



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO

PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

CURSO BACHELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Roberto Carlos Bandeira Costa Junior

**Análise da Performance e Otimização do Sistema de Climatização no Bloco de Aulas II
da UFERSA, Campus Caraúbas: Um Estudo de Caso.**

Caraúbas

2024

Roberto Carlos Bandeira Costa Junior

Título: Análise da Performance e Otimização do Sistema de Climatização no Bloco de AulasII da UFERSA, Campus Caraúbas: Um Estudo de Caso.

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciências e Tecnologia.

Orientador: Daniel Carlos de Carvalho Crisóstomo, Prof. Me.

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C837a Costa Junior, Roberto Carlos Bandeira .
Análise da performance e otimização do sistema
de climatização no bloco de aulas II da ufersa,
campus caraúbas: um estudo de caso / Roberto
Carlos Bandeira Costa Junior. - 2024.
39 f. : il.

Orientador: Daniel Carlos de Carvalho
Crisóstomo.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2024.

1. Ar-condicionado. 2. Eficiência Energética.
3. Redução de custos. I. Crisóstomo, Daniel Carlos
de Carvalho, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

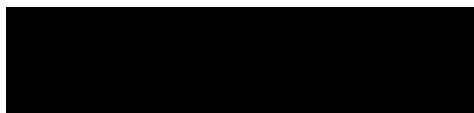
Roberto Carlos Bandeira Costa Junior

Título: Análise da Performance e Otimização do Sistema de Climatização no
Bloco de Aulas II da UFERSA, Campus Caraúbas: Um Estudo de Caso.

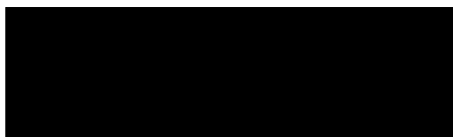
Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciências Tecnológicas.

Defendida em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA



Daniel Carlos de Carvalho Crisóstomo, Prof. Me. (UFERSA)
Presidente



Allyson Arilson Lima Filgueira, Me. (UFERSA)
Membro Examinador



Geovanna Paulina Dantas Maia, Esp.
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Roberto Carlos Bandeira Costa e Ana Patrícia Maia Moreira por todo amor e dedicação e por sempre terem sempre me apoiado em todas minhas decisões e por todo amor incondicional.

A minha namorada, Sara Raquel Ferreira de Lucena por sempre me apoiar e não me fazer desistir, por todo amor e paciência nos meus momentos mais difíceis e por sempre está comigo, segurando minha mão, apesar de todos os pesares.

A minha querida avó, Luísa Rita Maia (*in memoriam*) por todo amor a mim concedido, por ser meu maior exemplo de gentileza e bondade, por ter me ensinado o real significado do que é amar e ser amado, é pra ela que dedico com todo amor o meu primeiro diploma.

Ao meu professor Daniel Carlos De Carvalho Crisóstomo e coorientadora Geovanna Paulina Dantas Maia por toda paciência, ensinamentos e a disponibilidade para construir um melhor trabalho.

Agradeço a todos aqueles que contribuíram de alguma forma com a minha formação até este momento. À Sandson Líbino Araujo Torres e a Ray Pereira Feitosa Leal por terem sido meus irmãos em toda essa caminhada e por terem me ajudado em momentos difíceis.

Agradeço a Engrenagem Júnior por ter me proporcionado grandes experiências que foram essenciais para meu crescimento acadêmico e pessoal.

“O homem não teria alcançado o possível se, repetidas vezes, não tivesse tentado o impossível.”

Max Weber

“Fortis Fortuna Adiuvat.”

Virgílio

RESUMO

Este trabalho apresenta a temática da análise da performance dos equipamentos de ar-condicionado, com ênfase na otimização dos sistemas instalados no bloco 2 da UFERSA, Campus Caraúbas. Os objetivos incluem a identificação de alternativas para melhorar a eficiência energética dos sistemas existentes, bem como a redução dos custos operacionais. A relevância do estudo se justifica pela crescente demanda por soluções sustentáveis, pela necessidade de redução de despesas e o aprimoramento do conforto ambiental no campus. metodologicamente, a pesquisa foi realizada através de uma investigação bibliográfica que abordou o funcionamento dos compressores e suas novas tecnologias, seguida da medição do consumo dos equipamentos locais. Os resultados revelam que, com base nos valores obtidos, a substituição dos equipamentos antigos por modelos mais eficientes poderia gerar uma economia significativa nos custos de energia, além de contribuir para a sustentabilidade do campus.

Palavras-chave: Ar-condicionado, Eficiência energética, Redução de custos

ABSTRACT

This paper presents the topic of analyzing the performance of air conditioning equipment, focusing on optimizing the systems in Block 2 of the Caraúbas campus. The objectives include identifying alternatives to improve the energy efficiency of existing systems and reducing operational costs. The importance of this study is justified by several reasons, such as the increasing demand for sustainable solutions, the need to cut expenses, and the enhancement of environmental comfort on campus. Methodologically, the research was conducted through a bibliographic investigation that addressed the functioning of compressors and their new technologies, followed by the measurement of local equipment consumption. The results reveal that, based on the values obtained, replacing the old equipment with more efficient models could generate significant energy cost savings while contributing to the sustainability of the campus.

Keywords: Air-conditioning, Energy efficiency, Cost reduction

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo de Refrigeração	16
Figura 2: Compressor Parafuso	17
Figura 3: Compressor Scroll	18
Figura 4: Compressor por palhetas	19
Figura 5: Compressor de um ar-condicionado tradicional.....	20
Figura 6: Compressor de um ar-condicionado <i>Inverter</i>	21
Figura 7: Alicate wattímetro digital minipa	27
Figura 8: Exemplo de horário registrado de cada sala presente no campus.....	29
Figura 9: Novo modelo escolhido de ar-condicionado	30
Figura 10: Ficha técnica do novo modelo de ar-condicionado	31
Figura 11: Novo modelo piso teto escolhido	32
Figura 12: especificações técnicas do novo modelo piso teto.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 : Valores de kW na UFERSA, campus Caraúbas	27
Tabela 2: Consumo de cada equipamento presente no bloco 2.....	27
Tabela 3 : Tempo que os equipamentos ficam ligados por semana no bloco 2	29
Tabela 4: Gasto de cada equipamento por semana	29
Tabela 5: Novos equipamentos escolhidos para substituição.....	33
Tabela 6: Gasto de energia dos novos equipamentos escolhidos	33
Tabela 7: Gasto por semana com antigos equipamentos.....	34
Tabela 8: Gasto por semana com novos equipamentos	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Bel	Bacharel
Dr	Doutor
Esp	Especialista
GE	Gestão do Conhecimento
GI	Gestão da Informação
IES	Intituição de Ensino Superior
Me	Mestre
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PG&C	Perspectivas em Gestão & Conhecimento
SBGC	Sociedade Brasileira de Gestão do Conhecimento
UI	Unidade de Informação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA.....	14
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 ORIGEM DA CLIMATIZAÇÃO	15
2.2 CICLO DA REFRIGERAÇÃO	16
2.3 COMPRESSOR	17
2.3.1 Compressor parafuso.....	17
2.3.2 Compressor Scroll.....	18
2.3.3 Compressor Palheta.....	18
2.4 FLUIDOS REFRIGERANTES.....	19
2.5 TECNOLOGIA <i>INVERTER</i>	20
2.6 BANDEIRAS TARIFÁRIAS	21
3 MATERIAIS E METODOS.....	23
3.1. Levantamento e quantificação dos Ambientes.....	23
3.2. Coleta de Dados Técnicos dos Equipamentos de Climatização.....	23
3.3. Organização dos Dados em Tabela	24
3.4. Análise da Performance dos Sistemas	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
6 REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o aumento da demanda por conforto térmico em ambientes residenciais, comerciais e industriais tem impulsionado significativamente o uso de sistemas de ar-condicionado. No entanto, esse crescimento no consumo de energia para a climatização tem levantado preocupações quanto à sustentabilidade ambiental e à eficiência energética.

A busca por soluções que proporcionem conforto térmico sem comprometer a eficiência energética tem se tornado uma prioridade global. Nesse contexto, os sistemas de ar-condicionado eficientes não apenas reduzem os custos operacionais para os usuários, mas também contribuem para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a preservação dos recursos naturais (Castelhano, 2020).

Edifícios dos setores público e comercial consomem uma grande quantidade de energia e, por esse motivo, apresentam um grande potencial de melhoria no desempenho. Esses setores são responsáveis por 8,2% e 15,7%, respectivamente, do consumo de energia elétrica no Brasil (Balanço Energético Nacional 2022).

Segundo Méier (2002), é necessário estabelecer critérios para que um edifício seja energeticamente eficiente. O edifício deve estar equipado com equipamentos eficientes e materiais adequados à sua localização e condições ambientais, além de fornecer comodidades e serviços apropriados para o uso pretendido. Além disso, deve ser operado de maneira a apresentar um consumo de energia inferior ao de outros edifícios semelhantes. Um edifício eficiente energeticamente deve estar acima da média nos três aspectos.

Considerando esse cenário, este trabalho propõe uma análise detalhada da eficiência energética nos sistemas de ar-condicionado presente no bloco de aulas II, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Caraúbas.

A proposta é abordar desde os princípios básicos de funcionamento até as mais recentes tecnologias e estratégias de otimização. Serão explorados os principais desafios e oportunidades associados à implementação de práticas sustentáveis na climatização de ambientes, com foco especial na redução do consumo de energia e na minimização do impacto ambiental.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com base no problema descrito, esta pesquisa se justifica pela necessidade de uma análise detalhada e quantitativa dos custos associados à manutenção e ao consumo de energia do sistema de climatização do bloco de aulas II, localizado na UFERSA, Campus Caraúbas. A relevância do estudo está no potencial de identificar medidas que aprimorem a eficiência energética, reduzindo os custos operacionais e promovendo soluções mais sustentáveis para o campus.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo principal avaliar os custos associados à manutenção e ao consumo de energia do sistema de climatização do bloco de aulas II, situado no Campus Caraúbas da UFERSA.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Fazer uma análise das máquinas do sistema de ar-condicionado
- Quantificar o uso dessas máquinas através dos horários presente em cada sala com a quantidade de aluno;
- Descrever esses cálculos de carga térmica de forma que possa ser utilizado para fazer uma relação com a eficiência energética de cada máquina;
- Avaliar, devido a idade das máquinas, os novos parâmetros de eficiência energética que o Inmetro utiliza, para atualizar os parâmetros de consumo de energia;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nessa seção, o referencial teórico servirá como guia para construir uma metodologia e a interpretação dos resultados obtidos. Será possível estabelecer pontos entre diversos autores e teorias, tornando o texto mais rico de informações e contribuindo para o avanço da área.

2.1 ORIGEM DA CLIMATIZAÇÃO

A busca pelo conforto térmico provavelmente é tão antiga quanto a raça humana. Sabemos que o fogo era usado pelo menos para aquecer 100.000 anos atrás e talvez muito mais tempo do que isso. E quando se trata sobre climatização, o derretimento do gelo ou da neve não deixa registros arqueológicos. Assim, o início da linha do tempo do conforto de resfriamento é enterrado na obscuridade. Por meio dos registros escritos é que podemos dar um início para a história da refrigeração. Uma vez que não existia refrigeração mecânica antes do século XIX, qualquer tentativa de arrefecer artificialmente o ar utilizava gelo, neve, água fria ou arrefecimento por evaporação (Nagengast, 1999).

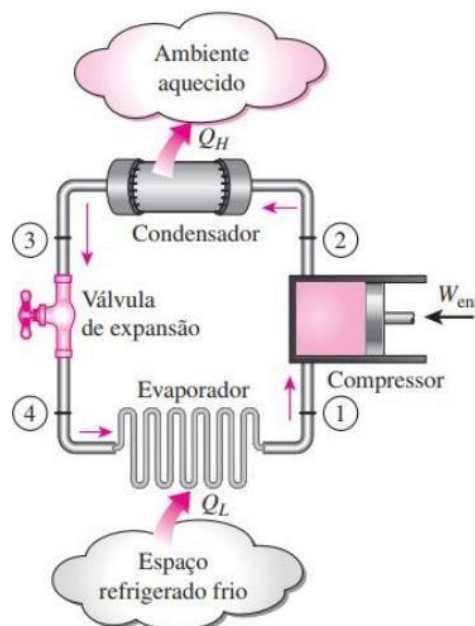
Em 1902, o engenheiro Willis Carrier teorizou que poderia remover a umidade do ar através de dutos artificialmente refrigerados, deste modo, o controle do clima finalmente foi colocado em prática na empresa de impressão, que tinha grandes problemas devido aos dias quentes em Nova York, fazendo com que as páginas dos jornais borrassem (Neves, 2018).

Os avanços tecnológicos acabaram por dar origem ao ar-condicionado de janela, mais conveniente, no final da década de 1930, embora continuasse fora do alcance da maioria. O público em geral, aqueles que não tinham acesso aos poucos hotéis e carros luxuosos que utilizavam sistemas de refrigeração desde o início, encontrou o ar-condicionado pela primeira vez nos cinemas, que começaram a utilizar amplamente a tecnologia na década de 1930. Antes do apogeu da unidade de janela, a Carrier produziu um sistema para cinemas. E os cinemas eram um dos raros locais onde todos podiam desfrutar de ar frio e artificial (Steinmetz, 2010).

2.2 CICLO DA REFRIGERAÇÃO

De acordo com Çengel (2009), o ciclo básico da refrigeração é composto por cinco itens que trabalham de forma unificada para transferir energia de um sistema para outro sistema, sendo esses: compressor, condensador, válvula de expansão, evaporador e o fluido refrigerante. Esse sistema pode ser observado na Figura 1.

Figura 1: Ciclo de Refrigeração



Fonte: Çengel (2009)

Segundo Braga Filho (2020), o gás entra no compressor como vapor saturado e é comprimido de forma isentrópica até a pressão do condensador. A temperatura do refrigerante aumenta até bem acima da temperatura de sua vizinhança. Já no condensador, o fluido refrigerante entra como vapor superaquecido no ponto 2 e sai líquido saturado no ponto 3 a uma pressão constante. Essa mudança de fase se dá devido à rejeição de calor com o ambiente externo. A temperatura do refrigerante ainda é mais alta que a temperatura de sua vizinhança.

Posteriormente, o fluido é transportado pela tubulação até chegar numa válvula de expansão ou tubocapilar, nesse processo a pressão cai para a mesma pressão do evaporador, com essa queda abrupta de pressão, sua temperatura também diminui, chegando a valores abaixo do espaço refrigerado (Borgnakke, 2018).

Por fim, já em baixas temperaturas, o fluido chega no evaporador, onde um ventilador força a troca de temperatura do ar condicionado no evaporador com o meio externo, fazendo assim com que o fluido refrigerante receba o calor do espaço a ser refrigerado, entrando com pouco título e evapora totalmente com a troca. Nesse momento, o gás entra no compressor como vapor saturado e começa todo o processo novamente (Maciel, 2022).

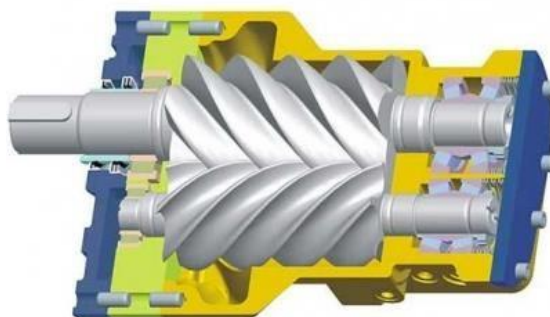
2.3 COMPRESSOR

Neste tópico será abordado sobre o principal equipamento para o funcionamento do ciclo: o compressor. Esse tipo de dispositivo tem diversas aplicações e tipos diferentes. O principal papel dele é aumentar a pressão e a temperatura para garantir que o fluido entre no condensador a vapor superaquecido. De acordo com Elgin (2022), os compressores mais utilizados no meio comercial são do tipo alternativo (pistão) e *scroll* (do tipo parafuso ou espiral).

2.3.1 Compressor parafuso

No compressor parafuso, o processo de compressão é realizado por dois rotores no formato de parafusos sem fim, sendo um macho e uma fêmea. Estes rotores são dimensionados de modo que um se encaixe perfeitamente no outro. O fluido é conduzido pelas roscas ao longo do eixo rotor, o que aumenta sua pressão. A descarga ocorre quando o fluido chega ao final do percurso dos parafusos como mostra a figura 2.

Figura 2: Compressor Parafuso



Fonte: SCHULZ, 2019.

2.3.2 Compressor *Scroll*

Os compressores *scroll* têm a mesma função do alternativo, porém seu modo de funcionamento é diferente pelo fato dos componentes internos serem diferentes em modo e de operação. Um compressor *scroll* se baseia em realizar trabalho em função do movimento centrífugo de espirais em forma de caracol ou em fusos em forma de parafuso sem fim.

O processo de compressão de um compressor scroll é realizado por duas espirais, sendo uma fixa e uma móvel. A rotação da espiral móvel faz com que o fluido seja induzido para o centro das espiras, de modo que o seu volume seja progressivamente reduzido, aumentando sua pressão. A descarga do fluido comprimido ocorre quando o mesmo atinge o centro das espiras (Elgin, 2022) conforme mostra a figura 3.

Figura 3: Compressor *Scroll*

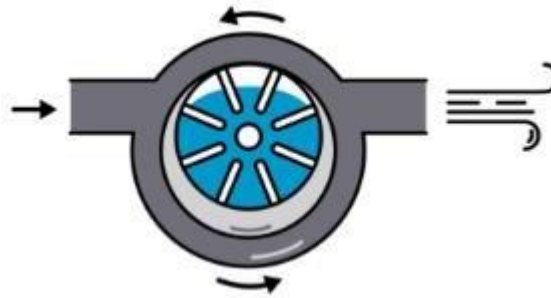


Fonte: PEÇAS, 2024

2.3.3 Compressor Palheta

Um rotor com palhetas radiais em forma de lâmina e móveis é montado excentricamente em um corpo de estator. Ao girar, as palhetas são pressionadas pela força centrífuga contra as paredes do estator. O ar é aspirado quando a distância entre o rotor e o estator aumenta. O ar é capturado nos diferentes bolsos do compressor, que diminuem em volume com a rotação. O ar é descarregado quando as palhetas passam pela porta de saída como é visualizado na figura 4.

Figura 4: Compressor por palhetas



Fonte: COPCO, 2024

2.4 FLUIDOS REFRIGERANTES

Um fluido refrigerante tem a função de transferência de calor de um sistema para outro. A transferência de energia pode acontecer mediante troca de calor latente (evaporação, condensação) e/ou mediante troca de calor sensível (aquecimento, arrefecimento).

De acordo com Stoecker e Jabardo (2018), para que um composto químico possa se credenciar como um refrigerante, ele deve apresentar as seguintes características: Apresentar características termodinâmicas favoráveis, apresentar estabilidade química, não ser tóxico, não ser inflamável, ser compatível com o óleo de lubrificação do compressor, apresentar um certo grau de compatibilidade com materiais, ser de fácil detecção, não ser pernicioso ao meio ambiente, estar disponível comercialmente a um custo razoável.

Como refrigerantes, destacam-se as famílias clorofluorcarbono (CFC), hidroclorofluorcarbono (HCFC) e hidrofluorcarbono (HFC) que são as principais quando se fala em gás refrigerante. Os refrigerantes CFC são fluidos refrigerantes à base de cloro, flúor e carbono, foi muito utilizado na década de 30 com o R-12 e o R-21, sendo o R-12 o mais adequado para o uso comercial e deu à família CFC o nome comercial de Freon. Com o tempo, os cientistas viram que esse tipo de gás tinha impacto direto com a camada de ozônio, assim, foi criado o Protocolo de Montreal em 1987, proibindo assim o uso dos CFC (Venturini, 2005).

Os HCFCs são hidrocarbonetos parcialmente halogenados, contêm moléculas de hidrogênio para reduzir o impacto na camada de ozônio. Apesar de causarem menor dano, outro ponto a ser analisado é o *Global Warming Potential* (GWP), sigla em inglês para o

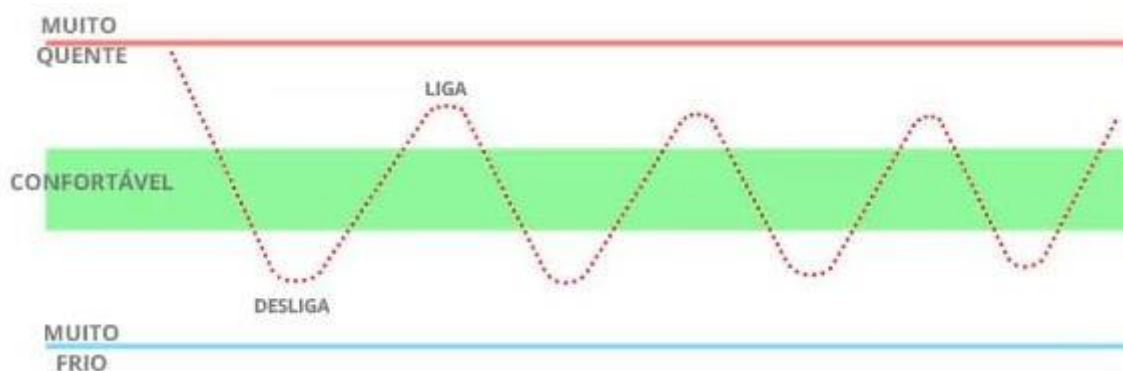
potencial de aquecimento global, os refrigerantes HCFCs tem um GWP superior ao dos CFCs. Alguns dos fluidos são: R-123, R-22. Com o Protocolo de Montreal, os HCFCs também não são mais aceitos, pois ainda degradam a camada de ozônio (Stoecker, 2002).

Os HFCs são hidrocarbonetos totalmente halogenados, não contêm mais nenhuma partícula de cloro, logo, não são mais ofensivos à camada de ozônio, no entanto, o GWP não é nulo, ainda apresentando potencial para o aquecimento global. Pelo Protocolo de Montreal, os HFCs também devem ser substituídos até o ano de 2040 por alternativas melhores. Alguns dos fluidos são: R-32, R-134A, etc (Melo *et al.*, 2007).

2.5 TECNOLOGIA INVERTER

Em um aparelho de ar-condicionado, o modelo convencional só funciona com o compressor desligado ou ligado. Ou seja, quando é necessário resfriar o ambiente, o compressor liga na sua potência máxima (Watts) e quando o ambiente é resfriado a sua devida temperatura, o compressor é desligado, como mostra a figura 5.

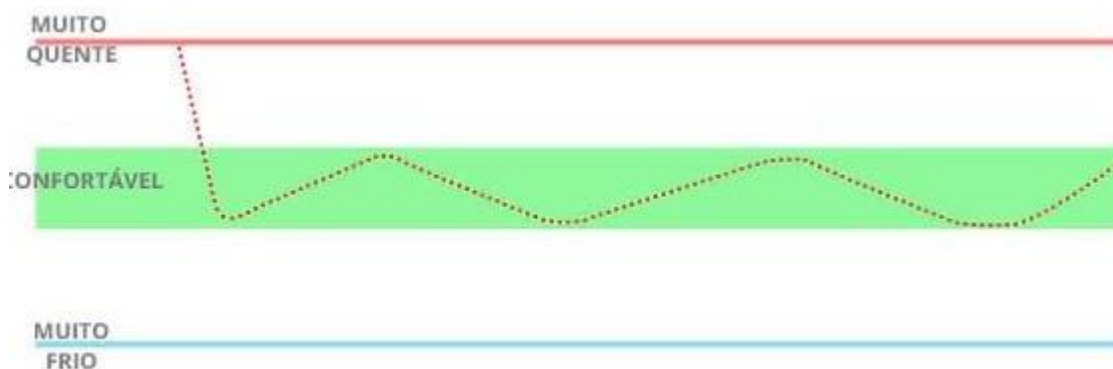
Figura 5: Compressor de um ar-condicionado tradicional



Fonte: FRIGELAR, 2024

Já em um aparelho *Inverter*, o compressor, ao ser acionado, atua em sua potência máxima, mas, ao alcançar a temperatura estabelecida, ele não desliga, ele diminui sua rotação, assim, gerando maior economia de energia (Marangoni, Filipe *et al.*, 2015), como exemplifica na figura 6 a seguir:

Figura 6: Compressor de um ar-condicionado *Inverter*



Fonte: FRIGELAR, 2024

2.6 BANDEIRAS TARIFÁRIAS

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL (2022), as bandeiras tarifárias são um sistema que informa aos consumidores sobre os custos reais da geração de energia elétrica. As cores das bandeiras são: verde, amarela e vermelha, as quais indicam se a tarifa de energia será superior ou inferior, conforme as condições de geração elétrica.

Significado e custos de cada bandeira:

- **Bandeira Verde:** Condições favoráveis de geração. Não há acréscimo na tarifa.
- **Bandeira Amarela:** Condições de geração menos favoráveis. A tarifa tem um acréscimo de R\$ 0,01885 por quilowatt-hora (kWh) consumido.
- **Bandeira Vermelha - Patamar 1:** Condições de geração mais onerosas. A tarifa aumenta em R\$ 0,04463 por quilowatt-hora (kWh) consumido.
- **Bandeira Vermelha - Patamar 2:** Condições de geração ainda mais custosas. O acréscimo é de R\$ 0,07877 por quilowatt-hora (kWh) consumido.

No caso da UFERSA, campus Caraúbas, foi notado que a bandeira é: A4 HOROSAZONAL VERDE, que de acordo com o GOV (2022): Unidades consumidoras da Alta Tensão (Subgrupos A1, A2 e A3), Média Tensão (Subgrupos A3a e A4), e de sistemas subterrâneos (Subgrupo AS).

- **Horária Azul:** tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia (postos tarifários).

Disponibilizada para todos os subgrupos do grupo A; e

- **Horária Verde:** tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia (postos tarifários), e de uma única tarifa de demanda de potência. Disponível para os subgrupos A3a, A4 e AS.

2.7 ALICATE WATTÍMETRO DIGITAL

De acordo com Raisa (2024), o alicate wattímetro é uma ferramenta versátil, ideal para medir a potência elétrica em circuitos, sendo essencial para profissionais de elétrica e entusiastas. Aqui estão algumas aplicações e especificações técnicas que destacam sua importância:

Aplicações Práticas

- **Eficiência Energética:** Permite avaliar o consumo de energia de equipamentos, ajudando a identificar oportunidades para economizar energia e melhorar a eficiência.
- **Diagnóstico de Problemas:** Ao medir a potência, é possível detectar falhas em dispositivos, como sobrecargas ou mau funcionamento, que podem comprometer o desempenho do sistema elétrico.
- **Manutenção Preventiva:** Profissionais usam o alicate wattímetro para realizar medições periódicas, garantindo que os equipamentos operem dentro dos parâmetros esperados.
- **Testes de Equipamentos:** Ideal para testes em indústrias, permite verificar se os dispositivos estão consumindo a quantidade de energia esperada.

Especificações Técnicas

- **Medição de Potência:** O alicate wattímetro mede a potência em watts ou kilowatts, calculando automaticamente a partir da tensão (volts) e da corrente (amperes).
- **Display Digital:** A maioria dos modelos modernos apresenta um display digital que facilita a leitura dos resultados, mostrando dados em tempo real.
- **Terminais de Medição:** Possui terminais positivo e negativo, conectados aos pontos de medição, garantindo precisão nas leituras.
- **Capacidade de Carga:** Os alicates wattímetros variam em termos de capacidade de corrente, com alguns modelos capazes de medir altas cargas, tornando-os adequados para diversas aplicações.
- **Confiabilidade e Durabilidade:** É fundamental escolher um alicate wattímetro de marcas renomadas para garantir a precisão e a durabilidade do instrumento, especialmente em ambientes industriais.

Figura 7: Alicate wattímetro digital minipa



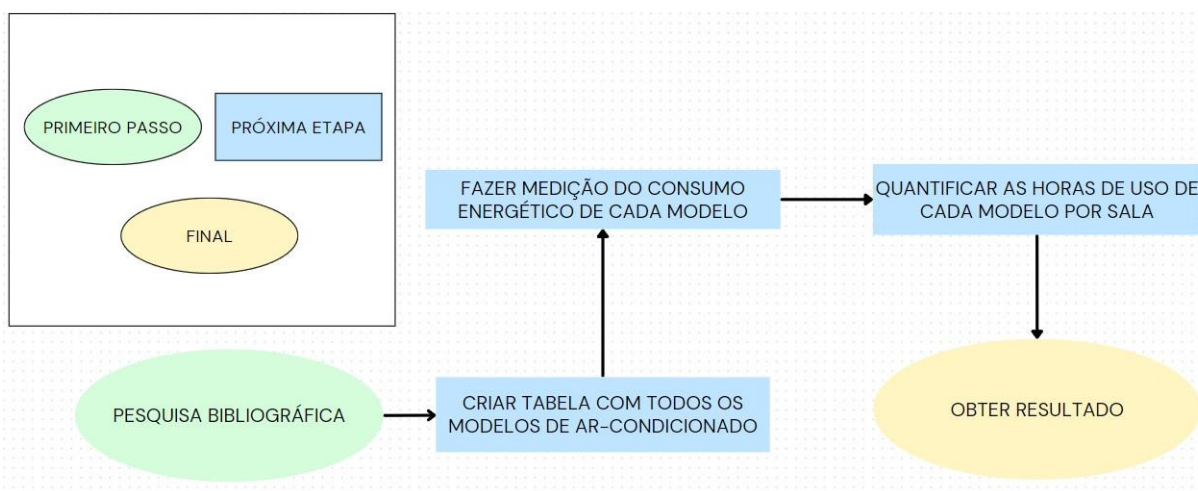
Fonte: MINIPA

3 MATERIAIS E METODOS

O presente estudo será conduzido no sistema de climatização do bloco de aulas II da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), localizado no campus Caraúbas. Para isso, será realizada, inicialmente, uma pesquisa bibliográfica.

De acordo com Lakatos (2021), a pesquisa bibliográfica, ou de fontes secundárias, abrange toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudo, desde publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, material cartográfico, entre outros.

Segundo Martins (2008), antes de iniciar o trabalho de campo, que consiste em um Estudo de Caso, é fundamental realizar um planejamento minucioso, baseado nos princípios teóricos relevantes e nas especificidades do caso em questão. Isso envolverá a elaboração de um protocolo detalhado que definirá a abordagem a ser adotada com o caso e todas as etapas necessárias para concluir a pesquisa.



3.1. Levantamento e quantificação dos Ambientes

Inicialmente foi realizado um levantamento detalhado das salas no Bloco de Aulas II da UFERSA, Campus Caraúbas. Cada sala foi identificada e quantificada, criando um inventário completo das unidades de climatização presentes. Esse levantamento permitiu estabelecer a base para a associação dos equipamentos de climatização a cada ambiente específico.

3.2. Coleta de Dados Técnicos dos Equipamentos de Climatização

Após a quantificação das salas, foi realizada a coleta das informações técnicas sobre os equipamentos de climatização instalados. Foram obtidas as seguintes informações para cada unidade de climatização:

- **Modelo de Equipamento:** Identificação do tipo e modelo de sistema utilizado (ex.: ar-condicionado tipo wi-wall, piso-teto, etc.).
- **Fluidos Refrigerantes:** Detalhamento do tipo e características dos fluidos refrigerantes utilizados (ex.: R22, R410A, etc.).
- **Potência:** Registro da potência nominal de cada unidade (ex.: BTU, kW).
- **Consumo:** Frequência de uso do equipamento para mensurar o gasto.

3.3. Organização dos Dados em Tabela

Com as informações coletadas, foi criada um quadro para facilitar a visualização e a análise.

Quadro 01: Equipamentos presentes em cada sala

Sala	Tipo de equipamento	Fluido refrigerante	Potência	Código
1	SPLIT	R22	24000 BTUS	LG
2	SPLIT	R22	24000 BTUS	LG
3	SPLIT	R22	24000 BTUS	LG
4	SPLIT	R22	24000 BTUS	LG
5	SPLIT	R22	24000 BTUS	LG
6	SPLIT	R22	24000 BTUS	LG
7	SPLIT	R22	24000 BTUS	LG
8	SPLIT	R22	24000 BTUS	LG
9	PISO TETO	R 410-A	36000 BTUS	ELECTROLUX
10	PISO TETO	R 410-A	36000 BTUS	ELECTROLUX
11	PISO TETO	R 410-A	36000 BTUS	ELECTROLUX

12	PISO TETO	R 410-A	36000 BTUS	ELECTROLUX
13	PISO TETO	R 410-A	36000 BTUS 36000 BTUS 36000 BTUS	ELECTROLUX CARRIER ELGIN
14	SPLIT	R22	24000 BTUS	LG
15	PISO TETO	R 410-A	36000 BTUS	ELECTROLUX ELECTROLUX

Fonte: Autoria própria

Esse quadro permite a visualização clara das especificações de cada unidade de climatização por sala, possibilitando uma análise comparativa entre os diferentes equipamentos e suas respectivas performances.

Devido a sala 13 e 15 não seguir o mesmo padrão das demais, por ter 3 e 2 aparelhos de ar-condicionado respectivamente, o consumo não seria o mesmo, logo, foi descartado dos cálculos futuros, totalizando assim 9 equipamentos LG *wi-wall* 24.000 BTUs e 4 equipamentos Electrolux piso-teto.

3.4 Análise da Performance dos Sistemas

Com base nos dados organizados na tabela, será realizada uma análise da performance dos sistemas de climatização. Foi utilizado um medidor de consumo, um Alicate wattímetro digital para esse serviço.

3.4.1 Alicate wattímetro digital

O alicate wattímetro digital foi utilizado da seguinte maneira: considerando que havia dois fios a serem conectados à rede, um foi conectado ao barramento de neutro e o outro à fase. Em seguida, o alicate envolveu o fio fase referente ao aparelho de ar-condicionado para o equipamento em análise, de modo que o campo magnético gerado pelo fio fosse captado pelo dispositivo. Assim, foram realizadas as medições das máquinas do bloco 2

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresentará uma análise dos dados obtidos pelas pesquisas de campo, realizada no campus da UFERSA, em Caraúbas.

Foi consultado o valor do consumo fora de ponta e na ponta (kWh) através da fatura de energia disponibilizada pela concessionária. Vale salientar que os horários de ponta são aqueles em que o consumidor paga um valor mais elevado pelo kW, sendo...estabelecido por lei das 18 horas as 21 horas, sabendo que a UFERSA, campus Caraúbas tem modalidade A4 horo-sazonal verde foi obtido esses valores

Tabela 1 : Valores de kW na UFERSA, campus Caraúbas

-	FORA DE PONTA	EM PONTA
TUSD	R\$ 0,0093636	R\$ 2,423225
TE	R\$ 0,40508	R\$ 0,659588
SOMA	R\$ 0,41444	R\$ 3,0828

Fonte: Autoria Própria

Em seguida foi construído uma tabela com o consumo de cada equipamento presente no campus, vale lembrar que o consumo é dado em kilowatt-hora (kWh), ou seja, quanto em kilowatt o equipamento consome por 1 hora.

Tabela 2: Consumo de cada equipamento presente no bloco 2

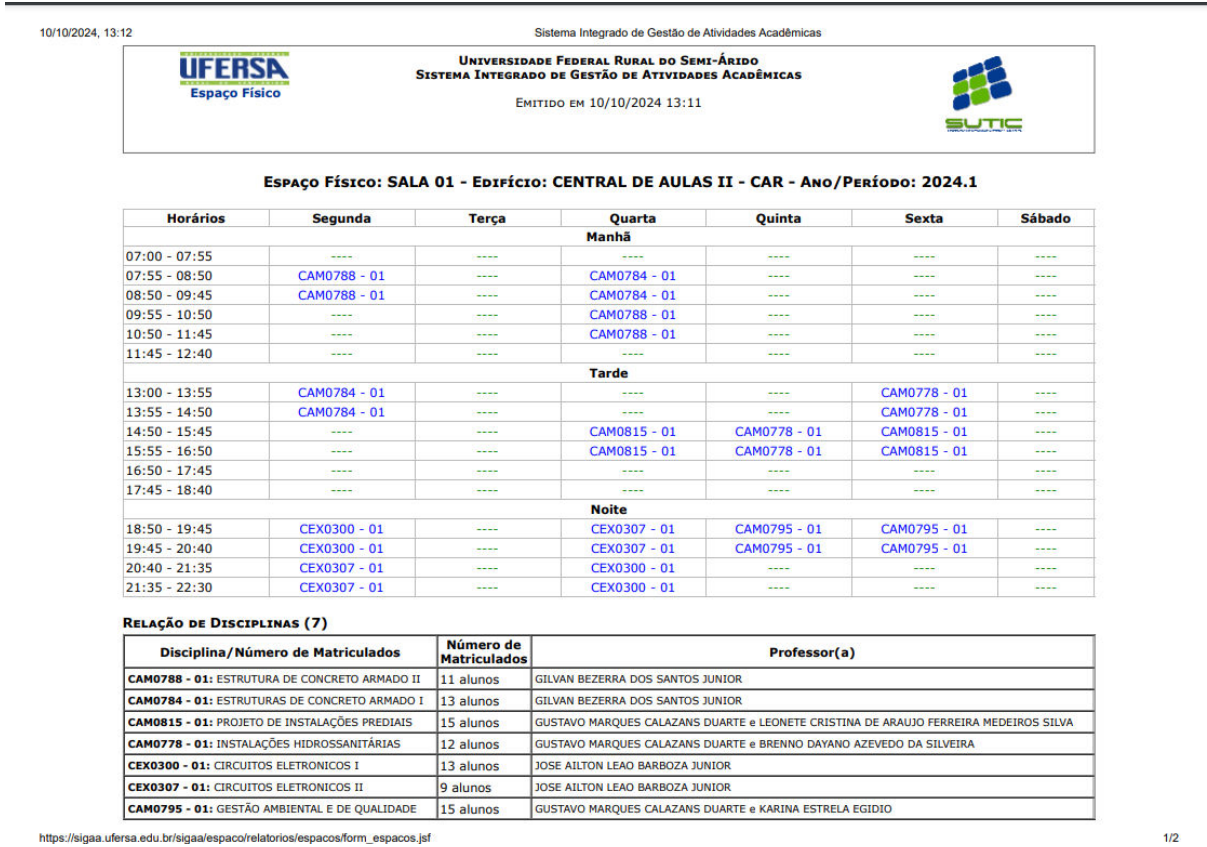
-	Piso Teto	Split
	Electrolux	LG
Consumo(kWh)	3,781	2,373

Fonte: Autoria própria

Como é mostrado na tabela 02, esses dados foram obtidos ao ficar uma hora com o equipamento ligado para saber o consumo, notou-se que de fato há algum sentido pois o consumo do piso-teto foi maior que o do hi-wall.

A tabela 03 foi elaborada para saber quanto tempo fora de ponta e em ponta as salas do bloco 2 ficam baseando no horário que é apresentado ao lado de cada sala, conforme mostra a figura 8.

Figura 8: Exemplo de horário registrado de cada sala presente no campus



Fonte: Autoria própria

Tabela 3 : Tempo que os equipamentos ficam ligados por semana no bloco 2

-	Piso-teto Electrolux	Hi-wall LG
Fora de ponta	23h10min/semana	95h30min/semana
Em ponta	19h50min/semana	46h20min/semana

Fonte: Autoria própria

Como foi notado, esses horários foram obtidos através da análise dos horários presente em cada sala, em seguida, foi estabelecido a partir das informações dos horários de ponta e fora de ponta, por fim, foi calculado as horas de todas as salas através da soma, ignorando as salas 13 e 15.

Por fim, foi calculado quanto cada equipamento gasta em reais por semana no bloco 2, onde é calculado através da equação 1:

Equação 1: Cálculo de consumo de equipamento

$$(TUSD + TE) * (CONSUMO(kW)) * (HORAS DE FUNCIONAMENTO)$$

isso tanto para fora de ponta quanto para em ponta, assim, foi criada essa tabela:

Tabela 4: Gasto de cada equipamento por semana

-	Piso teto Electrolux	Split LG
Em ponta	R\$ 231,26	R\$ 93,92
Fora de ponta	R\$ 36,30	R\$ 338,93
Total por semana	R\$ 267,56	R\$ 432,85

Fonte: Autoria Própria

Agora com a obtenção desses dados, foi analisado dois novos tipos de equipamentos, um de 36.000 BTUs e o outro de 24.000 BTUs, com o objetivo de substituir os antigos por modelos mais novos. Ambos são do tipo inverter e utilizam gás R; o intuito é realizar uma comparação de gastos.

Figura 9: Novo modelo escolhido de ar-condicionado



Ar-Condicionado Split Inverter 24000 BTUs Philco Quente e Frio PAC24000IQFM15 220V

☆☆☆☆☆ (Avalie agora!)

Modelo: PAC24000IQFM15

Código: ki9855 (Ver descrição completa)

Entregue por Frigelar

~~R\$ 5.699,00~~ -12%

Por: **R\$ 4.998,89**

R\$ 4.499,00

à vista com 10% de desconto no PIX

ou **R\$ 4.998,89** em 8x de R\$ 624,86 sem juros

[Mais formas de pagamento](#)

Leve também

☐ Instalação Ar Condicion...
R\$ 1.199,00
[Ver produto](#)

☐ Garantia Estendida Agy...
R\$ 420,35
[Ver produto](#)

COMPRAR

Fonte: FRIGELAR, 2024

Figura 10: Ficha técnica do novo modelo de ar-condicionado

Ficha Técnica	
Quantidade de BTUs	24000
Ciclo	Quente/Frio
Classificação Energética/Inmetro	A
Tecnologia	Inverter
Garantia do Compressor	10 anos
Tipo de Gás	R-32
Modelo	PAC24000IQFM15
Medida Evaporadora (int.) (LxAxP/cm)	100 x 32 x 22,5cm
Medida Condensadora (ext.) (LxAxP/cm)	52 x 68 x 46cm
Peso Líquido Evaporadora (int.) (Kg)	13kg
Peso Líquido Condensadora (ext.) (Kg)	25kg
Fabricante	Philco
Serpentina	Cobre
Tubulação (Bitolas)	1/4 e 5/8
Consumo Aproximado de Energia (kWh)	833 kWh/ano

Fonte: FRIGELAR, 2024

Figura 11: Novo modelo piso teto escolhido



Ar Condicionado Split Teto Midea Inverter 36.000 BTU/h Frio 220v - R-32

Cód: PT36FRMDV2IN Marca: **Midea**

De: ~~R\$ 10.967,21~~
Por: R\$ 9.322,13
ou em até 10x de R\$ 932,21 sem juros

À vista **R\$ 8.762,80** (Desconto 6% no PIX)

Opções de parcelamento >

COMPRAR

Para ambientes de até 60m²

 Classificação energética Classificação A	 Ciclo Frio
 Tecnologia Inverter	 Gás R-32
 Voltagem 220V	 Serpentina Cobre

Fonte: POLOAR, 2024

Figura 12: especificações técnicas do novo modelo piso teto

Capacidade (BTU/H)	36.000 BTU/h
Tipo	Refrigeração
Marca	Midea
Estilo	Teto
Ciclo	Frio
Alimentação	220V
Fase	Monofásico
Eficiência Energética	Classificação A
Consumo de Energia (kWh/ano)	1585,3 kWh/ano - Com base nos resultados do ciclo normalizado pelo Inmetro, de 2.080 horas por ano.
Tecnologia	Inverter
Gás Refrigerante	R-32

Fonte:POLOAR, 2024

Com esses novos equipamentos escolhidos, foi montado uma tabela para maior compreensão.

Tabela 5: Novos equipamentos escolhidos para substituição

MODELO	Split hi-wall <i>inverter</i> philco	Piso-teto <i>Inverter</i> midea
BTUs	24.000	36.000
Consumo (kWh/Ano)	1585,3	833
Gás refrigerante	R-32	R-32
Valor de compra	R\$ 4.500,00	R\$ 8.762,80

Fonte: Autoria Própria

É possível observar que, nesse consumo, utiliza-se a nomenclatura kWh/ano. De acordo com o INMETRO, um ciclo normalizado é de 2080 horas por ano, se a gente pegar o consumo e dividir pelas 2080 horas, teríamos o consumo por hora de cada equipamento.

A seguir, foi criada outra tabela a fim de saber o gasto desses novos equipamentos escolhidos sabendo que consumo, conforme mostra a equação 2:

Equação 02: Consumo dos novos equipamentos a partir de um ciclo normalizado

$$(TUSD + TE) * \left(\frac{\frac{kWh}{ano}}{2080} \right) * (HORAS DE FUNCIONAMENTO)$$

Assim, quando aplicamos os valores já obtidos, chegaremos a valores conforme mostra a tabela 06.

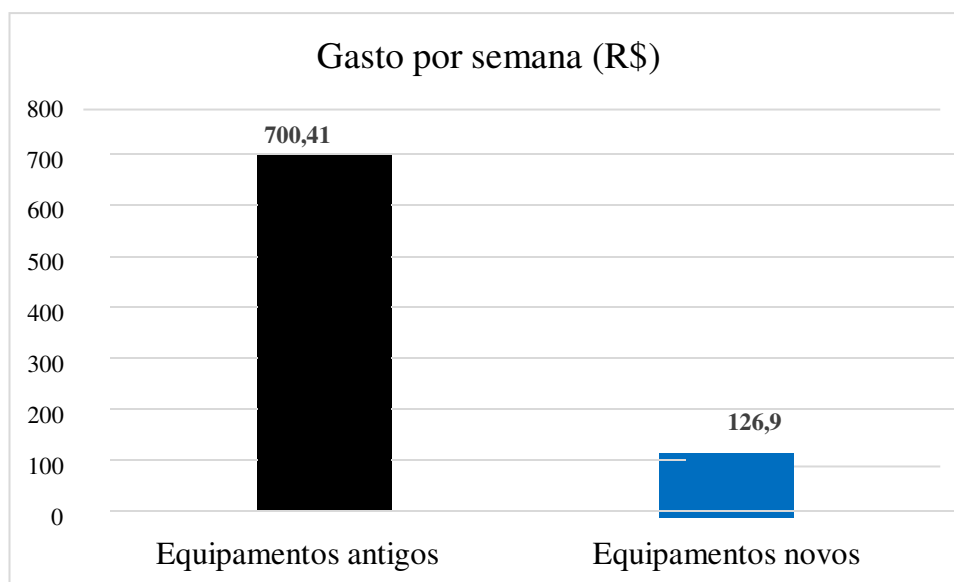
Tabela 6: Gasto de energia dos novos equipamentos escolhidos

-	NOVO PISO TETO	NOVO SPLIT HI-WALL
FORA DE PONTA	R\$ 7,32	R\$ 15,83
EM PONTA	R\$ 46,62	R\$ 57,13
TOTAL	R\$ 53,94	R\$ 72,96

Fonte: Autoria própria

Com esses valores, foi possível gerar o Gráfico 1, que apresenta o consumo entre as máquinas antigas e as novas

Gráfico 1: Gasto dos antigos x novos equipamentos



Fonte: Autoria própria

Como é possível observar, em uma semana, o gasto com energia do campus Caraúbas com os atuais equipamentos chega a um valor próximo dos R\$ 701, e com os novos equipamentos sugeridos, esse valor cai para R\$ 127, sendo assim, uma redução aproximada de 81% no consumo de energia.

Uma vez que o consumo de cada máquina já foi previamente estabelecido, é suficiente multiplicar esse valor pela quantidade total de equipamentos. Assim, poderemos determinar o consumo real de todas as máquinas no bloco 2.

Tabela 7: Gasto por semana com antigos equipamentos

-	CONSUMO (por semana)	QUANTIDA DE EQUIPAMENTOS	VALOR (por semana)
PISO TETO	R\$ 267,56	4	R\$ 1070,23
SPLIT LG	R\$ 432,85	9	R\$ 3895,65

Fonte: Autoria Própria

Gerando assim dois valores, sendo um referente ao consumo do PISO-TETO que é de R\$ 1070,23 por semana, e o outro valor é referente ao ao SPLIT HI-WALL LG que é de R\$ 3895,65, quando há a soma dos dois, tem-se um valor de R\$ 4965,00 que é referente ao gasto energético por semana no bloco 2.

Tabela 8: Gasto por semana com novos equipamentos

-	CONSUMO (por semana)	QUANTIDA DE EQUIPAMENTOS	VALOR (por semana)
PISO TETO	R\$ 53,94	4	R\$ 215,74
SPLIT PHILCO	R\$ 72,96	9	R\$ 656,66

Fonte: Autoria própria

Ao realizar a soma dos custos dos dois equipamentos, verifica-se um gasto total de R\$ 872,41 por semana. Adicionalmente, considerando a existência de 9 equipamentos LG split hi-wall de 24.000 BTUs e equipamentos Electrolux piso-teto, o investimento necessário para a substituição completa dos antigos por novos equipamentos no Bloco 2 seria de R\$ 75.548,00. Com base em uma economia de R\$ 4093,47 e considerando que o período de utilização das máquinas não alterasse, levaria 19 semanas ou aproximadamente 5 meses para o retorno total do investimento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho teve como objetivo analisar o consumo de energia de equipamentos de refrigeração, comparando modelos antigos com novas tecnologias, especialmente aquelas que utilizam compressores do tipo *Inverter*.

A pesquisa destacou a importância da eficiência energética na escolha de equipamentos de refrigeração, considerando não apenas o impacto ambiental, mas também a economia financeira para a UFERSA, campus Caraúbas a longo prazo.

Ao realizar essa comparação foi nítida a diferença de consumo entre os antigos e os novos equipamentos, o que reforça a relevância da transição para as tecnologias mais eficientes, tornando assim o bloco 2 mais econômico.

Vale também salientar em que a troca dos gases do tipo R-410A e R-22 (pertencentes a família HCFC) para o R-32 (pertencente a família HFC) também impactará positivamente o meio ambiente, já que com esses novos tipos de gases não há mais impacto direto a camada de ozônio, somente ao efeito estufa.

Uma outra consideração a ser feita é que para trabalhos futuros fazer o cálculo da carga térmica para o bloco 2, assim teremos mais precisão e controle nos gastos, tornando ainda melhor a viabilidade da mudança de equipamentos.

Um outro ponto a ser considerado é a mão de obra especializada, pois com novos equipamentos do tipo inverter requer uma mão de obra mais qualificada para o manuseio dos mesmos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA(ANEEL) Sobre Bandeiras Tarifárias. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/bandeiras-tarifarias>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA(ANEEL)Modalidades Tarifárias <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/modalidades-tarifarias>. Acesso em: 11 set. 2024

BORGNAKKE, C.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da termodinâmica**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2018. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 21 abr.2024.

Balanco Energético Nacional (BEN) Ano base 2021. Rio de Janeiro: EPE, 2022b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>

CASTELHANO, Francisco Jablinski. **O clima e as cidades**. 1. ed. Curitiba: Intersaberes, 2020. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 22 abr. 2024.

ÇENGEL, Y. A., & Boles, M. A. (2013). **Termodinâmica** (7th ed.). Grupo A. <https://app.minhabiblioteca.com.br/books/9788580552010>

COSERN(2022) BANDEIRAS TARIFÁRIAS DISPONÍVEL EM:<https://clientescorporativos.neoenergiacosern.com.br/informacoes/Paginas/bandeira-tarifaria.aspx> ACESSO EM: 11 set. 2024

COPCO, Atlas. **Compressor de palhetas**. 2022. Disponível em: <https://www.atlascopco.com/pt-br/compressors/wiki/compressed-air-articles/vane-compressors#:~:text=Ao%20girar%2C%20as%20palhetas%20s%C3%A3o,passa m%20pela%20porta%20de%20sa%C3%ADda..> Acesso em: 22 abr. 2024.

CREDER, Hélio. **Instalações de Ar Condicionado**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2012.

ELGIN. **Como funcionam os compressores e quais são os tipos?** 2022. Disponível em:https://blog.elgin.com.br/refrigeracao/como-funcionam-os-compressores/#Compressores_Rotativos_-_Scroll. Acesso em: 13 abr. 2024.

BRAGA FILHO, Washington. **Termodinâmica para engenheiros**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020. Disponível em: MinhaBiblioteca, Grupo GEN, 2020.

FRIGELAR. **Ar Condicionado: Convencional X Inverter**. 2024. Disponível em:<https://www.frigelar.com.br/convencional-ou-Inverter>. Acesso em: 09 out. 2024.

FRIGELAR. **Ar-condicionado Split Inverter**. 2024. Disponível em: <https://www.frigelar.com.br/ar-condicionado-split-Inverter-24000-btus-philco-quente-frio-pac24000iqfm15-220v/p/kit9858>. Acesso em: 09 out. 2024.

Lakatos, E. M. (2021). **Técnicas de Pesquisa (9th ed.)**. Grupo GEN. <https://app.minhabiblioteca.com.br/books/9788597026610>

SCHULZ, Loja. **Como funcionam os compressores de ar de parafuso?** 2019. Disponível em: <https://www.lojaschulz.com.br/conteudo/como-funcionam-os-compressores-de-ar-de-parafuso.html>. Acesso em: 09 out. 2024.

MACIEL, Eugênio Bastos. **Termodinâmica: fundamentos e aplicações**. 1. ed. Curitiba: Intersaberes, 2022. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 22 abr. 2024.

MARANGONI, Filipe et al. Comparativo econômico entre condicionadores de ar com tecnologias convencional e *Inverter*. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, v. 35, 2015.

MARTINS, Gilberto de A. **Estudo de Caso : Uma Estratégia de Pesquisa, 2ª edição**. Grupo GEN, 2008. *E-book*. ISBN 9788522466061. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522466061/>. Acesso em: 22 abr. 2024.
MÉIER, A.; OLOFSSON, T.; LAMBERTS, R. (2002). What is an Energy-Efficient Building? In: IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC.

MELO *et al.*, 2007 co2 (R-744) em equipamentos de refrigeração comercial https://www.academia.edu/download/54508391/Uso_de_Fluidos_Naturais.pdf
Acesso em: 21 jul. 2024.

MINIPA. **Alicate wattímetro**. 2024. Disponível em: <https://www.minipa.com.br/alicates-produtos/alicates-wattímetros/73-et-4091>. Acesso em: 09 out. 2024.

NEVES, Sidney. A História do Ar-Condicionado. 2018. Disponível em: . Acesso em: 21 jul. 2024. <https://cemeq.ufg.br/n/103153-a-historia-do-ar-condicionado>

PEÇAS, Chiller. **COMPRESSOR DANFOSS scroll**. 2024. Disponível em: <https://www.chillerpecas.com.br/produtos/compressor-danfoss-sz160-3cbm-13tr-220v-3f-r407c-r134a/>. Acesso em: 09 out. 2024.

POLOAR. **Ar Condicionado Split Teto Midea Inverter**. 2024. Disponível em: <https://www.poloar.com.br/ar-condicionado-split-teto-midea-Inverter-36000-btu-h-frio-220v-r-32/p>. Acesso em: 09 out. 2024

STEINMETZ, Katy. **Air-Conditioning**. 2010. Disponível em: <https://content.time.com/time/nation/article/0,8599,2003081,00.html>. Acesso em: 19 mar.

2024.

STOECKER, W. F.; JABARDO, J. M. S. **Refrigeração industrial**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2018. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 20 abr. 2024