

**CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA
PROFESSOR MIGUEL REALE**

**CAIQUE BENDO DA SILVA
CLOVIS DANILO BARBOSA DA SILVA
ERICK ROCHA DE OLIVEIRA SILVA**

**VIABILIDADE DO *RETROFIT* EM CONDICIONADORES DE AR
CONVENCIONAL PARA *INVERTER***

SÃO PAULO

2022

**CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA
PROFESSOR MIGUEL REALE**

**CAIQUE BENDO DA SILVA
CLOVIS DANILO BARBOSA DA SILVA
ERICK ROCHA DE OLIVEIRA SILVA**

**VIABILIDADE DO *RETROFIT* EM CONDICIONADORES DE AR
CONVENCIONAL PARA *INVERTER***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a disciplina de graduação do Curso Superior de Tecnologia em Refrigeração, Ventilação e Ar-Condicionado, da Faculdade de Tecnologia de São Paulo – Fatec Itaquera, como requisito para obtenção do título de Tecnólogo em Refrigeração, Ventilação e Ar-Condicionado.

Orientador: Prof. Me. Pedro Grego

SÃO PAULO

2022

**CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ITAQUERA
PROFESSOR MIGUEL REALE**

**VIABILIDADE DO *RETROFIT* EM CONDICIONADORES DE AR
CONVENCIONAL PARA *INVERTER***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a disciplina de graduação do Curso Superior de Tecnologia em Refrigeração, Ventilação e Ar-Condicionado, da Faculdade de Tecnologia de São Paulo – Fatec Itaquera, como requisito para obtenção do título de Tecnólogo em Refrigeração, Ventilação e Ar-Condicionado.

Orientador: Prof. Me. Pedro Grego

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Pedro Grego
Prof. Dra. Nazir Monteiro dos Santos
Prof. Me. Paulo José Maria Filho

SÃO PAULO

2022

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho primeiramente a Deus que nos deu saúde, e condições para elaborar, executar e concluir todo este projeto.

Dedicamos também aos nossos familiares que nos incentivaram a permanecer firmes em nosso objetivo e a perseverar em meio as dificuldades que surgiram ao longo desse caminho.

Dedicamos aos professores que, com muita disposição e paciência, nos passaram seus conhecimentos e experiências, contribuindo assim com nosso crescimento profissional, em especial ao Me. Pedro Grego que nos acompanhou de perto em nossa jornada.

E aos nossos amigos que estiveram sempre conosco em todo esse aprendizado, e que de uma forma ou de outra acrescentaram coisas boas em nosso progresso.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por nos dar oportunidade de viver e ter condições de trabalhar e estudar, e por nos ter dado sabedoria para concluir todo esse trabalho.

Agradecemos aos nossos queridos familiares que estiveram sempre do nosso lado nos dando ânimo e coragem para nunca desistir.

Aos professores que colaboraram com nosso aprendizado.

E aos nossos amigos que também fizeram parte de toda essa experiência vivida no decorrer do curso.

*“Tudo vale a pena, se a alma não é
pequena”*

- Fernando Pessoa

RESUMO

Este estudo faz uma análise da viabilidade da modernização de equipamentos de ar condicionado convencionais para equipamentos com a nova tecnologia *inverter*. Diante do crescente interesse em economia e sustentabilidade, alinhado às novas certificações para prédios verdes, foi proposto um cenário de controle para demonstrar a eficiência da tecnologia *inverter* em conjunto com um fluido mais ecológico, sustentável e eficiente na troca de calor.

O objetivo principal foi avaliar se a adoção dessa tecnologia resultaria em benefícios econômicos e sustentáveis, em conformidade com as metas para um futuro mais consciente. Para isso, foram utilizadas equações que demonstraram a economia potencial a ser alcançada com a implementação do *retrofit*, bem como o tempo necessário para que todo o processo se torne viável. Foram utilizados também dados fornecidos pelos fabricantes dos dois sistemas, a fim de comparar a real economia que a adoção do sistema *inverter* gera.

Ao considerar todas essas perspectivas, espera-se que este estudo forneça informações relevantes sobre os benefícios da tecnologia *inverter* em termos de economia de energia, redução de impacto ambiental e contribuição para a construção de um futuro mais sustentável.

Palavras-chave: *Inverter*, Energia, Sustentabilidade, Viabilidade e economia.

ABSTRACT

In the present study, a feasibility analysis of the *retrofit* of conventional equipment for the new *inverter* technology was carried out. In view of the growing interest in economy and sustainability, in line with the new certifications for green buildings, a control scenario was proposed to demonstrate the efficiency of *inverter* technology in conjunction with a more ecological, sustainable and efficient fluid in heat exchange.

The main objective was to assess whether the adoption of this technology would result in economic and sustainable benefits, in line with the goals for a more conscious future. For this, equations were used that demonstrated the potential savings to be achieved with the implementation of the *retrofit*, as well as the time required for the entire process to become viable. Data provided by the manufacturers of the two systems were also used in order to compare the real savings that the adoption of the inverter system generates

By considering all these perspectives, this study is expected to provide relevant information on the benefits of *inverter* technology in terms of energy savings, reduced environmental impact and contribution to building a more sustainable future.

Keywords: *Inverter*, Energy, Sustainability, Viability and economy.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

°C: Graus Celsius

°F: Graus Fahrenheit

AC: Corrente Alternada

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

BAR: Medida de Pressão

BTU: Unidade térmica britânica

COP: Coeficiente de Desempenho

EER: Índice de Eficiência de Energia

h: Entalpia

INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial

KPA: Quilo Pascal

KW/h: Quilo watts por hora

PMOC: Plano de operação, manutenção e controle

PSI: Libras por Polegada Quadrada

RPM: Rotação por minuto

TBS: Temperatura de Bulbo Seco

TBU: Temperatura de Bulbo Úmido

UR: Umidade Relativa

V: Tensão Elétrica (Volts)

W: Watts

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema simples de refrigeração	6
Figura 2 - Trocador de calor de fluxo cruzado. Entrada de ar a 24°C e saída a 14°C. Entrada de Fluido Refrigerante a 2°C e a saída a 4°C. Erro! Indicador não definido.	
Figura 3 - Lado de alta pressão com fluido refrigerante saindo do compressor e entrando na condensadora.....	15
Figura 4 - Ciclo de refrigeração contemplando os dois lados do sistema, com lado de alta e lado de baixa	16
Figura 5 – Evaporador de ar.....	17
Figura 6 - Condensador	18
Figura 7 - Compressor	18
Figura 8 – Válvula de Expansão.....	20
Figura 9 - Os quatros componentes básicos de refrigeração	21
Figura 10 – Ciclo <i>Inverter/</i> on-off.....	23
Figura 11 – Plaqueta do Motor	25
Figura 12 - Ciclo <i>Inverter/</i> on-off.....	27
Figura 13 - Carta Psicrométrica para a pressão atmosférica de 1 atm.	29
Figura 14 – Equipamento On/Off.....	44
Figura 15 - Fluido refrigerante R-32	45
Figura 16 - Figura 16 – Resolução 09 da ANVISA	25
Figura 17 - Exemplo de Fatura da Enel.....	27
Figura 18 - Edifício Do Fórum central João Mendes	29
Figura 19 – Edifício das Janelas do Fórum central João Mendes	44
Figura 20 - Detalhe dp Ar Condicionado do Edifício do Fórum João Mendes	45
Figura 21 - Equipamento On/Off	45
Figura 22 - Equipamento <i>Inverter</i>	45

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa	2
1.2 Objetivo Geral.....	3
2. REVISÃO DA LITERATURA TÉCNICA.....	5
2.1 Ciclo de Refrigeração	5
2.2- O lado de baixa pressão do sistema	7
2.3- Absorção de calor pelo evaporador	Erro! Indicador não definido.
2.4- Calor descartado pelo evaporador	9
2.5- Sustentabilidade	12
2.6- O que é <i>Payback</i>	13
3. OS QUATROS COMPONENTES DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	15
3.1- Evaporador	15
3.2- Condensador	15
3.3- Compressor	16
3.4- Dispositivo de medição	17
3.5 - Inversores de frequência	18
3.6 - Plaqueta dos motores	21
3.7 – Funcionamento <i>inverter</i>	21
4. AS PROPRIEDADES DO AR.....	24
4.1- Umidade Absoluta	25
4.2- Umidade Relativa	26
4.3- Temperatura TBS e TBU	26
4.4 - Entalpia específica (h)	28
4.5 - Volume específico (v)	28
4.6 - Refrigerantes mais recentes usados na refrigeração comercial	28
5 - Metodologia.....	30
5.1- Cenário	30
5.2 - Consumo	30
5.3 - Plano de Manutenção	31
5.4 - Tarifa de Energia Elétrica.....	32
5.5 - Desenvolvimento	34
5.6 - Analisando os dados de cada tecnologia.....	35
5.7 - Calculando em reais o custo de cada tecnologia.	40
5.7.1 – Consumo e gasto do equipamento convencional.....	40
5.7.2 – Consumo e gasto do equipamento <i>inverter</i>	41
6. Resultados	43

7. Discussão.....	45
7.1 Questionamentos.....	45
8. Conclusão	47
9. Referências Bibliográficas	49

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico, novas soluções surgem para aprimorar e simplificar processos antigos, proporcionando conforto e uma melhor experiência de uso. Os sistemas de ar-condicionado não são exceção a essa tendência, e um exemplo é a modernização dos equipamentos convencionais de ar-condicionado, fazendo a sua substituição por equipamentos que possuam a tecnologia *inverter*.

Nesse contexto, foi elaborada uma situação para demonstrar a viabilidade de um *retrofit*, ou seja, a substituição dos equipamentos antigos por equipamentos com tecnologia *inverter*, em um edifício já existente. Além do conforto proporcionado por esse sistema, o foco principal é a economia que essa tecnologia pode oferecer.

A tecnologia *inverter* é uma forma nova de construção de equipamentos que utiliza placas eletrônicas para controlar a partida dos compressores. A utilização desta tecnologia busca utilizar a energia de forma mais inteligente, levando em consideração tanto o custo de instalação quanto a qualidade do sistema. Nos sistemas convencionais (sem a tecnologia *inverter*) a partida do compressor requer uma corrente elétrica que pode chegar a até 10 vezes a corrente nominal desse compressor, resultando em um consumo energético excessivo.

No entanto, com a tecnologia *inverter*, uma placa de controle é utilizada para gerenciar a partida dos compressores, permitindo um controle preciso da velocidade. Ao associar uma função de controle, é possível reduzir em no mínimo 30% o consumo de energia. Isso ocorre porque é possível ajustar os valores mínimos e máximos de velocidade, de acordo com as especificações de cada compressor e sua aplicação específica.

Dessa forma, ao considerar a eficiência energética, é fundamental encontrar soluções sustentáveis e que satisfaçam o cliente final e que sejam viáveis em termos de custo de implementação e vida útil do equipamento. A tecnologia *inverter* oferece uma maneira inteligente e econômica de controlar o consumo de energia, tornando-se uma escolha vantajosa para quem busca eficiência energética, economia e qualidade de operação em sistemas de ar condicionado.

1.1 Justificativa

O presente trabalho tem como principal justificativa a busca pela economia e otimização no uso da matriz energética. É fundamental extrair o máximo de benefícios com o mínimo de desperdício elétrico, levando em consideração os recursos limitados disponíveis e a necessidade de preservação do meio ambiente.

Nesse contexto, a implementação de sistemas mais eficientes e sustentáveis, como os sistemas *inverter*, se torna essencial. Ao adotar essa tecnologia, é possível obter uma redução significativa no consumo de energia elétrica, o que resulta em custos mais baixos de operação e manutenção. Além disso, os sistemas *inverter* são projetados para operar de forma mais sustentável, minimizando o impacto ambiental.

A alta eficiência energética dos sistemas *inverter* é uma característica-chave que contribui para a justificativa deste trabalho. Esses sistemas são projetados para ajustar a velocidade do compressor de acordo com a demanda térmica do ambiente, evitando desperdícios de energia durante o funcionamento. Ao operar de forma mais precisa e eficiente, os sistemas *inverter* permitem um melhor controle da temperatura, proporcionando conforto térmico aos usuários.

A economia de energia proporcionada pelos sistemas *inverter* é um fator crucial para a justificativa deste estudo. Ao reduzir o consumo de energia elétrica, é possível obter economias significativas a longo prazo, impactando positivamente no orçamento do usuário e na sustentabilidade financeira de edifícios e instalações. Além disso, a diminuição no consumo de energia contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, colaborando com a preservação do meio ambiente e o combate às mudanças climáticas.

Ao considerar a viabilidade econômica e sustentável, é fundamental buscar soluções que proporcionem um uso mais eficiente da energia elétrica. Os sistemas *inverter* se destacam nesse aspecto, oferecendo um equilíbrio entre desempenho, conforto e eficiência energética. Ao implementar esses sistemas, é possível alcançar uma economia significativa de energia, reduzir custos operacionais e promover práticas mais sustentáveis.

Portanto, este trabalho se justifica ao abordar a economia e otimização do uso da matriz energética, buscando a implementação de sistemas mais eficientes, com alto desempenho energético e sustentabilidade. Ao alcançar resultados satisfatórios por meio dessas soluções, contribui-se para um uso mais racional da energia elétrica, com benefícios econômicos e ambientais para os usuários e a sociedade como um todo.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo é analisar a viabilidade da modernização de equipamentos convencionais, substituindo-os por sistemas com a tecnologia *inverter*. O sistema *inverter* é conhecido por sua capacidade de reduzir o consumo de energia, utilizando placas de inversores para controlar suavemente o acionamento dos compressores. Essa abordagem proporciona não apenas uma redução no gasto de energia, mas também pode aumentar a vida útil dos equipamentos.

Para avaliar a viabilidade dessa troca, será realizado um levantamento do consumo elétrico dos sistemas convencionais e *inverter* com base nos dados fornecidos pelos fabricantes dos dois sistemas. Esse levantamento permitirá uma comparação direta do gasto energético de cada tipo de sistema. Além disso, será considerado o valor do Quilo Watt Hora (Kw/h) para avaliar o impacto financeiro dessa troca.

Ao comparar o consumo elétrico e o gasto financeiro dos sistemas convencionais e *inverter*, será possível quantificar a economia que a substituição dos equipamentos pode proporcionar. Através dessa análise, será possível verificar se a redução no consumo de energia dos sistemas *inverter* compensa o investimento necessário para o *retrofit*.

É importante ressaltar que a economia de energia não é o único fator a ser considerado na avaliação da viabilidade do *retrofit*. Também será levado em conta o aumento da vida útil dos equipamentos com a utilização do sistema *inverter*, o que pode resultar em economias adicionais com manutenção e substituição menos frequente.

No final do estudo, pretende-se fornecer uma análise abrangente da viabilidade da modernização dos sistemas convencionais, fazendo a sua substituição por equipamentos com a tecnologia *inverter*, incluindo a quantificação da economia de energia, o impacto financeiro e os benefícios adicionais relacionados à vida útil dos equipamentos. Essas informações serão essenciais para auxiliar na tomada de decisão sobre a implementação dessa tecnologia e proporcionar uma base sólida para futuras melhorias na eficiência energética.

2. REVISÃO DA LITERATURA TÉCNICA

Com os avanços das novas fontes de fornecimento de energia elétrica surge a necessidade de ter um controle mais rigoroso quando se trata da utilização da energia elétrica. Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN), apenas 12,4% das energias em utilização fontes renováveis.

Hoje no Brasil o setor industrial é o que mais utiliza energia com 32,1% dos 63% total da energia consumida, sendo que as demais utilizações estão divididas entre os setores de transportes, setor energético, residências, agropecuária e serviços. Visando o consumo inteligente da energia e a eficiência energética, e com os grandes avanços tecnológicos, um alerta surgiu para o setor de ar-condicionado onde ele tem a finalidade de fornecer o conforto térmico do ambiente, deixando a temperatura ideal para a utilização.

Sabe-se que com o aquecimento global temos dias muito quentes e de longos períodos, onde vivenciamos dias de invernos com temperaturas extremamente altas e fora do padrão para a estação em questão. Desta forma os sistemas de ar-condicionado são utilizados com maiores frequências para poder manter, como por exemplo, uma sala de escritório com sua temperatura confortável.

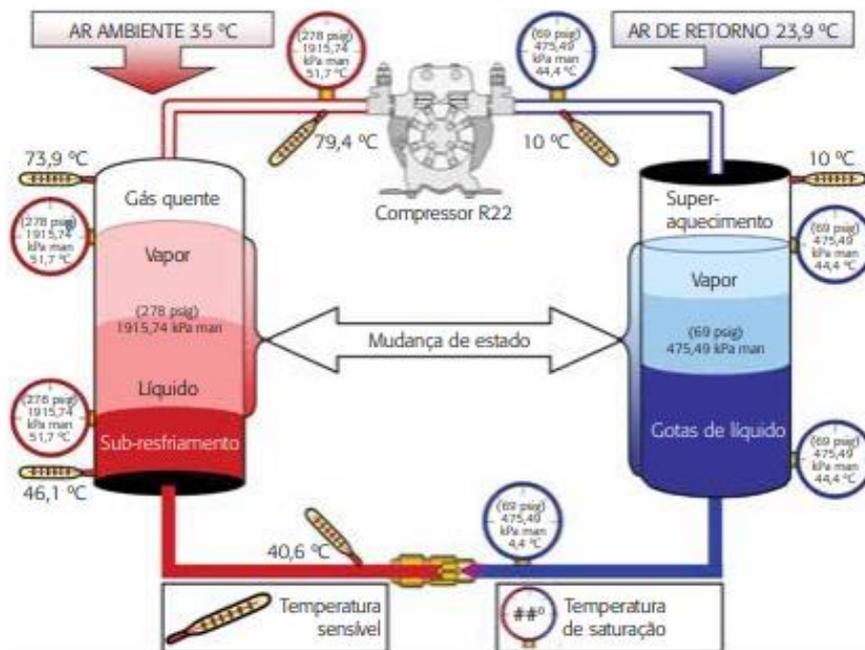
Porém para todo sistema de refrigeração funcionar e realizar o processo de resfriamento da temperatura do ambiente é necessário que no mínimo ele seja composto por quatro dispositivos responsáveis por realizar a manipulação do fluido para que esse consiga uma troca de calor. Sendo eles: o condensador, evaporador, válvula ou dispositivo de expansão e o compressor. Em todo sistema de ar-condicionado o compressor é o vilão pois é o responsável por realizar todo o trabalho de compressão do sistema, sendo que muitas vezes chega a ficar ligado por muitas horas por dia, e dependendo do seu uso, manutenção, condição de instalação e outros fatores, pode estar consumindo muita energia com baixa eficiência.

Porém, com a necessidade de reduzir estes consumos excessivos de energia elétrica, hoje pode-se encontrar algumas formas de aplicação desse compressor associado com um dispositivo de controle que auxilia em seu trabalho, rendimento e performance do compressor e com todo esse controle podemos ter redução no gasto de energia, pode-se aumentar a vida útil do sistema e claro, transformar essas reduções em lucros reais. (INATOMI, 2013)

2.1 Ciclo de Refrigeração

O ciclo de refrigeração é composto por quatro componentes, a saber, uma evaporadora, um compressor, uma condensadora e uma válvula de expansão. Os quatro componentes do ciclo de refrigeração são representados na Figura 1 abaixo. Quando deseja-se resfriar uma determinada quantidade de ar, é necessário colocar esta quantidade em contato com outro fluido que esteja a uma temperatura mais baixa, realizando uma troca de calor entre os dois fluidos. Este processo é realizado na Unidade Evaporadora. WIRZ (2011)

Figura 2 - Sistema simples de refrigeração



Fonte: WIRZ (2011)

Ao sair da unidade evaporadora, o ar resfriado pode agora ser utilizado para os mais diversos usos e necessidades, como o conforto de pessoas e a aplicação em processos. O sistema de refrigeração, porém, precisa retornar às condições iniciais que se encontrava antes da troca de calor, a fim de garantir um suprimento constante de fluido refrigerante para o sistema. Este processo é realizado por meio de um ciclo termodinâmico. (SILVA, 2007)

Ao sair da evaporadora, o fluido refrigerante que foi utilizado para resfriar o ar segue para um compressor, onde terá a sua pressão e temperatura elevadas em um processo de compressão. Este processo ocorre no segundo elemento do ciclo de refrigeração, que é um compressor hermeticamente fechado.

A compressão do fluido refrigerante faz com que a temperatura de mudança de fase do fluido se altere e cresça para valores superiores à temperatura ambiente. Com isto, o ar ambiente pode ser utilizado para resfriar o fluido que foi comprimido. Este processo ocorre no terceiro componente do ciclo de refrigeração, que é a condensadora. Por fim, o fluido refrigerante segue para um dispositivo de expansão, que completa o ciclo de refrigeração.

Em todos os quatro componentes do ciclo de refrigeração, é possível notar que o único que consome substancialmente energia elétrica é o compressor. Tanto as unidades evaporadora quanto a unidade condensadora e a válvula de expansão não são elementos mecânicos que consomem energia elétrica. O compressor, por sua vez, concentra todo o consumo de energia elétrica do sistema, e por esta razão, é chamado de “O Vilão” dos sistemas de ar-condicionado.

Isto permite entender que toda tentativa de redução do consumo energético de um ar-condicionado deve ser focada no compressor, que é o elemento que mais demanda consumo energético. Assim sendo, vários esforços têm sido feitos com o intuito de produzir compressores mais sustentáveis do ponto de vista energético e que demandem um menor consumo de eletricidade. (MARÉ, 2013)

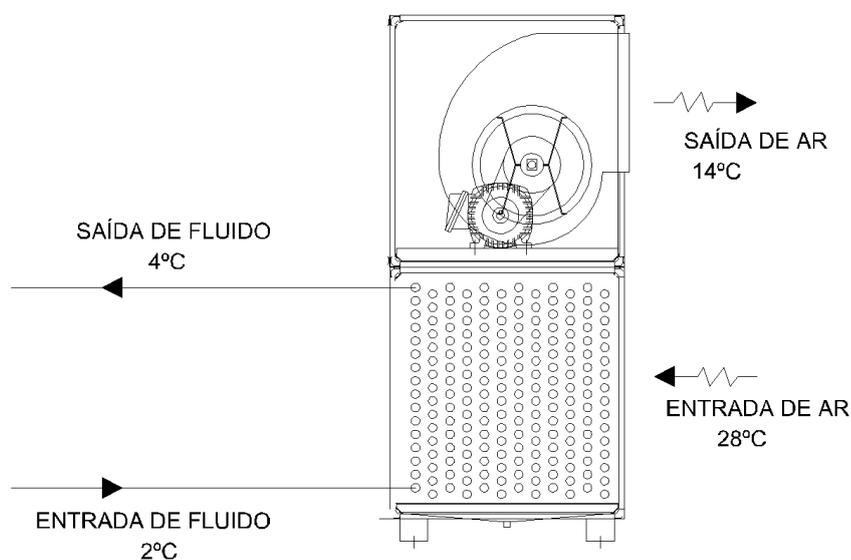
2.2- O lado de baixa pressão do sistema

O processo realizado no interior da evaporadora é chamado de “lado de baixa pressão do sistema”. Isto porque o fluido refrigerante ainda não entrou no compressor, e portanto, não trabalha com altas pressões e altas temperaturas. Todo o processo realizado neste lado do sistema é realizado a pressões que equivalem à pressão ambiente, e a temperaturas que também se assemelham à temperatura ambiente. Por estas razões, a região do ciclo de refrigeração onde o fluido ainda não adentrou no compressor é conhecida o lado de baixa pressão do ciclo.

No lado de baixa pressão do sistema, o ar a ser resfriado entra na evaporadora na temperatura aproximada de 24°C. O fluido refrigerante, que é utilizado para resfriar o ar encontra-se inicialmente a 2°C. O encontro destas duas correntes de fluido gera uma troca de calor entre as correntes, rebaixando o ar que estava inicialmente a 24°C para a temperatura de 14°C.

O fluido refrigerante, por sua vez, estava inicialmente a 2°C e após ser utilizado para resfriar o ar aquece para uma temperatura aproximada de 4°C. Este processo se dá por meio de uma troca de calor de fluxo cruzado em um trocador de calor de tubos. A Figura 2 abaixo ilustra a forma como a troca de calor é realizada em uma unidade evaporadora com a utilização de um trocador de fluxo cruzado.

Figura 2 – Trocador de calor de fluxo cruzado. Entrada de ar a 28°C e saída a 14°C. Entrada de Fluido Refrigerante a 2°C e a saída a 4°C



Fonte: Autoria de Pedro Grego

A temperatura do refrigerante permanece em 4,0 °C até que todo ele tenha se vaporizado. Somente então sua temperatura se elevará ao mesmo tempo que absorve mais calor do ar circundante. No momento que o vapor de sucção abandona o tanque, a temperatura do refrigerante aumentará para 10 °C. A temperatura do refrigerante acima de seus 4,0 °C de ponto de ebulição (temperatura saturada) é chamada de superaquecimento. (WIRZ, 2011). Todo este processo ocorre a pressão atmosférica ambiente e em temperaturas que não extrapolam o valor de 30°C. Por este motivo, esta é denominada “região de baixa” do sistema, pois tanto a pressão quanto a temperatura encontram-se em valores baixos.

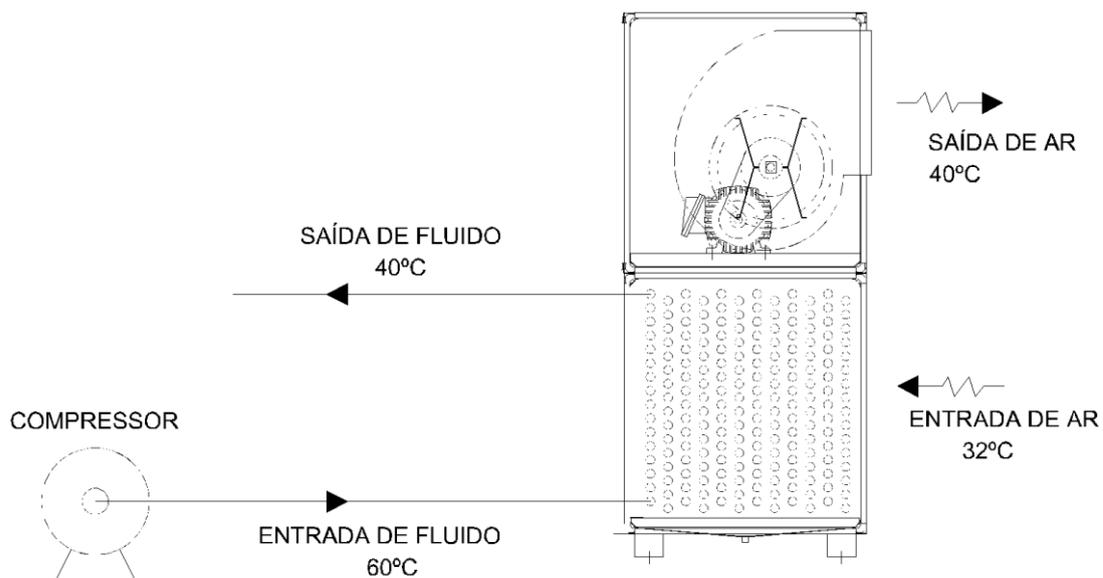
2.4- O lado de alta pressão do sistema

Paralelamente ao lado de baixa pressão do sistema, tem-se o chamado lado de alta pressão. Este lado é composto pelos componentes do ciclo de refrigeração que encontram-se após o compressor. Tendo passado pelo compressor, o fluido agora encontra-se a uma alta temperatura e a altas pressões. Esta característica altera substancialmente o funcionamento do sistema. (CREDER, 1996)

O fluido refrigerante, ao passar pelo compressor, tem sua pressão elevada, e conseqüentemente a sua temperatura também se eleva. Neste processo, o fluido refrigerante é elevado da temperatura de 4°C que se encontrava anteriormente para a temperatura aproximada de 60°C. Note-se que esta temperatura é muito superior à temperatura ambiente, e por este motivo, o ar ambiente pode ser utilizado eventualmente como meio para resfriar este fluido que foi comprimido. Isto será realizado, posteriormente, na condensadora do sistema.

A Figura 3 abaixo ilustra o funcionamento do lado de alta pressão, com o fluido saindo do compressor e entrando na condensadora.

Figura 3 – Lado de alta pressão com fluido refrigerante saindo do compressor e entrando na condensadora



Fonte: A autoria de Pedro Grego

Conforme WIRZ (2011), para rejeitar o calor absorvido pelo evaporador, como o vapor de sucção frio deve ser elevado a uma temperatura mais alta do que os 35 °C do ar externo. (“REFRIGERAÇÃO COMERCIAL para técnicos em ar-condicionado - Issuu”) Na Refrigeração a temperatura do refrigerante é elevada a 51,7 °C.

A diferença de 16,7 °C entre a temperatura de condensação e o ar exterior é grande o suficiente para transferir facilmente o calor do condensador quente para o ar exterior quente. Comprimindo o vapor de sucção de 475,49 kPa para 1915,74 kPa, aumenta-se seu ponto de ebulição de 4,4 °C para 1,7 °C. Aquecido a 51,7 °C, o vapor do evaporador libera o calor latente para o ar do ambiente mais frio, ao mesmo tempo que o refrigerante condensa para um líquido.

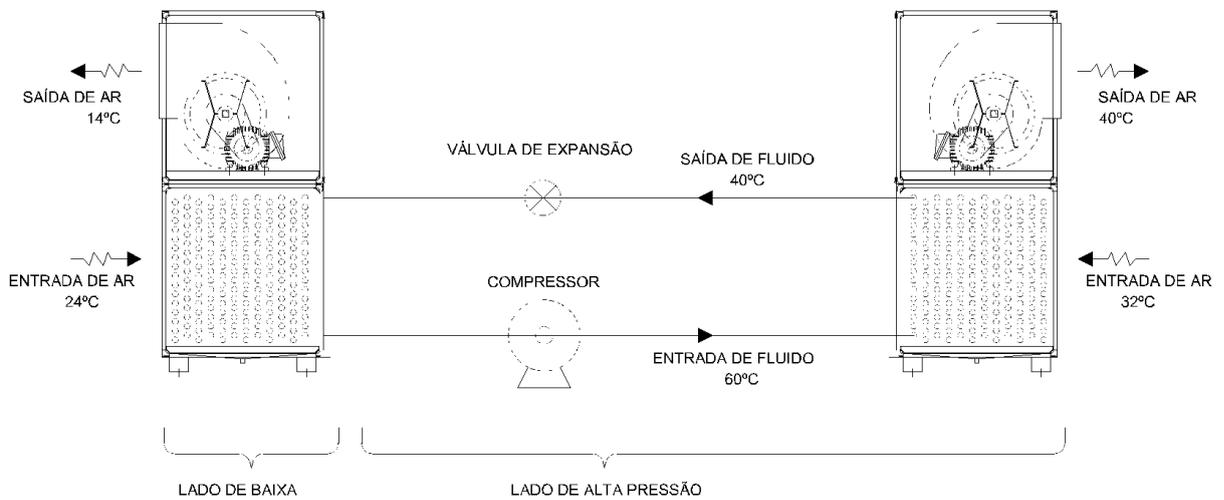
Ao deixar o compressor, o vapor tem temperatura acima de 51,7 °C, além do calor latente do evaporador, o vapor de descarga também contém calor sensível: » Superaquecimento do evaporador superaquecimento da linha de sucção calor do motor do compressor calor de compressão o gás quente a 79,4 °C que deixa o compressor deve des superaquecer, ou reverter o superaquecimento, antes de começar a se condensar em sua temperatura de saturação de 51,6 °C. O processo de condensação continua a 51,6 °C, eliminando o calor latente para o ambiente. Quando o líquido totalmente condensado é resfriado abaixo de sua temperatura de saturação, isso se chama sub resfriamento.

Para calcular o sub resfriamento, determina-se a temperatura de condensação da pressão máxima e se subtrai a temperatura da linha do líquido que deixa o condensador (WIRZ,2011).

Os dois lados do sistema, isto é, o lado de baixa e o lado de alta pressão, são conectados por uma tubulação frigorígena, que é responsável por realizar a interligação entre os dois lados. Esta tubulação é feita de cobre, e é por dentro dela que o fluido refrigerante passa. Os dois lados do sistema são, assim, interligados por uma tubulação e por um sistema de válvulas e conexões, que permite a unificação do sistema.

Na Figura 4 abaixo, temos o ciclo de refrigeração como um todo, com os lados de alta pressão e baixa pressão reunidos, e interligados através de uma linha frigorígena que faz a interconexão entre os dois lados. Especial atenção merece ser dada ao compressor, que funciona como um coração e é o responsável por injetar energia ao sistema.

Figura 4 – Ciclo de refrigeração contemplando os dois lados do sistema, com lado de alta e lado de baixa



Fonte: Autoria de Pedro Grego

2.5 Sustentabilidade

Um ar-condicionado *inverter* pode ser considerado sustentável de diversas maneiras, contribuindo para a preservação do meio ambiente e a redução do impacto ambiental. Sua operação eficiente e inovadora permite uma série de benefícios que promovem a sustentabilidade.

Um dos principais aspectos sustentáveis do ar-condicionado *inverter* é sua eficiência energética. Esses sistemas são projetados com tecnologia avançada que ajusta a velocidade do compressor de forma inteligente e contínua, adaptando-se às necessidades térmicas do ambiente. Ao contrário dos sistemas convencionais, que funcionam em ciclos de ligar e desligar, os compressores *inverter* operam em velocidades variáveis, evitando picos de consumo de energia. Isso resulta em um uso mais eficiente da eletricidade, reduzindo o consumo energético e as emissões de gases de efeito estufa associadas.

Além disso, a redução do consumo de energia do ar-condicionado *inverter* também está diretamente relacionada à diminuição das emissões de gases poluentes. Como esses sistemas consomem menos eletricidade, a quantidade de combustíveis fósseis necessários para a geração de energia é reduzida. Isso contribui para a redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) e outros gases de efeito estufa, ajudando a combater as mudanças climáticas e a preservar o meio ambiente.

Outro aspecto sustentável do ar-condicionado *inverter* é a sua capacidade de controlar a temperatura de forma mais precisa. Esses sistemas são projetados para manter a temperatura desejada de forma constante, evitando oscilações bruscas que podem ser desconfortáveis e consumir mais energia. Com um controle mais preciso, o ar-condicionado *inverter* evita desperdícios de energia e proporciona um ambiente interno mais confortável e agradável.

Além disso, o uso do ar-condicionado *inverter* também pode contribuir para a redução do pico de demanda de energia. Os sistemas convencionais geralmente exigem uma quantidade significativa de energia quando são ligados, causando picos de demanda que podem sobrecarregar a infraestrutura elétrica. No entanto, os equipamentos *inverter* iniciam sua operação de forma mais suave e gradual, reduzindo o impacto no sistema elétrico e evitando sobrecargas.

O ar-condicionado *inverter* apresenta características sustentáveis que o tornam uma opção vantajosa. Sua eficiência energética, redução de emissões de gases poluentes, controle preciso de temperatura e menor impacto no pico de demanda de energia são fatores que contribuem para a sustentabilidade ambiental. Ao optar pelo ar-condicionado *inverter*, os consumidores podem desfrutar de um ambiente confortável, ao mesmo tempo em que contribuem para a preservação do meio ambiente e a redução do impacto ambiental.

2.6- O que é *Payback*

O *payback* é um conceito financeiro que nos ajuda a entender em quanto tempo um investimento retorna o valor que foi inicialmente aplicado. Ele é uma medida utilizada para analisar a viabilidade e o período de recuperação de um investimento.

Vamos imaginar que você está considerando investir em um projeto ou em um equipamento. Antes de tomar a decisão, é importante avaliar quanto tempo levará para você recuperar o dinheiro que foi investido. Isso é exatamente o que o *payback* faz: ele determina o prazo necessário para que as entradas de dinheiro provenientes desse investimento sejam iguais ou superiores ao valor inicial investido.

Para calcular o *payback*, é preciso levar em conta os fluxos de caixa líquidos, ou seja, as entradas e saídas de dinheiro ao longo do tempo. O objetivo é descobrir em quantos anos ou meses o investimento se pagará.

O *payback* é uma ferramenta simples e direta que nos dá uma noção rápida sobre a liquidez do projeto. Em outras palavras, ele nos mostra em quanto tempo o investimento será recuperado. Isso pode ser muito útil na tomada de decisões empresariais, pois permite uma análise ágil do tempo necessário para recuperar o capital investido.

No entanto, é importante ressaltar que o *payback* não leva em consideração a rentabilidade futura do investimento. Ele se concentra apenas no tempo de recuperação do valor investido. Por isso, é comum utilizá-lo em conjunto com outras métricas financeiras, como o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), para uma avaliação mais completa e precisa do projeto de investimento.

Em resumo, o *payback* é uma medida simples e eficaz para avaliar o prazo de recuperação de um investimento. Ele nos ajuda a entender em quanto tempo poderemos recuperar o dinheiro investido e é uma importante ferramenta na análise financeira de projetos e tomada de decisões empresariais.

3. OS QUATROS COMPONENTES DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

3.1- Evaporador

O ar quente do ambiente é soprado sobre o evaporador Figura 5. O calor do ar é absorvido pelo refrigerante à medida que ferve no interior do tubo do evaporador. O calor permanece no refrigerante, que flui para outra área e é ejetado. Após passar pela válvula de expansão, o fluido refrigerante é admitido no evaporador na forma líquida. Como a pressão no evaporador é baixa, o fluido refrigerante se evapora com uma temperatura baixa. (“O PROCESSO DE EVAPORAÇÃO - Condensadores Resfriados a Água”) No lado externo do evaporador há um fluxo de fluido a ser refrigerado (água, solução de etilenoglicol, ar etc.). Como a temperatura desse fluido é maior que a do refrigerante, este se evapora. Após todo o refrigerante se evaporar, ele sofrerá um acréscimo de temperatura denominado superaquecimento.

Figura 5 - Evaporador de ar



Fonte: Catálogo LG Smart *Inverter* (2022)

3.2- Condensador

Segundo WIRZ (2011), o condensador Figura 6, é uma imagem invertida do evaporador, entretanto, em lugar de absorver calor, ele o rejeita. Há enorme transferência de calor quando o refrigerante muda de estado. O calor latente é liberado à medida que o vapor condensa em líquido dentro do condensador.

Figura 6 - Condensador



Fonte: Catálogo LG Smart *Inverter* (2022)

3.3- Compressor

O calor no refrigerante somente pode ser removido se for exposto a temperaturas ambiente relativamente mais frias. Uma vez que o ar exterior tem 35 °C ou mais de temperatura, tem-se de aumentar bastante a temperatura do refrigerante. O compressor pode aumentar a temperatura do refrigerante, aumentando a pressão. Portanto, quanto mais quente estiver fora, mais altas se tornam as pressões do compressor. (WIRZ,2011). Hoje temos diversos tipos de compressores para cada aplicação desejada conforme carga térmica onde encontramos compressores do tipo hermético, semi-hermético, parafuso, scroll e o de tecnologia *inverter*, onde com sua aplicação é possível ter uma redução no consumo de energia elétrica.

O principal objetivo da tecnologia *inverter* nos ares-condicionados é reduzir o consumo de energia elétrica desses equipamentos. Em comparação com os motores que trabalham com a mesma rotação, os *inverter* tem o controle da velocidade que varia de forma a se ajustar com à necessidade do set point selecionado para manter a temperatura do ambiente conforme desejado, onde não necessita ser toda aquela velocidade que o tradicional fornece. Desta forma o compressor *inverter* opera em velocidades menores e com isso tem um consumo menor de energia.

Essa capacidade de variar a rotação vem do *driver* de potência conhecido como inversor de frequência, ou *inverter* em inglês que opera para controlar a variação de velocidade do compressor conforme Figura 7.

Um equipamento que gasta menos energia elétrica para fazer a mesma coisa é mais eficiente. No caso do *inverter*, produz o mesmo frio consumindo menos eletricidade. Os ares-condicionados *inverter*, portanto, são mais eficientes em relação aos demais. (“Como funciona o ar-condicionado *inverter*? - IEI - International Energy ...”) além disso, eles mantêm a temperatura fria constante no ambiente e geram menos ruído.

Figura 7 - Compressor



Fonte: Copeland (2022)

3.4- Dispositivo de medição

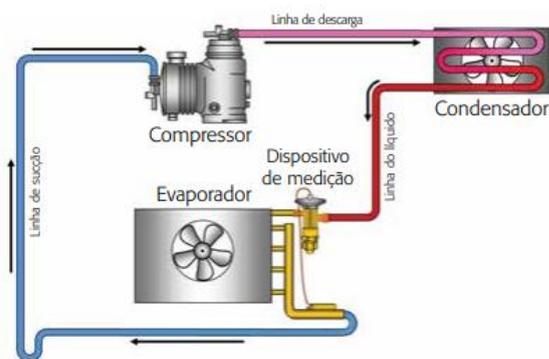
O dispositivo de medição, seja a válvula de expansão ou o tubo capilar Figura 8, reduz a pressão do líquido, forçando-o através de um bocal ou pequena abertura. Quando se diminui a pressão do refrigerante, permite-se que ele entre em ebulição à temperatura mais baixa. Para que o refrigerante entre em ebulição de modo mais fácil, o dispositivo de medição muda a corrente do líquido para uma densa nuvem de gotículas de líquido antes que ela entre no evaporador. (WIRZ,2011).

Figura 8 - Válvula de expansão



Fonte: WWM (2006)

Figura 9 - Os quatro componentes básicos de refrigeração



Fonte: WIRZ (2011)

3.5 - Inversores de frequência

O inversor de frequência serve para realizar o controle de velocidade do motor, ou seja, é um aparelho utilizado em motores elétricos trifásicos para acionamento, e a variação da frequência e tensão para controle da velocidade e giro e a potência consumida. Para controlar a potência consumida pela carga, o inversor de frequência transforma corrente elétrica alternada fixa (corrente e tensão) em corrente elétrica CA variável, variando a frequência entregue pela rede.

O inversor de frequência altera a frequência na entrada do motor, caso a frequência seja maior, logo a velocidade do motor será maior, e caso a frequência seja menor a velocidade também é menor. (“Como funciona o inversor de frequência - Mundo da Elétrica”)

Uma das vantagens do uso do inversor de frequência é explorar o funcionamento do motor e condições não descritas nas suas características construtivas, também proporciona flexibilidade de velocidade com segurança e precisão. (“Como funciona o inversor de frequência - Mundo da Elétrica”)

Há também a possibilidade de usar os inversores de frequência para controlar a velocidade do motor sem grandes perdas de torque, aceleração suave através de programação, frenagem direta no motor, sem necessidade de freios mecânicos, além de diversas formas de programação de velocidade de acordo com a necessidade da ocasião. Outras vantagens da utilização do inversor de frequência são:

- Substituição de variadores mecânicos e eletromagnéticos;
- Automatização, segurança e flexibilidade em processos industriais;
- Instalação simples;
- Diminuição de choques mecânicos na partida do motor;
- Precisão e processos;
- Menos intervenção humana;

"Além destas vantagens, o inversor de frequência Figura 10 possui ótimo custo-benefício, pois proporcionam economia de energia elétrica, maior durabilidade de engrenagens, polias e outros componentes mecânicos." (“Inversor de frequência – Retenlins”)

Os inversores trazem benefícios do tipo que é possível controlar o torque do motor, e sua velocidade, tudo isso através do controle digital e analógico do inversor, onde muito utilizado em ar-condicionado é o controle da velocidade do compressor em relação a temperatura programada no set point da máquina, um exemplo de aplicação é quando ao ligarmos o ar condicionado com uma temperatura ambiente de 30°C e seu set point está configurado para 23°C o compressor irá funcionar com sua máxima velocidade em (RPM), e ao se passar o tempo e a temperatura for se aproximando do valor de set point ajustado, o compressor irá reduzir sua velocidade podendo chegar até 30% de sua rotação, com isso tem um consumo de energia reduzido levando em consideração que uma vez que já foi rompida a inercia de operação, o compressor consome menos energia, por isso que a aplicação do inversor é muito importante quando faz necessário manter um consumo de energia eficiente.

Basicamente existem dois tipos de tecnologia de velocidade variável para motores de compressores. Os compressores com motores AC necessitam de um inversor de frequência, comumente conhecido como VFD (Variable Frequency Drive), externo ao compressor, para proporcionar a variação de velocidade.

Os compressores com motores DC não necessitam de inversores de frequência externos, pois possuem drives (placas eletrônicas) internos ao equipamento. Este tipo de acionamento proporciona uma maior eficiência energética e maior confiabilidade”, diz Cristiano Brasil, coordenador de aplicação da Midea Carrier. “Todo acionamento dos compressores com velocidade variável, atualmente utilizado em equipamentos de climatização, é feito através de placas eletrônicas que contêm bancos capacitivos, retificadores, reatores, inversores de frequência do tipo ponte de diodo ou IGBT, que vão converter a tensão alternada para tensão contínua e, através do IPM, irão alimentar as bobinas elétricas do compressor, que têm o seu fechamento elétrico geralmente estrela ou triângulo. Antigamente, essa variação de velocidade era feita através de um variador de frequência externo. (“Tecnologia de velocidade variável - Portal EA”)

Figura 10 - Inversores de frequência

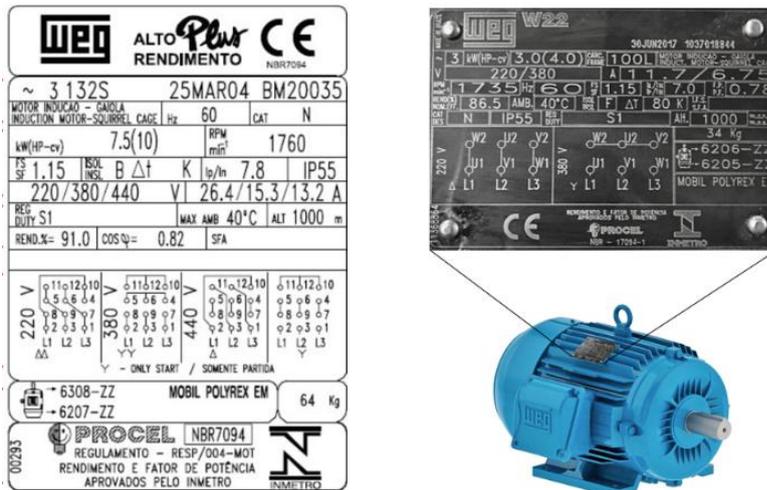


Fonte: WEG (2022)

3.6 - Plaqueta dos motores

Todo motor elétrico tem seus dados de identificação para apresentar suas características técnicas, Figura 11 tais elas sendo a, tensão, corrente e potência elétrica, rpm e os demais dados que são utilizados para garantir um melhor funcionamento do motor. Para extrair o máximo do motor quando são aplicados inversores de frequência é de extrema importância inserir no software do inversor dados como tensão, corrente e a potência do motor, assim como sua rotação por minuto (RPM), seu rendimento, para que o inversor sempre possa garantir seu funcionamento com base nos dados de plaqueta do motor.

Figura 11 - Plaqueta do motor



Fonte: WEG (2022)

3.7 – Funcionamento *inverter*

Os equipamentos de ar-condicionado do tipo *inverter* operam de maneira diferenciada em comparação aos sistemas convencionais, oferecendo maior eficiência energética e controle preciso da temperatura. Seu funcionamento é baseado no ajuste da velocidade do compressor de acordo com a demanda térmica do ambiente, resultando em um desempenho mais eficiente.

Aqui está uma explicação simplificada de como esse equipamento opera:

Os sistemas de ar-condicionado *inverter* são projetados para manter a temperatura desejada no ambiente de forma constante e eficiente. Eles são equipados com um compressor de velocidade variável que ajusta automaticamente sua velocidade de rotação, dependendo das necessidades de resfriamento ou aquecimento.

Quando o equipamento *inverter* é ligado, o compressor começa a operar em uma velocidade mais alta para atingir rapidamente a temperatura desejada. Assim que o ambiente atinge a temperatura configurada, o compressor reduz sua velocidade de rotação para um nível mais baixo, também chamado de modo de espera, mantendo a temperatura constante sem interrupções frequentes.

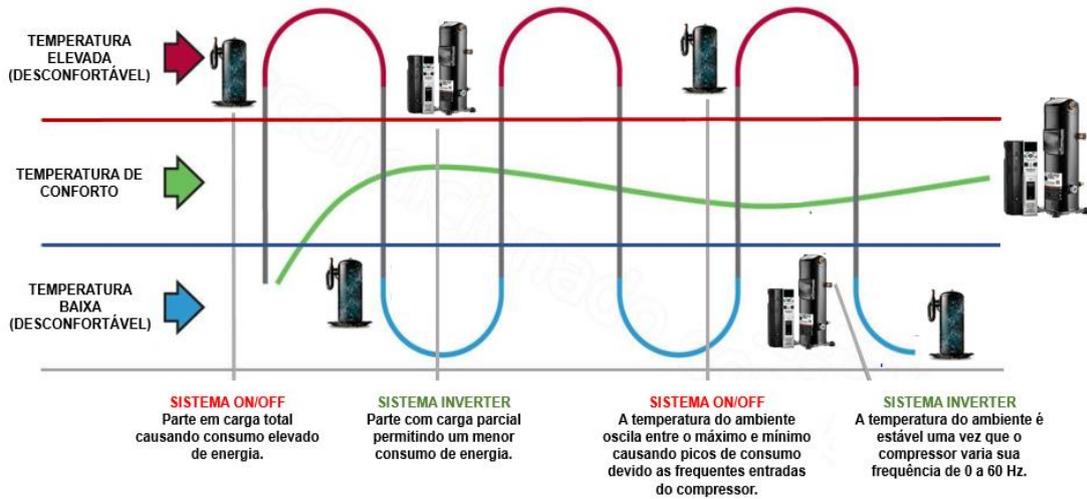
Ao contrário dos sistemas convencionais, que funcionam em um modo de ligar e desligar (on/off), o compressor dos equipamentos *inverter* opera continuamente, mas em velocidades variáveis. Isso significa que o equipamento não precisa ser desligado e reiniciado repetidamente, o que consome mais energia.

Quando a temperatura ambiente aumenta ou diminui, o sensor de temperatura do equipamento *inverter* detecta essa mudança e ajusta automaticamente a velocidade do compressor para atender à nova demanda térmica. Dessa forma, o equipamento *inverter* é capaz de fornecer a quantidade exata de refrigeração ou aquecimento necessária, evitando desperdício de energia.

Além disso, os equipamentos de ar-condicionado *inverter* também são equipados com um inversor, que converte a energia elétrica de corrente contínua (DC) para corrente alternada (AC). Esse inversor permite o controle preciso da velocidade do compressor e otimiza ainda mais a eficiência energética do sistema. Conforme visto no artigo 3.5.

O funcionamento do equipamento *inverter* baseia-se no ajuste contínuo da velocidade do compressor de acordo com as necessidades de temperatura do ambiente. Essa operação eficiente e precisa resultar em economia de energia e maior conforto térmico e pode ser visto conforme na figura abaixo.

Figura 32 – Ciclo *Inverter/* on-off.



Fonte: Web Ar-Condicionado, (2018)

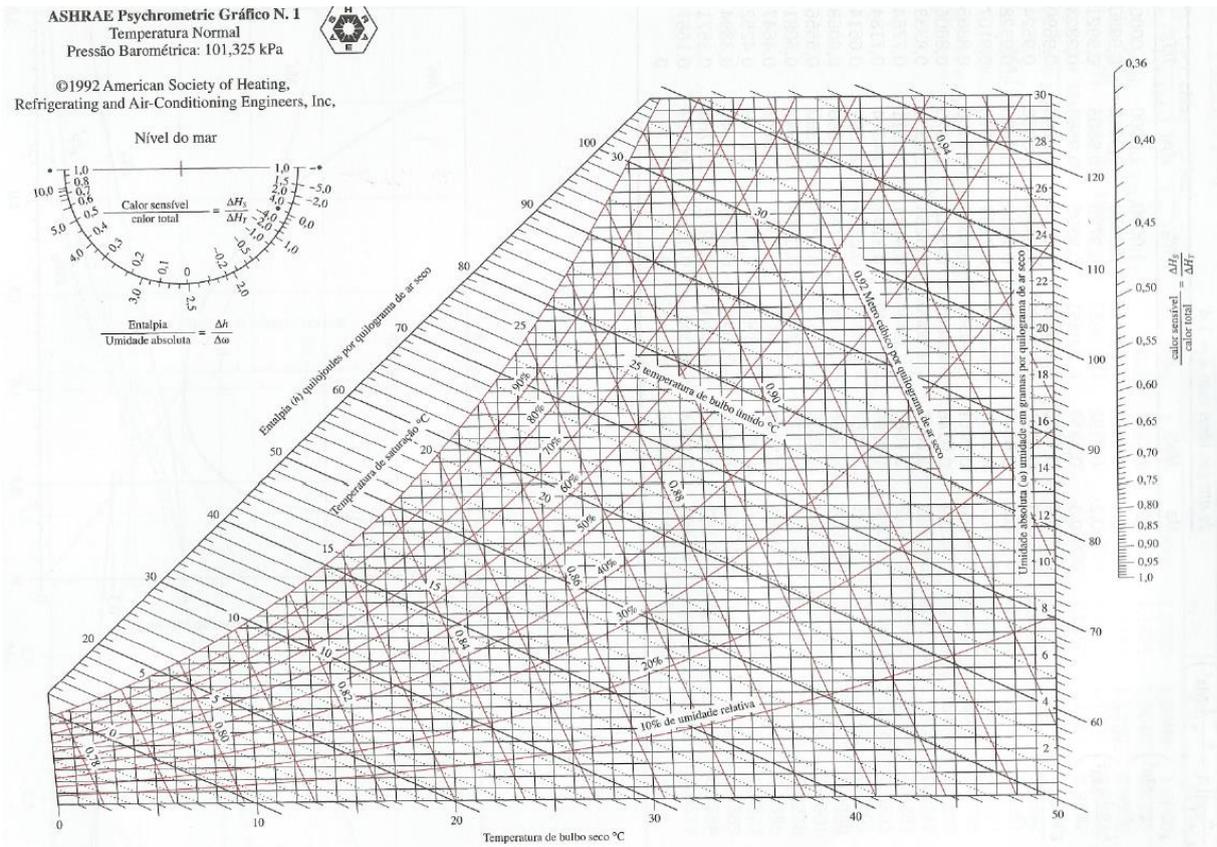
4. AS PROPRIEDADES DO AR

A carta psicrométrica Figura 13, apresenta as principais propriedades do ar sendo elas: temperatura de orvalho, umidade relativa, umidade absoluta, temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, entalpia e pressão de saturação. A temperatura na qual o vapor de água da atmosfera fica saturado é conhecida como temperatura de orvalho do ar. Esta propriedade é muito importante, pois, a partir dela, é possível calcular as espessuras de isolamento adequadas para dutos, câmaras frigoríficas e refrigeradores domésticos.

Ou seja, se o isolamento é ruim, haverá uma temperatura superficial externa da parede da câmara muito baixa, e dessa forma, haverá condensação do vapor d'água presente no ar sobre esta superfície. Como exemplo, é possível analisar se haverá condensação sobre um duto de aço galvanizado sem isolamento térmico por onde passa internamente um fluxo de ar a 15°C através de um ambiente que está a TBS de 32°C e TBU de 23°C.

Para resolver este tipo de questão, basta utilizar a carta psicrométrica. Na carta, deve-se marcar o ponto referente às condições do ar externo. Deve se traçar uma linha horizontal da direita para a esquerda e verificar o ponto em que há cruzamento com a linha de saturação. Neste ponto, situa-se a temperatura de orvalho do ar externo. Ou seja, se a temperatura do ar é resfriada abaixo desse valor, haverá condensação.

Figura 13 - Carta Psicrométrica para a pressão atmosférica de 1 atm.



Fonte: American Society of Heating, Ventilation and Air Conditioning

4.1- Umidade Absoluta

A umidade absoluta é a relação entre a massa de vapor de água presente no ar e a massa de ar seco, ou de maneira mais simples, umidade absoluta é a quantidade de vapor d'água dissolvida em 1 kg de ar seco. (ROCHA, 2011) Usualmente, é expressa em gramas de vapor de água por kg de ar seco. Na Figura 5.4, tem-se o processo de obtenção da umidade relativa do ar na condição TBS = 25o C e UR = 50%, que é de 10 gramas de vapor d'água dissolvidos para cada 1 kg de ar seco. Analiticamente, pode-se calcular a umidade absoluta presente no ar através da equação 1:

$$w = 0,6220 \frac{P_v}{P_t - P_v} \quad [1]$$

Onde:

P_v = Pressão parcial de vapor d'água contida no ar

P_t = Pressão total no ar

4.2- Umidade Relativa

Segundo (JESUÉ GRACILIANO DA SILVA,2010), a umidade relativa (UR ou f) representa a relação entre a pressão parcial de vapor d'água presente no ar (p_v) e a pressão de saturação do mesmo a uma mesma temperatura (p_{sat}). Uma dada condição do ar pode ser identificada por duas de suas propriedades. Nesse caso, o ponto 1 marcado na carta significa que o ar está na condição TBS = 30o C e umidade relativa (UR) de 40%. A pressão de saturação ocorre quando se tem o máximo possível de vapor d'água dissolvido no ar a uma dada temperatura "T". Neste caso, diz-se que o ar está saturado e adota-se esta condição para o cálculo da umidade relativa dele. Tomando-se o ar a uma dada temperatura, T_a , e certa pressão de vapor, p_v , e adicionando-se o máximo de vapor d'água fisicamente possível, obtém-se o ar saturado na temperatura T_a e com pressão de saturação $p_{sat}(T_a)$. A pressão parcial de vapor d'água contido no ar é obtida a partir da relação com a pressão de saturação do ar. Para obter a umidade relativa basta aplicar a equação 2.

$$UR = \frac{P_v}{P_{sat}} 100 \quad [2]$$

Onde:

P_v = Pressão parcial de vapor d'água presente no ar

P_{sat} = Pressão de saturação

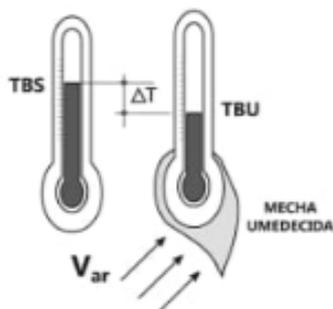
4.3- Temperatura TBS e TBU

"A Temperatura de Bulbo Seco do ar (TBS) é a temperatura medida por um termômetro comum com proteção contra a radiação." ("Introdução À Tecnologia Da Refrigeração PDF | PDF | Umidade | Umidade ...") Se dois termômetros precisos forem colocados numa corrente de ar em movimento rápido, ambos registrarão a mesma temperatura. Porém, se o bulbo de um dos termômetros for coberto com uma mecha molhada, a sua temperatura descera, primeiro rapidamente e depois lentamente até atingir um ponto estacionário. ("Refrigeração | PDF | Umidade | Umidade Relativa - Scribd") A leitura nesse ponto é chamada a Temperatura de Bulbo Úmido do ar. Sempre teremos TBU menor que TBS do ar. Isso se deve ao fato de a umidade da

mecha retirar calor do bulbo para evaporar, o que reduz a temperatura do termômetro.(IKEMATSU, 201).

A quantidade de água que pode evaporar da mecha molhada para o ar depende completamente da quantidade de vapor de água que existe inicialmente no ar que passa pelo bulbo úmido. Se o ar já estivesse saturado com umidade, não evaporaria nenhuma água do bulbo para o ar e não haveria resfriamento no termômetro de bulbo úmido. Nesse caso, TBS seria igual à TBU. (“Refrigeração | PDF | Umidade | Umidade Relativa - Scribd”) Quanto mais seco for o ar que passa pela mecha do termômetro de bulbo úmido, maior será a quantidade que se evaporará para a corrente de ar. Quanto maior for a quantidade de umidade evaporada para a corrente de ar, mais baixa será a leitura no termômetro de bulbo úmido. Na Figura 14 mostra "A diferença entre as leituras nos termômetros de bulbos úmido e seco é chamada depressão de bulbo úmido."

Figura 44 - TBU e TBS



Fonte: Introdução à Tecnologia da refrigeração e da climatização (2010)

Para obter leituras precisas com um termômetro de bulbo úmido, o ar deve ser movimentado ao passar pelo bulbo úmido. Se as leituras de bulbo úmido forem obtidas em ar calmo, o termômetro deve ser movido de modo a obter o movimento necessário do ar através do bulbo. (JESUÉ GRACILIANO DA SILVA,2010).

4.4 - Entalpia específica (h)

A entalpia específica (h) é muito utilizada para indicar o nível de energia de uma substância. Em psicrometria, utiliza-se geralmente a variação de entalpia envolvida nos processos de tratamento do ar. Se uma transformação ocorre através da transferência de energia térmica apenas, pela Primeira Lei da Termodinâmica, pode-se obter a variação de entalpia como sendo igual à variação do calor adicionado ou removido. Para a maioria das aplicações, pode-se adotar uma simplificação, observando-se que o calor específico do ar varia pouco na faixa de 0 a 50°C. Este valor se mantém na faixa de 1,006 a 1,009 kJ/kg °C.

$$h = 1,007.TBS + w(2501 + 1,8.TBS) \quad [3]$$

4.5 - Volume específico (v)

Segundo (JESUÉ GRACILIANO DA SILVA,2010), o volume específico (v) pode ser definido como o volume ocupado pela mistura (ar seco mais vapor), por unidade de massa do ar seco. O volume específico também pode ser entendido como o inverso da massa específica e pode ser obtido por meio da Equação dos Gases Ideais ou através da carta psicrométrica.

$$v = \frac{Ra*TBS}{Pt-Pv} \quad [4]$$

4.6 - Refrigerantes mais recentes usados na refrigeração comercial

Segundo WIRZ (2011), muitos técnicos experientes em AC diagnosticam as unidades padrão R22 AC com base em leituras aproximadas de pressão. Por exemplo, eles podem dizer que a pressão de sucção deve ser de cerca de 447,93 kPa man (65 psig) a 516,84 kPa man (75 psig) se a temperatura de retorno for 23,9 °C. Ou, ao verificar a pressão máxima em um dia de 35 °C, o técnico pode estimar que ele deveria estar em torno de 1791,70 kPa man (260 psig) a 1998,44 kPa man (290 psig). Embora essa técnica não seja tão precisa quanto usar a tabela P/T, esses técnicos parecem ficar satisfeitos com os resultados desse método de diagnóstico de serviço.

Da mesma forma, antes de 1990, alguns técnicos de refrigeração comercial também usavam aproximações para os três refrigerantes: R12, R22 e R502 conforme Figura 15. Quando o Clean Air Act (Lei Norte-Americana do Ar Limpo), de 1990, entrou em vigor, o R12 e o R502 foram substituídos por mais de dez refrigerantes diferentes projetados para manter as temperaturas, mas em diferentes pressões. Embora com a necessidade de sempre ter o fluido mais natural e eficiente possível sempre vem sendo desenvolvido novos fluidos para utilizar em sistemas de ar-condicionado, levando sempre em consideração os impactos que esse fluido pode causar no meio ambiente, levando em consideração que cada fluido aplicado de forma correta faz com que o sistema de refrigeração tenha um desempenho melhor gerando redução no consumo geral do sistema.

Com isso foi desenvolvido um novo fluido refrigerante conhecido como o R-32 que nada mais é que uma nova classe de fluido refrigerante que desperta grande interesse na indústria mundial pelo seu notável e baixo impacto ambiental. "O R-32 é um fluido refrigerante HFC puro, e assim é utilizado em condicionadores pequenos, também é usado como componente em misturas de HFC." ("Fluido R-32, o menor impacto ambiental - Projetar")

Figura 55 - Fluido refrigerante R-32



Fonte: Catálogo Daikin (2022)

5 - Metodologia

5.1- Cenário

Foi idealizado um cenário para que possa ser usado como referencia onde conta com um prédio comercial de 25 andares e 20 maquinas por andar, localizado em São Paulo que tem seu horário de funcionamento de 9 horas consecutivas, onde em 100% dos momentos o ar condicionado esta ligado, se tratando de um equipamento do tipo split hi-wall convencional com seu set point ajustado em 22°C, esse ar condicionado possui a capacidade de 36000 BTU'S / h, este equipamento conta com PMOC, Plano de Manutenção Operação e Controle, conta com seu funcionamento correto seguindo normas de instalação e operação especificadas na Norma Técnica Brasileira (NBR) 16401 – 2008. (ALFREDO,2013)

O sistema de ar condicionado do tipo convencional conta com o fluido R-22 para garantir sua troca de calor como indicado pelo fabricante e expresso em seu manual de instalação, o sistema do tipo *inverter*

opera com a mesma capacidade térmica, carga horaria e submetido as mesma Normas e condições de uso.

Com essas primeiras informações é possível iniciar as comparações a fim de quantificar uma possível diferença de consumo em termos energéticos e uma possível redução em termos de economia.

5.2 - Consumo

Tendo em vista um cenário já pré-definido e com a intenção de realizar o levantamento do consumo elétrico em Watts (W) de cada ar-condicionado mencionado sendo que sua unidade de potência é o BTU / h (unidade térmica britânica), sendo assim, necessário realizar a conversão da unidade de medida para a unidade de consumo podendo assim quantificar em reais o seu consumo em Kw/H conforme a distribuidora de energia utiliza para o cálculo a equação 5.

Usando a fórmula de consumo:

$$\frac{(BTU / h * 0,293)}{EER \text{ OU } COP} = \text{Potência elétrica em Watts} \quad [5]$$

Onde:

BTU/h = Unidade térmica britânica
EER = Índice de Eficiência de Energia
COP = Coeficiente de desempenho
0,293 = Constante da fórmula

5.3 - Plano de Manutenção

De acordo com a Lei Nº 13.589 2018 Art. 1º “Todos os edifícios de uso público e coletivo que possuem ambientes de ar interior climatizado artificialmente devem dispor de um Plano de Manutenção, Operação e Controle – PMOC dos respectivos sistemas de climatização, visando à eliminação ou minimização de riscos potenciais à saúde dos ocupantes.”. A resolução Nº9 da Anvisa complementa essa informação fornecendo periodicidade as atividades de higienização.

Figura 66 – Resolução 09 da ANVISA

Componente	Periodicidade
Tomada de ar externo	Limpeza mensal ou quando descartável até sua obliteração (máximo 3 meses)
Unidades filtrantes	Limpeza mensal ou quando descartável até sua obliteração (máximo 3 meses)
Bandeja de condensado	Mensal*
Serpentina de aquecimento	Desencrustação semestral e limpeza trimestral
Serpentina de resfriamento	Desencrustação semestral e limpeza trimestral
Umidificador	Desencrustação semestral e limpeza trimestral
Ventilador	Semestral
Plenum de mistura/casa de máquinas	Mensal

* - Excetuando na vigência de tratamento químico contínuo que passa a respeitar a periodicidade indicada pelo fabricante do produto utilizado.

Tendo em vista que, é necessário um plano de manutenção a fins legais e assumindo que um sistema de condicionamento de ar em funcionamento correto com manutenções em dia não sofre variação em seu consumo, é feito o acréscimo deste custo para fins de comparação.

5.4 - Tarifa de Energia Elétrica

A tarifa elétrica é o valor que os consumidores pagam pelo consumo de energia elétrica em suas residências, empresas ou instituições. Ela é estabelecida pelas concessionárias de energia elétrica e regulada por agências governamentais responsáveis pelo setor elétrico. (BIEGER, 2000)

Essa tarifa representa o custo total da energia elétrica fornecida, incluindo os gastos com geração, transmissão, distribuição e comercialização. Ela é calculada com base no consumo registrado pelo medidor de energia instalado no local e é expressa em reais por quilowatt-hora (R\$/kWh).

A tarifa elétrica é composta por diversos elementos, como o custo da energia gerada, os custos de transmissão e distribuição, os encargos setoriais e os impostos. Esses componentes são determinados pelas características do sistema elétrico de cada região, pelas políticas governamentais e pelos contratos estabelecidos entre as concessionárias e os consumidores.

É importante ressaltar que a tarifa elétrica pode variar ao longo do tempo devido a diferentes fatores, como variações na demanda de energia, alterações nas tarifas de uso do sistema elétrico e a aplicação de bandeiras tarifárias, que indicam a situação de oferta e demanda de energia e podem resultar em um acréscimo ou redução no valor da tarifa.

Figura 77 – Exemplo de Fatura da Enel

Dados da Conta		TOTAL A PAGAR (R\$)	
VENCIMENTO	11 NOV 2022	138,09	
CONTA REFERENTE A NOV 2022			

Dados de Medição	
Nº do medidor	
Leitura anterior	05 OUT 47.842
Leitura atual	04 NOV 48.010
Próxima leitura	05 DEZ
Fator multiplicador	1,00000
Consumo do mês (kWh)	168,0
Número de dias	30

Histórico de Faturamento	
Mês/Ano	kWh Dias
nov/22	168 30
out/22	165 30
set/22	180 32
ago/22	152 29
jul/22	182 33
jun/22	163 30
mai/22	140 29
abr/22	151 32
mar/22	142 29
fev/22	177 29
jan/22	165 30
dez/21	193 32
nov/21	170 30

Descrição de Faturamento		Bandeira(s) Tarifária(s) aplicada(s) no mês VERDE	
CCI	DESCRIÇÃO	QTD kWh	TARIFA C/ICMS
0605	USO SIST. DISTR. (TUSD)	168,000	0,45006
0601	ENERGIA (TE)	168,000	0,29595
0699	PIS/PASEP (0,89%)		
0699	COFINS (4,07%)		
0807	COSIP - SÃO PAULO - MUNICIPAL		

Fonte: Enel (2022)

5.5 - Desenvolvimento

Com base nos dados dos fabricantes de cada modelo de produto e através das aplicações das equações acima citadas, foi possível chegar aos resultados de cada ar-condicionado e comparar os resultados obtidos de cada um e analisar sua economia.

Na Tabela 1 temos a análise dos catálogos dos fabricantes para levantar os dados necessários para comparar as diferenças de cada modelo e sua aplicação. Os dados necessários são os de capacidade do ar-condicionado fornecido em BTU/h, eficiência energética, e a potência elétrica consumida em watts (W).

Tabela 1 – Dados fabricante Carrier

Cassete Carrier - Convencional	
Tipo	Ar condicionado sem inverter
Fabricante	Carrier
Capacidade BTU/h	36000
Código	CT36FRCAV2SFIOE
Ciclo	Frio
Tecnologia	Convencional
Alimentação	220V
Fase	Monofásico
Gás refrigerante	R-410A
Eficiência energética	Classificação B
Consumo (W)	3.480

Fonte: Catálogo Carrier Adaptado, (2023)

Com base nos dados da tabela iremos utilizar a potência indicada de 3480W para os cálculos de consumo de potência e o consumo de Kw/h, para sabermos o real gasto gerado pelo ar-condicionado convencional. Com isso e preciso levantar os dados do sistema *inverter* para obtermos os mesmos dados e comparar seus valores.

A Tabela 2 conta com os dados fornecidos pelo fabricante Carrier, sendo um equipamento de mesma capacidade térmica, mas equipado com a tecnologia *inverter*.

Tabela 2 – Dados fabricante Carrier

Cassete Carrier - Inverter	
Tipo	Ar condicionado com inverter
Fabricante	Carrier
Capacidade BTU/h	36000
Marca	CT36CRCAINVNN
Ciclo	Frio
Tecnologia	Inverter
Alimentação	220V
Fase	Monofásico
Gás refrigerante	R-410A
Eficiência energética	Classificação A
Consumo (W)	3160
Potência elétrica em modo de espera (W)	0,41

Fonte: Catálogo Carrier Adaptado, (2023)

Com todos os dados já obtidos já é possível perceber que existe uma redução no consumo de cada ar-condicionado, tendo visto que sua diferença além do fabricante é a sua tecnologia agregada. Através dessas informações dos fabricantes que é possível comparar as reais diferenças e chegar nos valores de consumos e nos valores em reais gasto por cada sistema.

5.6 - Analisando os dados de cada tecnologia

Podemos visto para o ar condicionado com tecnologia convencional é consumido uma potência de 3480W, e para o sistema que tem a tecnologia *inverter* temos uma potência de 3160W, com isso pode-se perceber uma redução no consumo. Na tabela 3 temos o cálculo das diferenças.

Tabela 3 – Cálculo da diferença entre as potências

Cálculo de redução de potência			
Fabricante	Potência (W)	Redução	%
Cassete Carrier - Convencional	3480	320	-
Cassete Carrier - Inverter	3160		9%

Fonte: Autoria própria, (2023)

Nota-se que somente analisando o consumo foi possível notar uma redução de 320W, que representa 9% de redução no consumo de cada máquina.

O presente estudo propõe como exemplo de aplicação o edifício do Fórum João Mendes, localizado na praça da Sé na região central da cidade de São Paulo. As Figuras 18 e 19 abaixo ilustram o edifício do Fórum que é utilizado neste estudo.

O fórum João Mendes possui 25 andares e inúmeras salas que servem como varas judiciais e cartórios dos mais diversos tipos. O seu tamanho faz com que seja um excelente objeto de estudo acerca da viabilidade da modernização ou não de sistemas deste tipo.

Estima-se que dado o seu tamanho, o prédio possua em torno de 20 máquinas por andar. Considerando que o edifício possui 25 andares, estima-se que em toda a construção existam aproximadamente 500 máquinas em funcionamento.

Figura 88 – Edifício Do Fórum central João Mendes



Fonte: Antônio Antunes

Figura 19 – Detalhe das Janelas do Edifício do Fórum João Mendes



Fonte: Antônio Antunes

Por se tratar de um edifício público, a contratação e compra de equipamentos é feita via de regra por meio de licitação, o que presume a busca do equipamento mais barato à disposição, e não do mais eficiente energeticamente. A Figura 20 abaixo ilustra uma sala típica dentro do fórum, com um ar condicionado do tipo janela (ACJ) instalado dentro da sala.

Nota-se que tal sistema não parece ser o mais eficiente, nem aparenta ser esteticamente adequado. Trata-se de uma solução mais barata e acessível, que muitas vezes o poder público tem de adquirir por questões de licitação, mas que certamente não é eficiente do ponto de vista energético.

Esta é, certamente, uma das falhas do processo licitatório. Se por um lado busca-se a maior economia aos cofres públicos por meio da aquisição de equipamentos mais baratos, por outro esta economia é apenas aparente, pois existem muitos outros equipamentos mais eficientes do ponto de vista energético, e que não representam em um primeiro momento alguma economia. Esta economia, no entanto, virá com o tempo e será maior do que era em relação ao equipamento mais barato.

Figura 20 – Detalhe do Ar Condicionado do Edifício do Fórum João Mendes



Fonte: Antônio Antunes

Conforme nosso exemplo de aplicação, o fórum João Mendes, supondo que o prédio possui 25 andares e aproximadamente 20 máquinas por andar instalada sem a tecnologia *inverter* teremos 500 máquinas instaladas nesse ambiente e com isso um valor muito alto de potência instalada que será sumarizada na tabela 4 a seguir.

Tabela 4 – Cálculo da potência total sem *inverter*

Potência total sem inverter	
Andares	25
Máquina por andar	20
Total de máquinas	500
Potência 1 máquina (W)	3480
Potência Total (W)	1740000
Potência Total (KW)	1740

Potência
1740Kw

Fonte: Autoria própria, (2023)

Agora vamos analisar o mesmo ambiente, considerando as mesmas 500 máquinas, porém com a tecnologia *inverter* que tem um consumo de 3160 (W) por máquina, na Tabela 5 vamos apresentas os valores obtidos.

Tabela 5 – Cálculo da potência total com *inverter*

Potência total com inverter	
Andares	25
Máquina por andar	20
Total de máquinas	500
Potência 1 máquina (W)	3160
Potência Total (W)	1580000
Potência Total (KW)	1580



Potência
1580 Kw

Fonte: Autoria própria, (2023)

Agora podemos perceber a real diferença entre os modelos de ar condicionado, na tabela 6 vamos apresentar o quanto de economia de potência temos em relação a redução de potência conforme tabela 3 que é de 320W, aplicando para as 500 máquinas vamos obter os seguintes valores.

Tabela 6 – Cálculo da potência total redução

Potência total REDUÇÃO	
Andares	25
Máquina por andar	20
Total de máquinas	500
Potência redução (W)	320
Potência Total (W)	160000
Potência Total (KW)	160



Potência
160 Kw

Fonte: Autoria própria, (2023)

5.7 - Calculando em reais o custo de cada tecnologia.

Para calcular o custo em real de quanto vai gastar o sistema de ar-condicionado deve-se sempre levar em consideração a etiqueta de dados que consta em cada máquina de cada fabricante. Na etiqueta consta as informações de potência elétrica, consumo do KWh/mês para chegar no valor em real devemos considerar o KWh/mês apresentado em catálogos.

5.7.1 – Consumo e gasto do equipamento convencional.

Conforme Tabela 1 temos um consumo de 3480W para o consumo total do ar-condicionado. Com base nos dados do ar condicionado convencional, vamos calcular o gasto mensal em real e com base no valor do KWh da Enel. Na tabela 7 mostra os cálculos aplicados para o gasto mensal. O equipamento conta com 9 horas de funcionamento e foi adotado um funcionamento do compressor de 50% do tempo de operação ou seja 4,5 horas de funcionamento do compressor, vamos adotar a potência máxima de 3480W e 22 dias.

Tabela 7 – Cálculo custo real mensal sistema convencional

E = (H*D)*(Kwh/mês*Tarifa Kwh)		
Onde:		
Kwh/mês = Consumo/30 dias/hora		
*Tarifa = Valor do Kw/h		
D= (Dias de utilização		
H = Quantidade horas/uso		
30 = Total de dias no mês		
Cálculo em reais (R\$) - Convencional		
Capacidade BTU/h		36000
Kwh		3,48
Horas utilizadas		9
Horas on		4,5
Horas off		4,5
Dias de utilização		22
Dias no mês		30
Valor Kwh		0,45
Quantidade de máquinas		500
Custo total consumo (R\$) 1 máquina	R\$	155,03
Custo total consumo (R\$) 500 Máquinas/Mês	R\$	77.517,00

Fonte: Autoria própria, (2023)

Com base nos cálculos temos um valor de custo real por mês de **R\$ 77.517,00**.

5.7.2 – Consumo e gasto do equipamento *inverter*

Conforme Tabela 1 temos um consumo de 3160W para o ar condicionado *inverter* e 0,41W para o modo de espera, com isso será adotado 2 horas de pleno funcionamento e 7 em modo espera, com isso vamos calcular o gasto mensal em real e com base no valor do KWh da Enel. Na Tabela 8 mostra os cálculos aplicados para o gasto mensal.

Tabela 8 – Cálculo custo real mensal sistema *inverter*

E = (H*D)*(Kwh/mês*Tarifa Kwh)		
Onde:		
Kwh/mês = Consumo/30 dias/hora		
*Tarifa = Valor do Kw/h		
D= (Dias de utilização		
H = Quantidade horas/uso		
30 = Total de dias no mês		
Cálculo mensal (R\$) - Inverter		
Capacidade BTU/h		36000
Kwh		3,16
Horas		2
Kwh em modo de espera		0,041
Horas em modo de espera		7
Dias de utilização		22
Dias no mês		30
Valor Kwh		0,45
Quantidade de máquinas		500
Custo total consumo (R\$) 1 máquina	R\$	62,57
Custo total consumo (R\$) 1 máquina em modo de espera	R\$	2,84
Total consumo (R\$)	R\$	65,41
Custo total consumo (R\$) 500 Máquinas/Mês	R\$	32.704,65

Fonte: Autoria própria, (2023)

Com base nos cálculos temos um valor de custo real por mês de **R\$ 32.704,65** para o sistema com *inverter*, ou seja, uma redução de **58% ao mês** de economia de energia e em dinheiro comparado ao sistema convencional.

Então é possível perceber que a redução sempre vai estar vinculado nas características técnicas de cada equipamento, ou seja, quanto menor for o valor do gasto do KWh das máquinas *inverter* em relação as máquinas convencionais, maior será a redução de consumo e maior será o valor da economia.

6. Resultados

Após os levantamentos dos consumos de cada sistema de ar-condicionado e de seus custos mensais e anuais, foi possível analisar os resultados de cada comparação e verificar as reais economias encontradas nos cálculos, e verificar a eficiência e os gastos de cada um.

Tabela 9 – Cálculo custo real mensal sistema

Consumo Anual (R\$)		
Consumo sistema convencional	R\$	77.517,00
Consumo sistema inverter	R\$	32.704,65
Diferença de custo	R\$	44.812,35
Consumo sistema convencional ANUAL	R\$	930.204,00
Consumo sistema inverter ANUAL	R\$	392.455,80
Diferença de custo ANUAL	R\$	537.748,20
Representatividade (%)		-58%

Fonte: Autoria própria, (2023)

Comparando os valores de custo em real das máquinas e verificando seu gasto mensal do Kwh podemos chegar em um valor de retorno (*payback*) com base nos valores apresentado na tabela 10, mostra os cálculos desse retorno.

Tabela 10 – Custo equipamentos e *payback*

Custo Equipamento							
Modelo	Fabricante	Capacidade BTU/h	Tecnologia	Custo Unitário (R\$)	Qdt máquina	Custo x Máquina	
Cassete Carrier - On / Off	Carrier	36000	Convencional	R\$ 10.827,03	500	R\$	5.413.515,00
Cassete Carrier - Inverter	Carrier	36000	Inverter	R\$ 13.001,15	500	R\$	6.500.575,00
Diferença						R\$	1.087.060,00
Custo total consumo (R\$) 500 Máquinas/Mês						R\$	77.517,00
Custo total consumo (R\$) 500 Máquinas/Mês						R\$	32.704,65
Diferença (mês)						R\$	44.812,35
Paybak (Anos)							2,02
Representatividade (%)							20%
Economia anual após Payback							R\$ 537.748,20

Fonte: Autoria própria, (2023)

Conforme os valores de custo de cada equipamento conforme as Figuras 21 e 22 compreende chegar em um investimento de 20% para os sistemas *inverter*, com isso fazendo o custo dessa diferença em relação ao custo da diferença dos meses de cada equipamento, conclui um retorno de 2,02 anos para os equipamentos serem pagos com o valor de redução de consumo de energia.

Figura 21 – Equipamento On/Off

Ar Condicionado Cassete Carrier Miraggio Frio 220V C/ Gás Ecológico **36.000 BTU/h**

Cód: CT36FRCV25FIOE Marca: Carrier

★★★★★ Avalie agora!

De: R\$ 12.737,68

Por: R\$ 10.827,03

ou em até 10x de R\$ 1.082,70 sem juros

À vista: **R\$ 10.177,40** (Desconto 6% no PIX)

Opções de parcelamento >

COMPRAR

Para ambientes de até 60m³

Classificação energética: Classificação B

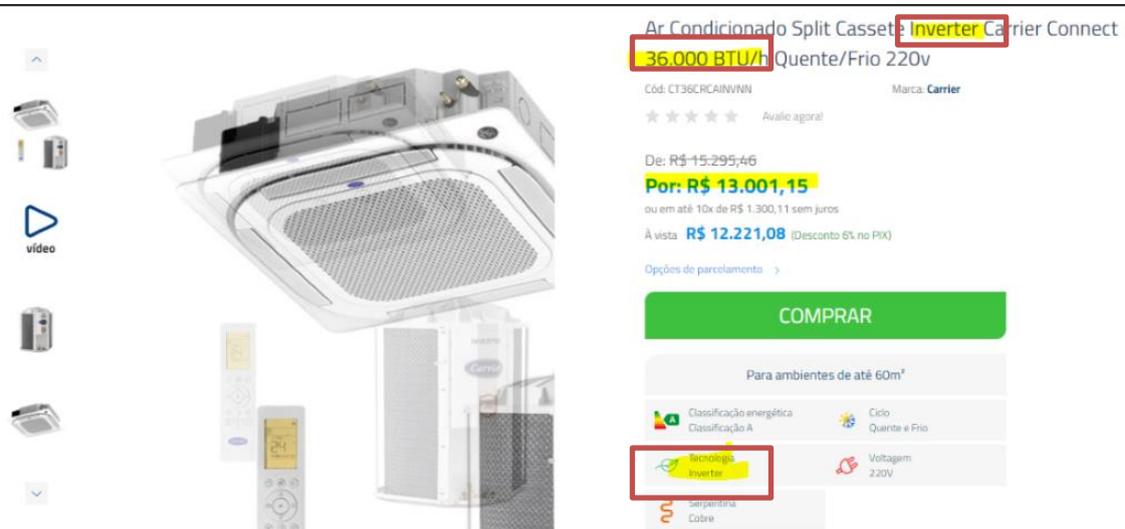
Ciclo: Frio

Tecnologia Convencional

Gás: R-410A

Voltagem: 220V

Figura 22- Equipamento *Inverter*



7. Discussão

7.1 Questionamentos

Ao considerar o acréscimo de 1.087.060,00 para a instalação de equipamentos de ar-condicionado do tipo *inverter* em um prédio de 500 equipamentos, é importante questionar a viabilidade desse investimento. Existem vários pontos a serem considerados antes de concluir se o valor é justificável.

Primeiramente, é crucial analisar o custo total do projeto em relação ao tamanho do prédio e às necessidades de resfriamento. Um investimento de mais de um milhão de reais é substancial, e é preciso avaliar se esse custo é proporcional e adequado ao tamanho do prédio. Talvez seja necessário buscar alternativas mais econômicas que atendam às demandas de refrigeração do local.

Outro fator relevante é a eficiência energética dos equipamentos de ar-condicionado do tipo *inverter*. Embora esses modelos sejam conhecidos por sua maior eficiência em comparação com os sistemas convencionais, é necessário analisar se a economia de energia gerada justifica o custo adicional. É recomendável realizar uma análise detalhada do consumo de energia atual do prédio e compará-lo com as projeções de economia proporcionadas pelos equipamentos *inverter*.

Além disso, é importante considerar o tempo de retorno do investimento, representado pelo *payback* de 2 anos. Embora seja um período relativamente curto, é necessário avaliar se esse prazo é realista para recuperar o alto valor investido. Deve-se levar em conta fatores como a vida útil dos equipamentos, as flutuações nos preços da energia elétrica e a possibilidade de atualizações tecnológicas no futuro.

Portanto, antes de considerar o acréscimo de 1.087.060,00 para a instalação de equipamentos de ar-condicionado do tipo *inverter* em um prédio de 500 equipamentos como viável, é fundamental realizar uma análise aprofundada dos aspectos mencionados. Dessa forma, será possível determinar se o investimento trará benefícios financeiros e energéticos significativos para justificar o alto valor envolvido.

8. Conclusão

A redução de 58% no consumo de energia proporcionada pelos sistemas de ar-condicionado *inverter* em comparação com os sistemas convencionais é um argumento sólido que valida a utilização desses equipamentos. Essa economia significativa de energia traz diversos benefícios e reforça a confiabilidade das informações fornecidas pelos fabricantes sobre a economia mínima de 30%.

A eficiência energética dos sistemas de ar-condicionado *inverter* é amplamente comprovada. Esses sistemas são projetados com tecnologia avançada que permite ajustar a capacidade de refrigeração de forma precisa e contínua, de acordo com as necessidades do ambiente. Isso evita o desperdício de energia que ocorre nos sistemas convencionais, que funcionam apenas em regime de ligado e desligado. A capacidade de operar em níveis mais baixos de energia quando a demanda é menor resulta em uma economia substancial ao longo do tempo.

A economia de energia proporcionada pelos sistemas *inverter* não é apenas uma estimativa teórica, mas sim um resultado prático e mensurável. O estudo comparativos entre os sistemas *inverter* e convencionais têm demonstrado consistentemente uma redução de 58% ou superiores no consumo de energia. Esses resultados validam as informações fornecidas pelos fabricantes e demonstram que a economia mínima de 30% é facilmente superada.

Além da redução nos custos de energia, a utilização de sistemas de ar-condicionado *inverter* também traz benefícios ambientais significativos. A redução no consumo de energia resulta em menor emissão de gases de efeito estufa, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas e a preservação do meio ambiente.

Portanto, com base na economia real de 58% no consumo de energia e na validação dos fabricantes, é seguro afirmar que a utilização de sistemas de ar-condicionado *inverter* é uma escolha vantajosa e confiável. Esses sistemas não só proporcionam economia de energia substancial, mas também contribuem para a sustentabilidade ambiental, tornando-os uma opção favorável em qualquer situação de comparação com os sistemas convencionais.

A instalação de equipamentos de ar-condicionado do tipo *inverter* pode ser uma opção favorável, mesmo considerando o acréscimo de 1.087.060,00. Existem argumentos sólidos que justificam essa aplicação.

Um dos principais benefícios dos equipamentos de ar-condicionado *inverter* é a eficiência energética. Esses sistemas são projetados para ajustar automaticamente a capacidade de refrigeração de acordo com as necessidades reais do ambiente. Isso significa que eles operam de forma mais eficiente, reduzindo o consumo de energia e, conseqüentemente, os custos de eletricidade. No longo prazo, essa eficiência energética pode resultar em economia significativa, ajudando a compensar o investimento inicial.

Além disso, a instalação de equipamentos de ar-condicionado *inverter* pode melhorar o conforto térmico dos ocupantes do prédio. Esses sistemas são capazes de fornecer um resfriamento uniforme e constante, evitando flutuações de temperatura e criando um ambiente agradável em todas as áreas do edifício. Isso pode resultar em maior produtividade e satisfação dos ocupantes, especialmente em ambientes de trabalho ou em locais onde o conforto é essencial, como hospitais ou hotéis.

Outro ponto a ser considerado é a durabilidade e vida útil dos equipamentos *inverter*. Geralmente, esses sistemas são construídos com componentes de alta qualidade e tecnologia avançada. Isso significa que eles tendem a ter uma vida útil mais longa em comparação com sistemas de ar-condicionado convencionais. Portanto, o investimento inicial pode ser considerado como um investimento a longo prazo, onde os benefícios continuam sendo desfrutados por muitos anos.

Além disso, ao optar pela instalação de equipamentos de ar-condicionado *inverter*, o prédio pode se tornar mais atraente para os potenciais usuários ou locatários. A conscientização ambiental e a preferência por edifícios sustentáveis estão se tornando cada vez mais importantes. Ao demonstrar um compromisso com a eficiência energética, o prédio pode se destacar no mercado e atrair empresas ou indivíduos que valorizam a sustentabilidade.

Portanto, embora o acréscimo de 1.087.060,00 seja significativo, a instalação de equipamentos de ar-condicionado *inverter* em um prédio de 50 equipamentos pode ser favorável devido à eficiência energética, ao conforto térmico, à durabilidade dos equipamentos e ao potencial de valorização do imóvel.

Assim sendo, conclui-se que a modernização dos equipamentos é viável financeiramente, além de oferecer uma solução mais sustentável do ponto de vista energético. No entanto, é importante realizar uma análise detalhada dos custos e benefícios específicos do projeto antes de tomar uma decisão final.

Referências Bibliográficas

ALFREDO, José Carlos. **Análise crítica da norma brasileira ABNT NBR 16401-1 (Instalações de Ar Condicionado – Sistemas Centrais e Unitários - Parte 1 - Projeto das Instalações), 16401-2 (Parâmetros de Conforto Térmico) e 16401-3 (Qualidade do Ar Interior)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. 108 f. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-8S7HZZ/disserta_o_31_out_2011_pdf_jos_carlos__revisada__vers_o_para__impresso.pdf?sequence=1>. Acesso em: 8 mar. 2013.

Assaf Neto, A. **Finanças Corporativas e Valor**. Atlas. (2017).

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION AND AIRCONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE psychrometric chart N°1. Georgia: ASHRAE, 1992.

ANVISA. **Resolução N°09**. São Paulo, 2003. Disponível em: http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RE_09_2003_.pdf/8ccafc91-1437-4695-8e3a-2a97deca4e10

BEN. **Balanco energético nacional** Relatório Síntese 2021, Ano base 2020

BIEGER, M.. **Decisão de investimentos: critérios de avaliação e a consideração de aspectos estratégicos nas empresas industriais de médio e grande porte da região noroeste-RS**. 2000. Dissertação de Mestrado. PPGA/UFRGS. Porto Alegre, 2000.

BITZER. **Compressores alternativos semi-herméticos**. São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.friotech.com.br/pdf/ecoline03.pdf>

CARLO, Joyce Correna. **Diferenças na simulação do consumo de energia elétrica em edificações decorrentes do uso de arquivos climáticos de sítios e anos distintos**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002

COPELAND. **Compressores**. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://climate.emerson.com/pt-br/products/heating-and-air-conditioning/residential-scroll-compressors>

CERE. **Refrigeração Fabricante Condensador**. São Paulo, 2010. Disponível em: <https://www.cere.com.br/condensador-refrigeracao>

CREDER, HÉLIO. **Instalações de ar condicionado**. 5ª Edição, Rio de Janeiro, 1996.

ELGIN. **Evaporador de Ar Forçado**. São Paulo. Editora Elgin, 2009. Disponível em: https://capitalrefrig.com.br/custom/316/uploads/product/file_5b3e20da25b96.pdf

ENGENHARIA E ARQUITETURA São Paulo. Disponível em:
[.https://www.engenhariaearquitetura.com.br/2017/12/tecnologia-de-velocidade-variavel#:~:text=%E2%80%9CUm%20compressor%20de%20velocidade%20vari%C3%A1vel,tempo%20de%20opera%C3%A7%C3%A3o%20do%20equipamento.](https://www.engenhariaearquitetura.com.br/2017/12/tecnologia-de-velocidade-variavel#:~:text=%E2%80%9CUm%20compressor%20de%20velocidade%20vari%C3%A1vel,tempo%20de%20opera%C3%A7%C3%A3o%20do%20equipamento.)

ENEL. **Simulador de Consumo**. São Paulo, 2022. Disponível em:
<https://enel-sp.simuladordeconsumo.com.br/ambiente/escritorio/>
Gitman, L. J., & Joia, L. A. **Princípios de Administração Financeira**. Pearson. (2012).

IKEMATSU, Paula. **Estudo da refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Construção Civil e urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em:
<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-26122008105228/publico/Dissertacaolkematsu2007.PDF>. Acesso em: 20 mai. 2022.

INATOMI, Thais Aya Hassan. **Análise da eficiência energética do sistema de condicionamento de ar com distribuição pelo piso em ambiente de escritório, na cidade de São Paulo, utilizando o modelo computacional Energyplus**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. 87 f. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-07102008-110310/publico/INATOMI_TAH_MESTRADO_2008_REV2.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2013.

Jesué Graciliano da Silva, **Introdução à tecnologia da refrigeração e da climatização**

KIMOTOR. **Plaqueta do motor**. São Paulo, 2022. Disponível em:
<https://blog.kimotor.com.br/leitura-da-placa-do-motor/#:~:text=Todo%20motor%20el%C3%A9trico%20vem%20com,de%20opera%C3%A7%C3%A3o%20C%20rota%C3%A7%C3%A3o%20e%20outros.>

LG. **Ar-condicionado**. São Paulo, 2022. Disponível em:
<https://www.lg.com/br/ar-condicionado-residencial/lg-US-Q122HSG3>

MARÉ, Renata Maria. **Estudo de eficiência da ventilação em sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. 205 f. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-18082010-170422/publico/Diss_RenataMariaMare_Rev.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2013.

MILLER, Rex; MILLER, Mark. **Ar condicionado e refrigeração**. 2. ed. Barueri: LTC, 2014. p. 106-122

Matakas, L.M.J; Komatsu, W. **Apostila de inversores, Eletrônica de Potência 2**. São Paulo. 2011

Matakas, L.M.J; Komatsu, W. **Aplicação de inversores**. São Paulo. 2013

Matakas, L.M.J; Komatsu, W. **Inversores: funcionamento e sua aplicação em sistemas de geração e de armazenamento de energia**. São Paulo. 2016

PLANALTO. **Lei Nº13.589**. Brasília 2013 Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13589.htm

PROCELINFO São Paulo, 2023 Disponível em:
<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7D>

ROCHA, Rafael; DE ALMEIDA, Rafael. **Desenvolvimento de ferramenta computacional em visual basic para estimar de carga térmica segunda a NBR 16401**. 2010. Trabalho de Conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, jun. 2010. Disponível em:
https://mecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/20101_raf_ael_campos_e_rafael_de_almeida.pdf. Acesso em: 07 mai. 2022.

SILVA, José de Castro; SILVA, Ana Cristina G. Castro. **Refrigeração e climatização para técnicos e engenheiros**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2007.

SOUZA, Mary Katherine Araujo de. **Uma contribuição à análise das decisões de investimento privado sob a ótica do ponto de equilíbrio do investimento – PEI – considerando o valor do dinheiro no tempo**. – (Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco) Recife: 2006

Web ar-condicionado. Ar-Condicionado Inverter para ambientes coletivos é vantajoso? São Paulo, 2023 Disponível em:
<https://www.webarcondicionado.com.br/ar-condicionado-inverter-para-ambientes-coletivos-e-vantajoso>

WEG. Inversores de frequência. São Paulo, 2022 Disponível em:
<https://www.rrmotores.com.br/post/para-que-serve-o-inversor-de-frequencia-weg>

WIRZ, Dick. **Refrigeração Comercial**. 2ª edição. São Paulo. Editora Cengage, 2011

CRONOGRAMA

Etapas do TCC	CRONOGRAMA - Ano 2023																			
	Meses - Semanas																			
	Fevereiro				Março				Abril				Maio				Junho			
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a
Escolha do tema	X																			
Justificativa		X																		
Objetivos		X																		
Fundamentação teórica					X															
Metodologia, pesquisa e dados.						X	X													
Encontros com o orientador		X			X				X				X							
Revisão Bibliográfica																				
Criação dos instrumentos para a coleta de dados					X	X	X	X	X	X	X	X								
Coleta e análise dos dados.													X							
Discussão dos resultados																X	X			
Elaboração das Considerações Finais																X				
Redação final do TCC																	X			
Encaminhamento à correção linguística																	X			
Entrega do TCC																				
Apresentação à Banca Examinadora																	X			
Correções indicadas pela Banca Examinadora																				X
Entrega final do TCC (encadernado e CD)																				X