

Análise da Viabilidade Econômica de um Sistema de Refrigeração “VS” Climatizador Evaporativo

Bruno Henrique Portes Ra: 10723115808

Engenharia Ambiental – Unisul Pedra Branca

Evandro José da Silva Junior RA: 824214607

Universidade São Judas Tadeu - Campus Mooca

Engenharia Biomédica

Victor Luiz Mendes Da Silva Ra:320253296

Engenharia Mecânica – Una Linha Verde

Professores orientadores:

Carlos Roberto Franzini Filho (UAM)

Estevão Xavier Volpini

Resumo

Nos últimos anos, os sistemas de refrigeração tornaram-se indispensáveis nas empresas, desempenhando papéis essenciais. Apesar de sua utilidade, esses sistemas frequentemente geram impactos ambientais e custos operacionais significativos. Entre os diversos sistemas disponíveis, destacam-se o ar-condicionado e o climatizador evaporativo, ambos reconhecidos por sua eficiência e relação custo-benefício.

O sistema evaporativo é projetado para controlar a temperatura e umidade em ambientes, enquanto o ar-condicionado oferece funcionalidades adicionais, como aquecimento, sendo mais adequado para espaços fechados. Este estudo realiza uma análise comparativa entre os dois sistemas, considerando aspectos como eficiência energética, impacto ambiental e custo. O ar-condicionado se sobressai em controle térmico, mas utiliza gases que contribuem para o efeito estufa. Por outro lado, o climatizador evaporativo consome menos energia, proporciona um ar mais saudável, mas é menos eficaz em ambientes de alta umidade.

Palavras chaves

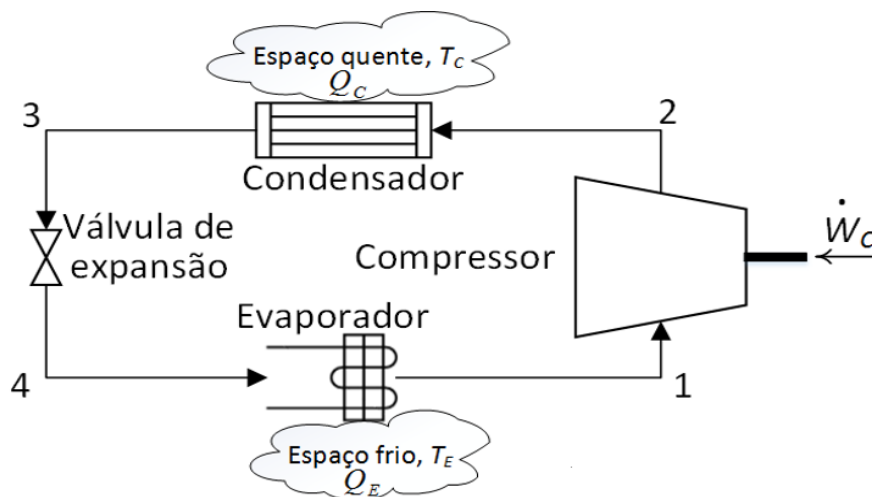
Sistema de refrigeração, Climatização, Industries, resfriar, Aquecer.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de sistemas eficientes de refrigeração é crescente em empresas de todos os portes. Entre as soluções disponíveis, o ar-condicionado e o climatizador evaporativo destacam-se por atenderem diferentes necessidades com boa relação entre custo e eficiência. A principal função desses sistemas é garantir conforto térmico, definido pela ASHRAE (2006) como a condição psicológica que reflete a satisfação com as condições térmicas do ambiente. Isso ocorre quando há equilíbrio entre o calor corporal e o ambiente, sem sudorese excessiva.

O ar-condicionado é amplamente utilizado em espaços fechados, oferecendo controle preciso da temperatura e funcionalidades como aquecimento e filtragem do ar. Já o climatizador evaporativo resfria ambientes abertos ou fechados utilizando o princípio da evaporação da água, sendo uma alternativa mais ecológica e econômica. Este estudo analisa comparativamente os dois sistemas em um ambiente industrial, avaliando custo, eficiência energética e impacto ambiental, com base nas normas NR 24 e NBR 15575. Como exemplo, observe na figura 1, o princípio de funcionamento deste equipamento.

Figura 1: Funcionamento do Ar-condicionado



Fonte: Alvarez, 2019

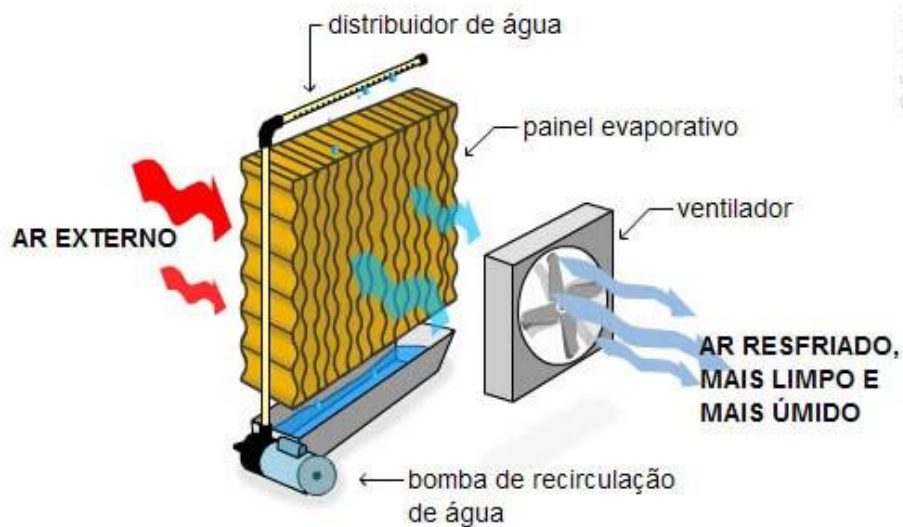
O ar-condicionado pode ser comparado a uma geladeira sem o gabinete, como bem descrito por Brain (2001). Seu funcionamento é baseado na evaporação de um fluido refrigerante que proporciona o resfriamento necessário. Durante o processo, o gás refrigerante,

inicialmente frio, é comprimido pelo compressor, tornando-se um gás quente de alta pressão. Em seguida, esse gás quente passa por um trocador de calor, onde libera calor e se condensa no estado líquido. Ao retornar ao ciclo, o líquido evapora e se transforma novamente em um gás frio de baixa pressão, que absorve o calor do ambiente e contribui para o resfriamento.

Ao explorar diferentes sistemas de climatização, percebo que o sistema evaporativo apresenta uma abordagem interessante para controle ambiental, especialmente por sua simplicidade e eficiência. Segundo Lima (2016), o resfriamento evaporativo funciona de forma natural, utilizando a troca de calor para promover a evaporação da água, resultando em um ar mais fresco e umidificado. Essa característica foi algo que chamou minha atenção ao considerar a implementação em ambientes de grande circulação.

Além disso, os modelos evaporativos oferecem benefícios ambientais claros, como destacado pela Eco Brisa (2022). Eles consomem cerca de 90% menos energias do que os sistemas de ar-condicionado e ainda evitam a proliferação de fungos e bactérias, o que é um ponto extremamente relevante para manter um ambiente saudável. Acredito que, ao ponderar entre economia e impacto ambiental, o sistema evaporativo surge como uma alternativa viável e sustentável, principalmente em locais onde o clima seco potencializa sua eficiência. Observe o funcionamento deste sistema na figura 2.

Figura 2: Climatização Evaporativa



Fonte: ACF CLIMATIZADORES 2024

A evaporação, como um processo endotérmico, requer calor para acontecer. No caso do resfriamento evaporativo, o ar do ambiente cede energia térmica à água, permitindo sua evaporação e resultando em uma corrente de ar mais fresca e umidificada na saída do resfriador. Conforme destacado pela Eco Brisa (2022), essa técnica pode reduzir a temperatura em até 12°C, tornando-se uma solução simples e eficaz em climas secos. Diferentemente do ar-condicionado, que depende de gases refrigerantes, o sistema evaporativo utiliza apenas água, contribuindo para um ar mais limpo e respirável, o que é particularmente vantajoso para ambientes onde a qualidade do ar é uma prioridade.

Por outro lado, é importante reconhecer suas limitações. De acordo com Fonseca, Silva e Pereira (2015), o desempenho do climatizador está diretamente relacionado à umidade relativa do ar. Em ambientes úmidos, sua eficiência diminui significativamente, enquanto em climas secos e quentes, o equipamento se destaca, proporcionando conforto térmico e umidificação adequados.

No contexto atual, marcado por desafios econômicos, a escolha de sistemas de climatização eficazes e acessíveis é essencial. Em tempos de crise, todos os setores da economia enfrentam dificuldades, mas o consumidor final é quem mais sofre com o aumento de preços. Isso me fez refletir sobre como soluções eficientes, como o climatizador

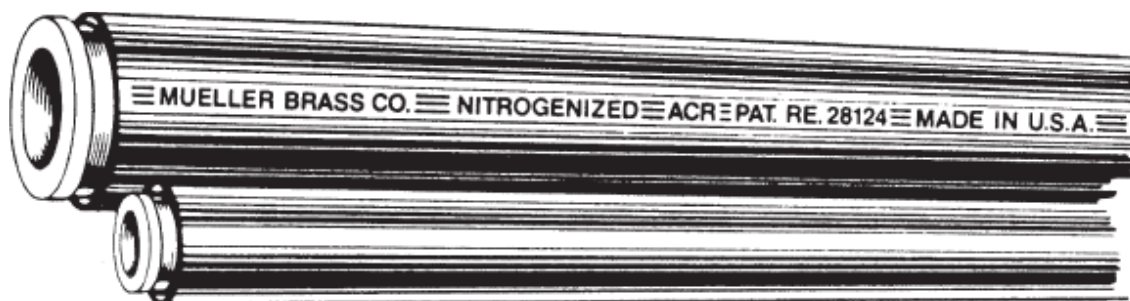
evaporativo, podem reduzir custos operacionais para empresas, beneficiando diretamente os consumidores.

Para aprofundar essa análise, conduziu-se um estudo de caso comparativo entre sistemas de climatização em dois restaurantes de um complexo industrial em Betim, MG. Ambos os espaços possuem características idênticas: capacidade para 950 pessoas e área de 1.534 m², o que garante condições de teste uniformes. O foco do estudo é identificar como esses sistemas impactam as despesas empresariais e a qualidade do ambiente, de acordo com as normas NR 24 e NBR 15575.

Além disso, é fundamental destacar a versatilidade dos aparelhos de ar-condicionado, que oferecem conforto térmico indispensável, especialmente no verão. Eles controlam a temperatura de espaços fechados, como residências, escritórios e restaurantes, e ajudam a remover umidade e partículas suspensas no ar, contribuindo para um ambiente mais confortável. Segundo Creder (2004), os modelos Split são especialmente populares devido à sua configuração em duas partes: uma unidade externa (condensadora), que realiza a troca térmica principal, e uma unidade interna (evaporadora), responsável por liberar o ar refrigerado. Essas unidades são conectadas por tubulações de cobre, conhecidas como tubulações frigoríficas, que garantem a circulação do fluido refrigerante.

Ao considerar os sistemas disponíveis, fica claro que tanto o climatizador quanto o ar-condicionado têm vantagens específicas. No entanto, a escolha entre eles depende do ambiente e das prioridades da empresa – sejam elas redução de custos, impacto ambiental ou qualidade do ar..Observe a tubulação frigorífica na Figura 3.

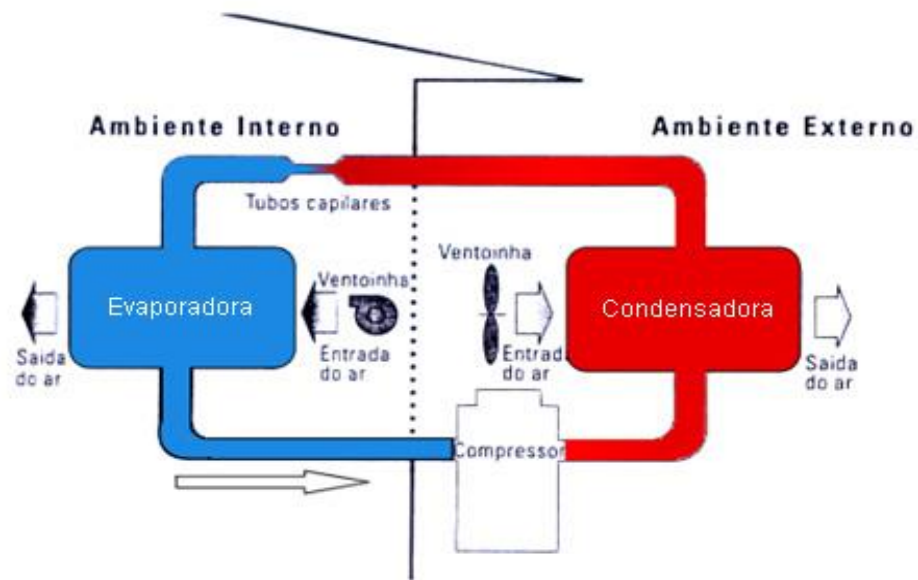
Figura 3: Tubulação frigorífica



Fonte: Miller, 2014

Os aparelhos de ar-condicionado possuem duas tubulações conectadas com fluidos refrigerantes saindo de dentro dela, o princípio fundamental de um ar-condicionado é simples, basta manter o evaporador frio, mais especificamente, mais frio que a temperatura ambiente do cômodo, e a condensadora quente, mais especificamente, mais quente que a temperatura ambiente externa. Nessas condições, o fluido que sai continuamente irá absorver o calor do cômodo e o direcionará para o clima ambiente realizando a troca de calor. Essa é a regra básica do sistema de ar-condicionado. Observa a figura 04, que exemplifica o princípio básico do sistema de ar-condicionado.

Figura 4: Princípio de funcionamento – ar-condicionado



Fonte: Cliniar, 2021

Na prática, o funcionamento do ar-condicionado depende de componentes essenciais como o compressor e a válvula de expansão. Conforme explicado por Creder (2004), o compressor desempenha o papel de aumentar a pressão do fluido refrigerante, que se encontra em estado gasoso. Durante esse processo, a compressão do gás eleva sua temperatura e pressão, permitindo que o fluido quente seja direcionado para o condensador. No condensador, um ventilador auxilia na troca térmica, resfriando o fluido e convertendo-o para o estado líquido.

Ao entrar na evaporadora, o fluido passa por uma válvula de expansão, que reduz sua pressão e, conseqüentemente, parte do refrigerante evapora. Essa evaporação reduz a

temperatura do fluido, já que ele libera energia durante a transição de fase. O fluido refrigerante, agora mais frio, retorna à evaporadora, onde realiza a troca de calor com o ambiente, resfriando-o. Durante esse processo, o fluido absorve calor e retorna ao estado gasoso, reiniciando o ciclo. Esse princípio básico garante o funcionamento contínuo do sistema, possibilitando o controle térmico eficaz em diferentes ambientes. Observe na tabela 1 as vantagens e desvantagens do sistema de Ar-condicionado.

Tabela 1: Vantagens e desvantagens do sistema de ar-condicionado

VANTAGENS	DESVANTAGENS
O sistema Split é mais econômico em relação aos outros modelos	Retira a umidade do ambiente, deixando o cômodo seco é com maior risco de desenvolvimento de doenças respiratórias
Tempo de instalação menor	Autos gastos com energia elétrica
Mínimo de ruído no ambiente, Pois a condensadora trabalha fora do Ambiente	
Admite a tecnologia inverter, atinge a temperatura desejada com mais eficiência e rapidez	Investimento inicial alto
Manutenção e limpeza fácil e dinâmica	

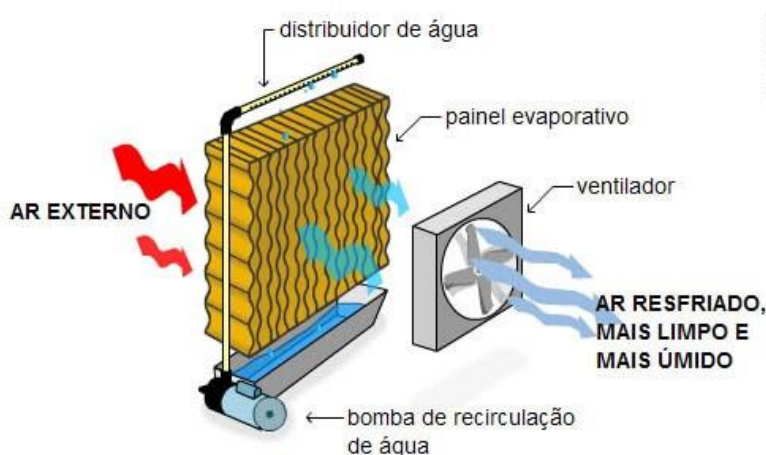
Fonte: Elaborado pelos autores, 2024

Os sistemas de climatização evaporativa oferecem não apenas conforto térmico, mas também contribuem para a saúde e o bem-estar. Diferentemente de outras soluções, esses equipamentos mantêm a umidade do ambiente em níveis adequados, evitando o ressecamento do ar e proporcionando uma sensação mais confortável. Uma das grandes vantagens desse sistema é sua capacidade de funcionar em ambientes abertos, sem a necessidade de portas e janelas fechadas, o que o torna especialmente útil em locais com alta circulação de pessoas.

O princípio de funcionamento do climatizador evaporativo está baseado em processos naturais de troca de calor. Conforme Lima (2016), esse sistema utiliza o calor presente no ar

para transformar a água de seu estado líquido para o gasoso. Em climas mais secos, o processo se torna ainda mais eficiente, já que o ar tem maior capacidade de absorver vapor. Essa transição de fase demanda uma quantidade significativa de energia, que é retirada do ambiente, resfriando-o de forma contínua e eficaz. Observe o funcionamento do sistema na Figura 5.

Figura 5: Climatização Evaporativa



Fonte: ACF Climatizadores, 2020

De acordo com Lima (2016), o sistema de climatização evaporativo opera com dois elementos principais: uma colmeia e um ventilador. O ventilador puxa o ar quente e seco para dentro do equipamento, forçando-o a passar pela colmeia, onde ocorre a troca de calor. Essa colmeia é constantemente umedecida por água, que ao entrar em contato com o ar quente evapora parcialmente, resfriando e umidificando o ambiente. A água que não evapora retorna para um reservatório, sendo recirculada por meio de uma bomba, garantindo a continuidade do processo.

O ar resfriado e umidificado é então direcionado para fora do equipamento, proporcionando um ambiente mais fresco e agradável. Entretanto, a temperatura final do ambiente pode variar, já que o desempenho do sistema depende de fatores externos, como a umidade relativa e a temperatura do ar. Esses elementos influenciam diretamente a eficiência do climatizador evaporativo, tornando-o mais eficaz em condições de clima seco. Observe que

a Tabela 2 mostra as vantagens e desvantagens deste sistema. Observe que a Tabela 2 mostra as vantagens e desvantagens deste sistema.

Tabela 2: Vantagens e desvantagens do sistema de climatização evaporativa

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Ar saudável, puro, umidificado e sem recirculação do ar	Temperatura resultante não controlada, podendo haver pequenas variações
Baixo custo no consumo de energia elétrica	Perde eficiência em dias com umidade alta e temperatura alta
Funciona em ambiente aberto	Emite vento (pode ser controlado)
Diferença de até 10 °C na temperatura externa	Investimento inicial alto

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024

2. MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Este estudo de caso analisa a instalação real de dois sistemas de climatização: o ar-condicionado e o climatizador evaporativo. A partir dessa aplicação prática, foi possível identificar e comparar as principais vantagens e desvantagens de cada sistema. O estudo aborda aspectos como consumo de energia elétrica, custos de instalação e manutenção, além de apresentar resultados preliminares relacionados à carga térmica, permitindo uma análise detalhada da eficiência e viabilidade de cada tecnologia no cenário proposto.

2.1. Metodologia Aplicada

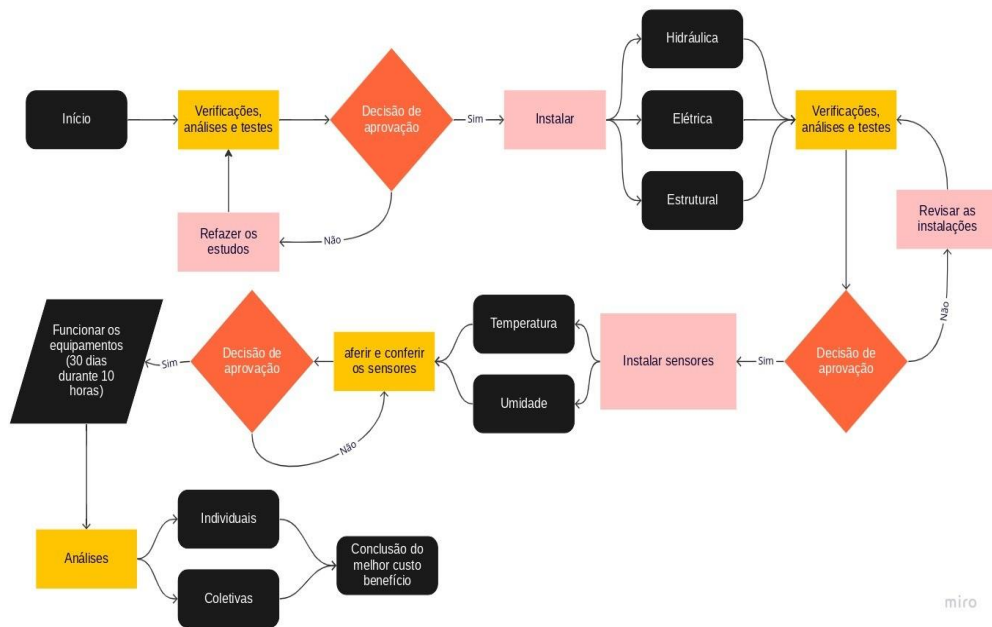
Conforme Rozenfeld (2007), a principal razão para a realização de projetos de estudo é identificar e implementar soluções que reduzam custos operacionais. Para isso, é fundamental que o estudo tenha um viés econômico, visando otimizar os recursos e melhorar a eficiência financeira das empresas.

Neste contexto, foi adotada a metodologia de estudo de caso, escolhida por sua aplicabilidade prática e por permitir a análise detalhada de problemas reais. O foco do estudo foi a comparação entre os sistemas de ar-condicionado e climatizador evaporativo, avaliados

em dois restaurantes localizados em um complexo industrial na cidade de Betim, MG. Foram analisados aspectos como conforto térmico, custos de instalação e manutenção, além do consumo de energia elétrica dos equipamentos.

Além disso, a pesquisa contou com uma base bibliográfica robusta, utilizando informações técnicas fornecidas pelos fabricantes, normas reguladoras, artigos nacionais e outras referências relevantes. Esses dados foram essenciais para fundamentar a análise e validar as conclusões do estudo sobre a eficiência e viabilidade dos sistemas de climatização avaliados. Observe o fluxograma na Figura 6.

Figura 6: Fluxograma comparativo



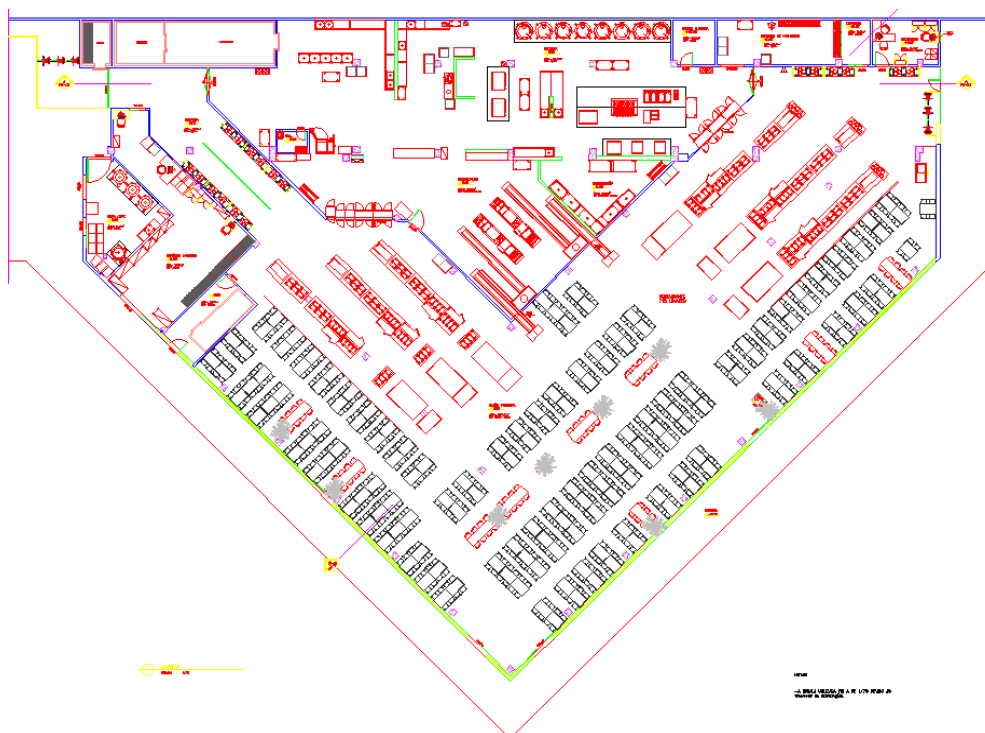
Fonte: Elaborado pelos autores, 2024

2.2 Detalhes, cálculos, projetos e dimensionamento

O estudo foi conduzido em dois restaurantes situados em um complexo industrial na cidade de Betim, MG. Ambos possuem dimensões idênticas, com uma área total de 1.534 m² e capacidade para atender até 950 pessoas. A padronização do espaço foi proposital, pois

facilita a logística local e garante condições iguais para a análise comparativa. O restaurante 01 foi equipado com um sistema de ar-condicionado, enquanto o restaurante 02 recebeu a instalação de um sistema de climatização evaporativo, permitindo uma avaliação direta entre os dois métodos de refrigeração. Observe na figura 7 o layout dos restaurantes.

Figura 7: Layout dos restaurantes



Fonte: Arquivo técnico do complexo industrial

2.2.1 Ar-condicionado

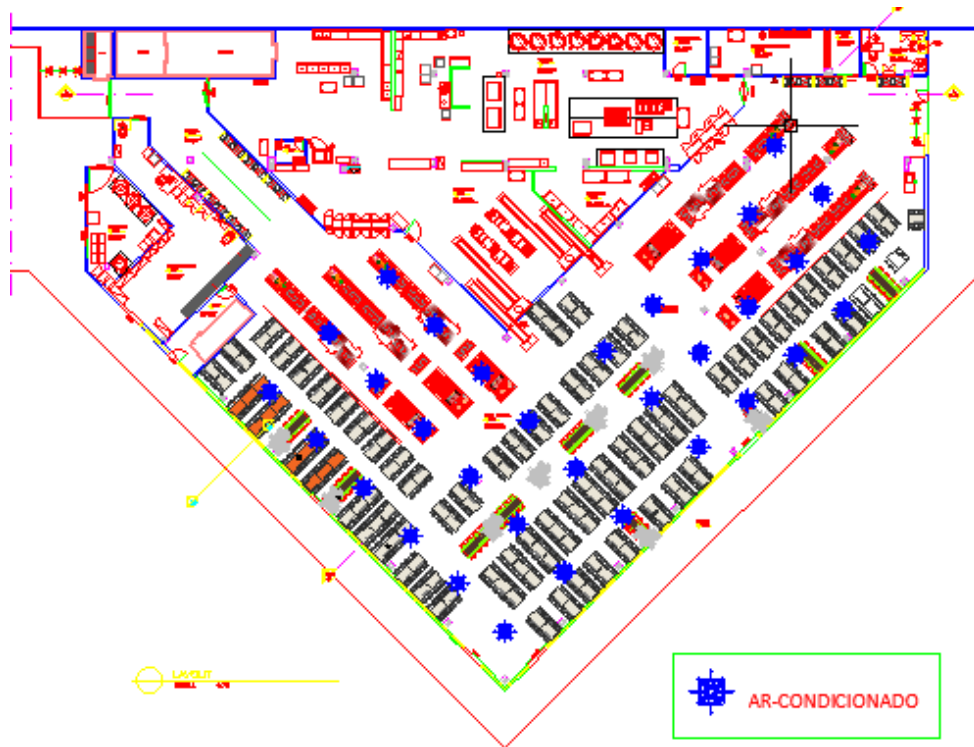
O dimensionamento de um sistema de ar-condicionado exige cálculos complexos devido às inúmeras variáveis envolvidas, incluindo as características do local de instalação. Para determinar a potência necessária e a quantidade de equipamentos, foram realizados estudos detalhados de carga térmica do ambiente.

Conforme Lourenço (2016), a carga térmica representa a quantidade de calor, tanto sensível quanto latente, que precisa ser removida (resfriamento) ou adicionada (aquecimento) para alcançar as condições ideais de conforto. Esse cálculo é essencial para: Dimensionar a instalação, selecionar os equipamentos adequados, avaliar o desempenho de aparelhos existentes ou novos, identificar alterações necessárias para melhorar a eficiência do sistema.

Diversos fatores devem ser considerados nesse processo, como: a área do espaço, altura do pé-direito, número e tamanho de portas e janelas, incidência solar nas superfícies, horário predominante da exposição ao sol, quantidade de pessoas presentes, existência de aparelhos elétricos e suas respectivas potências, regime de funcionamento desses aparelhos, além do clima e condições específicas da região. Uma análise incorreta ou a negligência de qualquer uma dessas variáveis pode comprometer a precisão do cálculo e, conseqüentemente, o desempenho do sistema.

A norma ABNT 5858 estabelece padrões para o dimensionamento, incluindo critérios climáticos regionais, que são fundamentais para ajustar o sistema às condições locais. Após uma visita técnica realizada pelos representantes da empresa de ar-condicionado e os cálculos de carga térmica concluídos, foi determinado que o restaurante 01 necessitaria de 36 unidades do modelo “Split Cassete – 46.000 BTU/h – 220V”, estrategicamente distribuídas para garantir a refrigeração uniforme de todo o espaço. Figura 8 mostra a posição dos equipamentos de ar-condicionado.

Figura 8: Projeto base da posição dos equipamentos de ar-condicionado



Fonte: Fornecido pela empresa de ar-condicionado

2.2.2 Climatizador evaporativo

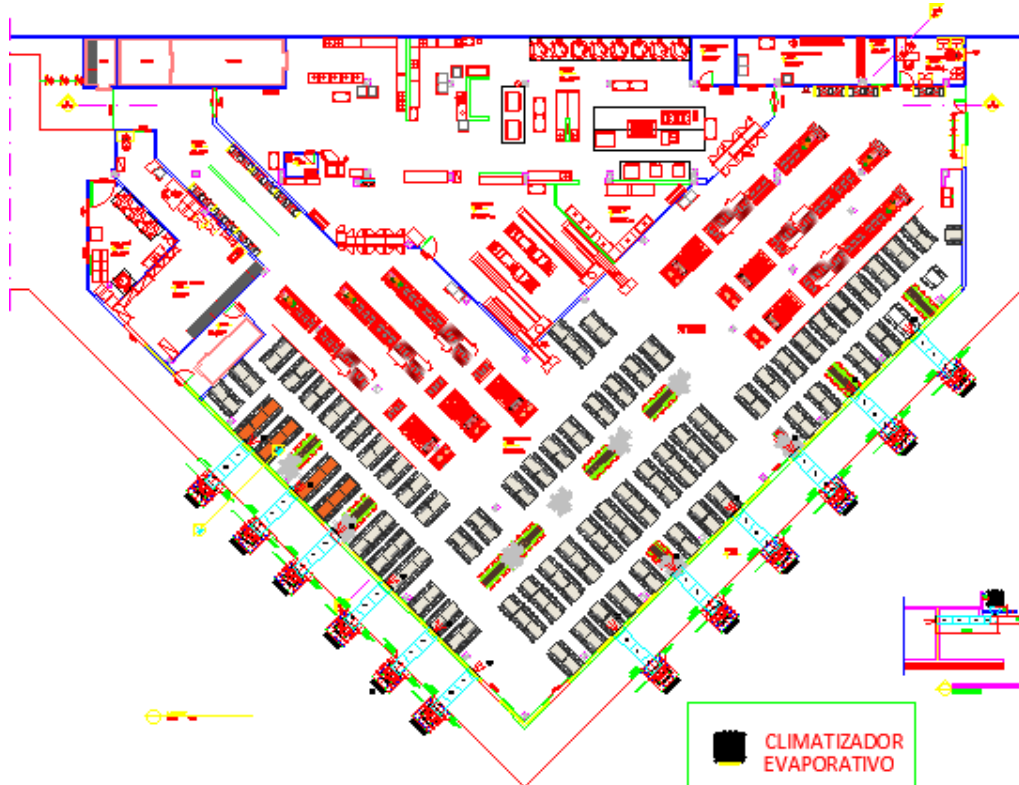
O sistema evaporativo utiliza cálculos de vazão para determinar a capacidade e o número de equipamentos necessários para atender ao ambiente. Assim como o restaurante 01, o restaurante 02 possui uma área de 1.534 m² e pé-direito de 3,5 metros, o que resulta em um volume total de 5.369 m³. Diferentemente do sistema de ar-condicionado, que opera em espaços fechados, o sistema evaporativo é projetado para trabalhar em ambientes abertos. Ele climatiza e umidifica o ar externo, introduzindo-o no ambiente interno. Para que o sistema funcione corretamente, é essencial que haja saídas para o ar climatizado (como portas, janelas ou venezianas); caso contrário, a pressurização do espaço interno pode prejudicar sua eficácia.

No Brasil, ainda não existe uma norma específica para climatização evaporativa. Por isso, empresas do setor adotam normas internacionais, como as da SMACNA (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association) para climatização, e as da ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) para fabricação

de dutos de aço galvanizado. A norma brasileira NBR 16401 (partes 1, 2 e 3) é uma tradução resumida da SMACNA e, portanto, as normas americanas são amplamente utilizadas. De acordo com a SMACNA, em um ambiente de restaurante, o ar interno deve ser renovado 25 vezes por hora. Para calcular a vazão necessária no restaurante 02, o volume total do ambiente (5.369 m³) foi multiplicado pelo número de renovações exigidas, resultando em uma vazão de 134.225 m³/h.

Com base nesses cálculos e após visitas técnicas realizadas por empresas especializadas em climatização evaporativa, foram dimensionados 12 equipamentos do modelo “ACF-18000” (com capacidade nominal de 18.000 m³/h e tensão de 220V) para atender ao restaurante 02. Esses aparelhos serão instalados externamente, com o ar climatizado sendo distribuído para o ambiente interno por meio de dutos e grelhas oscilantes de alumínio anodizado.. Figura 9 mostra a posição dos equipamentos de climatização evaporativa.

Figura 9: Projeto base da posição dos equipamentos de climatização evaporativa



Fonte: Fornecido pela empresa de climatização evaporativo

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização das visitas técnicas, elaboração dos projetos, dimensionamento e

cálculos necessários, além da instalação dos sistemas nos restaurantes selecionados, foram realizadas testes para coleta de dados e análise individual de cada sistema — tanto o de ar-condicionado quanto o de climatização evaporativa. A partir dessas análises, foram obtidos os seguintes resultados.

3.1. Custo Inicial: Instalação

Um dos principais critérios na escolha de um sistema de climatização é o custo que ele gera para a empresa, especialmente no que diz respeito à instalação e operação. Para determinar esse custo, foi adotado um processo de concorrência na empresa contratante, permitindo a comparação de várias propostas e nivelamento entre as empresas participantes, o que proporcionou maior segurança na escolha da fornecedora.

No processo de concorrência, foram convidadas três empresas especializadas em sistemas de ar-condicionado e três em sistemas de climatização evaporativa. As propostas de ambas as tecnologias foram analisadas separadamente, sem uma comparação direta entre os sistemas, mas sim entre as condições oferecidas pelas empresas. Observou-se que os custos eram relativamente semelhantes, variando entre 5% e 20%. No entanto, algumas empresas apresentaram prazos de entrega mais longos e diferentes condições de pagamento. Também foi notado que algumas empresas fabricavam seus próprios equipamentos, enquanto outras adquiriam os produtos de terceiros, o que impactava no custo e prazo de entrega.

Quando comparados os custos iniciais de instalação dos sistemas, observou-se que o custo do sistema de ar-condicionado era aproximadamente 41% superior ao do sistema de climatização evaporativa. Essa diferença se deve ao fato de que o ar-condicionado requer um número maior de unidades para atingir o conforto térmico exigido pelas normas NR.17, NBR.16401.1 e NBR.15575. Por exemplo, um equipamento de ar-condicionado de 46.000 BTUs geralmente atende uma área de 80 m², enquanto um climatizador evaporativo de 18.000 m³/h pode cobrir uma área de 100 m² a 150 m². Ou seja, o sistema evaporativo tem uma amplitude de atuação maior, exigindo menos unidades para climatizar o ambiente. Com menos equipamentos, a empresa consegue economizar em mão de obra, custos de instalação e frete, o que justifica a diferença de custo de 41% entre os dois sistemas. Conforme é demonstrado na tabela 3 os custos de cada sistema de refrigeração.

Tabela 3: Investimento inicial para instalação dos sistemas

INVESTIMENTO INICIAL REAL AR CONDICIONADO X CLIMATIZADOR				
LOCAL	MÁQUINA	VALOR MÉDIO	QUANT.	VALOR LÍQUIDO
REST. 01	AR CONDICIONADO 46.000 BTU'S	R\$ 13.296,55	36	R\$ 478.675,80
REST. 01	CLIMATIZADOR 18.000M ³ /H	R\$ 16.666,68	12	R\$ 200.000,16
DIFERENÇA EM REAL (R\$)				R\$ 278.675,64

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023

A tabela acima apresenta a média do custo de instalação dos sistemas no local proposto. Para isso, foram comparadas as propostas de cada tipo de aparelho, calculando-se a média dos valores e apresentando o custo total da instalação. Enquanto o sistema de ar-condicionado exige a instalação de 36 unidades de 46.000 BTUs para atender uma área de 1.534 m², com capacidade para 950 pessoas, o sistema de climatização evaporativa necessita de apenas 12 unidades, com capacidade nominal de 18.000 m³/h, para climatizar o mesmo ambiente.

3.2. Consumo de Energia elétrica

Todas as medições de consumo de energia elétrica foram realizadas utilizando equipamentos específicos de medição da empresa localizada no distrito de Betim-MG e da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). Os instrumentos estavam calibrados e operando corretamente, em conformidade com as normas da ANEEL (Associação Nacional de Energia Elétrica), RN 502 e NBR 14519. Durante o processo, engenheiros e técnicos responsáveis pela área elétrica acompanharam todas as etapas de medição e aferição do consumo dos equipamentos instalados, garantindo a precisão dos dados, de acordo com as normas técnicas e orientações da CEMIG.

Com base nos resultados obtidos, foi constatado que o sistema de climatização evaporativa é até 90% mais econômico que o sistema de ar-condicionado. Essa diferença significativa pode ser atribuída ao fato de que o ar-condicionado requer um número maior de unidades para garantir a refrigeração adequada do ambiente, conforme as normas estabelecidas. De acordo com Eco Brisa (2022) e ACF Climatizadores (2022), o climatizador evaporativo é um sistema simples, com motor elétrico de 1 CV e consumo médio de 1,10 kWh. Além disso, a bomba responsável por recircular a água apresenta um consumo energético insignificante, resultando em um baixo consumo geral para o funcionamento completo do

equipamento. Observe a tabela 4 o demonstrativo mensal e anual de cada sistema de refrigeração.

Tabela 4: Demonstrativo de consumo mensal e anual

DEMONSTRATIVO DE CONSUMO ENERGÉTICO MENSAL E ANUAL			
MENSAL			
CLIMATIZADOR		AR-CONDICIONADO	
QUANT. EQUIP.	VALOR TOTAL	QUANT. EQUIP.	VALOR TOTAL
12	R\$ 1.124,59	36	R\$ 9.276,30
ECONOMIA MENSAL		R\$	8.151,71
ANUAL			
CLIMATIZADOR		AR-CONDICIONADO	
QUANT. EQUIP.	VALOR TOTAL	QUANT. EQUIP.	VALOR TOTAL
12	R\$ 13.495,08	36	R\$ 111.315,60
ECONOMIA MENSAL		R\$	97.820,52

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Como demonstrado anteriormente, o uso do climatizador resultou em uma economia de R\$ 8.151,71 por mês e R\$ 111.315,60 ao ano, além de reduzir a necessidade de 24 equipamentos. Para uma compreensão mais detalhada, as figuras 10 e 11 ilustram o consumo mensal e anual de energia de cada equipamento, bem como a diferença entre eles.

Figura 10: Demonstrativo de consumo mensal

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

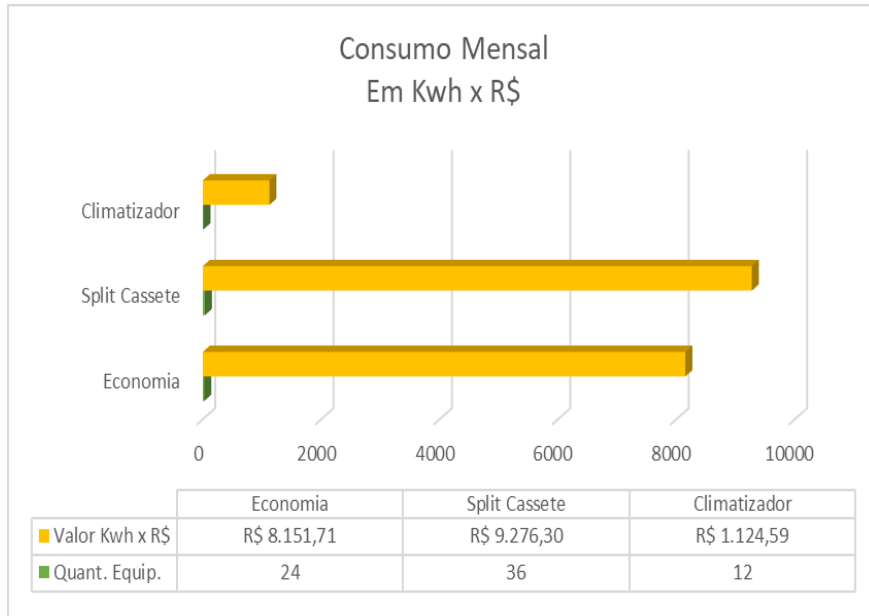
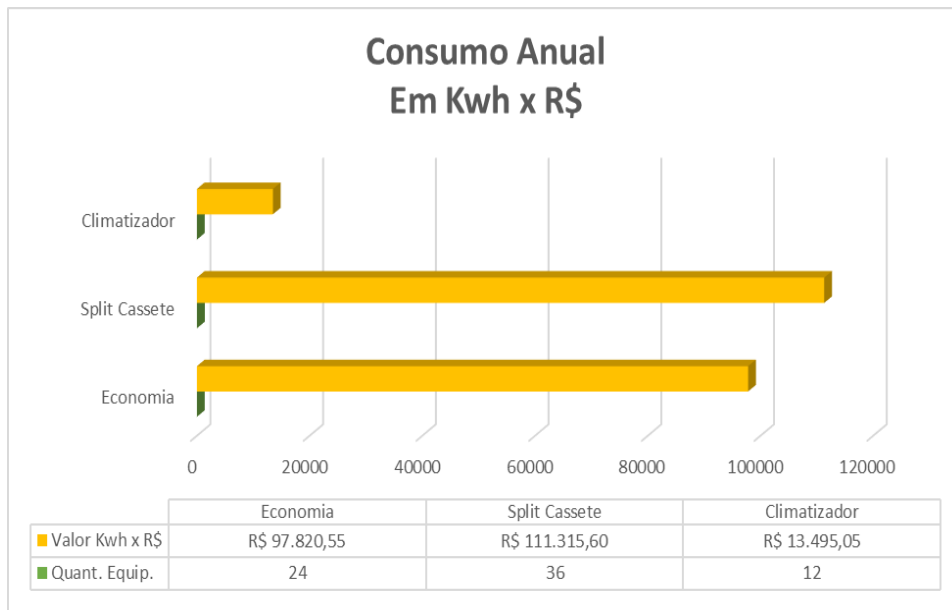


Figura 11: Demonstrativo de consumo anual



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

3.3. Custo de manutenção: Peças e Acessórios

Dentro de um período de 6 meses foram observados os custos de manutenção preventiva, preditiva e corretiva dos sistemas instalados nos restaurantes, o ar-condicionado demanda de mais cuidado por conter o gás refrigerante. Apesar de não precisar ser trocado com regularidade o manejo desse fluido é delicado, pois qualquer contato com o solo, ar e água causa um dano ambiental considerável.

A manutenção de um equipamento é importante para o devido funcionamento e a qualidade que o equipamento oferece. Devido ao fato de ser um sistema mais complexo, a manutenção do ar-condicionado são 29% superior ao do seu adversário. Pelo fato do climatizador ser um sistema simples o custo acaba por ser inferior em relação aos seus concorrentes.

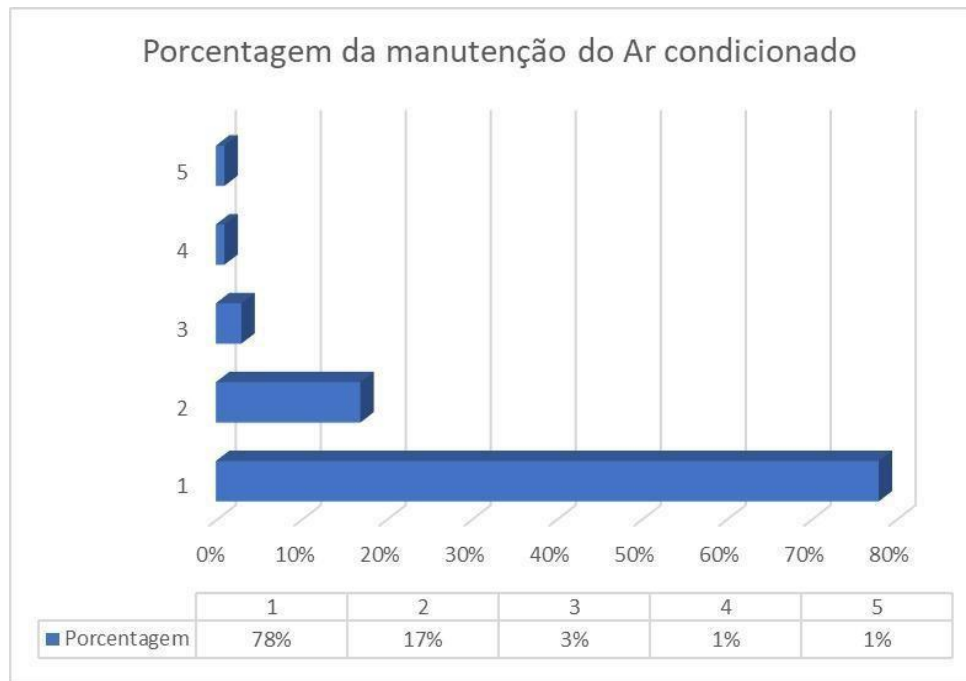
A tabela 5 abaixo mostram o custo de manutenção dentro de 6 (seis) meses, o custo dos equipamentos já está incluso com a mão de obra, frete e impostos. De acordo com a tabela abaixo e a figura 12: Porcentagem da manutenção do Ar condicionado tem como finalidade a demonstração da porcentagem dos custos da manutenção gerada pelo ar condicionado. Temos como maior gasto, o item 1, motor do evaporador, totalizando 78% do valor total da manutenção.

Tabela 5: Custo de manutenção do ar-condicionado

PEÇAS FORNECIDAS EM 08/2024		
ITEM	DESCRIÇÃO	VALOR
1	MOTOR DO EVAPORADOR	R\$ 52.000,00
2	BOMBA DE DRENO K7 (JÁ TINHA EM ESTOQUE)	R\$ 11.304,00
3	COMPRESSOR (NECESSÁRIO APOIO DO GUINDASTE E MATERIAL)	R\$ 1.800,00
4	FLUIDO REFRIGERANTE/NITROGÊNIO/SOLDA/141B	R\$ 600,00
5	BOJO BEBEDOURO	R\$ 460,00
TOTAL		R\$ 66.164,00

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Figura 12: Porcentagem da manutenção do Ar-condicionado



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

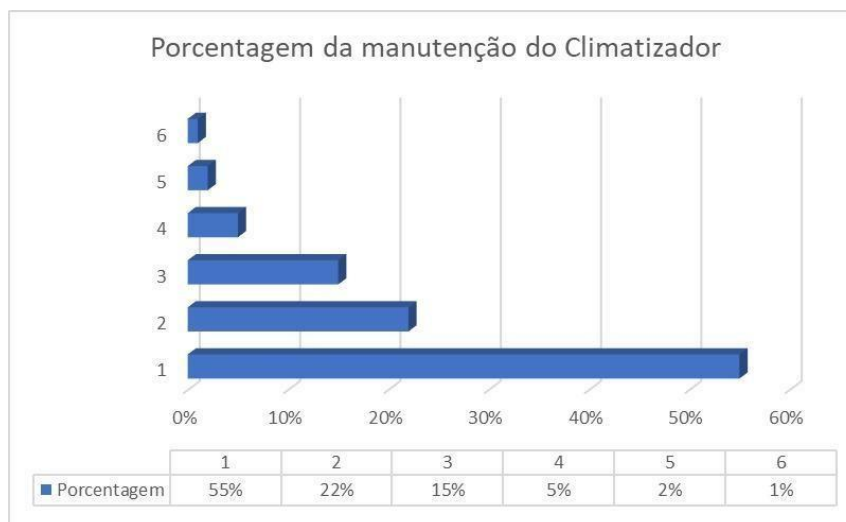
De acordo com a tabela 6 e a figura 13: Porcentagem da manutenção do climatizador, tem como finalidade a demonstração da porcentagem dos custos da manutenção gerada pelo climatizador. Temos como maior gasto, o item 1, motor elétrico, totalizando 55% do valor total da manutenção.

Tabela 6: Custo de manutenção do climatizador evaporativo

PEÇAS FORNECIDAS EM 08/2024		
ITEM	DESCRIÇÃO	VALOR
1	MOTOR DO ELÉTRICO	R\$ 11.000,00
2	VENTILADOR (HÉLICE)	R\$ 4.308,05
3	PAINEL EVAPORATIVO ("COMEIA")	R\$ 2.890,12
4	RESERVATÓRIO DE ÁGUA	R\$ 900,00
5	BOMBA DE ÁGUA	R\$ 460,03
6	DISPENSER D'AGUA	R\$ 291,00
TOTAL		R\$ 19.849,20

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Figura 13: Porcentagem da manutenção do Climatizador



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

3.4. Conforto térmico

Através de sensores de temperatura e umidade verificamos que o sistema de evaporação sobressai ao ar-condicionado nas questões de umidade do ambiente. A média do restaurante 02, onde estava o sistema de climatização evaporativo, obteve 75% de umidade relativa do ar, enquanto o restaurante 01, onde estava o sistema de ar-condicionado, obteve média de 60% de umidade relativa do ar, ou seja, o climatizador estaria com 15% a mais de umidade sobre o ar-condicionado.

O que não significa uma clara vantagem do sistema mencionado, já que, dependendo do local onde o sistema será instalado, ele terá dificuldades para controlar a umidade.

Os sensores também apontaram que o climatizador evaporativo e o ar-condicionado apresentavam bons resultados na temperatura ambiente, com uma vantagem do ar-condicionado, que por sua vez, conseguia controlar sem grandes variações a temperatura ambiente, enquanto o modelo evaporativo apresenta mesmo que imperceptíveis dificuldades para manter a temperatura ideal estabelecida pela norma.

Não significando uma clara vantagem do ar-condicionado, já que, o climatizador evaporativo além de manter uma boa temperatura, mesmo que com poucas variações, possui a possibilidade de trabalhar em ambientes com portas e janelas abertas trazendo em dias mais quentes a suave “brisa de verão”, podendo facilmente ajudar no conforto térmico dentro do estabelecimento.

4. CONCLUSÃO

Este estudo de caso teve como objetivo comparar dois sistemas de refrigeração ar-condicionado e climatizador evaporativo — para determinar qual oferece melhor desempenho em termos de eficiência, economia e atendimento à demanda de climatização da indústria. A análise foi conduzida a partir de cálculos, testes e coleta de dados durante a instalação dos dois sistemas em ambientes de mesmas dimensões, com monitoramento contínuo ao longo do período de teste.

Fatores como custos operacionais, eficiência de cada sistema e o impacto no ambiente de instalação foram considerados nas análises.

No caso do ar-condicionado, o uso de gás HCFC (hidrofluorcarboneto) pode ter implicações ambientais, já que, em caso de vazamento, contribui para o efeito estufa e pode contaminar lençóis freáticos. Em termos de saúde ambiental, o climatizador tem a vantagem de promover a renovação do ar, enquanto o ar-condicionado recircula o mesmo ar do ambiente, o que pode aumentar a proliferação de microrganismos.

No climatizador, um possível impacto ambiental ocorre se a água utilizada pelo sistema for contaminada, pois a dispersão de contaminantes pode atingir tanto o ambiente interno quanto o externo. Embora o sistema de climatização possua filtros, a eficiência do processo de purificação do ar não é total, o que pode ser uma preocupação quando se trata de substâncias como fumaça ou gases indesejáveis.

Apesar dessas desvantagens, o climatizador se destaca por necessitar de menos unidades para cobrir a mesma área, além de apresentar um consumo mensal de energia elétrica até nove vezes menor que o do sistema de ar-condicionado. Esse fator compensa o maior custo inicial de instalação, que ainda é inferior ao custo do sistema de ar-condicionado.

Considerando esses aspectos, ficou evidenciado que o sistema de climatização evaporativa é mais eficaz para melhorar as condições do ambiente no restaurante, oferecendo também um melhor custo-benefício para a empresa.

5. CONSIDERAÇÕES

A escolha de sistemas de refrigeração eficientes em ambientes industriais e comerciais, como restaurantes localizados em complexos industriais, é crucial para garantir a qualidade do ar e o conforto térmico, especialmente em períodos de dificuldades econômicas. Em um cenário de crise, as empresas enfrentam a pressão de reduzir custos operacionais sem comprometer a qualidade dos serviços oferecidos. Nesse contexto, uma análise comparativa entre os diferentes sistemas de climatização, como o ar-condicionado tradicional e o climatizador evaporativo, se torna essencial.

O ar-condicionado, amplamente utilizado, proporciona controle mais preciso da temperatura e da umidade, mas tende a envolver custos mais altos tanto na instalação quanto na manutenção, além de consumir mais energia. Por outro lado, o climatizador evaporativo, que utiliza a evaporação para resfriar o ar, surge como uma alternativa mais econômica e sustentável, especialmente em regiões com clima seco.

Estudos como o presente, que avaliam a eficiência e o custo-benefício desses sistemas, são fundamentais não apenas para otimizar as despesas das empresas, mas também para garantir que as normas regulamentadoras, como a NR 24 e a NBR 15575, sejam atendidas, assegurando a saúde, segurança e conforto dos trabalhadores. Ao analisar o desempenho de cada sistema, é possível fornecer informações científicas que orientem a escolha mais adequada para cada situação, equilibrando eficiência energética, custos e qualidade do ambiente interno.

Portanto, a decisão sobre o sistema de climatização a ser adotado deve considerar fatores como o custo inicial, a manutenção, o impacto ambiental e o conforto térmico, contribuindo para um ambiente de trabalho saudável e eficiente, mesmo em tempos de restrições econômicas.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Professor Estevão Xavier Volpini pelo empenho, disponibilidade e pelo excelente trabalho e contribuição de nosso aprendizado ao longo desse Semestre da graduação de engenharia mecânica no Centro Universitário Una.

7. REFERÊNCIAS

ASHRAE. Green Guide American Society of Heating, Refrigerating and AirConditioning Engineers. Editora Butterworth-Heinemann, 2006.

ECOBRISA. Modelos de equipamentos. Disponível em: <<http://www.ecobrisa.com.br/modelos>>. Acesso em: 10 outubro 2024.

ACF CLIMATIZADORES. Equipamentos de climatização evaporativos. Disponível em: <<https://acfc climatizadores.com.br/>>. Acesso em 25 de outubro de 2024.

ADIAS AR-CONDICIONADO. Duvidas de ar-condicionado. Disponível em: <<https://www.adias.com.br/duvidas-de-ar-condicionado>>. Acesso em 15 de outubro 2024.

CLINIAR. Funcionamento de um ar-condicionado. Disponível em: <<https://cliniar.com/o-funcionamento-de-um-ar-condicionado/>>. Acesso em 08 novembro de 2022

MILLER, Rex; MILLER, Mark. Ar Condicionado e Refrigeração, 2ª edição. Rio de Janeiro, RJ: Grupo GEN, 2014.

ALVAREZ, Mario Eusebio Torres. Refrigeração, Ar Condicionado e Ventilação. 1ª edição. Londrina, PR: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2019.

CAMARGO, José Rui. Sistemas De Resfriamento Evaporativo E Evaporativo-Adsorativo Aplicados Ao Condicionamento De Ar. Guaratinguetá, SP. Universidade Estadual Paulista, 2003.

ROZENFELD, HENRIQUE; FORCELLINI, FERNANDO; CAPALDO, DANIEL; TOLEDO, JOSÉ. SILVA, SÉRGIO; ALLIPRADINI, DARIO; SCALICE, RÉGIS. Gestão de desenvolvimento de Produto. Editora Saraiva 2007.

CREDER, H. Instalações de ar condicionado (Livros técnicos e científicos). (Editora S.A. – Grupo GEN, 2004).

FONSECA, ALINE; SILVA, FERNANDA; PEREIRA RAFAEL. Análise de Viabilidade Econômica da Implementação de Climatizadores Evaporativos no Ambiente Acadêmico, 2015.