma é dividida em partes que abordam desde o dimensionamento e projeto até a qualidade do ar e os requisitos técnicos para sistemas centrais e unitários de ar-condicionado. Deve se manter em padrões aceitáveis de temperatura $22,5^{\circ}\text{C} - 25,5^{\circ}\text{C}$

Normas internacionais, como ASHRAE 55, 62.2 e 90.1, complementam as diretrizes nacionais, além da ISO 16000-40 (ABNT, 2023) para programas de gestão da qualidade do ar.

2.6 DIMENSIONAMENTO E EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS HVAC

O dimensionamento correto é essencial para a eficiência energética e o conforto térmico. As normas ABNT NBR 15220-2 (2003) e ABNT NBR 16655-3 (2019) orientam cálculos de transmitância e resistência térmica (Siqueira *et al.*, 2025).

O cálculo de carga térmica determina o calor a ser removido do ambiente. Os principais parâmetros incluem:

- a) vazão de ar (Q),
- b) índice de renovação (n), mínimo de $3,6 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$,
- c) velocidade e área das aberturas (v, A).
- d) Área ocupada (m^2);
- e) Quantidade de lâmpadas (lumens);
- f) Ocupação (n° de pessoas);
- g) Equipamentos (quantidade e potência).

A carga térmica total é um método mais comum para projetos de climatização e envolve a soma das cargas de diversas fontes:

$$\text{Carga total} = \sum \text{área} + \text{Iluminação} + \text{Pessoas} + \text{produtos} \quad (1)$$

As trocas de calor são avaliadas por resistência térmica (R_t), transmitância (U) e capacidade térmica (C) dos materiais (Inácio *et al.*, 2017).

2.7 OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA E MANUTENÇÃO

Medidas como sombreamento de condensadores, melhoria do isolamento e retrofit de sistemas reduzem significativamente o consumo (Inácio *et al.*, 2017). A manutenção preventiva e a limpeza de filtros evitam sobrecarga e perda de desempenho (Chagas *et al.*, 2018).

Técnicas de Inteligência Artificial aplicadas ao controle preditivo e à manutenção inteligente têm mostrado alto potencial de eficiência, antecipando falhas e otimizando o uso energético (Merabet *et al.*, 2021).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DELINEAMENTO DO ESTUDO

Este trabalho de conclusão de curso foi desenvolvido sob a forma de estudo de caso, com o objetivo de avaliar e propor melhorias nos sistemas de climatização e na qualidade do ar interior de um restaurante localizado no município de Chapecó, Santa Catarina, Brasil.

A metodologia combinou revisão sistemática da literatura e análise de campo, com base em medições, observações diretas e levantamento de dados operacionais. As soluções técnicas propostas foram fundamentadas em princípios de engenharia térmica, eficiência energética e em normas nacionais e internacionais de referência, tais como ABNT, ASHRAE e OMS.

3.2 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão sistemática da literatura foi conduzida com o intuito de construir a base teórica e normativa do estudo, identificando práticas consolidadas para o controle da QAI e o conforto térmico em ambientes gastronômicos.

As bases de dados consultadas incluíram Scielo, ScienceDirect, SpringerLink e Google® Scholar, considerando publicações dos últimos dez anos. Os descritores utilizados foram: qualidade do ar interior, HVAC, restaurantes, eficiência energética, conforto térmico, ventilação natural e poluentes de cozinha.

A seleção dos trabalhos seguiu critérios de relevância, atualidade e alinhamento com o tema. A revisão concentrou-se em quatro eixos principais:

- a) Impactos das cozinhas na qualidade do ar, abrangendo a emissão e dispersão de partículas, Compostos Orgânicos Voláteis (COVs), Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAPs), monóxido e dióxido de carbono, além do calor gerado no preparo de alimentos.
- b) Normas e diretrizes técnicas sobre qualidade do ar e conforto térmico, com ênfase em legislações da ANVISA, ABNT, OMS, ASHRAE e CEN, abordando parâmetros como CO₂, temperatura, umidade e taxa de ventilação.

- c) Estratégias de climatização e ventilação, avaliando soluções como sistemas híbridos, automação inteligente e controle de renovação e filtragem do ar.
- d) Eficiência energética, com enfoque em práticas de projeto e operação voltadas à redução do consumo de energia em sistemas HVAC.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE ESTUDO

O ambiente analisado corresponde ao salão principal e à cozinha de um restaurante de médio porte. A seguir, apresentam-se suas principais características construtivas e operacionais:

Área total: 225 m² (15 m × 15 m);

Capacidade: até 120 pessoas;

Fontes internas de calor e poluentes: cinco geladeiras, duas televisões de 50”, e 30 luminárias LED com fluxo luminoso individual de 4000 lúmens;

Sistema de climatização: dois aparelhos de ar condicionado com capacidade combinada de 60.000 BTU/h;

Cozinha: principal fonte de calor e contaminantes, caracterizada pela alta frequência de uso e pela presença de equipamentos de cocção e exaustão;

Aspectos construtivos: quatro janelas amplas e pequena distância entre a cozinha e o salão, o que influencia diretamente o fluxo e a renovação do ar entre os ambientes.

Essas informações subsidiaram a análise do desempenho térmico e da qualidade do ar interno, bem como a proposição de melhorias baseadas em parâmetros técnicos e normativos.

3.4 PROCEDIMENTOS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS

A coleta de dados foi conduzida in loco, com o objetivo de caracterizar as condições reais de climatização, ventilação e QAI do restaurante. As medições foram realizadas no período de duas horas, de dez em dez minutos durante três dias, coletando dados de velocidade do ar e temperatura no período de maior fluxo de pessoas durante o período do almoço.

3.4.1 Variáveis Monitoradas

As variáveis selecionadas foram definidas conforme as recomendações das normas ABNT NBR 16401-2 (2008) e ABNT NBR 17037 (2023), utilizando o equipamento Termo-higrômetro digital, onde leu-se:

a) ABNT NBR 16401-2 (2008): Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$): parâmetro fundamental para avaliação do conforto térmico, recomenda-se de 23 a 25,5 $^{\circ}\text{C}$.

a) ABNT NBR 17037 (2023): Velocidade do vento (m/s): o limite de 0,75 m/s é o valor de referência para garantir o conforto e a qualidade do ar, evitando a sensação de desconforto causada por correntes de ar excessivas em locais onde as pessoas permanecem por longos períodos. Umidade relativa do ar (UR) indicador da capacidade de evaporação e da sensação térmica, recomenda-se valores entre 35 e 65%.

3.4.2 Tratamento dos Dados

Os dados foram tratados utilizando planilhas eletrônicas (Microsoft Excel®) e software estatístico Minitab 24.1 para análise descritiva e elaboração de gráficos de tendência. Foram calculadas médias, desvios-padrão e intervalos de variação das variáveis monitoradas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A ABNT NBR 16401 (2008) estabelece parâmetros básicos para projetos de ar-condicionado central, destacando a temperatura de bulbo seco (TBS) e a movimentação do ar como grandezas essenciais para limitar condições nos recintos climatizados, visando conforto. Essa norma recomenda velocidades médias do ar entre 0,025 m/s e 0,25 m/s ao nível de 1,5 m, alinhando-se à influência da velocidade do vento na troca de calor. Ela também aborda o cálculo de cargas térmicas considerando TBS externa para base de projeto.

4.1 CONDIÇÕES AMBIENTAIS VERIFICADAS

As medições realizadas permitiram caracterizar as condições térmicas e de qualidade do ar interior do restaurante em operação normal. Os resultados médios obtidos são apresentados na Tabela 1, comparados aos limites recomendados pelas normas ABNT NBR 16401-2 (2008), ABNT NBR 17037 (2023) e ASHRAE 55 (2021).

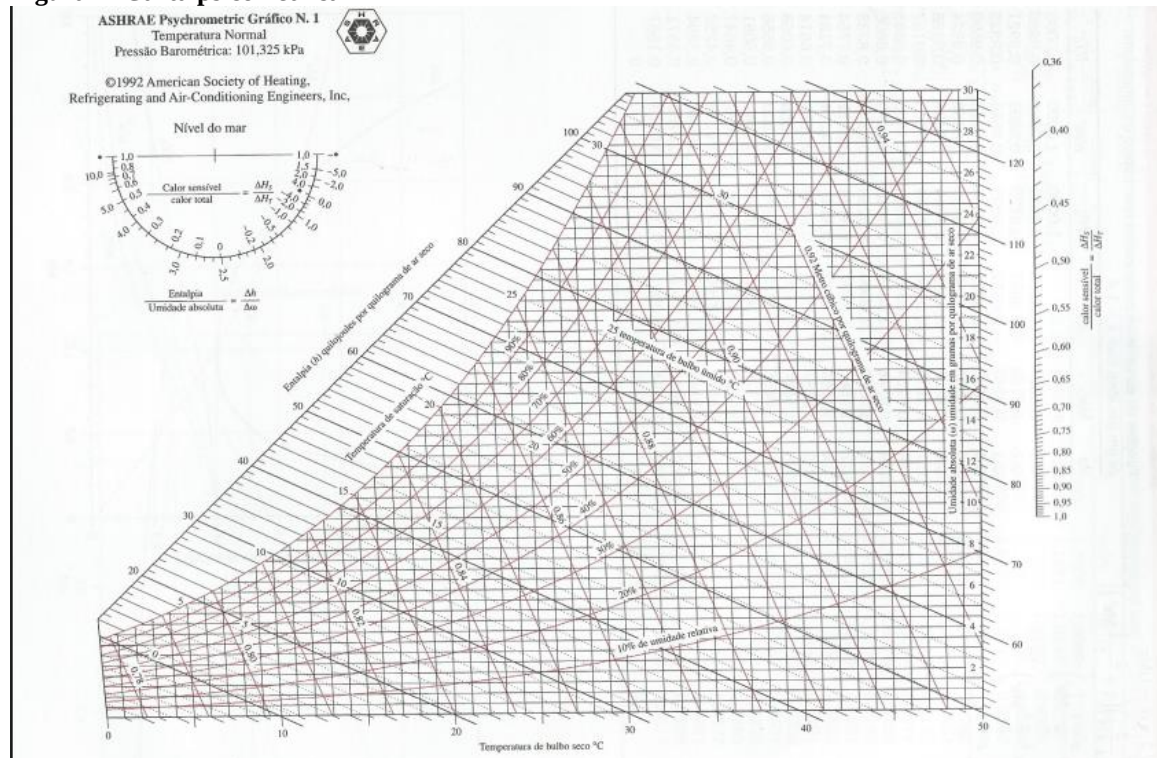
Aqui listamos as seguintes variáveis:

- a) Número de amostras (N): 19
- b) Temperatura máxima: 27,30 $^{\circ}\text{C}$
- c) Temperatura mínima: 19,30 $^{\circ}\text{C}$
- d) Velocidade máxima: 0,6 m/s

- e) Velocidade mínima: 0,0 m/s
- f) Umidade relativa máxima (UR): 80%
- g) Umidade relativa mínima (UR): 65,20%

A partir dos dados coletados de temperatura e velocidade, utilizamos a carta psicrométrica apresentada pela Figura 1, para encontrar os resultados máximos e mínimos de umidade relativa (UR) do ambiente.

Figura 1- Carta psicrométrica



Fonte: ASHRAE (1992).

Tabela 1 - Variáveis mensuradas e estatística descritiva

Variável	N	Média	DesvPad	Mínimo	Mediana	Máximo
Temperatura (°C)	19	23,705	1,879	19,300	24,200	27,300
Velocidade (m/s)	19	0,1947	0,1957	0,0000	0,1000	0,6000
UR (%)	19	74,97	5,03	65,20	76,80	80,00

Fonte: Autor (2025).

Os resultados indicam que apenas o item temperatura opera dentro da faixa de conforto térmico, no entanto, o item UR e a velocidade do ar estão operando em desacordo as normas, que estipula um limite de 65% para UR e no mínimo 0,25m/s de velocidade do ar, o que pode afetar a sensação térmica e reduzir a eficiência do sistema de climatização.

4.2 CÁLCULOS DE CARGA TÉRMICA

Foram utilizadas para esses cálculos uma tabela de transformação de lumens para watts e uma calculadora de BTUS (Vorlane,2025).

A seguir são mostradas as relações da carga térmica de cada componente do ambiente.

1m²=600 BTUS

1 pessoa=600 BTUS

1 eletrônico=341 BTUS

1 lâmpada=1.023 BTUS

1 janela=1.000BTUS

1 geladeira=700BTUS

Baseado nos dados de ocupação, área do espaço, equipamentos e cargas térmicas, calcula-se os valores para cada fragmento separadamente:

Carga gerada por área quadrada

225m². 600 BTUs = 135.000 BTUS (2)

Carga gerada pela ocupação de pessoas

120 pessoas . 600 BTUs = 72000BTUS (3)

Carga gerada por eletrônicos

5 eletrônicos . 341 BTUs = 1075BTUS (4)

Carga gerada por lâmpadas (quentes 4000 lumens)

30 lâmpadas . 1023 BTUs = 30.690BTUS (5)

Carga gerada por janelas/aberturas

8 janelas . 1000 BTUs = 8.000 BTUS (6)

Carga gerada por geladeiras/equipamentos

5 geladeiras . 700 BTUs = 35.000 BTUS (7)

Para a carga total do ambiente, soma-se os valores de (2) a (7) adicionados a Equação (1):

$$CTN = (\sum \text{cargas geradas}) + \text{exaustão térmica adjacente} \quad (8)$$

Com base nos parâmetros construtivos e nas fontes internas de calor, a carga térmica total estimada para o restaurante foi de 342.903 BTU/h, valor calculado segundo as diretrizes da ABNT NBR 16401-1 (2008).

O ambiente conta atualmente com dois climatizadores de 30.000 BTU/h (Figura 2), totalizando 60.000 BTU/h, o que representa apenas 17,49% da demanda total necessária. Esse subdimensionamento explica a dificuldade em manter a temperatura interna na faixa recomendada e a sobrecarga dos equipamentos instalados.

Esses valores reforçam a necessidade de um sistema mais robusto e de medidas complementares de isolamento e controle de trocas térmicas.

Figura 2- Ar condicionado 30.000 btus



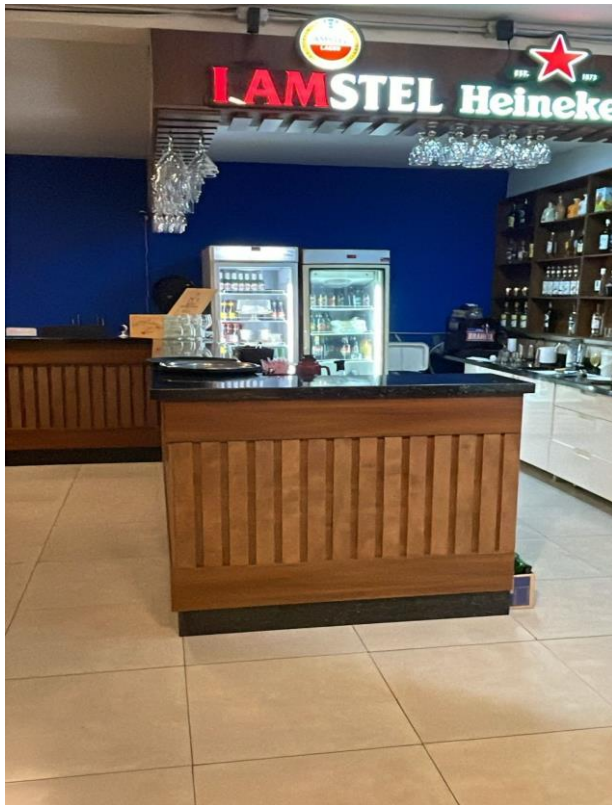
Fonte: Autor (2025).

Figura 3 - Capacidade do salão e iluminação



Fonte: Autor (2025).

Figura 4 - Geladeiras



Fonte: Autor (2025).

4.3 ESTIMATIVA DA CARGA TÉRMICA E AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS EXISTENTES

As principais fontes de calor identificadas foram:

- a) Equipamentos elétricos e de refrigeração (geladeiras, televisores, iluminação): 35.895 BTU/h; (Figura 3)
- b) Ocupação humana (120 pessoas/turno): 72.000 BTU/h; (Figura 3)
- c) Cozinha e exaustão térmica adjacente: 100.000 BTU/h;
- d) Ganho solar e ventilação externa: 30.000 BTU/h.

4.4 SOLUÇÃO TÉCNICA PROPOSTA

A proposta de melhoria contempla a instalação de cinco climatizadores adicionais de 60.000 BTU/h, totalizando 300.000 BTU/h, substituindo os dois climatizadores existentes chegando assim a um valor próximo à carga térmica calculada (343.903 BTU/h).

Essa configuração permite:

- a) melhor distribuição do ar por meio de múltiplos pontos de insuflamento;
- b) redução do gradiente térmico entre o salão e a cozinha;
- c) maior uniformidade da temperatura e da umidade relativa do ar;
- d) menor esforço operacional dos equipamentos, prolongando a vida útil.

Adicionalmente, recomenda-se a instalação de uma porta automática com dobradiças de mola entre o salão e a cozinha, reduzindo o transporte de calor e odores, e promovendo um ambiente mais estável e confortável.

O investimento total estimado para a melhoria do sistema é de R\$ 72.500, considerando o custo médio unitário de R\$ 15.000 a R\$ 18.000 por climatizador de 60.000 BTU/h, incluindo instalação e ajustes elétricos.

A nova configuração deve garantir conforto térmico satisfatório (ASHRAE 55), redução do consumo energético em até 20%, e melhoria da qualidade do ar interior pela distribuição equilibrada de fluxos e pressões. Além disso, espera-se redução da carga de trabalho dos compressores e dos picos de corrente elétrica, refletindo em menor custo operacional.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho, ficou evidente o quanto um sistema de climatização adequado faz diferença no conforto e bem-estar das pessoas que frequentam o restaurante. O sistema atual, embora presente, não consegue acompanhar a demanda real do ambiente, deixando a desejar no que diz respeito a proporcionar um espaço agradável.

As soluções propostas são mais do que simples ajustes técnicos: são caminhos para transformar o ambiente, tornando-o mais confortável, saudável e eficiente. A instalação dos novos equipamentos e a separação dos ambientes prometem fazer com que tanto clientes quanto funcionários sintam essa melhoria no dia a dia.

Mais do que números e normas, este estudo reforça a importância de olhar para o clima interno como um fator essencial na qualidade de vida e na operação eficiente de qualquer local coletivo. Um clima interno bem controlado contribui para a saúde, reduzindo desconfortos que podem afetar diretamente o humor e a produtividade das pessoas. Isso evidencia que a climatização adequada é, de fato, uma ponte entre tecnologia e qualidade de vida.

Por fim, o processo de implementação das melhorias deve ser acompanhado de perto, com monitoramento constante e ajustes conforme necessário, garantindo que as soluções se mantenham eficazes ao longo do tempo. Espera-se que este trabalho sirva como base para

futuras iniciativas, ampliando a consciência sobre a importância da climatização integrada e sustentável em ambientes comerciais e coletivos.

REFERÊNCIAS

AFTAB, Muhammad et al. **Occupancy-based HVAC control using real-time occupancy recognition and simulation-assisted control**. 2017. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1708.05208>. Acesso em: 28 ago. 2025.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução RE nº 9, de 16 de janeiro de 2003. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo**. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/69071/ar-condicionado-manutencao-exigencias-legais>. Acesso em: 28 ago. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16401-1: **Instalações de ar-condicionado — Sistemas centrais e unitários**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 17037: **Qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente não residenciais**. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7256: **Sistemas de ventilação e climatização para estabelecimentos assistenciais de saúde**. Rio de Janeiro, 2022.

BERMUDES, W. L.; COUTINHO, D. F. **Avaliação da qualidade do ar interior: um estudo de caso em um frigorífico no sul do Estado do Espírito Santo**. Sustinere, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p. 300-318, 2020. Disponível em: <https://www.epublicacoes.uerj.br/sustinere/article/view/41787>. Acesso em: 18 ago. 2025.

BRASIL. Lei nº 13.589, de 4 de janeiro de 2018. **Dispõe sobre a manutenção de sistemas de ar-condicionado em edifícios de uso coletivo**. Disponível em: <https://www.evolusengenharia.com.br/saibamais-ar-condicionadopmoc>. Acesso em: 28 ago. 2025.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 3.523, de 28 de agosto de 1998. **Dispõe sobre procedimentos de manutenção de sistemas de climatização de ambientes**. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/69071/ar-condicionado-manutencao-exigencias-legais>. Acesso em: 28 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 24 (NR-24): condições sanitárias e de conforto nos locais de trabalho**. Brasília, DF, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-24-nr-24>.

Acesso em: 4 dez. 2025.

CARTILHA DE ORIENTAÇÃO SOBRE MANUTENÇÃO DE SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO. Aplicabilidade da Portaria 3.523 e da Resolução RE 09/2003. **Revista Engenharia e Arquitetura**, 2018. Disponível em: <https://www.engenhariaearquitetura.com.br/2018/07/cartilha-de-orientacao-sobre-manutencao-de-sistemas-de-climatizacao>. Acesso em: 28 ago. 2025.

FERREIRA, Fabiano Domingues; MARQUES, Tássia Helena Teixeira. **Carga Térmica: princípios básicos**. Portal Engenharia & Arquitetura, 2018. Disponível em: <https://www.engenhariaearquitetura.com.br/2018/01/carga-termica-principios-basicos>. Acesso em: 11 nov. 2025.

HE, Rui; GONZALEZ, Alejandro. **Comfort-aware building climate control using distributed optimization and CFD-based feedback**. 2017. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1708.08495>. Acesso em: 28 ago. 2025.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Ventilação industrial e controle da poluição**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1990. 403 p. ISBN 978-85-216-1123-3.

MERABET, Billel et al. **Artificial intelligence for building energy efficiency and occupant comfort: A systematic review**. 2021. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2104.02214>. Acesso em: 28 ago. 2025.

MOUMEN, K.; DELPORTE, N. **Kitchen ventilation system design and its effect on restaurant IAQ**. In: CLIMA 2022 – 14th REHVA HVAC World Congress, 14., 2022, Rotterdam. Proceedings [...]. Rotterdam: TU Delft Open, 2022. Disponível em: <https://proceedings.open.tudelft.nl/clima2022/article/view/74>. Acesso em: 28 ago. 2025.

PRAGER, B. **Dedicated Outside Air Systems with Heat Recovery: Energy Efficiency for Retail and Restaurants**. **Retail & Restaurant Facility Business**, 2025. Disponível em: <https://retailrestaurantfb.com/deadline-2025/>. Acesso em: 28 ago. 2025.

REVISTA FT. **Análise para o modelo híbrido de sistema de refrigeração artificial e refrigeração natural**. Revista Foco em Tecnologia, 2021. Disponível em: <https://revistaft.com.br/analise-para-o-modelo-hibrido-de-sistema-de-refrigeracao-artificial-e-refrigeracao-natural/>. Acesso em: 28 ago. 2025.

SALDIVA, P. H. N. et al. **Qualidade do ar em ambientes climatizados no Brasil**. Química Nova, São Paulo, v. 21, n. 4, p. 401-406, 1998. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/CvLhCrVpXN9GJdWcHmcJR9h>. Acesso em: 18 ago. 2025.

SATTA, Riccardo et al. **Predictive maintenance of HVAC systems using machine learning algorithms**. 2017. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1701.03633>. Acesso em: 28 ago. 2025.

SILVA, R. A. et al. **Indoor air quality in public utility environments — a review**. Environmental Science and Pollution Research, [S. l.], v. 24, n. 4, p. 3210-3224, 2017. Disponível em:

<https://www.periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8674496>. Acesso em: 18 ago. 2025.

SILVA, Rafael M. et al. **Dimensionamento de carga térmica em instituições de ensino: estudo de caso sobre eficiência energética em sistemas de climatização**. Revista Iberoamericana de Engenharia Mecânica, v. 25, n. 2, p. 1-12, 2020. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/6257/625768669012/html/>. Acesso em: 28 ago. 2025.

SILVA, S. V. O. et al. **Revisão sistemática sobre ventilação natural e concentração de CO₂ em salas de aula**. PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, v. 13, n. 2, p. e022022, 2022. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8666284>. Acesso em: 18 ago. 2025.

SIQUEIRA, Amanda Menezes de Jesus; OSMARINI, Carlos Eduardo Ramos; SANTOS, Felipe Kozak dos; PEDROSO, Gustavo Henrique Gomez; SILVA, Luan Jacó de Andrade. **Análise para o modelo híbrido de sistema de refrigeração artificial e refrigeração natural**. Revista FT, v. 29, ed. 141, 17 dez. 2024. Disponível em: <https://revistaft.com.br/analise-para-o-modelo-hibrido-de-sistema-de-refrigeracao-artificial-e-refrigeracao-natural/>. Acesso em: 18 ago. 2025.

VORLANE. Lúmens para Watts: **Tabela de Conversão e Guia da Calculadora**. Disponível em: <https://vorlane.com/pt/lumens-para-watts/>. Acesso em: 11 nov. 2025.

WALGRAEVE, C. et al. **Indoor air quality of everyday use spaces dedicated to specific purposes** — a review. Atmospheric Environment, [S. l.], v. 178, p. 147-165, 2018. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5773644/>. Acesso em: 18 ago. 2025.