

VOLUME 2

2024

E-TEC

Revista de Tecnologia e Ciência



WWW.UNISENAIPR.COM.BR

 UniSENAIPR

— Edição V2 - Ano 2024

— Corpo Editorial

Editor Chefe

Prof. Dr. Vicente de Lima Gongora

— Comitê Executivo

Profa. Esp. Adriana Giseli Leite Carvalho

Prof. Esp. Antônio Carlos Rodrigues

Profa. Dra. Camila Fogaça de Oliveira

Prof. Me. Fabio Rodrigo Milanez

Prof. Dr. Renato Kazuo Miyamoto

Prof. Dr. Rodolfo Alexandre Hildebrandt

Prof. Esp. Wesley Candido da Silva

Editora: Centro Universitário UniSenai Londrina

ISSN: 2358-5528

Direitos reservados

Centro Universitário UniSenai Londrina

Rua Belém, 844 - Londrina / PR (43) 3294-5100

Partes desta publicação poderão ser reproduzidas, sem a autorização prévia ou escrita deste Editor, desde que citada a fonte. Este periódico publica nomes individuais, comerciais, marcas registradas e produtos pertencentes a diversas companhias. O Editor utiliza-se destes nomes somente para fins editoriais e em benefício dos proprietários dos nomes e marcas, sem intenção de atingir seus direitos. Observa-se ainda que os dados contidos nos artigos são de responsabilidade dos próprios autores.

Editorial

**Edição TCCs - Aplicações na Indústria da
Eletrotécnica e Telecomunicações**

Prezados leitores e pesquisadores,
É com grande entusiasmo que apresentamos o Volume 2 – 2024 da Revista E-tec, uma publicação dedicada à difusão do conhecimento científico e tecnológico, com ênfase em aplicações na indústria eletrotécnica e de telecomunicações. Nesta edição, reunimos artigos de alta relevância, frutos de Trabalhos de Conclusão de Curso (TCCs) desenvolvidos com rigor acadêmico e forte orientação para soluções práticas no setor industrial. Os temas abordados refletem os avanços e desafios enfrentados pelos profissionais da área, trazendo contribuições que podem impulsionar processos, otimizar sistemas e fortalecer a inovação tecnológica. Convidamos todos os pesquisadores, profissionais e estudantes a explorarem os artigos desta edição, participando ativamente do debate científico e da aplicação prática dos conhecimentos apresentados. Além disso, incentivamos a submissão de novos artigos para os próximos volumes, consolidando a Revista E-tec como um espaço de referência para o compartilhamento de pesquisas aplicadas.

Atenciosamente,
Vicente Gongora [Editor-Chefe]



Semana do Meio Ambiente Geração Restauração

A exposição teve como objetivo principal sensibilizar a comunidade acadêmica e o público em geral sobre a importância da preservação ambiental e das práticas sustentáveis. Utilizando uma abordagem lúdica e interativa, a mostra buscou promover o engajamento dos participantes através de jogos e atividades que ilustravam conceitos de sustentabilidade, reciclagem e conservação dos recursos naturais.

Durante a Semana do Meio Ambiente, realizada de 5 a 10 de junho, a exposição contou com diversas atividades interativas e educativas, desenvolvidas pelos alunos do primeiro módulo dos cursos de Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica e Tecnólogo em Automação Industrial.



— *Introdução*

Seja um aluno UniSenai PR

Excelência em engenharias:

Com uma visão voltada para o futuro da indústria, formamos profissionais capacitados a impulsionar o desenvolvimento e a gerar soluções inovadoras para o setor industrial.

Cursos ofertados:

- Engenharia Mecânica
- Engenharia Elétrica
- Engenharia de Software
- Tecnologia em Automação Industrial



— Fique por dentro

Equipe de Londrina conquista terceiro lugar no Inova PR 2023 com projeto de monitoramento de estresse muscular

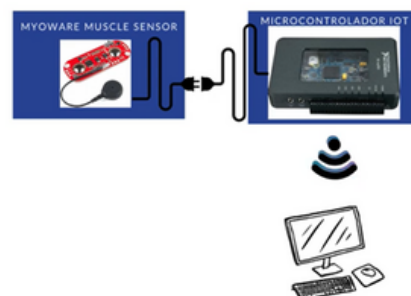
A equipe formada por estudantes e orientadores da área de Engenharia Elétrica e Automação Industrial conquistou o terceiro lugar na prestigiada competição Inova PR 2023. O projeto, que propõe um sistema de monitoramento de estresse muscular baseado em inteligência artificial, destacou-se pela inovação e aplicabilidade na indústria da saúde e bem-estar.

A iniciativa teve início em 2023 e passou por um rigoroso processo de incubação e desenvolvimento, sendo concluída em 2024. O sistema desenvolvido pela equipe permite a identificação de fadigas e lesões musculares, utilizando sensores avançados para monitoramento em tempo real, além de gerar gráficos e históricos personalizados para acompanhamento dos pacientes.

Conheça nossa equipe



SOLUÇÃO



Saiba Mais:



[HTTPS://WWW.SISTEMAFIEP.ORG.BR/INOVAPARANA/](https://www.sistefafiep.org.br/innovaparana/)

— *Sumário*

Capítulo I

Gestão Estratégica da Demanda Contratada para Consumidores do Grupo A Pg. 08

Capítulo II

Estudo da Eficiência Energética de Motores Elétricos na Indústria Farmacêutica Pg. 24

Capítulo III

Estudo da Viabilidade da Migração de um Consumidor Cativo do Setor Alimentício para o Mercado Livre de Energia Pg. 57

Capítulo IV

Análise e Monitoramento do Vídeo e Closed Caption via PID na TV Digital aplicada em uma Rede de Televisão Pg. 75

Capítulo V

Implementação do Sistema Lean em Laboratório Químico: Um estudo de caso no Centro Universitário UniSenaiPR Londrina Pg. 103



Capítulo I – Gestão Estratégica da Demanda Contratada para Consumidores do Grupo A

Djalma Leite de Oliveira ¹

Fabio Rodrigo Milanez ²

Leonardo Yuji Ishizaki ³

RESUMO

O Paraná possui cerca de 18 mil consumidores de energia elétrica atendidos no grupo A, em média tensão, contratando demanda e pagando consumo de energia elétrica, e aproximadamente 4,5 milhões do grupo B (pagando apenas consumo em kWh). O programa proposto nesse trabalho de conclusão de curso se baseia na criação de uma ferramenta capaz de fornecer um controle dessas grandezas elétricas aos gestores de energia elétrica dessas unidades de modo que utilizem a energia de maneira mais eficiente, evitando gastos desnecessários de modo que ele pague apenas pelo que ele contratou, com pouca margem de variação entre a energia contratada e a energia paga.

Palavras-chave: Cálculo de demanda. Fatura do grupo A. Ajuste. Gestão. Fator de potência.

Strategic Management of Contracted Demand for Group A Consumers

ABSTRACT

Paraná has around 18 thousand electricity consumers served in group A, at medium voltage, contracting demand and paying for electricity consumption, and approximately 4.5 million in group B (paying only for consumption in kWh). The program proposed in this course conclusion work is based on the creation of a tool capable of providing control of these electrical quantities to the electrical energy managers of these units so that they use energy more efficiently, avoiding unnecessary expenses so that they pay only for what he contracted, with little margin for variation between the contracted energy and the paid energy.

Key words: Demand calculation. Group A invoice. Adjustment. Management. Power factor.

¹ Engenheiro Eletricista. UniSenaiPR - Campus Londrina.

² Mestre em Bioenergia. UniSenaiPR - Campus Londrina, fabio.milanez@sistemafiep.org.br

³ Mestre em Engenharia Elétrica. yuji096@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um recurso essencial para o funcionamento da indústria, sendo usada para alimentar máquinas, equipamentos e sistemas, e é essencial para a produção de bens e serviços. No entanto, o consumo de energia elétrica na indústria é um dos principais fatores responsáveis pelo aumento das emissões de gases de efeito estufa. Além disso, a volatilidade dos preços da energia elétrica pode representar um risco financeiro significativo para as indústrias.

Nesse contexto, a gestão de energia elétrica assume uma importância estratégica importante, onde a gestão eficiente da energia elétrica pode contribuir para aumentar a eficiência e a sustentabilidade das indústrias, além de reduzir custos e melhorar a competitividade.

Nesse contexto a proposta de criação de uma ferramenta para essa gestão aparece como uma aliada no gerenciamento energético. Trata-se do GDC (Gestão de Demanda Contratada), um processo que visa otimizar o consumo de energia elétrica de grandes consumidores, ou seja, aqueles que têm consumo de alta tensão, superior a 2,3 kV, conforme REN ANELL nº 1000. Tal acompanhamento se faz importante pois permite que a indústria reduza seus custos com energia elétrica, sem comprometer a sua produção fabril. Isso é possível porque a GDC permite que os consumidores ajustem sua demanda contratada de energia de acordo com suas necessidades reais.

Dentre os principais objetivos da GDC, temos a otimização do uso dos recursos energéticos contratados referentes a energia elétrica junto a concessionária, principalmente para consumidores com alta demanda contratada, bem como a melhoria da eficiência energética, por meio da identificação e implementação de medidas de eficiência. Tudo isso contribui para a sustentabilidade ambiental, por meio da redução do consumo de energia.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A gestão de energia elétrica pode contribuir para a indústria de diversas formas, melhorando a eficiência energética e contribuindo para a sua transição, reduz as emissões de gases do efeito estufa e contribui para a sustentabilidade. Além desses itens destacamos:

2.1 Redução de custos:

A gestão de energia elétrica pode identificar oportunidades de redução de custos, por meio de ações como:

- 2.1.1 Melhoria da eficiência energética de máquinas e equipamentos;
- 2.1.2 Implementação de programas de eficiência energética.

2.2 Melhoria da eficiência:

A gestão de energia elétrica pode ajudar as indústrias a melhorar sua eficiência, por meio de ações como:

- 2.2.1 Monitoramento e controle do consumo de energia;
- 2.2.2 Implementação de sistemas de gestão da energia;
- 2.2.3 Capacitação dos colaboradores.

Com relação ao setor elétrico nacional, o mesmo se inicia em meados de 1889 na Proclamação da República, e continua até os dias atuais, onde nos últimos anos vem passando por mudanças visando o consumidor final, buscando preços competitivos e qualidade de energia (ABRADEE, 2023).

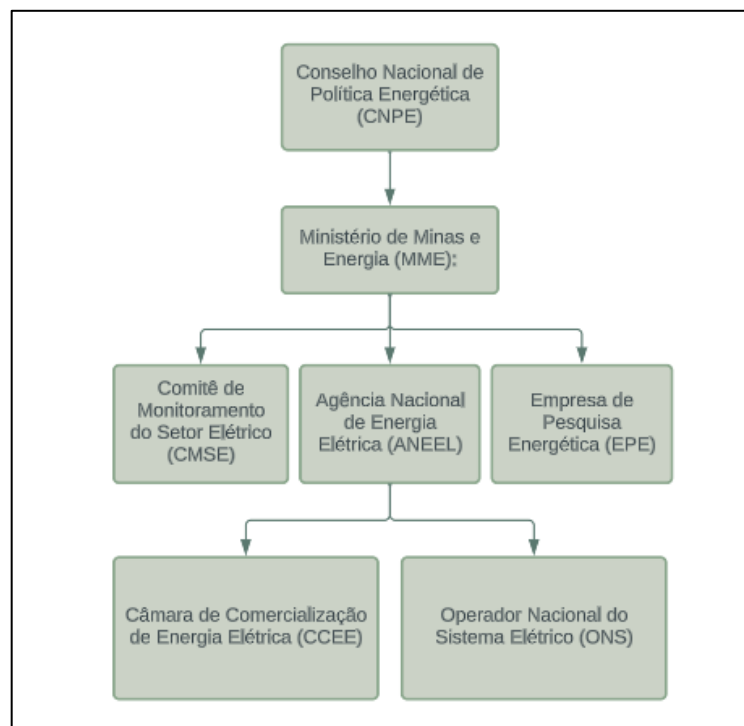
O setor elétrico brasileiro é composto por sete instituições, que realizam a coordenação das políticas públicas para operação do setor elétrico brasileiro.

- Conselho Nacional de Política Energética (CNPE): órgão colegiado responsável por formular a política energética nacional, incluindo a política de energia elétrica;
- Ministério de Minas e Energia (MME): órgão do governo federal responsável pela formulação e execução da política energética nacional, incluindo a política de energia elétrica;
- Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE): órgão colegiado responsável pelo monitoramento do setor elétrico brasileiro, incluindo o acompanhamento do suprimento de energia elétrica e da qualidade do serviço prestado;
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL): órgão regulador do setor elétrico brasileiro, responsável por garantir a qualidade, a eficiência e a segurança do fornecimento de energia elétrica;

- Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS): órgão responsável pelo planejamento, operação e controle do Sistema Interligado Nacional (SIN), que é a rede de transmissão de energia elétrica que conecta as regiões do Brasil;
- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE): órgão responsável pela negociação de energia elétrica no mercado livre de energia, que é o mercado de energia elétrica em que os consumidores podem comprar energia elétrica diretamente dos geradores;
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE): órgão responsável pela realização de estudos e pesquisas sobre o setor energético brasileiro, incluindo o setor elétrico;

Essas instituições atuam de forma complementar, com o objetivo de garantir o fornecimento de energia elétrica de qualidade, eficiente e seguro a todos os consumidores brasileiros. Se encontra estruturado conforme Figura 1.

Figura 1 – Estrutura do setor elétrico brasileiro



Fonte: (ANEEL, 2023)

Também temos as regras do setor elétrico nacional, baseadas na REN ANEEL nº 1000/2021. Ela dita todos os procedimentos de relacionamento entre a concessionária de energia e o consumidor final, na qual vamos nos concentrar no consumidor do grupo A, aquele que contrata demanda de energia medida em kW e

paga, além desta, consumo, em kWh. Os principais tópicos da REN ANEEL estão listados abaixo:

- Carga instalada: soma das potências nominais dos equipamentos elétricos instalados na unidade consumidora e em condições de entrar em funcionamento, expressa em kW (quilowatts);
- Carga demanda: média das potências elétricas ativas ou reativas, injetada ou requerida do sistema elétrico de distribuição durante um intervalo de tempo especificado;
- Demanda contratada: demanda de potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela distribuidora no ponto de conexão, conforme valor e período de vigência fixados em contrato, em kW (quilowatts);
- Demanda medida: maior demanda de potência ativa injetada ou requerida do sistema elétrico de distribuição pela carga ou geração, verificada por medição e integralizada em intervalos de 15 minutos durante o período de faturamento, em kW (quilowatts);
- Consumo de energia: processo realizado por equipamento que possibilite a quantificação e o registro de grandezas elétricas associadas ao consumo ou geração de energia elétrica e à potência ativa ou reativa, caso aplicável;
- Grupo A (A3a): tensão de conexão maior ou igual a 30 kV e menor ou igual a 44 kV;
- Grupo (A4): tensão de conexão maior ou igual a 2,3 kV e menor ou igual a 25 kV;
- Consumidor: pessoa física ou jurídica que se beneficia ou utiliza, efetiva ou potencialmente, do serviço público;
- Energia elétrica ativa: aquela que pode ser convertida em outra forma de energia, em kWh (quilowatts-hora);
- Energia elétrica reativa: aquela que circula entre os diversos campos elétricos e magnéticos de um sistema de corrente alternada sem produzir trabalho, em kVARh (quilovolt-ampère-reactivo-hora);
- Fator de potência: razão entre a energia elétrica ativa e a raiz quadrada da soma dos quadrados das energias elétricas ativa e reativa, consumidas num mesmo período;

- Posto tarifário: período em horas para aplicação das tarifas de forma diferenciada ao longo do dia;
- Modalidades tarifárias: A modalidade tarifária convencional é caracterizada por uma única tarifa para o consumo de energia, sem segmentação horária no dia.
- HS Azul: A modalidade tarifária horária azul é caracterizada por:
 - I - uma tarifa para a demanda para o posto tarifário ponta;
 - II - uma tarifa para a demanda para o posto tarifário fora de ponta;
 - III - uma tarifa para o consumo de energia elétrica para o posto tarifário ponta; e
 - IV - uma tarifa para o consumo de energia elétrica para o posto tarifário fora de ponta.
- HS Verde: A modalidade tarifária horária verde é caracterizada por:
 - I - uma tarifa para a demanda, sem segmentação horária;
 - II - uma tarifa para o consumo de energia elétrica para o posto tarifário ponta; e
 - III - uma tarifa para o consumo de energia elétrica para o posto tarifário fora de ponta.
- Excedente reativo: a distribuidora deve adicionar aos valores medidos de energia e de demanda, ativas e reativas excedentes;
- Ambiente de contratação regulada: para o consumidor livre e especial cujo atendimento se dê parcialmente em condições reguladas: conforme os valores médios mensais de energia elétrica, expressos em Mwmédios, para toda a vigência contratual, devendo a modulação dos montantes contratados ser realizada segundo o perfil de carga da unidade consumidora
- Contrato de fornecimento de energia: A distribuidora pode prestar os serviços dispostos no caput mediante celebração de contrato específico para tal fim, ficando a pessoa jurídica de direito público responsável pelas despesas decorrentes.

3 METODOLOGIA

Após conhecer os conceitos de energia e relacionamento entre concessionária de energia e o consumidor final, expostos na REN ANEEL nº 1000/2021, vamos nos concentrar na metodologia para o desenvolvimento da aplicação da ferramenta em

um caso real de cliente do grupo A, fazendo uso do aplicativo comparado a um cliente que não dispõe dessa tecnologia.

O aplicativo foi desenvolvido para auxiliar o consumidor final de energia de energia, aquele responsável pela gestão energética, a configurar sua fatura de energia de modo a contratar apenas necessário, sem desperdício.

O “Gestão de Demanda Contratada” é um aplicativo que foi desenvolvido usando a linguagem de programação Free Pascal e a IDE do Lazarus, ambos sendo Open Source. Isso significa que o aplicativo tem liberdade de desenvolvimento e aplicação, sem depender de licenças ou restrições de uso. O objetivo principal do aplicativo é fazer a gestão e acompanhamento da demanda contratada de energia elétrica, que é a quantidade de energia que uma empresa se compromete a consumir por um período determinado.

O aplicativo é fácil de usar e traz benefícios para os empresários, pois mostra as diferenças entre a demanda contratada e a demanda medida, que é a energia efetivamente consumida. Se a demanda medida for muito maior ou muito menor do que a demanda contratada, a empresa pode pagar multas ou desperdiçar recursos.

O aplicativo ajuda a evitar esses problemas, pois indica os valores aceitáveis de demanda, que são no máximo de 5% do valor contratado. O aplicativo também acompanha a data de vencimento do contrato de demanda, evitando que se perca os prazos e garantindo o melhor valor de demanda próximo ao real necessário.

Os valores de leitura das faturas de energia elétrica devem ser digitados no aplicativo para que o mesmo faça o seu trabalho de analisar qual é o ajuste necessário e a melhor opção tarifária para o cliente.

3.1 Desenvolvimento da ferramenta GDC:

O aplicativo para gestão da demanda contratada está estruturado da seguinte forma:

3.1.1 Plataforma

O aplicativo pode ser executado em qualquer plataforma que suporte o Free Pascal e o Lazarus. Isso inclui Windows, Linux, macOS e FreeBSD.

3.1.2 Linguagem de programação:

O aplicativo é desenvolvido usando a linguagem de programação Free Pascal. O Free Pascal é uma linguagem de programação de propósito geral, compilada, orientada a objetos e de alto nível.

3.1.3 IDE:

O aplicativo é desenvolvido usando a IDE do Lazarus. A IDE do Lazarus é um ambiente de desenvolvimento integrado que fornece uma interface gráfica de usuário para escrever, compilar e depurar código Free Pascal.

3.1.4 Bando de dados:

O aplicativo usa o banco de dados SQLite para armazenar os dados. É um banco de dados relacional de código aberto. Ele é implementado como uma biblioteca em linguagem C e permite ser usado em uma ampla variedade de aplicações, incluindo aplicativos de desktop, web e móveis.

3.1.5 Framework de desenvolvimento:

Lazarus Component Library (LCL), essa biblioteca é uma opção natural para desenvolver a interface gráfica do aplicativo, permitindo uma integração direta com o Free Pascal.

3.1.6 Front end da aplicação:

O aplicativo de "Gestão de Demanda Contratada" foi projetado com o objetivo de proporcionar uma experiência de usuário intuitiva e eficiente. A interface gráfica (LCL), que oferece uma ampla variedade de componentes para criar acessos de usuário visualmente atrativas. O menu inicial do aplicativo apresenta uma visão geral da situação atual da demanda contratada, exibindo de forma clara e concisa as informações mais relevantes. Um painel de controle centralizado permite que os usuários acessem rapidamente funcionalidades-chave, como o acompanhamento da demanda medida em comparação com a demanda contratada.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Sistema de Gestão de Demanda

A seguir apresentamos algumas das principais telas do aplicativo gestão de controle de demanda

4.1.1 Login: a tela inicial para validação de acesso do usuário previamente cadastrado no sistema.

Figura 02 – Tela de login

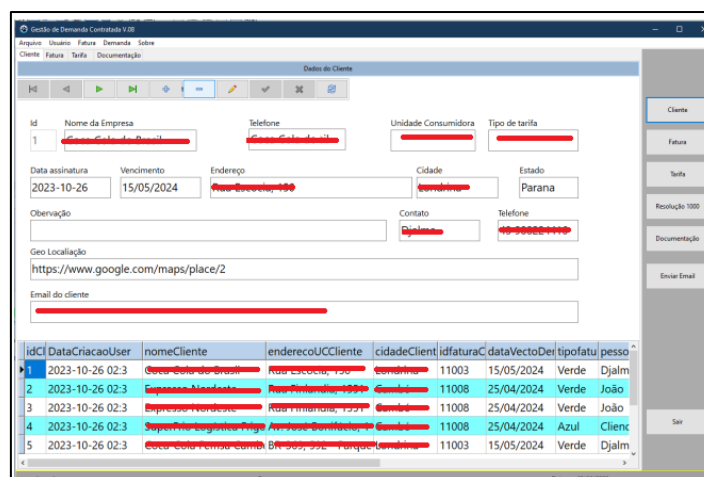


Fonte (Autor)

Somente após passar por esta etapa lhe será conferido acesso ao sistema.

4.1.2 Menu: a tela inicial do sistema, onde constam as principais informações para gestão da demanda, com acesso fácil os detalhes de cada uma destas.

Figura 03 – Tela do Menu Principal



idCl	DataCriacaoUser	nomeCliente	enderecoUCCiente	cidadeClient	idfaturoC	dataVectoDer	tipofatu	pesso
1	2023-10-26 02:3	Super Soluções Brasil	Rua Cacoeira, 120	Campanha	11003	15/05/2024	Verde	Djalma
2	2023-10-26 02:3	Super Soluções Brasil	Rua Cacoeira, 120	Campanha	11008	25/04/2024	Verde	João
3	2023-10-26 02:3	Super Soluções Brasil	Rua Cacoeira, 120	Campanha	11008	25/04/2024	Verde	João
4	2023-10-26 02:3	Super Soluções Brasil	Rua Cacoeira, 120	Campanha	11008	25/04/2024	Azul	Client
5	2023-10-26 02:3	Super Soluções Brasil	Rua Cacoeira, 120	Campanha	11003	15/05/2024	Verde	Djalma

Fonte (Autor)

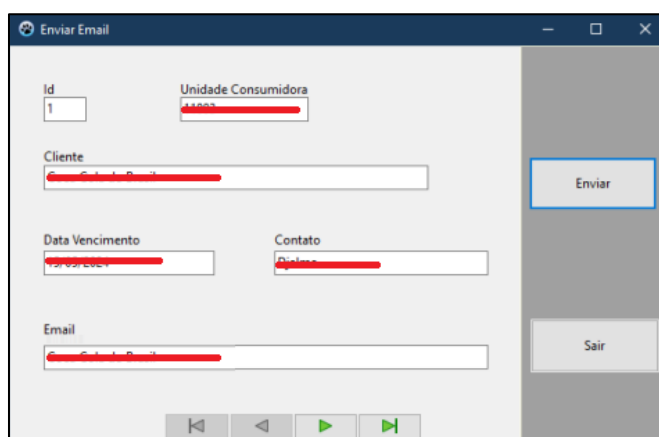
No menu principal, constam as seguintes informações de forma resumida:

- Menu principal;

- Barra de navegação para outros usuários/clientes;
- Funcionário logado no sistema;
- Empresa que está sendo analisada;
- Data atual, que é considerada para efeito de análise;
- Barra de menu lateral na vertical com os botões com as principais funções;

4.1.3 Seção cobrança de vencimento: quando do cadastro do cliente é inserido a data de vencimento do contrato de gestão, esta data é usada para o envio de e-mail, informando sobre o prazo final de vencimento.

Figura 04 – Tela envio de e-mail

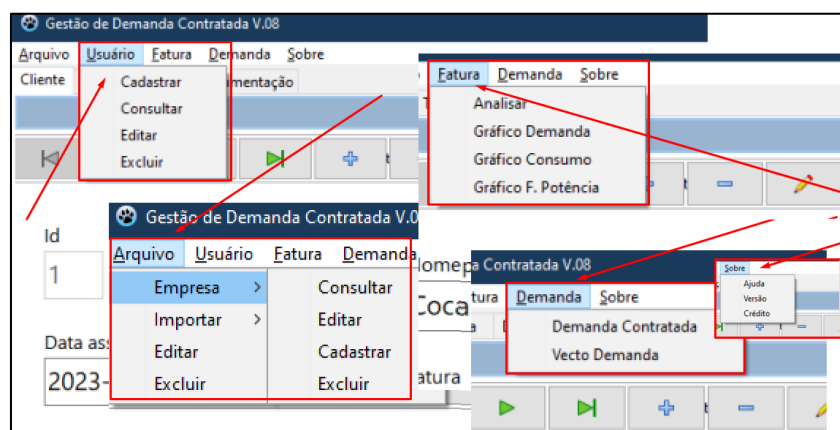


Fonte (Autor)

Na data do vencimento, o sistema envia notificação para os envolvidos cobrando a renovação

4.1.4 Acesso as funcionalidades: para facilitar o acesso, foi disponibilizado a navegação via tela principal

Figura 05 – Tela envio de e-mail

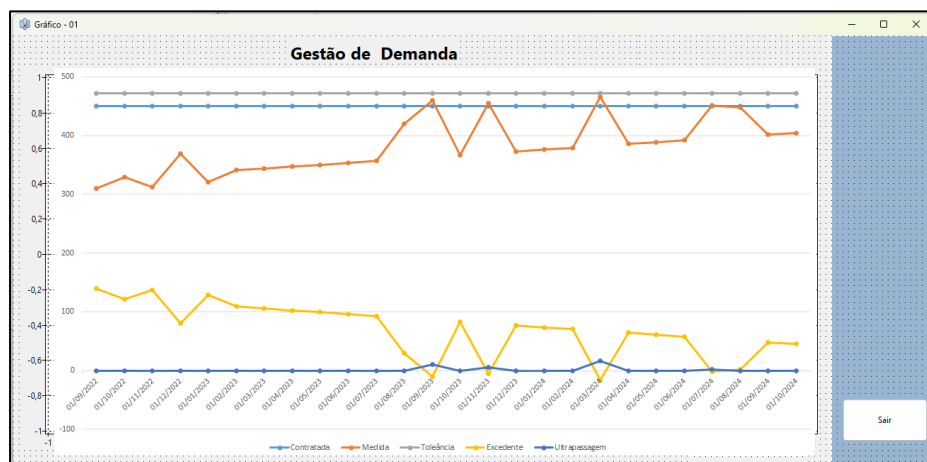


Fonte (Autor)

Com este recurso é possível navegar para qualquer parte do sistema, tornando fácil seu acesso

4.1.5 Gráfico e análise dos dados: para facilitar o acompanhamento dos dados, após é mostrado no gráfico os dados de demanda, fazendo comparação com as demandas: Contratadas, Medida, Tolerância, Excedente de Demanda e Ultrapassagem de demanda.

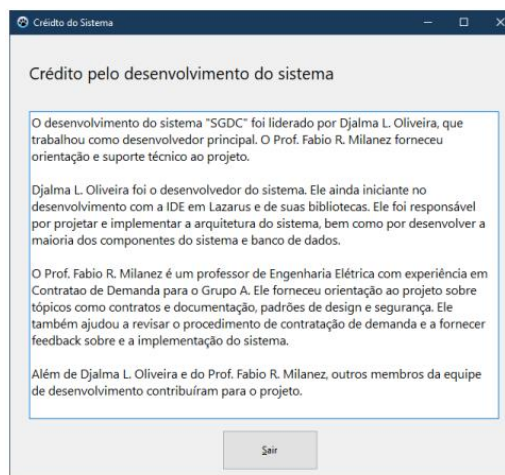
Figura 06 – Gráfico de Gestão de Demanda



Fonte (Autor)

Com estas informações, tornasse visível as correções de demanda quando necessário. Porém apenas com esta informação não seja possível determinar qual a melhor demanda para a indústria dentro do próximo ano.

4.1.6 Créditos: a tela em que mostra os autores do sistema e sua finalidade
Figura 07 - Tela envio de email



Fonte (Autor)

Onde consta informações sobre o desenvolvimento.

4.2 Estudo de caso

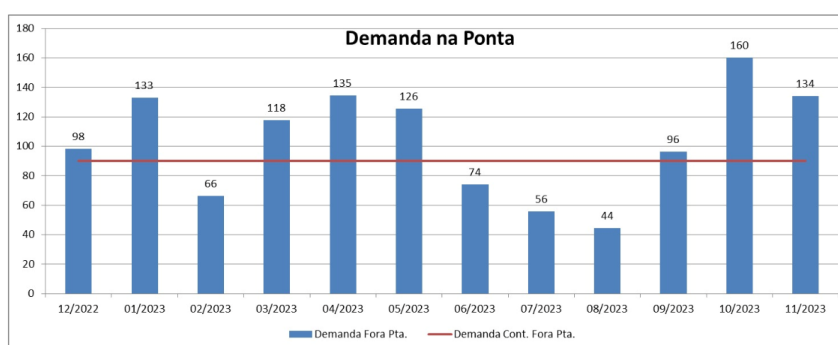
O sistema proposto foi submetido a um teste de eficiência, utilizando um caso real de uma unidade consumidora de energia elétrica. As características dessa unidade são as seguintes: atendimento em alta tensão de 13.800 volts, demanda contratada de 90 Kw, posto tarifário Verde, transformador particular de 150KVA, faturamento no Grupo A4 e proteção geral na entrada da unidade 400 Amperes. Além disso, a unidade possui um transformador de corrente com relação de 400 para 5 Amperes.

4.2.1 Unidade consumidora sem aplicação da ferramenta

Na figura abaixo, é destacada uma discrepância notável ao concentrar-se exclusivamente na análise da demanda contratada em detrimento da demanda medida. Neste gráfico estamos direcionando nossa atenção especificamente para a demanda medida fora de ponta, uma vez que os valores de demanda na ponta parecem alinhados com os requisitos da unidade.

Entretanto, ao examinarmos o gráfico fornecido pelo sistema, torna-se evidente que ajustes são indispensáveis para alcançar uma otimização mais eficaz na gestão de custos.

Figura 08 – Gráfico de demanda



Fonte: o Autor

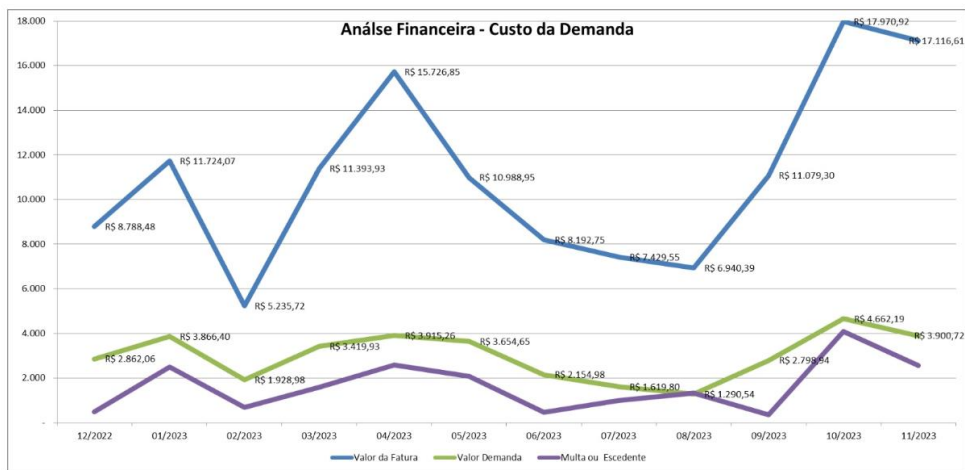
Os números acima são baseados em um ano de medições. Neste caso, eles se concentram na demanda, mas também é possível analisar outros valores.

4.2.2 Unidade consumidora com aplicação a ferramenta

A utilização do sistema permitiu a identificação de informações relevantes, como a necessidade de ajustes na demanda contratada ou a necessidade de otimização do processo fabril, no caso de indústrias. A implementação das medidas cabe ao gestor, que deverá analisar o comportamento dos negócios futuros para tomar as decisões adequadas.

O gráfico a seguir mostra o valor financeiro das faturas de energia elétrica dos últimos 12 meses. Podemos observar que em alguns meses ocorreu o cruzamento entre os valores de demanda contratada e os valores de multa por ultrapassagem de demanda, o que indica uma grande necessidade de gestão desses valores.

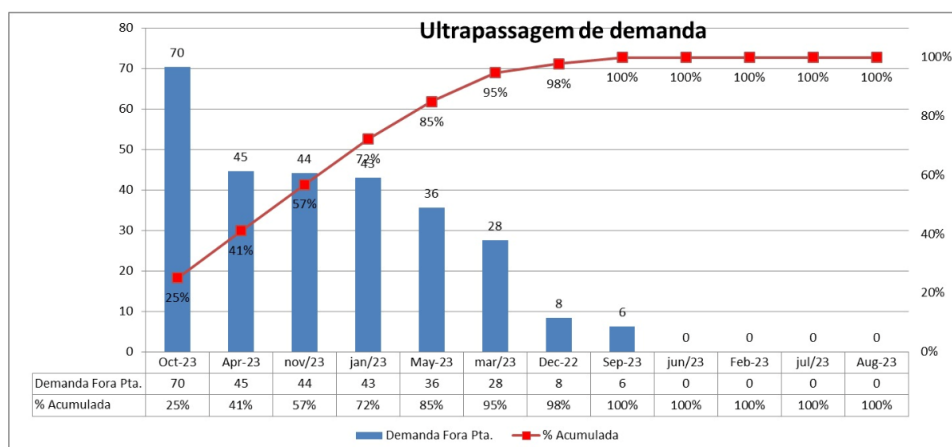
Figura 09 – Gráfico de demanda



Fonte: o Autor

Com a observância destes valores no sistema, a gestão ficará mais eficiente e trará redução do custo de produção.

Figura 10 – Gráfico de demanda

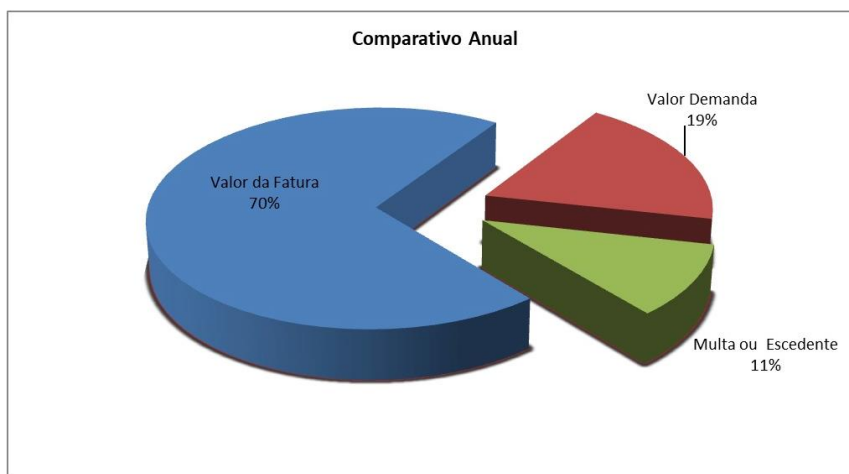


Fonte: o Autor

Veja neste gráfico de pizza como é a relação entre o que se gasta com energia elétrica para produzir e o que se perde com custos de demanda e multas. Esse gráfico mostra que apenas 70% da sua energia elétrica é usada para a produção, e os outros 30% são desperdiçados por falta de gestão.

Isso significa que você poderia economizar muito se você controlasse melhor a sua demanda de energia elétrica e evitasse as multas por ultrapassar o limite contratado. Aqui é onde o sistema propõe a redução e melhoria nos processos.

Figura 11 – Gráfico de demanda



Fonte: o Autor

Ao exibir essa informação por meio do sistema e integrar dados mensais em sua base, torna-se viável monitorar e otimizar de maneira eficaz o consumo de energia elétrica na indústria, buscando a máxima rentabilidade possível.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho atingiu seu objetivo pois o software desenvolvido foi capaz de auxiliar o usuário final de energia elétrica a aprimorar a gestão da demanda contratada das unidades industriais atendidas e faturadas no grupo A, visando fazer o uso correto da energia no sentido de contratar apenas o que necessita, sem desperdícios. Para comprovar sua eficiência foi realizado um estudo de caso real em uma unidade do grupo A, cujas informações foram detalhadas em gráficos, a partir dos quais foi possível concluir que sua eficiência ajustando a fatura do cliente consumidor para um gerenciamento de custos mais exato e eficaz.

Os dados utilizados na análise foram coletados em simulações de ambientes industriais reais, que demonstraram números relevantes, principalmente no que se refere à diminuição de custos. Comprovou-se que 70% da média da conta de energia elétrica de 2022 a 2023 foi empregada na produção eficiente, e o restante foi desperdiçado em custos associados a demanda e multas. Diante dessas conclusões, constatou-se a viabilidade do investimento na aquisição do software, que possa representar uma redução significativa nos custos de produção industrial e, conseqüentemente, um aumento na eficiência do processo produtivo.

Essa análise não só ressalta a relevância dos softwares, mas também evidencia a necessidade de instrumentos estratégicos para otimizar recursos e ampliar a competitividade nos ambientes industriais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021. Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica. Brasília, DF: ANEEL, 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html>. Acesso em: 26 ago. 2023.
- [2] EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br>. Acesso em: 16 out. 2023.
- [3] COPEL - COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA ELÉTRICA. Tarifas de energia elétrica. Curitiba: Copel, 2023. Disponível em: <https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/tarifas-de-energia-eletrica/>. Acesso em: 21 nov. 2023.
- [4] ABRADÉE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. Brasília, DF: Disponível em: <https://www.abradee.org.br/>. Acesso em: 21 nov. 2023.
- [5] MODALIDADES TATIFÁRIAS — Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília, DF: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/modalidades-tarifarias>. Acesso em: 21 nov. 2023
- [6] BANDEIRA TARIFÁRIA – Serviços e Informações do Brasil. Brasília, DF: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2022/04/bandeira-verde-na-conta-de-luz-deve-permanecer-ate-o-final-do-ano>. Acesso em: 21 nov. 2023
- [7] RODRIGUES, Eustáquio J. Setor elétrico brasileiro: estrutura, regulamentação e mercado. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2023.
- [8] FONSECA, Luiz C. Mercado de energia elétrica: fundamentos e práticas. Revista de Energia, v. 25, n. 1, p. 5-15, jan./mar. 2022.
- [9] GESTÃO DE ENERGIA. Guia para Aplicação da ABNT NBR ISO 50001. Internacional Copper Association Brazil. <https://efaidnbmnnnibpcajpcgltclefindmkaj/http://energif.mec.gov.br>. Acesso em: 27 nov. 2023.

Capítulo II – Estudo da Eficiência Energética de Motores Elétricos na Indústria Farmacêutica

Wagner de Lima Santos ⁴

Renato Kazuo Miyamoto ⁵

Fabio Rodrigo Milanez ⁶

Luciano Barbosa ⁷

RESUMO

Este artigo aborda a análise da eficiência energética em motores elétricos utilizados em uma indústria farmacêutica, focando no sistema de bombeamento e refrigeração de água. A metodologia empregada inclui a coleta de dados experimentais, como tensão, corrente e fator de potência, por meio de um analisador de energia, para avaliar o desempenho do motor em operação e propor melhorias. Com base nos resultados obtidos, é analisada a viabilidade de substituição do motor por um modelo mais eficiente, alinhado às regulamentações vigentes e visando a redução de custos e o aumento da eficiência operacional.

Palavras-chave: Eficiência energética, Motores elétricos, Indústria farmacêutica.

Energy Efficiency Analysis in Electric Motors in a Pharmaceutical Industry

ABSTRACT

This article addresses the analysis of energy efficiency in electric motors used in a pharmaceutical industry, focusing on the water pumping and refrigeration system. The methodology employed includes the collection of experimental data, such as voltage, current, and power factor, using an energy analyzer to evaluate the performance of the motor in operation and propose improvements. Based on the results obtained, the feasibility of replacing the motor with a more efficient model, aligned with current regulations and aimed at reducing costs and increasing operational efficiency, is analyzed.

Key words: Energy efficiency, Electric motors, Pharmaceutical industry.

⁴ Engenheiro Eletricista. UniSenaiPR - Campus Londrina. delimasantoswagneremail@email.com

⁵ Doutor em Engenharia Elétrica. UniSenaiPR - Campus Londrina, renato.miyamoto@sistemafiep.org.br

⁶ Mestre em Bioenergia. UniSenaiPR - Campus Londrina, fabio.milanez@sistemafiep.org.br

⁷ Mestre em Engenharia Mecânica.

1 INTRODUÇÃO

Segundo dados do ONS-operador nacional do sistema elétrico (2023), cerca de 58% da geração elétrica no Brasil é proveniente da energia hidráulica. Desta forma, os aspectos climáticos relacionados ao período de seca, podem contribuir para que as bandeiras tarifárias subam devido ao aumento do custo de geração de energia. De acordo com fabricante nacional de motores elétricos a WEG⁴ (2023), o setor industrial brasileiro consome cerca de 45% da energia elétrica do país e 70% do consumo é utilizado para o acionamento de motores elétricos.

Segundo dados do PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (2023), os fabricantes de motores elétricos têm que atender aos requisitos mínimos em eficiência energética alinhado com o decreto presidencial de 8 de dezembro de 1993. O objetivo principal consiste em identificar os produtos que apresentem melhores níveis de eficiência energética em uma dada categoria de equipamentos.

Segundo estimativa levantado em 2019 pela EPE – empresa de pesquisa energética o plano decenal de expansão de energia é esperado até o ano 2029 uma redução no consumo de energia elétrica no setor industrial de 6%. Neste cenário, uma das características principais em uma indústria farmacêutica, consiste na utilização de equipamentos para o condicionamento de ar, nestes equipamentos, os motores de indução são aplicados em grande escala.

O setor de utilidades em uma indústria farmacêutica é responsável pelas maiores cargas indutivas em potência e em quantidade da planta, logo, existe uma grande abertura para realização de melhorias visando a utilização inteligente da energia empregada para o processo. A vida útil dos motores de indução, de acordo com a ABRAMAM - Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (2011) é de 17 anos. Paradas inesperadas em qualquer processo produtivo, gera gastos desnecessários com manutenção e muitas vezes com a matéria prima que se perdeu durante a parada.

Um estudo do Centro Técnico Científico da PUC-RIO avaliado por Calli afirma que “ainda que, à primeira vista, o preço mais barato seja mais atrativo, os motores obsoletos possuem eficiência comprometida, vida útil curtíssima e consumo energético excessivo, o que acaba encarecendo o motor reformado”.

O estudo também estima que a cada recondição de um mesmo motor ocorra a perda de 2% do seu rendimento e que o total de motores reconicionados seja responsável por 2,8% da emissão de GEE - Gases de Efeito Estufa liberados na atmosfera só no Brasil. O objetivo do estudo, é realizar uma análise de viabilidade de medidas de eficiência energética, analisando os motores elétricos, métodos de controle para um melhor aproveitamento da energia elétrica, os conceitos fundamentais para a aplicação dos métodos e uma base de estudo com levantamento de valores para realizar a substituição de motores já em operação.

Assim, a principal motivação deste trabalho consiste na análise da eficiência energética em motores elétricos de uma indústria farmacêutica. Para isto, uma verificação detalhada sobre os métodos de acionamento, taxa de carga e dimensional dos condutores será realizada e aplicada nesta indústria do setor farmacêutico localizada em Cambé – Paraná, que se caracteriza por ser líder global no mercado de biossimilares e medicamentos genéricos, com ampla estrutura conta com equipamentos que garantem a estabilidade da produção de medicamentos.

O processo que levará o foco desse trabalho será o de refrigeração e bombeamento de água, aplicadas para diversas etapas do processo produtivo. Nesse contexto, o uso dos motores elétricos de indução torna-se essencial. Assim, são coletados os dados de tensão, corrente, potência, fator de potência, taxas de distorção harmônicas para o desenvolvimento para proposta de melhoria de eficiência energética nessas máquinas. A seguir, serão descritos os aspectos relacionados ao estado da arte, utilizados nessa pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DOS MOTORES DE INDUÇÃO

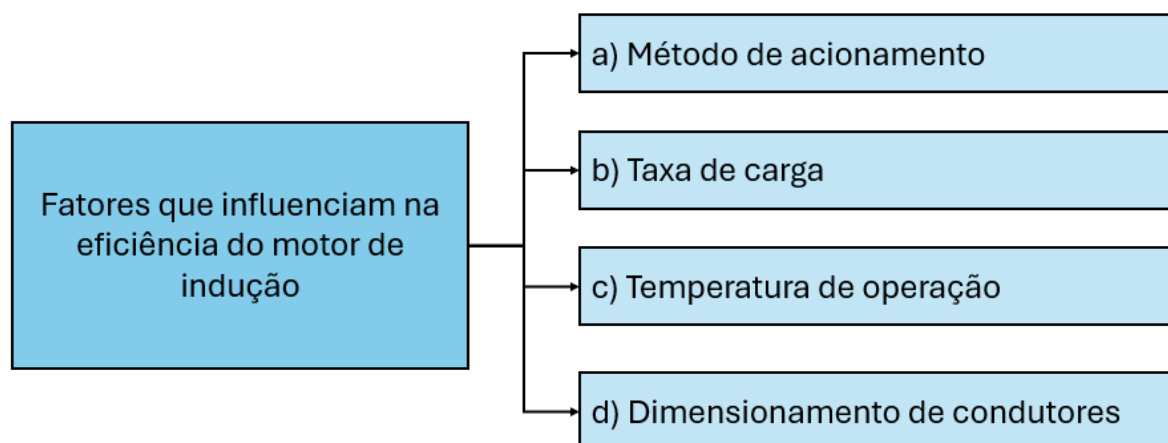
Nos últimos anos, programas relacionados com a eficiência energética têm crescido e ganhado força em território nacional. A busca por desenvolvimento preservando a sustentabilidade se torna um desafio para as indústrias visto que a capacidade de produção somente aumenta. Com essa crescente demanda, a busca por redução de preços dos medicamentos genéricos se torna um desafio tendo em vista um mercado amplo e diversificado.

de proteção [7], adequado para ambientes com classe de isolamento [8], que suporta uma temperatura de [9] °C. O motor funciona com uma frequência de [10] Hz e tem uma potência nominal de [11] kW, com uma rotação de [12] rpm. A corrente nominal de operação é de [13] A, com um fator de potência de [14]. A temperatura ambiente para operação segura é de [15] °C, e o motor possui um fator de serviço de [16]. Ele pode ser instalado a uma altitude de até [17] metros, e sua massa total é de [18] kg.

Os rolamentos são especificados como [19] na parte dianteira e [20] na parte traseira, com a quantidade de graxa correspondente. A graxa utilizada nos rolamentos é do tipo [21]. O esquema de ligação para a tensão nominal é [22], e o tempo recomendado para relubrificação é de [23] horas de operação. O motor possui certificações [24] que garantem sua conformidade com normas de qualidade. A relação entre a corrente de partida e a corrente nominal é de [25], com categoria de conjugado [26], e a corrente no fator de serviço é de [27] A.

Os fatores que influenciam a eficiência do motor de indução podem ser classificados em diferentes aspectos, conforme ilustrado na Figura 2. O método de acionamento impacta diretamente o comportamento do motor, podendo otimizar ou prejudicar seu desempenho.

Figura 2 – Fatores que influenciam na eficiência do motor de indução.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Figura 2, a taxa de carga influencia a eficiência, sendo que motores operando em carga parcial geralmente apresentam menores níveis de eficiência. A temperatura de operação afeta as perdas internas do motor, onde temperaturas elevadas podem aumentar as perdas resistivas e reduzir a vida útil dos componentes.

Por fim, o dimensionamento de condutores adequado garante que as perdas por resistência nos cabos sejam minimizadas, contribuindo para a eficiência geral do sistema.

a) Acionamento: quando se pensa em eficiência energética em motores de indução, o rendimento é um dos principais fatores considerados. No entanto, outros aspectos também precisam ser analisados, como a escolha do método de partida adequado, que depende do tipo de processo em que o motor será utilizado. Em sistemas simples, como o controle de nível em tanques ou caixas d'água, geralmente não há controle de velocidade programável. Nessas situações, o motor é acionado por métodos como partida direta ou estrela-triângulo. Ambos os métodos geram um pico de corrente no início, o que pode resultar em um maior consumo de energia ao longo do funcionamento do motor.

b) Taxa de carga: a taxa de carga em motores de indução refere-se à relação entre a carga aplicada ao motor (ou seja, a potência que ele está entregando) e a capacidade nominal do motor. Essa taxa é expressa como uma porcentagem e é um indicador de quão eficientemente o motor está operando em relação à sua capacidade projetada. A equação (1) define como calcular essa taxa.

$$\text{Taxa de carga (\%)} = \left(\frac{\text{potência de saída real (KW)}}{\text{potência nominal (KW)}} \right) \times 100 \quad (1)$$

A taxa de carga em eficiência energética diz muito se o motor vai consumir mais energia do que o necessário. Um motor bem dimensionado, operando próximo a sua taxa de carga nominal tende a ser mais eficiente, pois perdas internas são proporcionais a sua carga e o efeito dessas perdas é minimizado. Outro ponto é com relação a sua vida útil, em operação normal o equipamento não irá ter perdas por efeito joule elevadas.

Já em motores que a taxa de carga está abaixo de 50%, a eficiência é diminuída significativamente, como citado acima, as perdas internas no motor continuam mesmo quando o motor está com um alívio de carga, com isso o fator de potência diminui, fazendo assim aumentar o tráfego de energias reativas na rede.

c) Temperatura de operação: a temperatura de operação é um parâmetro muito importante para a vida útil do motor e a própria eficiência energética em si. Atualmente

existem classes de isolamentos nas bobinas dos motores, essa temperatura deve ser respeitada visto que Valores elevados de temperatura podem por exemplo representar o início de uma falha ou indícios de sobrecarga. A transformação de energia elétrica em energia térmica pode representar um consumo de energia maior. A falta de manutenção preventiva nesses equipamentos pode agravar a situação, a dissipação de calor é algo que dever ser pensado para aumentar assim a vida útil dos equipamentos. Alternativas como ventilação forçada, termômetros no interior do motor, acompanhamento preditivo pode evitar tais falhas e diminuir o consumo elétrico dos motores de indução.

d) Dimensionamento de condutores: com o avanço da tecnologia em processos produtivos, máquinas e equipamentos, a saúde e segurança não podem ficar para trás. O correto dimensionamento dos condutores de energia elétrica é de suma importância, condutores especificados abaixo mínimo necessário, podem sofrer um superaquecimento causando derretimento e conseqüentemente curto-circuito.

Além desse problema, o mal dimensionamento pode resultar em quedas de tensão excessivas que do ponto de vista de eficiência energética é ruim pois o motor vai operar fora da faixa recomendada pelo fabricante.

Para a determinação da bitola dos condutores, é necessário saber de alguns parâmetros. A corrente nominal, distância do equipamento até o ponto de alimentação, fator de potência, rendimento, tensão, capacidade de condução de corrente dos condutores e entre outros. Na equação (2) podemos ver como se determina a corrente nominal de um motor elétrico trifásico.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos\phi \times \eta} \quad (2)$$

onde: I é a corrente (A); P é a potência (W); V é tensão (v); $\cos\phi$ é o fator de potência e η é o rendimento. O item 6.5.1.3.1 da NBR 5410 (instalações elétricas de baixa tensão) diz que “No dimensionamento dos condutores do circuito terminal que alimenta exclusivamente um motor, deve ser considerada uma corrente de projeto IB no mínimo igual à corrente nominal do motor, nas condições de utilização.”

Ainda na norma NBR5410 sobre dimensionamento de condutores, na alínea 6.2.7.1 item “C” Nos traz que a queda de tensão não deve passar de 5%, calculados a partir

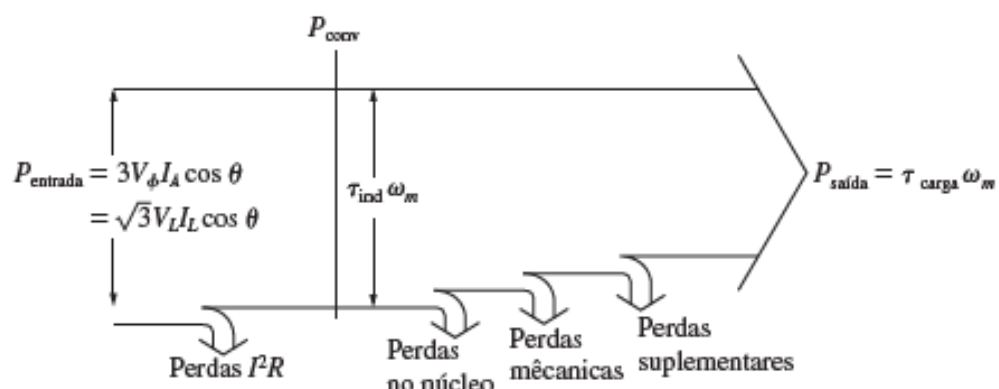
do ponto de entrega, nos demais casos de ponto de entrega com fornecimento em tensão secundária de distribuição. A equação (3) refere-se ao cálculo de queda de tensão.

$$\Delta v = \frac{2 \times L \times I \times R_{condutor}}{A} \quad (3)$$

onde Δv é a queda de tensão; L é o comprimento do condutor em metros; I é a corrente elétrica em amperes; $R_{condutor}$ é a resistividade do condutor; A é a área de secção transversal do condutor em mm².

Para utilizar um motor elétrico de indução de forma eficiente, é importante seguir algumas regras. Quanto menos perdas ocorrerem ao transformar energia elétrica em energia mecânica, maior será a eficiência. Utilizar a energia de maneira inteligente ajuda a reduzir o consumo. Na Figura 3 observa-se o fluxo de potência nos equipamentos citados.

Figura 3 – Fluxo de potência no motor de indução.



Fonte: Chapman (2013, p.185).

Todos os sistemas, seja ele mecânico, hidráulico, pneumático ou elétrico sofrem algum tipo de perda, com isso, o rendimento total do sistema diminui e o gasto energético aumenta para compensar esse tipo de desperdício. Nas máquinas de indução trifásicas, as perdas estão relacionadas majoritariamente com o efeito joule, temos também uma pequena parcela direcionada as perdas mecânicas da máquina. O rendimento pode ser calculado por (Chapman, 2013):

$$\eta = \frac{P_{saída}}{P_{entrada}} \times 100\% \quad (4)$$

Nos motores elétricos ocorrem os tipos de perdas conforme seguinte: perdas no cobre, no núcleo, perdas mecânicas e suplementares. Os enrolamentos do estator e do rotor são compostos de cobre condutor para gerar um campo magnético e dessa forma gerar o conjugado mecânico. Para essa transformação há nos condutores um aquecimento devido a circulação de corrente elétrica. Podemos definir essas perdas com base na equação (5).

$$P = 3 \times I_a^2 \times R_a \quad (5)$$

em que I_a é a corrente que flui em cada fase da armadura e R_a é a resistência de cada fase da armadura. A equação (6) refere-se as perdas no cobre do rotor de uma máquina de indução trifásica.

$$P_{pcr} = I_F^2 \times R_F \quad (6)$$

onde I_F é a corrente que flui no enrolamento de campo do rotor, e R_F é a resistência do enrolamento de campo. As perdas no núcleo ocorrem devido à histerese e correntes parasitas no metal do motor. Essas perdas variam com o quadrado da densidade de fluxo e, no estator, com a potência de 1,5 da velocidade de rotação dos campos magnéticos (Chapman, 2013).

As perdas mecânicas incluem o atrito nos rolamentos e as perdas por ventilação, causadas pelo atrito entre partes móveis e o ar dentro do motor, variando com o cubo da velocidade de rotação. As perdas no núcleo e mecânicas são chamadas de perdas rotacionais a vazio, que podem ser estimadas ao medir a potência de entrada do motor vazio. As perdas suplementares são aquelas que não se enquadram nas categorias anteriores e representam, por convenção, cerca de 1% da carga total (Umans, 2014).

Em comparação com um motor com ano de fabricação mais recente e com melhor rendimento, nota-se a diferença na construção física da máquina girante, conforme informações a seguir:

- a) **Chapas magnéticas:** Com chapas de melhor qualidade fazendo parte do sistema do rotor e do estator, pode-se obter menores perdas por histerese e por correntes induzidas. Em comparação com motores da linha standard as perdas são bem maiores. É possível obter também um melhor

resultado realizando tratamentos térmicos e redução da espessura das chapas, com isso pode-se reduzir ainda mais as perdas associadas ao bom funcionamento do equipamento.

- b) **Ventilador:** A construção física do ventilador é projetada para ter uma melhor eficiência, sendo possível uma melhor troca térmica e reduzindo as perdas por ventilação.
- c) **Enrolamentos do Estator e do Rotor:** Na fabricação, são utilizados cobre de melhor qualidade e menor resistência elétrica, contribuindo com a redução das perdas por efeito joule.
- d) **Rolamentos:** São empregados rolamentos especiais com menor coeficiente de atrito entre as esferas e a pista do rolamento. Com isso é possível ter ganhos com relação à diminuição de perdas energéticas e aumento da vida útil desses elementos.

2.2 MÉTODOS DE PARTIDA PARA ACIONAMENTO DE MOTORES DE INDUÇÃO

Nesta seção serão discutidos os aspectos relacionados aos principais métodos para o acionamento de motores de indução. O princípio de funcionamento de qualquer motor de indução, é baseado na interação entre campos magnéticos (entre o rotor e o estator) tendo com resultante o torque na ponta do eixo para movimentação de cargas conforme projeto e aplicação.

No momento em há energização no estator da máquina através de uma tensão alternada cria-se um campo girante, a medida em que esse campo corta os condutores presente no rotor, cria-se um força-eletromotriz, em paralelo é criado também um campo magnético que interage com o estator, com isso é produzido o torque magnético que resulta na rotação do rotor. Além disso, é necessário que a velocidade do rotor seja um pouco menor que a rotação do campo do estator, com isso temos a rotação síncrona do equipamento conforme equação (7):

$$W_s = \frac{120 * f}{p} \quad (7)$$

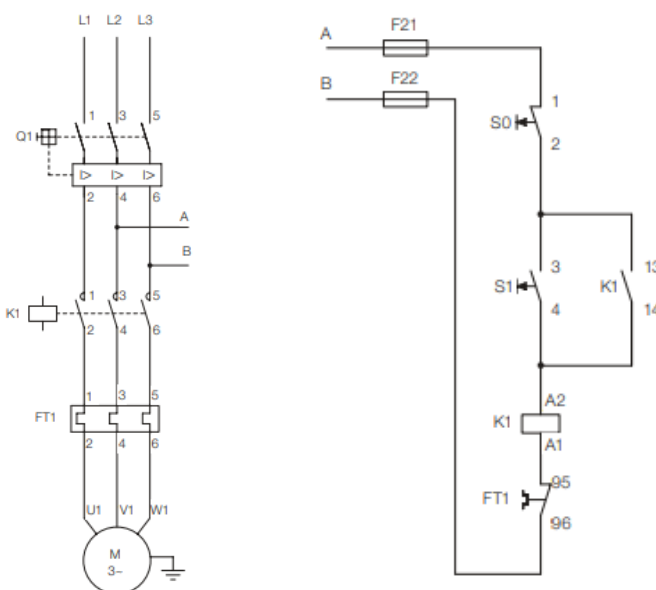
onde W_s é a rotação síncrona; f é a frequência da rede elétrica e p é o número de polos magnéticos do motor.

2.2.1 PARTIDA DIRETA

O método de acionamento de um motor de indução trifásico por partida direta, é o método mais simples e com baixo custo para a conversão de energia elétrica em energia mecânica, é também um método limitado e que não oferece nenhum tipo de controle. A ligação consiste em conectar diretamente os terminais das bobinas de forma ordenada na rede de alimentação elétrica, fazendo assim com que o motor funcione em sua capacidade nominal de rotação por minuto (RPM).

O diagrama elétrico potência é a forma com que se representa a ligação entre rede elétrica, elementos de ligação, elementos de proteção e carga. Já um diagrama de comando, representa a sequência de acionamento para que a carga entre em funcionamento corretamente (Chapman, 2013). Na Figura 4 observa-se o diagrama de potência e comando de uma partida direta, recomendações de ligação segundo a fabricante WEG.

Figura 4 – Diagrama de potência e comando de uma partida direta.



Fonte: Guia de partidas WEG

No diagrama da Figura 4, o disjuntor termomagnético Q1 protege o sistema contra curtos-circuitos, interrompendo o fornecimento de energia ao motor em caso de sobrecorrente. O contato K1 é responsável por ligar e desligar o motor sob comando dos botões de controle, enquanto o relé de sobrecarga

térmico FT1 monitora a corrente do motor, desligando o circuito em caso de sobrecarga prolongada, protegendo assim o motor. O motor trifásico M é a carga principal do circuito. Para proteção do sistema de controle, os fusíveis F21 e F22 são utilizados para evitar danos por curtos-circuitos nos comandos. O controle do motor é feito pelos botões de comando S0 e S1, onde S1 é utilizado para ligar o motor, acionando o contator K1, e S0 para desligar o motor, abrindo o circuito de controle. Esse arranjo garante a operação segura do motor, com proteção contra falhas e sobrecargas, além de facilitar o controle simples através dos botões de comando.

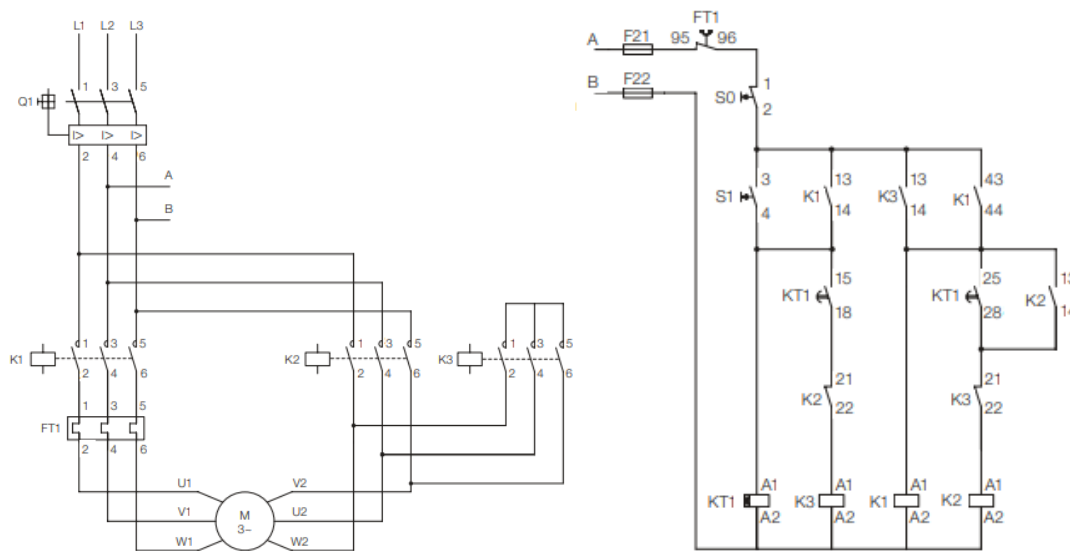
Segundo Franchi (2008, p155), existem algumas desvantagens nesse método de partida devido a elevada corrente nos instantes iniciais “[...]A acentuada queda de tensão no sistema de alimentação da rede que ocasiona interferências em equipamentos instalados no sistema[...] os sistemas de acionamento devem ser superdimensionados, elevando o custo do sistema [...]”

2.2.2 PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

Levando em consideração o exposto sobre a partida direta, Ramos (2005 p.32) diz que; “[...] A chave estrela - triângulo é utilizada para amenizar os efeitos da partida de motores elétricos no sistema de alimentação. Durante a partida, a corrente e o conjugado do motor ficam reduzidos a 1/3 de seus valores nominais, de forma que este sistema poderá ser utilizado, somente em casos em que o conjugado do motor em estrela, for maior que o conjugado da carga, no eixo do motor. [...]”. A Figura 5 ilustra o diagrama de potência e comando para um acionamento estrela triângulo.

O circuito de acionamento de um motor de indução com partida estrela-triângulo utiliza alguns componentes importantes. O disjuntor termomagnético Q1 serve para proteger contra curtos-circuitos, desligando a energia se houver uma sobrecarga. Os contadores K1, K2 e K3 são responsáveis pela transição entre as ligações em estrela e triângulo, permitindo que o motor inicie de forma mais suave.

Figura 5 – Diagrama de potência e comando para um acionamento estrela triângulo.



Fonte: guia de seleção de partidas WEG p.19

Ainda, o relé de sobrecarga térmico FT1 desliga o motor caso ele trabalhe com sobrecarga por muito tempo, protegendo-o de danos. O motor M é o equipamento trifásico acionado, enquanto os fusíveis F21 e F22 protegem o circuito de controle. Os botões S0 e S1 são usados para desligar e ligar o motor, respectivamente. O relé temporizador KT1 faz a troca automática da ligação estrela para a ligação triângulo após um tempo pré-definido, completando a partida do motor de forma controlada e segura.

2.2.3 PARTIDA ELETRÔNICAS

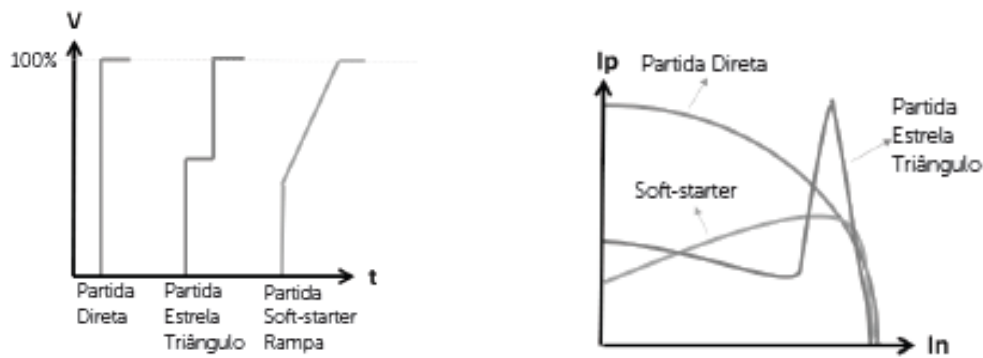
Na indústria, um controle de partida de motores com elevadas cargas é crucial para o processo produtivo. Conforme citado por Mario Ramos (2005 p.36) “[...] o Soft - Starter é uma chave de partida a estado sólido microprocessada, que controla o ângulo de disparo de um conjunto de pares de tiristores, aplicando uma tensão variável nos terminais do motor durante a sua aceleração. [...]”. Com esse tipo de partida, é possível ajustar o torque do motor e a corrente de partida de acordo com as necessidades da carga, permitindo definir os valores desejados para cada aplicação. Nesse tipo de acionamento a principal função segundo Mamede Filho (2004) é o acionamento em rampa de tensão, essa função gera na saída um valor controlado de tensão na entrada do motor de indução trifásico, conseqüentemente possível controlar valores de torque.

Tendo em vista as informações obtidas até o momento, podemos notar que os métodos de partidas de motores são em sua maioria, eficientes, porém incontrolláveis. Segundo Luana Silva (2022) o inversor de frequência é capaz de controlar a frequência de saída através da disponibilização de energia na entrada do equipamento. Os inversores de frequência foram criados não somente para partir os motores de gaiola, mas também para controlar a velocidade e o torque do motor. Os inversores entregam ao motor as 3 fases da rede com frequências e tensões variáveis, de acordo com a necessidade do processo ou com a necessidade do programador. Os inversores modernos, variam a frequência e calculam a tensão de forma a manter a corrente no motor constante e igual a corrente nominal do motor (Nascimento, 2015).

De acordo com Guedes (2015), o controle de chaveamento é realizado com uma ponte retificadora na entrada da alimentação trifásica. A tensão contínua ligada aos terminais de saída pelos os tiristores, que funcionam no corte ou na saturação como uma chave estática. Os transistores trabalham como botão liga ou desliga, de forma que a onda de tensão de saída do conversor de frequência e sempre quadrada, para ter uma tensão de saída mais próxima da senoidal, os transistores é que modula a largura de pulso através de uma técnica chamada PWM (*Pulse Width modulation*).

Resumidamente, em motores elétricos que utilizam a partida direta, a corrente tende a subir rapidamente nos instantes iniciais e a diminuir gradualmente com o tempo. Por outro lado, na partida estrela-triângulo, o motor é inicialmente acionado com a corrente reduzida a 1/3 da corrente nominal, devido ao seu arranjo em estrela. Após um curto período, o motor é temporariamente desligado e os terminais são comutados para a configuração em triângulo por meio de uma contatora, momento em que o motor é religado, permitindo o funcionamento com a corrente nominal. É dessa sequência de comutação que surge o nome "partida estrela-triângulo". Desta forma, observando a Figura 6, verifica-se o comportamento da corrente elétrica considerando os tipos de acionamento. O método de partida por *soft-starter*, entre esses métodos é o melhor, pois a curva de corrente é bem acentuada, fazendo com que o motor sofra menos estresse no momento da partida. E do ponto de vista de eficiência energética esse método é um dos melhores, pois existe uma economia de energia devido ao disparo dos SCRs.

Figura 6 – Comparativo entre as partidas.



Fonte: Guimarães, Herbert Oliveira 2018

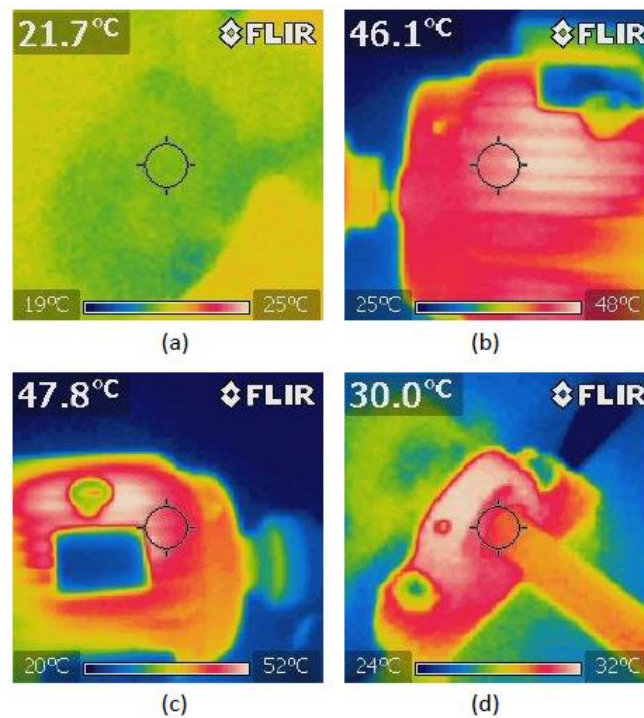
Segundo Praxedes 2011 “o rendimento global do sistema de potência depende não apenas do motor, mas também do controle. Os conversores estáticos de frequência apresentam rendimento elevado, da ordem de 97% ou mais. Motores elétricos também apresentam alto rendimento, chegando a 95% ou mais em máquinas maiores operando sob condições nominais. Na variação eletrônica de velocidade a potência fornecida pelo motor varia de maneira otimizada, influenciando diretamente a potência consumida e conduzindo a elevados índices de rendimento do sistema (motor + conversor).”

2.3 ANÁLISE DOS EFEITOS TÉRMICOS

O trabalho de Miyamoto (2022) destaca a relevância do sistema de resfriamento e ventilação no projeto térmico de máquinas elétricas, especialmente as de pequeno porte, que geralmente são resfriadas a ar. Nessas máquinas, a temperatura do ar pode aumentar entre 18°C e 27°C durante a operação, e para cada quilowatt de perdas, é necessária uma taxa de ventilação de 0,033 a 0,05 m³/s de ar. Além disso, a norma NBR 7094 (Máquinas Elétricas Girantes) estabelece limites específicos para a elevação de temperatura, garantindo a segurança e o desempenho das máquinas. A Figura 7 ilustra um exemplo de ensaio termográfico em motores de indução durante sua operação.

De acordo com essa norma, duas condições precisam ser atendidas: i) a temperatura do ar ambiente deve ser inferior a 40°C, sendo que acima desse valor, as condições de operação são consideradas especiais; ii) a diferença entre a temperatura média da máquina e o ponto mais quente não pode exceder 15°C. Esses critérios asseguram que a máquina opere dentro de uma faixa segura de temperatura, prevenindo falhas relacionadas ao superaquecimento.

Figura 7 – Ensaio termográfico em motores de indução.



Fonte: Miyamoto (2022)

De acordo com essa norma, duas condições precisam ser atendidas: i) a temperatura do ar ambiente deve ser inferior a 40°C, sendo que acima desse valor, as condições de operação são consideradas especiais; ii) a diferença entre a temperatura média da máquina e o ponto mais quente não pode exceder 15°C. Esses critérios asseguram que a máquina opere dentro de uma faixa segura de temperatura, prevenindo falhas relacionadas ao superaquecimento.

A sobrevida térmica das máquinas elétricas está diretamente relacionada à sua capacidade de dissipar calor de forma eficiente. Quando a temperatura interna excede os limites estabelecidos, o isolamento dos enrolamentos e outros componentes críticos começam a se degradar, reduzindo significativamente a vida útil da máquina. A cada 10°C de aumento na temperatura de operação acima da recomendada, a sobrevida da máquina pode ser reduzida pela metade, conforme apontado por diversas normas de engenharia.

Outro fator importante para a sobrevida térmica é a manutenção adequada do sistema de resfriamento, seja ele a ar, água ou outro fluido. Ventiladores obstruídos, sistemas de ar sujos ou trocadores de calor entupidos podem comprometer a dissipação de calor, resultando em um aquecimento excessivo da máquina e encurtando sua vida útil. Portanto, a implementação de

um sistema de monitoramento de temperatura e a manutenção preventiva são essenciais para garantir a durabilidade e a eficiência das máquinas elétricas.

2.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ACIONAMENTO DE MOTORES

Em qualquer tipo de indústria quando é falado em eficiência energética, logo é pensado em redução de desperdícios e redução na fatura de energia. Porém a eficiência energética vai além disso, ter um olhar técnico avançado sobre o processo em que se emprega uma grande quantidade de energia faz total diferença. Somado com tecnologias avançadas e um bom entendimento sobre as ferramentas de trabalho é possível reduzir custos e aumentar a eficiência de qualquer processo.

Em acionamentos de motores elétricos de indução, um projeto mau dimensionado e com um tipo de partida incompatível com o processo pode elevar os custos com manutenção e os custos com transformação de energia, conforme visto acima partidas por conversores eletrônicos podem ser uma ótima solução, somado com a automação e máquinas mais eficientes podemos elevar o patamar do processo.

A leitura dos dados é algo imprescindível, pois a partir deles é que podemos tirar algumas conclusões. Dados como potência ativa, reativa e aparente, corrente elétrica, tensão, fator de potência são os dados básicos para qualquer análise.

CÁLCULO DA TAXA DE CARGA: Este cálculo determinará a porcentagem no qual o motor está operando, classificando em subcarga, carga nominal ou sobrecarga.

$$\text{Taxa de Carga (\%)} = \left(\frac{I_{op}}{I_{nm}} \right) \times 100 \quad (8)$$

onde I_{op} é a corrente de operação da máquina e I_{nm} é a corrente nominal do motor.

CÁLCULO DE POTÊNCIA ATIVA: A potência ativa (P_a) pode ser calculada como:

$$P_a = \sqrt{3} \times V_{op} \times I_{op} \times \cos\phi \quad (9)$$

os valores de V_{op} que é relativo à tensão elétrica do motor, logo que se diz respeito a corrente operacional do motor. Tem também $\cos\phi$ que o fator de potência.

POTÊNCIA ÚTIL DO MOTOR ATUAL: A potência útil (P_u) do motor refere-se à potência que é entregue de fato ao eixo do motor tirando os fatores de perdas, como por exemplo as perdas térmicas, perdas mecânicas e entre outros. A equação 9 diz respeito ao cálculo teórico dessa grandeza.

$$(10) \quad P_u = \frac{P_a \times \eta}{0,736}$$

onde P_a é a potência ativa e η é o rendimento da máquina de indução.

VIABILIDADE DE SUBSTITUIÇÃO PELA RELAÇÃO DE POTÊNCIAS: O cálculo fundamenta-se na relação de potências para saber se realmente vale a pena substituir um motor em operação. Espera-se um resultado menor que 0,60. Caso o valor seja maior, é necessário avaliar outros quesitos para justificar a substituição do equipamento:

$$\Delta_{iu/inm} = P_u / P_{nm} \quad (11)$$

onde P_u é a potência útil e o P_{nm} é a potência nominal do motor.

2.4 INDICADOR DE TEMPO DE RETORNO

Payback é um indicador do tempo de retorno de um investimento e um método de tomada de decisões que considera o tempo para obtenção dos valores e o montante que deverá ser retirado dos caixas. Segundo Souza & Clemente (2004, p. 91) “o Payback nada mais é do que o número de períodos necessários para que o fluxo de benefícios supere o capital investido”.

$$PR = T_{quando} \sum_{t=0}^T CF_t = IO \quad (12)$$

Onde T é a quantidade de período de tempos (geralmente expresso em anos); PR é o período de recuperação (Payback); CF_t é o fluxo de caixa no período (t) e IO é o fluxo de caixa no investimento inicial.

3 METODOLOGIA

A metodologia empregada nessa pesquisa consiste na aquisição de dados da rede elétrica de alimentação de um motor de indução trifásico que atualmente é utilizado com um conjunto bombeador no sistema de água gelada de uma indústria farmacêutica. O aparelho utilizado para essa aquisição foi um analisador de energia do fabricante embrasul, o modelo RE6000, instalado no centro de comando de máquinas, o painel principal.

Assim, foi realizado o levantamento dos dados de tensão, corrente, potências e fator de potência para a análise dos resultados. Para a parametrização foi utilizado uma PG da Siemens, um computador industrial. Durante o período de aquisição de dados, a bomba operou de forma normal, para que não haja valores aleatórios durante a medição. Após a aquisição dos dados, foi realizado uma avaliação de eficiência energética para analisar a viabilidade da substituição do motor por um equipamento de maior eficiência.

O diagrama da Figura 8 apresenta os aspectos metodológicos para a análise de eficiência energética em um sistema de bombeamento.

Figura 8 – Aspectos metodológicos da pesquisa.



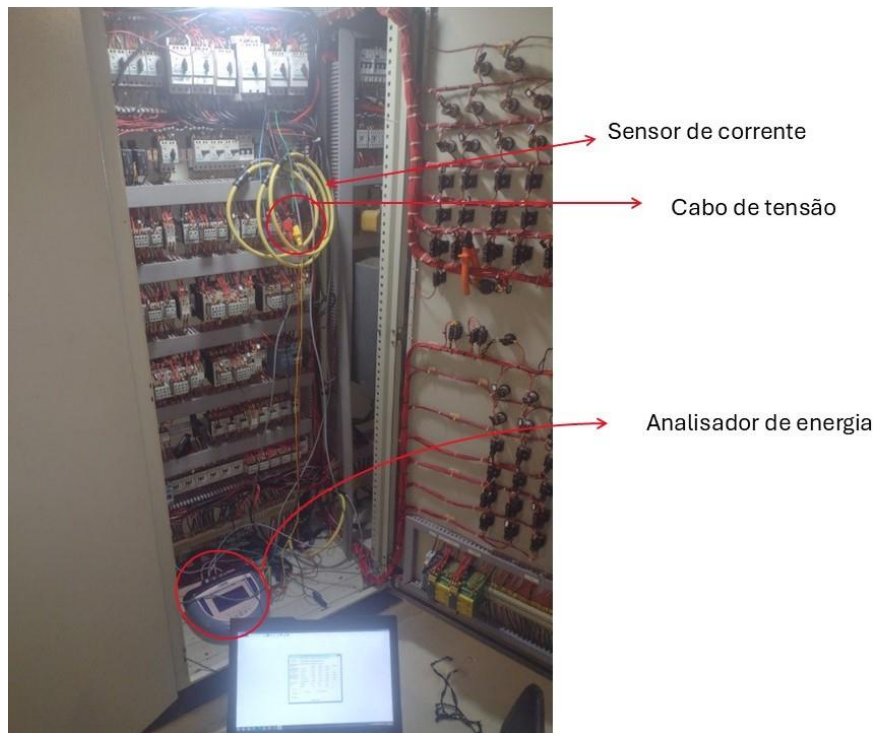
Fonte: Elaborado pelos autores.

Ele é dividido em várias etapas inter-relacionadas, que começam com o CCM (Centro de Comando de Motores), seguido pelo uso de um analisador de energia para realizar a aquisição experimental de dados como tensão, corrente, fator de potência, além de potências ativa, reativa e aparente. A partir dos dados

adquiridos, foi realizado a análise teórica da taxa de carga, potência útil e eficiência. Em seguida, foi realizada a avaliação de eficiência energética, que permite justificar o retorno de investimento, fechando o ciclo metodológico.

A Figura 9 ilustra o processo realizado em campo para a aquisição das grandezas elétricas.

Figura 9 – Estrutura montada para a leitura em campo



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na figura, observa-se a ligação do painel, e a alocação do sensor de corrente - colocado de forma que os cabos da carga passem no interior do sensor que forma um anel, de forma paralela. Os cabos de tensão, são colocados em série com o disjuntor motor, para que seja possível a coleta dos parâmetros. E o analisador de energia é o equipamento vai armazenar os dados conforme a parametrização que será realizada em conjunto com o computador industrial.

O equipamento analisado, será um motor de indução trifásico empregado em uma parte do processo de refrigeração de água gelada de em uma indústria farmacêutica localizada em Cambé-PR. Atualmente o para refrigeração de água é necessário um sistema robusto composto por um equipamento chamado Chiller do fabricante York.

Para a circulação de água, são utilizadas bombas primárias e secundárias. O objeto de estudo será uma bomba de 30 cv instalada no lado

secundário, responsável por bombear a água do trocador de calor do Chiller para as torres de resfriamento. Por ser um sistema de troca externa de temperatura, a água utilizada no circuito é tratada através de um desmineralizador e são adicionados produtos para evitar a corrosão nos equipamentos. A Figura 10 ilustra as bombas secundárias e a placa de identificação da bomba que será utilizada como objeto de estudo.

Figura 10 – Bombas secundárias 03 e placa de identificação



Fonte: Acervo dos autores.

A coleta dos dados foi realizada em um período de operação normal do equipamento com *setpoints* definidos com base na necessidade do processo. Para essa aplicação, é utilizado o conjunto motobomba conforme ilustra a Figura 10. Esse equipamento é responsável por enviar água da torre de resfriamento para o Chiller, que por sua vez troca calor com o gás refrigerante presente no sistema para assim seguir com a refrigeração de água. O tipo de partida empregado no acionamento do motor é a estrela-triângulo, operando em 380v de tensão nominal com uma frequência de 60Hz.

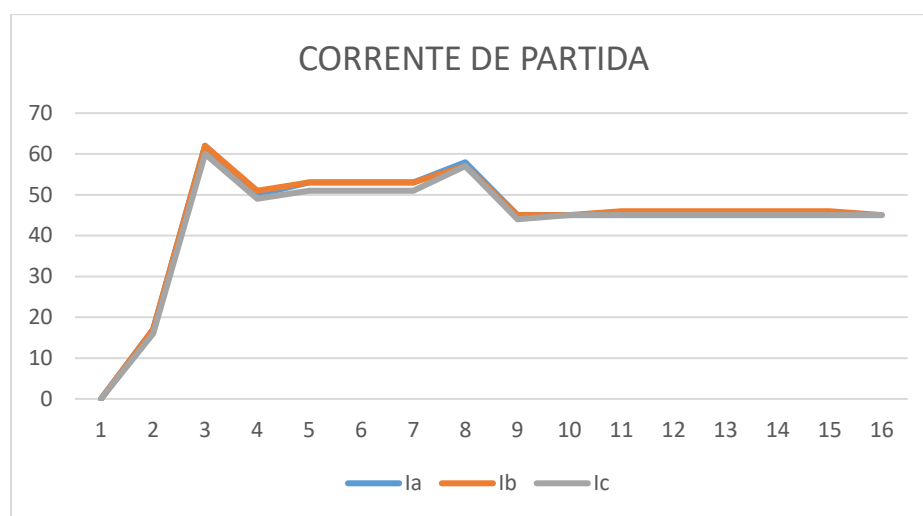
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A eficiência energética tem um papel de grande relevância no setor industrial brasileiro, justificado pelo fato de que um dos maiores gastos com energia elétrica neste setor são provenientes do acionamento de motores de indução. Com elevados custos operacionais, o custo do produto final no caso o

medicamento vendido o preço é alterado e pequenas alterações podem ser decisivos no ganho de um contrato.

A utilização de motores com melhor rendimento pode contribuir com a redução do valor da fatura de energia. Na sequência serão analisados os dados obtidos experimentalmente por meio de um analisador de energia, instalado no centro de comando de máquinas. Na Figura 11, é possível observar ver uma curva de tendência da operação do motor, que utiliza o acionamento do tipo estrela-triângulo.

Figura 11 – Gráfico de corrente partida

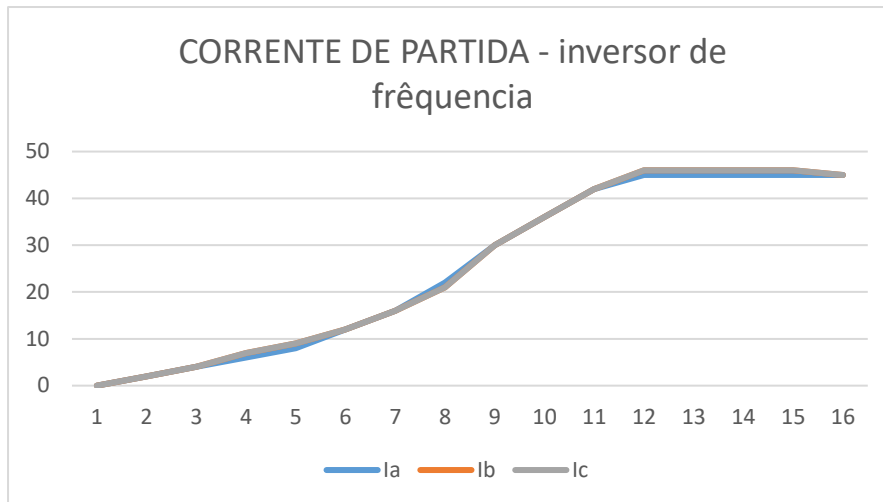


Fonte: elaborado pelos autores

Na Figura 11, no eixo Y, é possível observar o comportamento das correntes trifásicas eficaz durante o funcionamento, e o eixo X representa o tempo em segundos. É possível notar que próximo ao instante 3 segundos o pico de corrente é aproximadamente 44% superior ao valor da corrente nominal. Somente a partir do instante 9 segundos é que o motor opera em regime permanente, com a corrente nominal em cerca de 45A. Em um sistema dinâmico a quantidade de vezes que o motor é acionado faz total diferença no consumo.

Nesse ponto, pode-se sugerir a implementação de uma melhoria, relacionada a alteração do tipo de partida para uma partida mais suave, por meio do emprego de acionamento com *soft-start* ou um inversor de frequência. Além do ganho energético, com esse tipo de partida o desgaste mecânico do motor é atenuado. Na Figura 12, observa-se uma simulação de partida utilizando o inversor de frequência.

Figura 12 – Gráfico de corrente partida – inversor de frequência



Fonte: elaborado pelos autores

Na figura, é possível notar que não há picos de transitórios de corrente, pois a curva do inversor é mais suave e o motor atinge a mesma corrente nominal com menos desgastes. Em comparação com a Figura 11, nota-se uma diferença entre as partidas. É importante salientar que esses dados foram coletados, extraídos e tratados. Para confecção dos gráficos foi utilizado a ferramenta Excel. A seguir, na Figura 13, ilustra-se os dados em sua forma bruta, proveniente do pacote de dados do analisador de energia.

Figura 13 – Consumo na partida

				Demandas máximas por horário	
				Fora de ponta [kW]	
06/09/2024	11:13:32,00	0	0	0	
06/09/2024	11:13:33,00	5	12	12	
06/09/2024	11:13:34,00	70	71	69	06/09/2024 11:13:34,00 30,616
06/09/2024	11:13:35,00	56	56	55	06/09/2024 11:13:39,00 28,945
06/09/2024	11:13:36,00	62	63	61	06/09/2024 11:13:38,00 27,874
06/09/2024	11:13:37,00	63	64	62	06/09/2024 11:13:37,00 27,643
06/09/2024	11:13:38,00	64	64	63	06/09/2024 11:13:36,00 27,224
06/09/2024	11:13:39,00	67	66	66	05/09/2024 16:04:48,00 26,969
06/09/2024	11:13:40,00	53	53	52	05/09/2024 16:39:14,00 25,450
06/09/2024	11:13:41,00	47	47	46	05/09/2024 16:04:53,00 24,059
06/09/2024	11:13:42,00	46	47	46	06/09/2024 11:13:35,00 24,030
06/09/2024	11:13:43,00	46	47	46	05/09/2024 16:39:19,00 23,605
					05/09/2024 16:56:23,00 22,688
					05/09/2024 16:04:50,00 22,526
					05/09/2024 16:04:52,00 22,512
					05/09/2024 16:04:51,00 22,463
					05/09/2024 16:56:21,00 21,692
					05/09/2024 16:56:20,00 21,691
					05/09/2024 16:39:18,00 21,630
					05/09/2024 16:56:22,00 21,612
					05/09/2024 16:39:17,00 21,567
					05/09/2024 16:56:19,00 21,565

Fonte: elaborado pelos autores

Com a leitura dos dados brutos, é possível observar o instante de partida da bomba na referida data, podemos notar um pico muito elevado de consumo, a qual vai diminuindo até alcançar o valor nominal do equipamento. Os dados da

coluna de demanda, são globais, valores exatos máximos de consumo durante o período de amostragem.

Em comparação com um motor W22 IR3 premium equivalente em potência, porém com uma carcaça diferente (um pouco maior) do mesmo fabricante do equipamento analisado, é possível ver que o rendimento entregue pelo motor é bem melhor do que o atual (Figura 14).

Figura 14 – Dados elétricos para um motor equivalente em potência

W22 IR3 Premium

Potência kW	HP	Carcaça	Conjugado Nominal (kgfm)	Corrente com Fator de Potência (p/r)	Conjuga do de Parâmetros Cp/Cn	Conjugado Máximo (kgfm)	Momento de Inércia J (kgm²)	Tempo máximo com rotor bloqueado (s)		Massa (kg)	Nível médio de pressão sonora dB(A)	Fator de Serviço	RPM	% de Carga						Tensão (V)	Corrente Nominal In (A)
								Quente	Frio					Rendimento			Fator de Potência				
														50	75	100	50	75	100		
0,12	0,16	63	0,068	4,8	2,8	2,9	0,00049	28	62	8,3	48	1,25	1710	58	64	66	0,46	0,59	0,68	220	0,702
0,18	0,25	63	0,103	5	2,8	2,9	0,0006	39	86	8,5	48	1,25	1700	62	67	69,5	0,49	0,61	0,7	220	0,971
0,25	0,33	63	0,143	5,5	3,3	3,2	0,00066	30	66	8,8	48	1,25	1705	66	71	73,4	0,44	0,56	0,66	220	1,35
0,37	0,5	71	0,212	5,1	2,4	2,7	0,00071	44	97	11,2	47	1,25	1700	75	77,5	78,2	0,49	0,62	0,7	220	1,77
0,55	0,75	71	0,319	5,3	3	3	0,00083	14	31	12,4	47	1,25	1680	73	78	79	0,44	0,56	0,66	220	2,77
0,75	1	80	0,426	7,3	3	3	0,00289	18	35	15,5	48	1,25	1715	82,3	83	83	0,63	0,74	0,82	220	2,89
1,1	1,5	L80	0,621	7,4	3,4	3,4	0,00372	11	24	19	48	1,25	1725	79,5	82,5	84	0,58	0,71	0,8	220	4,3
1,5	2	L90S	0,835	7,7	2,7	3,3	0,00655	14	31	23,1	51	1,25	1750	84	86	86,5	0,59	0,72	0,8	220	5,69
2,2	3	L90L	1,23	7,4	2,8	3,1	0,00765	11	24	26,7	51	1,25	1745	86	88,5	87,5	0,6	0,73	0,8	220	8,25
3	4	L100L	1,67	9,1	4	4	0,00964	15	33	39	54	1,25	1745	87,4	88,5	89,5	0,57	0,69	0,77	440	5,71
3,7	5	L100L	2,07	8,3	4,2	4,2	0,01191	14	31	39,7	54	1,25	1740	87,5	88,5	89,5	0,56	0,69	0,77	440	7,04
4,5	6	L12M	2,51	7	2,4	3	0,01798	16	35	45,4	56	1,25	1745	88,7	89,5	89,5	0,61	0,74	0,8	440	8,25
5,5	7,5	L112M	3,06	7,3	2,5	3,2	0,02055	15	33	51,1	56	1,25	1750	89,7	90,3	91	0,58	0,7	0,78	440	10,2
7,5	10	L32S	4,14	8,2	2,3	3,5	0,05631	13	29	71,8	58	1,25	1765	90,8	91,6	91,7	0,66	0,78	0,84	440	12,8
9,2	12,5	L32M	5,08	8,5	2,4	3,5	0,06382	10	22	80,4	58	1,25	1765	91,8	92,4	92,4	0,66	0,78	0,84	440	15,6
11	15	L32ML	6,09	8,3	2,5	3,5	0,06721	8	18	85,5	58	1,25	1760	90,6	91,5	92,4	0,63	0,76	0,83	440	18,8
15	20	L60M	8,23	9	3,2	3,4	0,14707	13	29	138	64	1,25	1775	91,6	93	93	0,64	0,75	0,81	440	26,1
18,5	25	L60L	10,2	7,3	3	3,2	0,18125	12	26	158	64	1,25	1772	92,4	93,6	93,6	0,64	0,75	0,81	440	32
22	30	L100M	12,1	8	3,4	3,2	0,19185	20	44	178	63	1,25	1770	93	93,6	93,6	0,66	0,78	0,81	440	37,7
30	40	200M	16,4	7	2,8	2,8	0,32017	22	48	241	66	1,25	1778	93,6	94	94,1	0,7	0,79	0,84	440	49,8
37	50	200L	20,3	6,4	2,5	2,7	0,3728	20	44	266	66	1,25	1775	94	94,4	94,5	0,7	0,8	0,84	440	61,2

Fontes: Weg, motor elétrico trifásico W22 p.36

Podemos observar os dados elétricos do motor weg IR3 premium, equivalente ao modelo utilizado como foco do estudo. Em comparação com os dados de placa, é notório a diferença dos equipamentos com relação as entregas. Um motor de fabricação mais recente como esse tem vários atributos e tecnologias que fazem o consumo energético ser menor.

O rendimento e o fator de potência são informações que precisam ser levadas em consideração no momento da análise para a viabilidade de substituição. Quanto menos perdas o motor apresentar, maior será o rendimento entregue na ponta do eixo. quanto ao fator de potência, quanto mais próximo do valor unitário melhor, pois dessa maneira em conjunto com um banco de capacitores devidamente projetado é possível a diminuição de energias reativas em trânsito nas instalações elétricas industriais.

Em consonância com o exposto, uma melhoria que pode ser aplicada na situação é a instalação de bancos de capacitores descentralizados, em outras palavras, a correção do fator de potência se possível deve ser feita o mais

próximo do local onde o motor está instalado. A seguir serão apresentados os cálculos para a taxa de carga e potência útil do motor.

CÁLCULO DA TAXA DE CARGA DO MOTOR ATUAL

Conforme apresentado anteriormente na Seção 2.4, a taxa de carga, é o valor em porcentagem a qual o motor opera. Substituindo os valores da equação (7) obtém-se a equação (13) e (14), que calcula a taxa de carga do equipamento. Esse valor é muito importante pois através dele é possível balancear a carga aplicada no eixo. com relação aos valores, a taxa de carga ideal seria 100%.

$$\text{Taxa de Carga (\%)} = \left(\frac{45}{43,7}\right) \times 100 \quad (13)$$

$$\text{Taxa de Carga (\%)} = 103 \quad (14)$$

Portanto a taxa de carga do motor analisado é de 103%. Esse valor nos diz que o motor está operando acima de sua capacidade máxima.

CÁLCULO TEÓRICO DA POTÊNCIA ATIVA

A potência ativa, é o tipo de potência que realiza o trabalho, pode ser conhecida também por potência útil. Com valores de tensão e corrente do equipamento é possível obter o resultado. Utilizando a equação (8) obtém-se:

$$P_a = \sqrt{3} \times 380 \times 45 \times 0,657 \quad (15)$$

$$P_a = 19,45 \text{ kW} \quad (16)$$

Podemos observar através do cálculo aproximado da potência ativa o resultado teórico da potência ativa (P_a). Porém os valores de potência ativa obtidos em campo são diferentes dos calculados. Na leitura em campo foi obtido o valor de 17 kW. A Figura 15 ilustra a leitura das potências ativa, reativa, aparente e o fator de potência respectivamente.

Figura 15 – Leituras das potências - Real

DATA	HORA	P3f	Q3f	S3f	FP3f
05/09/2024	16:05:17,00	17,879 k	20,333 k	27,076 k	0,660
05/09/2024	16:05:18,00	17,819 k	20,302 k	27,013 k	0,660
05/09/2024	16:05:19,00	17,754 k	20,277 k	26,951 k	0,659
05/09/2024	16:05:20,00	17,713 k	20,378 k	27,000 k	0,656
05/09/2024	16:05:21,00	17,702 k	20,392 k	27,004 k	0,655
05/09/2024	16:05:22,00	17,716 k	20,383 k	27,006 k	0,656

Fonte: elaborado pelos autores

CÁLCULO TEÓRICO DE POTÊNCIA ÚTIL DO MOTOR

A equação (17) fornece os valores aproximados da potência mecânica entregue ao eixo.

$$P_u = \frac{17k \times 0,91}{0,736} \quad (17)$$

$$P_u = 21 \text{ cv} \quad (18)$$

CÁLCULO DA VIABILIDADE DE SUBSTITUIÇÃO

Conforme já exposto, o cálculo teórico de substituição nos dá um direcionamento para a decisão de substituição ou não do motor.

$$\Delta_{iu/inm} = 21/30 \quad (19)$$

$$\Delta_{iu/inm} = 0,7 \quad (20)$$

Analisando apenas este resultado, obtém-se que a substituição do motor em operação não é viável. No entanto, para uma análise de viabilidade completa, é necessário avaliar outros fatores que podem justificar a troca, como a eficiência energética, o custo-benefício e a conformidade com regulamentações atuais. Vale destacar que, em 2004, há quase 20 anos, a tecnologia empregada na fabricação de motores elétricos era significativamente diferente da tecnologia atual, que apresenta avanços em materiais e *design*, visando maior eficiência.

Como parte das iniciativas para a redução do consumo de energia, entrou em vigor, em 2009, a Portaria nº 553, que estabeleceu níveis mínimos de

rendimento para motores de indução trifásicos fabricados ou comercializados no Brasil. Esta medida visou garantir que novos motores apresentassem uma eficiência energética mínima, alinhada com as melhores práticas internacionais, incentivando a substituição gradual de motores antigos por modelos mais eficientes. Portanto, uma análise detalhada que considere a conformidade do motor atual com essas regulamentações, bem como seu desempenho comparado aos modelos mais modernos, é fundamental para uma decisão assertiva sobre sua substituição.

PAYBACK SUBSTITUIÇÃO DO MOTOR EM OPERAÇÃO

Conforme exposto, os critérios para a substituição de um motor de indução trifásico, não se devem ser considerados apenas os cálculos com valores aproximados. Para a substituição do motor, também deve ser levado em consideração as rotinas de manutenção no equipamento, analisando: i) quantidade de rebobinagens que o equipamento já sofreu; ii) histórico de manutenção do equipamento; iii) tempo de operação; iv) ambiente no qual está exposto; v) temperatura da carcaça do equipamento; e vi) a resistência elétrica das bobinas.

Todos esses fatores devem ser considerados no momento da troca, pois influenciam diretamente no rendimento do equipamento. Assim, para a avaliação da viabilidade de substituição do equipamento, foi utilizado o *software* See+ do fabricante WEG motores elétricos. Na análise foi levado em consideração a troca de apenas um motor da linha *standard* da fabricante WEG atualmente em operação. Desta forma, foi realizado a cotação de um novo equipamento equivalente em potência ao atual existente na empresa, porém da linha W22 IR3 Premium, conforme observa-se na Figura 16.

Figura 16 - Orçamento motor de indução



Motor Elétrico Weg de 30cv, 1765 RPM, 220/380v Trifásico
(30cv-4P-B3D-11581846)

Rotação: 1750 RPM (4 Polos) | Modelo: W22 IR3 Premium

Motor Elétrico Weg de 30cv (22kw), 1750 RPM, 220/380v Trifásico, 4 Polos, W22 IR3 Premium, IP55, B3D (NÃO TEMOS O MOTOR EM ESTOQUE E O PRAZO O ENVIO ESTA EM APROXIMADAMENTE 7 DIAS E APÓS A COMPRA ENTRAREMOS EM CONTATO INFORMANDO A DATA EXATA DE ENVIO DO MOTOR).

Garantia: 1 Ano Direto Com a Weg |
Disponibilidade: 7 Dias Após a Compra (SUJEITO A ALTERAÇÃO)

[▼ mais informações](#)

por: R\$ 20.692,97

QUANTIDADE

Fonte: Acervo dos autores

Conforme visto anteriormente, a tecnologia empregada na construção do motor da referida linha, é superior a linha *standard* do mesmo fabricante e atende aos requisitos mínimos de rendimento estabelecidos na lei de eficiência energética. O motor atual, trabalha cerca de 20 horas por dia, sendo desligado apenas para intervalos de manutenção. Assim, opera cerca de 355 dias por ano. O valor médio pago pelo consumo energético na fábrica é de R\$0,60 por Kwh consumido. Essas informações foram inseridas no *software* See+ da WEG, conforme a Figura 17.

Figura 17 – Interface do software See+



Relatório de Retorno Financeiro

Opção de Cálculo: **Substituição de Motor em Operação**

Dados da Aplicação

Equipamento: **Bomba Centrífuga**

Valor da Energia (R\$/kWh): **0.60**

Horas por Dia: **20**

Dias por Ano: **355**

Fonte: Acervo dos autores

Em seguida, foram inseridos os dados do motor atualmente em operação. Observa-se que o software utilizou seu banco de dados para fornecer automaticamente uma estimativa aproximada do rendimento do equipamento.

Figura 18 – Dados do motor atual

Dados do Sistema Atual

Potência do Motor: **30 cv**Número de Polos: **4**Tensão da Rede (V): **380**Rendimento (%): **89.8**Idade do Motor (anos): **22**Número de Rebobinagens: **2**Quantidade de Motores: **1**

Acionado por Inversor de Frequência

NÃO

Fonte: Acervo dos autores

Já com os dados do motor em operação inseridos, foi projetado um novo sistema proposto considerando o motor da linha W22 IR3 premium, como o preço médio de aquisição girando em torno de R\$ 21.000,00. A opção de plano de troca foi assinalada, portanto o motor em operação entra como parte do pagamento.

Figura 19 – Dados do sistema proposto

Dados do Sistema Proposto

Linha de Motor WEG: **W22 Super Premium**Rendimento (%): **94.3**Preço Médio do Motor WEG: **R\$ 21.000,00**

Considerar Plano de Troca

SIM

Fonte: Acervo dos autores

Após a inserção dos dados no software, a Figura 20 apresenta os valores estimados de economia ao longo de um ano de operação do novo sistema. É importante destacar que esses valores consideram exclusivamente a

substituição do motor, mantendo inalterados todos os demais parâmetros de operação.

Figura 20 – Valores economizados

Com este Projeto de Eficiência Energética você irá:

em 1 ANO ter ECONOMIZADO
 **R\$ 4.953,32 | 8.255,53 kWh (4,75%)**

Fonte: Acervo dos autores

Essa alteração isolada resulta em uma redução significativa no consumo energético da planta. Adicionalmente, contribui para a diminuição das emissões de CO₂ para a atmosfera em 0,3 toneladas. Quanto ao tempo de retorno do investimento, conforme ilustrado na Figura 21, estima-se que será de aproximadamente 3,9 anos, considerando um investimento de R\$ 21.000,00.

Figura 21 – Estimativa de *payback*

e este investimento **RETORNARÁ** em
 **3,9 ANOS**

Valor Presente Líquido:	R\$ 11.748,98	
Taxa Interna de Retorno:	26.36%	TMA (%): 10,8%

Fonte: Acervo dos autores

Com base nos dados apresentados, a projeção da economia acumulada ao longo de 10 anos alcança aproximadamente R\$ 49.000,00. Trata-se de uma economia significativa, permitindo a destinação desses recursos para investimentos em outros setores da fábrica, ampliando sua eficiência e competitividade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo a coleta e análise de dados elétricos de um motor de indução integrante do sistema de geração de água gelada em uma

indústria farmacêutica. Durante o estudo, foram identificados pontos de melhoria no processo, incluindo ajustes relacionados ao acionamento da bomba. As análises realizadas permitiram identificar fatores que impactam diretamente o rendimento do motor, como o tempo prolongado de operação e as manutenções corretivas, que resultam em um desempenho abaixo do esperado, além das limitações do sistema de acionamento atual.

Com base nos resultados obtidos, a substituição do motor mostrou-se uma alternativa eficiente e economicamente viável, considerando os valores de economia energética projetados. É importante destacar que a melhoria foi implementada em apenas um motor do setor de utilidades da planta. No futuro, há potencial para ampliar o estudo aos principais motores em operação diária, o que permitirá avaliar o impacto econômico do retrofit⁸ em um número maior de equipamentos.

Adicionalmente, planeja-se desenvolver um estudo mais detalhado sobre o acionamento desse sistema, incluindo a automação do processo. Este novo estudo contemplará o monitoramento e controle do fluxo de água em trânsito, que realiza a troca de calor entre os chillers e as torres de resfriamento. A implementação de um inversor de frequência para o acionamento promete melhorias significativas na qualidade da energia e uma redução ainda maior no consumo energético, consolidando os benefícios da modernização do sistema.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Quem é quem na SNTEP**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/quem-e-quem>. Acesso em: 06 set. 2023.

CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de máquinas elétricas** [recurso eletrônico]. Tradução: Anatólio Laschuk. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

CTC - Centro Técnico Científico da PUC-Rio. **Motores reconicionados desperdiçam mais de 8 TWh, representando R\$ 16 bilhões de prejuízo**.

⁸ Retrofit: termo utilizado para referenciar melhorias que contêm trocas no setor industrial.

Disponível em: <https://www.ctc.puc-rio.br/motores-recondicionados-desperdicam-mais-de-8-twh-representando-r-16-bi-de-prejuizo>. Acesso em: 06 set. 2023.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Eficiência energética**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-423/topico-488/09%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica.pdf>. Acesso em: 05 set. 2023.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos Elétricos**. 4. ed. São Paulo: Editora Érica, 2008.

MIYAMOTO, R. K. Uma estratégia de compensação de afundamentos de tensão usando armazenamento de energia em volantes inerciais com motor Dahlander em frenagem regenerativa conectado à rede. **Tese de Doutorado – Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. 2022.

NASCIMENTO, Adilson. **Comandos elétricos**. Apostila, Cap. 1. Valinhos, 2015. Disponível em: <http://www.seaan.com.br/cursos/comandos-eletricos-basico/apostila/>. Acesso em: 18 set. 2023.

PETRUZELLA, Frank D. **Motores elétricos e acionamentos** [recurso eletrônico]. Tradução: José Lucimar do Nascimento. Revisão técnica: Antonio Pertence Júnior. Porto Alegre: AMGH, 2013.

PRAXEDES, Marcos Fernandes. **A evolução dos sistemas de partida dos motores elétricos trifásicos**. Itatiba: MIT, 2011.

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Dados técnicos sobre energia**. _____

Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BFE97B06C-FB9F-44BD-989B-0134530AF910%7D&Team=¶ms=itemID=%7B85E0B30D-27C1-4A89-86EB-AB4071AD2EBD%7D;LumisAdmin=1;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D> . Acesso em: 06 set. 2023.

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Equipe do Procel.** Disponível em:

<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={921E566A-536B-4582-AEAF-7D6CD1DF1AFD}>. Acesso em: 06 set. 2023.

UMANS, Stephen D. **Máquinas elétricas de Fitzgerald e Kingsley** [recurso eletrônico]. Tradução: Anatólio Laschuk. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

WEG. **Eficiência energética em motores elétricos.** Disponível em: <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/solutions/energy-efficiency/efficiency-index#:~:text=O%20setor%20industrial%20brasileiro%20consome,%C3%A9%20consumida%20por%20motores%20el%C3%A9tricos>. Acesso em: 05 set. 2023.

SOUZA, Alceu; CLEMENTE, Ademir. **Decisões financeiras e análise de investimentos.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

WEG – **calculador de payback para investimento** – disponível em : <https://www.weg.net/seepius/calculator> acesso em 05/11/24

Capítulo III – Estudo da Viabilidade da Migração de um Consumidor Cativo do Setor Alimentício para o Mercado Livre de Energia

Ricardo Tavares Mendes ⁹

Adriana Giseli Leite Carvalho ¹⁰

Fabio Rodrigues Milanez ¹¹

Victor Emanuel Correia De La Rosa ¹²

RESUMO

Este estudo baseia-se no processo de migração de um consumidor cativo para o mercado livre de energia elétrica, em uma empresa do ramo alimentício na região de Londrina. O objetivo deste trabalho é analisar os benefícios e desafios para realizar a transição, destacando as estratégias de otimização dos custos com a energia elétrica. A metodologia consiste em realizar coletas de dados da empresa do mercado cativo, avaliação dos custos no mercado livre, considerando as condições tarifárias. Os resultados demonstram que, após a migração para o mercado livre obteve melhoria de custos, evidenciando as economias.

Palavras-chave: Consumidor Cativo. Consumidor Mercado Livre. Contratação Livre. Demanda.

Feasibility Study of the Migration of a Captive Consumer in the Food Sector to the Free Energy Market

ABSTRACT

This study is based on the migration process of a captive consumer to the free electricity market, in a food company in the Londrina region. The objective of this work is to analyze the benefits and challenges of optimizing electricity costs. The methodology consists of collecting data from the company in the captive market, evaluating costs in the free market, considering tariff conditions. The results show that, after migrating to the free market, there was an improvement in costs, highlighting the saving.

Key words: Captive consumer. Free Market Consumer. Free Contracting. Demand.

⁹ Engenheiro Eletricista. UniSenaiPR - Campus Londrina.

¹⁰ Especialista. UniSenaiPR - Campus Londrina, adriana.carvalho@sistemafiep.org.br

¹¹ Mestre em Bioenergia. UniSenaiPR - Campus Londrina, fabio.milanez@sistemafiep.org.br

¹² Especialista. UniSenaiPR - Campus Londrina.

1 INTRODUÇÃO

O ramo industrial alimentício passa por diversos desafios especialmente o processamento de sementes, onde o parque fabril diversos equipamentos representam consumidores significativos de energia. No entanto, equipamentos como motores, compressores exercem um impacto nos processos produtivos, com isso as empresas estão em busca de redução de custo, o setor elétrico proporciona essas vantagens nessa redução. O custo de energia elétrica no Brasil tem uma parcela significativa, em especial as indústrias que corresponde mais de 35% do consumo de energia, de acordo com Empresa de Pesquisa Energética EPE (2023).

Os Consumidores cativos são aqueles que recebe energia interligado à sua rede, e tem fatura de energia mensal incluindo todas as tarifas de distribuição e geração de energia, além das tarifas que obtidas pelo governo. Em julho de 1995 foi publicado a lei nº 9.074 foi estabelecido o regime de contratação livre de energia elétrica no Brasil, onde os consumidores podem negociar livremente energia elétrica entre as comercializadoras, seguindo todos os procedimentos do setor elétrico brasileiro.

Neste contexto, os consumidores livres são aqueles que compram energia diretamente com os geradores de energia e comercializadoras. Com poder de escolha na negociação, o consumidor adquire a quantidade de energia conforme sua demanda de consumo e seu perfil de consumidor Livre (2023).

A importância da migração para o mercado livre de energia é a diversidade e o poder de escolher o fornecedor, buscando no mercado empresas que trabalha com energia limpas e tecnologias que pode beneficiá-lo financeiramente assegurando que fez um bom negócio a médio e longo prazo (Replece, 2024).

Por se tratar de um assunto importante para o consumidor industrial, o trabalho consiste em realizar uma investigação da modalidade tarifária da empresa que é foco deste estudo, e por meio das coletas de dados, compreender e analisar de forma a avaliar a viabilidade técnicas e econômicas, benefícios e perspectivas ao migrar para o mercado livre de energia.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Contextualização do panorama da Energia no Brasil

A Energia elétrica é gerada em diversas fontes de energia e seus insumos é indispensável para o desenvolvimento do país, essa demanda energética tem papel fundamental para o funcionamento em diversos setores de serviços, como área doméstica, indústria, comércio e serviços, transporte, agricultura, hospitais, educação e pesquisa, segurança pública e desenvolvimento econômico EPE (2023).

Para se ter uma base sobre o horizonte do sistema de transmissão de energia elétrica no Brasil com um panorâmico da década 1960 até 2018 (Figura 1).

Figura 01: Sistema de Transmissão no Brasil



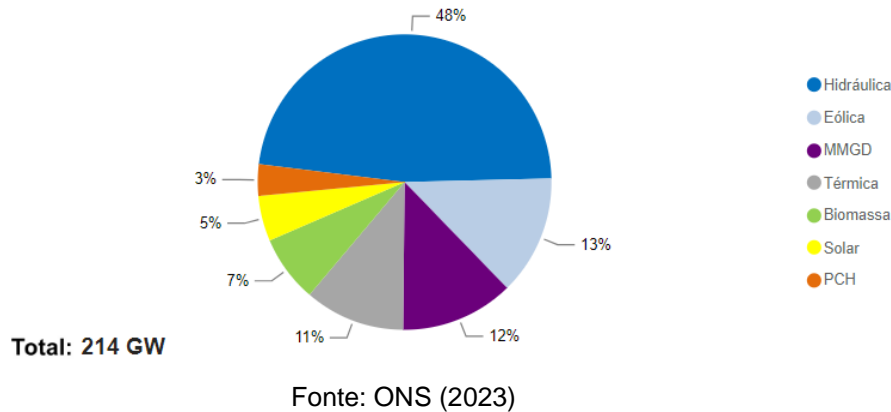
Fonte: ELETROBRAS (2024)

No mapa de 1960 nota-se que existem poucas linhas em que não havia interligação entre os estados nesta época. É possível mostra o sistema elétrico de transmissão interligado, permitindo que toda energia que está sendo gerada pode ser consumida em qualquer região do país, as linhas azul e vermelha diferencia o nível de tensão.

A energia é definida como sendo todo recurso que tem potencial para gerar energia elétrica. A matriz elétrica é o conjunto para que essa energia seja

gerada, por exemplo: Carvão, Petróleo, Gás Natural, Água, Resíduos, Lenha e Carvão, Sol, Vento (Figura 2).

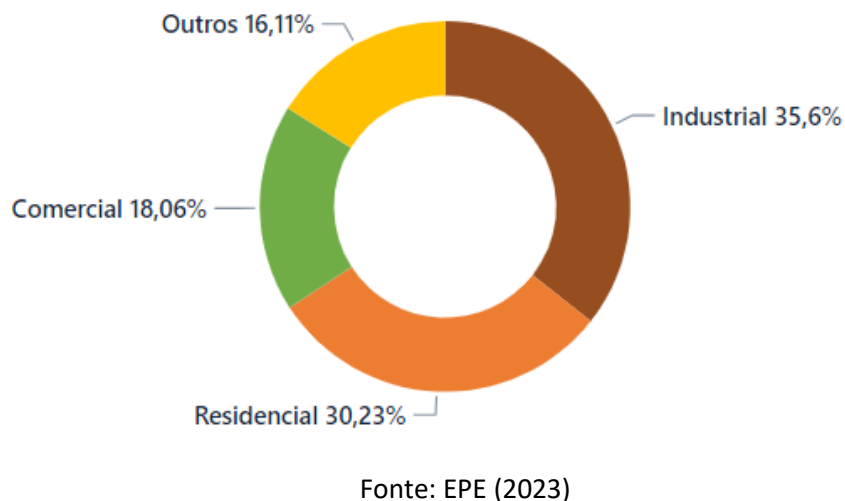
Figura 2: Matriz Energética



É possível observar entre os tipos de energia que a hidráulica representa a maior área 48%, vindo em sequência a energia eólica com 13% de representatividade. A matriz energética é um parâmetro de monitoramento das energias que está sendo gerada e entregue no nosso sistema interligado ONS (2023).

Com relação a fonte de energia hidráulica, que produz a energia elétrica é importante visualizar o potencial do consumo de energia elétrica por classe, a indústria tem um maior percentual nesse consumo, residencial em segundo, comercial e terceiro e outros assumi os restantes do consumo (Figura 3).

Figura 3 – Consumo Médio por Classe



O Consumo médio por classe é representado por diferentes setores que consomem eletricidade, a Empresa de Pesquisa Energética mostra dados muito importante sobre a classe de consumo (Quadro 01 e 02). Os consumidores são divididos em dois grupos tarifário A e B, onde cada um são atendido em níveis de tensões diferentes.

Quadro 01 – Grupo Classe A

Tensão	Tensão de Fornecimento
A1	≥ 230 kV
A2	88 kV a 138 kV
A3	69 kV
A3a	30 kV a 44 kV
A4	2,3 kV a 25 kV
AS	≤ 230 kV Subterrâneo

Fonte: Autor (2023)

Quadro 02 – Grupo Classe B

Tensão	Tensão de Fornecimento
B1	Residenciais
B2	Rural
B3	Demais Classes
B4	Iluminação Pública

Fonte: Autor (2023)

No grupo A, estão aqueles consumidores que são atendidos com tensão superior a 2.3 kV, este grupo representa a maior complexibilidade devido conhecimento técnico na área e a maior parcela no faturamento de energia. A tarifação e binômio, o que significa que é necessário contratar uma demanda de potência em kW e pagar valores distintos aos horários de ponta e fora de ponta, além de cobrança pelo excedente reativo, nesse grupo são representados conforme ilustrado no quadro 01. RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021 pág. 5.

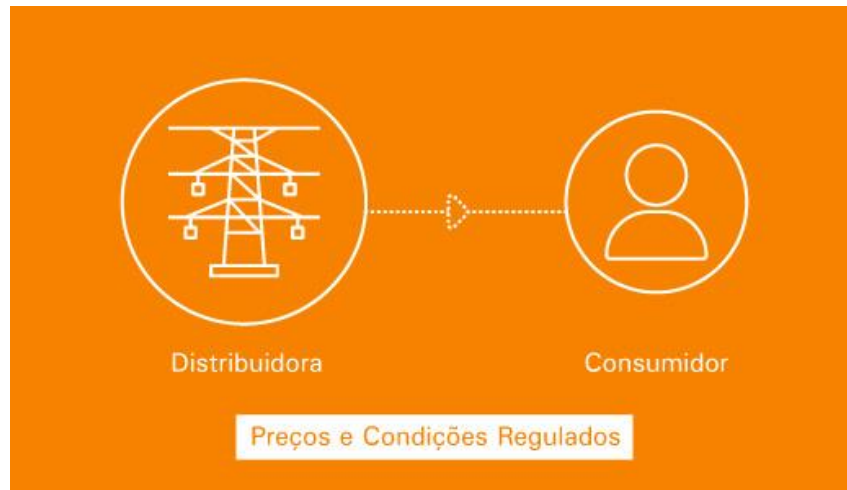
No grupo B, estão aqueles consumidores atendidos com tensão menor que 2.3 kV, são aqueles que recebe tensão 127 / 220 volts, RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021 pág. 6.

2.4.3 Consumidor cativo de energia

Consumidor Cativo, são representados por ACR (Ambiente de Contratação regulado), nessa modalidade os consumidores são atendidos pela distribuidora local e pagam suas tarifas sem direitos de negociação.

No Mercado cativo, o consumidor não tem escolhas de compra de energia elétrica, nesse caso a contratação é no ambiente regulado (ACR), onde o cliente afirma contrato com o fornecimento, suas tarifas e bandeira tarifária são definidas e ajustada anualmente pela ANEEL (COPEL, 2023). Para uma melhor compreensão, a Figura 4 ilustra o consumidor cativo.

Figura 04 – Consumidor Cativo



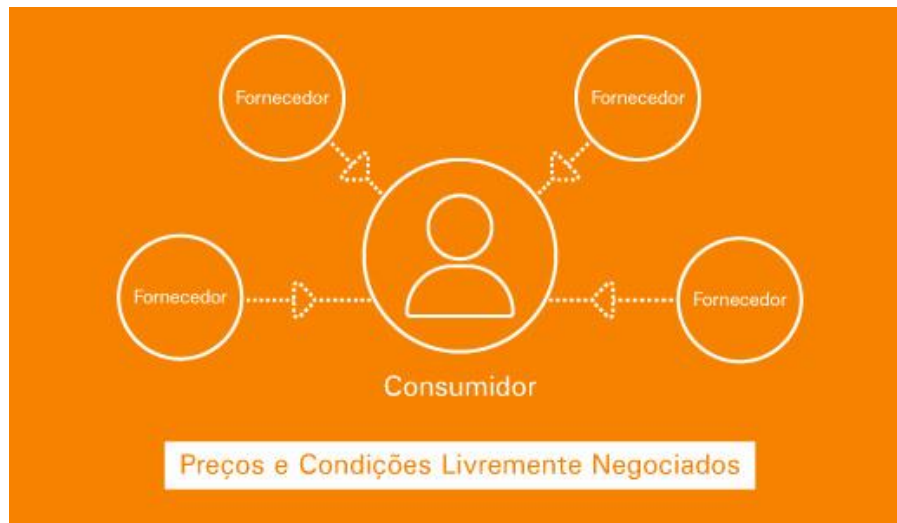
Fonte: Copel (2023)

O consumidor só consegue consumir a energia elétrica da distribuidora de sua região, sendo este, a rede de alimentação. Devido a regulação, valores tarifários não alterados pelo consumidor.

2.4.4 Consumidor livre de energia

Ambiente ACL (Ambiente de Contratação Livre), conforme a Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995, foi criado duas modalidades Livres e Especiais. É aquele consumidor que tem poder de escolha com os fornecedores, que contratará energia elétrica conforme sua demanda de consumo. Para esses consumidores pode comprar energia de fornecedor autorizado e comercializar no mundo do Mercado Livre, tendo sua tarifa reduzida. Consumidor Especial é aquele que possui demanda contratada superior a 500kW, porém a norma regulamentadora concede também para os consumidores de mesmo (CNPJ) e na soma de consumo seja igual ou superior a 500kW, exemplo supermercado ou lojas (Figura 5).

Figura 05 – Consumidor Mercado Livre



Fonte: Copel (2023)

O consumidor mercado livre, pode escolher comprar de sua energia elétrica podendo negociar livremente quantidade de energia conforme o consumo da sua empresa.

2.5 Papel da CCEE

A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica no Brasil (CCEE) foi criada pela Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, e é responsável pelo mercado de energia elétrica no Brasil sem fins lucrativo. A CCEE é responsável por viabilizar as atividades de compra e venda de energia elétrica no Brasil, e realizando a contabilização preço de liquidação das diferenças (PDL) utilizando essas ferramentas para valorar as operações de compra e venda de energia elétrica.

A partir de janeiro de 2024 passou a valer a nova regra para o consumidor do grupo A atendido em alta tensão, podendo migrar para o mercado livre de energia Copel (2024).

2.5.1 Estrutura do Setor Elétrico Brasileiro

A estrutura do setor elétrico possui etapas importantes no sistema interligado que são responsáveis no atendimento de consumo no Brasil. As Instituições do setor elétrico e competências são conjuntos de órgãos que atuam na formulação e no setor elétrico brasileiro e são responsáveis pela geração, transmissão e

distribuição de energia elétrica em todo país. Esses órgãos têm por objetivo regulamentar o sistema de energia elétrica, nos quais cada um tem as suas competências, conforme mostrado na figura 6.

Figura 06: Estrutura do Setor Elétrico Brasileiro



Fonte: CCEE (2024)

Cada um desses órgãos desempenha papéis significativos na estrutura do setor elétrico, no quadro 03 é possível compreender brevemente sobre cada um deles.

Quadro 03: Órgãos sistema elétrico

Órgão	Papel
CNPE - Conselho Nacional de Política Energética	É um órgão interministerial de assessoramento à Presidência da República que tem como principais atribuições a formulação de políticas e diretrizes de energia que assegurem o suprimento de insumos energéticos a todas as áreas do país.
MME - Ministério de Minas e Energia MME	É o órgão do governo federal responsável pela condução das políticas energéticas do país.
CMSE - Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico	É um órgão sob coordenação direta do MME, criado para acompanhar e avaliar a continuidade e a segurança do suprimento elétrico em todo o território nacional. O CMSE é composto por MME, Aneel, ANP, ONS, EPE e CCEE.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica	A Aneel tem atribuições de regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica.
EPE - Empresa de Pesquisa Energética	A EPE é uma instituição vinculada ao Ministério de Minas e Energia cuja finalidade é a realização de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético.
ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico	É a instituição responsável por operar, supervisionar e controlar a geração de energia elétrica no Sistema Integrado Nacional (SIN) e por administrar a rede básica de transmissão de energia elétrica no Brasil.
CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica	Reúne empresas e instituição que viabilizam apresentações de compra e venda de energia em todo País.

Fonte: MME (2023)

O setor do sistema elétrico conta com as responsabilidades de cada órgão criado pelo governo regulação do setor e suas atribuições. Cabe a eles, desde assegurar os insumos energéticos, as políticas, a segurança, a fiscalização, compra e venda de energia até subsídios que fomentam estudos e pesquisas do setor elétrico.

2.5.2 Etapas para migração

Para integrar ao ambiente de contratação livre ACL, alguns passos devemos seguir para garantir a confiabilidade do processo e viabilidade financeira da migração, conforme ilustrado na figura 9, a seguir.

Após entender os passos para migração o consumidor tem a responsabilidade de denúncia, é o nome que se dá ao aviso enviado à distribuidora local, informando a intenção de não renovar o contrato de compra de energia elétrica. A denúncia deve ser enviada pelo consumidor à distribuidora com pelo menos 180 dias de antecedência do fim do contrato. Existe a possibilidade de solicitar quebra contratual, mas haverá uma cobrança adicional com a distribuidora, ENGIE (2023).

Figura 07 – Passos para migração ao ACL



Fonte: Autor, Adaptado Copel (2023)

3 METODOLOGIA

3.1 Definição da Unidade Consumidora

A unidade consumidora é uma empresa que fica situada na região de Londrina que atua no processamento do ramo alimentício desde a década de 1970 bem consolidada no mercado. Essa indústria possui grandes máquinas e para manter o funcionamento 24 horas tem demanda contratada de 4.900 kW fora de ponta e 4.400 na ponta e está na modalidade tarifária azul com a classe de tensão A3a do grupo A.

Para o estudo de caso foi realizado levantamentos de dados demanda contrata (kW), demanda medida (kW), consumo medido (kW), tanto na ponta como fora da ponta (quadro 04).

Quadro 04 - Demanda e consumo

Mês	Demanda (kW)				Consumo (kWh)	
	Contratada		Medida		Medido	
	F. Ponta	Ponta	F. Ponta	Ponta	F. Ponta	Ponta
set/22	4.900	4.400	4.460,40	4.044,60	2.215.181	213.825
out/22	4.900	4.400	4.544,40	3.977,40	2.484.998	217.951
nov/22	4.900	4.400	4.561,20	4.153,80	2.041.823	182.927
dez/22	4.900	4.400	4.603,20	4.040,40	2.219.673	203.841
jan/23	4.900	4.400	1.617,00	1.524,60	372.243	37.783
fev/23	4.900	4.400	4.670,40	4.124,40	1.671.737	158.708
mar/23	4.900	4.400	4.720,80	4.179,00	2.591.196	255.404
abr/23	4.900	4.400	4.620,00	3.977,40	2.227.642	171.685
mai/23	4.900	4.400	4.594,80	4.439,40	2.430.853	226.176
jun/23	4.900	4.400	4.653,60	4.418,40	2.539.145	237.098
jul/23	4.900	4.400	4.615,80	4.153,80	2.305.957	208.323
ago/23	4.900	4.400	4.137,00	4.137,00	2.332.603	227.119

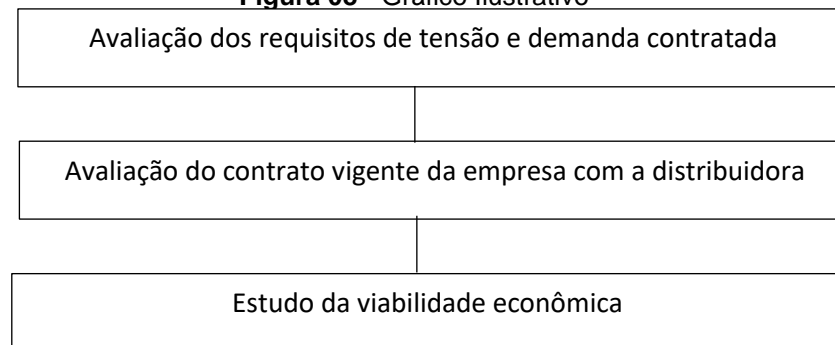
Fonte: Autor (2023)

A tabela apresenta os dados de demanda e consumo tanto na ponta e fora da ponta no período de setembro de 2022 até agosto 2023 totalizando 12 meses de resultados coletados.

3.2 Mapeamento da Empresa para Migração no Mercado Livre

Com base nos passos de migração de energia elétrica, foi realizado algumas etapas junto a empresa deste estudo de caso (Figura 08).

Figura 08 - Gráfico Ilustrativo



Copel (2023)

Inicialmente as contas de energia elétrica da empresa, possibilitou a coleta de informações relacionados a tensão e a demanda contratada. O acesso ao contrato vigente da empresa com a distribuidora foi fornecido para análise, ajudando comparar o valor atual da conta com o valor do simulador da copel mercado livre.

3.3 Tratamento dos Dados

Foi utilizado com recurso o Excel que é uma ferramenta do pacote Office365, possibilitando a inserção dos dados e das equações. Os dados considerados para análise foram da bandeira tarifária verde no período de agosto de 2022 a setembro de 2023. O simulador utilizado foi o da Copel Mercado Livre.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Análise das Demandas

A demanda contratada da empresa representa o resultado da potência necessária para o funcionamento dos equipamentos (figura 09), a quantidade de contratação não se altera, seja ela fora da ponta (horário das 21h até 18h) ou na ponta (horário das 18h às 21h), exceto sábados, domingos e feriados.

Figura 09 - Gráfico Ilustrativo

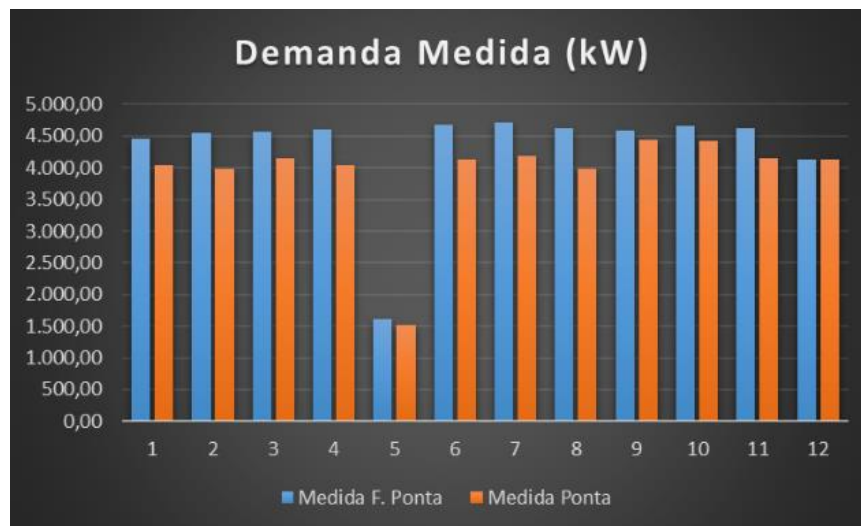


Fonte: Autor

Para os dados apresentado, a demanda contratada representa a potência necessária que a empresa precisa para realizar o trabalho, como por exemplo

rodar as máquinas por um determinado tempo, a demanda medida varia conforme a necessidade estratégica da empresa, isso se aplica para o consumo (figura 10)

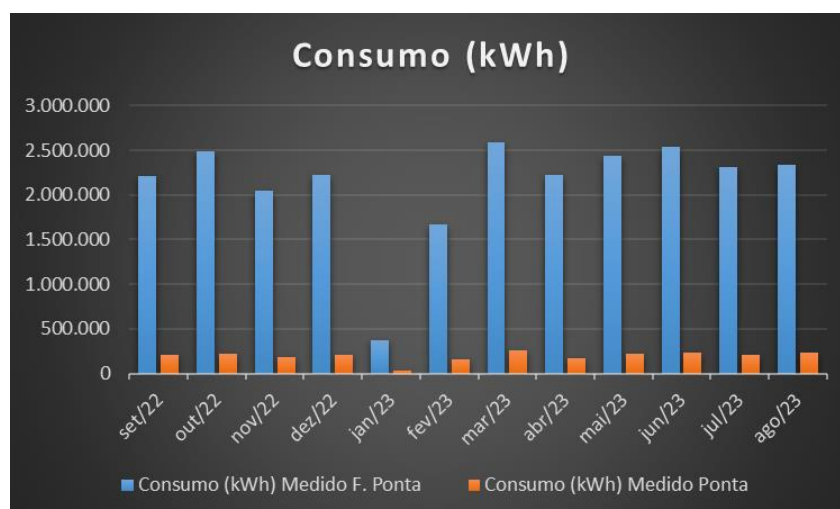
Figura 10 - Gráfico Ilustrativo



Fonte: Autor (2023)

Para os dados apresentado no gráfico 10, a demanda média representa a quantidade de energia que foi utilizada no horário de ponta e fora de ponta (pagar multa). Contratada são potência necessária que a empresa precisa para realizar o trabalho, exemplo rodar as máquinas por um determinado tempo, a demanda medida varia conforme a necessidade estratégica da empresa, isso se aplica para o consumo (figura 11)

Figura 11 - Gráfico Ilustrativo



Fonte: Autor (2023)

O gráfico apresenta o consumo de energia elétrica em kWh separando a medição fora da ponta e na ponta entre setembro 2022 – agosto 2023, destacando um baixo consumo de energia no mês de janeiro a empresa passa por uma manutenção preventiva parando 90% de seus equipamentos.

4.2 Resultados esperados (Simulação)

Para se obter os resultados o consumidor cativo, foram considerados bandeira tarifária verde que não sofre nenhum acréscimo e demanda contratada, baseado nas cobranças realizada pela distribuidora de energia elétrica Copel. No ambiente de contratação livre há dois tipos de economia; Energia convencional que é proveniente de fontes não renováveis e incentivada que são de fontes renováveis (quadro 05).

Quadro 05 - Custo mensal

Mês	Cativo (ACR) (R\$)	Economia na Energia convencional (ACL)		Economia na Energia Incentivada (ACL)	
		(R\$)	%	(R\$)	%
set/22	1.657.800,43	598.999,29	36,13	665.791,49	40,16
out/22	1.795.979,55	664.434,04	37,00	719.462,29	40,06
nov/22	1.548.860,11	547.818,27	35,37	621.922,80	40,15
dez/22	1.652.926,26	596.836,22	36,11	663.345,01	40,13
jan/23	608.464,14	104.219,96	17,13	250.075,89	41,10
fev/23	1.346.084,99	452.061,94	33,58	542.140,47	40,28
mar/23	1.875.937,07	701.780,81	37,41	752.490,93	40,11
abr/23	1.633.970,61	588.325,64	36,01	654.205,84	40,04
mai/23	1.774.711,84	654.232,05	36,86	711.699,86	40,10
jun/23	1.836.783,68	683.492,44	37,21	736.319,46	40,09
jul/23	1.699.371,29	618.784,62	36,41	681.559,00	40,11
ago/23	1.726.141,20	631.196,11	36,57	692.968,90	40,15

Fonte: Autor (2023)

Portanto, no mês ago/23 teve o maior valor de energia pago, e no mês jan/23 teve a conta mais baixa devido a empresa passar por manutenções preventivas parando toda linha produtiva. A copel mercado livre disponibiliza no site um simulador onde podemos inserir os dados e saber quantos que

economizamos comparando um consumidor no ambiente ACR para ACL (figura 10).

Figura 12 – Tela do Simulador



Fonte: Copel Mercado Livre (2023)

O simulador mostra o valor de economia em reais e percentuais na energia convencional e incentivada, para obter o resultado os dados têm que inserir corretamente as informações do consumidor.

4.3 Antes e Depois da Migração

Antes do processo de migração tem um cenário com faturas altas uma certeza de que os valores não podem ser negociáveis, e depois do processo o cliente tem possibilidade de negociar o consumo.

4.4 Vantagens e Desvantagens

Vantagens é a flexibilidade negociar livremente a contratação prevendo a o orçamento, preços mais competitivos e energias renováveis contribuindo com o meio ambiente, pagando o mesmo preço no consumo da energia no horário de ponta e fora de ponta, pode alocar energia para empresas do mesmo grupo.

As desvantagens custo inicial para a transição e adequação da instalação, exige uma gestão ativa na negociação e estratégica. Custo médio para transição em relação ao nível de tensão (Quadro 06).

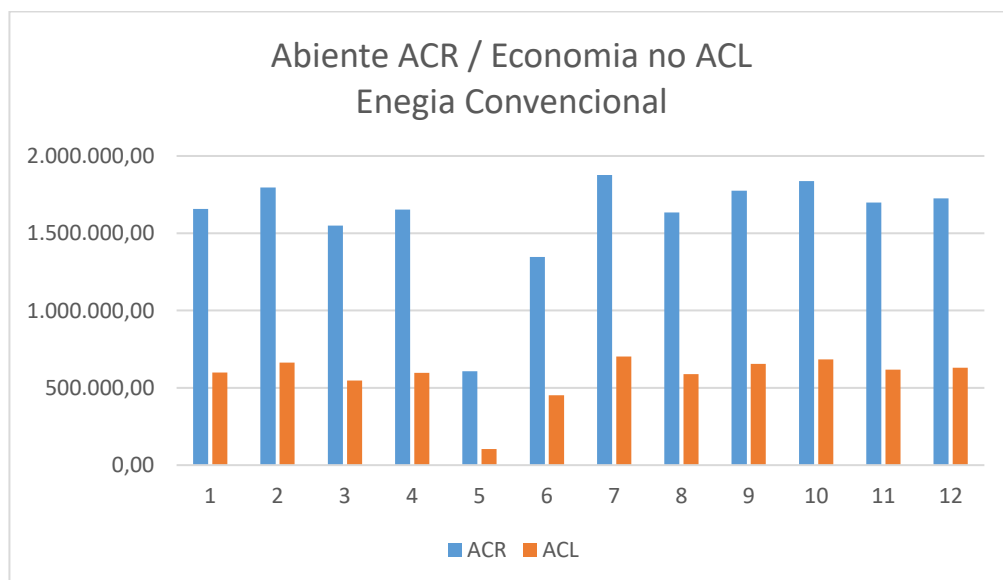
Quadro 06 - Custo mensal

Nível de Tensão	Custo Médio
15 kV	R\$ 50.000,00
34,5 kV	R\$ 70.000,00
69 kV	R\$ 90.000,00
138 kV	R\$ 250.000,00
>230 kV	R\$ 320.000,00

Fonte: Autor Adaptado Ricardo (2019)

Para a consumidor do grupo A3a com tensão de 34,5kV a qual foi realizado o estudo de caso, o custo estimado para adequação no processo de migração para o mercado livre de energia ficaria estimado no valor de R\$ 70.000,00 (figura 13).

Figura 13 – Tela do Simulador



Fonte: Autor (2023)

O gráfico ilustra um consumidor no (ACR), com faturas de R\$ 1.500.000,00, ao migrar para o (ACL), a empresa poderá obter uma redução de

aproximadamente R\$ 500.000,00 por mês. Essa transição evidencia a previsão tanto técnica quanto financeira.

5 CONCLUSÃO

O trabalho de conclusão buscou explanar a viabilidade do consumo de uma empresa no ramo alimentício situada na região de Londrina. O Mercado Livre de Energia proporciona uma viabilidade econômica para os consumidores que adquirirem compra de energia no ACL.

Diante disso, percebemos que a migração é vantajosa para as empresas que buscam em melhorar seus custos e contribuir com eficiência energética, agregando valor ao patrimônio.

Além disso, o estudo é importante enfatizar as mudanças realizadas pelo setor elétrico Brasileiro, podendo ter alterações no sistema elétrico que são todos interligados que realiza estudo e planejamento.

No entanto, é importante destacar que a migração para o mercado livre não é isenta de desafios. A empresa precisa estar preparada para lidar com a gestão ativa dos contratos e variações de preços do mercado. Além dos custos iniciais para adaptação às exigências técnicas do ACL podendo representar um obstáculo para algumas organizações. Contudo, os resultados obtidos sugerem que, a médio e longo prazo, os benefícios superam os desafios, proporcionando economia e maior controle sobre o consumo.

REFERÊNCIAS

ENERGÉTICA, Empresa de Pesquisa. **Consumo de Energia Elétrica**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>. Acesso em: 15 out. 2023.

ELETROBRAS. **Transmissão de Energia**. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Transmissao-de-Energia.aspx>. Acesso em: 09 out. 2024.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica –. **RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021.** Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf>. Acesso em: 09 out. 2024.

LIVRE, Copel Mercado. **Mercado Livre.** Disponível em: <https://copelmercadolivre.com/mercado-livre/>. Acesso em: 15 out. 2023.

ENERGIA, Ministério de Minas e. **Instituições do Setor Elétrico Brasileiro e a Competências.** Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/conheca-as-instituicoes-do-setor-eletrico-brasileiro-e-as-competencias-de-cada-uma>. Acesso em: 09 out. 2024.

CCEE. **Estrutura do setor elétrico brasileiro.** Disponível em: <https://www.ccee.org.br/web/guest/governanca>. Acesso em: 10 out. 2024.

LIVRE, Copel Mercado. **Conheça as etapas necessária para participar do Mercado Livre de Energia.** Disponível em: <https://copelmercadolivre.com/mercado-livre/>. Acesso em: 15 out. 2023.

LIVRE, Copel Mercado. **Novas regras do mercado livre de energia já estão valendo Publicado em 19 de maio de 2024.** Disponível em: <https://copelmercadolivre.com/novas-regras-do-mercado-livre-de-energia-ja-estao-valendo/>. Acesso em: 11 out. 2024.

LIVRE, Copel Mercado. **Simulador.** Disponível em: <https://copelmercadolivre.com/mercado-livre/>. Acesso em: 15 ago. 2023.

COSTA, Ricardo Eugênio Moreira da. **ANÁLISE E SIMULAÇÃO DA MIGRAÇÃO DE UMA EMPRESA DO MERCADO CATIVO PARA O MERCADO LIVRE DE ENERGIA ELÉTRICA.** 2019. 73 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia - Mg, 2019.

REPLACE. **Quais os principais riscos no mercado livre de energia.** Disponível em: <https://replaceconsultoria.com.br/blog/riscos-no-mercado-livre-de-energia/>. Acesso em: 23 Não é um mês valido! 2024.

Capítulo IV – Análise e Monitoramento do Vídeo e Closed Caption via PID na TV Digital aplicada em uma Rede de Televisão

Matheus Leandro Cuenca ¹³

Renato Kazuo Miyamoto ¹⁴

Wesley Candido da Silva ¹⁵

RESUMO

A evolução da transmissão televisiva digital no Brasil trouxe desafios para a garantia da qualidade dos sinais de áudio, vídeo e legendagem oculta (closed caption). Este trabalho apresenta a análise e monitoramento do vídeo e closed caption na recepção do sinal de TV Digital terrestre, utilizando o pacote de identificação Packet Identifier (PID). A metodologia implementada envolveu a captação do sinal UHF, a demodulação e análise do fluxo de transporte Transport Stream (TS), garantindo que os serviços essenciais sejam transmitidos corretamente. A validação foi realizada por meio de ensaios laboratoriais, simulando falhas no sinal e verificando a eficácia do sistema desenvolvido. A implementação foi feita em uma empresa do setor de radiodifusão televisiva, permitindo um monitoramento contínuo e eficiente da transmissão, assegurando conformidade com as normas regulatórias e aprimorando a experiência do telespectador.

Palavras-chave: TV Digital, Monitoramento de Sinal, PID, Closed Caption, Transport Stream, ISDB-Tb.

Analysis and Monitoring of Video and Closed Caption via PID in Digital TV Applied to a Television Network

ABSTRACT

The evolution of digital television broadcasting in Brazil has brought challenges in ensuring the quality of audio, video, and closed caption signals. This study presents the analysis and monitoring of video and closed caption reception in terrestrial digital TV signals using the Packet Identifier (PID). The implemented methodology involved capturing the UHF signal, demodulating, and analyzing the Transport Stream (TS) to ensure essential services are properly transmitted. Validation was conducted through laboratory tests, simulating signal failures and verifying the effectiveness of the developed system. The implementation was carried out in a television broadcasting company, enabling continuous and efficient monitoring of transmissions, ensuring regulatory compliance, and enhancing viewer experience.

Keywords: Digital TV, Signal Monitoring, PID, Closed Caption, Transport Stream, ISDB-Tb.

¹³ Engenheiro Eletricista. UniSenaiPR - Campus Londrina.

¹⁴ Doutor em Engenharia Elétrica. UniSenaiPR - Campus Londrina, renato.miyamoto@sistemafiep.org.br

¹⁵ Especialista. UniSenaiPR - Campus Londrina, wesley.candido@sistemafiep.org.br

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Oliveira; Souza; Feitosa (2019) [1], a partir do mês de dezembro de 2007, iniciou-se a era da transmissão digital na televisão aberta e terrestre no Brasil. Desenvolvido para prover uma robusta proteção contra interferências e ter uma alta qualidade de áudio, vídeo e transmissão de dados (BEDICKS JUNIOR, et al., 2007).

Com o objetivo de propor normas, padrões e regulamentos técnicos voluntários obrigatórios do sistema de televisão digital terrestre, e ainda realizar o gerenciamento de especificações técnicas, a partir do decreto presidencial nº 4.901 em 26 de novembro de 2003, foi fundado o comitê SBTVD (*Sistema Brasileiro de Televisão Digital*) [3]. A função do SBTVD consiste em definir e padronizar um modelo de referência para o sistema de transmissão digital terrestre no Brasil.

A partir do decreto nº 5.820 de 29 de junho de 2006 ocorreu a implantação do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre - SBTVD-T na plataforma de transmissão e retransmissão de sinais de radiodifusão de sons e imagens (BRASIL, 2006a) [4]. Nesse mesmo ano. O governo brasileiro anunciou que o melhor sistema era o ISDB-Tb (*Integrated Service Digital Broadcasting - Terrestrial Brasil*), que consiste em uma evolução do sistema japonês ISDB-T (*Integrated Service Digital Broadcasting - Terrestrial*). Assim como o sistema japonês, o sistema brasileiro possibilita a recepção do sinal de TV Digital através de dispositivos fixos, móveis e portáteis, além da transmissão de multiprogramação, transmitindo mais de um programa simultaneamente, contudo destacou-se por possuir maior eficiência na compressão de áudio e vídeo (BRASIL, 2006a) [4].

Para que o sinal desejado chegue de um ponto até o outro, deve-se considerar três componentes: transmissão, o canal e os receptores. A transmissão tem por objetivo a produção de conteúdo, gerando sinais de áudio, vídeo e dados, por uma única via de transporte, por meio de pacotes com estrutura bem definida, sendo possível interpretar e processar esses fluxo que estão padronizados pela norma ISO 13818-1 [5].

O canal, que se refere ao meio de comunicação, opera através de ondas eletromagnéticas transmitidas pelo ar, em que cada emissora de TV Digital possui uma faixa de frequência determinada. E por fim, tem-se os receptores, que realizam a demodulação dos sinais e a decodificação de canal. Assim, o feixe de informações chega ao sistema da camada de transporte, que individualiza cada tipo de informação, compõe os sinais de vídeo, áudio e dados, entregando cada fluxo individualizado para seus respectivos decodificadores.

Para que o sistema tenha sucesso, é indispensável que as três componentes funcionem corretamente, apesar da transmissão ser o único sob controle das emissoras de TV.

A informação transmitida em uma geradora, comumente localizada nos grandes centros, deve ser levada a centros menores, a medida em que as empresas expandem a área de cobertura em seu território de abrangência. Há que se considerar que as retransmissoras de TV Digital, causam impactos comerciais e econômicos para as emissoras de TV, além do impacto social para a população que se utiliza desse serviço. Dentro esses e outros motivos, é de responsabilidade da geradora garantir que os inúmeros pontos de retransmissão estejam em pleno funcionamento.

A proposta deste trabalho fundamenta-se em analisar a recepção do sinal de TV Digital de uma emissora ou retransmissora, com o objetivo de garantir um monitoramento eficiente do sinal do ar e dos serviços presentes no respectivo sinal, tais quais: áudio, vídeo e legenda oculta (*closed caption*). Com isso, será possível validar que o sinal transmitido vá ao ar com os serviços de acessibilidade em pleno funcionamento, e até mesmo validar a confiabilidade do sinal no ar, ainda que em cidades distantes.

Sendo assim, este trabalho pretende realizar a captura do sinal UHF de TV Digital, realizar a decodificação do TS (*Transport Stream*), identificando o PID (Pacote de identificação), que caracteriza o valor de identificação do pacote a ser analisado, por exemplo, o vídeo do full seg (PID 273), closed caption do full seg (PID 278), desta maneira, será possível analisar e monitorar o sinal transmitido, no ponto de recepção, a fim de assegurar a melhor experiência para o telespectador.

Segundo a ANATEL (*Agência Nacional de Telecomunicações*), a norma complementar nº01/2006 [2], abrange recursos de acessibilidade, para pessoas com deficiência, na programação veiculada nos serviços de radiodifusão de sons e imagens e de retransmissão de televisão, a mesma foi aprovada pela Portaria nº 310, de 27 de junho de 2006, e prevê penalidades prescritas no Código brasileiro de telecomunicações caso haja o descumprimento das disposições contidas na norma. Dessa maneira, é de suma importância assegurar que os serviços de acessibilidade como por exemplo, legenda oculta (*closed caption*) e áudio descrição, sejam transmitidos aos telespectadores.

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1. ANÁLISE DE SISTEMAS DE TV DIGITAL E O PROCESSO DE CODIFICAÇÃO

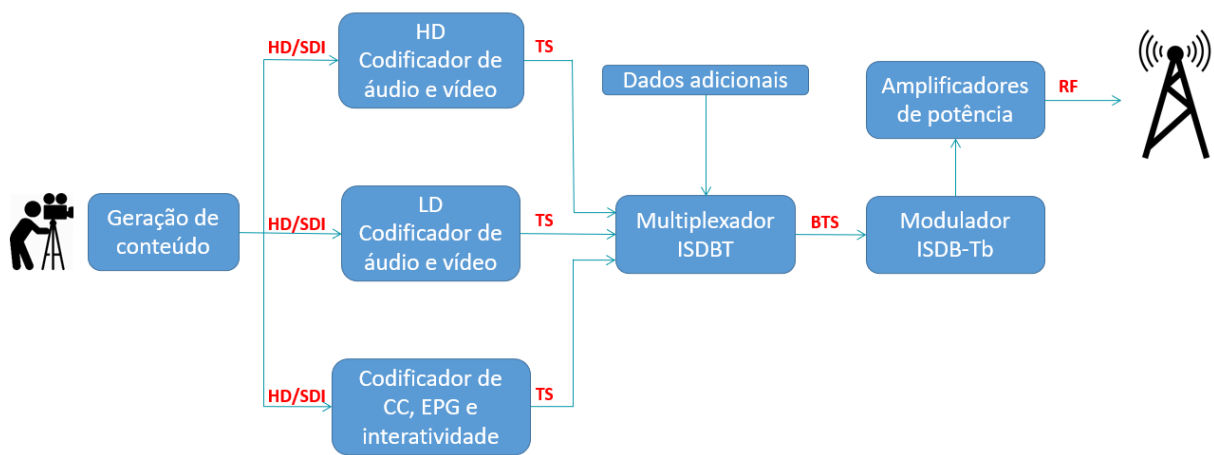
A etapa de codificação de fonte é fundamental dentro do processo de transmissão de TV Digital uma vez que é nesta etapa que ocorre a redução da taxa de transmissão dos sinais que serão transmitidos. O codificador ou encoder é responsável por reduzir a taxa de transmissão dos serviços que serão transmitidos. A composição dos serviços HD (*High definition*), SD (*Standard definition*) e one-seg ou LD (*Low definition*) tem seu início na formação dos fluxos TS (*Transport stream*) de saída dos encoders. A taxa de transmissão da interface serial HD-SDI para o transporte do vídeo de alta definição (HDTV) é da ordem de 1.485Gbps [16], ou seja, trata-se de um sinal sem compressão, originado no estúdio e que será codificado por um encoder HD compondo um serviço a ser transmitido. Com a codificação MPEG-4/H.264 pode-se reduzir a taxa do sinal HD-SDI [14] a valores na ordem de 10Mbps a 15Mbps mantendo-se um elevado grau de qualidade. O mesmo ocorre para o caso SDTV, em que o encoder SD realiza a compressão do sinal SD-SDI de 270Mbps a valores na ordem de 5Mbps [15]. No caso da operação one-seg, tem-se na saída dos encoders LD, uma taxa na ordem de 380kbps. Estes são valores típicos de taxas de transmissão dos sinais TS para os serviços de TV Digital encontrados na prática.

O sistema de codificação possui a meta de realizar tal compressão de sinais. O objetivo é reduzir a taxa de dados do sinal SDI, afim de comportá-lo a

uma ocupação de banda de 6MHz. O resultado da compressão, origina o sinal TS (transport stream) e representa os sinais de áudio e vídeo comprimidos pelo sistema de codificação. A etapa de multiplexação possui grande importância no sistema de TV Digital, pois é responsabilidade do Mux-ISDB-Tb gerar o fluxo de transporte adequado à situação de radiodifusão, o denominado BTS (Broadcast Transport Stream). Na composição do BTS, existem pacotes (IIP-ISDB-Tb Information Packet) que transportam as informações de configuração do próprio sistema de modulação/transmissão, além de informações sobre configurações de redes SFN (Single Frequency Networks).

A figura 2.1 contempla de maneira sucinta as etapas do processo para a transmissão do sinal de TV Digital.

Figura 2.1: Diagrama de sistema de TV Digital



Fonte: autor (2022)

1.2. ETAPAS DO PROCESSO DE CODIFICAÇÃO DE FONTE

O elo entre a etapa de produção e a transmissão se faz por intermédio de uma interface de sinal serial de alta velocidade normatizada como SDI – Serial Digital Interface. Trata-se de um sinal que ocupa elevada largura de banda, pois transporta os sinais de vídeo e áudio que compõe a programação de uma emissora. Com os avanços na pesquisa e desenvolvimento em sistemas de televisão, a resolução e a qualidade de sinais de TV aumentaram, refletindo em sinais SDI de maior velocidade. É importante já perceber que a rádio difusão de sinais de alta velocidade requer grande largura de banda, para atender a

demanda, as interfaces seriais digitais (SDI) trafegam dados com taxas na ordem de Gbps [16].

A primeira etapa dentro do encoder se traduz na interpretação correta do fluxo SDI, seguido da demultiplexação dos sinais de áudio e vídeo. A forma de codificação e a compressão para os sinais de vídeo e áudio são diferentes em virtude da natureza da informação e das características dos sistemas visual e auditivo humano. Portanto, tem-se uma etapa de codificação de vídeo separada da codificação de áudio no encoder. O resultado da compressão de áudio e vídeo dá origem ao ES (stream elementar). Nota-se que o encoder, responsável por um serviço, formará um TS (Transport Stream), com inúmeros pacotes de vídeo, áudio e referência de sincronismo PCR (Program Clock Reference).

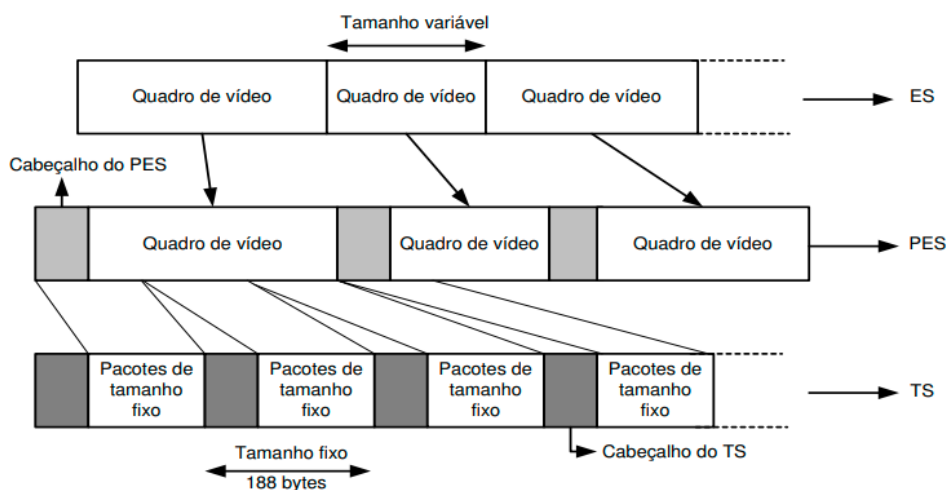
As informações de vídeo são transmitidas conforme a padronização MPEG-4, que especifica os codificadores AVC (Advanced Vídeo Coding), sendo padronizado em [7] e [17]. Como o sistema brasileiro ISDB-Tb possibilita a recepção one-seg (dispositivos móveis) e full-seg (televisores), isso implica na transmissão de dois formatos, sendo consideravelmente grande a diferença de qualidade e resolução entre eles. As informações de áudio são transmitidas conforme a padronização MPEG-4 que especifica os codificadores ACC (Advanced Audio Coding), sendo padronizado em [8] e [18]. Possibilitando a transmissão em multicanal (5.1) ou em modo estéreo para full-seg (televisores), e apenas em estéreo para one-seg (recepção móvel). As informações privadas (legendas), tem sua estrutura padronizada no SBTVD de acordo com a norma [19], podendo ser específica para cada emissora.

Dependendo do conteúdo instantâneo de vídeo e áudio, a codificação das informações requer estruturas de pacotes de tamanho variável para comportar o vídeo e áudio codificados. Assim, o ES (Fluxo Elementar) de vídeo e áudio é empacotado formando o PES (Pacote de Fluxo elementar), possuindo tamanho variável, limitado a 64Kbytes, considerando a estrutura do cabeçalho por, no mínimo, 6bytes [16]. Assim, é no campo de cabeçalho opcional que estão as informações das marcas PTS (Presentation Time Stamps) e DTS (Decode Time Stamps) utilizadas pelo decoder para realizar a decodificação e apresentação dos quadros de forma correta [20].

1.3. FORMAÇÃO DO FLUXO TS

Segundo [20], o objetivo da camada de transporte MPEG é prover a multiplexação de diversos programas em um único fluxo de dados. No intuito de atingir tal objetivo, os pacotes PES são divididos em estruturas de pacotes menores com comprimento fixo. A partir do pacote PES, são formados pacotes de comprimento de 188 bytes, com 184 bytes de payload (carga útil) e quatro bytes de cabeçalho (header). Estes pacotes são denominados de Transport Stream Packets, e formam o fluxo TS. A figura 2 apresenta as estruturas dos ES, PES e TS.

Figura 2.2: Formação do ES, PES e TS

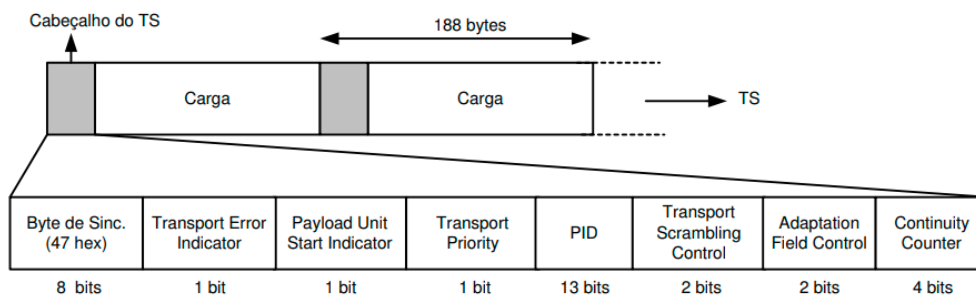


Fonte: [20] Ferreira, S. J, “Uma Proposta de Implementação do Multiplexador no Sistema ISDB-Tb” (2009)

1.4. PACOTES TS

Analisando mais a fundo um pacote TS, podemos destacar a identificação do pacote, um campo formado por 13 bits, descrito como PID (Packet Identifier), e para indicar o início de cada pacote tem-se o byte de sincronismo, ambas as informações estão contidas no cabeçalho do TS, conforme contempla a Figura 2.3.

Figura 2.3: Formação do cabeçalho do TS.



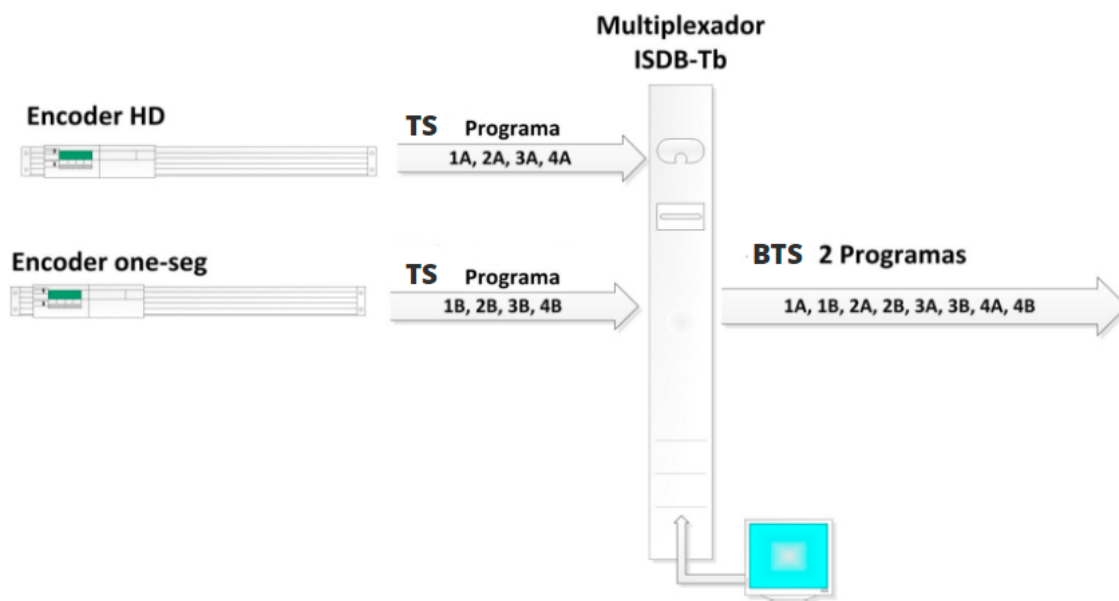
Fonte: [20] Ferreira, S. J, “Uma Proposta de Implementação do Multiplexador no Sistema ISDB-Tb” (2009)

A primeira parte do cabeçalho do pacote apresentado na figura 2.3 é utilizado pelo receptor na decodificação do sinal. A segunda parte Transport Error Indicator possui apenas um bit, se apresentado nível lógico baixo (0) pode-se afirmar que o pacote TS não tem erro de bit, caso apresente nível lógico alto (1) deve-se considerar um erro no pacote TS de ao menos um bit. No que diz respeito ao Payload Unit Start Indicator, sendo a terceira parte do cabeçalho apresentado na figura 2.3 possuindo apenas um bit, quando o mesmo assumir o valor zero, indicará um pacote nulo, caso apresente nível lógico alto (1), estará indicando o início de uma nova seção PSI (Program Specific Information) ou o início de um novo pacote PES (Pacote de Fluxo Elementar). Transport Priority está diretamente relacionado a prioridade dos pacotes no processo de decodificação, quando apresentar nível lógico alto (1) assume a prioridade em relação aqueles que tem o nível lógico baixo (0). O parte dedicada ao PID contém uma palavra de 13 bits que identifica o pacote TS. Pacotes que transportam em seu payload o mesmo tipo de informação (como áudio ou vídeo, por exemplo) possuem o mesmo PID. Assim, o PID dos pacotes de vídeo é diferente do PID dos pacotes de áudio. A sexta parte, Transport Scrambling Control indica se o pacote de TS possui ou não embaralhamento, ou seja, se o conteúdo transportado sofreu algum tipo de criptografia. A penúltima parte do cabeçalho, Adaptation Field Control possui dois bits e indica a existência de um campo de adaptação entre o cabeçalho e o payload. E por fim, Continuity Counter, um contador que identifica a perda ou repetição de pacotes [16] [20].

1.5. SISTEMA DE MULTIPLEXAÇÃO ISDBT-TB

No âmbito do sistema de codificação, um programa do TS consiste em um conjunto de ES sincronizados através do sinal de PCR, que por sua vez, são gerados por seus respectivos codificadores nos pacotes de dados, e são utilizados pelos decodificadores. No processo de multiplexação, se faz necessário atualizar os PCR transmitidos nos pacotes TS's multiplexados uma vez que o próprio processo de multiplexação altera o espaçamento entre os pacotes que transportam o PCR, a utilização de referências transportadas no TS e o PCR, dessa maneira o PCR possibilita a sincronização do sistema de codificação composto por encoder e decorder. Deve-se garantir que a ordem de envio dos pacotes de cada TS não seja alterada, a figura 2.4 ilustra o funcionamento do esquema de multiplexação de TS, que caracteriza o padrão de transmissão de TV Digital [20].

Figura 2.4: Esquema de multiplexação de TS



Fonte: Acervo do autor (2022)

A formação do BTS (Broadcast Transport Stream) na saída do multiplexador, deve ser adequado para configurar a rede de radiodifusão ISDB-Tb, através de informações de controle que são adicionadas no multiplexador ISDB-Tb. O BTS é um fluxo composto por pacotes de tamanho de 204bytes, isso se dá pelo acréscimo de 16 bytes a cada pacote TS, sendo, 8 bytes de informação utilizados para indicar para qual camada hierárquica o pacote será destinado, pelo fato do sistema de TV Digital estar baseado na transmissão das camadas hierárquicas

(A, B e C), dessa forma, o quadro de multiplexação determina a ordem na qual os pacotes devem ser entregues ao transmissor [22]. Os outros 8 bytes de paridade, que podem ser utilizados para proteção contra erros [22]. A taxa de transmissão do BTS é fixa, sendo igual a quatro vezes a taxa de amostragem usada na IFFT (Inverse Fast Fourier Transform), utilizada na geração do sinal OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) que é dada através da seguinte equação

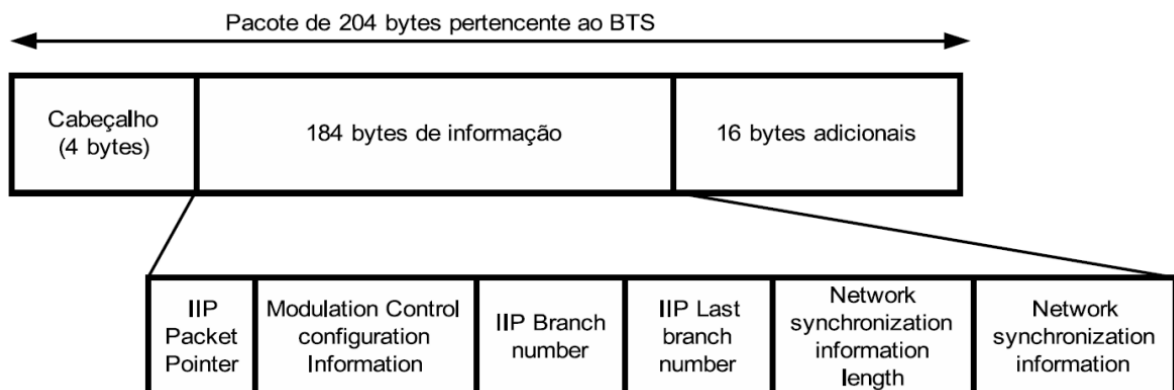
$$TaxaQuadrosMux = 4 \times \left(\frac{512}{63}\right) = 32,5079365 \text{ Mbps [20]}$$

Nesse sentido, são inseridos pacotes nulos durante a geração do quadro de multiplexação, para que essa taxa seja mantida constante, independentemente das configurações de transmissão. Logo esses pacotes nulos são descartados pelo transmissor [20]. Isso significa que no fluxo de BTS existem as informações de vídeo áudio e sincronismo dos diversos programas TS multiplexados, informações de controle e pacotes nulos para o preenchimento da taxa de saída fixa do fluxo.

1.6. PACOTE IIP

O IIP (ISDB-T Information Packet) é um pacote do fluxo BTS que carrega todas as informações dos parâmetros de transmissão do sistema de TV Digital. É interessante transmitir o IIP sempre na mesma posição dentro do quadro de multiplexação, sendo válido ressaltar, que a cada quadro de multiplexação, deve ser enviado um pacote IIP. A figura 2.5 contempla a estrutura do IIP e as informações dentro de cada campo.

Figura 2.5: Estrutura de formação IIP e seus campos de formação



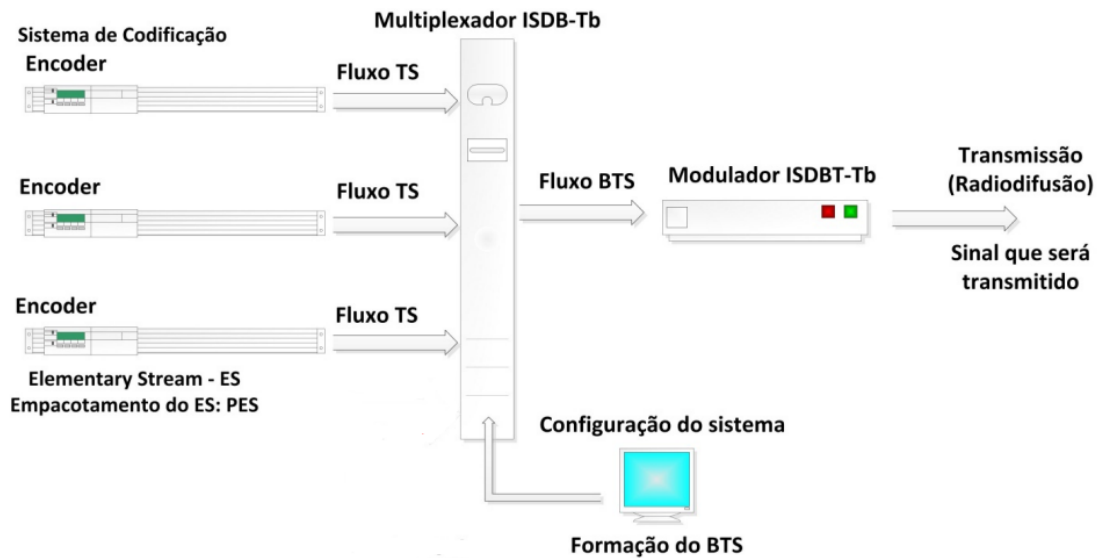
Fonte: [20] Ferreira, S. J, “Uma Proposta de Implementação do Multiplexador no Sistema ISDB-Tb” (2009)

O primeiro campo, IIP Packet Pointer indica quantos pacotes faltam para o início do próximo quadro de multiplexação. O campo Modulation Control Configuration Information possui as informações relativas ao sistema de transmissão ISDB-Tb, como o modo de operação do sistema (modo 1, modo 2 ou modo 3), a taxa do intervalo de guarda utilizada pelo sistema OFDM, informações para auxílio de sincronização do quadro OFDM e inúmeras considerações a respeito das TMCC (Transmission Multiplexing Control and Configuration). Deve-se considerar, que no IIP são encontradas informações para controle e funcionamento das redes de frequência única, configurando todo o sistema de rede SFN (Network Synchronization Information) através do multiplexador ISDB-Tb, distribuindo seu BTS para diversas estações SFN, caso haja esse tipo de operação na rede. como atraso máximo (Maximum Delay), Time_offset, polaridade do Time_offset, ou seja, todas as informações de controle de sincronização para redes SFN estão no campo Network Synchronization Information. Os parâmetros e sintaxe do pacote IIP devem ser de acordo com [23] [24] [25] considerando os parâmetros de transmissão em redes SFN. Assim, o modulador identifica o pacote IIP no BTS e extrai dele os seus parâmetros de configuração. Estes parâmetros são alocados e transmitidos em subportadoras especiais do sistema OFDM, denominadas de subportadoras TMCC. Logo, a ação de montagem do pacote IIP e composição do BTS no multiplexador, em conformidade com os parâmetros de transmissão do sistema e operação do modulador são essenciais para o sucesso da transmissão de sinais de TV Digital via radiodifusão.

1.7. FUNÇÃO DO MUX

O sistema de multiplexação ISDB-Tb pode ser representado pela ação do multiplexador na cadeia de TV Digital.

Figura 2.6: Diagrama do sistema de TV Digital



Fonte: Acervo do autor (2022)

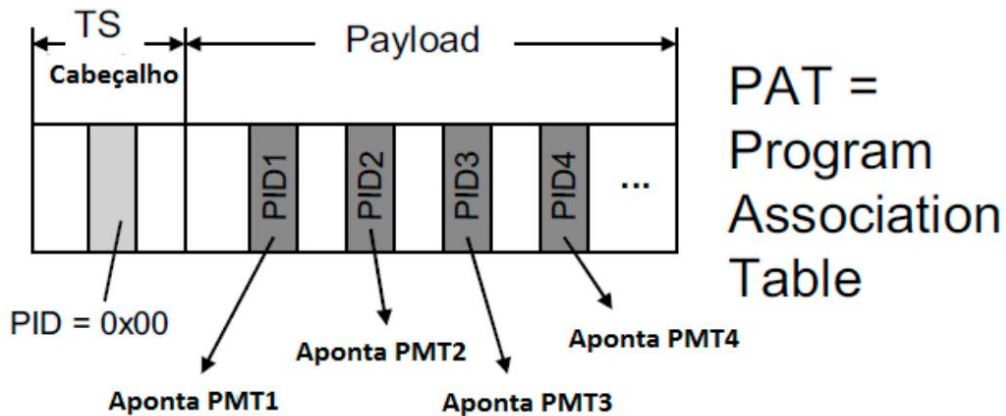
Conforme exemplificado na figura 2.6, o multiplexador, além da multiplexação dos sinais de TS vindos do sistema de codificação, constrói um fluxo adequado para a radiodifusão, coerente com a largura de banda com o canal de TV (6MHz). Nesse âmbito, a taxa do sinal a ser transmitido depende de inúmeros fatores, os quais o BTS está preparado para o Broadcasting, pois carrega configurações do sistema de TV Digital, como a modulação digital utilizada, configuração de códigos corretores de erros e parâmetros de transmissão.

1.8. TABELAS DO SISTEMA

Na etapa de transmissão, mais especificamente na configuração do multiplexador, onde são denominadas as informações de controle e adicionadas ao fluxo BTS, deve-se informar a configuração do sistema de TV Digital, de forma que o receptor possa demodular e demultiplexar os diversos programas transmitidos. Dessa maneira, as tabelas PSI (Program Specific Information) trazem informações específicas dos programas, e as tabelas SI (Service Information) indicam informações sobre os serviços transmitidos. As tabelas PAT (Program Association Table), se resume em uma lista de PID's que relacionam todos os programas do fluxo. Dessa forma, tem-se um PID para cada programa, apontando para os pacotes que contém tabelas de mapeamento de programa, denominada PMT (Program Map Table) [20]. Primeiramente é realizada a análise dos programas do fluxo (PAT) conforme a figura 2.7, em seguida, realiza-

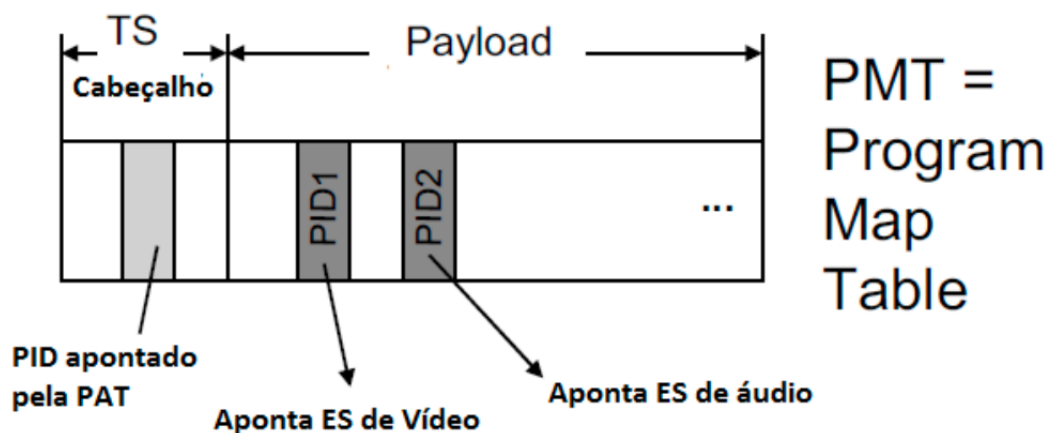
se o mapeamento dos programas (PMT) decodificando os pacotes que transportam o ES de vídeo e o ES de áudio do programa analisado assim como a figura 2.8.

Figura 2.7: entradas de PID por programa



Fonte: [16] W. Fischer, Digital Television - A practical Guide for Engineers, Springer, (2004).

Figura 2.8: Entradas de PID por fluxo elementar



Fonte: [16] W. Fischer, Digital Television - A practical Guide for Engineers, Springer, (2004).

As principais tabelas do sistema MPEG referente ao processo de decodificação, ou seja, que contém informações específicas sobre os programas (PSI), são as tabelas PAT e PMT. Enquanto as tabelas NIT, BIT, SDT, EIT, TOT, e ST são relacionadas aos serviços de informação (SI). A seguir, a tabela 2.1 apresenta uma descrição detalhada a respeito da formação e função das tabelas.

Tabela 2.1: Principais tabelas do sistema ISDB-Tb

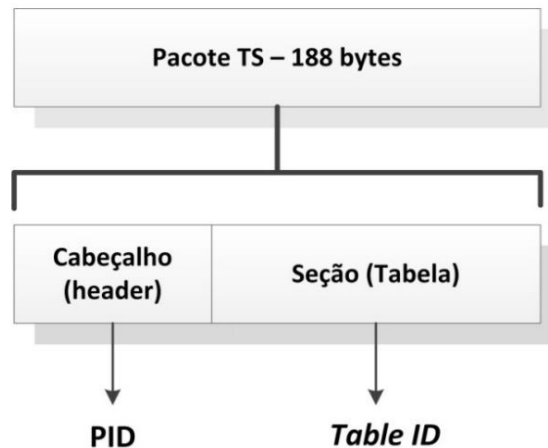
Nome da tabela	Funções
Tabela de associação de programas (PAT)	Especifica o PID do pacote TS que carrega a PMT associada a cada programa
Tabela de mapeamento de programas (PMT)	Especifica o PID do pacote TS que carrega a informação codificada de cada programa.
Tabela de informação de rede (NIT)	Carrega as informações sobre a formação do TS e sobre seu meio de transmissão, bem como parâmetros de modulação e frequência.
Tabela de informação do radiodifusor (BIT)	Especifica os parâmetros (SI) para cada uma das radiodifusoras.
Tabela de descrição de serviços (SDT)	Carrega informações que descrevem os serviços, como nome do canal, nome da emissora.
Tabela de informação de eventos (EIT)	Transporta informações em ordem cronológica sobre os eventos existentes por serviço.
Tabela de diferença de data e horário (TOT)	Especifica informações de horário, data e fuso horário, além das informações do horário de verão.
Tabela de preenchimentos (ST)	Utilizada para invalidar outras tabelas.

Fonte: [20] Ferreira, S. J, “Uma Proposta de Implementação do Multiplexador no Sistema ISDB-Tb” (2009).

As tabelas possuem uma sintaxe de formação bem definida, sendo transportadas em estruturas denominadas seções. Assim, no payload dos pacotes TS, têm-se as seções que transportam as tabelas e, portanto, possuem uma identificação de seção denominada de `Table_id`, conforme mostra a Figura 2.9. Logo, assim como os pacotes possuem uma identificação individual (PID), as seções também possuem uma identificação (`Table_id`). Segundo a observação da ABNT NBR 15603-2 [11], as tabelas, quando transmitidas, não

devem nunca ser criptografadas. Toda a informação de uma tabela é composta por uma série de seções que são divididas e distribuídas no fluxo TS.

Figura 2.9: Sintaxe de formação de tabelas



Fonte: Norma Brasileira – ABNT NBR 15603-2 (Televisão Digital Terrestre – Multiplexação e Serviços de informação – SI) – Parte 2: Estrutura de dados e definições da informação básica do SI. Ano 2007/2008

1.9. REMUX

O processo de remultiplexação permite a geração do BTS localmente ou que o BTS recebido seja modificado antes da retransmissão. Na prática, isso significa que podemos receber sinais de satélite, do ar, via micro-ondas, rádio, rede IP, cabo, fibra ótica e etc, e realizar o remux de acordo com as características desejadas na própria estação de retransmissão. Para que isso ocorra, se faz necessário realizar a filtragem dos pacotes (PID) desejados, configurar a TMCC e possivelmente configurar e carregar as tabelas SI/PSI. Essa prática, só é possível em redes MFN, ou seja, onde apenas um transmissor é responsável por determinada área de cobertura.

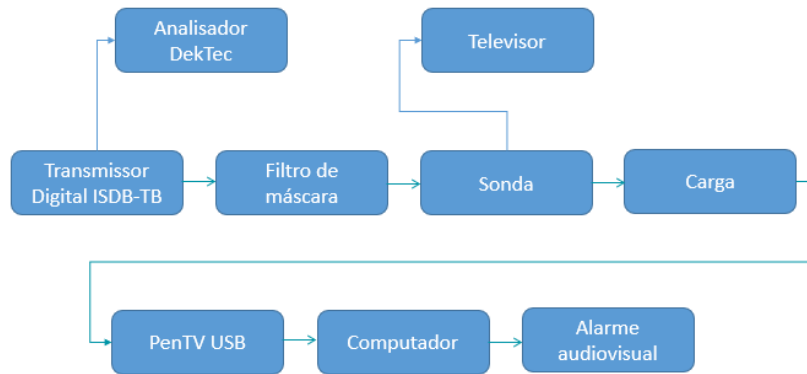
2. METODOLOGIA

2.1. ENSAIOS EM LABORATÓRIOS

Os ensaios em laboratório são necessários para realizar o remux do sinal a ser analisado, dessa forma, é possível ter o controle de todas as tabelas que serão transmitidas, assim como definir os pacotes de identificação. Com a

filtragem do PID, temos um sinal de BTS conhecido, que será utilizado como fonte de sinal de entrada no transmissor, que por sua vez está conectado a carga. Os testes foram realizados em ambiente controlado conforme o diagrama abaixo:

Figura 3.1: Diagrama de blocos dos ensaios em laboratório



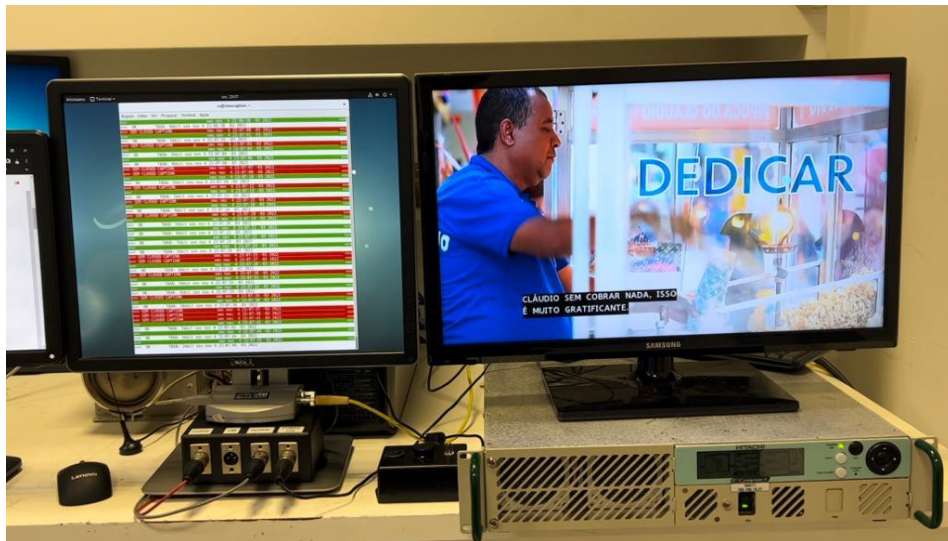
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O projeto desenvolvido, realizada a captura do sinal de rádio frequência irradiado na carga, como objeto de análise. Esse processo é importante para simular falhas e validar o analisador desenvolvido.

2.2. EQUIPAMENTOS

- a. Transmissor Digital HKL EC710LP 50W
- b. DekTec DTU-245
- c. Carga resistiva TERMALINE 8201 500W
- d. Televisor Samsung T24D310LH
- e. Computador sistema operacional Linux

Figura 3.2: Visão geral dos ensaios em laboratório.

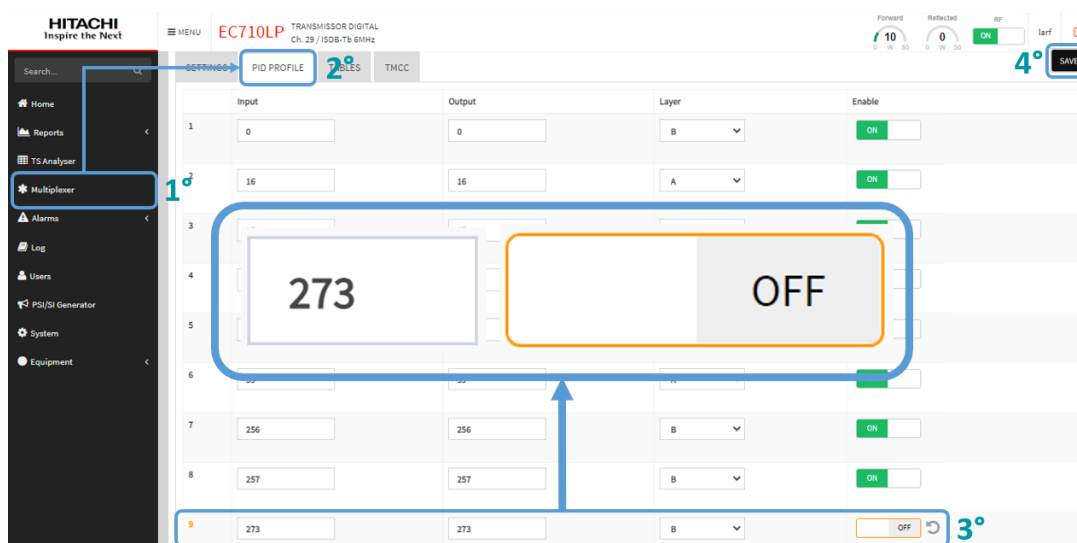


Fonte: Acervo do autor (2022)

2.3. FILTRAGEM DO PID

O transmissor HKL EC710LP Possui um MODUX embarcado que efetua a filtragem, remapeamento de PIDs (Packet Identifier) e remultiplexa o fluxo de informação ISDB-T gerando um BTS (Broadcast Transport Stream) localmente, sem a necessidade de um módulo externo para isto [28]. A figura 3.3 apresenta o passo a passo para realizar a filtragem do PID 237 (0116), isso faz com que a taxa do PID seja 0Kbps, carregando nenhuma informação, impactando diretamente o sinal transmitido no ar.

Figura 3.3: Filtragem do PID no transmissor HKL EC710LP



Fonte: Acervo do autor (2022)

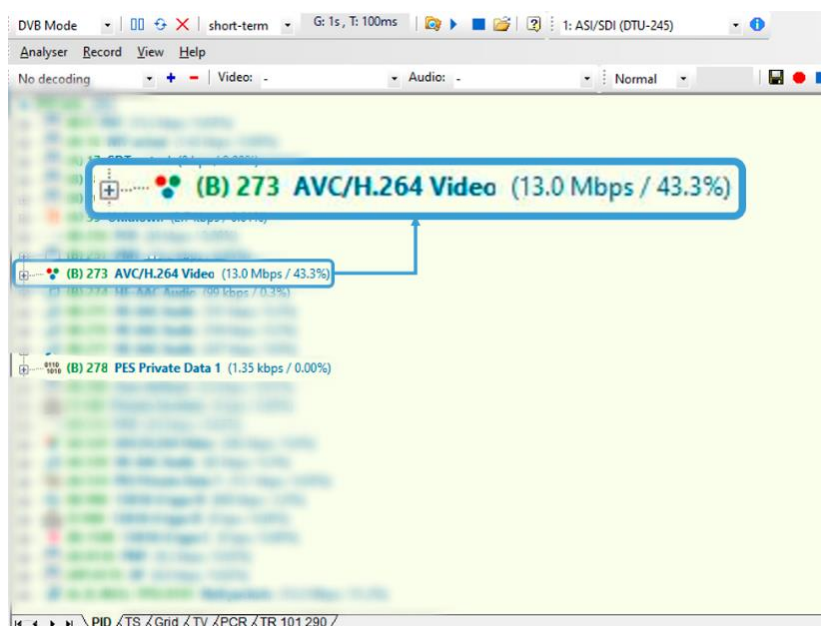
2.4. DEKTEC DTU-245

A DekTec DTU-245 é um clássico adaptador ASI, possibilitando o uso portátil conectado a um notebook, mas conveniente também ao PC ou servidor. Consolidada no mercado, é um equipamento importante para todo engenheiro de TV Digital. Adaptador USB compacto para capturar, analisar e gerar fluxos de vídeo digital ASI ou SD-SDI [27].

Para o desenvolvimento do projeto, utilizaremos uma das saídas ASI do Transmissor HKL EC710LP para alimentar a entrada da DekTec, conforme apresentado na figura 3.1, dessa forma, analisaremos o BTS gerado localmente (remux). Com as informações que a DekTec nos fornece, será possível validar a análise e monitoramento do PID do projeto desenvolvido, ou seja, ao simularmos uma falha, ambos os sistemas devem reconhecê-la e acusá-la.

A figura 3.4 apresenta a análise da DekTec em tempo real e em uma condição ideal para o funcionamento do PID de vídeo HD 273 (hexadecimal 0111) e do PID de closed caption HD 278 (hexadecimal 0116), considerando que os parâmetros do sistema foram configurados para taxas dessa magnitude.

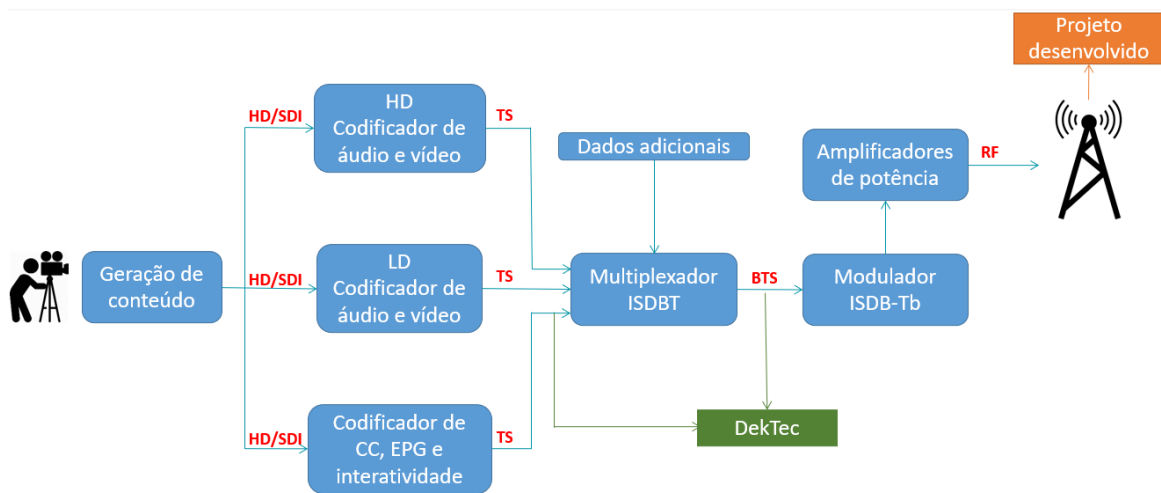
Figura 3.4: Informações de PID através da DekTec DTU-245 antes da falha



Fonte: Acervo do autor (2022)

É válido ressaltar, que para o funcionamento do sinal de TV Digital, devemos considerar as três componentes: transmissão, o canal e os receptores. A DekTec DTU-245, realiza a análise do PID na componente da transmissão, sem considerar o canal e a recepção. O projeto desenvolvido, pretende realizar a análise do PID, no ponto de recepção, dessa forma, a análise leva em consideração todas as componentes do sistema, conforme representado na figura 3.5.

Figura 3.5: pontos de análise DekTec e projeto desenvolvido.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

2.5. ESTRUTURA DO ANALISADOR

O projeto desenvolvido, que visa analisar e monitorar os pacotes de identificação (PID) propôs uma pesquisa do sistema brasileiro de televisão digital (SBTVD), ISDB-Tb, que é baseado do padrão Japonês ISDB-T [4].

Demandou também a pesquisa da camada de transporte MPEG, para a formação do fluxo de transporte stream (TS) que realiza a multiplexação de inúmeras informações em um único fluxo de dados [20].

A estrutura proposta faz a busca de um sinal UHF, realiza a demultiplexação do transport stream (TS), para uma análise em tempo real do pacote de identificação (PID). O PID a ser analisado deve ser definido de acordo com o sinal que foi sintonizado, sendo assim, é importante conhecer as tabelas do sistema e os pacotes de identificação antes da análise e do monitoramento.

Dessa forma, é possível obter resultados em tempo real, em condições factuais, sendo aplicável para qualquer emissora de TV Digital.

Para o desenvolvimento do projeto, a captura do sinal UHF é realizada com o auxílio de um penTV USB, um computador com o sistema operacional Linux, a instalação de aplicativos e utilitários da API de DVB do Linux, como dvbtune responsável pelo scan dos canais com largura de banda de 6MHz no espectro de frequência, dvbsnopp responsável pela decodificação e varredura do canal selecionado, e o executável elaborado na linguagem shell script.

2.6. ESTRUTURA DO ALGORITMO

Através do terminal Linux é realizada a busca de canais, identificamos o canal a ser analisado, realizamos a filtragem do mesmo. Esse procedimento é indispensável, pois diferentes emissoras podem conter os mesmos pacotes de identificação (PID). Para garantir uma análise assertiva, recomenda-se armazenar apenas o canal desejado.

Também no terminal Linux, acontece a decodificação das informações do fluxo digital do canal previamente filtrado. No primeiro momento, a tabela PAT é encontrada, listando as PMTs, dessa forma, podemos visualizar a descrição dos serviços, facilitando a identificação da emissora. Além do PID de vídeo e PID de áudio respectivamente, o que facilitaria uma análise sem um PID previamente identificado.

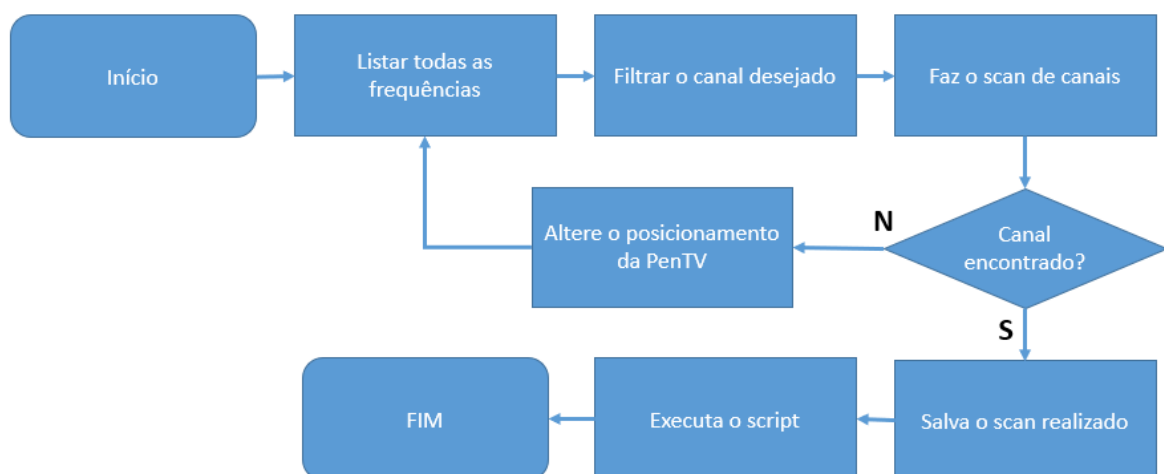
Para exemplificar, vamos considerar a análise do PID de vídeo. Através do script, limitamos a perda de pacotes do PID, afim de realizar dois tipos de análise. A primeira análise consiste em verificar se o PID é existente no sinal, se não for encontrado, dá-se início a contagem, se por um tempo determinado o PID não for encontrado, o alarme é acionado. A segunda análise consiste em verificar se existem informação dentro do PID, analisando a taxa do mesmo. Caso a taxa menor ou igual a 1Kbps, dá-se início a contagem, se por um tempo determinado o pacote analisado tiver essas condições, o alarme é acionado.

2.7. FLUXOGRAMA DE PROCESSAMENTO

Para alcançar resultados satisfatórios, se faz necessário respeitar um fluxo de processamento, isso garante que o canal que está sendo analisado é o correto.

O primeiro passo é listar todas as frequências, em seguida, é preciso filtrar o canal desejado, garantido uma busca de canais assertiva. Caso o canal não seja encontrado, pode ser necessário alterar o posicionamento da antena UHF PenTV, e refazer todo o processo, caso o canal tenha sido encontrado, o próximo passo é salvar a busca de canais, esse processo é fundamental, pois o script executável busca as informações que foram salvas corretamente no dvbtraffic. E por fim, realizar a execução do script, dando início a análise e monitoração do PID, conforme a figura 3.6 representa.

Figura 3.6: Fluxograma do processamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

2.8. ALARME ÁUDIO VISUAL

Caso a contagem de pacotes perdidos for maior que o limite esperando, então começa a contar um alarme, enviando um sinal elétrico para a porta serial (RS232(P4,P5)) da CPU. Esse pulso, é enviado para a base do transistor BC548, que é utilizado para realizar o chaveamento eletrônico, dessa forma, a fonte externa de 12V passa alimentar a carga que está conectada no coletor do

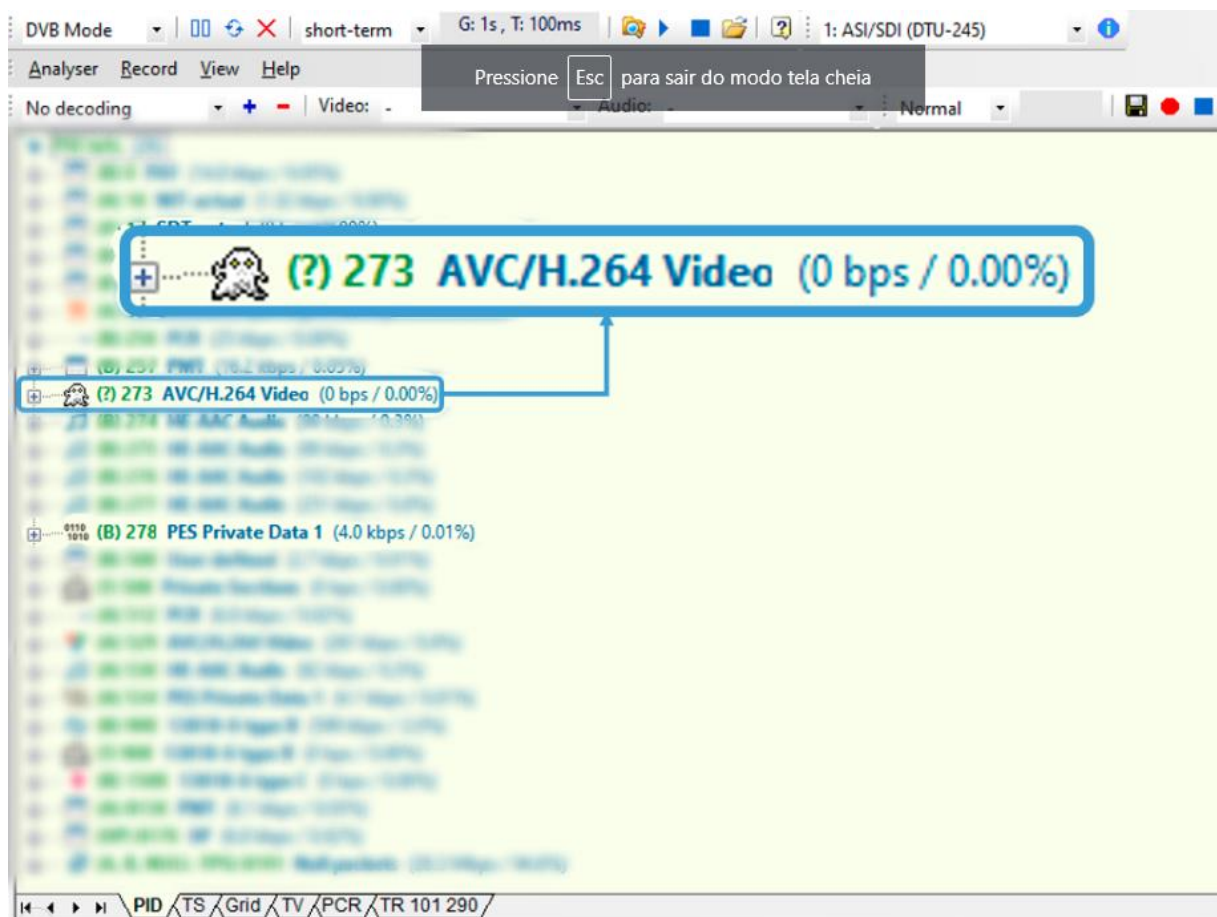
transistor. Sendo assim é possível disponibilizar mais de um ponto para monitoração do alarme áudio visual, que é composto por um led e um buzzer.

3. RESULTADOS OBTIDOS

3.1. ANÁLISE DE VÍDEO

A figura 4.1 apresenta a análise da DekTec sendo realizada em tempo real, após a simulação da falha citada no tópico 3.3, note que a taxa do PID 273 (0111) está zerada, e o mesmo se encontra fora das camadas hierárquicas. Já o PID 278 (0116), conforme o esperado segue com sua taxa útil ativa.

Figura 4.1: Informações de PID através da DekTec DTU-245 após a falha.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Na figura 4.2, é possível perceber que o projeto desenvolvido, também detecta o momento da simulação da falha exemplificada no tópico 3.3. A análise e o monitoramento do PID 273 (0111) representam na cor verde um

status “OK”, onde temos a presença do PID e da taxa, a cor vermelha representa a falta de uma dessas duas condições, sendo assim, o sinal do ar certamente estará sendo impactado negativamente, com o vídeo travando ou até mesmo sem vídeo.

Figura 4.2: Análise e monitoramento do PID 273 (0111) através do projeto.

```

>>> OK - TAXA: 12312kbit sex nov 4 21:20:43 -03 2022
>>> sex nov 4 21:20:44 -03 2022
<<<
>>> OK - TAXA: 12395kbit sex nov 4 21:20:44 -03 2022
>>> sex nov 4 21:20:46 -03 2022
<<<
>>> OK - TAXA: 12819kbit sex nov 4 21:20:46 -03 2022
>>> sex nov 4 21:20:47 -03 2022
<<<
>>> OK - TAXA: 13101kbit sex nov 4 21:20:47 -03 2022
>>> sex nov 4 21:20:49 -03 2022
<<<
>>> OK - TAXA: 12895kbit sex nov 4 21:20:49 -03 2022
>>> sex nov 4 21:20:50 -03 2022
<<<
>>> OK - TAXA: 13071kbit sex nov 4 21:20:50 -03 2022
>>> sex nov 4 21:20:52 -03 2022
<<<
>>> OK - TAXA: 12925kbit sex nov 4 21:20:52 -03 2022
>>> sex nov 4 21:20:53 -03 2022
<<<
>>> OK - TAXA: 13047kbit sex nov 4 21:20:53 -03 2022
>>> sex nov 4 21:20:55 -03 2022
<<<
>>> OK - TAXA: 13187kbit sex nov 4 21:20:55 -03 2022
>>> sex nov 4 21:20:56 -03 2022
<<<
>>> OK - TAXA: 13314kbit sex nov 4 21:20:56 -03 2022
>>> sex nov 4 21:20:58 -03 2022
<<<
>>> OK - TAXA: 12944kbit sex nov 4 21:20:58 -03 2022
>>> sex nov 4 21:20:59 -03 2022
<<<
>>> OK - TAXA: 12889kbit sex nov 4 21:20:59 -03 2022
>>> SEM VIDEO HD sex nov 4 21:21:01 -03 2022 <<<
>>> SEM VIDEO HD sex nov 4 21:21:03 -03 2022 <<<
>>> SEM VIDEO HD sex nov 4 21:21:04 -03 2022 <<<
>>> SEM VIDEO HD sex nov 4 21:21:06 -03 2022 <<<
>>> SEM VIDEO HD sex nov 4 21:21:07 -03 2022 <<<
>>> SEM VIDEO HD sex nov 4 21:21:09 -03 2022 <<<
>>> SEM VIDEO HD sex nov 4 21:21:10 -03 2022 <<<
>>> SEM VIDEO HD sex nov 4 21:21:12 -03 2022 <<<
>>> SEM VIDEO HD sex nov 4 21:21:13 -03 2022 <<<
>>> SEM VIDEO HD sex nov 4 21:21:15 -03 2022 <<<
>>> SEM VIDEO HD sex nov 4 21:21:16 -03 2022 <<<

```

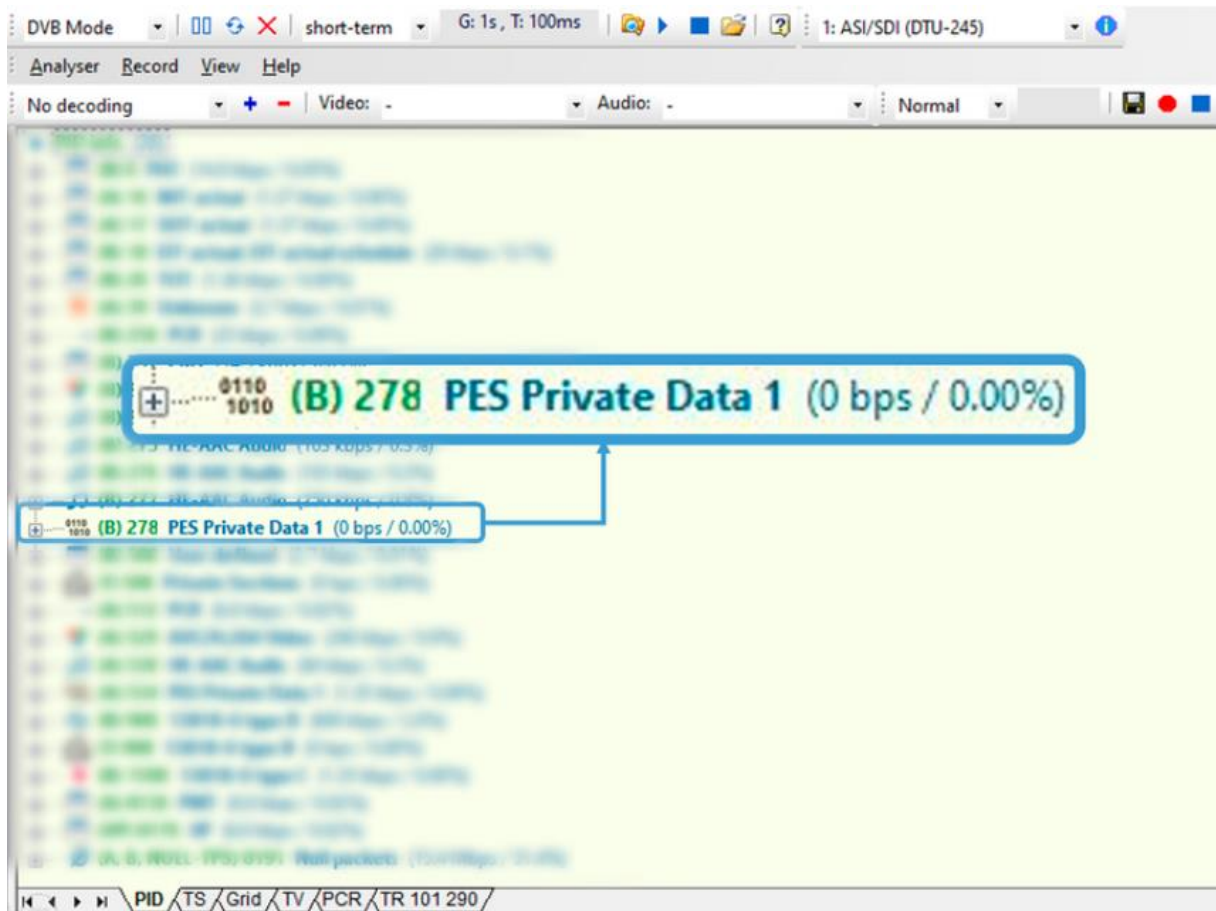
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

3.2. ANÁLISE DE CLOSED CAPTION

A figura 4.3 apresenta a análise da DekTec sendo realizada em tempo real, enquanto era realizada uma simulação de falha semelhante à do tópico 3.3,

desta vez, o PID filtrado foi o 278 (0116), sendo assim, podemos observar a falta de informação dentro do PID.

Figura 4.3: Informações do PID 278 através da DekTec DTU-245 após a falha.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Neste caso, é preciso ter cautela ao gerar o alarme de falha, isso porque a forma que é realizada a compressão para os sinais de áudio e vídeo são diferentes em virtude da natureza da informação. Existem momentos durante a programação transmitida, em que não temos a presença do áudio (silêncio), nesse momento, o closed caption também estará sem informação, tendo em vista que realiza no vídeo a legenda simultânea do áudio. É válido pontuar que o PID deve sempre existir, mas a informação certamente será variada.

Para isso, é necessário realizar um buffering dos pacotes coletados. Caso a falta de informação persista após o tempo determinado, o sistema de alarme deve acusar continuamente, até que seja reestabelecido.

Na figura 4.4, é possível perceber que o projeto desenvolvido, também detecta o momento da simulação da falha citada anteriormente. A análise e o monitoramento do PID 278 (0116) representam na cor verde um status “OK”, onde temos a presença do PID e da taxa, a cor vermelha representa a falta de uma dessas duas condições.

Figura 4.4: Análise e monitoramento do PID 278 (0116) através do projeto.

```

>>> sex nov 4 22:27:45 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 4kbit sex nov 4 22:27:45 -03 2022
>>> sex nov 4 22:27:46 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 7kbit sex nov 4 22:27:46 -03 2022
>>> sex nov 4 22:27:48 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 2kbit sex nov 4 22:27:48 -03 2022
>>> sex nov 4 22:27:49 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 4kbit sex nov 4 22:27:49 -03 2022
>>> sex nov 4 22:27:51 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 2kbit sex nov 4 22:27:51 -03 2022
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:27:53 -03 2022 <<<
>>> sex nov 4 22:27:54 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 4kbit sex nov 4 22:27:54 -03 2022
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:27:56 -03 2022 <<<
>>> sex nov 4 22:27:57 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 7kbit sex nov 4 22:27:57 -03 2022
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:27:59 -03 2022 <<<
>>> sex nov 4 22:28:00 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 7kbit sex nov 4 22:28:00 -03 2022
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:02 -03 2022 <<<
>>> sex nov 4 22:28:03 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 5kbit sex nov 4 22:28:03 -03 2022
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:05 -03 2022 <<<
>>> sex nov 4 22:28:06 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 2kbit sex nov 4 22:28:06 -03 2022
>>> sex nov 4 22:28:08 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 2kbit sex nov 4 22:28:08 -03 2022
>>> sex nov 4 22:28:09 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 4kbit sex nov 4 22:28:09 -03 2022
>>> sex nov 4 22:28:11 -03 2022 <<<
>>> OK - TAXA: 4kbit sex nov 4 22:28:11 -03 2022
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:12 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:14 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:15 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:17 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:18 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:20 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:21 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:23 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:24 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:26 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:27 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:29 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:30 -03 2022 <<<
>>> SEM CLOSED CAPTION sex nov 4 22:28:32 -03 2022 <<<

```

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os testes realizados em laboratório, foi possível observar um resultado positivo tanto na análise do PID, quanto no monitoramento do mesmo. A

simulação de falhas, nos proporcionou a validação do projeto, podendo observar a falta do PID, na DekTec DTU-245, no sinal do ar através da TV, e o mais importante no projeto desenvolvido, o que garante uma confiabilidade considerável para o projeto.

O projeto não se limita a apenas uma emissora TV Digital, com os conhecimentos das tabelas do sistema ISDB-Tb de outra emissora, é possível realizar a demodulação do canal e a varredura do PID previamente definido.

Para os próximos passos, pretendo realizar a listagem de todos os PIDs, dessa forma, não será necessário o auxílio da DekTec DTU-245 para identificar as tabelas do sistema. Além de aferir a viabilidade da análise e monitoramento de mais de um PID de maneira simultânea.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OLIVEIRA, H. S.; SOUZA, C. C.; FEITOSA, D.F. TV Digital e Educação Básica: a televisão como meio pedagógico, a escola como meio de comunicação. 1 ed. Brasília: Universidade Católica de Brasília, 2019. Disponível em: < <https://sejadigital.com.br/nossahistoria/livros/livro-tv-digital-o-desligamento-do-sinal-analogico-e-a-adaptacao-dos-telespectadores/> >. Acesso em: 19 mai. 2022.
- [2] BRASIL, Norma Complementar n. 01/2006, de 27 de junho de 2006. Recursos de acessibilidade, para pessoas com deficiência, na programação veiculada nos serviços de radiodifusão de sons e imagens e de retransmissão de televisão. Disponível em:< <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/normas-do-mc/442-portaria-310#item5.1> >. Acesso em: 19 mai. 2022
- [3] BRASIL. Decreto nº 4.901, de 26 de Novembro de 2003. Institui o Sistema Brasileiro de Televisão Digital – SBTVD, e dá outras providências. Diário Oficial da União, República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 27 de Nov. 2003. Seção 1. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2003/d4901.htm >. Acesso em: 23 mai. 2022

- [4] BRASIL, Decreto n. 5.820, de 29 de junho de 2006. Implantação do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre - SBTVD-T na plataforma de transmissão e retransmissão de sinais de radiodifusão de sons e imagens. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/decreto/d5820.htm >. Acesso em: 23 mai. 2022
- [5] ITU-T H.222.0 / ISO/IEC 13818-1: 2000 – “Information technology – Generic Coding of moving pictures and associated audio information: Systems.”
- [6] Norma Brasileira – ABNT NBR 15601 (Televisão Digital Terrestre – Sistema de transmissão). Ano 2007/2008.
- [7] Norma Brasileira – ABNT NBR 15602-1 (Codificação de vídeo, áudio e multiplexação) – Parte 1: Codificação de vídeo. Ano 2007/2008.
- [8] Norma Brasileira – ABNT NBR 15602-2 (Codificação de vídeo, áudio e multiplexação) – Parte 2: Codificação de áudio. Ano 2007/2008.
- [9] Norma Brasileira – ABNT NBR 15602-3 (Codificação de vídeo, áudio e multiplexação) – Parte 3: Sistemas de multiplexação de sinais. Ano 2007/2008.
- [10] Norma Brasileira – ABNT NBR 15603-1 (Televisão Digital Terrestre – Multiplexação e Serviços de informação – SI) – Parte 1: SI do sistema de radiodifusão. Ano 2007/2008.
- [11] Norma Brasileira – ABNT NBR 15603-2 (Televisão Digital Terrestre – Multiplexação e Serviços de informação – SI) – Parte 2: Estrutura de dados e definições da informação básica do SI. Ano 2007/2008.
- [12] Norma Brasileira – ABNT NBR 15603-3 (Televisão Digital Terrestre – Multiplexação e Serviços de informação – SI) – Parte 3: Sintaxes e definições de informação estendidas do SI. Ano 2007/2008.
- [13] Sociedade dos Engenheiros de Cinema e Televisão dos Estados Unidos. Disponível em: < <https://www.smpte.org/> >. Acesso em: 29 mai. 2022.
- [14] "ST 292-1:2018 - SMPTE Standard - 1.5 Gb/s Signal/Data Serial Interface," in ST 292-1:2018 , vol., no., pp.1-20, 25 April 2018, doi: 10.5594/SMPTE.ST292-1.2018.
- [15] "ST 259:2008 - SMPTE Standard - For Television — SDTV - Digital Signal/Data — Serial Digital Interface," in ST 259:2008 , vol., no., pp.1-18, 29 Jan. 2008, doi: 10.5594/SMPTE.ST259.2008.

- [16] Video and Audio Broadcasting Technology A Practical Engineering Guide Third Edition: Autor: Walter Fischer Digital
- [17] ITU-T H.264 / ISO/IEC 14496-10 – “MPEG-4 Part 10: Advanced Video Coding.”
- [18] ISO/IEC 14496-3:2001 – “Audio Lossless Coding”
- [19] Norma Brasileira – ABNT NBR 15606-1 (Televisão Digital Terrestre – Codificação de dados e especificações de transmissão para radio difusão digital) – Parte 1: Codificação de dados. Ano 2007/2008.
- [20] Ferreira, S. J, “Uma Proposta de Implementação do Multiplexador no Sistema ISDB-Tb”, Dissertação de Mestrado – Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL, 2009).
- [21] W. Fischer, Digital Television - A practical Guide for Engineers, Springer, 2004. Disponível em < <https://vdoc.pub/download/digital-television-a-practical-guide-for-engineers-146prg12n1ug> >. Acesso em 29 mai. 2022.
- [22] ARIB Standard STD-B31, "Transmission system for digital terrestrial television broadcasting" ver, 1.6, 2007
- [23] Norma Brasileira – ABNT NBR 15608-1 (Televisão Digital Terrestre – Guia de operação) – Parte 1: Sistema de transmissão. Ano 2007/2008.
- [24] Norma Brasileira – ABNT NBR 15608-2 (Televisão Digital Terrestre – Guia de operação) – Parte 2: Codificação de vídeo, áudio e multiplexação. Ano 2007/2008.
- [25] Norma Brasileira – ABNT NBR 15608-3 (Televisão Digital Terrestre – Guia de operação) – Parte 3: Multiplexação e serviço de informação (SI). Ano 2007/2008.
- [26] DVBSNOOP – A dvb stream analyser tool. Disponível em: < <https://dvbsnoop.sourceforge.net/> >. Acesso em: 13 out. 2022.
- [27] DekTec DTU-245 – Analisador entrada + saída FantASI ASI/SD-SDI para USB-2. Disponível em < <https://www.dektec.com/Products/Usb/DTU-245/> >. Acesso em 08/11/2022.
- [28] Transmissor E-Compact Baixa potência – EC710LP. Disponível em < https://www.hitachi-linear.com.br/products/e-compact_lp.html >. Acesso em 08/11/2022.

Capítulo V – Implementação do Sistema Lean em Laboratório Químico: Um estudo de caso no Centro Universitário UniSenaiPR Londrina

João Vitor Chendynski ¹⁶

Camila Fogaca de Oliveira¹⁷

Adriana Giseli Leite Carvalho ¹⁸

Rodolfo Alexandre Hildebrandt¹⁹

RESUMO

O estudo aborda a implementação do sistema Lean em um laboratório químico universitário, visando melhorar a eficiência das operações e o ambiente de aprendizado. Com a organização dos armários no laboratório, percebeu-se mudanças significativas, como o aproveitamento vertical, a ordenação de vidrarias e a reorganização do espaço.

Palavras-chave: Lean. Laboratório Químico. Eficiência. Otimização

Implementation of the Lean System in a Chemical Laboratory: A Case Study at UniSenaiPR Londrina University Center

ABSTRACT

The study addresses the implementation of the Lean system in a university chemical laboratory, aiming to improve the efficiency of operations and the learning environment. With the organization of the cabinets in the laboratory, significant changes were noticed, such as vertical utilization, glassware arrangement, and space reorganization.

Key words: Lean. Chemical Laboratory. Efficiency. Optimization.

1 INTRODUÇÃO

A filosofia *Lean* teve sua origem na década de 50, quando Eiji Toyoda enfrentava uma crise na fábrica de sua família no Japão, produzindo apenas 2685 automóveis em 13 anos, enquanto com a maior fábrica da Ford na América do Norte, produzia 7000 carros por dia. De acordo com Dennis (2008), Eiji

¹⁶ Estudante. UniSenaiPR - Campus Londrina.

¹⁷ Doutora em Matemática. UniSenaiPR - Campus Londrina, camila.oliveira@sistemafiep.org.br

¹⁸ Especialista. UniSenaiPR - Campus Londrina, adriana.carvalho@sistemafiep.org.br

¹⁹ Doutor em Eng. Mecânica. UniSenaiPR - Campus Londrina. rodolfo.hildebrandt@sistemafiep.org.br

Toyota, com o apoio de Taiichi Ohno e seus colaboradores na Toyota, identificaram que a economia de custos estava associada à produção de lotes menores com trocas rápidas de ferramentas, especialmente na prensagem, o que facilitava o controle de qualidade e a detecção de falhas.

O *Lean Manufacturing*, que significa "manufatura enxuta" em inglês, tem como objetivo promover uma mudança na cultura de produção de uma empresa. Em um ambiente de aprendizagem entre professor e alunos seria o maior aproveitamento de aprendizagem com a eliminação de desperdícios, tais como movimentação, retrabalho e espera (SENAI, 2018).

Os laboratórios didáticos contribuem para a interdisciplinaridade e a transdisciplinaridade, permitindo o desenvolvimento em diversos campos, testando e comprovando conceitos e estimulando a capacidade de abstração dos alunos. Além disso, auxiliam a resolução de situações-problema do cotidiano, a construção de conhecimentos, por meio de associação entre teorias e experimentação.

Neste estudo, apresenta-se uma proposta de melhoria para um laboratório químico, com foco na organização de estoque, inventário e espaço, visando otimizar a eficiência e a eficácia das operações laboratoriais, reduzir desperdícios e melhorar a qualidade do ambiente de aprendizado para os estudantes.

Nesse sentido, tem-se como finalidade conectar a teoria com a prática, permitindo a observação direta de fenômenos ou organismos. Para alcançar esse objetivo, o espaço do laboratório deve estar adequadamente equipado para a realização de experimentos. A organização do estoque e o controle de inventário desempenham um papel crucial no gerenciamento do fluxo de produtos, onde vidrarias, reagentes e outros produtos controlados, além de serem dispendiosos, podem representar riscos para a saúde humana e o meio ambiente, bem como gerar prejuízos substanciais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em um contexto em que o mercado interno japonês enfrentava uma série de desafios devido à diversidade de demanda por veículos e à escassez econômica causada pelos efeitos da guerra, limitando os investimentos em tecnologias ocidentais, a Toyota iniciou seu desenvolvimento e entrou na competição com várias marcas já estabelecidas no mercado (DENNIS, 2008).

A Toyota rapidamente se destacou devido à sua habilidade em minimizar perdas, uma vez que muitos desperdícios eram frequentemente ignorados devido à sua presença comum no ambiente de trabalho. Algumas operações foram capazes de agregar valor ao processo, resultando em melhorias no trabalho e, por conseguinte, na qualidade do produto final (SHINGO, 1996).

À medida que o valor agregado ao produto aumenta, a eficiência operacional também cresce. No entanto, a eficiência pode ser prejudicada pela falta de manutenção de equipamentos, necessidade de reparos e repetição de tarefas. Para atingir uma taxa líquida de operação mais elevada, é crucial reduzir o número de horas-homem, sendo o objetivo na Toyota se aproximar de uma taxa operacional de 100%. O Sistema Toyota de Produção visa capacitar as organizações a atender de maneira ágil às principais demandas do mercado, com foco nas principais dimensões de competitividade: custo, qualidade, flexibilidade, atendimento e inovação (SHINGO, 1996).

A fim de sustentar essas melhorias contínuas e manter a excelência operacional, a Toyota implementou o Ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) como uma abordagem fundamental. Este ciclo fornece uma estrutura para planejar, executar, verificar e agir com base nos resultados obtidos. Inicialmente, a Toyota realiza o planejamento das atividades, estabelecendo metas de melhoria e identificando áreas problemáticas. Em seguida, eles executam as ações planejadas, implementando mudanças e ajustes nos processos de produção.

Segundo Senai (2018), o ciclo PDCA tem como objetivos:

- Plan (Planejar): Nesta fase, é feito o planejamento detalhado do projeto ou processo. Isso inclui definir os objetivos, o que precisa ser organizado, o que se quer alcançar e como fazer isso. É o momento de estabelecer metas claras e estratégias para atingi-las.
- Do (Fazer): Após o planejamento, entra-se na fase de execução e as atividades planejadas são colocadas em prática. É importante seguir o plano cuidadosamente para garantir que as ações estejam alinhadas com os objetivos definidos na etapa de planejamento.
- Check (Verificar): Durante esta etapa, são coletados dados e informações sobre a execução do projeto ou processo. Esses dados são analisados para avaliar se as metas foram alcançadas e se as atividades foram realizadas conforme o planejado. Essa

verificação é crucial para identificar desvios e áreas que precisam de melhorias.

- Act (Agir): Com base nos resultados da fase de verificação, são implementadas as mudanças necessárias para corrigir desvios e melhorar o processo ou projeto. Essa etapa envolve a aplicação de soluções e ajustes com o objetivo de aprimorar a eficiência e a eficácia do sistema.

O ciclo PDCA é interativo, o que significa que, após a fase de Agir, o processo recomeça com uma nova fase de planejamento. Isso garante que a gestão seja contínua e adaptativa, permitindo a melhoria constante ao longo do tempo. Essa abordagem é amplamente utilizada em diversas áreas e setores, pois proporciona um método estruturado e eficaz para a gestão e melhoria de processos e projetos.

Ao seguir esse ciclo, as organizações têm a oportunidade de otimizar continuamente suas operações e alcançar melhores resultados. A aplicação do PDCA pode ser aprimorada com a utilização de um conjunto de técnicas que facilitam o processo de tomada de decisões. Essas técnicas são importantes para (i) Identificar Prioridades; (ii) Identificar e Analisar Causas Fundamentais; (iii) Planejar Ações de Melhoria.

Neste contexto, a análise das operações e processos em um laboratório químico se torna fundamental para garantir um ambiente propício ao aprendizado e ao desenvolvimento de pesquisas de qualidade. A proposta de melhoria que será apresentada neste trabalho visa não apenas otimizar a organização do estoque, o inventário e o espaço, mas também, de forma mais ampla, elevar a eficiência e a eficácia das atividades laboratoriais.

Por meio dessa abordagem, busca-se reduzir desperdícios de recursos e, conseqüentemente, melhorar a qualidade do ambiente de aprendizado oferecido aos estudantes. Esta pesquisa não apenas identificará os desafios existentes no laboratório, mas também fornecerá estratégias e soluções para otimizar as operações, contribuindo assim para o alcance dos objetivos de ensino e pesquisa da instituição.

3 METODOLOGIA

Neste trabalho, aplicamos a abordagem *Lean Educacional* em um laboratório químico, com foco na otimização de estoque, inventário e espaço. O processo seguiu uma metodologia cuidadosa, que descrevemos a seguir:

- **Análise Inicial e Estabelecimento de Metas:** Iniciamos com uma análise detalhada do estado atual do laboratório, identificando suas principais deficiências e necessidades. Com base nessa análise, estabelecemos metas claras para orientar nosso trabalho.
- **Introdução de Práticas *Lean*:** Com base no mapeamento dos fluxos de trabalho, introduzimos práticas *Lean* específicas para eliminar desperdícios e melhorar a eficiência. Isso incluiu a revisão de processos, a simplificação de tarefas e a otimização de procedimentos.
- **Organização Vertical do Estoque:** Uma das principais intervenções foi a reorganização vertical do estoque. Posicionamos os materiais de forma estratégica, com os itens mais frequentemente utilizados ao alcance dos alunos, reduzindo o tempo gasto procurando por materiais e minimizando deslocamentos desnecessários.
- **Classificação e Rotulagem dos Materiais:** Implementamos um sistema de classificação e rotulagem dos materiais, tornando mais fácil a identificação e localização dos itens. Isso contribuiu para a redução de erros e o aumento da eficiência.
- **Inventário Preciso:** Implementamos um controle do inventário, reduzindo erros e perdas de materiais.
- **Melhoria do Layout:** Realizamos a reorganização do layout do laboratório com o objetivo de otimizar o fluxo de trabalho e minimizar deslocamentos desnecessários. Posicionamos os materiais mais utilizados próximos aos pontos de uso, facilitando a movimentação dos alunos e garantindo uma disposição lógica dos equipamentos.

A análise dos resultados será apresentada na próxima seção, evidenciando as melhorias alcançadas no laboratório químico após a implementação das estratégias *Lean*.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nessa seção exploraremos as mudanças significativas promovidas em relação à organização dos armários no laboratório. As ações empreendidas nas áreas de Aproveitamento Vertical, Ordenação de Vidrarias, Reorganização, Agrupamento, Verificação de Condições e Descarte tiveram como objetivo primordial aprimorar a eficiência das operações, reduzir desperdícios e melhorar o ambiente de aprendizado.

Armário 116919

- **Aproveitamento Vertical:** Instalamos uma base, transformando a altura do armário em prateleira, permitindo o empilhamento de materiais.
- **Ordenação de Vidrarias:** As vidrarias foram organizadas para fácil acesso e identificação.
- **Reorganização:** Realizamos uma reorganização para obter mais espaço, incluindo pranchamento externo de béqueres. As grades destinadas a tubos de ensaio e funis também foram reorganizadas, resultando em um ganho de 2228 cm².
- **Agrupamento:** Classificamos funis por tamanho e tipo, e béqueres pela capacidade.
- **Verificação de Condições:** Realizamos inspeção em todas as vidrarias, assegurando limpeza e segurança.
- **Descarte:** Descartamos vidrarias danificadas em local apropriado para evitar riscos aos alunos.

ANTES

DEPOIS



Armário 116920

- **Aproveitamento Vertical:** Instalamos uma base, transformando a altura do armário em prateleira, permitindo o empilhamento de materiais.
- **Ordenação de Vidrarias:** Organizamos as vidrarias para facilitar a localização e acesso.
- **Reorganização:** Realizamos uma reorganização para obter mais espaço, incluindo pranchamento externo de béqueres e organização de funis, resultando em um ganho de 2660cm².
- **Agrupamento:** Classificamos funis por tamanho e tipo, e béqueres pela capacidade.
- **Verificação de Condições:** Realizamos inspeção em todas as vidrarias, assegurando limpeza e segurança.

- **Descarte:** Descartamos vidrarias danificadas em local apropriado para evitar riscos aos alunos.

ANTES

DEPOIS



Armário 116932

- **Aproveitamento Vertical:** Instalamos uma base, transformando a altura do armário em prateleira, permitindo o empilhamento de materiais.
- **Ordenação de Materiais e Equipamentos:** Organizamos os materiais e equipamentos para facilitar a localização e acesso.
- **Ordenação de Micropipetas:** Ordenamos as micropipetas de acordo com suas faixas de volume.
- **Reorganização:** Realizamos uma reorganização para obter mais espaço, resultando em um ganho de 748cm².

- **Agrupamento:** Classificamos as chapas de aquecimento e agitadores por tipo, visando prevenir acidentes.
- **Verificação de Condições:** Realizamos inspeção em todas as vidrarias, assegurando limpeza e segurança
- **Descarte:** Descartamos vidrarias danificadas em local apropriado para evitar riscos aos alunos.

ANTES
DEPOIS


Armário 116933:

- **Aproveitamento Vertical:** Instalamos uma base, transformando a altura do armário em prateleira, permitindo o empilhamento de materiais.
- **Ordenação de Materiais:** Organizamos os materiais para facilitar o acesso e a organização.

- **Ordenação de Condensadores e Proveta Grande:** Organizamos condensadores para evitar acidentes. Acondicionamos a proveta grande em uma caixa, também visando segurança.
- **Reorganização:** Realizamos uma reorganização de provetas e pissetas e outros materiais, resultando em um ganho de 375cm².
- **Agrupamento:** Classificamos provetas de plástico e pissetas por capacidade em volume.
- **Verificação de Condições:** Realizamos inspeção em todas as vidrarias, assegurando limpeza e segurança
- **Descarte:** Descartamos vidrarias danificadas em local apropriado para evitar riscos aos alunos.

ANTES



DEPOIS



Armário 116939:

- **Aproveitamento Vertical:** Instalamos uma base, transformando a altura do armário em prateleira, permitindo o empilhamento de materiais.
- **Ordenação de Vidrarias:** Organizamos as vidrarias para facilitar a localização e acesso.
- **Reorganização:** Realizamos uma reorganização para obter mais espaço, incluindo pranchamento externo de erlenmeyers e organização de funis, resultando em um ganho de 360cm².
- **Agrupamento:** Classificamos funis por tamanho e tipo, e erlenmeyers pela capacidade.
- **Verificação de Condições:** Realizamos inspeção em todas as vidrarias, assegurando limpeza e segurança.

- **Descarte:** Descartamos vidrarias danificadas em local apropriado para evitar riscos aos alunos.



Com a organização dos armários no laboratório, percebeu-se mudanças significativas, como o aproveitamento vertical, a ordenação de vidrarias, a reorganização do espaço, entre outras ações. Essas intervenções foram realizadas com o objetivo de aprimorar a eficiência das operações e melhorar o ambiente de aprendizado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da implementação do Lean Educacional, foi demonstrado que uma melhor organização pode resultar em um maior espaço de armazenamento sem a necessidade de altos investimentos. A utilização de prateleiras de pranchas suspensas pode proporcionar uma otimização ainda maior com resistência e baixo custo.

REFERÊNCIAS

DENNIS, Pascal. **Produção Lean Simplificada**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2008.

Ministério da Educação (BRASIL). Secretaria de Educação Básica. **Proposta pedagógica para a educação profissional: laboratórios**. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/profunc/13_laboratorios.pdf. Acesso em: 14/09/2023.

SENAI. **Guia para implantação da metodologia Lean Educacional nas Escolas SENAI**. Departamento Nacional, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. Brasília: SENAI/DN, 2018.

ANEXOS

Tabela 1: Inventário Armário Baixo 116933

Descrição	Quantidade
Pissetas 500ml	15
Provetas de vidro 500ml	3
Provetas de plástico 500ml	5
Provetas de plástico 100ml	11
Proвета de vidro 100ml	1
Provetas de vidro com marcadores plásticos 50ml	3
Pinças de inox de tamanhos diversos	9
Caixa com termômetros, bastões de vidro e prendedores de madeira, vidro relógio e materiais diversos	1
Caixas de pipetas plásticas de transfência de 30mls com 500 unidades cada	3
Caixa com calorímetro, rolhas de erlenmeyer e micrometros sem uso e 2 pacotes com 100 discos de papel filtro de 18,5 cm sendo 1 pacote aberto	1
Potes de tinta guache azul de 250ml	7
Cubetas em poliestireno para amostra de água	92
Isopor com 3 almofadas para congelamento	1
Pêra pipetadora	2
Colunas vigorux de 2 saídas	2
Vidros de Liebig de 500ml	3
Tubos de papelão escrito F.L.R	2
Kit didático para formação de moléculas	1
Vidros de Liebig de 300ml	3
Adaptadores 3 vias 105°	2
Caixa com diversos microfiltros circulares de diversos tamanhos com todos os pacotes abertos e 5 caixas lacradas	1
Bicos de Bunsen	8
Tubos dobrados 1/4 em 90° de vidro para Erlenmeyer	2
Tubo 1/4 reto com rolha para Erlenmeyer	1
Tubo para condensação de destilação de 250ml	1
Compensadores para destilação de 300ml	5
Tomada para adaptador à vácuo em 90°	1
Tubo de conexão à curvatura de vidro ajustada à terra	1
Condensador de Liebig de 300ml	1
Viscosímetro	1

Tabela 2: Inventário Armário Baixo 116932

Descrição	Quantidade
Cálice medidor 15ml	20
Cálice medidor 60ml	21
Cálice medidor 125ml	24
Cálice medidor 250ml	21
Frascos para reagentes de 250ml	8
Frascos para reagentes de 500ml	16
Contagotas	22
Estantes para tubos de ensaio	9
Pampers de 500ml	24
Garrafas contagotas de plástico de 30ml transparente	63
Garrafa plástica conta-gotas de 60ml transparente	1
Garrafas plásticas conta-gotas de 100ml transparentes	2
Garrafas plásticas conta-gotas brancas de 60 ml	18
Garrafas plásticas conta-gotas de plástico brancas de 100ml	11
Garrafas plásticas conta-gotas brancas de 30ml	8

Tabela 3: Inventário Armário Baixo 116938

Descrição	Quantidade
Erlenmeyer de 2000mls	16
Erlenmeyer de 500mls boca estreita	16
Seladora de embalagens	1
Saco material PLA	1
Bequer de 600mls	5
Bequer de 1000mls	4
Bequer de 3000mls	1
Bequer de 2000mls	1
Bequer de 400mls	1
Erlenmeyer de 300mls	2
Vidrinho pequeno de tampão vitreo	1
Kitassato de 300mls	2

Tabela 4: Inventário Armário Baixo 116939

Descrição	Quantidade
Erlenmeyer de 500mls	30
Erlenmeyer de 1000mls	13
Erlenmeyer de 300mls	9
Erlenmeyer de 125mls	2
Funil buchner de 130cm de diâmetro	5
Funil buchner 5,5cm de diâmetro	3
Funil buchner 7cm de diâmetro	6
Funil buchner de 8cm de diâmetro	4
Kitassato de 500mls	1
Estante para escovas de tubos de ensaio	1
Cápsula de porcelana com esmagador	1
Peneira de plástico média	9
Peneira de plástico grande	3
Funil plásticos de 4,5cm de diâmetro	2
Funil plástico de 8cm de diâmetro	7
Funil plástico de 7 cm de diâmetro	1
Funil plástico com 9,5cm de diâmetro	3
Recipiente vítreo de alto volume	1

Tabela 5: Inventário Armário Baixo 116920

Descrição	Quantidade
Funil de vidro 100mm	10
Funil de vidro 80mm	4
Funil de vidro 50mm	3
Funil de vidro 4,5mm	5
Funil buchner de vidro 125mls	1
Funil de separação pera 500mls	2
Funil de separação 100mls	1
Funil de separação pêra 125mls	3
Caixa com tubos de ensaio	1
Caixa com placas de Petri de acrilico	2
Béquers de 1000mls	7
Béquers de 600mls	2
Béquers de 400mls	4
Béquer de 250mls	1
Erlenmeyer de 250mls	1
Béquer de 100mls	7
Béquer de 50mls	2

Tabela 6: Inventário Armário Baixo 116919

Descrição	Quantidade
Balão de fundo chato 1000mls	9
Caixa com tubos de ensaio pequenos	1
Estante para tubos de ensaio pequenos	5
Balão de fundo chato de 500mls	9
Balão de fundo chato de 2000mls	1
Balão de fundo redondo de 500 mls	7
Balão de fundo chato de 250mls	2
Balão de fundo chato de 125 mls	4
Lamparina de vidro com pavio	5
Grade para tubos de ensaio	54
Grade para descanso de tubos de ensaio horizontais	4

Tabela 7: Inventário Armário baixo 116934

Descrição	Quantidade
Balão fundo chato 100mls	12
Balão fundo chato 500mls	16
Balão de fundo chato 250mls	16
Estante com 122 tubos de ensaio sem tampa	1
Estante com 57 tubos de ensaio sem tampa	1
Estante com 25 tubos de ensaio sem tampa e 59 tubos de ensaio com tampa	1
Balão de fundo chato 1000mls	6
Mantas aquecedoras	3
Transluminador	1
Suporte de pipetas	1
Potinho com tampa plasticos	6
Suporte circular para pipetas	1
Suporte para escovas de vidrarias	1
Béquer de 2000 mls poliuretano	10
Béquer de 1000 mls poliuretano	11
Béquer de 600mls poliuretano	23
Béquer de 400mls poliuretano	12
Béquer de 250mls poliuretano	22
Béquer de 100mls poliuretano	11
Béquer de 50 mls de poliuretano	1
Béquer de 150mls poliuretano	3

E-TEC Revista de Tecnologia e Ciência

VOLUME 2

2024



WWW.UNISENAIPR.COM.BR

