

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA**

BRUNA FONTENELE FERREIRA SILVEIRA

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM AR-CONDICIONADO COM
CONTROLE AUTOMATIZADO**

**Bagé
2021**

BRUNA FONTENELE FERREIRA SILVEIRA

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM AR-CONDICIONADO COM
CONTROLE AUTOMATIZADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador(a): Prof. Dra. Sabrina Neves da Silva

Bagé

2021

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

S587e Silveira, Bruna Fontenele Ferreira
ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM AR-
CONDICIONADO COM CONTROLE AUTOMATIZADO / Bruna
Fontenele Ferreira Silveira.
97 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)--
Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA DE ENERGIA,
2021.

"Orientação: Sabrina Neves da Silva".

1. Eficiência energética. 2. Ar-condicionado. 3.
Tetra Pak. 4. Radiação. 5. Automatização. I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal do Pampa

BRUNA FONTENELE FERREIRA SILVEIRA

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM AR-
CONDICIONADO COM CONTROLE AUTOMATIZADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 07 de maio de 2021.

Banca examinadora:

Profa. Dra. Sabrina Neves da Silva

Orientadora

UNIPAMPA

Prof. Dr. Marcelo Romero de Moraes

UNIPAMPA

Prof. Dr. Martín Cruz Rodríguez Paz

IPSAJ



Assinado eletronicamente por **SABRINA NEVES DA SILVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/05/2021, às 20:09, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MARCELO ROMERO DE MORAES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/05/2021, às 20:17, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **Martín Cruz Rodríguez Paz, Usuário Externo**, em 07/05/2021, às 20:19, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0519416** e o código CRC **D6B802D3**.

Dedico esse trabalho ao meu amado pai Álvaro (in memoriam), que não pôde estar ao meu lado neste momento tão importante, mas foi o meu maior incentivador e exemplo. Dedico também à minha querida mãe Dayse, mulher forte e guerreira, a qual o apoio incondicional e paciência, me trouxeram até aqui. Gratidão por nunca perderem a fé nos meus sonhos.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus, um guia que inspira a força, coragem e ânimo ao longo da desafiadora e surpreendente jornadas da vida.

Agradeço à minha querida orientadora Profa. Sabrina Neves da Silva, por ter aceitado o desafio de realizar esse trabalho em um prazo exíguo, em meio ao caos soube me guiar. Agradeço a sua dedicação e incentivo que foram fundamentais para conclusão do estudo.

Agradeço à toda a Pró- Reitoria de Planejamento e Estrutura e à equipe Diretiva do Campus Bagé no período de 2019 a 2020, que forneceu as plantas e materiais necessários para viabilizar o estudo. Agradeço aos técnicos, terceirizados e demais servidores da Unipampa, pelas valiosas contribuições ao longo do processo de aperfeiçoamento e execução do trabalho.

Agradeço aos servidores que atuam na Secretaria Acadêmica, no Nude, e aos técnicos dos laboratórios do Campus Bagé, pela disponibilidade, eficiência, compreensão e generosidade concedidas do início da graduação, até o seu fim. Em especial aos servidores Daviane Azevedo, Rita de Cássia Medeiros, Miriam Silveira, Enilton Goulart e Michel Silveira.

Agradeço ao professor Prof. Dr. Marcelo Romero de Moraes por aceitar participar da banca examinadora. E agradeço especialmente ao Prof. Dr. Martin Cruz Rodríguez Paz por aceitar participar e por acompanhar, apoiar aos discentes do curso nos percalços durante a graduação. Agradeço por ter dado ao curso Engenharia de Energia todo o suporte e dedicação enquanto atuou como coordenador e professor, sempre com muito empenho e compreensão.

Agradeço ao corpo docente, atual e aos que passaram por, do curso Engenharia de Energia. Há alguns professores imensa gratidão pelo conhecimento transmitido, empenho, confiança, disponibilidade, dedicação e principalmente prazer em ser professor e fazer o diferencial na Universidade, sem fazer qualquer distinção entre os discentes. A outros professores, agradeço também por proporcionar os aprendizados mais difíceis, como seguir o meu caráter e valores sempre, mesmo quando fazer o que é correto significa ser perseguida, aprimorar meu senso de coletividade e ter resiliência quando tentam nos desanimar.

A todos os grandes amigos que conquistei durante a trajetória acadêmica. Aos que me acompanharam em grandes desafios perante o curso e contribuíram com o propósito de desenvolver a melhor versão de nós mesmos e dessa Instituição. Ofereceram coragem e apoio, tornando essa fase uma das melhores da minha vida.

Quanto mais nos elevamos, menores parecemos
aos olhos daqueles que não sabem voar.

Friedrich Nietzsche

RESUMO

O uso de equipamentos de ar-condicionado cresce exponencialmente, modifica as características de consumo de energia elétrica e promove impactos relevantes no sistema elétrico mundial, principalmente o brasileiro. Nas Universidades há um significativo aumento por demanda de energia elétrica, que pode levar a 50% de acréscimo no valor da fatura de energia, isso somente no que abrange o uso de aparelhos condicionadores de ar. Ações coordenadas de eficiência energética promovem um conjunto de reduções de insumos, bem como nos custos de manutenção e operação, evita investimentos desnecessário em infraestrutura, além de redução direta do consumo de energia e melhoria na qualidade e confiabilidade dos processos. Os estudos em busca de equipamentos ou alternativas mais eficientes é de suma importância, a fim de não sobrecarregar o sistema, otimizar o consumo de energia elétrica através de instrumentos de medição automatizados. O presente trabalho avalia a eficiência energética de um condicionador de ar, instalado em uma sala da Universidade Federal do Pampa, através de medições do seu consumo energético, obtido com um interruptor inteligente sem fio, e alternando dois materiais isolantes térmicos encaixados no condensador do ar-condicionado, a fim de medir a eficiência desse equipamento em variadas situações, sob a influência da radiação solar. A metodologia consiste em: a) caracterizar o equipamento e local do estudo; b) selecionar materiais de descarte para usar como malha térmica no condensador; c) instalar o interruptor de energia sem fio para monitorar remotamente o comportamento da eletricidade no equipamento; d) definir os critérios de medição, tais como intervalo de tempo, velocidade do ventilador e temperatura do aparelho; e) medir o consumo energético do ar-condicionado; f) levantar dados climáticos nos períodos medidos, como temperatura externa e radiação solar; g) tratar os dados climáticos; h) estimar a eficiência energética do sistema proposto e i) avaliar os resultados coletados e comparar com o garantido pelo fabricante do aparelho. As medições demonstraram que há uma influência do revestimento, sobretudo a malha térmica feita com Tetra Pack, pois o consumo diminuiu cerca de 103 kWh, em comparação com a condição sem revestimento. O desenvolvimento do trabalho baseia-se na revisão de literatura, ressalta ideias que envolvem a temática abordada e produz conclusões acerca dos resultados obtidos.

Palavras-Chave: Eficiência energética. Tetra Pak. Materiais refletivos de radiação. Ar-condicionado. Automatização.

ABSTRACT

The use of air conditioning equipment grows exponentially, modifies the characteristics of electricity consumption, and promotes relevant impacts on the world electric system, especially the Brazilian one. In universities there is a significant increase in energy demand, which can lead to a 50% increase in the value of the energy bill, this only in the use of air conditioners. Coordinated energy efficiency actions promote a set of reductions in the production, as well as maintenance and operation costs, avoid unnecessary investments in infrastructure, in addition to direct reduction of energy consumption and improvement in the quality and reliability of processes. Studies in search of more efficient equipment or alternatives is of paramount importance, in order not to overload the system, optimizing the consumption of electricity through automated measuring instruments. The present work evaluates the energy efficiency of an air conditioner, installed in a room the Federal University of Pampa, through measurements of its energy consumption, obtained with a wireless smart switch, and alternating two thermal insulating materials embedded in the air conditioning condenser, to measure the efficiency of this equipment in various situations, under the influence of solar radiation. The methodology consists of: a) characterizing the equipment and site of the study; b) selecting disposal materials to use as thermal mesh in the condenser; c) installing the wireless power switch to remotely monitor the behavior of electricity in the equipment; (d) define the measurement criteria, such as time interval, fan speed and temperature of the appliance; e) measure the energy consumption of air conditioning; f) collect climate data in the measured periods, such as external temperature and solar radiation; (g) to process climate data; h) estimate the energy efficiency of the proposed system and i) evaluate the results collected and compare with that guaranteed by the manufacturer of the appliance. The measurements showed that there is an influence of the coating, especially the thermal mesh made with Tetra Pack, because the consumption decreased by about 103 kWh, compared to the uncoated condition. The development of the work is based on the literature review, highlights ideas that involve the theme addressed and produces conclusions about the results obtained.

Keywords: Energy efficiency. Tetra Pak. Radiation reflective materials. Air conditioning. Automation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Geração de Energia Elétrica Mundial por fonte (%). Gráfico da Geração Elétrica em 1980 (8.027 TWh) (A) e Gráfico da Geração Elétrica em 2019 (24.344 TWh) (B).	25
Figura 2 – Crescimento médio anual do PIB por cenário, 2020-2030 (%).	27
Figura 3 – Fluxo nacional de energia elétrica, ano base 2019.	28
Figura 4 – Consumo médio final por eletrodomésticos da energia elétrica pela classe residencial.	29
Figura 5 – Consumo final da energia elétrica pela classe comercial.	29
Figura 6 – Sistemas de ventilação ou ar-condicionado presentes na classe comercial.	30
Figura 7 – Consumo final da energia elétrica em prédios públicos.	30
Figura 8 – Sistemas de ventilação ou ar-condicionado presentes em prédios públicos.	31
Figura 9 – Curva de carga domicílios Região Norte.	31
Figura 10 – Curva de carga domicílios Região Nordeste.	32
Figura 11 – Curva de carga domicílios Região Centro-Oeste.	32
Figura 12 – Curva de carga domicílios Região Sudeste.	32
Figura 13 – Curva de carga domicílios Região Sul.	33
Figura 14 – Posse média de aparelhos de ar-condicionado setoriais e comércios por região. .	33
Figura 15 – Selo Procel de economia de energia.	35
Figura 16 – Etiqueta nacional de conservação de energia para equipamentos elétricos.	36
Figura 17 – Etiqueta nacional de classificação de eficiência energética.	37
Figura 18 – Relação entre os processos de um ciclo de refrigeração por compressão de vapor.	44
Figura 19 – Processo de um ciclo do fluido refrigerante por compressão.	45
Figura 20 – Esquema de compressores alternativos. Característica construtivas (A).	47
Figura 21 – Esquema de compressores rotativos. Característica construtivas.	49
Figura 22 – Diagrama comparativo entre os sistemas de climatização inverter e convencional em relação à temperatura.	50
Figura 23 – Modelo ilustrativo da irradiância solar na superfície terrestre.	52
Figura 24 – Modelo ilustrativo da variação da elevação solar na superfície terrestre.	53
Figura 25 – Modelo ilustrativo da estrutura da embalagem cartonada Longa Vida.	56
Figura 26 – Localização do objeto de estudo. Visão geográfica da posição regional da instituição (1), vista aérea da área construída (2) e delimitação do espaço físico do campus e visualização do Bloco 1 nesse contexto (3).	58

Figura 27 – Planta baixa simplificada do térreo, Laboratório 1105 - Bloco 1 da Unipampa...	59
Figura 28 – Unidade evaporadora do equipamento.....	60
Figura 29 – Unidade condensadora do equipamento.....	60
Figura 30 – Modelo do painel em Tetra Pak.	61
Figura 31 – Modelo do protótipo em MDF.	62
Figura 32 – Dispositivo eletrônico <i>Sonoff Pow</i> modelo R2 ilustra circuito interno (A) e ilustra equipamento com a caixa externa (B).	63
Figura 33 – Instalação do <i>Sonoff Pow</i> no ar-condicionado para obtenção de dados.....	64
Figura 34 – Interface inicial do aplicativo <i>Ewelink</i> , responsável pela automação do aparelho <i>Sonoff Pow</i> para medições de consumo do ar-condicionado.....	65
Figura 35 – Vista externa do painel formado pela disposição das caixas Tetra Pak após higienização, na unidade condensadora do equipamento.	66
Figura 36 – Disposição do protótipo em MDF na unidade condensadora do equipamento....	66
Figura 37 – Fluxograma do procedimento experimental.....	68
Figura 38 – Zona Bioclimática brasileira.	69
Figura 39 – Carta solar da fachada Oeste.	71
Figura 40 – Carta solar referente a radiação direta até junho da fachada Oeste.....	72
Figura 41 – Carta solar referente as radiação direta após junho da fachada Oeste.	72
Figura 42 – Carta solar referente a parte da radiação global da região até junho.	73
Figura 43 – Carta solar referente a parte da radiação direta solares menos a radiação difusa, após junho.....	73
Figura 44 – Consumo energético , em kWh, do condicionador de ar com condensador sem revestimento medido durante 16 dias no mês de dezembro de 2019.	76
Figura 45 – Consumo energético, em kWh, do condicionador de ar com condensador com revestimento de MDF medido durante 21 dias no mês de janeiro de 2020.....	76
Figura 46 – Consumo energético , em kWh, do condicionador de ar com condensador com revestimento de Tetra Pack medido durante 10 dias no mês de fevereiro de 2020.....	77
Figura 47 – Consumo registrado no condicionador de ar, referente aos períodos verificados com o condensador sem revestimento e com as malhas térmicas construídas em MDF e embalagens Tetra Pak.....	78
Figura 48 – Relação entre o consumo, radiação e temperatura externa registrados no condicionador de ar, nos períodos referente ao condensador sem revestimento.....	79
Figura 49 – Relação entre o consumo, radiação e temperatura externa registrados no condicionador de ar, nos períodos referente ao condensador com revestimento em MDF.....	79

Figura 50 – Relação entre o consumo, radiação e temperatura externa registrados no condicionador de ar, nos períodos referente ao condensador com revestimento com embalagens Tetra Pak.....80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Calor liberado por equipamentos elétricos.	38
Tabela 2 – Temperaturas de trabalho referente ao ciclo de refrigeração de compressão.	46
Tabela 3 – Dados técnicos fornecidos pelo catálogo do fabricante do ar-condicionado.	59
Tabela 4 – Dados técnicos fornecidos pelo catálogo do fabricante do <i>Sonoff Pow R₂</i>	63
Tabela 5 – Detalhamento das medições realizadas no condicionador de ar.	69
Tabela 6 – Detalhamento das medições realizadas.	75
Tabela 7 – Valores médios para consumo e potência consumida durante procedimento experimental.	81
Tabela 8 – Comparação do fator de eficiência.	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN – Balanço Energético Nacional
CEMPRE – Compromisso Empresarial de Reciclagem
CGINEE – Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
COP – Fator de eficiência
EER – Eficiência Energética do Refrigerador
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENCE – Empresa Nacional de Conservação e Energia
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
HCFC – Hidroclorofluorcarbonos
IEA – *International Agency for Energy*
INMET – Instituto Nacional de Metrologia
MME – Ministério de Minas e Energia
PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem
PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem
PEBD – Polietileno de baixa densidade
PPH – Pesquisa de Posse de Hábitos
PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RS – Rio Grande do Sul
USP – Universidade de São Paulo
WEO – *World Energy Outlook*

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Variável	Dimensão
<i>Tep</i>	Tonelada equivalente de petróleo	[Mtoe]
<i>Wh</i>	<i>Watt</i> -hora	[J/h]
<i>W</i>	Watt	[W]
<i>Toe</i>	Tonelada equivalente de petróleo	[Mtoe]
<i>kWh</i>	Quilo <i>Watt</i> -hora	[kWh]
<i>MWh</i>	Mega <i>Watt</i> -hora	[MWh]
<i>TWh</i>	Tera <i>Watt</i> -hora	[TWh]
<i>h</i>	Entalpia	[J]
<i>I_z</i>	Constante solar	[W/m ²]
<i>Z</i>	Ângulo zenital dado em instante	[-]
<i>COP</i>	Coefficiente de performance energética	[-]
<i>cos</i>	Ângulo de um triângulo retângulo	[-]
<i>Q_E</i>	Potência de refrigeração	[kW]
<i>W_C</i>	Potência de compressão	[kW]
<i>hPa</i>	Pressão atmosférica	[Pa]
<i>m/s</i>	Velocidade dos ventos	[Vo]
<i>Wm²</i>	Índice de radiação	[Ib]
<i>mm</i>	Índice de precipitações	[V]
<i>Btu/h</i>	<i>British Thermal Unit</i>	[J]

SUMÁRIO

AGRADECIMENTO	7
RESUMO.....	9
1 INTRODUÇÃO	19
2 OBJETIVOS	22
2.1 Objetivo geral.....	22
2.2 Objetivos específicos.....	22
3 REFERENCIAL TEÓRICO E CONCEITOS GERAIS	23
3.1 Panorama energético nacional	23
3.2 Análise do desempenho energético e dados agregados.....	24
3.2.1 Uso final de energia por setor	26
3.4.1 Programa brasileiro de etiquetagem	36
3.5 CONFORTO TÉRMICO.....	38
3.6 FUNCIONAMENTO DE CONDICIONADORES DE AR.....	40
3.6.1 Tipos de Condicionadores de ar	42
3.6.2 Ciclo de refrigeração por compressão de vapor	42
3.6.3 Sistemas de compressores dos condicionadores de ar.....	44
3.6.3.1 Compressor alternativo.....	46
3.6.3.2 Compressor rotativo.....	48
3.7 Sistema split inverter.....	49
3.8 Radiação solar.....	51
3.9 Fibra MDF	53
3.10 Embalagens Tetra Pak	56
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	58
4.1 Materiais.....	58
4.1.1 Caracterização do local do estudo.....	58
4.1.2 Caracterização do condicionador de ar.....	59

4.1.3 Materiais isolantes	61
4.1.4 Sonoff Pow R₂	62
4.1.4.1 Instalação do <i>Sonoff Pow R₂</i>	64
4.1.5 Disposição dos revestimentos.....	65
4.2 Métodos	67
4.2.1 Critérios de medição.....	68
4.2.2 Períodos analisados	69
4.2.3 Caracterização climática externa.....	69
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
5.1 Análise do consumo energético <i>versus</i> índices de radiação	75
5.2 Análise da eficiência energética.....	78
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	84
8 REFERÊNCIAS	85
APÊNDICE A – ARTIGO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO	90

1 INTRODUÇÃO

Em geral, no Brasil, não há conhecimento e empenho suficientes quanto à eficiência energética e adequação do conforto térmico por parte da construção civil, nas repartições públicas e privadas, dentre outros setores. O que basicamente, origina três problemas: o problema estético das fachadas, o desconforto térmico dos usuários e o elevado consumo energético dos aparelhos de ar-condicionado (GOLDEMBERG, 2006).

Desde os primórdios das civilizações, existem as necessidades físicas que se resumem a um número de produtos e ações em busca de suprir tais necessidades, desse modo se desenha o modelo de sociedade que existe. Contudo, as necessidades humanas crescem rapidamente, promovendo o desenvolvimento de complexos sistemas logísticos que desenvolvem de forma solidária, exigindo que tudo funcione de maneira coordenada e padronizada o que permite uma certa organização (GOLDEMBERG, 2006).

O Brasil, é o sexto maior em consumidor de energia elétrica no planeta. Os estudos apontam para a continuidade desse crescimento, ao sugerir que grande parte dessa eletricidade tem como destino o condicionamento artificial do ar, conforme sugerem os artigos publicados pela (IEA, 2021). Desse modo, o tema redução ou controle do consumo é pertinente, uma vez que, busca debater e refletir de forma hábil seu uso para o dia a dia, torna necessário encontrar formas de utilizar os recursos de maneira racional, pensando na utilização dos sistemas de condicionamento de ar, por exemplo. Portanto, o foco passa a ser as condições de uso, manutenção preventiva e conforto térmico de forma viável economicamente, adequando seu uso as necessidades dos usuários de forma mais eficiente.

À proporção que as cidades se tornam mais populosas impactam diretamente no poder de consumo das pessoas, e um dos aspectos que reflete esse movimento é o consumo de equipamentos de refrigeração, que cresce rapidamente. As projeções da IEA, (2020) revelam que até 2050, o consumo de energia a partir de ar-condicionado deve triplicar, proporcional a quantidade de aparelhos instalados. Apontam que a quantidade de equipamentos de ar-condicionado deve passar de 1,6 bilhões para 5,6 bilhões, ou dez novos aparelhos sendo vendidos a cada segundo pelos próximos trinta anos (IEA,2020). Embora no Brasil praticamente toda a energia elétrica disponível é produzida por meio de fontes renováveis, o que representa aproximadamente 95% da produção comparado a outras fontes no país (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2019), esse elevado aumento de demanda exige planejamento energético.

O índice de eficiência energética dos condicionadores de ar varia bastante no mercado, de modo que os modelos vendidos na União Europeia e no Japão, consomem cerca de 25% menos energia elétrica do que os aparelhos vendidos na China e Estados Unidos, por exemplo. Após a ratificação de convenções internacionais como Protocolos de Kyoto e Montreal, onde alguns países se comprometeram a substituir os gases utilizados nos sistemas de refrigeração, com a finalidade de reduzir o impacto no aquecimento global, os relatórios da Agência Internacional de Energia destacam o potencial em tornar esses aparelhos mais eficientes, através da necessidade de estabelecer critérios e elaborar padrões mínimos globais de desempenho energético (IEA, 2018).

No Brasil grande parte das instituições públicas de ensino superior estão instaladas em prédios antigos, adotam sistemas de condicionamento mecânico para refrigerar os ambientes, elevando o seu consumo de energia. Os dados divulgados pela EPE, (2016) demonstram que a incorporação de sistemas de ar-condicionado nessas instituições, elevou cerca de 50% seus custos operacionais, fazendo que grande parte delas optem pela demanda contratada de energia com a concessionária. A maior participação na estrutura de consumo do setor comercial e serviços, referem-se ao condicionamento ambiental também nas regiões brasileiras. Nesse setor em específico se torna uma importante fonte com potencial de grande economia, dada a sua importância nas instalações mediante a combinação da redução da carga térmica, aliada ao uso de tecnologias eficientes de melhor controle dos sistemas e geração de frio no ambiente (EPE – BEM, 2020).

Um caminho alternativo na busca por mudanças, está na implementação de ações conscientizadoras voltadas as pesquisas e aos ambientes de ensino. Dessa forma, fomentar nos espaços acadêmicos e escolares, desenvolver o conhecimento e utilizar instrumentos inovadores que ofertam e possibilitam novas ações de aprendizagem, visando concretizar e ampliar ações de práticas educativas comportamentais. Essa alternativa viabiliza o processo de aprendizagem por meio de metodologias que favoreçam o desenvolvimento de ações voltadas para favorecer a mudança cultural na forma de utilizar os equipamentos elétricos e assim executar e disseminar essas práticas além das fronteiras acadêmicas (DE VECCHI, 2011).

Os recursos tecnológicos tornam o ambiente da sala de aula mais versáteis, permite flexibilizar e ampliar o uso de ferramentas modernas, que contribui para elevar a carga térmica no ambiente sem prejudicar o conforto térmico e o consumo energético. Nesse sentido, é relevante investigar como as variáveis da eficiência energética impactam as taxas de evasão e o desempenho dos alunos em ambientes de ensino climatizados, em regiões brasileiras onde a

amplitude térmica tem grande variabilidade ou que possuem características bioclimáticas mais quentes (CERQUEIRA, 2003).

Considerando que as salas de aula são ambientes de permanência prolongada, onde as condições de conforto interno são essenciais ao bom desempenho e satisfação dos indivíduos, são necessárias alternativas que visam promover o conforto térmico sem precisar renunciar à eficiência energética dos equipamentos elétricos. Logo, a motivação do presente trabalho é aproveitar a característica de isolamento térmico presente em alguns materiais de descarte como o MDF e as embalagens Tetra Pak, e reutilizá-los no entorno do condicionador de ar, formando uma malha térmica, com a finalidade de investigar o comportamento de consumo do equipamento sob a influência da radiação solar.

Tendo em vista uma interligação dos objetivos que oferecem subsídios para a elaboração deste trabalho, pretende-se avaliar os materiais e as variáveis climáticas coletadas nos períodos medidos, com o objetivo de promover indicadores de efficientização energética e térmica, para analisar e sugerir benfeitorias ao sistema atual. O condicionador de ar está instalado em um ambiente de ensino de uma instituição pública, localizada na região Sul brasileira.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Esta pesquisa propõe estudar alternativas com materiais ecológicos para diminuir o consumo energético de um ar-condicionado, efetuando o gerenciamento através de um equipamento inteligente sem fio, conectado ao mesmo. Espera considerar as alternativas viáveis para melhorar a eficiência energética do aparelho, pontuar medidas de controle e suas caracterizações.

2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, destacam-se:

- Caracterizar o local e o equipamento do estudo;
- Selecionar materiais de descarte para uso como material isolante no condensador;
- Instalar o interruptor de energia sem fio para controlar remotamente o uso da energia elétrica;
- Definir os critérios de medição, tais como o intervalo de tempo, a velocidade do ventilador e temperatura no aparelho;
- Medir remotamente o consumo energético do ar-condicionado, em kWh;
- Analisar o efeito da radiação e temperatura sobre o consumo medido;
- Estimar a eficiência energética do sistema proposto.

O desenvolvimento do trabalho baseia-se na revisão de literatura e busca ressaltar as ideias que envolvem o tema.

3 REFERENCIAL TEÓRICO E CONCEITOS GERAIS

Nesta seção, serão abordadas de forma contextualizada acerca da energia, eletricidade e os principais conceitos e definições relacionados ao tema de estudo proposto, através da demonstração e análises relevantes ao tema. Assim, envolve a pesquisa, estrutura e ilustrações gráficas fundamentais das atividades de planejamento e acompanhamento apropriados para análise do setor energético nacional. O consumo de equipamentos são os principais consumidores finais de energia elétricas nos setores analisados, apresentar a análise comparativa das curvas de carga das regiões brasileiras, de climatização, conforto térmico, bem como os fatores que influenciam na avaliação do seu desempenho.

3.1 Panorama energético nacional

O conceito de energia é um agente intrínseco na história desde o seu princípio. Das questões que envolvem sobrevivência ao conforto, o seu uso tem sido crescente e abundante desde a era da Revolução Industrial. Cientificamente entende-se que a energia presente no universo é considerada infinita, e que passa por diversas transformações. Desse modo, a energia foi definida de forma simplificada como a capacidade de um sistema de realizar trabalho. Trabalho esse com capacidade de se deslocar e converter (INCROPERA, F.; DEWITT, D.P, 2014). Precisamos de energia para viver, preparar refeições, ligar a luz, nos transportar, para utilizar eletrodomésticos e eletrônicos e mais uma infinidade de operações. A energia é imprescindível para o funcionamento das atividades da sociedade e em diversos setores, especialmente do setor de energia elétrica, pois dela depende o funcionamento de grande parte dos equipamentos públicos, industriais, comerciais e residenciais.

Essa energia deriva de um complexo de fontes, que formam uma matriz energética. A matriz energética equivale ao conjunto de fontes disponíveis com a finalidade de suprir a demanda de energia (EPE, 2020).

No Brasil o Ministério de Minas e Energia é a instituição pública responsável por documentar e definir os procedimentos adotados na política energética nacional. O relatório do Balanço Energético Nacional – BEN, o qual documenta e divulga, anualmente, ampla pesquisa e contabilidade referente à oferta e consumo de energia no país, é fundamental para as funções de planejamento e monitoramento do desempenho do setor energético nacional (EPE, 2020).

Com a finalidade de prestar serviços nas áreas de pesquisas e estudos atribuídos ao planejamento do setor energético, foi instituída em agosto de 2004 a Empresa de Pesquisa

Energética – EPE, vinculada ao MME. Empresa também pública e responsável por delinear o amplo planejamento do setor energético, tais como carvão mineral, petróleo e gás natural com seus derivados, energia elétrica, fontes energéticas renováveis, eficiência energética, entre outras. Assim, dentre as competências da EPE, é responsável por formular e publicar a edição do relatório consolidado do Balanço Energético Nacional, onde demonstra principalmente a demanda energética de cada setor, comumente divulgando-o no primeiro semestre, posterior ao ano base analisado (EPE, 2020).

Um importante critério no subsídio da demanda de energia é a eficiência no seu uso, de modo a garantir a segurança e qualidade energética do sistema nacional, promover a moderação das tarifas, motivar a competitividade da economia, bem como ganhos de eficiência energética aliados a redução das emissões de gases de efeito estufa.

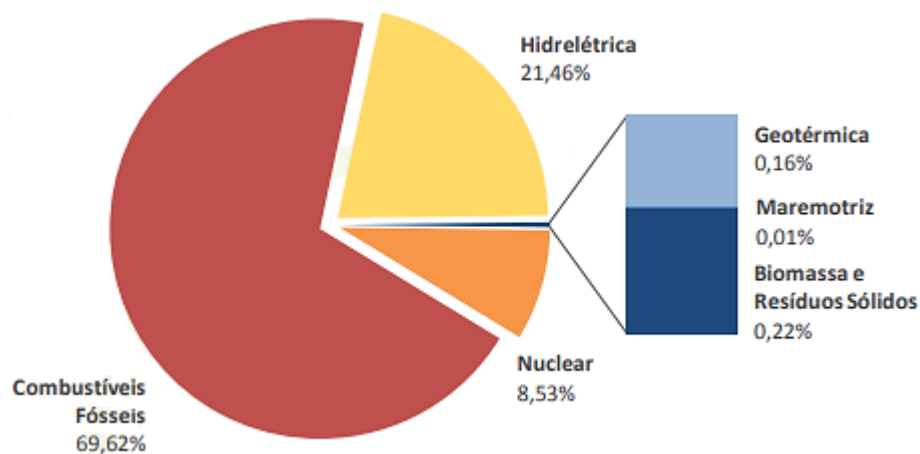
3.2 Análise do desempenho energético e dados agregados

A energia tem substancial importância no cenário do desenvolvimento mundial. É determinante considerar ao analisar os dados fornecidos de geração, tanto as ofertas em energia primária, quanto para as fontes em si, pois eles apontam as tendências de produção e consumo, que são essenciais para compreender o comportamento da matriz energética mundialmente e a nível país (GOLDEMBERG, 2006).

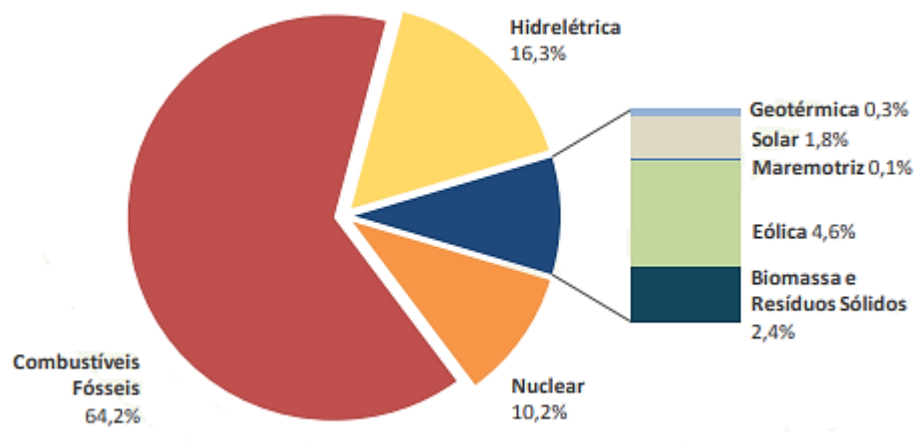
Os termos: matriz energética e matriz elétrica, comumente causam confusão. A matriz elétrica é parte integrante da matriz energética, já que esta engloba o conjunto de fontes de energia ofertado para captar, distribuir e disponibilizar para os diversos setores e os mais variados tipos de utilização, que vão de gerar eletricidade a movimentar os meios de transportes. Assim, a matriz energética caracteriza esse conjunto de fontes de energia, que são oriundas de fontes renováveis e não renováveis, conforme sua prioridade por um determinado país de acordo com a viabilidade econômica e a disponibilidade de recursos (ANEEL, 2007).

No mundo, a Figura 1 mostra a produção de energia elétrica continuada que deu um grande salto em mais de 300% no período entre a década de 70 e o ano 2000, anos-base iniciais de quando começaram as pesquisas e divulgações especializadas acerca do setor energético no mundo, investigando cerca de 180 países e regiões envolvidos para coleta dados oficiais de oferta e demanda (IEA, 2020). Importante destacar que a maior parte desta energia mundial ainda é proveniente de fontes não renováveis até os dias atuais, embora houvesse uma diminuição da oferta de combustíveis fósseis em mais de 5% dentre os períodos ilustrados.

Figura 1 – Geração de Energia Elétrica Mundial por fonte (%). Gráfico da Geração Elétrica em 1980 (8.027 TWh) (A) e Gráfico da Geração Elétrica em 2019 (24.344 TWh) (B).



(A)



(B)

Fonte: EPE – BEM (2021)

A crise do Covid-19 ressaltou a importância de um fornecimento de eletricidade acessível, confiável e seguro em seu lastro, que seja capaz de acomodar mudanças repentinas de comportamento e atividades econômicas, ao mesmo tempo que continuar a apoiar serviços vitais de saúde e informação. A pandemia introduziu novas incertezas para o setor de energia e aumentou drasticamente as possibilidades de caminhos que esta poderia seguir. As principais questões incluem a duração da pandemia, a forma de recuperação e se a energia, eficiência e a sustentabilidade são incorporadas nas estratégias adotadas pelos governos para alavancar as suas economias (IEA, 2020).

Acerca das perspectivas para a eletricidade, o lançamento do relatório *Perspectivas Energéticas Mundiais (World Energy Outlook – WEO)* da Agência Internacional de Energia

(IEA), mapeia as expectativas de oferta e demanda de energia para o médio e longo prazo, com publicações anuais desde 1977. A agência é uma referência no tema, com potencial de influenciar decisões de empresas e governos. Nas publicações sobre o tema em 2020, os relatórios apontam que a economia global volta ao seu nível pré-Covid-19 em 2021, mas permanece cerca de 7% menor no longo prazo do que o projetado no relatório anterior no WEO-2019.

A agência afirma que a demanda total de energia retorna ao seu nível pré-crise até o início de 2023, embora as tendências e o tempo variem entre os países, como por exemplo, o uso de energia em economias avançadas aumenta após a crise, retornam aos níveis pré-pandemia e, em seguida, sobre 0,8% ao ano até 2030, impulsionada pela eletrificação da mobilidade e do calor, pois este impulsiona diretamente o aumento do consumo de ar-condicionado. As projeções sugerem que haverá uma rápida recuperação em países que tiveram sucesso inicial em controlar a pandemia. Quanto aos impactos negativos, sobre o crescimento e o consumo de energia, permanecem mais longos em vários países de baixa renda, onde os governos são menos capazes de amortecer os impactos da pandemia, as metas de ampliação do acesso à energia e o risco de adiar a implementação do saneamento básico (IEA, 2020).

Apesar da maior parte desta energia mundial ainda ser proveniente de fontes não renováveis os dados programam um forte crescimento, subindo dois terços de 2020 para 2030, vide Figura 2. A expectativa é que as novas fontes atendam a 80% do crescimento global da demanda de eletricidade durante a próxima década e ultrapassa o carvão até 2025 como principal meio de produção de eletricidade. As projeções apontam esse cenário sustentável liderado pela China, que deverá expandir a eletricidade de fontes renováveis em quase 1500 TWh até 2030, o que na prática equivale a toda a eletricidade gerada na Itália, França e Alemanha em 2019.

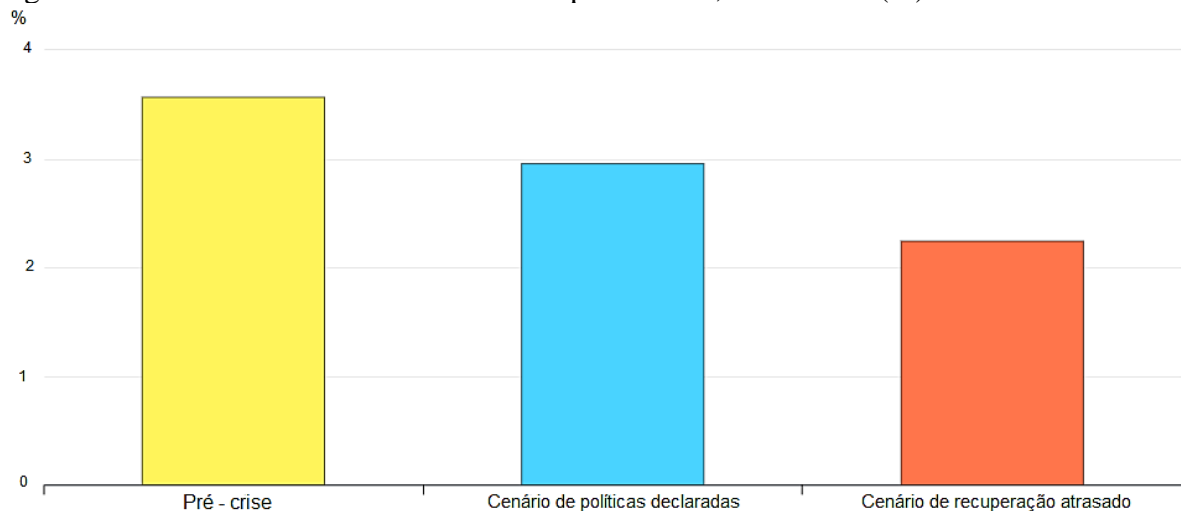
3.2.1 Uso final de energia por setor

A sombra dos efeitos da pandemia paira grande especialmente no cenário econômico que reflete diretamente na demanda energética. Com a demanda em economias avançadas em tendência de declínio, todo o aumento passar a ser através de mercados emergentes e economias em desenvolvimento, lideradas pela Índia, por exemplo. O ritmo mais lento de crescimento da demanda de energia, coloca pressão para reduzir os preços do petróleo e gás, em comparação com a trajetória pré-crise, embora as grandes quedas no investimento em 2020 também aumentem a possibilidade de volatilidade no mercado futuro. O menor crescimento da renda

reduz as atividades de construção e o consumo de novos aparelhos eletrodomésticos e carros, com os efeitos concentrados nos meios de subsistência nas economias em desenvolvimento (IEA, 2020).

Sobre o consumo e produção de energia no mundo e no Brasil houve uma desaceleração no crescimento do PIB (Figura 3), do consumo elétrico e da produção de energia primária após a fase do “milagre econômico”. O aumento exponencial da produção de energia primária nacional tem acompanhado o crescimento do PIB nos últimos trinta anos, porém, o consumo elétrico aumenta mais rapidamente em razão da expansão do acesso à rede elétrica pela população e a instalação de indústrias eletrointensivas de grande porte (GOLDEMBERG, 2006).

Figura 2 – Crescimento médio anual do PIB por cenário, 2020-2030 (%).



Fonte: IEA (2020)

É possível observar a relação direta entre consumo de energia elétrica com o crescimento do PIB, observamos uma relação direta entre ambos.

O consumo dos setores residenciais e comerciais apresentou crescimento elevado até o ano de 2014, ano em que o PIB apresentou um leve crescimento. Já no ano de 2015, o consumo residencial apresentou uma retração, juntamente com o setor industrial e o setor público, enquanto no setor comercial o consumo pouco cresceu. Esse movimento se deve ao decréscimo do PIB no ano. Dessa forma, verifica-se que o consumo do setor residencial é influenciado diretamente pela economia. Ou seja, conforme a economia do país cresce, a população tem mais acesso a eletrodomésticos e/ou equipamentos que visam o conforto e uma melhor qualidade de vida. um desses equipamentos é o ar-condicionado.

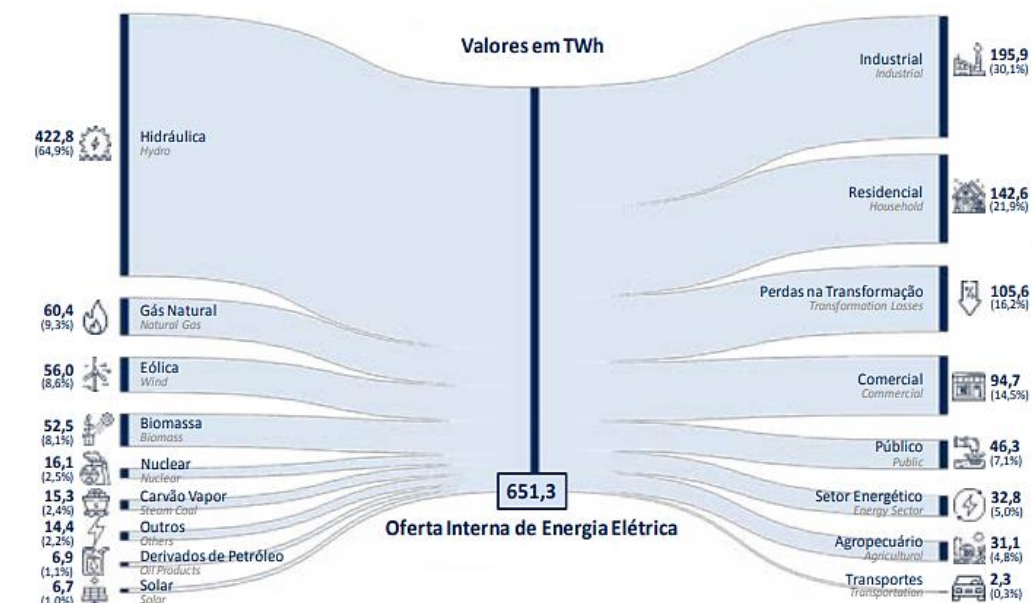
No Brasil, esse vasto crescimento no consumo de energia também é um fato. Na Figura 3 o gráfico mostra a variação do consumo setorial de energia elétrica em 2019 em relação ao

ano anterior. O país dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a fonte hídrica que responde por 64,9% da oferta interna. As outras fontes renováveis representam 83,0% da oferta interna de eletricidade no país, que faz referência a resultante das somas dos montantes da produção nacional mais as importações, que são de origem renovável. Os setores residencial e industrial participam com 26,1% e 25,9%, respectivamente (EPE, 2020).

No entanto, em alguns casos demonstram que o número de aparelhos de ar-condicionado pode crescer mais rápido do que a própria economia do país. No ano de 1990, menos de 1% da população urbana da China possui equipamentos de ar-condicionado. Já no ano de 2003, esse número era de 62% (IEA, 2020).

A participação setorial no consumo de eletricidade corresponde a 30,1% no setor industrial, 21,9% no residencial, 14,5% no comercial e 7,1% no público, juntos eles consomem 73,6% da energia elétrica no país. A geração de energia elétrica em autoprodutores e em centrais de serviços públicos no Brasil atingiu 651,3 TWh em 2019, resultado 4,26% superior ao de 2018. As centrais elétricas de serviço público, participaram com 83,7% do total da geração. A capacidade total de geração de energia elétrica alcançou 170.118 MW, acréscimo de 7.278 MW no Brasil em 2019 (EPE, 2020).

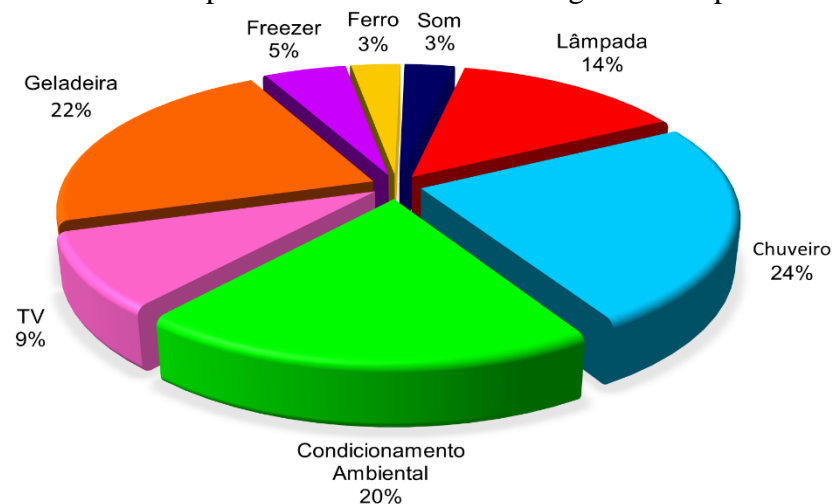
Figura 3 – Fluxo nacional de energia elétrica, ano base 2019.



Em 1985 o governo federal criou o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o qual é executado pela Eletrobras e visa promover o uso eficiente da

energia elétrica, colaborando com a disseminação e divulgação de combate ao desperdício e a redução dos investimentos setoriais, bem como os seus custos. Segundo a última pesquisa divulgada acerca da posse de hábitos de consumo, demonstra na Figura 4 a participação no consumo médio dos equipamentos eletrodomésticos mais comuns e em especial o condicionamento ambiental na classe de consumidores residenciais, que equivale a 20% de todo o consumo de energia elétrica nacional, nos períodos entre 2004 e 2006 (PROCEL, 2006).

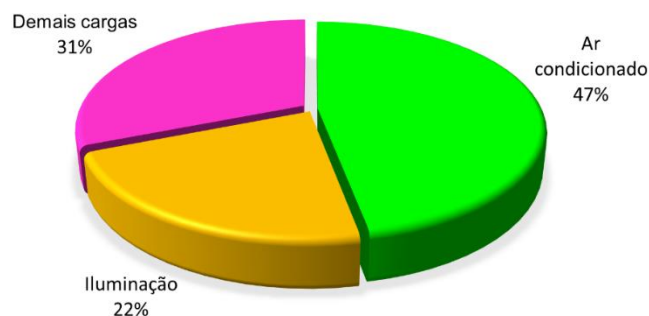
Figura 4 – Consumo médio final por eletrodomésticos da energia elétrica pela classe residencial.



Fonte: Adaptado de Procel (2006)

Ao ampliar essa análise, referente aos aparelhos de ar-condicionado para a participação na estrutura de consumo da classe comercial, seu uso final representa 47% do total de energia consumida, enquanto a iluminação é responsável por 22%, ver Figura 5. Os sistemas de ar-condicionado são uma importante fonte de economia nas instalações comerciais, porém somente 16,2% das instalações nas empresas pesquisadas na época possuíam termo circulação associada a um sistema de água gelada.

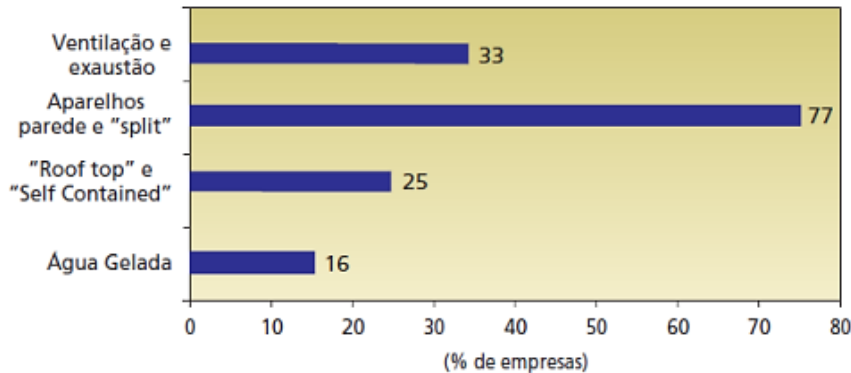
Figura 5 – Consumo final da energia elétrica pela classe comercial.



Fonte: Adaptado de Procel (2006)

De acordo com os dados levantados no que se refere aos tipos de sistemas de climatização, de modo geral, os sistemas *split* ou individuais de janela foram os mais encontrados nas instalações comerciais, equivalente a 76,6%, conforme indicado no gráfico da Figura 6 (PROCEL, 2006).

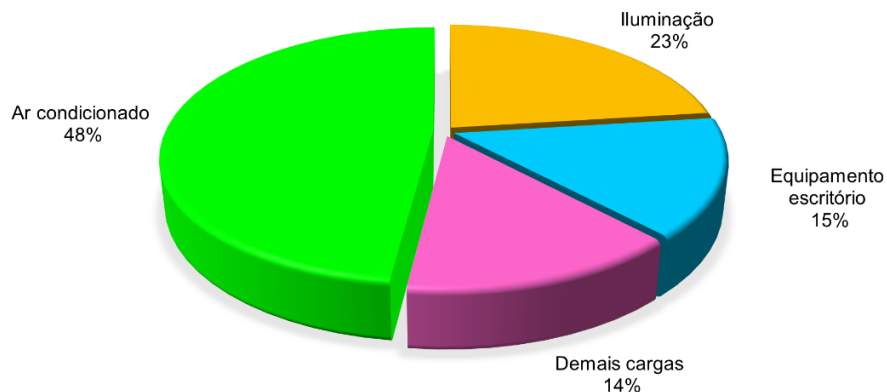
Figura 6 – Sistemas de ventilação ou ar-condicionado presentes na classe comercial.



Fonte: Procel (2006)

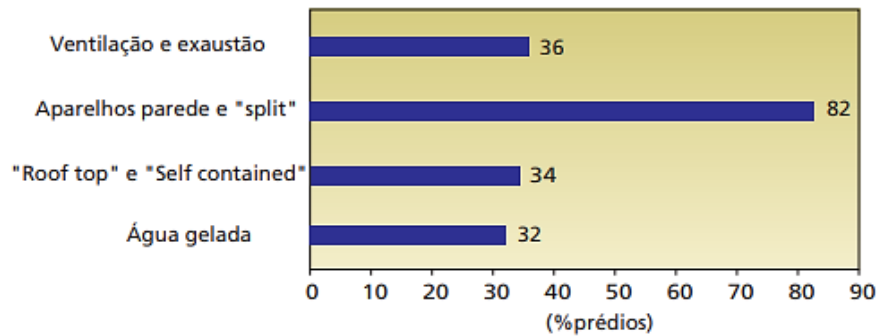
Ao considerar o fornecimento de energia elétrica segundo as tarifas, os relatórios de pesquisa apontam que 43% dos prédios públicos pesquisados se enquadram como consumidores convencionais. Verifica-se na Figura 7 que os principais usos finais quanto aos equipamentos de consumo nas instalações prediais públicas, equivale a 48% somente em equipamentos de ar-condicionado, os quais correspondem com 82% dos sistemas encontrados nos modelos individuais de parede ou *split*, conforme demonstrado na Figura 8 (PROCEL,2006).

Figura 7 – Consumo final da energia elétrica em prédios públicos.



Fonte: Adaptado de Procel (2006)

Figura 8 – Sistemas de ventilação ou ar-condicionado presentes em prédios públicos.



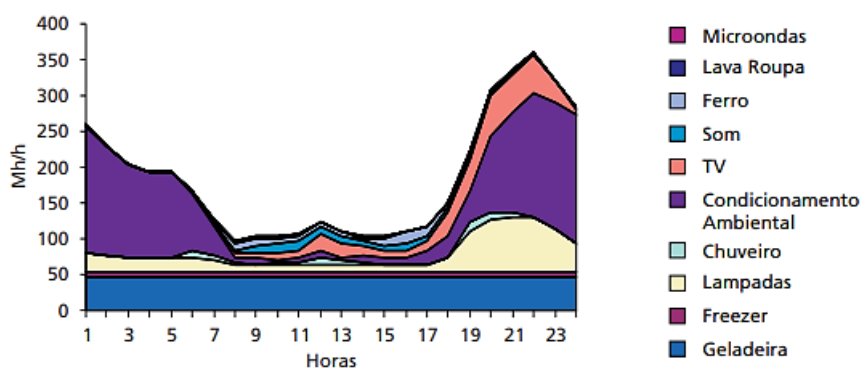
Fonte: Procel (2006)

3.3 Curva de carga

As curvas de carga ilustram o desempenho temporal do consumo de energia elétrica em âmbito nacional ou regional, através de registros de consumo mensurados durante a operação do sistema nacional. Com a dimensão continental de um país como o Brasil, a fim de prever e se preparar para a demanda energética do país futuramente, é primordial fazer um estudo comparativo das curvas de cargas das regiões brasileiras, com a finalidade de analisar as características de consumo regionais.

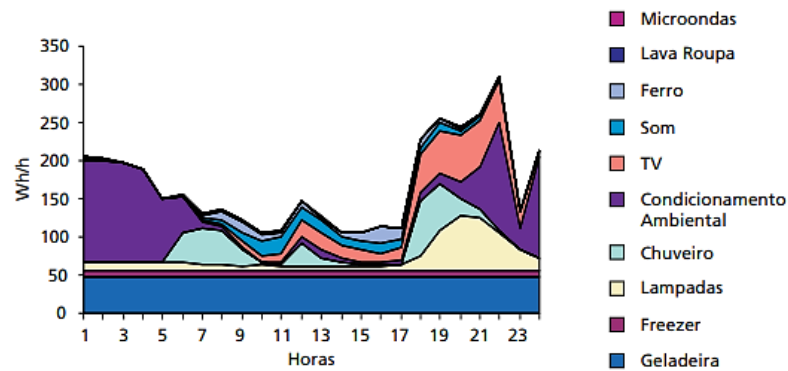
Executada pela Eletrobrás e divulgada em PROCEL, 2006 a última pesquisa realizada no país sobre a posse e os hábitos de consumo, datam do período entre os anos de 2004 e 2006. Embora obsoletos, os relatórios apresentam as curvas de cargas traçadas a partir da participação no consumo médio de cada equipamento residencial mais utilizado na época e da porcentagem de aparelhos de ar-condicionado instalados nos demais setores e comércios, nas diferentes regiões brasileiras. Assim, a pesquisa é o documento mais atual e relevante sobre o perfil de consumo no país, conforme ilustra nas imagens seguintes.

Figura 9 – Curva de carga domicílios Região Norte.



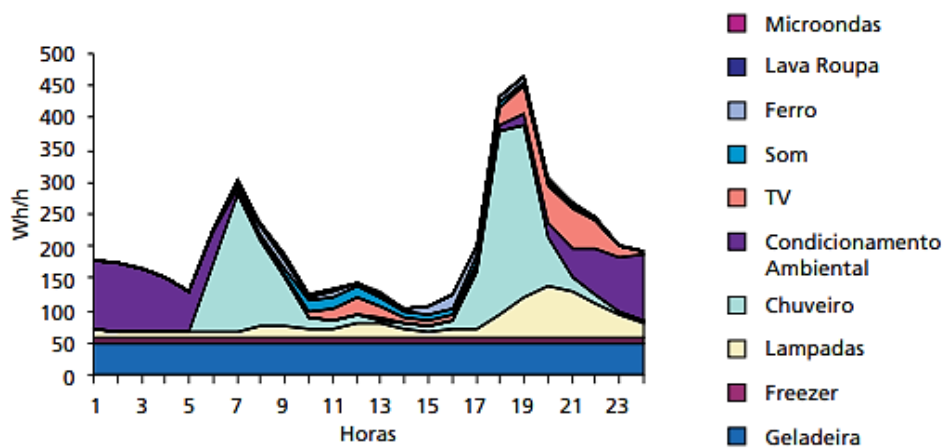
Fonte: Procel (2006)

Figura 10 – Curva de carga domicílios Região Nordeste.



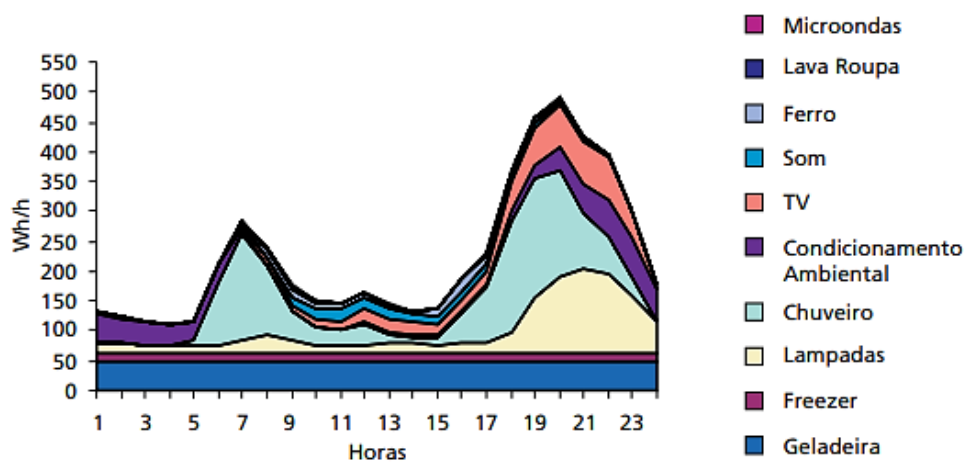
Fonte: Procel (2006)

Figura 11 – Curva de carga domicílios Região Centro-Oeste.



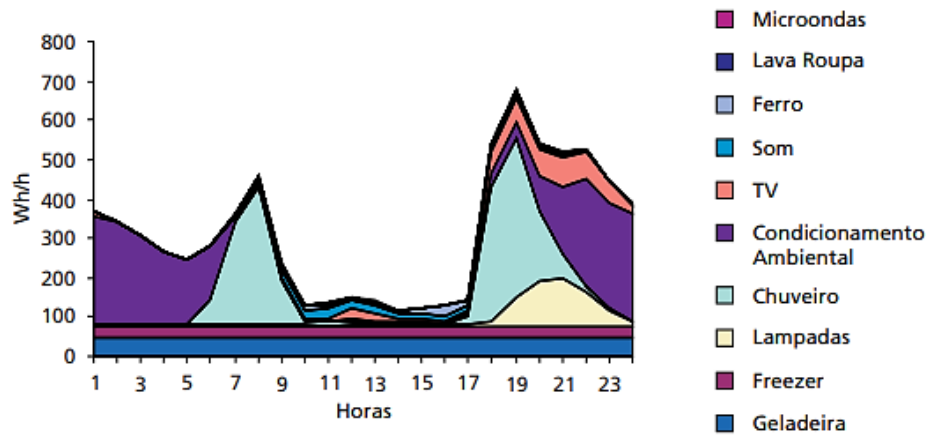
Fonte: Procel (2006)

Figura 12 – Curva de carga domicílios Região Sudeste.



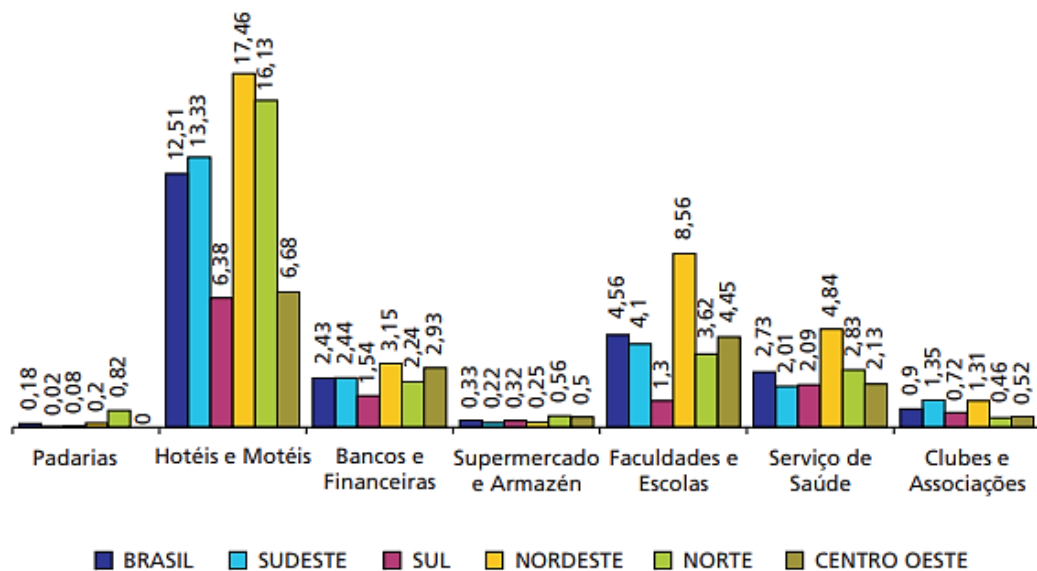
Fonte: Procel (2006)

Figura 13 – Curva de carga domicílios Região Sul.



Fonte: Procel (2006)

Figura 14 – Posse média de aparelhos de ar-condicionado setoriais e comércio por região.



Fonte: Procel (2006)

Ao analisarmos as imagens gráficas acima, nota-se que o resultado do consumo na curva de carga é mais evidente quanto ao condicionamento térmico especialmente nas regiões Nordeste e Norte do país. Enquanto nas regiões do Sudeste, Centro-oeste e Sul, há uma concentração de maior impacto na curva de carga dos equipamentos de aquecimento como chuveiro elétrico. Importante salientar a diversidade dos consumidores no grupo residencial brasileiro, sobretudo no que abrange ao uso dos eletrodomésticos e perfil de posse e uso, que podem ser, em parte, explicados pela diversidade climática, visto a vastidão do território nacional, mas também pelas variações de renda econômica familiar (EPE – BEM, 2020).

Ao observar o gráfico da Figura 14 a maior participação na estrutura de consumo do setor comercial e serviços, referem-se ao condicionamento ambiental também nas regiões brasileiras. Nesse setor em específico se torna uma importante fonte com potencial de grande economia, dada a sua importância nas instalações mediante a combinação da redução da carga térmica, aliada ao uso de tecnologias eficientes de melhor controle dos sistemas e geração de frio no ambiente (EPE – BEM, 2020). As imagens ilustradas sobre PPH referenciados pela PROCEL divulgados no ano de 2006, referentes ao ano base 2005, são os mais recentes disponíveis para consulta. No contato feito com a Eletrobras, eles afirmaram que foi aprovado em julho de 2020 o projeto PPH no Setor Comercial, porém ainda se encontra em fase de preparação dos documentos para realizar a licitação.

Apesar de existir variáveis climáticas e características específicas regionais que retratam o Brasil de modo muito peculiar e complexo, em termos de consumo elétrico, o condicionamento térmico gera um impacto muito semelhante em todo o país tanto nos setores comerciais, residenciais como nos públicos e de serviço, que apresentam uma significativa fatia no consumo de energia elétrica nacional.

3.4 Eficiência energética

Criado em 1985 pelo Ministério de Minas e Energia, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) é gerido pela Eletrobrás, com recursos da empresa, da Reserva Global de Reversão (RGR) e entidades internacionais. Seu principal objetivo é promover o uso eficiente da energia elétrica, combatendo o desperdício, reduzindo os custos e os investimentos setoriais.

Do ano de 1986 até 2006, a Eletrobrás-Procet investiu cerca de R\$ 329,22 milhões nos programas de eficiência energética, que somado aos recursos do RGR (R\$ 627,56 milhões) e a outros investimentos (R\$ 37,49 milhões), totaliza uma quantia superior a R\$ 1 bilhão. Estima-se que estes investimentos geraram um saldo positivo em economia de energia em torno de 28,53 bilhões de kWh/ano, o que equivale a uma usina de 6.841MW a menos no sistema de geração de energia elétrica no país (GOLDEMBERG, 2006).

A Eletrobrás-Procet investiu cerca de R\$ 329,22 milhões nos programas de eficiência energética entre o ano de 1986 até 2007, que somado aos recursos do RGR (R\$ 627,56 milhões) e a outros investimentos (R\$ 37,49 milhões), totaliza uma quantia superior a R\$ 1 bilhão. Estima-se que estes investimentos geraram um saldo positivo em economia de

energia em torno de 28,53 bilhões de kWh/ano, o que equivale a uma usina de 6.841MW a menos no sistema de geração de energia elétrica no país (GOLDEMBERG, 2006).

Inicialmente elaborado para estabelecer critérios de eficiência energética na área de energia elétrica, atualmente o PROCEL atua em diversas áreas, como:

- Procel Edifica: Eficiência Energética em Edificações;
- Procel EPP: Eficiência Energética nos Prédios Públicos;
- Procel Reluz: Eficiência Energética na Iluminação Pública e Sinalização Semafórica;
- Procel Educação: Informação e Cidadania;
- Procel Industria: Eficiência Energética Industrial;
- Procel Sanear: Eficiência Energética no Saneamento Ambiental;
- Procel GEM: Gestão Energética Municipal.

Em parceria com o PBE em 1993, foi criado o selo Procel de Economia de Energia, Figura 15, com o intuito de identificar equipamentos com níveis ótimos de eficiência energética.

Figura 15 – Selo Procel de economia de energia.



Fonte: Procel (2021)

A Agência Internacional de Energia (IEA) afirma que o aumento da eficiência energética é a forma mais rápida e econômica de lidar com a segurança energética e seus desafios ambientais e econômicos. A IEA (2021) apresenta um relatório com recomendações de políticas para eficiência energética a partir das quais seria possível reduzir cerca de 17% do consumo anual de energia no planeta.

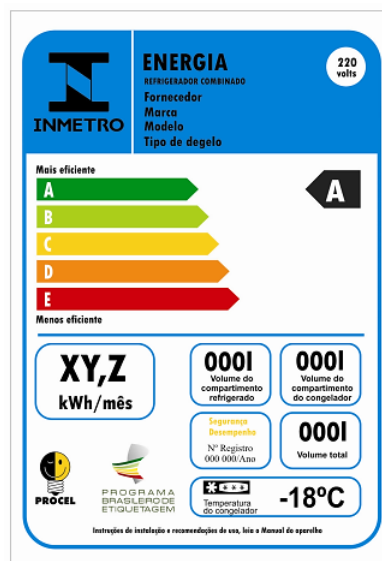
3.4.1 Programa brasileiro de etiquetagem

O Inmetro iniciou em 1984 o PBE com a finalidade de contribuir com a racionalização do uso da energia no Brasil através de informações que auxiliem o consumidor na hora da compra, o PBE, a princípio criado para atender apenas a área automotiva, cresceu e se tornou um programa de extrema importância, atuando principalmente em produtos consumidores de energia elétrica. É um importante programa de eficiência energética, que auxilia o consumidor a optar por equipamentos mais eficientes na hora da compra. Na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), Figura 17, os equipamentos são classificados conforme o coeficiente de eficiência energética. Constam também dados como tensão de alimentação, ciclo reverso ou não, modelo, marca, capacidade de refrigeração, e o consumo médio mensal.

Conhecida como a Lei de Eficiência Energética, Lei 10.295 de 17 de outubro de 2001, o PBE passou a fazer exigências relacionadas ao desempenho de produtos, estabelecendo índices mínimos de eficiência energética baseando-se no Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE).

O uso do índice de eficiência energética é a melhor ferramenta para avaliar e comparar o desempenho e a eficiência de sistemas de condicionamento de ar. Desde o estabelecimento de um valor mínimo, até os dias de hoje, é possível observar uma evolução nos índices de eficiência energética dos equipamentos comercializados. A partir de dados do Inmetro, é possível verificar ao longo do tempo o número de equipamentos split cadastrados no programa PBE assim como sua respectiva classe de eficiência energética de consumo.

Figura 16 – Etiqueta nacional de conservação de energia para equipamentos elétricos.



Fonte: Procel (2021)

Embora tenha havido um certo avanço desde o estabelecimento de um índice mínimo, a eficiência dos equipamentos comercializados no Brasil ainda é muito baixa se comparada a outros países. Os Estados Unidos, desde 2006, adotou um índice mínimo de eficiência energética de 3,8W/W. Embora seja um mercado mais maduro, a diferença de índices é muito elevada. Em 2010, a China elevou seu índice mínimo para 3W/W. Enquanto o equipamento mais eficiente avaliado pelo PBE apresenta coeficiente de eficiência energética de 4,79 W/W, na China há equipamentos com valores superiores a 6,0 W/W, e no Japão tal coeficiente ultrapassa o valor de 6,5 W/W. (PEREIRA; LAMBERTS; GHISI, 2013). Na Figura 17 é listada a classificação da eficiência energética no Brasil.

Figura 17 – Etiqueta nacional de classificação de eficiência energética.

CONDICIONADORES DE AR SPLIT HI-WALL				Data atualização: 19/02/2014			
Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)			Split Hi-Wall			
				Rotação Fixa		Rotação Variável	
A	3,20	<CEE		309	28,9%	206	88,0%
B	3,00	<CEE ≤ 3,20		218	20,4%	17	7,3%
C	2,80	<CEE ≤ 3,00		337	31,5%	11	4,7%
D	2,60	<CEE ≤ 2,80		180	16,8%	0	0,0%
E	2,39	≤CEE ≤ 2,60		25	2,3%	0	0,0%

Fonte: Procel (2021)

A política de adoção de um índice mínimo de eficiência energética é uma ferramenta muito importante para a conservação de energia e aumento da eficiência dos equipamentos comercializados no país. Todavia, devem-se adotar critérios mais rigorosos de modo a se obter resultados mais satisfatórios.

Com a crise energética enfrentada pelo país em 2001, foram criados mecanismos legais para direcionar a política nacional de conservação e uso racional de energia, requerendo regulamentação específica para indicação de níveis mínimos de eficiência. Nesse mesmo ano foi criado o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE). Entre as realizações do CGIEE está a definição de níveis mínimos do coeficiente de eficiência energética para condicionadores de ar.

O incentivo de exigências relacionadas à eficiência energética de equipamentos é uma necessidade evidente, tendo em vista o atual cenário energético nacional. Porém, importante ressaltar que o nível mínimo estabelecido é tímido se comparado ao praticado em outras nações.

Tabela 1 – Calor liberado por equipamentos elétricos.

Tipo de equipamento	Calor liberado
	(BTU/h)
Aparelhos elétricos - kW	3412
Cafeteiras – por litro	595
Torradeiras e aparelhos de grelhar - kW	3412
Forno elétrico – serviço cozinha kW	3412
Motores elétricos	
Até 1/4 CV – por CV	4166
1/2 a 1 CV por CV	3571
1.1/2 a 5 CV por CV	3174
1/2 a 1 CV por CV	2976
7.1/2 a 20 CV por CV	2877

Fonte: Adaptado Procel (2021)

3.5 Conforto térmico

O meio em que estamos inseridos é considerado termicamente estável quando promove condições climáticas internas adequadas ao seu uso final e às exigências dos usuários, que abrangem aspectos pessoais e físicos.

Os primeiros estudos das condições térmicas ambientais com medições de temperatura do ar datam do século XVII, em Florença e em Pequim. No início do século XIX há as primeiras pesquisas referentes ao estresse térmico na Europa, estimulado por problemas de saúde de trabalhadores das indústrias têxteis e mineradoras (ARAÚJO, 1996).

Com o advento dos sistemas de ar-condicionado no século XX, surgiram os procedimentos mais eficazes para medir as variáveis climáticas e relacioná-las ao conforto térmico, o que embasou as primeiras análises de desempenho de ambientes já construídos.

Conforto térmico é definido como uma “condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico” (FANGER, 1970). Assumido também por normativas internacionais como a ASHRAE 55 (2013) esse conceito implica que o estabelecimento das condições ideais de conforto térmico envolve aspectos também subjetivos do usuário, não somente os objetivos, e dependem da percepção, expectativa e preferência de cada indivíduo (DE VECCHI, 2011).

Há três condições principais a serem atingidas para que o indivíduo alcance o estado de conforto térmico: neutralidade térmica, em que o calor produzido pelo organismo seja transferido na mesma proporção ao ambiente através dos mecanismos de radiação, evaporação,

convecção ou condução; a temperatura da pele e a taxa de secreção do suor não ultrapasse limites pré-estabelecidos como ideais; e que não haja nenhum tipo de desconforto térmico localizado, como uma corrente de ar indesejada, insolação direta e outros, segundo ALVES (1997).

Alguns critérios foram elaborados ao relacionar o conforto térmico aos fatores climáticos. Olgay elaborou em 1952 uma carta bioclimática onde destaca as condições ambientais das edificações construídas onde demonstra as zonas de conforto com base nas variáveis de temperatura de bulbo seco (eixo ordenada) e umidade de ar (eixo abscissa).

Na década de 70, um importante estudo desenvolvido na Dinamarca por Fanger, avaliou alguns grupos de pessoas que foram submetidas a diferentes condições térmicas, vestidas de uma forma padrão e realizando uma atividade sedentária em câmaras climatizadas. Através desse estudo, o autor elaborou o “Modelo PMV”, que se baseia na teoria do equilíbrio entre o ambiente e o corpo humano; assim, o conforto térmico teve uma abordagem mais analítica. O conforto térmico do modelo foi determinado através dos cálculos dos índices PPD (porcentagem estimada de insatisfeitos) e PMV (voto médio predito), que são obtidos através de uma função que contém seis variáveis, onde as quatro primeiras são físicas ou ambientais e as duas últimas pessoais, onde engloba a atividade realizada pela pessoa, a umidade e temperatura do ar, a velocidade relativa do ar, a temperatura média radiante e o vestuário utilizado.

A teoria de Fanger identifica que levando em consideração os elementos subjetivos envolvidos na determinação do conforto térmico, não é possível que em um mesmo ambiente, um grupo de pessoas restritas às mesmas vestimentas e condições térmicas, estejam todas igualmente confortáveis termicamente. Nesse sentido, XAVIER (1999), indica que além das pessoas padronizadas e das seis variáveis avaliadas, há elementos psicológicos que devem ser considerados, como por exemplo a sensação pessoal de cada um ao se sentir mais resfriado ou mais aquecido frente aos demais, a temperatura percebida pelo indivíduo e a própria adequação e tolerância característica de cada um.

Estudos relativos à essa abordagem mais adaptativa consideram o homem um agente ativo, pelo fato de interagir com o meio para definir sua sensação térmica e preferências. Desse modo, o estado de equilíbrio térmico é considerado dinâmico, o oposto do que foi abordado para formular o modelo do PMV (XAVIER, 1999).

Alguns estudos apontaram que os índices PPD e PMV são aplicáveis em ambientes condicionados, aquecidos e climatizados artificialmente. Porém, para ambientes ventilados

naturalmente em regiões mais quentes há uma grande imprecisão, já que a modelagem não considera o fator adaptação.

De acordo com ALVES, (1997) as modelagens adaptativas abrangem três fatores: atividades comportamentais, fatores psicológicos e fisiológicos. Esses fatores se referem a hábitos básicos do cotidiano como o uso e ajustes das vestimentas e calçados, ação de fechar e abrir portas e janelas, ligar aparelhos de refrigeração, a posição em que se encontra etc. Desse modo, não é possível definir uma combinação térmica ideal padronizada para um ambiente, pois há inúmeras combinações possíveis e aceitáveis, desde que aplicados meios de adequação por parte dos envolvidos. Por consequência, a avaliação do conforto térmico não é padronizada para todos os países e deve ser estudada de acordo com a localidade.

3.6 Funcionamento de condicionadores de ar

Ao pensar em energia remetemos a sua origem, as sociedades primitivas que para realizar suas atividades do dia a dia como caçar, atividades domésticas e principalmente para se aquecerem, obtivam a energia necessária de forma arcaica através da natureza. Séculos se passaram até que o modo de adquirir energia fosse aperfeiçoado durante a antiga Idade Média, onde os métodos que utilizavam o vento e os cursos dos rios a fim de gerar energia foram disseminados; porém, ainda escasso frente a súbita explosão populacional e consequentemente formação das grandes cidades. Já na transição da Revolução Industrial no século XVIII, surgiu a necessidade de mais energia para o transporte até os centros consumidores e para a manufatura, gerando um custo e impacto para a produção em grande escala de petróleo, gás e o carvão (GOLDEMBERG, 2006).

O termo conservação de energia, de modo geral, é empregado somente à sistemas isolados. Em (INCROPERA, F.; DEWITT, D. P., 2014) menciona que transferência de calor é energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperaturas no espaço. Enquanto a transformação de energia é um fenômeno físico no qual a energia transita de uma determinada forma para outra. Ainda segundo os autores, ao nos referirmos aos modos de transferência de energia, esses podem ser definidos como:

- **Condução:** Às interações entre as partículas transcorre na presença de um gradiente de temperatura, que resulta em uma transferência de energia das moléculas mais energéticas para as menos energéticas, assim a transferência ocorre na direção da diminuição da temperatura. Logo a transferência de calor ocorre através do meio.

- Convecção: Aqui há dois sistemas de transferência de calor, um devido ao movimento global do fluido e outro através do movimento molecular aleatório deste. A transferência de energia ocorrerá entre uma superfície e um fluido em movimento, quando estes estão em diferentes temperaturas. Esse modo ainda pode ser classificado de acordo com a natureza de escoamento do fluido que é mantido pelos efeitos combinados do movimento global da condução e pelo movimento aleatório molecular no interior da camada limite.
- Radiação térmica: As superfícies com uma temperatura diferente de zero emitem energia na forma de ondas eletromagnéticas, que também podem incidir a partir da sua vizinhança, não necessitando de um meio material para que ocorra essa transferência de energia.

De acordo com o explanado no capítulo anterior, o condicionamento térmico em ambientes configura um consumo elétrico expressivo nas classes comerciais, públicas e residenciais, em todas as regiões brasileiras. Várias pesquisas, estudos e artigos justificam o potencial da conservação de energia com foco em condicionamento ambiental, visto o impacto econômico significativo nas instalações comerciais, mediante o ajuste da carga térmica, aliado a implantação de inovação tecnológicas e implantação de projetos de eficiência. Segundo a PROCEL 65% das empresas pesquisadas até 2006 consideram a melhoria da eficiência energética entre as suas prioridades para instalação de equipamentos térmicos, avaliam alternativas de reformas e ampliação das instalações bem como a aquisição de equipamentos mais modernos que consequentemente gerem menos impacto especialmente na fatura de energia.

Um modo eficaz de combater o desperdício e disseminar o conhecimento acerca do uso eficiente da energia. Desse modo, definir um piso de eficiência para os equipamentos, incentiva e condiciona os fabricantes a produzirem equipamentos cada vez mais eficazes.

Associado a criação do índice mínimo, é imprescindível a concretização de meios a fim de promover as mudanças de hábitos de consumo da sociedade juntamente a conscientização da necessidade de combater o desperdício.

Os sistemas de condicionamento de ar estão em constante evolução, pois tem como principal função tornar ambientes fechados agradáveis, seja através da refrigeração ou aquecimento, a fim de gerar uma sensação de conforto térmico nos usuários desses espaços.

3.6.1 Tipos de Condicionadores de ar

Segundo Creder (2004), o tipo de instalação depende das dimensões da carga térmica do recinto que será refrigerado, desse modo pode ser categorizada:

- Aparelhos individuais, comumente com condensador de ar;
- Instalações centrais com condensador de ar;
- Instalações centrais com condensador de ar em circuito aberto;
- Instalações centrais com condensação a vapor de água;
- Instalações centrais com circulação de água gelada nas serpentinas.

Há duas potências em um condicionador de ar, uma potência elétrica e uma potência de refrigeração. A potência elétrica de um ar-condicionado representa a quantidade de energia elétrica que será gasta para aquecer ou resfriar determinado ambiente. Esta potência é diretamente atrelada a eficiência e tecnologia presente no sistema; desse modo, a fim de realizar cálculos de consumo energético, ela que deve ser aplicada, sua unidade é [W]. Já a potência de refrigeração é a capacidade do condicionador de ar de trocar calor com o meio em que está instalado, isso significa, o quanto se consegue resfriar ou aquecer o ambiente, nos equipamentos que possuem a função reverso no sistema, sua unidade é [Btu/h ou Watt/h]. O ciclo reverso presente em alguns equipamentos, opera de modo que quando se deseja resfria um ambiente, o ar-condicionado frio retira o ar quente do mesmo e o bombeia no lugar; enquanto ao operar na função quente, retira o ar frio do local e dispara o ar quente.

3.6.2 Ciclo de refrigeração por compressão de vapor

Ao analisar cada unidade individualmente, os compressores a vapor são considerados o “coração dos sistemas de refrigeração a vapor”. Através do ciclo termodinâmico pode-se controlar a temperatura de um sistema, através de um processo que ocorre quando deseja-se diminuir a temperatura, onde a energia térmica é removida de um meio específico ou um dado corpo. Os principais ciclos de refrigeração são: o ciclo de refrigeração por absorção, o ciclo de compressão padrão e o ciclo de refrigeração magnética (PIMENTA, 2010).

Nesta dinâmica o ciclo de refrigeração é um sistema fechado, por onde circula um fluido frio de modo a manter continuamente sua evaporação no local onde se deseja o resfriamento, seja um material ou ambiente e, em seguida, retorna as características iniciais do processo. O

fluido refrigerante ou gás refrigerante, é o produto químico utilizado em ciclos térmicos de sistemas de refrigeração e climatização, e passa de forma reversível pela mudança de fase de líquido a gás, absorvendo o calor e resfriando ambientes. O ciclo de refrigeração por compressão de vapor é o mais adequado para regular a refrigeração de um determinado produto ou o ambiente; equivale a sistemas utilizados em ar-condicionado e refrigeradores. Este ciclo é dividido em quatro processos com quatro componentes: compressor, condensador, válvula de expansão e evaporador (PIMENTA, 2010).

O ciclo de refrigeração abrange a execução contínua de quatro processos reversíveis sobre o fluido refrigerante. Conforme descrito abaixo na Figura 18, a dinâmica começa em (1-2) com o compressor, onde é comprimido o fluido frio até elevar a sua pressão de condensação. Ao sair do compressor, este fluido é aquecido a uma temperatura acima da temperatura necessária para condensação. Na prática nessa etapa do ciclo perde-se calor para o ambiente, porém é um valor mínimo em relação à potência de compressão necessária. Junto ao fluido refrigerante há uma quantidade pequena de um óleo, de baixa densidade, que é responsável pela lubrificação do compressor. Geralmente em condicionadores de ar, a temperatura máxima de condensação é cerca de 10° a 13° acima da temperatura ambiente, conforme apontado na Tabela 2. Em um ciclo ideal, desprezam-se as perdas, pois a compressão é considerada adiabática reversível (PIMENTA, 2009).

Na seção condensadora em (2-3), ocorre o regime de rejeição de calor do ciclo, a uma pressão constante. Nesta etapa o fluido na forma de gás saturado, é condensado ao longo do trocador de calor, onde o vapor é resfriado através de transferência de calor com o meio externo, de forma a ceder calor, até alcançar a temperatura de condensação; e então, é condensado até o estado líquido saturado (PIMENTA, 2009).

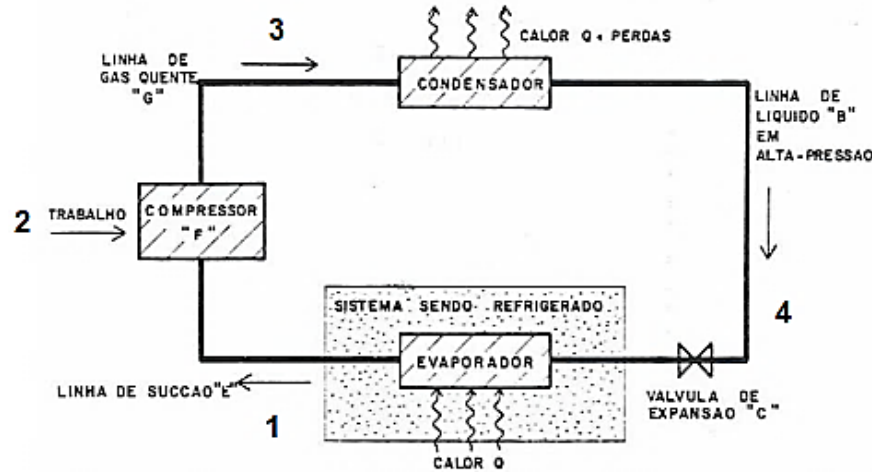
Na etapa (3-4) da válvula de expansão é onde ocorre uma queda pressão do fluido frio até atingir a pressão de vaporização (baixa pressão); porém é controlada e reduz a pressão do fluido da pressão de condensação para a pressão de evaporação. Nos condicionadores de ar, essa temperatura está em torno de 7°C. E um ciclo ideal despreza-se as variações de energia cinética e potencial:

$$h_3 = h_4 \quad [1]$$

Ao final do ciclo em (4-1) na unidade evaporadora, ocorre um movimento de transferência de calor a uma temperatura e pressão constantes. O fluido frio atravessa a serpentina na sua forma líquida, absorve o calor do ar forçado que passa entre os tubos no

ventilador, e assim, chega na unidade evaporadora no estado de vapor úmido. Desse modo, o processo ocorre até que o fluido saturado, ao receber calor latente o utiliza a fim de maximizar essa troca, passando finalmente para o estado de vapor. Por fim, retorna ao compressor e dá início a todo o ciclo novamente (PIMENTA, 2009).

Figura 18 – Relação entre os processos de um ciclo de refrigeração por compressão de vapor.



Fonte: Creder (2004)

Segundo CREDER, (2004) a fim de verificar os parâmetros que influenciam o desempenho dos sistemas, um critério fundamental ao analisar os sistemas de refrigeração, é o coeficiente de performance, COP. Além da potência consumida pelo compressor, o potencial de remoção do calor deve ser sempre máximo, portanto, o coeficiente também avalia a relação entre a capacidade de refrigeração obtida e o trabalho despendido por ela, em outros termos analisa a sua eficiência energética, pode ser definido como:

$$COP = \frac{Q_E}{W_C} \quad [2]$$

Onde Q_E é a potência de refrigeração em [kW] e W_C são potência de compressão em [kW].

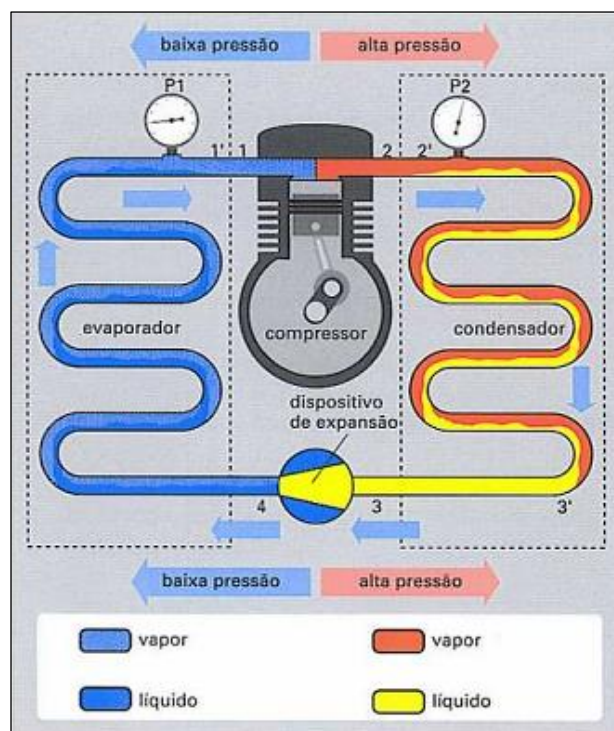
3.6.3 Sistemas de compressores dos condicionadores de ar

A unidade de compressores é o um dos componentes mais importantes nos sistemas de refrigeração, e o que consomem mais energia. Tendo em vista que se trata de um processo de mudança forçada de um estado de determinado fluido, para o estado refrigerado, o mecanismo

está presente tanto em sistemas de refrigeração de freezers e geladeiras, como em sistemas de ar-condicionado e seus diferentes tipos (PIMENTA, 2010).

Segundo DA SILVA, (2005) equipamentos de refrigeração são máquinas térmicas que convertem trabalho em calor. Para isso há o fluido refrigerante, o qual remove o calor do ambiente interno mediante o processo de transferência de calor na evaporação (absorção de calor) e no condensador (rejeição de calor). Assim, é necessário que o fluido frio percorra todo o sistema básico de refrigeração, conforme descrito detalhadamente no capítulo seção 3.6.2. Desse modo, ao completar o circuito com o fluido, há produção do frio artificial em um sistema de refrigeração por compressão, conforme ilustra na Figura 19 (PIMENTA, 2010). A fim de aumentar a eficiência, alguns equipamentos de refrigeração utilizam trocadores de calor (MORAN, 2014).

Figura 19 – Processo de um ciclo do fluido refrigerante por compressão.



Fonte: Flores (2009)

Embora haja no mercado diversos tipos e características de compressores, todos desempenham a mesma tarefa, diferindo apenas em algumas particularidades no que diz respeito a capacidade e condições de operação exigidas no projeto. Assim, é essencial avaliar o tipo de compressor mais adequado para uma determinada aplicação. Nos sistemas de refrigeração, a opção ideal de compressor depende da capacidade de instalação, de acordo com

a temperatura de vaporização e o fluido utilizado (PIMENTA, 2010). Na Tabela 2 apresenta uma dessas características em modo de operação relacionada a temperatura de trabalho.

As categorias mais utilizadas de compressores são: scroll, alternativo, palheta ou rotativo, parafuso e centrífugo, chamado também de turbocompressor. Estes podem ser classificados ainda em máquinas de fluxo ou deslocamento positivo, de acordo com as características do processo de compressão envolvido.

Tabela 2 – Temperaturas de trabalho referente ao ciclo de refrigeração de compressão.

Unidades	Temperaturas
Condensação	10° a 13 °C acima da temperatura ambiente
Sucção	3° a 5 °C abaixo da temperatura ambiente
Descarga do compressor	Menor que 120 °C
Domo do compressor	Menor que 110 °C
Bobinado do compressor	Menor que 130 °C

Fonte: Adaptado de Wirz (2011)

Como a finalidade desta pesquisa é acerca de sistemas de condicionamento de ar individual de pequeno porte, será dado um enfoque maior para os compressores alternativo e rotativo.

3.6.3.1 Compressor alternativo

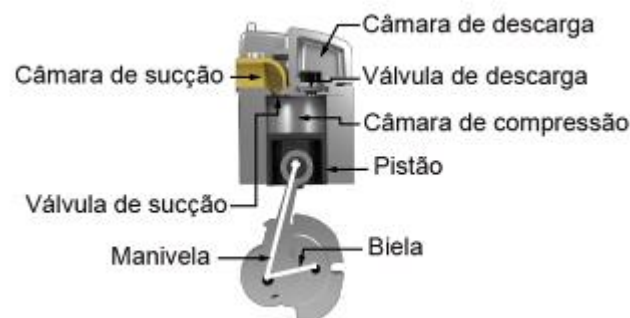
Os compressores alternativos são os mais tradicionais que há na indústria ALVES, (1997). São formados por uma câmara de compressão, separada das câmaras de sucção e descarga, por um sistema de válvulas de palheta, conforme ilustrado na Figura 20. Quanto aos tipos, de modo geral, são divididos em dois: os compressores de deslocamento positivo e o compressor centrífugo (turbo) (PIMENTA, 2010). Quanto aos modelos construtivos, estes compressores podem ser:

- Abertos, semi-hermético ou herméticos;
- De um ou mais cilindros;
- Verticais, horizontais, em W, em V ou radiais;
- De ação simples: Em cada revolução, há uma compressão e uma sucção, já que o cilindro possui apenas uma câmara;

- De ação dupla: Em cada revolução ocorre duas sucções e duas descargas, pois o cilindro é dividido em duas câmaras divididas pelo pistão. De uma lado há o pistão com uma descarga, enquanto, do outro lado do cilindro existe uma compressão.

Conforme o descrito em sua tese por (ENGEL, 2019) nos compressores alternativos o mecanismo de sucção é iniciado no instante em que a pressão na câmara de compressão é menor, do que a pressão na câmara de sucção, ao abrir a válvula e permitir a passagem do fluido refrigerante entre o cilindro. No momento em que o pistão inverte o seu movimento e a pressão na câmara de compressão aumenta, a válvula de sucção é fechada e o processo de compressão se inicia. Durante esse procedimento, ocorre um aumento da pressão dentro da câmara de compressão, até que seja suficiente a pressão para abrir a válvula de descarga, o que admite o escoamento do fluido confinado na câmara de compressão através do orifício de descarga, e para área externa do compressor em direção ao condensador. O ciclo de funcionamento do compressor, envolvendo todas as unidades que participam do processo, foi detalhado na seção 3.6.1 deste trabalho.

Figura 20 – Esquema de compressores alternativos. Característica construtivas (A).



Fonte: Engel (2019)

Há algum tempo, em função do elevado ruído, maior consumo e vida útil reduzida, este tipo de compressor, está sendo substituído nos sistemas de ar-condicionado por compressores do tipo *scroll* ou rotativos (PIMENTA, 2010).

Os compressores alternativos são utilizados em sistemas de médio e pequeno porte, e varia entre 1kW até 700kW. O fluido refrigerante, que é o produto químico responsável por absorver de uma substância do ambiente a ser resfriado, não é um tipo ideal, e sua definição de utilização será escolhida de acordo com o sistema de refrigeração especificado. Esses fluidos podem ser sintéticos ou naturais, e são usados em substituição aos CFC's, que foram abandonados conforme o Protocolo de Montreal. Os novos tipos de fluidos refrigerantes

desenvolvidos foram os HCFC's (hidroclorofluorcarbonos) e HFC's (hidrofluorcarbonos). Nos compressores empregados em sistemas de ar-condicionado utilizados para fins de conforto e processos, são aplicados os seguintes fluidos refrigerantes: HCFC-22, HCFC-134A, HFC-290, HCFC-404A, HFC-407A, HFC-407C e HFC-600. Em sistemas industriais e comerciais são aplicados os refrigerantes R-717, R-134A e R-404A (BETAEQ, 2019).

Em um ciclo padrão de refrigeração por compressão, o fluido refrigerante na sua forma líquida saturada, passa pela válvula de expansão, onde é submetido a uma brusca queda de pressão. Em seguida o fluido é deslocado até o evaporador, responsável pela absorção do calor do ambiente a ser refrigerado, de modo vaporizando-se (ENGEL, 2019).

Na próxima etapa, na forma de gás, o fluido é seccionado pelo compressor e eleva sua pressão e temperatura, para assim poder ser conduzido através do condensador; local onde cederá calor ao ambiente externo, condensando o fluido e completando o ciclo. No ventilador circula o ar o resfriando, logo será conduzido até a serpentina do evaporador (WIRZ, 2011).

3.6.3.2 Compressor rotativo

Compressores rotativos usam um motor elétrico para girar o elemento rotatório dentro de um elemento estacionário, a fim de comprimir o vapor refrigerante. Também conhecido como compressor de palheta, no compressor rotativo a linha de centro do eixo de acionamento coincide com a do cilindro, mas é irregular em relação ao rotor, de maneira que o rotor e o cilindro permanecem em contato à medida que giram. Uma palheta simples, acionada através da mola, divide as câmaras de descarga e aspiração (ALVES, 1997).

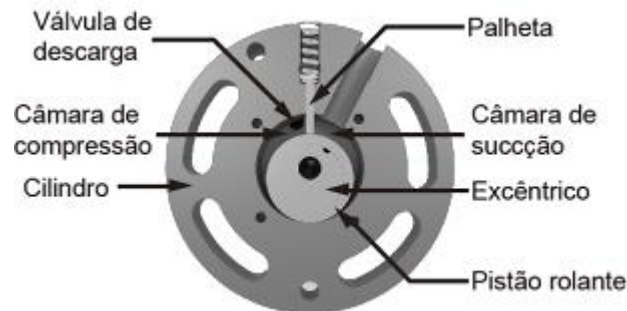
Os compressores rotativos operam através do movimento rotacional do eixo para comprimir o fluido refrigerante. Conforme ilustrado na Figura 21, este compressor possui dois cilindros, um interno móvel, encaixado dentro do cilindro externo, que é fixo. Ao movimentar esse cilindro, há variações dentro dos volumes das câmaras de sucção, onde ambos são delimitados por duas linhas de contato, que separa a palheta dos dois cilindros, através de um filme de óleo. Os tipos mais comuns são: de parafuso, *scroll* (de voluta), de pistão de rolamento e o de aletas giratórias (ENGEL, 2019).

De modo comparativo, em estudos datados de 1981, dados experimentais demonstraram que o compressor rotativo apresenta de fato menor perda de energia nos sistemas de descarga e sucção, porém desenvolve perdas mecânicas mais elevadas (ENGEL, 2019). Por apresentar menores ruídos devido ao movimento rotativo, e conseqüentemente menos esforço, tornou o

compressor rotativo o mais empregado em aparelhos de ar-condicionado do tipo *split* e janela de até 30.000 Btu/h, quanto ao compressor alternativo (DA SILVA, 2005).

O fluido refrigerante utilizado neste tipo de compressor é o HCFC – 22, o mesmo composto químico presente no aparelho de ar-condicionado analisado neste estudo. Porém, são substâncias provisórias, já com o fim de sua fabricação em países desenvolvidos previsto para até 2040 (DA SILVA, 2005).

Figura 21 – Esquema de compressores rotativos. Característica construtivas.



Fonte: Engel (2019)

3.7 Sistema split inverter

A tecnologia de climatização inverter é aplicada em sistemas de ar-condicionado *split*, operam com sistema rotativo, e tornou-se sinônimo de economia e eficiência de energia, sendo cada vez mais difundida no mercado e presente no dia a dia do consumidor popular (KOMEKO, 2013). A linha split tem o motor instalado na área externa, assim o ambiente condicionado não recebe praticamente nenhum ruído, o que a difere do tipo janela. Tanto sucesso desse sistema se deve ao fato de os fabricantes garantirem um equipamento inovador, garantindo uma economia de até 60% no consumo de energia elétrica (DA SILVA, 2005).

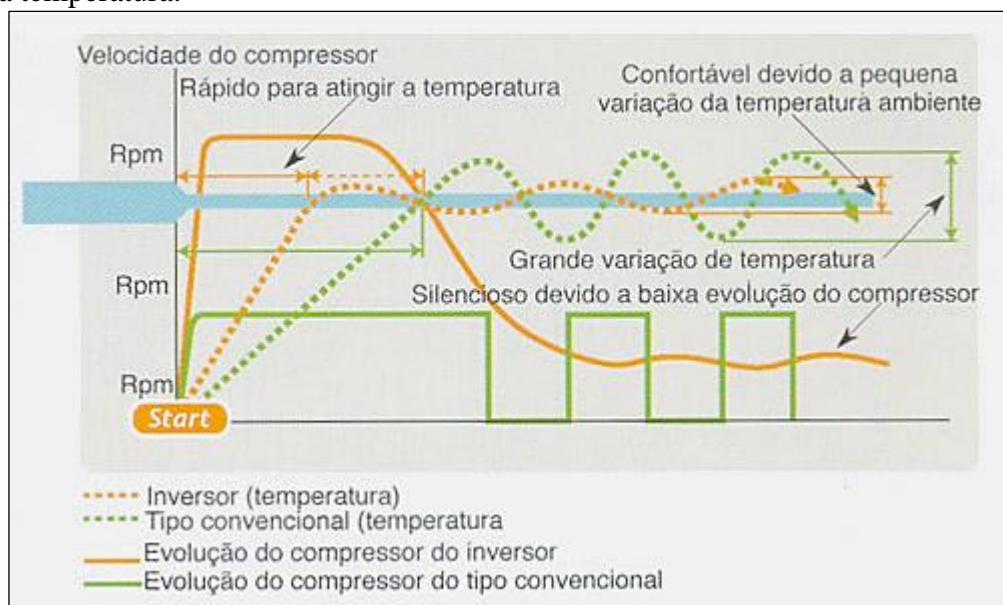
O sistema possui um circuito inteligente que opera um inversor de frequência que permite a comutação da rotação no compressor, a partir do controle de velocidade do motor, conforme a temperatura desejada é alcançada. O compressor nesse modelo não desliga; a partir de um termostato, o compressor liga e desliga automaticamente, funciona apenas na velocidade necessária, de modo que a temperatura se ajusta conforme a sensação desejada no ambiente, e quando essa é atingida, se mantém estável, evitando picos de potência (DA SILVA, 2005). A diferença de temperatura que causa a redução da velocidade no compressor, ocorre quando há uma variante em torno de 2 °C, entre a temperaturas ambiente e a temperatura indicada no modo *set point*, selecionado previamente no controle. Desse modo fica claro que a capacidade do

compressor em termos do que ele entrega no sistema, depende diretamente da temperatura ambiente. Essa funcionalidade gera um nível de ruído quase imperceptível e garante a estabilidade na temperatura do ambiente refrigerado, consequentemente realiza menos trabalho já que o compressor desempenha baixa rotação (CREDER, 2004).

Ao comparar o sistema inverter aos equipamentos convencionais, ver Figura 22 pode-se destacar algumas vantagens como:

- Atinge a temperatura desejada rapidamente e a mantém estável com baixa oscilação;
- Baixíssimo nível de ruído;
- O motor parte em rampa, ao invés de dá partida direto;
- Por ser uma tecnologia inovadora, utiliza como fluido refrigerante gases sintéticos como o R-22 e ecológicos como o R-410A, que são produzidos em laboratórios, valores mais acessíveis, fácil aplicação e ecologicamente sustentável;
- O jato de ar liberado é mais suave e contínuo;
- A tecnologia empregada não interrompe outras funções de controle no equipamento;
- Alto custo-benefício no mercado e drástica redução do consumo de energia.

Figura 22 – Diagrama comparativo entre os sistemas de climatização inverter e convencional em relação à temperatura.



Fonte: Magazine do ar (2021).

Na Figura 22 destaca-se o modo de operação do sistema ao atingir a temperatura desejada, a climatização com inverter trabalha com o compressor em baixa rotação, entregando menor variação de temperatura e ruídos, em comparação aos sistemas tradicionais disponíveis

no mercado. A tecnologia do sistema inverter está presente em vários modelos de ar-condicionado como: Cassete, *Multi-split*, *Split Hi-Wall* e Piso teto (CREDER, 2004).

Um ar-condicionado com a tecnologia inverter tem uma potência variável na faixa entre 375 W a 1180W, assim quanto menor a temperatura de programação no aparelho, mais alto será o consumo de energia elétrica (DA SILVA, 2005). Durante os experimentos para o presente trabalho a temperatura foi ajustada a 24 °C, conforme sugestão do fabricante na operação quente-frio na estação verão, desse modo a potência pode operar aproximadamente entre 370 W e 600 W, o que corresponde a um terço da potência do equipamento em plena carga.

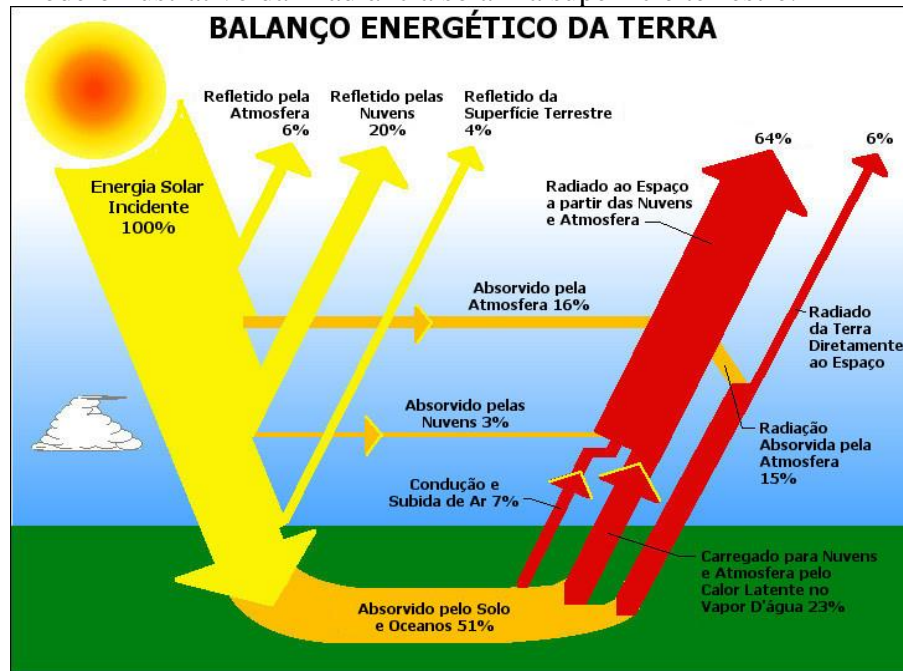
3.8 Radiação solar

Aproximadamente 51% da energia solar que chega ao topo da atmosfera atinge a superfície da Terra. A radiação é o único modo conhecido de transmissão de energia térmica que atua na ausência de meio material, inclusive no vácuo. A maior parte desta energia é irradiada de volta para a atmosfera. Quando a atmosfera absorve radiação terrestre ela se aquece e eventualmente irradia esta energia, para cima e para baixo, onde é novamente absorvida pela Terra. Portanto, a superfície da Terra é continuamente suprida com radiação da atmosfera e do Sol, a irradiância solar extraterrestre varia continuamente ao longo do dia e do ano. Esta energia será novamente emitida pela superfície da Terra e uma parte retornará à atmosfera que, por sua vez, reincidirá uma parte para a Terra e assim por diante, ver Figura 23 (SIEGEL ; HOWELL, 2002).

Este jogo entre a superfície da Terra e a atmosfera torna a temperatura média da Terra aproximadamente 35° C mais alta do que seria. Sem os gases absorvedores da nossa atmosfera, a Terra não seria adequada para a vida humana e muitas outras formas de vida (USP, 2012).

Os processos de absorção e difusão da radiação solar pela atmosfera promovem uma atenuação da irradiação solar que atinge a superfície, denominada de radiação global, em relação aos valores observados no topo da atmosfera (SIEGEL; HOWELL, 2002).

Figura 23 – Modelo ilustrativo da irradiância solar na superfície terrestre.



Fonte: Ecodesign (2021)

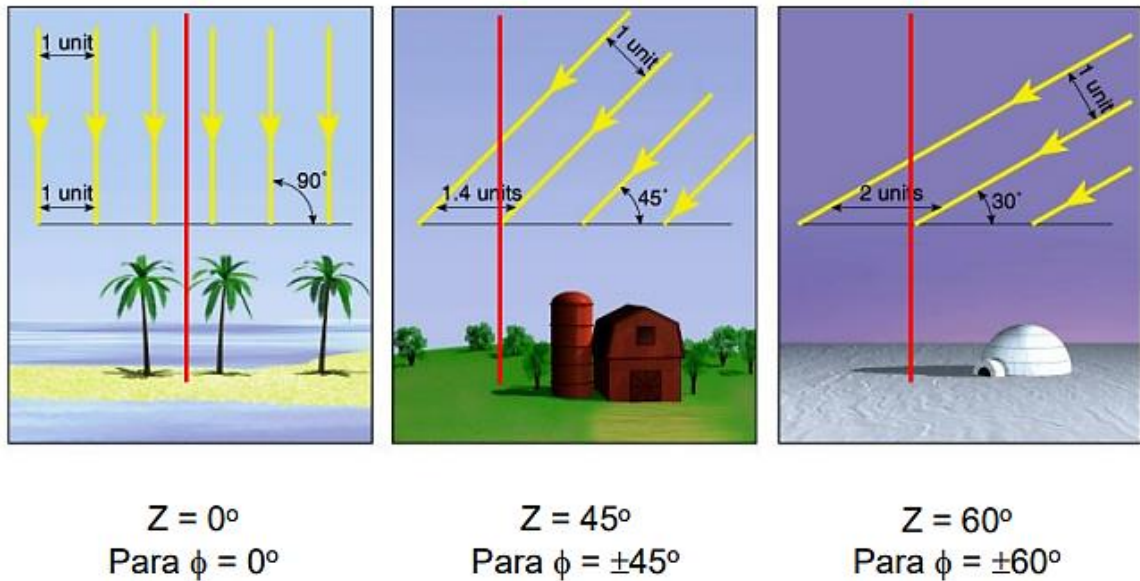
A irradiância solar varia de acordo com o ângulo de incidência dos raios solares. Esse ângulo é formado entre o zênite local e os raios solares, denominado ângulo zenital (Z). Quanto maior o ângulo zenital, menor a irradiância solar. Ao relacionar com a Lei do Cosseno, temos a seguinte equação:

$$I_b = I_n \cdot \cos \cdot Z_h \quad [3]$$

onde $I_n = J_o$, que é a constante solar e Z_h o ângulo zenital em um dado instante.

Na Figura 24 é possível visualizar a variação da elevação solar em relação ao ângulo zenital (Z) em diferentes latitudes. Considera-se nesse caso do modelo o dia de equinócio às 12h, passagem meridiana do Sol. A linha vermelha traçada nas diferentes situações indica o zênite do local. Os equipamentos que captam e mensuram a irradiância solar recebem várias denominações, o que basicamente diferente em função de um ou outro tipo de aparelho, é o princípio de funcionamento e o tipo de irradiância a ser medida (MICHELS, 2007).

Figura 24 – Modelo ilustrativo da variação da elevação solar na superfície terrestre.



Fonte: Ecodesign, (2021)

3.9 Fibra MDF

O material MDF – *Medium Density Fiberboard*, é um painel de madeira reconstituída, apresenta a superfície lisa e uniforme, tem um aspecto compacto que se aproxima da madeira maciça, isso ocorre devido ao tamanho dos seus componentes básicos da madeira, relata Juvenal e Mattos na REVISTA DA MADEIRA, (2003).

O MDF é um painel cuja característica principal é sua grande estabilidade dimensional e excepcional capacidade de usinagem, tanto nas bordas, quanto nas faces. Com densidade adequada e perfeita homogeneidade proporcionada pelas fibras, o painel de MDF pode ser facilmente pintado e revestido, torneado, entalhado e perfurado, confere a possibilidade do grande volume gerado (LUCIANE, 2008). Por ser formado em fibras de madeira aglutinadas e compactadas com adição de resina sintética, sua compactação é feita por prensa industrial a alta temperatura. O termo painéis de fibras inclui o painel de “chapa-dura”, painel de médias densidade, e o painel de isolamento. Painel de média densidade prensado tem entre 0,50 a 0,80 g/cm³, umidade entre 4 a 11% e densidade média aproximadamente em 7%. Algumas características favoráveis dos painéis MDF são a homogeneidade, capacidade de receber acabamentos como tintas e vernizes, trabalhabilidade e resistência ao arrancamento (LUCIANE, 2008).

Além disso, por não possuir nós, veios e imperfeições típicas de uma madeira natural, o painel tem a vantagem de poder ser usinado de diferentes formas (ABIPA, 2021). Ainda segundo a ABIPA (2021) existem três opções de acabamento:

- In Natura (sem revestimento): As chapas não recebem nenhum acabamento, são processadas pelo próprio usuário e podem ser revestidas com lâminas de madeira natural, com laminado plástico, PVC, entre outros. Outra forma de acabamento é a pintura ou impressão direta.
- Revestimento com laminado de Baixa Pressão (BP): Por meio de temperatura e pressão, uma lâmina celulósica impregnada com resina melamínica, é fundida ao MDF, resultando em um painel pronto para uso. Podem ser apresentadas com cores sólidas, amadeiradas ou fantasia.
- Revestimento em *Finish Foil* (FF): Uma folha de papel especial impregnada com resina melamínica é fundida por meio de pressão e alta temperatura ao MDF, resultando em um painel pronto para uso.

As superfícies lisas e estáveis de MDF proporcionam um excelente substrato para a pintura, para a aplicação de papéis decorativos ou lâminas de madeira. A estabilidade inerente, a boa usinagem e a alta resistência do MDF criam oportunidades para que ele possa ser usado como uma alternativa à madeira maciça para várias aplicações como armários e molduras (ABIPA, 2021).

Os painéis MDF podem ser disponibilizados para usos em situações mais exigentes, como em aplicações em que o material deve ser resistente a umidade, resistente ao fogo e de alta densidade. Geralmente essa situação ocorre quando o painel MDF é utilizado em ambientes externos. Características retardantes de fogo são cada vez mais necessárias em partes para mobiliário, portas e paredes em edifícios públicos e de outras áreas que devem obedecer às regulamentações relacionadas a proteção contra incêndios. Painéis com características externas com superfície de alta durabilidade adequada a revestimentos pode ser usados para suportes de pouca carga, como componentes aplicados em portas, sinalização rodoviária e fachadas de lojas, e para móveis de jardim (EPF, 2021).

A norma brasileira de MDF, ABNT NBR 15316-1, apresenta as seguintes definições para os ensaios mencionados abaixo:

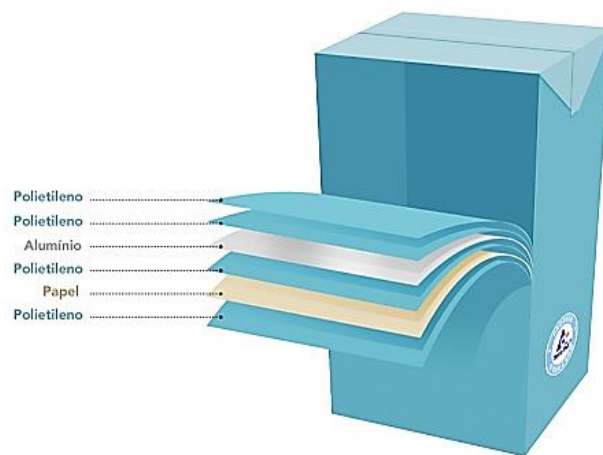
- Absorção de água: Aumento da massa (em água) que um corpo-de-prova de uma chapa de fibras de média densidade (MDF) apresenta, após serem imersos em água a (20 ± 1) °C pelo tempo de $24 \text{ h} \pm 36 \text{ min}$;
- Inchamento: Variação percentual de aumento em espessura que um corpo-de-prova de uma chapa de fibras de média densidade (MDF) apresenta, após ficar imerso pelo tempo de $24 \text{ h} \pm 36 \text{ min}$. em água à temperatura de (20 ± 1) °C.
- Densidade: Característica representada pelo quociente da relação entre a massa e o volume de um corpo, a determinado teor de umidade.
- Teor de umidade: Porcentagem de água desprendida do corpo-de-prova de uma chapa de fibras de média densidade (MDF), quando este é submetido a uma temperatura de (103 ± 2) °C, até a massa tornar-se constante. A porcentagem é tomada em relação à base seca.
- Perfil de densidade: Gradiente que determina o perfil de densidade de um corpo-de-prova de uma chapa de fibras de média densidade (MDF), através da determinação parcial de densidade de suas camadas, classificando a chapa de fibras de média densidade (MDF) quanto ao seu grau de densidade final.
- Resistência à flexão estática: Resistência que um corpo-de-prova de uma chapa de fibras de média densidade (MDF), apoiado em seus extremos, oferece quando sujeito a uma força aplicada em seu centro até a sua ruptura.
- Resistência à tração perpendicular (ligação Interna): Resistência que um corpo-de-prova de uma chapa de fibras de média densidade (MDF) oferece, quando este é submetido a uma força de tração aplicada perpendicularmente à sua superfície até a ruptura.

Quanto as propriedades térmicas do MDF, é considerado é bom isolante térmico, isso se dá por causa das zonas de pontes térmicas formadas durante a sua construção, essas alteram a resistência térmica do material, devido a diferença de condutibilidade térmica, conferindo ao novo material diminuição da temperatura superficial interior, transferindo perda térmica para a exterior. O valor da condutividade térmica do MDF é $0,06 \text{ W/Km}$ (NBR 15220/05; NBR 7190/97, 2005).

3.10 Embalagens Tetra Pak

As embalagens cartonadas longa vida apresentam um caráter de compósito laminado, formadas por uma combinação de papel cartão, polímero de baixa densidade (PEBD) e alumínio, além da tinta usada na impressão dos rótulos. São materiais de difícil reciclagem em função da agregação de materiais com características químicas e físicas diferentes (CEMPRE, 2013). A embalagem longa vida é composta por três materiais: papel, polietileno e alumínio, nas proporções, em peso, de 75%, 20% e 5%, respectivamente. (ZUBEN, 1999).

Figura 25 – Modelo ilustrativo da estrutura da embalagem cartonada Longa Vida.



Fonte: Tetra Pak®, (2021)

Conforme estruturado na Figura 25, a descrição das camadas dos compostos tem por finalidade:

1. Polietileno: protege contra a umidade exterior;
2. Papel: fornece estabilidade e resistência;
3. Polietileno: camada de aderência;
4. Folha de alumínio: forma película protetora contra oxigênio, luz e preserva aroma;
5. Polietileno: camada de aderência.

As embalagens longa vida são 100% recicláveis (TETRA PAK®, 2021). De acordo com o CEMPRE (Compromisso Empresarial de Reciclagem), em 2008 foram recicladas cerca de 26,6% das Embalagens Longa Vida, totalizando mais de 52.000 toneladas. Uma das técnicas utilizadas permite o uso da mistura de plástico e alumínio na fabricação de placas, telhas e outros objetos. Para diminuir os custos, a utilização destas embalagens pode ser feita de forma artesanal, pelo próprio morador. O alumínio ajuda a reduzir significativamente a temperatura

ambiente, pois é capaz de refletir mais de 95% da radiação solar (MARTINI; TRINDADE, 2011).

De acordo com MICHELS, (2007) a finalidade de isolar termicamente é dificultar a transferência de calor entre dois sistemas que se encontram a níveis diferentes de temperatura. Além de diminuir a temperatura no interior das residências, a utilização das embalagens Tetra Pak® tem benefício ecológico pelo fato de que a maior parte destas embalagens não são biodegradáveis e representam cerca de 1% do total de resíduos produzidos no Brasil, também reduz o consumo de energia.

A quantidade de lixo produzida pela humanidade, tem se tornado uma preocupação constante, de modo que está bastante reduzido o espaço para depositar resíduos de forma segura (NASCIMENTO, 2007). Vivemos em um mundo globalizado e capitalista, onde o incentivo por consumo crescido exponencialmente, se tornado cada vez mais um problema para a engenharia.

A reutilização das embalagens Tetra Pak como painéis térmicos com a finalidade de melhorar a eficiência energética, é uma alternativa viável sob ponto de vista ambiental e financeiro, apresentando resultados semelhantes aos produtos comerciais similares. É possível reaproveitar um material que seria desperdiçado pela comunidade que, na maioria dos casos, não dispõem de recursos financeiros para a aquisição de isolantes térmicos disponíveis comercialmente (ABRELPE, 2015).

Quanto a condutividade térmica do material Tetra Pak, ainda não há estudos suficientes retratando essas características. Apesar de haver alguns estudos pioneiros retratando sobre, os dados não são suficientes para propor uma valor exato da condutividade, bem como a resistência térmica para condução na barreira radiante.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

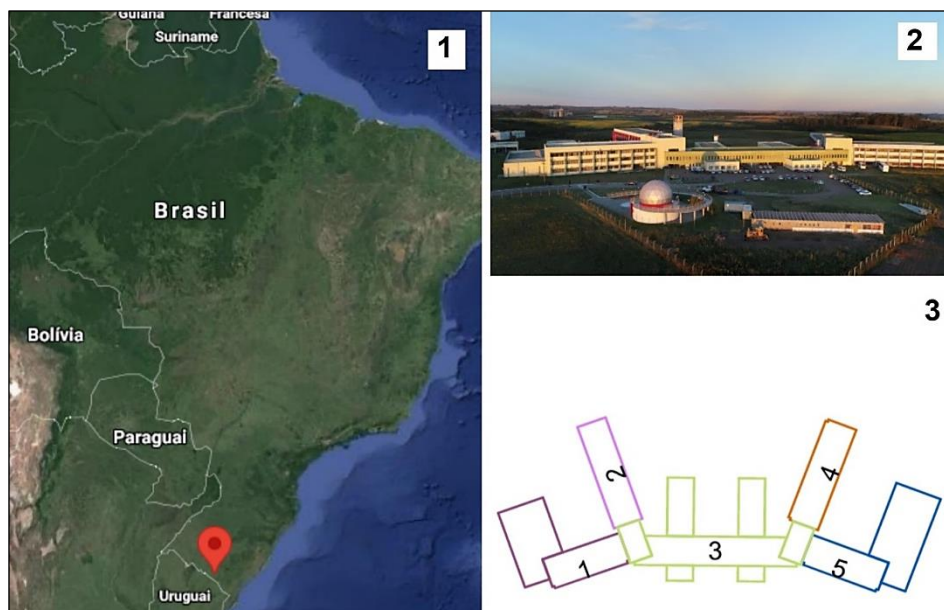
Nesta seção, serão apresentados o delineamento da pesquisa, os materiais e a metodologia utilizados, descrevendo de forma detalhada os processos envolvidos, a coleta e forma de obtenção, os fatores que influenciam de forma direta e indireta no projeto, considerações adotadas, bem como propostas e métodos utilizados, que visam promover uma maior eficiência térmica e energética. São demonstrados também as características do local, dados climáticos e amostras.

4.1 Materiais

4.1.1 Caracterização do local do estudo

Bagé situa-se na região Sul do país, situa-se na latitude $-31^{\circ}18'22.8''S$ e longitude $54^{\circ}03'51.6''W$, 212m acima do nível do mar. O clima da cidade pode ser classificado temperado ou subtropical, com grande amplitude térmica durante os verões e invernos relativamente frio, temperatura média em torno de $17,6^{\circ}C$ (INMET, 2021). As imagens com a localização e a planta baixa do local de estudo situada no térreo do prédio, são apresentadas nas Figura 26 e 27, respectivamente.

Figura 26 – Localização do objeto de estudo. Visão geográfica da posição regional da instituição (1), vista aérea da área construída (2) e delimitação do espaço físico do campus e visualização do Bloco 1 nesse contexto (3).



Fonte: Google; Unipampa (2021)

Figura 27 – Planta baixa simplificada do térreo, Laboratório 1105 - Bloco 1 da Unipampa.



4.1.2 Caracterização do condicionador de ar

O estudo foi realizado em um condicionador de ar Komeco Brize, linha *Spli High Walt*, modelo BZS-12 QC série 2LX, versão quente/frio, compressor rotativo, evaporadora BZS12 QC, condensadora KOS12QC. Os dados do fabricante são mostrados na Tabela 3. Nas Figuras 28 e 29 são mostradas imagens do aparelho.

Tabela 3 – Dados técnicos fornecidos pelo catálogo do fabricante do ar-condicionado.

Dados do Fabricante	
Capacidade de refrigeração (W)/(BTU/h)	3516/12.000
Refrigerante	R-22
Tensão/fase (V)/(Hz)	220 – 230/60
Potência frio-quente (W)	1160
Corrente frio-quente (A)	5,27
Pressão máxima descarga – sucção (MPa)	2,6 – 1,2
Compressor	Rotativo
Peso int./ext. (kg)	9 – 28
Vazão de ar máxima (m ³ /h)	600
Nível de ruído – int./ext. (dB)A	42/54
E.E.R (W/W)	2,92

Fonte: Komeco (2013)

Figura 28 – Unidade evaporadora do equipamento.



Fonte: Autora (2021)

Figura 29 – Unidade condensadora do equipamento.



Fonte: Autora (2021)

4.1.3 Materiais isolantes

A análise será realizada considerando-se o condensador sem revestimento e revestido, com dois tipos de materiais de descarte:

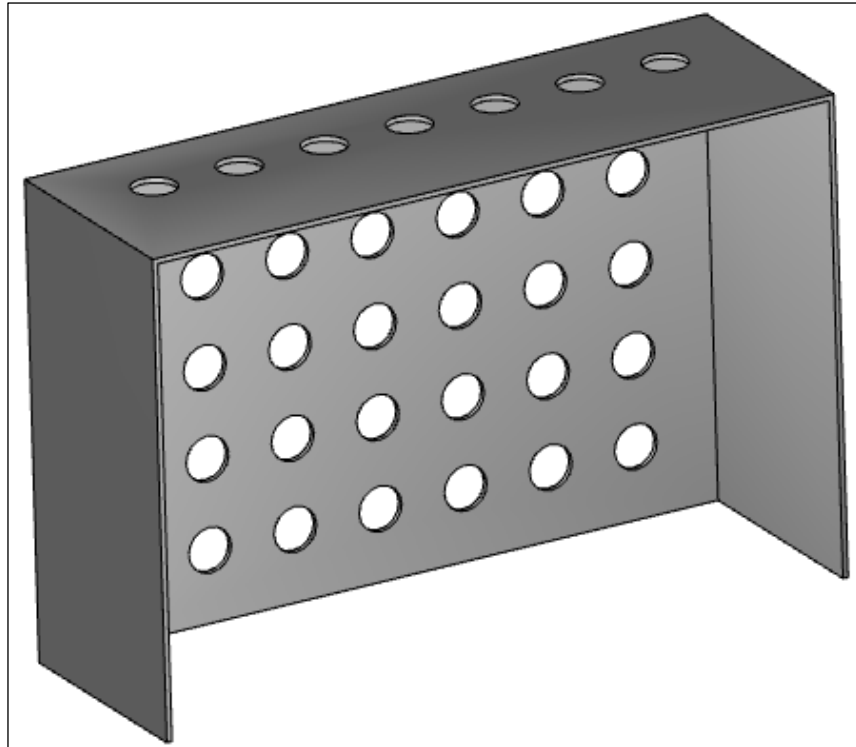
- i) Tetra Pak (caixa de leite longa vida), Figura 30;
- ii) Placa de fibra de média densidade (MDF-*Medium Density Fiberboard*), Figura 31.

Figura 30 – Modelo do painel em Tetra Pak.



Fonte: Autora (2021)

Figura 31 – Modelo do protótipo em MDF.



Fonte: Autora (2021)

As medidas realizadas foram comparadas com medidas sem revestimento.

4.1.4 Sonoff Pow R₂

O dispositivo é um interruptor inteligente de energia sem fio que permite gerenciar e controlar remotamente o uso da eletricidade. O aparelho compacto tem a função de um monitor de energia, o qual permite acompanhar e registrar a intensidade da corrente, tensão e da potência. É possível acessar todos os recursos do aparelho de forma remota através do aplicativo *EWelink*, que permite que sejam adicionados vários aparelhos de modo a monitorar seu uso de energia e garante assim a autonomia do aparelho de forma ininterrupta. Imagem do dispositivo na Figura 32.

Figura 32 – Dispositivo eletrônico *Sonoff Pow* modelo R2 ilustra circuito interno (A) e ilustra equipamento com a caixa externa (B).



(A)

Fonte: Amazon (2021)



(B)

Conforme o descrito em INCROPERA, F.; DEWITT, D.P, (2014), o *watt-hora* é unidade de medida de energia e hora é uma unidade de tempo, assim a automação do processo que transforma potência instantânea em potência nominal do equipamento, gerando o consumo pode ser traduzida através da Equação [4].

$$Pot \cdot \Delta T(h) \quad [4]$$

Assim, o mecanismo permite aos seus usuários controlem o impacto do seu consumo diretamente na fatura de energia através dessa previsão e nesse cenário analisar quais equipamentos consomem mais, a fim de gerenciar suas atividades e necessidades de forma mais sustentável.

Tabela 4 – Dados técnicos fornecidos pelo catálogo do fabricante do *Sonoff Pow R2* .

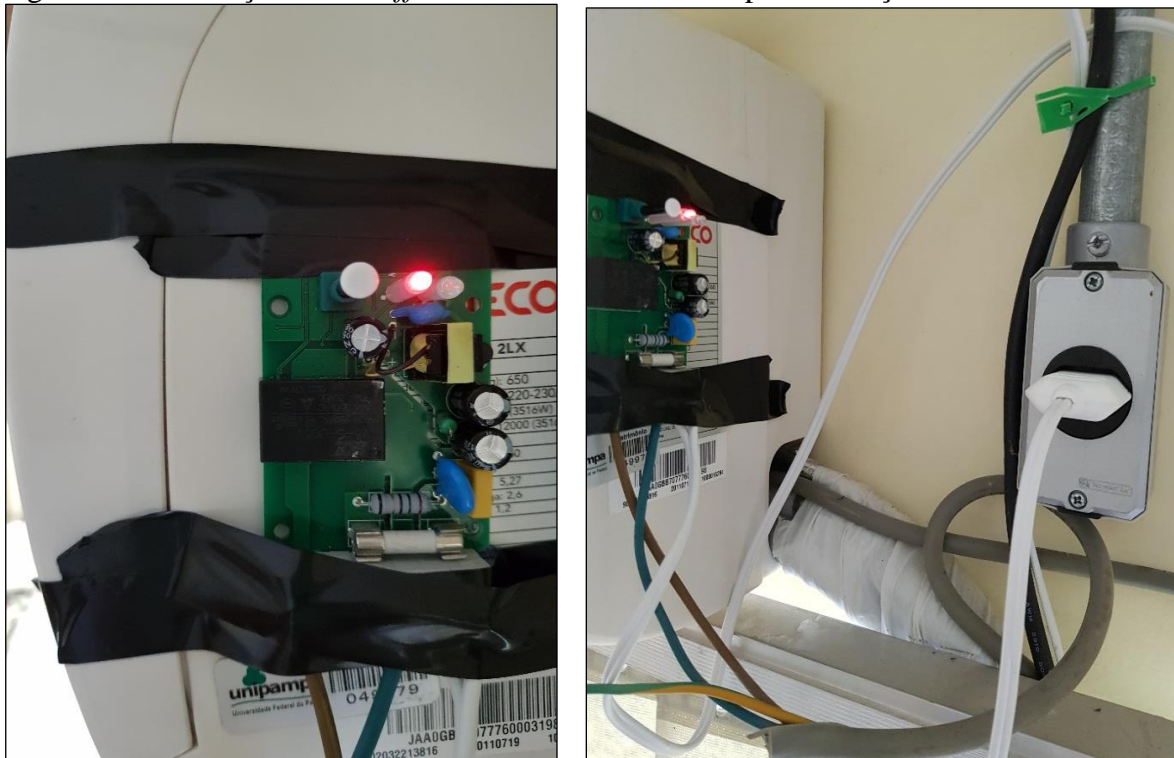
Dados do Fabricante	
Potência máxima (W)	3500
Wifi	2,4 Hz 802.11 b/g/n
Tensão/fase (V)/(Hz)	90 – 264 /50 – 60
Potência frio-quente (W)	1160
Corrente (A)	16
Pressão máxima (MP)	2,6 – 1,2
Modelo	POW R ₂
Guia APP	<i>EWelink</i>

Fonte: *Sonoff Pow R2* (2016)

4.1.4.1 Instalação do *Sonoff Pow R2*

As medições termo energéticas no condicionador de ar foram realizadas em períodos determinados com o dispositivo de 16 A conectado à carga do ar-condicionado. Conectou-se o instrumento de medição com a ligação da saída da alimentação em *output* para a entrada principal de energia do ar-condicionado, em seguida foi conectada a carga no *input*, conforme mostra a Figura 33. Após finalizar a ligação e parear ao sinal *wireless* do *Sonoff* vai acionar como um interruptor e vai operar o sistema ao ligar e desligar manualmente ou com uma programação específica.

Figura 33 – Instalação do *Sonoff Pow* no ar-condicionado para obtenção de dados.



Fonte: Autora (2021)

Através de um relé controlado por *wifi*, o dispositivo se conecta à rede e através do aplicativo do celular consegue controlar os mais diversos equipamentos eletrônicos, como ligar e desligá-los, independente da sua localização. O registro é lido graficamente assim como o recurso de uma calculadora, onde o consumo de energia é exibido em quilowatt-hora (kWh).

Conforme o descrito em ao longo de um período de funcionamento, e tem a opção de mostrar a potência instantânea dos dispositivos elétricos, o que permite aos seus usuários terem uma previsão do seu consumo através de relatórios diários ou mensais. A interface do aplicativo é mostrada na Figura 34.

Figura 34 – Interface inicial do aplicativo *Ewelink*, responsável pela automação do aparelho *Sonoff Pow* para medições de consumo do ar-condicionado.



Fonte: *Ewelink* (2021)

4.1.5 Disposição dos revestimentos

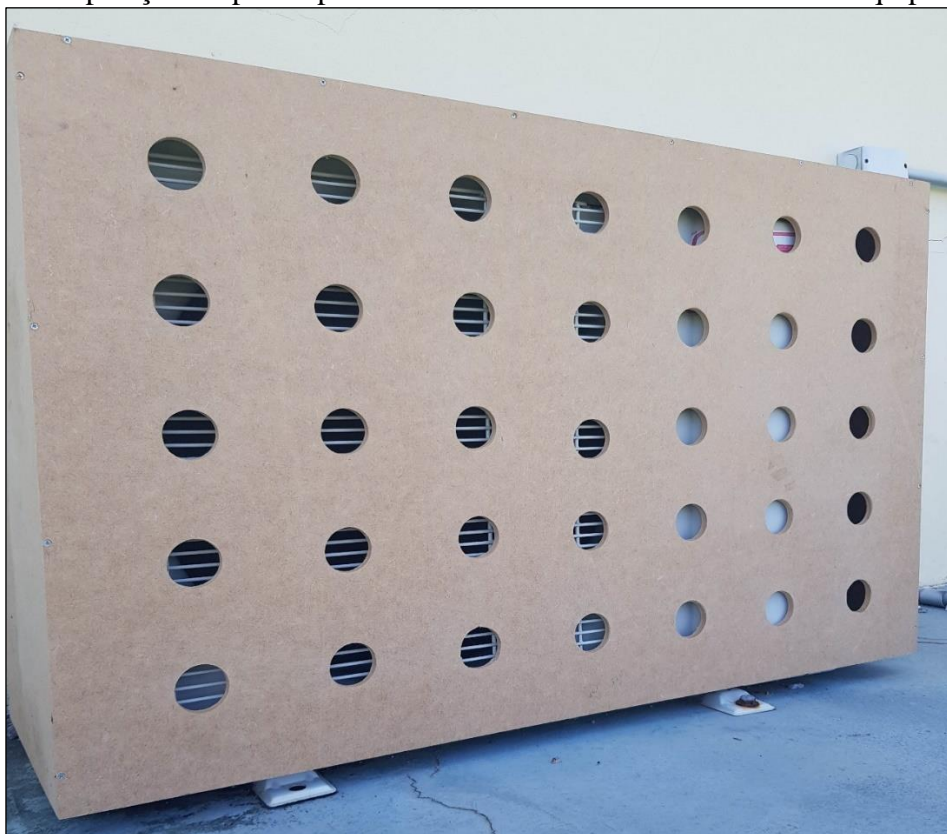
As Figuras 35 e 36 mostram os revestimentos utilizados colocados no condensador do ar-condicionado. No painel formado com Tetra Pak a superfície de baixa emissividade, área laminada, é voltada para cima no condensador.

Figura 35 – Vista externa do painel formado pela disposição das caixas Tetra Pak após higienização, na unidade condensadora do equipamento.



Fonte: Autora (2021)

Figura 36 – Disposição do protótipo em MDF na unidade condensadora do equipamento.



Fonte: Autora (2021)

4.2 Métodos

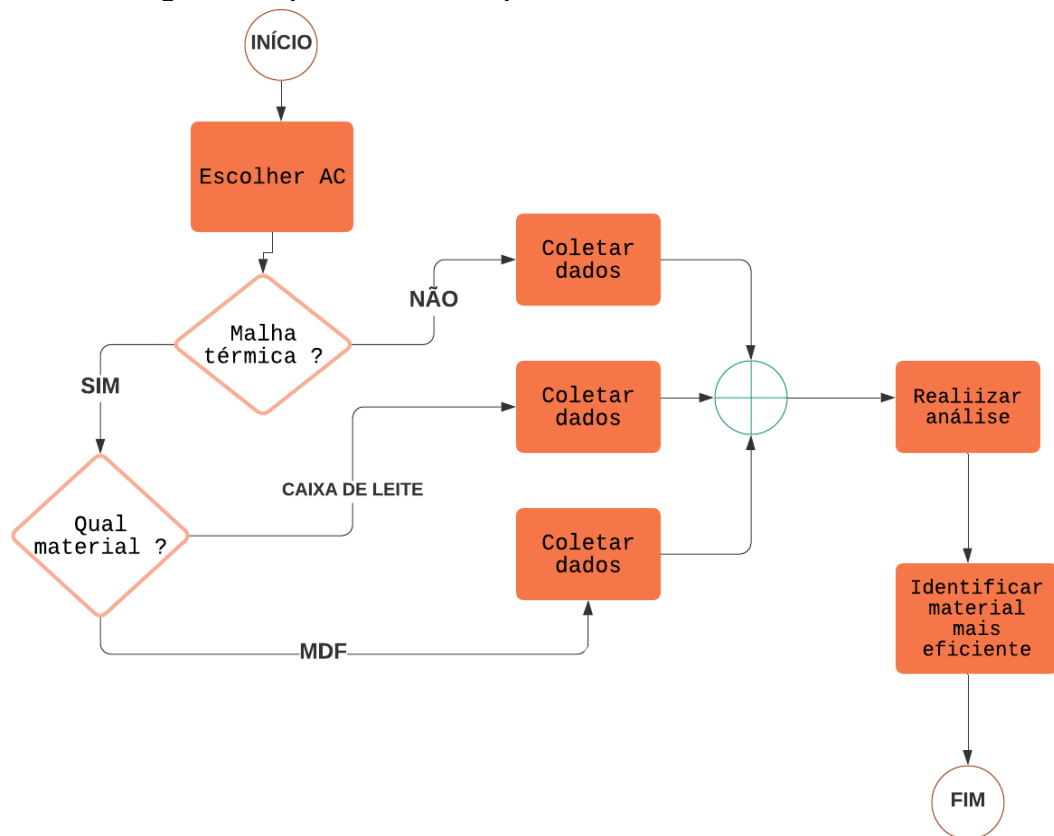
A pesquisa foi desenvolvida na Sala 1105 – Laboratório de Sistemas Eólicos, situada no Bloco 1 do edifício do curso Engenharia de Energia da Universidade Federal do Pampa (Campus Bagé), no período de 09/12/2019 a 16/01/2020, durante o verão. Envolveu ainda a coleta de dados climáticos da região gerados no INMET.

A fim padronizar as medições, os critérios abaixo foram adotados:

- Boa vedação das janelas no local e porta fechada durante o processo sem rodízio de usuários, de forma a evitar renovação de ar e variação da temperatura interna;
- O ventilador do condicionador de ar operou na velocidade máxima ajustado no controle;
- Manteve-se a temperatura do ar-condicionado em 24°C, pois é a temperatura sugerida pelo manual do fabricante no modo de operação aquecimento (quente/frio). Dada as circunstâncias do período do experimento ocorreu na estação do verão.
- O período de duração das medições foi de 6 horas, com possibilidade de ser estendido até 8 horas.

Para efetuar o cálculo do coeficiente de eficiência energética do equipamento, foram considerados a máxima potência ativa obtida com os dados das medições, e a potência nominal fornecida pelo fabricante. A Figura 37 apresenta um fluxograma da metodologia experimental, delineando cada uma das etapas que serão detalhadas ao longo deste capítulo.

Figura 37 – Fluxograma do procedimento experimental.



Fonte: Autora (2021)

4.2.1 Critérios de medição

A fim de padronizar as medições e garantir os parâmetros definidos, alguns critérios foram adotados, conforme descrição abaixo:

- O ventilador do ar-condicionado operou na velocidade máxima nos três meses de medições;
- O ambiente manteve-se bem vedado, livre de trânsito de usuários no seu interior, a fim de evitar a exaustão ou a renovação de ar;
- O ar-condicionado utilizado se manteve na temperatura de 24° no equipamento ao longo de todos os períodos em que ocorreram as medições;
- A duração do período de ensaio com cada material foi de no mínimo dez dias, com o equipamento ligado diariamente às 14:00hs e desligado às 20:00hs, programado no próprio *timer* do aplicativo *Ewelink*, totalizando seis horas de medições do consumo. Os horários foram definidos de acordo com o período de maior incidência de radiação solar de forma direta na unidade condensadora.

4.2.2 Períodos analisados

A seguir, na Tabela 4, são mostrados em detalhes os períodos de medições.

Tabela 5 – Detalhamento das medições realizadas no condicionador de ar.

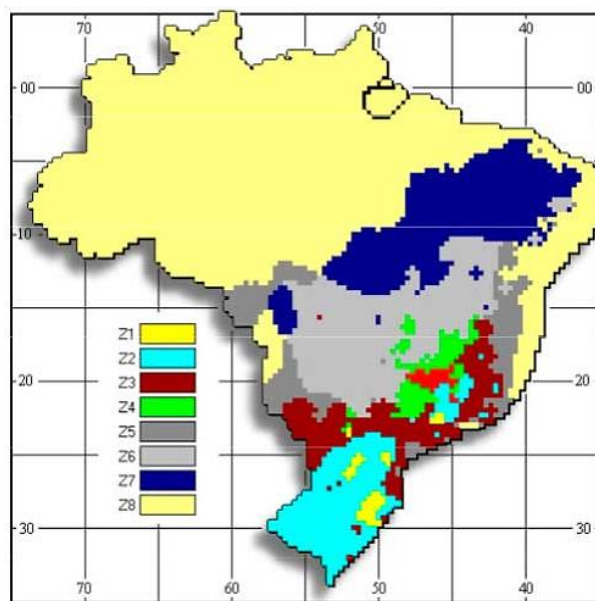
Material	Ocupação	Janelas/Portas	Mês	Períodos
Condensador sem revestimento	Sem usuários	Fechados	Dez. - 2019	10 dias – 6h
Condensador com MDF	Sem usuários	Fechados	Jan. - 2020	10 dias – 6h
Condensador com Tetra Pak	Sem usuários	Fechados	Fev. - 2020	10 dias – 6h

Fonte: Autora (2021)

4.2.3 Caracterização climática externa

Por ser um país de dimensões continentais, o Brasil possui características climáticas bem diferentes. Assim, é dividido em oito zonas bioclimáticas, o qual foi classificado e definido por meio da Carta Bioclimática de Giovani, adaptada a realidade brasileira (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2011). A cidade de Bagé contempla a Zona Bioclimática 2, conforme ilustrado na Figura 38.

Figura 38 – Zona Bioclimática brasileira.



Fonte: Bioclimatismo (2021)

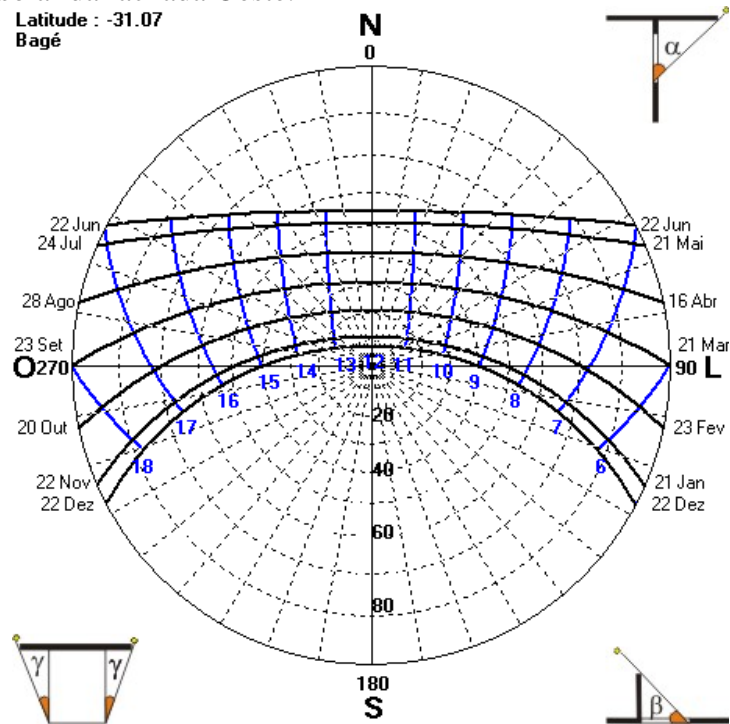
Os dados climáticos externos foram obtidos através da Estação Automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na EMBRAPA Pecuária Sul. A instituição realiza medições diárias na região e os disponibiliza para consultas no site. No arquivo baixado consta o apanhando anual no período selecionado entre 2019 – 2020, especifica o horário em que os dados foram coletados no modelo 24h, datas, temperatura externa em (°C), umidade relativa do ar (%), pressão atmosférica (hPa), velocidade dos ventos (m/s), índice de radiação (Wm^{-2}) e precipitações (mm).

O condicionador de ar está instalado na fachada Oeste, a qual não possui prédios adjacentes e está totalmente livre de interferências microclimáticas, assim recebe toda a incidência solar do período da tarde diretamente no condensador do sistema, ver Figura 26. Nas Figuras 39 a 43 são apresentadas as cartas solares da região.

Estas cartas representam cartograficamente a trajetória da incidência solar relacionando as temperaturas, ao longo do dia e em diferentes épocas do ano. Este percurso é identificado através da transposição do azimute e da altitude solar sobre o plano, desse modo, observa-se as horas de insolação direta nos períodos dos solstícios de verão (inicia em 20 – 21 de dezembro a 20 – 21 março), e de inverno (inicia em 21 junho a 22 de setembro), bem como os equinócios de outono (inicia em 20 – 21 março), e de primavera (em 22 – 23 de setembro), no hemisfério situado. As cartas solares foram extraídas através do *software Analysis Sol – Ar*, evidenciam as características e influência desses elementos durante o experimento e justifica o período de verão ser o ideal para realizar as medições, tendo em vista os altos índices de radiação no meses dessa estação.

As Figuras 39 a 43, apresentam a carta solar da região estudada, onde as linhas em azul mostram a trajetória da radiação. Identifica-se que o solstício de inverno é mais curto, indica início entre as 7h da manhã e as fim as 17h. Já o solstício de verão inicia bem antes das 6h e termina após as 18h.

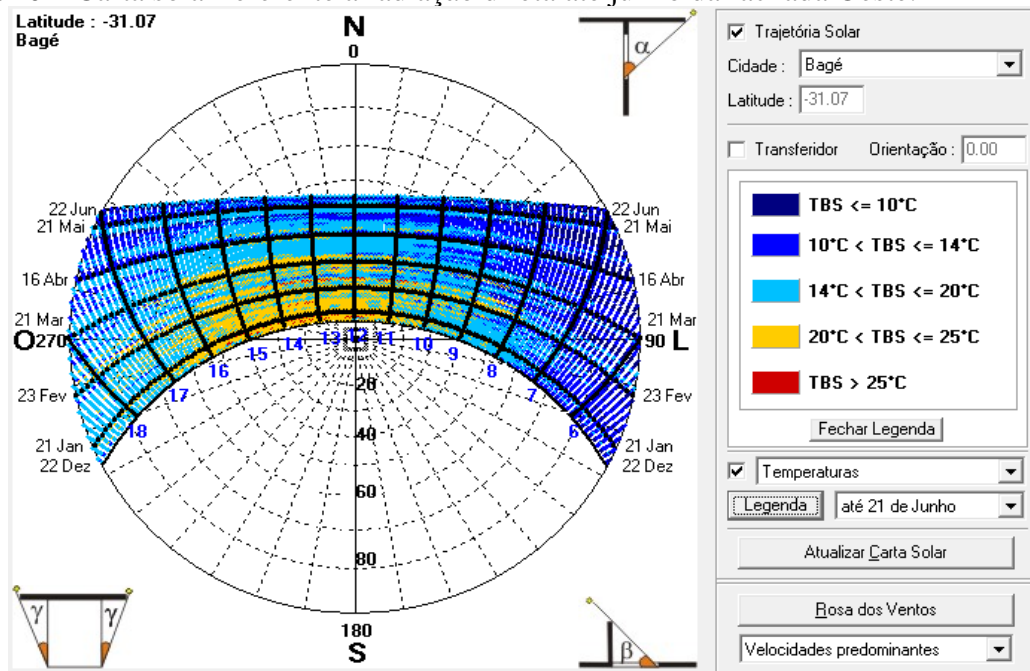
Figura 39 – Carta solar da fachada Oeste.



Fonte: *Software Sol-Ar*, (2021)

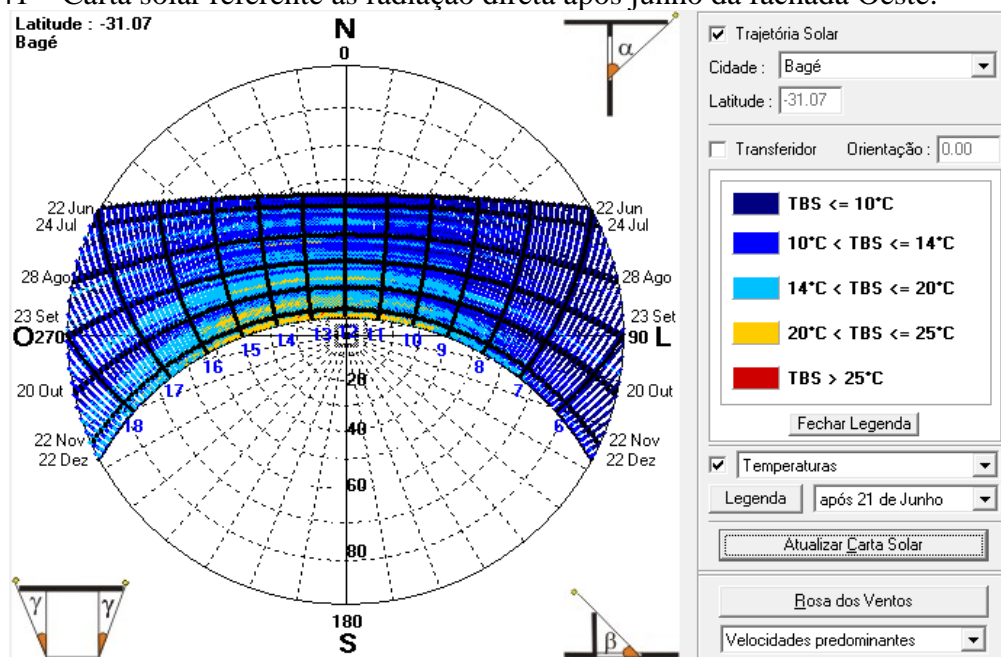
Na Figura 40 (caracteriza o período até junho) e 41 (caracteriza o período após junho), apresenta a carta solar da radiação direta normal, revela, portanto, parte da radiação direta vinda do sol, menos a radiação difusa. O período analisado durante as medições apresenta altas temperaturas. As menores temperaturas podem ser observadas durante os intervalos das manhãs, entre 6 horas e 8 horas, enquanto as maiores temperaturas surgem a partir das 10 horas da manhã e se estende até às 16 horas. Nas imagens está ativada a legenda, onde demonstra suas cores e temperaturas respectivamente.

Figura 40 – Carta solar referente a radiação direta até junho da fachada Oeste.



Fonte: Software Sol-Ar, (2021)

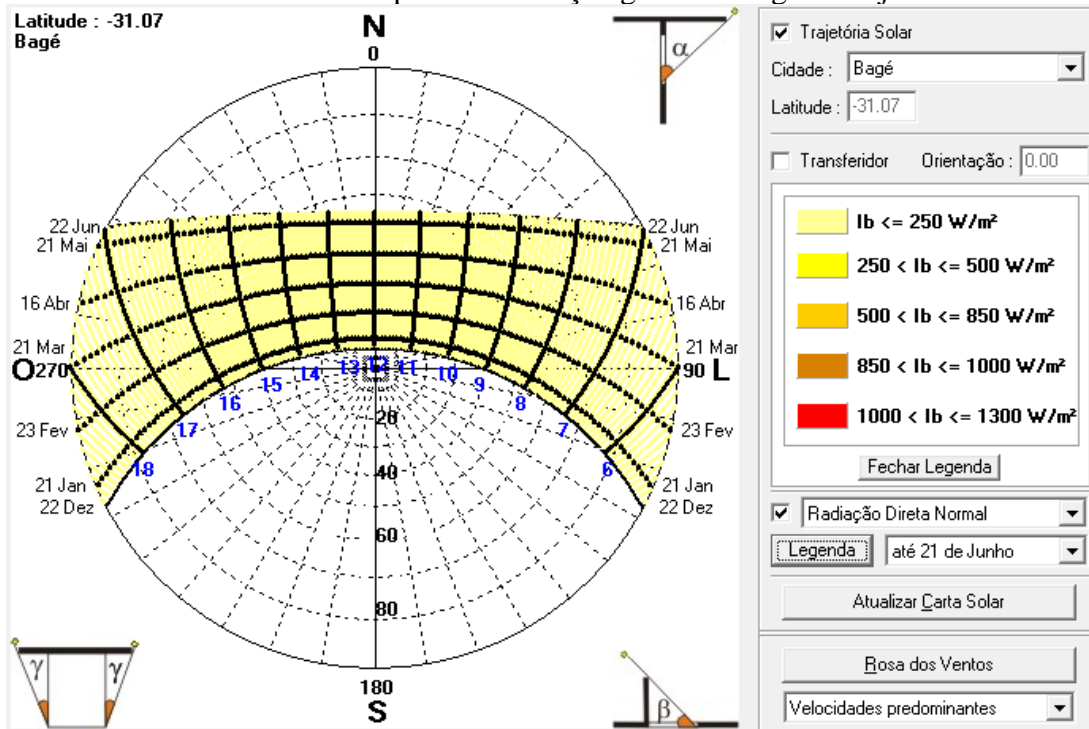
Figura 41 – Carta solar referente as radiação direta após junho da fachada Oeste.



Fonte: Software Sol-Ar, (2021)

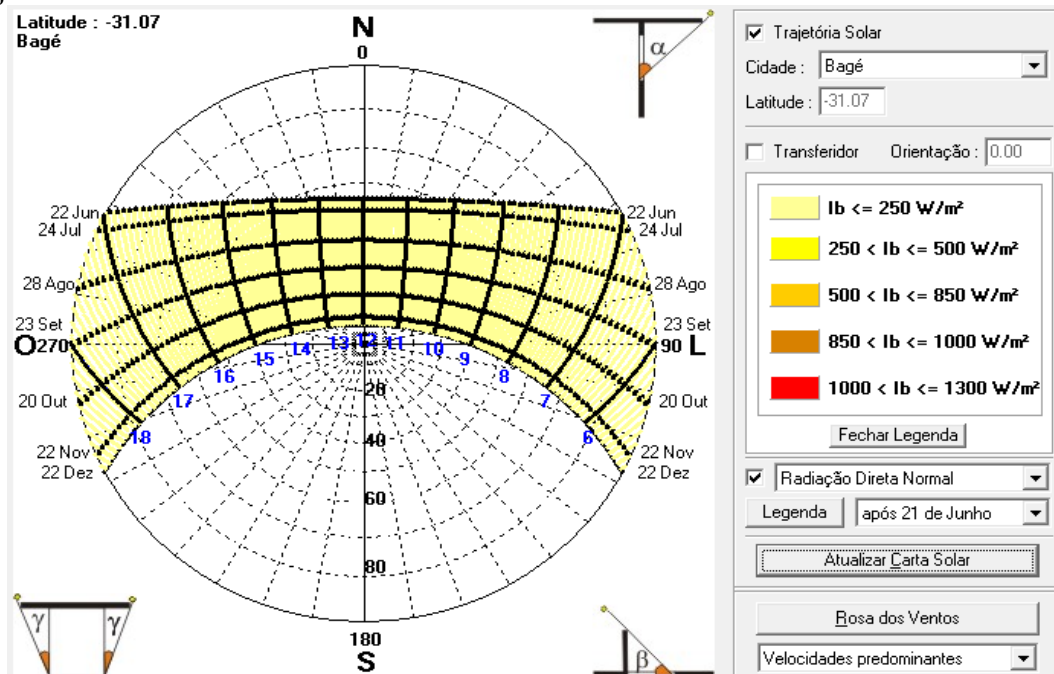
Na Figura 42 (caracteriza o período até junho) e 43 (caracteriza o período após junho), apresenta a carta solar da radiação que chega direto do sol, mais a radiação difundida pelas partículas e gases atmosféricos.

Figura 42 – Carta solar referente a parte da radiação global da região até junho.



Fonte: Software Sol-Ar, (2021)

Figura 43 – Carta solar referente a parte da radiação direta solares menos a radiação difusa, após junho.



Fonte: Software Sol-Ar, (2021)

A análise do índice de radiação foi maior nos meses de dezembro, janeiro e novembro, seguindo por fevereiro e outubro. Atinge os menores índices de radiação em junho e julho.

Desse modo, a trajetória solar confirma que no solstício de inverno os dias são mais curtos, enquanto nos solstícios de verão o dia é mais prolongado, condições ideais para medir e avaliar a influência da radiação no consumo de equipamentos elétricos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta etapa serão apresentados os resultados obtidos na pesquisa, em etapas, como as medições de consumo, com os dois materiais considerados e sem nenhum revestimento.

5.1 Análise do consumo energético *versus* índices de radiação

A Tabela 5 mostra os dados de consumo (Figuras 44 a 46) e os índices de radiação do referente a cada dia de medição com o *Sonoff Pow*. Conforme mostrado nos gráficos do instrumento de medição, para as condições sem revestimento e com MDF, as medidas foram adquiridas durante mais tempo enquanto com Tetra Pack foi durante exatos 10 dias. Isso aconteceu devido a indisponibilidade de acesso ao Campus quando foram instauradas as medidas de prevenção contra a Covid-19. Dessa forma, optou-se por analisar os resultados obtidos durante os primeiros 10 dias dos meses, para todas as condições estudadas, de forma a padronizar os critérios.

Tabela 6 – Detalhamento das medições realizadas.

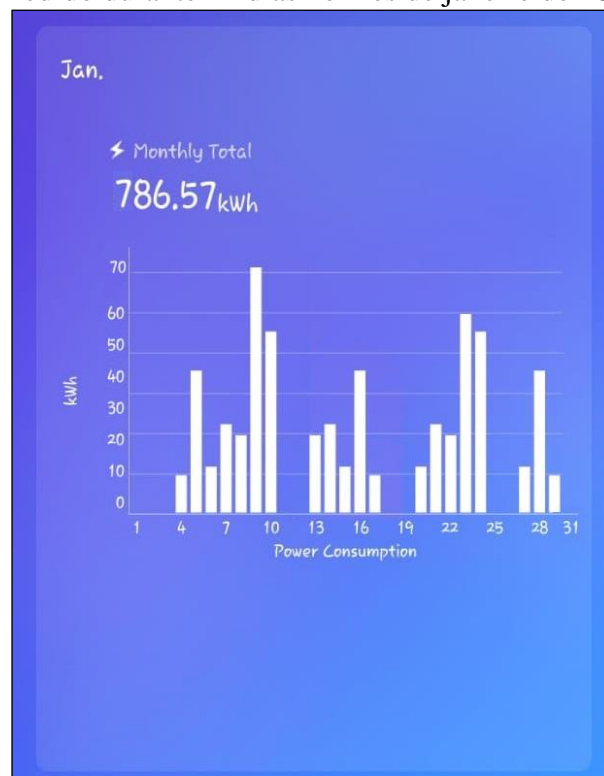
Dia	Condensador sem revestimento		Condensador com revestimento (MDF)		Condensador com revestimento (Tetra Pack)	
	Consumo (kWh)	Índice de Radiação (Wm^{-2})	Consumo (kWh)	Índice de Radiação (Wm^{-2})	Consumo (kWh)	Índice de Radiação (Wm^{-2})
1	22	987,1	45	983,3	5	982,4
2	10	986,1	12	978	12	990
3	25	985,7	22	983,9	12	993,8
4	12	979,3	20	985,6	7	994
5	22	991,2	72	982,4	8	990,8
6	20	990	55	990,7	11	988,4
7	15	987,8	20	985,7	5	983,3
8	22	990,4	22	979,1	2	984,5
9	15	987,7	12	976,2	4	982,6
10	18	988,1	45	991,2	12	993,8
Total Mensal	181	9873,4	325	9836,1	78	9883,6

Figura 44 – Consumo energético, em kWh, do condicionador de ar com condensador sem revestimento medido durante 16 dias no mês de dezembro de 2019.



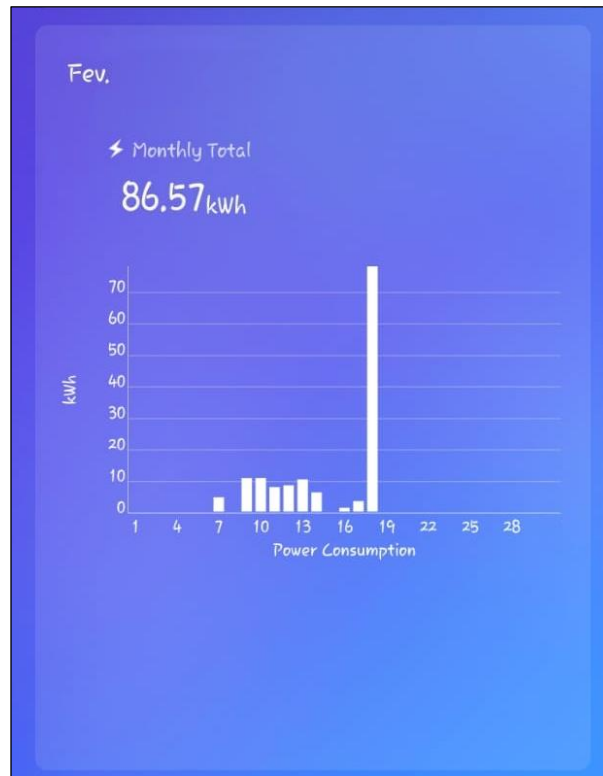
Fonte: Ewelink (2021)

Figura 45 – Consumo energético, em kWh, do condicionador de ar com condensador com revestimento de MDF medido durante 21 dias no mês de janeiro de 2020.



Fonte: Ewelink (2021)

Figura 46 – Consumo energético , em kWh, do condicionador de ar com condensador com revestimento de Tetra Pack medido durante 10 dias no mês de fevereiro de 2020.



Fonte: Ewelink (2021)

As imagens acima apresentam como eram demonstrados os dados obtidos no *Sonoff Pow*. No eixo das abcissas é fornecido os valores de consumo, e no eixo das ordenadas são mostrados em ordem crescente, os dias os quais foram realizadas medições. Acima no canto direito é identificado o mês equivalente em que foram mensurados seguido da soma total do consumo. Por ser necessário padronizar os critérios para estabelecer um período de dez dias de medição igual com cada material, os valores do consumo total fornecidos em cada mês medido pelo *app*, é ligeiramente maior dos valores registrados na Tabela 5.

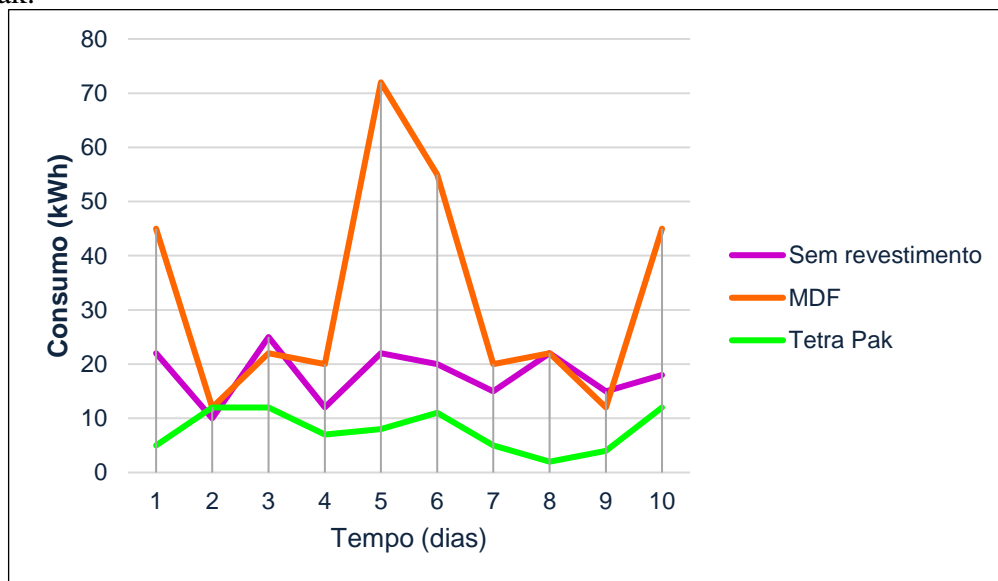
As medições mostram que existe influência do revestimento, contudo o comportamento é oposto do esperado. Ao se utilizar MDF o consumo aumentou em 144 kWh, enquanto com o Tetra Pack o consumo diminuiu cerca de 103 kWh, ambas as situações se comparando com a condição sem revestimento. Mesmo quando comparado ao cálculo do consumo do sistema com a potência nominal do equipamento, que é aproximadamente 70 kWh, a média dos dados de consumo obtidos experimentalmente estão bem abaixo desse número, o que evidencia a boa eficiência dos materiais empregados. Durante as três condições analisadas, a variação dos índices de radiação foi pequena.

É possível destacar que a uma alteração na medição realizada no dia 17/02/20, com o revestimento de Tetra Pak, em comparação com o padrão obtido nos dias que precederam. Neste

dia o equipamento não foi desligado. Assim, o instrumento de medição mensurou o consumo do dia equivocado, porém foi descartado nos cálculos posteriores, a fim de não prejudicar o resultado.

Na Figura 47 os resultados de consumo são mostrados em um mesmo gráfico para facilitar a visualização das análises acima.

Figura 47 – Consumo registrado no condicionador de ar, referente aos períodos verificados com o condensador sem revestimento e com as malhas térmicas construídas em MDF e embalagens Tetra Pak.



Fonte: Autora (2021)

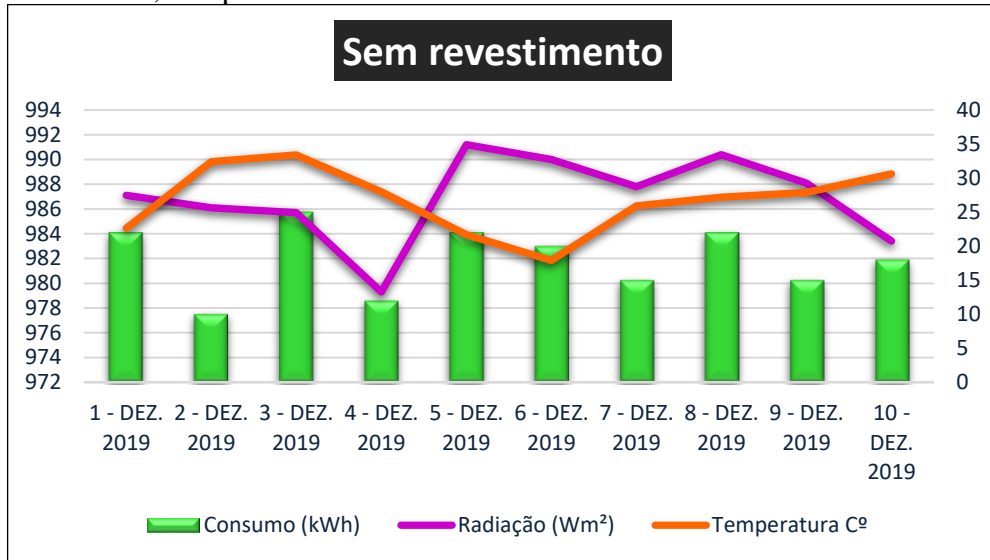
5.2 Análise da eficiência energética

O consumo de energia de uma edificação afeta diretamente seus custos funcionais e operacionais, dessa maneira é bastante relevante promover e incentivar as boas práticas nos espaços e utilização de equipamentos, sendo de grande relevância aplicar tecnologias e recursos que visem elevar a eficiência.

Com base nos registros obtidos nos ensaios do equipamento, os gráficos apresentados nas Figuras 48 a 50, representam as variações em relação ao consumo energético, radiação e temperatura externa mensurados ao longo dos períodos de medição, para cada situação. Logo, é possível produzir algumas comparações e considerações, com o propósito de obter um material mais eficiente.

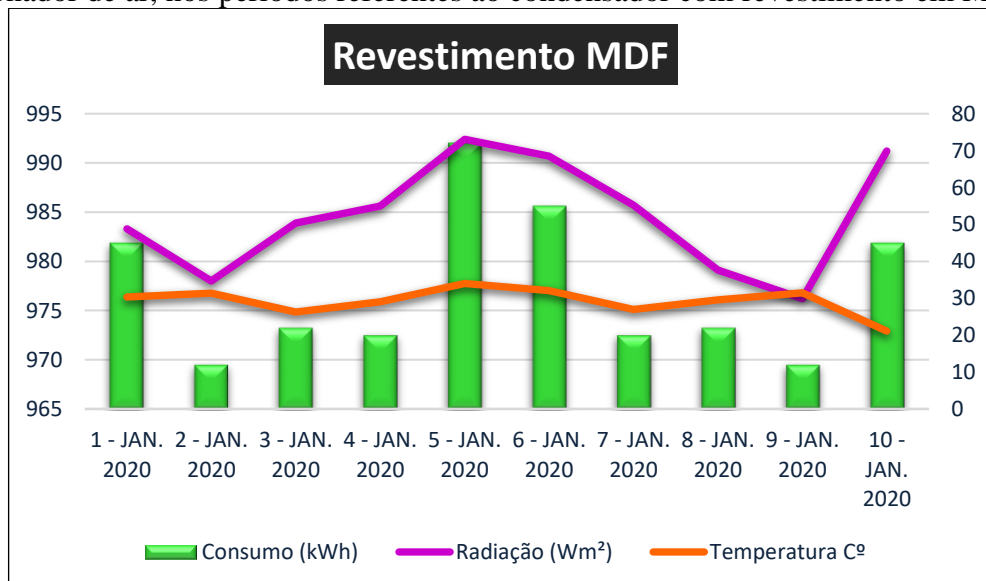
A modelagem gráfica expressa a curva de radiação solar praticamente acompanha a curva de consumo do equipamento, no que tange aos dados do consumo sem e com o revestimento em MDF (Figura 48 e 49)) Ao que demonstra pouca interferência da temperatura externa.

Figura 48 – Relação entre o consumo, radiação e temperatura externa registrados no condicionador de ar, nos períodos referentes ao condensador sem revestimento.



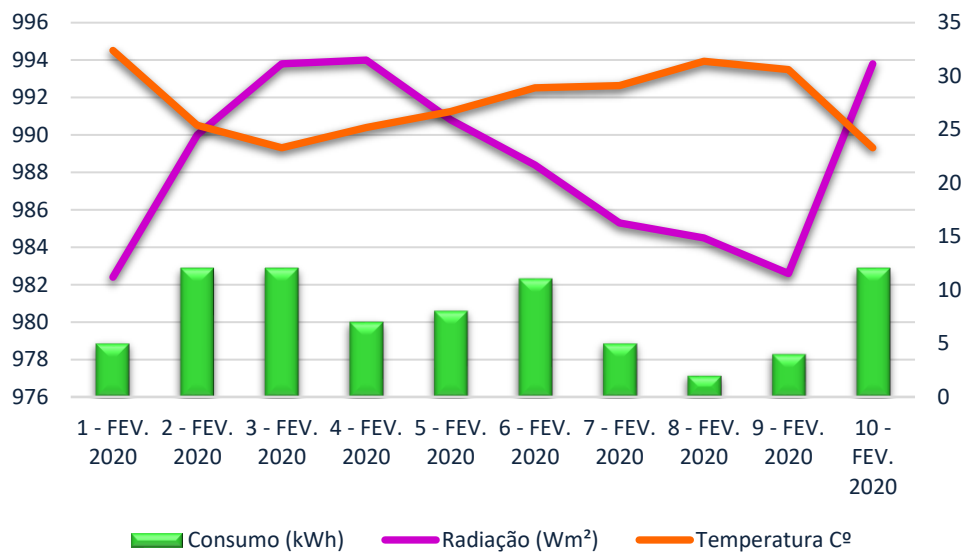
Fonte: Autora (2021)

Figura 49 – Relação entre o consumo, radiação e temperatura externa registrados no condicionador de ar, nos períodos referentes ao condensador com revestimento em MDF.



Fonte: Autora (2021)

Figura 50 – Relação entre o consumo, radiação e temperatura externa registrados no condicionador de ar, nos períodos referentes ao condensador com revestimento com embalagens Tetra Pak.



Fonte: Autora (2021)

É possível observar que a curva da radiação solar acompanha as tabelas de consumo registrados, isto é, nos dias que o consumo foi maior o índice de radiação foi mais elevado.

Conforme o demonstrado na Tabela 3, referente aos dados técnicos fornecidos pelo fabricante, o condicionador de ar utilizado possui uma ENCE de 2,92 kWh e classe C de eficiência energética pela PROCEL. Ao tomar como base a capacidade de refrigeração fornecida pelo fabricante de 3516 W, e o máximo valor de potência medido durante o experimento, 1246 W, temos o valor do coeficiente de performance:

$$COP = \frac{\text{Capacidade de refrigeração (W)}}{\text{Potência elétrica (W)}} = \frac{3516}{1246} = 2,82 \quad [5]$$

Esse resultado garante ao equipamento a faixa de classificação C, pela tabela da PROCEL de Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.

No cálculo acima há uma certa divergência entre o valor fornecido pelo fabricante e os valores encontrados. Apesar do coeficiente de eficiência energética calculado com a potência consumida do experimento, ser o mesmo valor da E.E.R disponibilizado pelo catálogo do fabricante, o valor da potência no nominal é 1160W. Se a potência usada na operação COP, fosse a do catálogo, o valor do fator de eficiência seria 3,03, o que conferiria ao equipamento condicionador de ar, a classificação B, e não C como a que possui.

Com base nos aspectos de consumo extraídos nos experimentos com e sem os revestimentos, e considerando ainda a análise dos gráficos plotados, algumas considerações e comparações são relevantes, com a finalidade de atingir a condição mais eficiente.

Portanto, é possível analisar, através da razão entre potência dada pelo fabricante a média obtida durante as medições, a relação entre o consumo dos equipamentos e a potência elétrica, durante as 6h diária de medição.

Tabela 7 – Valores médios para consumo e potência consumida durante procedimento experimental.

Material	Consumo médio (kWh)	Potência média (W)
Sem revestimento	18,1	416
MDF	32,5	1200
Tetra Pak	7,8	200

Fonte: Autora, (2021)

Considerando que área total do Laboratório onde está instalado o condicionador de ar é 95,65m², e a área de aplicação especificada no catálogo do fabricante é entre 18 - 26 m², é importante avaliar a necessidade do ambiente a fim de dimensionar adequadamente um projeto de refrigeração, sem prejudicar o conforto térmico.

Para obter o coeficiente de eficiência energética, foi aplicada a capacidade de refrigeração informada pelo fabricante, em razão da maior potência consumida durante o experimento com o ar-condicionado.

Tabela 8 – Comparação do fator de eficiência.

Equipamento	COP Experimento	COP Fabricante
Komeco Brize	2,82	2,92

Fonte: Autora, (2021)

O equipamento apresentou um mesmo valor de fator de eficiência em relação ao divulgado pelo fabricante, respaldando o conjunto de dados que são disponibilizados na ENCE, tal qual suas respectivas classificações. O COP calculado garante ao equipamento a faixa de classificação C, pela tabela da PROCEL de Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.

Certamente por ser um aparelho implementado a tecnologia inverter, há de apresentar melhores resultados quando o assunto é eficiência de eletrodomésticos, característica que

permitiu que o equipamento consumisse quase que metade da potência nominal ao longos dos experimentos com as diferentes situações. Dessa maneira, é possível prever que se os procedimentos experimentais se estendessem por um período maior, ou dias por exemplo, teoricamente alcançariam melhores taxas de eficiência.

Contudo, apesar do comportamento dentro do esperado pela eficiente e inovadora tecnologia inverter disponível no equipamento utilizado, a surpresa da pesquisa foi desenvolver uma alternativa acessível, sustentável e eficaz reunindo resíduos de embalagens Tetra Pak. Apesar das pesquisas sobre o uso de embalagens Tetra Pak está em pleno desenvolvimento, ainda não há uma quantidade relevante de estudos conclusivos e publicados sobre o mesmo. Porém, é inegável a sua eficiente característica de barreira radiante nos diversos experimentos onde foram implementados, que vão de telhado refletor a janelas térmicas.

Amplamente descartados diretamente no lixo sem utilidade, o material é importante como alternativa a possibilidade de abrir essa linha de consumo ecológico como uma nova proposta a ser abordada, especialmente quando a motivação for reduzir o valor da fatura de energia, seja no âmbito comercial ou residencial. Uma das propostas do trabalho era conseguir se inserir no contexto social de práticas sustentáveis com medidas fáceis e baratas de serem implementadas em centros de ensino, como uma alternativa à menor consumo energético sem ter que renunciar ao conforto térmico.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho avaliou o comportamento da eficiência energética em um ar-condicionado sob efeito da radiação incidente, com três situações: o equipamento sem revestimento, com revestimento em MDF e com revestimento confeccionado com embalagens Tetra Pak. As medições evidenciaram que há influência direta dos revestimentos aplicados sobre o condensador no desempenho do consumo do aparelho. Ao utilizar a malha em MDF o consumo aumentou em 144 kWh, enquanto com o painel de Tetra Pak o consumo diminuiu cerca de 103 kWh; em ambas as situações se comparando com a condição sem revestimento. Desse modo, o material expressou excelente eficiência quando é utilizado com a superfície de baixa emissividade voltada para cima, agindo como barreira radiante contra a radiação solar direta no equipamento.

As embalagens de Tetra Pak reutilizadas como painel térmico atestaram ser uma solução viável sob o ponto de vista financeiro e ambiental, já que apresentaram resultados similares aos produtos comerciais semelhantes. Desse modo, fica a sugestão de melhoria com a instalação de uma brise permanente, confeccionado com produto comercial de material refletor mais resistente as variáveis climáticas da região, a fim de diminuir o consumo do equipamento.

O emprego de dos condicionadores de ar representam um elevado gasto energético para uma edificação. O funcionamento de aparelhos com uma performance ruim, especialmente os mal classificados em termos de conservação de energia como o equipamento estudado, afeta as condições que elevam mais o consumo de energia elétrica.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Baseado nas definições deste estudo e nas observações ao longo da pesquisa, são apontadas sugestões para serem desenvolvidas em trabalhos futuros:

- Utilizar a carta solar para auxiliar na obtenção das informações necessárias para desenvolver proteções contra a radiação e altas temperaturas em horários de maior intensidade. Através de ferramentas disponibilizadas nos *softwares* é possível projetar anteparos de proteção para as aberturas (marquises e brises) bem como sombras traçadas pelo entorno, usando os ângulos alfa, beta e gama. Com eles é possível criar as máscaras de sombreamento e determinar a melhor orientação da edificação e as proteções necessárias, conforme a metodologia aplicada neste estudo.
- Montar um planejamento estratégico da utilização das salas de aulas pelos cursos da Universidade em função da irradiação solar projetada no prédio. Como por exemplo, os cursos que têm maior quantidade de alunos e que vão dar aula no período da manhã, utilizar as salas de aula do lado Oeste do campus, que recebe menores índices de radiação nos horários matutinos. Em contrapartida, os que forem ministrar aulas no período da tarde, poderiam utilizar a ala Leste do campus para desenvolver suas atividades. Desse modo diminui a carga térmica nos ambientes e melhora a eficiência energética do conforto térmico nesses espaços.
- Viabilizar uma nova coleta de dados das variações climáticas externas e aplicar um questionário aos usuários durante um determinado período de tempo, para avaliar a situação térmica das salas de ensino em função do desempenho de cada sistema de refrigeração proposto.
- A malha térmica confeccionada em MDF, pode ser aberta na região do ventilador do condensador, a fim de ampliar a área para passagem do calor do equipamento e favorecer o desempenho dele.
- Averiguar qual a dimensão apropriada das aberturas das salas a fim de promover as trocas de ar internas.
- Analisar a ventilação natural dos espaços, de forma a apurar a eficiência do sistema de ventilação cruzada dentro das salas de aula, dessa maneira uma opção é inserir aparelhos para exaustão do ar, potencializando as trocas de ar internas.

8 REFERÊNCIAS

- ABIPA. **Nossas unidades industriais**. Disponível em: <http://www.abipa.org.br/industrias.php>. Acesso em: 10 de abr. 2021.
- ABRELPE - Associação Brasileira De Empresas De Limpeza Pública E Resíduos Especiais. **Panorama De Resíduos Sólidos No Brasil 2015**. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>. Acesso em: 12 abr.2021.
- AIE (2018), **O Futuro do Resfriamento**, IEA, Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling>. Acesso em: 01 abr. 2021.
- AIE (2021), **Global Energy Review 2021**, IEA, Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>. Acesso: 04 abr. 2021.
- ALVES, J. B., Aprile, M. R. e Kinoshita, M. (1997), **Produção do frio, Noções de termodinâmica** - SENAI.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS*, Atlanta. 2013
- ANEEL – **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/> Acesso em: 20 mar. 2021.
- ANSI/ASHRAE 55-2013. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**.
- ARAÚJO, V. Índices e zonas de conforto térmico. Trabalho Programado. São Paulo: FAUUSP, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). NBR -7190/97 – **Projetos**
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005). NBR 15220/05 **Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15316: Painéis de fibras de média densidade. Parte 2: requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro. 2015.
- BETAEQ, 2021. Disponível em: <https://betaeq.com.br/index.php/2019/05/28/fluidos-refrigerantes-historia-e-aplicacao/>. Acesso em: 09 abr. 2021.
- BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo, 2009. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br>. Acesso em: 18 Abr. 2021.
- CEMPRE - **Compromisso Empresarial para a Reciclagem**. Ficha Técnica Embalagens Cartonadas Longa Vida. CEMPRE, São Paulo, 2013. Disponível em: http://www.cempre.org.br/ft_longavida.php. Acesso em: 01 abr. 2021.
- CERQUEIRA, Eufrosina A. F. ; **“Análise do conforto ambiental em edificação escolar**. In: Sitientibus, Feira de Santana, 2003. Disponível em: http://www2.uefs.br/sitientibus/pdf/28/analise_do_conforto_ambiental.pdf. Acesso em: 10 abr.

2021.

CHEN, S. *Global demand for pv modules temporarily decreases in 3q19, but annual demand may still go above 120gw, says energytrend*. 17 de jul. 2019. Disponível em: <https://www.energytrend.com/research/20190717-14551.html>. Acesso em: 26 fev. 2021.

CREDER, H. (2004), **Instalações de Ar Condicionado**, 6ª Edição, Editora Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro, 2004.

DA SILVA, MARCELINO NASCIMENTO. **Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial e comercial**. ELETROBRÁS PROCEL e Consórcio EFICIENTIA/FUPAI, Rio de Janeiro, 2005.

DE VECCHI, R. **Condições de conforto térmico e aceitabilidade da velocidade do aremsalas de aula com ventiladores de teto para o clima de Florianópolis/SC**. 2011. 142f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

ELETROBRAS. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005: classe Residencial Relatório Brasil - Sumário Executivo**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS; PROCEL, 2009. Disponível em: <http://www.elektrobras.com/pci/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7B99EBBA5C-2EA1-4AEC-8AF2-5A751586DAF9%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>. Acesso em: 10 fev. 2021.

Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética/Alberto Hernandez Neto... [et al.]; organização José Roberto Simões Moreira. - 1. ed. - [Reimpr.] - Rio de Janeiro: LTC, 2019.

ENGEL, Rafael Costa. **ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO DE COMPRESSORES ALTERNATIVO E ROTATIVO EM BOMBAS DE CALOR PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA DE USO DOMÉSTICO**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/214959>. Acesso em: 09 abr. 2021.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2020: ano base 2019**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-interativo>. Acesso em: 10 jan. 2021.

EPF - **EUROPEAN PANEL FEDERATION**. MDF. Disponível em: <http://www.europanel.eu/mdf/>. Acesso em: 01 jan. 2021.

FANGER, P. O. *Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering*. Copenhagen: Darlish Technical Press, 1970.

FLORES, José Luís Olmos. **Sistema Híbrido de Climatização Visando Conforto Fujitsu General. Tecnologia Inverter**. 2021. Disponível em: Tecnologia Inverter - Produtos: Ar-condicionado - FUJITSU GENERAL DO BRASIL (fujitsu-general.com). Acesso em: 08

abr. 2021.

GOLDEMBERG, J. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo – Edusp, 2006.

IEA (2018), *The Future of Cooling*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling>. Acesso em: 27 jan. 2021.

IEA (2020), *Cooling Emissions and Policy Synthesis Report*, IEA, Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/cooling-emissions-and-policy-synthesis-report>. Acesso em: 10 mar. 2021.

IEA (2020), *World Energy Balances: Overview*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview>. Disponível em: World Energy Balances – Analysis - IEA. Acesso em: 11 fev. 2021.

IEA (2021), *Global Energy Review 2021*, IEA, Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>. Acesso em: 20 fev. 2021.

INCROPERA, F.; DEWITT, D.P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**, 7ª ed., Rio de Janeiro: LTC, 2014. BIRD, R.B.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inmet?r=clima/graficosClimaticos>. Acesso em: 02 mar. 2021.

INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. 2017. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?ViewID=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B33595D83F8DFB98%7D¶ms=itemID=%7BABFC610F-53E8-439D-9AF5-8F305CD7338B%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>. Acesso em: 4 fev. 2021.

KOMEKO. **Manual de Instalação**, 2013. Disponível em: <https://www.komeco.com.br/>. Acesso em: 10 abr. 2021.

KOMEKO. **Manual do Usuário - BRIZE**, 2013. Disponível em: <https://www.komeco.com.br/>. Acesso em: 10 abr. 2021.

LABEEE - **Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina. 2021. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/implementacao/uso-da-cartasolar/#:~:text=A%20carta%20solar%20%C3%A9%20uma,altitude%20solar%20sobre%20o%20plano..> Acesso em: 18 abr. 2021.

MAGAZINE DO AR. **Ar condicionado Inverter**. Disponível em: <http://www.magazinedoar.com.br/ar-condicionado-inverter>. Acesso em: 10 abr. 2021.

MARTINI, D.; TRINDADE, T. Q. da. Modelagem matemática da reflexão da radiação solar utilizando embalagens Tetra Pak® como isolante térmico. **Revista Científica da Ajes**, v. 2, 2011.

MICHELS, C. **Análise da Transferência de Calor em Coberturas com Barreiras Radiantes**. Dissertação de Mestrado, 2007. Disponível em: <http://tede.ufsc.br>. Acesso em: 02 abr. 2021.

MME (Brasil); Colaboração Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Plano Nacional de Energia, 2030. Brasília, 2019. Ministério das Minas e Energia – MME.

Moran M. J., Shapiro H. N., Boettner D. D. e Bailey M. B. (2014). **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**, LTC Editora: 7ª edição, Rio de Janeiro.

NASCIMENTO, R.M.M.; VIANA, M.M.M.; SILVA, G.G.; BRASILEIRO, L.B. **Embalagem cartonada longa vida: Lixo ou luxo?** Química Nova na Escola, 2007.

PEREIRA, C. D.; LAMBERTS, R.; GHISI, E. **Nota técnica referente aos níveis mínimos de eficiência energética de condicionadores de ar no Brasil**. Florianópolis, 2013.

PIMENTA, João M. D. **Ar condicionado: Psicrometria**. Agosto a Dezembro de 2009.

PIMENTA, João. **Refrigeração: O Ciclo de Refrigeração por Compressão a Vapor**. Maio a Setembro de 2010. 86 slides. Notas de Aula. Apresentação MS PowerPoint.

PROCEL. **Avaliação do Mercado de Eficiência Energética do Brasil: ano base 2005 - Setor Comercial**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BB84471D1%2DC83D%2D41D3%2D9879%2DB72F4082279C%7D>. Acesso em: 10 fev. 2021.

PROCEL. **Avaliação do Mercado de Eficiência Energética do Brasil: ano base 2005 - Setor Residencial**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/PPH-2019.aspx>. Acesso em: 10 fev. 2021.

PROCEL. **Equipamentos com selo PROCEL de energia**. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={B70B5A3C-19EF-499D-B7BC-D6FF3BABE5FA}>. Acesso em: 10 abr. 2021.

REMADE. Revista da Madeira: **Painéis – Cresce presença no setor**. Edição especial. Maio, 2003.

SIEGEL, R; HOWELL, J. **Thermal Radiation Heat Transfer**. 4th Edition. New York. Taylor & Francis, 2002.

SOFTWARE ANALYSIS SOL - AR. **Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina. 2021. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar>. Acesso em: 18 abr. 2021.

Térmico e Eficiência Energética. 2009. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). **TETRA PARK®**. Disponível em: <http://www.tetrapak.com.br>. Acesso em 02 ago. 2021.

TORQUATO, Luciane Paes. **CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS MDF COMERCIAIS PRODUZIDOS NO BRASIL**. Tese (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade

Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, 2008. Disponível em: http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/2008/d515_0712-M.pdf. Acesso em: 01 abr. 2021.

WIRZ, DICK. **Refrigeração comercial para técnico em ar-condicionado**, 1ª edição. Cengage Learning BR; Dezembro, 2011.

XAVIER, A. A. P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis**. 1999. 209 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

ZUBEN, F. von; NEVES, F. L; **“Reciclagem do alumínio e do polietileno presentes nas Embalagens Cartonadas Tetra Pak”**. In: Seminário Internacional de Reciclagem do Alumínio, São Paulo, 1999. anais. São Paulo: ABAL, 1999.

APÊNDICE A – Artigo do Trabalho de Conclusão do Curso

ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM AR-CONDICIONADO COM CONTROLE AUTOMATIZADO ⁽¹⁾

Bruna Fontenele Ferreira Silveira ⁽²⁾, Sabrina Neves da Silva ⁽³⁾.

⁽¹⁾ Trabalho de conclusão ⁽²⁾ Estudante; Universidade Federal do Pampa; Bagé, Rio grande do Sul;
bruna.fonsilfera@gmail.com;

⁽³⁾ Orientador; Universidade Federal do
Pampa.

RESUMO

O trabalho avaliou a eficiência energética de um equipamento de ar-condicionado através da medição do consumo. Inicialmente caracterizou o local e aparelho do estudo na Unipampa, selecionou os materiais que serviram como isolantes térmicos (MDF e Tetra Pak com a barreira de radiação virada para cima no condensador), definiu os critérios para executar as medições de forma padronizada, em seguida foi instalado o instrumento que realizou a medição do consumo remotamente. Após dez dias de medição em cada situação, em um período diário de seis horas, entre os meses de dezembro de 2019, janeiro e fevereiro de 2020. Avaliou graficamente a relação entre os efeitos dos índices de radiação e temperaturas externas, sobre o consumo e por fim estimou a eficiência energética do sistema proposto. Nas análises ficou evidente a influência do revestimento no consumo, pois a medição com revestimento em MDF o consumo aumentou cerca de 144 kWh, enquanto com o material Tetra Pak, o consumo diminuiu cerca de 103 kWh, concretizou a eficiência do material laminado como barreira radiante.

Palavras-chaves: Eficiência energética. Tetra Pak. Ar-condicionado.

1 INTRODUÇÃO

O uso de equipamentos de ar-condicionado cresce exponencialmente, modifica as características de consumo de energia elétrica e promove impactos relevantes no sistema elétrico mundial, principalmente brasileiro. Desse modo, é essencial sinalizar e implementar alternativas a fim de analisar o comportamento energético dos prédios pertencentes às instituições de ensino superior no Brasil.

O presente trabalho objetiva avaliar a eficiência energética em uma sala da Universidade Federal do Pampa, através de medições do consumo energético, com diferentes material térmicos, em um condicionador de ar instalado nesse ambiente . A metodologia consiste em: a) caracterizar o equipamento e local do estudo; b) selecionar materiais de descarte para usar como malha térmica no condensador; c) instalar o interruptor de energia sem fio para monitorar remotamente o comportamento da eletricidade no equipamento; d) definir os critérios de medição, tais como intervalo de tempo, velocidade do ventilador e temperatura do aparelho; e) medir o consumo energético do ar-condicionado, em kWh; f) levantar de dados climáticos de verão, temperatura do ar, radiação solar, nos períodos medidos; g) tratar os dados climáticos; h) estimar a eficiência energética do sistema proposto e i) avaliar os resultados coletados com o garantido pelo fabricante do aparelho.

2 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho a pesquisa foi desenvolvida na Sala 1105 – Laboratório de Sistemas Eólicos, situada no Bloco 1 do edifício do curso Engenharia de Energia da Universidade Federal do Pampa (Campus Bagé), no período de 09/12/2019 a 16/01/2020, durante o período de verão.

A fim de avaliar a eficiência energética através de medições do consumo energético, com diferentes materiais térmicos, em um condicionador de ar instalado nesse ambiente a análise foi realizada considerando o condensador sem revestimento e revestido, com dois tipos de materiais de descarte:

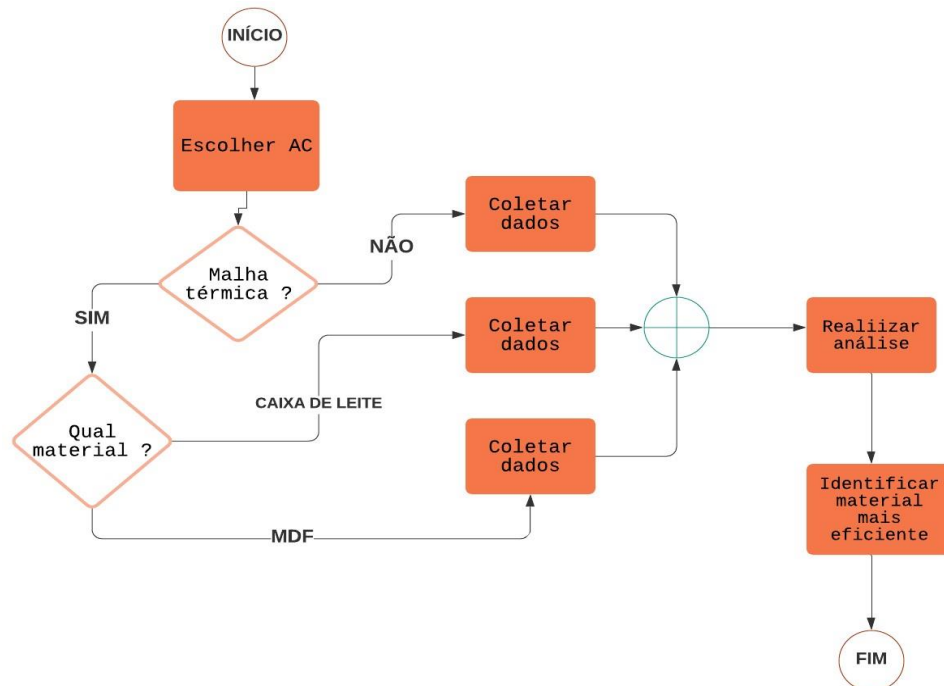
- i) Tetra Pak (caixa de leite longa vida); ii) Placa de fibra de média densidade (MDF-*Medium Density Fiberboard*).

Envolveu ainda a coleta e análise de dados climáticos da região gerados no Instituto Nacional de Meteorologia.

A fim padronizar as medições, os critérios abaixo foram adotados:

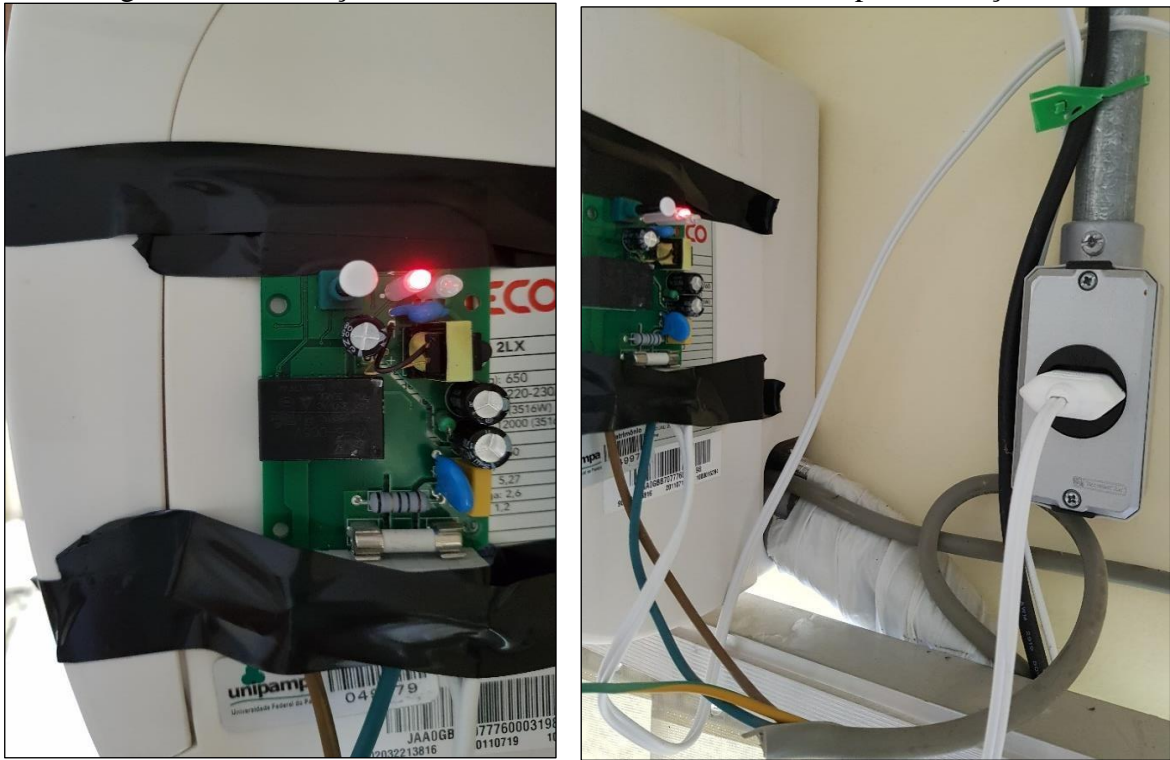
- i. Boa vedação das janelas no local e porta fechada durante o processo sem rodízio de usuários, de forma a evitar renovação de ar e variação da temperatura interna;
- ii. O ventilador do condicionador operou na velocidade máxima, mantevese a temperatura do ar-condicionado em 24°C, pois é a temperatura sugerida pelo manual do fabricante no modo de operação aquecimento (quente/frio);
- iii. O período de duração das medições foi de 6 horas, com possibilidade de ser estendido até 8 horas. Dada as circunstâncias do período do experimento que ocorreu na estação verão.

Figura 01 – Fluxograma do procedimento experimental.



Fonte: Autora (2021)

Figura 02 – Instalação do *Sonoff Pow* no ar-condicionado para obtenção de dados.



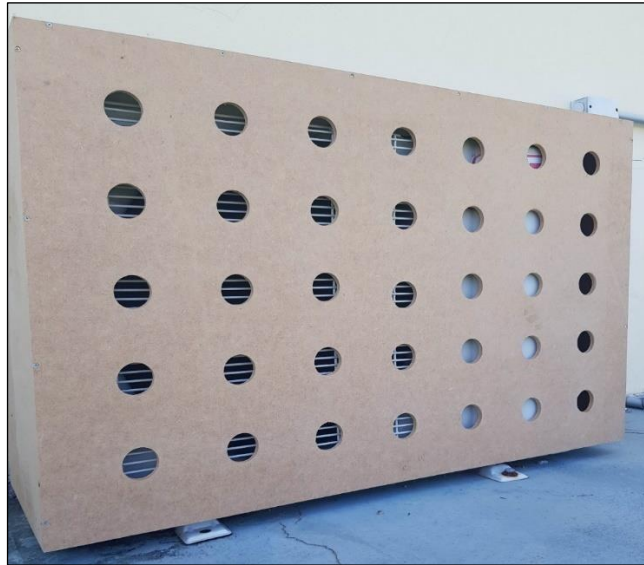
Fonte: Autora (2021)

Figura 03– Vista externa do painel formado pela disposição das caixas Tetra Pak após higienização, na unidade condensadora do equipamento.



Fonte: Autora 2021.

Figura 04 – Disposição do protótipo em MDF na unidade condensadora do equipamento.



Fonte: Autora (2021)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

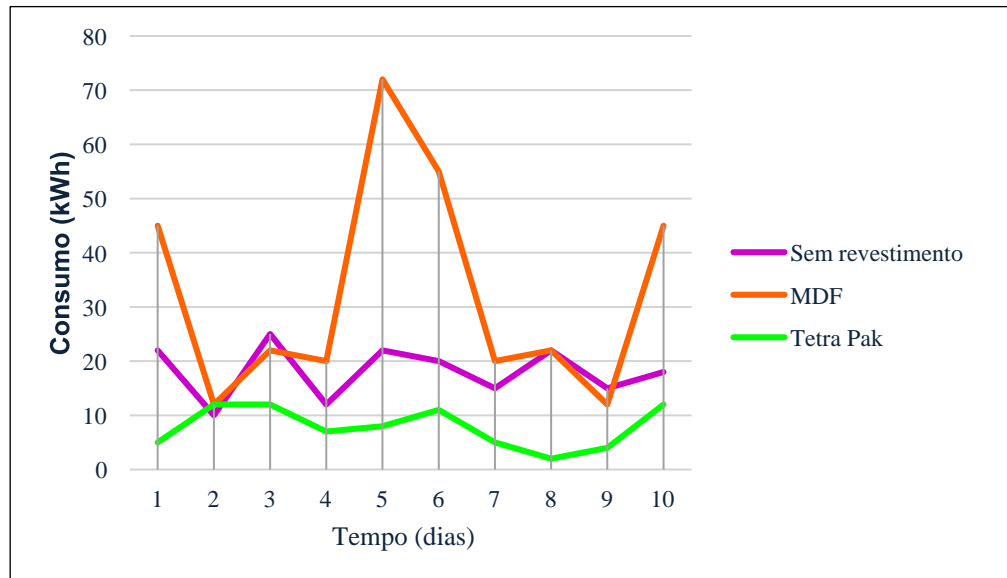
A Tabela 1 mostra os dados de consumo e os índices de radiação do referente a cada dia de medição com o *Sonoff Pow*. Conforme mostrado nos gráficos do instrumento de medição, para as condições sem revestimento e com MDF, as medidas foram adquiridas durante mais tempo enquanto com Tetra Pack foi durante exatos 10 dias.

Tabela 1 – Detalhamento das medições realizadas.

Dia	Condensador sem revestimento		Condensador com revestimento (MDF)		Condensador com revestimento (Tetra Pack)	
	Consumo (kWh)	Índice de Radiação (Wm^{-2})	Consumo (kWh)	Índice de Radiação (Wm^{-2})	Consumo (kWh)	Índice de Radiação (Wm^{-2})
1	22	987,1	45	983,3	5	982,4
2	10	986,1	12	978	12	990
3	25	985,7	22	983,9	12	993,8
4	12	979,3	20	985,6	7	994
5	22	991,2	72	982,4	8	990,8
6	20	990	55	990,7	11	988,4
7	15	987,8	20	985,7	5	983,3
8	22	990,4	22	979,1	2	984,5
9	15	987,7	12	976,2	4	982,6
10	18	988,1	45	991,2	12	993,8
Total Mensal	181	9873,4	325	9836,1	78	9883,6

Fonte: Autora (2021)

Figura 05 – Consumo registrado no condicionador de ar, referente aos períodos verificados com o condensador sem revestimento e com as malhas térmicas construídas em MDF e embalagens Tetra Pak.



Fonte: Autora (2021)

Com base nos registros obtidos nos ensaios do equipamento, os gráficos apresentados nas Figuras 48 a 50, representam as variações em relação ao consumo energético, radiação e temperatura externa mensurados ao longo dos períodos de medição, para cada situação. Logo, é possível produzir algumas comparações e considerações, com o propósito de obter um material mais eficiente. A modelagem gráfica expressa a curva de radiação solar praticamente acompanha a curva de consumo do equipamento, no que tange ao dados do consumo sem e com o revestimento em MDF (Figura 48 e 49)) Ao que demonstra pouca interferência da temperatura externa.

Conforme os referente aos dados técnicos fornecidos pelo fabricante, o condicionador de ar utilizado possui uma ENCE de 2,92 kWh e classe C de eficiência energética pela PROCEL. Ao tomar como base a capacidade de refrigeração fornecida pelo fabricante de 3516 W, e o máximo valor de potência medido durante o experimento, 1204 W, temos o valor do coeficiente de performance:

$$COP = \frac{\text{Capacidade de refrigeração (W)}}{\text{Potência elétrica (W)}} = \frac{3516}{1204} = 2,92 \quad [1]$$

Esse resultado garante ao equipamento a faixa de classificação C, pela tabela da PROCEL de Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.

4 CONCLUSÃO

As medições denotam que existe influência dos revestimentos no consumo do ar-condicionado. Ao utilizar a malha em MDF o consumo aumentou em 144 kWh, enquanto com o painel de Tetra Pack o consumo diminuiu cerca de 103 kWh; em ambas as situações se comparando com a condição sem revestimento. Desse modo, o material expressou excelente eficiência quando é utilizado com a superfície de baixa emissividade voltada para cima, agindo como barreira radiante contra a radiação solar direta no equipamento.

5 REFERÊNCIAS

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inmet?r=clima/graficosClimaticos>.

Acesso em: 02 mar. 2021.

INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. 2017.

Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?ViewID=%7B5A08CAF0-06D1-4FFEB33595D83F8DFB98%7D¶ms=itemID=%7BABFC610F-53E8-439D-9AF58F305CD7338B%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182629352E9EB18%7D>. Acesso em: 4 fev. 2021.

PEREIRA, C. D.; LAMBERTS, R.; GHISI, E. **Nota técnica referente aos níveis mínimos de eficiência energética de condicionadores de ar no Brasil**.

Florianópolis, 2013.

PROCEL. **Equipamentos com selo PROCEL de energia**. Disponível em:

<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={B70B5A3C-19EF-499D-B7BCD6FF3BABE5FA}>. Acesso em: 10 abr. 2021.

WIRZ, DICK. **Refrigeração comercial para técnico em ar-condicionado**, 1ª edição. Cengage Learning BR; Dezembro,2011.