



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS – UEA
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA – EST
ENGENHARIA ELÉTRICA**

MARCUS VINICIUS MARTINS MELO

**ELABORAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE SOLICITAÇÃO DE MANUTENÇÃO
DIGITAL PARA UMA LINHA DE PRODUÇÃO DO RAMO DE BATERIAS
ATRAVÉS DE SISTEMAS EMBARCADOS E TECNOLOGIA RFID**

Manaus

2022

MARCUS VINICIUS MARTINS MELO

**ELABORAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE SOLICITAÇÃO DE MANUTENÇÃO
DIGITAL PARA UMA LINHA DE PRODUÇÃO DO RAMO DE BATERIAS
ATRAVÉS DE SISTEMAS EMBARCADOS E TECNOLOGIA RFID**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia - EST/UEA como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Silvio Romero Adjar Marques,
M.Sc

**Manaus
2022**

Universidade do Estado do Amazonas – UEA

Escola Superior de Tecnologia - EST

Reitor:

André Luiz Nunes Zogahib

Vice-Reitor:

Kátia do Nascimento Couceiro

Diretora da Escola Superior de Tecnologia:

Ingrid Sammyne Gadelha Figueiredo

Coordenador do Curso de Engenharia Elétrica:

Israel Gondres Torné

Banca Avaliadora composta por:

Data da defesa: 16/11/2022.

Prof. M.Sc Silvio Romero Adjar Marques (Orientador)

Prof. Dr. Israel Gondres Torné

Prof. Dr. Antônio Luiz Alencar Pantoja

CIP – Catalogação na Publicação

Melo, Marcus Vinicius Martins

Elaboração de um protótipo de solicitação de manutenção digital para uma linha de produção do ramo de baterias através de sistemas embarcados e tecnologia RFID / Marcus Vinicius Martins Melo; [orientado por] Prof M.Sc. Silvio Romero Adjar Marques. – Manaus:2022. 62 p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade do Estado do Amazonas, 2022.

1.Manutenção. 2.Digitalização. 3.Padronização. 4.Sistemas embarcados. 5. RFID.

I. Marques, Silvio.

MARCUS VINICIUS MARTINS MELO

**ELABORAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE SOLICITAÇÃO DE MANUTENÇÃO
DIGITAL EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DO RAMO DE BATERIAS ATRAVÉS
DE SISTEMAS EMBARCADOS E TECNOLOGIA RFID**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia- EST/UEA como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Nota obtida: 9,8 (Nove vírgula oito)

Aprovado em 16/11/2022

Área de concentração: Sistemas embarcados



Silvio Romero Adjar Marques, M.Sc

Orientador



Israel Gondres Torné, Dr.

Membro da banca avaliadora

Antonio Luiz Alencar
Pantoja

Assinado de forma digital por Antonio
Luiz Alencar Pantoja
Dados: 2022.11.19 19:28:55 -04'00'

Prof^a. Antonio Luiz Alencar Pantoja.

Membro da banca avaliadora

**Manaus
2022**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, aos meus pais, pois sem eles não teria o discernimento e a responsabilidade necessária para chegar até aqui. Aos meus parceiros e parceiras de curso, que me ajudaram nessa caminhada de muitas formas. À minha namorada, que esteve ao meu lado em momentos chave da minha formação, apoiando minhas decisões. Às equipes de projeto, principalmente o Baja UEA e o Nauticam, por terem moldado minha base profissional, com ensinamentos técnicos e interpessoais. E por último e não menos importante “Eu quero me agradecer por acreditar em mim, eu quero me agradecer por todo o trabalho árduo (...) eu quero me agradecer por não ter dias de folga. Eu quero me agradecer por nunca desistir. Eu quero me agradecer por ser sempre uma pessoa que dá e sempre tenta dar mais do que recebe. Eu quero me agradecer por tentar fazer mais coisas certas do que erradas. Eu quero me agradecer por apenas ser eu, sempre”. Onde há vontade, há caminho.

RESUMO

A manutenção e seus processos estão em constante evolução. Com as novas tendências relacionadas à manutenção 4.0 e à digitalização de processos administrativos, podem ser observadas diversas oportunidades voltadas à redução de custos e ao aproveitamento racional dos recursos humanos, proporcionando que a manutenção tenha um papel ainda mais primordial no ambiente da manufatura. O propósito deste trabalho é descrever um protótipo de solicitação de manutenção digital capaz de substituir de forma vantajosa a metodologia de solicitação manual existente em uma empresa do ramo de baterias do Polo Industrial de Manaus. Através de implementações práticas, demonstrações, estudos e dados coletados, pôde-se observar uma significativa diminuição do tempo de ciclo de solicitação de manutenção (possibilitando redução no *downtime* da linha), a padronização dos modos de falha (facilitando as análises) e uma redução no número de partes envolvidas no processo, fazendo com que seja possível realocar parte dos recursos humanos para outras atividades, além de uma significativa redução de custos.

Palavras-chave: Manutenção; Digitalização; Padronização, Sistemas embarcados; RFID.

ABSTRACT

Maintenance and its processes are constantly evolving. With the new trends related to maintenance 4.0 and the digitalization of administrative processes, several opportunities can be observed aimed at reducing costs and the rational use of human resources, providing maintenance to play an even more fundamental role in the manufacturing environment. The purpose of this project is to describe a prototype of digital maintenance request capable of advantageously replacing the existing manual request methodology in a battery company at the Industrial Pole of Manaus. Through practical implementations, demonstrations, studies and collected data, it was possible to observe a significant reduction in the maintenance request cycle time (enabling a reduction in line downtime), the standardization of failure modes (facilitating analysis) and a reduction in the number of parties involved in the process, making it possible to reallocate part of the human resources to other activities, in addition to a significant cost reduction.

Keywords: Maintenance, digitization, standardization, embedded systems, RFID.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>BMS</i>	<i>Battery Management System</i>
<i>CMMS</i>	<i>Computerized Maintenance Management System</i>
<i>ERP</i>	<i>Enterprise Resource Planning</i>
<i>HF</i>	<i>High Frequency</i>
<i>IoT</i>	<i>Internet of Things</i>
<i>KPI</i>	<i>Key Performance Indicator</i>
<i>LED</i>	<i>Light-Emitting Diode</i>
<i>LFP</i>	Lítio Ferro Fosfato
<i>MPM</i>	<i>Maintenance Performance Indicator</i>
<i>MTBF</i>	<i>Mean Time Between Failure</i>
<i>MTTR</i>	<i>Mean Time to Repair</i>
<i>PCM</i>	Planejamento e Controle da Manutenção
<i>PF</i>	<i>Potential Failure</i>
<i>PIB</i>	Produto Interno Bruto
<i>RFID</i>	<i>Radio-frequency identification</i>
<i>ROI</i>	<i>Return Over Investment</i>
<i>TMF</i>	Tempo Médio entre Falhas
<i>TPM</i>	<i>Total Productive Maintenance</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo da manutenção	11
Figura 2: Curva PF	20
Figura 3: Placa Raspberry Pi.	22
Figura 4: Modelo básico de funcionamento de um sistema de RFID	23
Figura 5: Modelo de leitor RFID (MFRC522)	24
Figura 6: Célula de lítio antes de passar pelo processo produtivo	25
Figura 7: Sequência do processo produtivo de baterias de Li-ion para celulares	26
Figura 8: Máquina para teste de OCV//IR	27
Figura 9: Máquina de inkjet	28
Figura 10: Máquina de corte de terminais	29
Figura 11: Célula após passar pelo processo de corte de terminais e inkjet	29
Figura 12: Máquina de fitas	30
Figura 13: Célula após passar pelo processo de aplicação de fitas	31
Figura 14: Máquina de teste de alinhamento de terminais	32
Figura 15: Máquina de solda laser	33
Figura 16: Célula após passar pelo processo de soldagem a laser	33
Figura 17: Máquina de tampografia	34
Figura 18: Célula após passar pelo processo de tampografia	35
Figura 19: Máquina de teste de espessura	36
Figura 20: Máquina de teste de comprimento e largura	36
Figura 21: Máquina de pack test	37
Figura 22: Máquina de teste de vazamentos	38
Figura 23: Máquina de raio X	39
Figura 24: Fluxo de solicitação de manutenção vigente	42
Figura 25: Fluxo do sistema de solicitação de manutenção digital	44
Figura 26: Hardware do protótipo	46
Figura 27: Principais ofensores em relação à quantidade de paradas em jun/2021	47
Figura 28: Etiquetas RFID das máquinas com maior recorrência de parada segundo dados de jun/2021	47
Figura 29: Diagrama de Pareto utilizado para analisar e priorizar quais opções de falha aparecerão na tela para o operador	48
Figura 30: Torre luminosa de três cores	49

Figura 31: LEDs utilizados no protótipo para simular a sinalização complementar ao time da manutenção	50
Figura 32: Etapa um da interface do operador	51
Figura 33: Etapa dois da interface do operador	51
Figura 34: Teclado numérico que permitirá com que o operador selecione as opções da interface	52
Figura 35: Etapa três da interface do operador	52
Figura 36: Etapa final da interface do operador	53
Figura 37: Interface da sala da manutenção	54
Figura 38: Fluxograma de funcionamento do projeto	55
Figura 39: Interface geral do sistema simulado	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características dos identificadores RFID.

22

SUMÁRIO

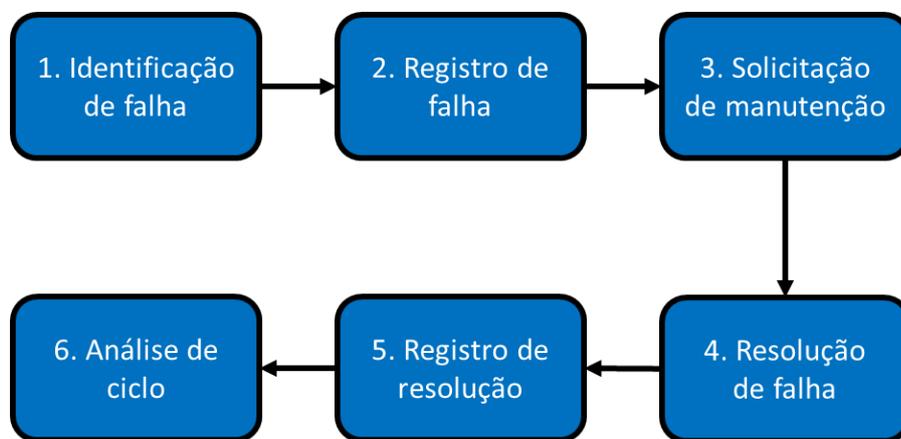
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.2. OBJETIVOS	14
1.2.1. Objetivo Geral	14
1.2.2. Objetivos Específicos	15
1.3. JUSTIFICATIVA	15
1.4. HIPÓTESES	16
1.5. CONSIDERAÇÕES GERAIS	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1. A EVOLUÇÃO DO SETOR DA MANUTENÇÃO	18
2.2. TIPOS DE MANUTENÇÃO E SUAS FUNÇÕES	20
2.2.1. Manutenção corretiva	21
2.2.2. Manutenção preventiva	22
2.2.3. Manutenção preditiva	22
2.2.4. Manutenção detectiva:	23
2.3. SISTEMAS EMBARCADOS	24
2.4. TECNOLOGIA RFID E SUAS APLICAÇÕES	24
2.5. BANCO DE DADOS	26
2.6. PROCESSO PRODUTIVO DE BATERIAS DE LI-ION PARA CELULARES	27
2.6.1. Teste de OCV/IR	29
2.6.2. <i>Inkjet</i>	30
2.6.3. Máquina de corte de terminais	30
2.6.4. Máquina de fita	32
2.6.5. Teste de alinhamento	33
2.6.6. Máquina de solda a laser	34
2.6.7. Tampografia	36
2.6.8. Teste de espessura	37
2.6.9. Teste de comprimento e largura	38
2.6.10. <i>Pack Test</i>	39
2.6.11. Teste de vazamento	39
2.6.12. Inspeção de conector	40
2.6.13. Máquina de Raio X	40

3. METODOLOGIA	42
3.1. A EMPRESA	42
3.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	42
3.2.1. Descrição do problema:	42
3.2.2. Proposta de melhoria	45
4. RESULTADOS OBTIDOS	46
4.1. Análise econômica	57
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
6. BIBLIOGRAFIA	60

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da primeira revolução industrial, as empresas vêm cada vez mais procurando formas de aumentar a eficiência de seus processos, automatizando-os, a fim de extrair maior rentabilidade no longo prazo e poupar seus funcionários de atividades repetitivas e mecanizadas, manejando-os para atividades que envolvam o uso da criatividade e inovação para solução de problemas e desenvolvimento de novos produtos/ideias. Na manutenção, não é diferente. Muitos processos que antes necessitavam de repetições constantes estão sendo substituídos por automatizações simples, de baixo custo e eficientes, apoiando o planejamento, a programação e o controle, fazendo com que o tempo do ciclo da manutenção (Figura 1) - principalmente corretiva - seja mais fluido e simplificado, permitindo com que o time mude seu foco de resolução de problemas de forma reativa para inovações proativas e programações mais consistentes, maximizando a vida útil e a disponibilidade dos ativos da empresa, reduzindo custos e melhorando a eficiência global.

Figura 1: Ciclo da manutenção



Fonte: Autoria própria

O desenvolvimento do protótipo descrito neste trabalho foi idealizado para ser implementado em uma fábrica de baterias localizada no Polo Industrial de Manaus. O mesmo consiste em uma forma mais simples, eficiente, barata e rápida de solicitar apoio ao time de manutenção da empresa, tendo como finalidade diminuir o *downtime* (tempo de inatividade das máquinas) da linha de produção. Pois, de acordo com Kardec (2013):

(...)sistemas de gestão da manutenção ineficientes e, conseqüentemente, a falta de manutenção dos ativos comprometem a rentabilidade e competitividade das empresas, pois reduzem o volume de produção, afetam a qualidade dos produtos, aumentam os riscos, comprometem a segurança das pessoas e do meio ambiente.

Logo, o presente trabalho visa demonstrar de forma prática uma solução alternativa para o sistema de solicitação de manutenção implantado atualmente na empresa, utilizando-se da tecnologia RFID e microcontroladores, fazendo com que o fluxo de informações seja mais assertivo e dinâmico, o que resulta num aumento da produtividade tanto do setor de manufatura, quanto do setor administrativo, responsável por analisar os dados gerados nos ciclos de manutenção.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

A manutenção não programada ou corretiva é sempre um dos principais tópicos de observação quando se trata de produtividade de uma linha, pois quando há este tipo de parada, acaba por ocorrer uma cadeia de danos à programação da produção, sendo os dois principais o retrabalho e o refugo de produção, afetando diretamente na produtividade da linha e elevando o *downtime* (tempo de parada/inatividade do processo) que, por consequência, eleva o lucro cessante (lucro que, em condições normais, seria adquirido) pela falta de eficiência do sistema de solicitação de manutenção manual implantado.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Apresentar um protótipo implementável de um sistema de solicitação de manutenção digital capaz de criar ordens de serviço para os técnicos, alertá-los dentro da sala de manutenção (fornecendo dados relativos a máquina, local, problema e habilidade/ferramenta necessária) e enviar os dados coletados para um banco de dados que ficará acessível para análises posteriores.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Analisar o sistema de solicitação manual existente na empresa e seus principais gargalos;
- Analisar e subdividir em partes menores uma linha de produção, identificando os principais componentes e máquinas que necessitam do apoio da manutenção;
- Descrever um sistema de solicitação de manutenção simples e eficaz que possa ser implementado com a finalidade de diminuir o *downtime* (tempo de parada) da linha de produção, que seja financeiramente viável e capaz de permitir expansões e melhorias continuamente.

1.3. JUSTIFICATIVA

Segundo dados do Portal da indústria (2022): em 2021, a Indústria respondeu por 22,2% do PIB do Brasil (...). Os dados mais recentes disponíveis indicam também que o setor industrial representa 68,6% do investimento empresarial em pesquisa e desenvolvimento e 32,9% da arrecadação de tributos federais. Tendo em vista este cenário, podemos inferir que devido ao alto desenvolvimento tecnológico, o crescimento populacional, de renda *per capita* e a alta demanda por produtos acabados torna este mercado muito competitivo, com empresas sempre tentando captar maiores fatias de mercado através de sua eficiência operacional e custos reduzidos. Neste cenário, a manutenção (setor responsável por manter e garantir a plena operação de máquinas e equipamentos através de planejamento, controle e análises, evitando paradas de produção) torna-se primordial para garantir a entrega dos pedidos cada vez mais exigentes e volumosos.

Entendida a relevância do setor da manutenção para a garantia da sobrevivência e competitividade das empresas, Hansen (2001) propõe que é de grande valia o envolvimento dos operadores no processo para um correto registro dos motivos da parada, a fim de obter dados confiáveis que forneçam uma análise eficiente para minimização das perdas por meio da adoção das ações de contramedida. Aliado a isso, segundo Seleme (2015), um sistema para ser eficiente e atender às necessidades, não pode ser de complexidade elevada e deve ser simplificado ao máximo. Sendo assim, além do treinamento dos operadores da linha de produção, é

importante também que o sistema de registro dessas falhas seja confiável, rápido e simples para que a integridade da informação seja garantida.

1.4. HIPÓTESES

De acordo com dados coletados no ambiente estudado (em junho/2021), a perda média de produção devido ao tempo de parada por manutenções corretivas em 22 dias úteis, foi de 8085 baterias (seguindo o processo de solicitação manual que dura, em média, 10 minutos por ciclo), podendo refletir em uma perda de faturamento de, aproximadamente, R\$282.975,00/mês na planta. A hipótese deste trabalho se baseia no conceito de um sistema automático para solicitar suporte do time da manutenção de forma simplificada, rápida e garantindo a plena integridade da informação tanto para os técnicos que vão atuar diretamente na falha do equipamento, quanto para o analista que vai usar estes dados para gerar os KPI's (*Key Performance Indicators* - Indicadores chave de desempenho). Os benefícios esperados para esta solução baseiam-se em pilares teóricos, visto que o protótipo não será implementado na prática neste primeiro momento, sendo estes:

- Haverá redução do número de pessoas envolvidas no processo de solicitação de manutenção;
- Ocorrerá diminuição no tempo do ciclo de solicitação de, no *downtime* da linha (tempo de linha parada) e, conseqüentemente, diminuição do lucro cessante advindo das paradas não programadas;
- Será possível realizar a padronização dos registros e automação de etapas chaves do processo, garantindo velocidade e confiabilidade às informações geradas pelo sistema;
- Haverá uma relação custo-benefício (tempo de retorno do investimento mais acelerado em relação às soluções consolidadas no mercado) mais vantajosa.

1.5. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O presente trabalho será dividido em quatro etapas principais, sendo elas:

- Fundamentação teórica: será explicado um pouco sobre o tema da manutenção (planejamento e controle, tipos...), da tecnologia utilizada, do processo produtivo de baterias de lítio e os principais indicadores produtivos a serem observados.
- Metodologia: será explicado em que contexto a empresa está inserida, a descrição do problema da pesquisa e a proposta de solução.
- Resultados obtidos: Será mostrado o protótipo do sistema de solicitação de manutenção.
- Considerações finais: será demonstrado os cálculos de viabilidade do projeto, além de sugestões para projetos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. A EVOLUÇÃO DO SETOR DA MANUTENÇÃO

A evolução da manutenção (em relação a técnicas e à relevância) veio de forma progressiva ao longo da história. Ela surgiu logo após as primeiras tentativas do homem de manusear instrumentos e desenvolver produtos/máquinas para produção de bens e segue até os dias atuais. Durante este processo, houve diversas fases sendo, no princípio, uma atividade considerada um mal necessário, focada apenas em atividades corretivas emergenciais. Atualmente, com o desenvolvimento da tecnologia e da competitividade industrial, de acordo com M. Faccio e A. Persona (2014):

A manutenção de ativos físicos é uma função da produção fundamental para as organizações alcançarem resultados estratégicos em mercados cada vez mais competitivos. Os processos de manutenção são fundamentais para que os ativos físicos garantam a alta produtividade da organização.

A descrição do setor responsável por manter funcionais os ativos de uma empresa segundo a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT,1994) é:

a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida. A manutenção pode incluir uma modificação do item.

De acordo com Kardec (2013), o processo de evolução do setor aconteceu de forma contínua desde sua concepção, quando surgiram as primeiras necessidades de garantir ou retomar a plena função de ferramentas e processos até os dias atuais. Foi capaz de descrever esse processo de desenvolvimento através da separação em cinco gerações, sendo estas demonstradas a seguir:

- 1ª Geração: Reativa, até 1950. Caracterizada principalmente pela manutenção de quebra (quando a máquina ou equipamento deixa de desempenhar sua função plenamente), lubrificação e limpeza sistêmica.
- 2ª Geração: Preventiva, de 1950 a 1970. Caracterizada pelo aumento da complexidade e mecanização, que foi responsável por desenvolver nos colaboradores do setor o entendimento de que falhas poderiam ser evitadas,

surgimento do conceito de manutenção periódica ou preventiva e o consequente início dos sistemas de planejamento e controle da manutenção – PCM; Segundo Sherwin (2000) o conceito de manutenção periódica foi disposto em primeiro lugar para melhorar a segurança e não para aumentar a disponibilidade ou reduzir custos.

- 3ª Geração: Preditiva, de 1970 a 1990. Caracterizada pela ampliação do uso das filosofias de administração da produção *just-in-time* e TPM (*Total Productive Maintenance*), além do aumento da automação e implantação de técnicas preditivas através do uso de softwares (CMMS - *Computerized maintenance management system*) dedicados para PCM, surgindo nesta geração os conceitos de confiabilidade e engenharia de manutenção.
- 4ª Geração: Digital, de 1990 a 2005. Caracterizada pela consolidação de técnicas de predição e inspeção, além de conceitos de engenharia de manutenção, disponibilidade e ciclo de vida. Os CMMS passam a ser sistemas integrados ERP (Sistemas integrados de gestão empresarial).
- 5ª Geração: Gestão de ativos, de 2005 a 2015. Caracterizada pelo uso de técnicas preditivas e de monitoramento *online* e *off-line*. Atuação em todo o ciclo de vida, desde projeto até a posterior operação. Além do monitoramento de parâmetros operacionais, conexão e integração interdepartamental e controle de custos e MPM (*Maintenance Performance Indicator*).

Com o advento da indústria 4.0, que segundo o Silveira (2016) é um conceito de indústria proposto recentemente e que engloba as principais inovações tecnológicas dos campos de automação, controle e tecnologia da informação, aplicadas aos processos de manufatura.

Devido a isso, muitos especialistas do setor estão usando os conceitos do que chamam de 4ª Revolução industrial para definir o que poderia ser a 6ª Geração da manutenção - complementando as ideias de Kardec (2013) - que é a da Manutenção 4.0, onde são implementadas diversas técnicas e inovações principalmente do setor da automação e Tecnologia da Informação para aumentar a disponibilidade dos ativos, a duração de peças, otimizar a utilização da mão de obra, reduzir custos e melhorar os planos de trabalho (principalmente das manutenções planejadas) através do conceito de internet

das coisas (IoT), sensores, computação em nuvem, inteligência artificial e banco de dados.

2.2. TIPOS DE MANUTENÇÃO E SUAS FUNÇÕES

De acordo com COSTA (2013) “Os tipos de manutenção são caracterizados pela maneira como é feita a intervenção no sistema”. Tomando-se este conceito principal como base, podemos subdividir o ato de manter em basicamente quatro grandes grupos, sendo eles:

- Manutenção corretiva, que ainda pode ser dividida em planejada e não planejada;
- Manutenção preventiva;
- Manutenção preditiva;
- Manutenção Detectiva;

O planejamento e controle da manutenção, quando mal administrado, pode gerar danos severos não só ao processo produtivo, mas para a empresa como um todo. Sendo assim, tem-se como crucial que os responsáveis pelo setor tenham conhecimento sobre alguns conceitos importantes, a fim de evitar com que a manutenção venha atrapalhar outros setores. Sendo eles:

- **SCRAP:** Ou rejeito, tratam-se dos insumos que não desempenham mais sua função ou se encontram em estado de não conformidade, devendo ser devidamente descartados (sendo contabilizados para garantir o monitoramento do indicador índice de scrap), muitas vezes, o aumento excessivo de scrap se dá por falhas na execução das manutenções preventivas, fazendo com que as máquinas não desempenhem sua função, acabando por danificar os insumos produtivos;
- **Lucro cessante:** Trata-se do lucro que a empresa/planta deixou de ter por consequência de eventos não recorrentes, sendo calculado através do tempo em que o evento não recorrente impactou o processo produtivo vezes o lucro que seria atingido em condições normais (média diária/mensal). Os eventos não recorrentes geralmente são manutenções corretivas não planejadas em máquinas que são de extrema importância para o processo;
- **Downtime:** Trata-se do tempo de inatividade de um certo processo produtivo (ou serviço) devido à alguma interrupção, podendo ela ser programada ou não.

Essas paradas impactam diretamente (caso seja não programada) no lucro cessante. O tempo de inatividade é um dos *KPI's* mais estudados pelo time da manutenção, pois quanto maior a eficiência da equipe em suas diversas atividades de manutenção, menor será o *downtime* do processo produtivo, logo, para diminuir ao máximo este tempo, muitos gestores de manutenção contam com diversas metodologias para evitar impactos negativos neste indicador, mesclando os diversos tipos de manutenção os quais serão explanados nas próximas seções;

2.2.1. Manutenção corretiva

A corretiva se trata do tipo mais “simples” e primitivo das manutenções, sendo ela, na maior parte das ocorrências, utilizada quando há algum tipo de falha funcional, que é definida como a incapacidade de um sistema para atender a um padrão de desempenho que foi especificado como satisfatório (ENGETELES, 2018). Este tipo de manutenção, segundo OTANI & MACHADO (2008) implica em altos custos e baixa confiabilidade de produção, já que gera ociosidade e danos maiores aos equipamentos, muitas vezes irreversíveis.

Além disso, a manutenção corretiva pode ser subdividida em programada e não programada, sendo a diferença entre as duas a fase da Curva PF (*Potential Failure curve* que é o gráfico que relaciona a performance da máquina com o seu tempo de atividade – Figura 2) na qual ela é implementada. A corretiva programada é aquela que acontece um pouco após o ponto de falha potencial (onde o equipamento já se encontra danificado, mas ainda funcional) ou também quando, de forma acertada junto ao planejador de manutenção, a substituição de itens é realizada somente após o aparecimento de um defeito, como é definido muitas das vezes com as lâmpadas de plantas industriais, que são substituídas somente após apresentarem problemas aparentes, não sendo economicamente viável trocá-las de forma preventiva. Já a corretiva não programada, acontece somente no ponto de falha funcional, quando o equipamento não desempenha mais a função a qual foi destinado, porém, diferentemente da programada, está é caracterizada pelo cunho emergencial de resolução e por não estar compreendida no planejamento.

Figura 2: Curva PF



Fonte: <https://engeteles.com.br/manutencao-corretiva/>

2.2.2. Manutenção preventiva

Este tipo de manutenção é caracterizado por ser o procedimento que tem como objetivo evitar com que a falha funcional venha a ocorrer. Garantindo seu funcionamento através de intervenções preventivas antes mesmo de chegar ao fim de sua vida útil. Geralmente, este tipo de procedimento é utilizado em processos críticos ao processo, os quais em nenhuma hipótese podem apresentar falhas.

Para isso, é formulado um plano de 52 semanas (também denominado como plano macro anual e plano base da manutenção), que estabelece todas as manutenções preventivas que devem ocorrer ao longo do ano. Segundo SLACK et al. (2002, p. 645), este tipo de manutenção “visa eliminar ou reduzir as probabilidades de falhas por manutenção (limpeza, lubrificação, substituição e verificação) das instalações em intervalos de tempo pré-planejados”. Para a manutenção preventiva, deve-se necessariamente utilizar dados/estatísticas como Tempo Médio entre Falhas (TMF) para evitar desperdícios tanto de peças, quanto de mão de obra.

2.2.3. Manutenção preditiva

É a manutenção que realiza acompanhamento de variáveis e parâmetros de desempenho de máquinas e equipamentos, visando definir o instante correto da intervenção, com o máximo de aproveitamento do ativo (OTANI & MACHADO, 2008).

Tal abordagem leva em consideração os dados gerados por máquinas e sensores avançados, sendo capaz de identificar através de análises se o ativo está falhando ou prestes a falhar. Sendo os métodos mais famosos:

- Termografia – Muito utilizado em quadros elétricos, sinalizando quando há cabos superaquecidos ou parafusos que necessitam de reaperto;
- Análise de ultrassom – Muito utilizada para detecção de anomalias em instalações elétricas, identificação de vazamentos em tubulações de ar comprimido e gases, além de verificação das condições de operação e lubrificação de vários componentes de equipamentos e máquinas, como engrenagens e rolamentos em geral;
- Análise de vibração – Muito utilizado em motores elétricos/motobombas, sendo capaz de identificar se há componentes danificados em seu interior através de irregularidades em sua vibração;
- Análise de óleos – Muito utilizados em grandes tornos, prensas hidráulicas, transformadores e dosadoras. Tem como objetivo manter o grau de deterioração do fluido dentro dos parâmetros corretos, evitando um desgaste excessivo/prematuro, aumento de temperatura ou até mesmo falhas no isolamento, aumentando sua disponibilidade final;

2.2.4. Manutenção detectiva:

A manutenção detectiva é responsável por verificar se houve alguma falha não aparente, que geralmente só afeta dispositivos de proteção, mas não o funcionamento do sistema. Aplicado em processos onde o nível de automação é alto ou quando o processo é crítico e não pode falhar, por risco de ocasionar acidentes ou paradas não programadas. FERREIRA (2008, p. 23) cita um exemplo de aplicação da manutenção detectiva:

“Um exemplo clássico é o circuito que comanda a entrada de um gerador em um hospital. Se houver falta de energia e o circuito tiver uma falha, o gerador não entra. Por isso, este circuito é testado/acionado de tempos em tempos, para verificar sua funcionalidade”.

2.3. SISTEMAS EMBARCADOS

Os sistemas embarcados estão presentes em todas as áreas da vida moderna, desde as mais simples atividades do cotidiano como lavar roupa, até as mais complexas como mandar um e-mail. Sendo assim, nas aplicações de automação de processos em indústrias não seria diferente, pois são soluções compactas, com alta capacidade de processamento e financeiramente acessíveis. De acordo com Oliveira (2010):

(...) são sistemas que possuem uma capacidade de processamento de informações vindas de um software que está sendo processado internamente nessa unidade, são compostos por uma unidade de processamento, que é um circuito integrado, fixado a um circuito impresso.

Para a construção do protótipo citado, foi utilizado o microprocessador *Raspberry pi 3 model B* (Figura 3), devido a todas as características citadas anteriormente. Além disso, o dimensionamento da placa levou em consideração a futura implementação na empresa. Sendo assim, o controlador do sistema precisaria não apenas de memória, acesso à internet e capacidade de processamento, como também a possibilidade da utilização de linguagens gráficas, para que seja possível construir a interface do sistema. De acordo com a Fundação Raspberry Pi (2012), não há nada que o computador de mesa faça que o Raspberry Pi não consiga realizar.

Figura 3: Placa Raspberry Pi.



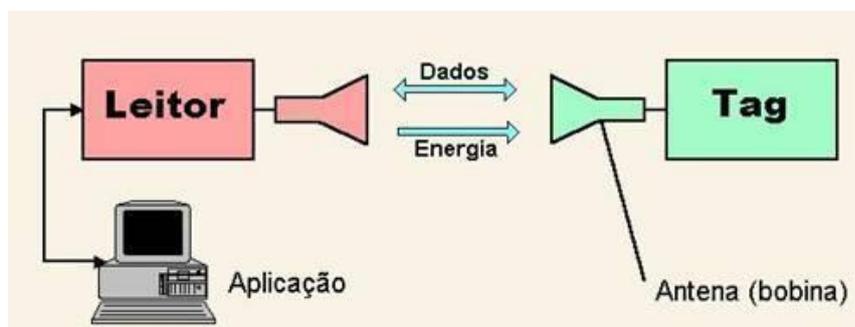
Fonte: <https://www.raspberrypi.org/app/uploads/2017/05/Raspberry-Pi-3-1-1619x1080.jpg>

2.4. TECNOLOGIA RFID E SUAS APLICAÇÕES

A Identificação por Radiofrequência (RFID) é uma tecnologia sem fio que usa sinais de rádio para identificar, localizar, acompanhar e traçar a movimentação de um item sem intervenção humana (ANGELES, 2005). O uso desta tecnologia se estende

a diversas áreas, tendo como destaque a logística e o controle de estoque, pois permite a diferenciação de itens a distâncias razoáveis e com baixo consumo de energia, como demonstrado na Figura 4.

Figura 4: Modelo básico de funcionamento de um sistema de RFID



Fonte: https://www.gta.ufrj.br/grad/07_1/rfid/RFID_arquivos/como%20funciona.htm

A aplicação desta tecnologia depende de seu correto dimensionamento, visto que o alcance de leitura varia de acordo com a frequência do leitor. Então, deve-se levar em consideração o fluxo do processo e as características do local onde será instalado, para que não existam problemas operacionais no momento da implementação. Segundo a Tabela 1, há quatro tipos de frequências, tendo cada uma delas suas principais características e aplicações.

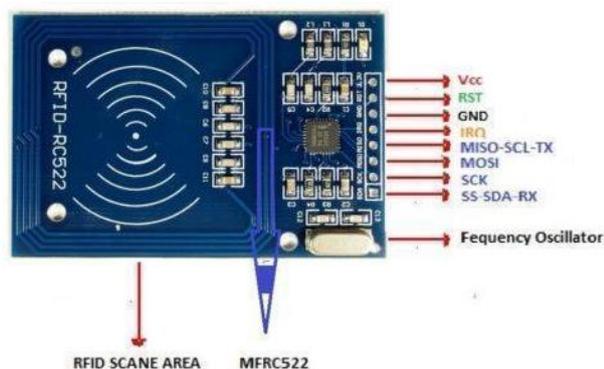
Tabela 1: Características dos identificadores RFID.

Característica	LF	HF	UHF	Microondas
Frequência	< 135 KHz	de 10 e 13,56 MHz	de 850 a 950 MHz	de 2,5 a 5,8 GHz
Alcance de leitura	~ 10 cm	~ 1 m	2 a 5 m	~ 15 m
Aplicação	Smart Card, ticket, anti-furto, identificação de animais	Pequenos itens, gerenciamento, anti-furto, cadeia de fornecimento	Transporte, identificação veicular, controle de acesso e segurança, grandes itens, paletes, gerenciamento e cadeia de fornecimento.	

Fonte: Duchovni (2006)

Para o presente trabalho, foi utilizado um identificador *High Frequency* (HF) de 13,5Mhz, pois no protótipo proposto não há necessidade de leituras a longas distâncias. Além disso, existem módulos leitores de RFID que são capazes de ser facilmente integrados a sistemas embarcados através de bibliotecas de códigos (coleção de subprogramas, que contém códigos e dados auxiliares) já prontas, como é o caso do leitor MFRC522 (Figura 5), que foi a opção escolhida para a leitura de etiquetas neste projeto.

Figura 5: Modelo de leitor RFID (MFRC522)



Fonte: <https://www.theengineeringprojects.com/2019/02/introduction-to-mfrc522.html>

2.5. BANCO DE DADOS

Segundo Rezende (2006) um Banco de Dados, é uma coleção de dados que diz respeito a uma determinada organização, que necessita de um conjunto de quatro componentes básicos: dados, hardware, software e usuários. Para este trabalho, pensou-se na utilização de um banco de dados com a finalidade de coletar as informações de todas as solicitações de manutenção, gravando seus principais dados coletados:

- Número da Solicitação de Manutenção;
- Local/Linha/Setor;
- Equipamento;
- Tipo de serviço solicitado;
- Falha do equipamento;
- Habilidade/Ferramenta necessária;

Com a gravação e a disponibilidade desses dados na rede, é possível gerar KPI's (*Key Performance Indicators*) tais como linha/setor com maior indisponibilidade, equipamentos e tipos de falhas mais recorrentes, habilidades e ferramentas mais requisitadas, que poderão ser analisados pelo setor responsável pelo planejamento e controle da manutenção, auxiliando na proposição de soluções voltadas à melhoria de processos produtivos, manutenção autônoma e manutenção 4.0.

Para o presente trabalho, não haverá implementação do banco de dados, porém, vê-se como crucial para a instalação no ambiente não simulado um método de armazenamento de dados, para que as informações possam ser consultadas e

analisadas sempre que necessário. Dentre as opções existentes, analisa-se como boa alternativa o banco de dados MySQL, devido à sua capacidade, versatilidade e por ser amplamente utilizado, garantindo uma maior fonte de informações úteis sobre o assunto na indústria. Além disso, segundo Caldeira (2006):

(...) o MySQL possui uma característica interessante que é a possibilidade de escolher o tipo de tabela no momento de criação da mesma. O formato de armazenamento dos dados, bem como alguns recursos do banco de dados dependem do tipo de tabela escolhido.

2.6. PROCESSO PRODUTIVO DE BATERIAS DE LI-ION PARA CELULARES

Nesta seção, será explicado um pouco mais sobre as etapas necessárias para se produzir uma bateria de íons de lítio para celulares, levando-se em consideração que a célula (elemento mais básico da composição da bateria) é comprada diretamente de um fornecedor internacional e chega ao início da linha conforme observado na Figura 6. A seguir, é possível observar todos os postos e o setor responsável por seu respectivo resultado (Figura 7).

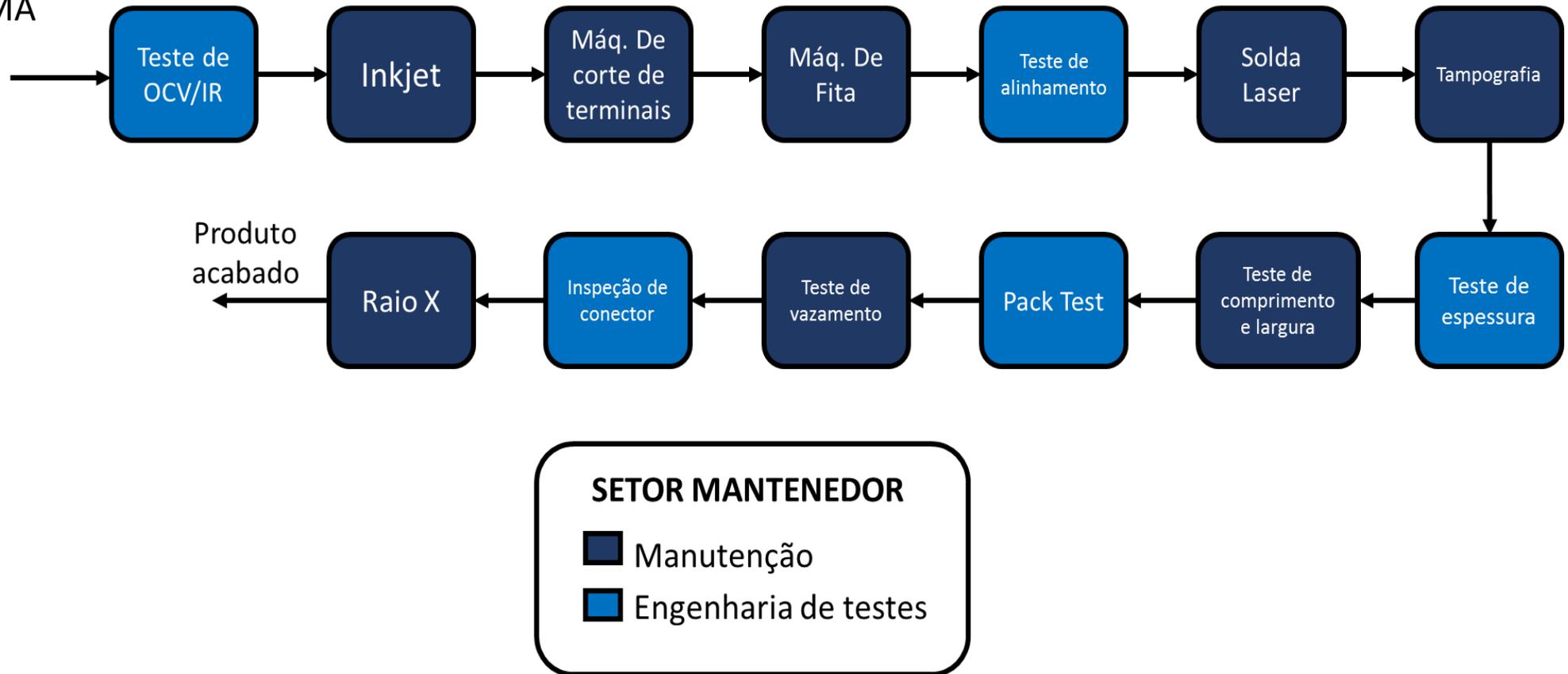
Figura 6: Célula de lítio antes de passar pelo processo produtivo



Fonte: Acervo pessoal

MATÉRIA-
PRIMA

Figura 7: Sequência do processo produtivo de baterias de Li-ion para celulares



Fonte: Autoria própria

2.6.1. Teste de OCV/IR

Este posto inicial é basicamente um equipamento de acionamento por ar comprimido (Figura 8) que tem como objetivo medir dois parâmetros importantes para o prosseguimento do processo, que é a tensão e a impedância da célula, para que possa ser mensurado a saúde geral da célula (quanto menor a resistência interna da célula maior a capacidade da bateria, sendo que o inverso pode indicar uma degradação da mesma). Além disso, há um sistema acoplado a este equipamento que permite com que ele faça a dobra das abas superiores da célula através de dois cilindros com roletes acoplados. Falhas neste processo podem ocasionar a parada da linha e conseqüentemente perda/atraso de produção.

Figura 8: Máquina para teste de OCV/IR



Fonte: Acervo pessoal

2.6.2. Inkjet

Este processo conta com uma máquina de jato de tinta (Figura 9) que é programada para imprimir na célula que foi devidamente aprovada no processo anterior um *QR code* e um código que indica o dia, ano, linha de produção e diversos outros itens responsáveis por garantir a devida rastreabilidade do produto. Falhas neste processo podem gerar atraso de produção, retrabalho, problemas na aplicação de fita lateral e superior.

Figura 9: Máquina de inkjet



Fonte: Acervo pessoal

2.6.3. Máquina de corte de terminais

Neste processo, o operador é responsável por coletar o produto da esteira e inserir na máquina que corta os terminais da célula (Figura 10) dentro do padrão definido pelo setor da engenharia de processo, sendo esta etapa essencial para o prosseguimento do material, principalmente no que tange à máquina de solda laser. Falhas neste processo podem gerar *scrap*, falhas no processo de soldagem a laser e falha na dobra de

terminais. O resultado dos processos até este ponto pode ser observado na Figura 11.

Figura 10: Máquina de corte de terminais



Fonte: Acervo pessoal

Figura 11: Célula após passar pelo processo de corte de terminais e inkjet



Fonte: Acervo pessoal

2.6.4. Máquina de fita

Esta etapa trata-se basicamente da aplicação de fitas nas bordas da célula (Figura 12) que servem para lacrar e evitar com que impactos possam ocasionar vazamentos da matéria interna, que é nociva à saúde e pode danificar não só a bateria, como também o produto na qual ela será inserida. Falhas neste processo podem gerar scrap e retrabalho. O resultado dos processos até este ponto pode ser observado na Figura 13.

Figura 12: Máquina de fitas



Fonte: Acervo pessoal

Figura 13: Célula após passar pelo processo de aplicação de fitas



Fonte: Acervo pessoal

2.6.5. Teste de alinhamento

Este equipamento tem como função principal garantir o pleno alinhamento dos terminais da célula (Figura 14), garantindo com que o processo de soldagem seja eficaz. Falhas nesse processo podem gerar retrabalho, *scrap*, problemas na solda laser e perda de produção.

Figura 14: Máquina de teste de alinhamento de terminais



Fonte: Acervo pessoal

2.6.6. Máquina de solda a laser

Neste processo chave (Figura 15), é realizada a junção da célula com a placa BMS (*Battery Management System*), que é responsável por monitorar os parâmetros de tensão, garantindo a desconexão da carga em casos de problemas, além de monitorar também a corrente de descarga, desconectando caso exceda o valor especificado, realizando-o através do processo de soldagem a laser. Ainda, acoplado à placa BMS, há o cabo *flat* que possui um conector que garante a plena integração da bateria com o aparelho. Nesta etapa do processo, a célula de bateria passa a ser uma bateria propriamente dita, capaz de fornecer energia de forma segura a aparelhos eletrônicos. Falhas neste processo podem gerar falha elétrica, *scrap* e perda de produção. A linha não é capaz de realizar retrabalho em casos de parada desse equipamento,

sendo ele um dos mais críticos para o processo. O resultado dos processos até este ponto pode ser observado na Figura 16.

Figura 15: Máquina de solda laser



Fonte: Acervo pessoal

Figura 16: Célula após passar pelo processo de soldagem a laser



Fonte: Acervo pessoal

2.6.7. Tampografia

O processo de tampografia se trata de uma impressão por transferência de tinta a partir de um clichê (bloco de aço com gravações em baixo relevo) que é coberto por um copo cheio de tinta após o movimento da máquina, fazendo com que suas ranhuras sejam preenchidas de tinta. Logo após isso, o tampão (almofada de silicone) move-se em direção ao clichê e faz pressão sobre o mesmo, coletando essa tinta e depois pressionando a bateria, fazendo com que a imagem seja gravada no produto. Esta etapa é responsável por gravar na bateria a logo da empresa (cliente) além das informações técnicas e de descarte da bateria. Falhas neste processo podem gerar retrabalho, *scrap* e atraso de produção, devendo haver uma troca regular de tampões ao longo do turno, além de diluição de tinta e troca de clichê quando se faz necessário. O resultado dos processos até este ponto pode ser observado na Figura 18.

Figura 17: Máquina de tampografia



Fonte: Acervo pessoal

Figura 18: Célula após passar pelo processo de tampografia



Fonte: Acervo pessoal

2.6.8. Teste de espessura

Este teste (Figura 19) é responsável por analisar a espessura das baterias que chegam até essa etapa, evitando com que chegue até o cliente um produto com qualquer risco relacionado à estofamento (que acontece quando o composto químico Li-ion entra em contato com o oxigênio, podendo também ocorrer por calor excessivo ou algum outro defeito de fábrica), garantindo a segurança do aparelho e do cliente final do produto. Falhas neste processo podem gerar retrabalho, reteste ou *scrap*.

Figura 19: Máquina de teste de espessura



Fonte: Acervo pessoal

2.6.9. Teste de comprimento e largura

Neste teste (Figura 20), realiza-se a análise do comprimento e da largura das baterias, garantindo com que elas tenham as dimensões mecânicas dentro do especificado, a fim de que seja possível acoplá-las aos aparelhos eletrônicos aos quais foram projetadas. Falhas neste processo podem gerar retrabalho, reteste ou *scrap*.

Figura 20: Máquina de teste de comprimento e largura



Fonte: Acervo pessoal

2.6.10. Pack Test

O *pack test* (Figura 21) é responsável por detectar qualquer falha funcional da bateria, envolvendo testes de tensão, corrente e diversos outros parâmetros (da célula e do circuito do BMS) servindo para analisar se o processo desde a entrega da célula até este ponto está de acordo com as especificações do cliente. Falhas neste processo são consideradas críticas, pois podem causar falha no cliente final, rejeição de lote, perda de produção, retrabalho e *scrap*.

Figura 21: Máquina de pack test



Fonte: Acervo pessoal

2.6.11. Teste de vazamento

O teste de vazamento (Figura 22) é o responsável por identificar todo e qualquer vazamento no material da bateria, evitando acidentes com o cliente final, por defeitos na célula. Falhas neste processo podem gerar atraso de produção e *SCRAP*.

Figura 22: Máquina de teste de vazamentos



Fonte: Acervo pessoal

2.6.12. Inspeção de conector

Nesta etapa é realizada a inspeção do conector através de uma lupa de bancada com iluminação, garantindo com que não passe nenhum rompido, deslocado, com corpo estranho ou até mesmo insuficiência de solda. Falhas neste processo podem gerar retrabalho, *scrap* e perda de produção.

2.6.13. Máquina de Raio X

Na última etapa do processo, a máquina de Raio X (Figura 23) realiza a análise interna dos filamentos e camadas da bateria, garantindo com

que nenhum esteja rompido, invertido ou conectado de forma errada, permitindo que a bateria funcione normalmente ao ser conectada a um aparelho eletrônico. Falhas neste processo podem gerar principalmente falha elétrica do produto final.

Figura 23: Máquina de raio X



Fonte: Acervo pessoal

3. METODOLOGIA

3.1. A EMPRESA

A empresa estudada, como conceito macro, trata-se de uma empresa de bens intermediários (produz bens manufaturados ou matéria-prima processada para outros ramos industriais), tendo como foco a manufatura de baterias de íons de lítio e lítio ferro fosfato (LFP). Atualmente, a empresa trabalha diretamente com cinco clientes principais, sendo que três deles compram diversos modelos de baterias de lítio para seus celulares e computadores portáteis. E os outros dois, compram diretamente as baterias de lítio ferro fosfato para torres de telefonia.

Na empresa existem diversos setores que prestam suporte ao time de produção, como a qualidade, a automação, o compras, logística e a manutenção. Na área de manutenção, o time é formado por um coordenador, um analista de planejamento e controle da manutenção, um menor aprendiz, um estagiário e o corpo de técnicos, composto por aproximadamente dez pessoas com diferentes atribuições como: manutenção predial, mecânico de manutenção, eletricista, refrigeração e especialista de máquina de solda.

Este setor tem como principal atribuição zelar pelos ativos da planta, maximizando sua vida útil e disponibilidade através de técnicas de engenharia, elaborando cronogramas de manutenção preventiva para cada ativo, levando sempre em consideração o plano de produção vigente. Ficam responsáveis também por atender chamados emergenciais do time da produção, a fim de garantir a qualidade do produto e a assertividade das metas da companhia. Além disso, toda e qualquer mudança de layout tanto das linhas de produção, quanto da planta como um todo, são de responsabilidade direta da manutenção, fazendo com que praticamente tudo o que tange à operação da fábrica tenha relação direta ou indireta com o setor.

3.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.2.1. Descrição do problema:

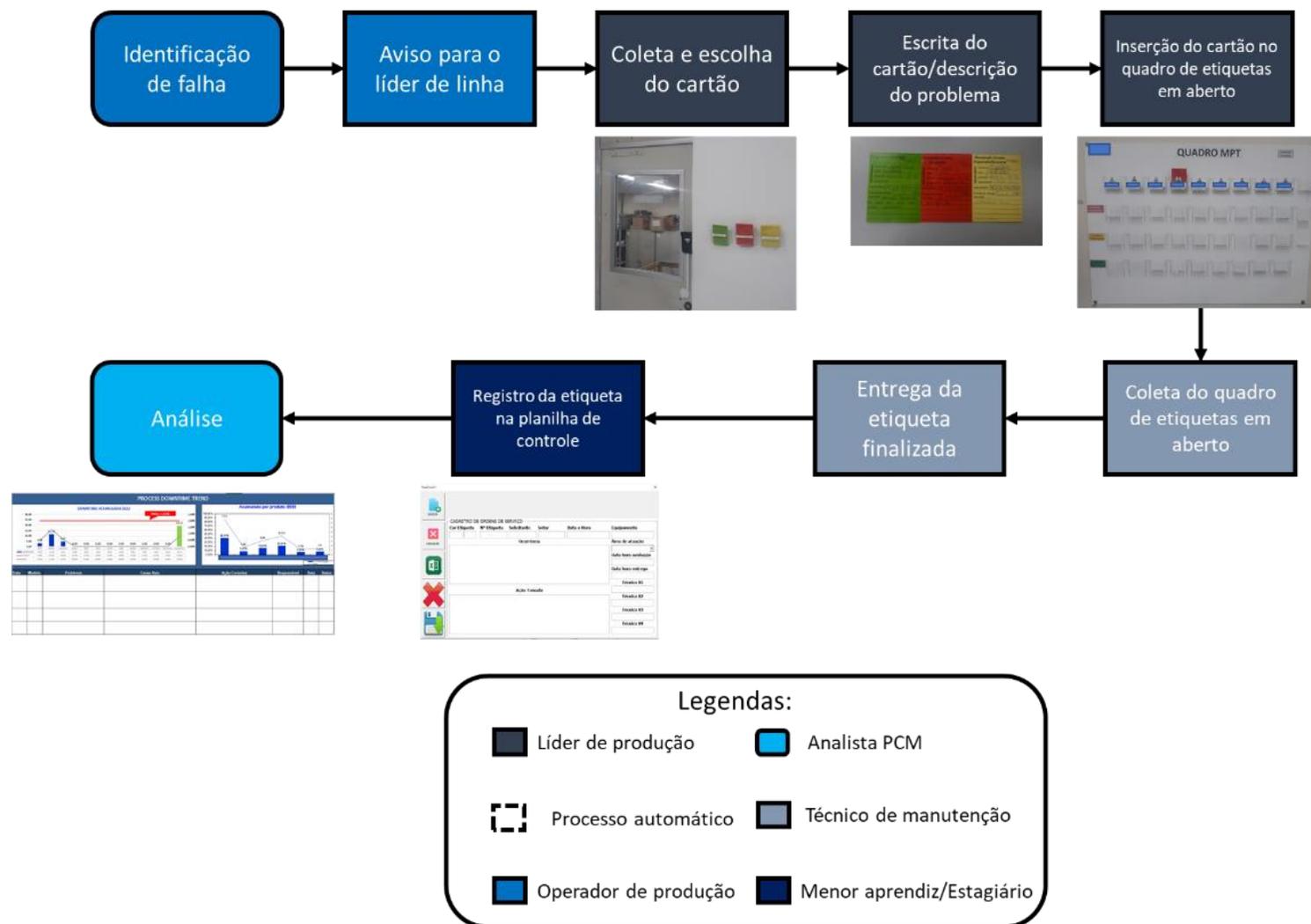
O sistema de solicitação de manutenção vigente no ambiente estudado pode ser visualizado a partir da Figura 24, onde se encontram os três principais gargalos:

- **Tempo médio de fechamento de ciclo:** A cada solicitação de intervenção de manutenção emitida, estima-se que em média, demora

de 7 a 10 minutos para seu fechamento (que é definido pelo momento em que o técnico entrega a ficha de solicitação para o analista PCM, após ter resolvido a falha do equipamento), levando em consideração todo o deslocamento das partes envolvidas, a escrita e o registro das informações na planilha de controle. Segundo dados coletados na empresa (junho/2021), houve cerca de 74 paradas relacionadas à manutenção corretiva emergencial, o que gera uma média de 10,48 horas de linha parada por mês de produção. Analisando o plano de produção do mês citado, pode-se inferir que, ao perder 10,48h de produção por mês, deixam de ser produzidas aproximadamente 8085 baterias, que pode ser convertido em R\$282.975,00 de perda de faturamento, sem contar com o tempo de reparo/resolução do problema, o que pode até duplicar este tempo e, por consequência, o lucro cessante mensal;

- **Quantidade de pessoas envolvidas no processo:** Devido às características do processo e à metodologia implementada, há sempre cinco pessoas envolvidas na solicitação de manutenção, sendo elas: operador de produção, líder de linha, técnico de manutenção, menor aprendiz/estagiário e analista PCM (planejamento e controle da manutenção), resultando que qualquer perda de informação no processo gera grandes prejuízos, devido a possíveis falhas de comunicação;
- **Falta de padronização dos registros:** Por tratar-se de uma metodologia de etapas por escrito (no processo de solicitação e registro), a falta de padronização pode vir a atrapalhar as análises de identificação de causa raiz (Ishikawa, Diagrama de Pareto, 5 porquês...), fazendo com que seja necessário um grande retrabalho de padronização para identificar os principais problemas observados em cada equipamento, o que acaba gerando apenas soluções reativas com base na experiência e não em dados.

Figura 24: Fluxo de solicitação de manutenção vigente



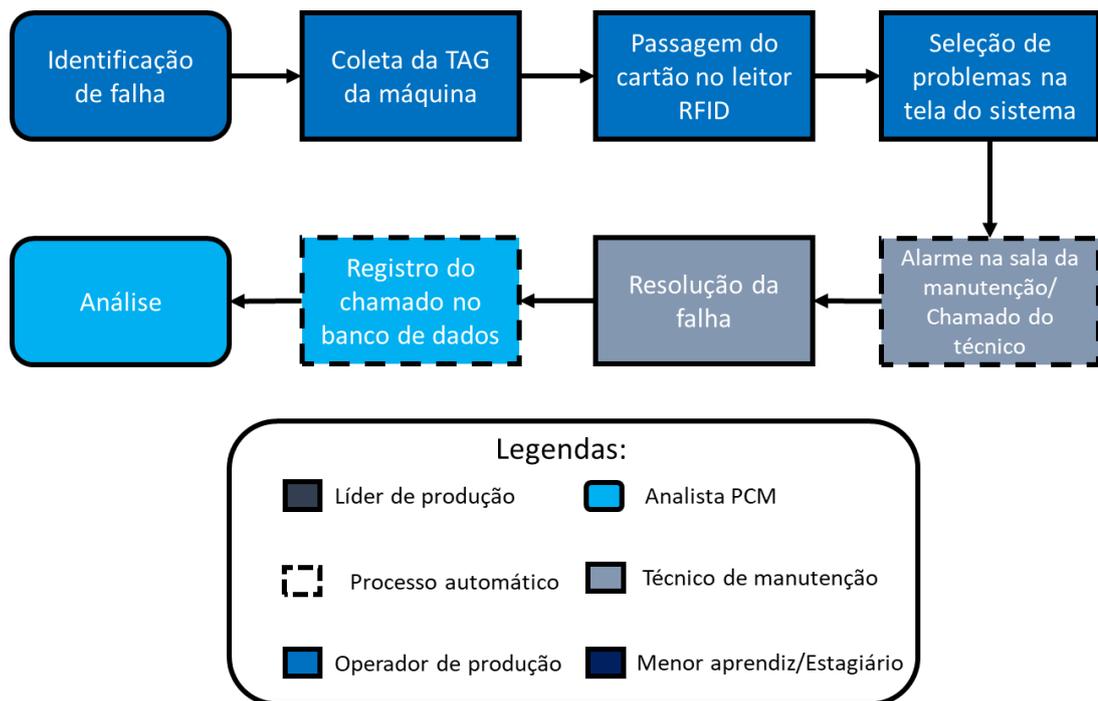
Fonte: Autoria própria

Sendo assim, é possível observar diversas oportunidades de melhoria, por meio do projeto do dispositivo. O protótipo desenvolvido terá foco em três aspectos principais: diminuição do tempo de ciclo, diminuição de partes envolvidas e padronização de registros.

3.2.2. Proposta de melhoria

A frase “Não se gerencia o que não se mede, não se mede o que não se define, não se define o que não se entende, e não há sucesso no que não se gerencia” creditada a Deming (Falconi, 2004) sintetiza a importância dos dados coletados em qualquer processo, sendo aplicável também à manutenção. Visando otimizar o procedimento existente, foi proposta uma automação do processo citado através de sistemas embarcados e tecnologia RFID. Com a implementação, o sistema passará a funcionar segundo a imagem apresentada na Figura 25:

Figura 25: Fluxo do sistema de solicitação de manutenção digital



Fonte: Autoria própria

A simplificação do processo tornará o mesmo muito mais preciso e simples, envolvendo apenas três pessoas, além de automatizar e padronizar duas etapas chave do processo, que são a transmissão de informações aos técnicos e o registro das falhas no sistema, o que permite com que as análises sejam realizadas de forma muito mais clara e detalhada.

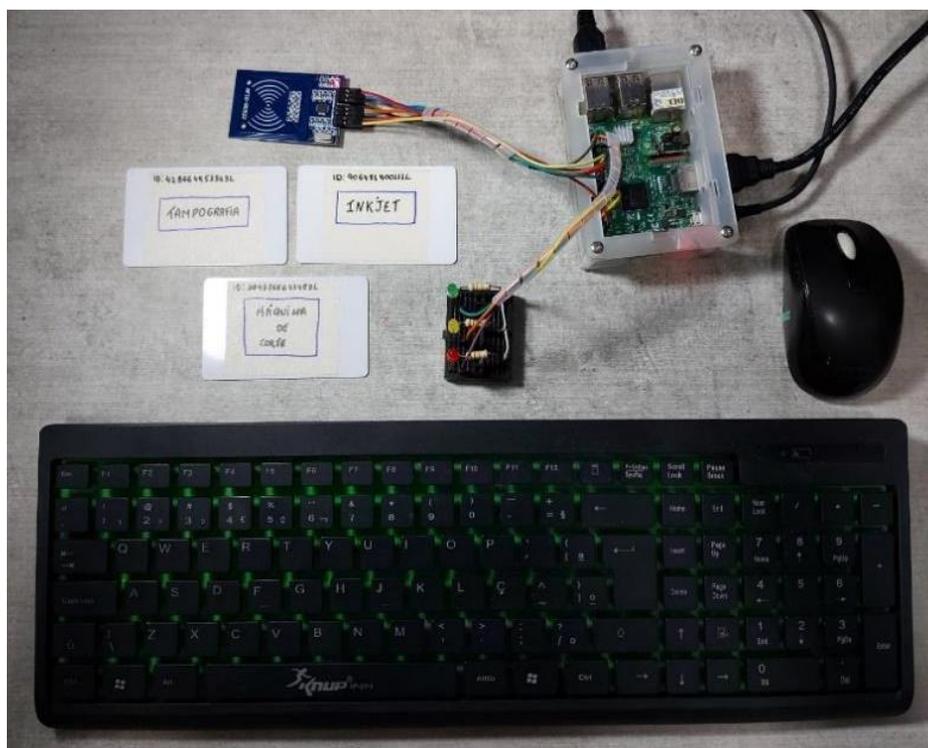
4. RESULTADOS OBTIDOS

No intuito de realizar a implementação do presente protótipo em ambiente não simulado, montou-se uma maquete com as principais funções envolvidas. Os materiais utilizados foram:

- Um Raspberry Pi 3 model B (com os periféricos associados – fonte de alimentação, mouse, teclado);
- Um módulo MFRC522 (leitor de etiquetas RFID);
- Três cartões/etiquetas RFID de 13,52Mhz para simular as etiquetas das máquinas;
- LEDs de sinalização para a tipologia de serviços (com seus resistores associados);
- Um terminal de vídeo, que neste protótipo foi utilizado como interface gráfica tanto para o operador de máquina, quanto para o time da manutenção.

Na Figura 26, é possível observar o hardware do protótipo em sua “versão alfa” (primeira versão testada).

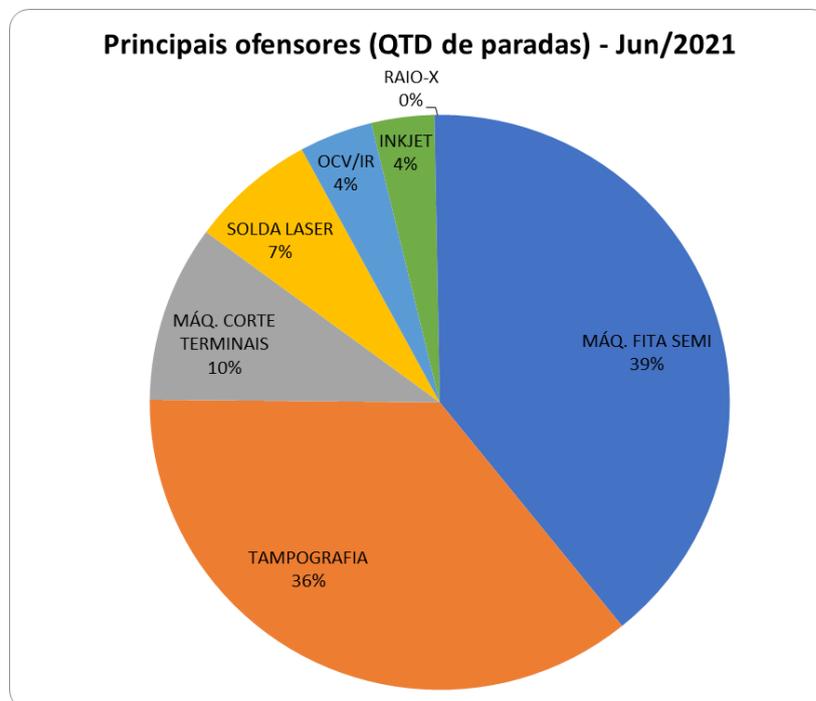
Figura 26: Hardware do protótipo



Fonte: Acervo pessoal

Como citado na seção anterior, foram considerados como base os principais ofensores em relação à quantidade de paradas, que foram a máquina de fita, tampografia e máquina de corte de terminais, respectivamente (Figura 27). Sendo assim, foram criadas três etiquetas (Figura 28), que têm como principal função dentro do protótipo identificar, através de estruturas condicionais (após serem passadas no leitor RFID), a qual máquina e a qual linha o operador de produção se refere. As mesmas, no caso de implementação em ambiente não simulado, deverão ser fixadas na máquina ou próximo a ela em um bolsão de acrílico (ou material equivalente) com as devidas identificações.

Figura 27: Principais ofensores em relação à quantidade de paradas em jun/2021



Fonte: Autoria própria

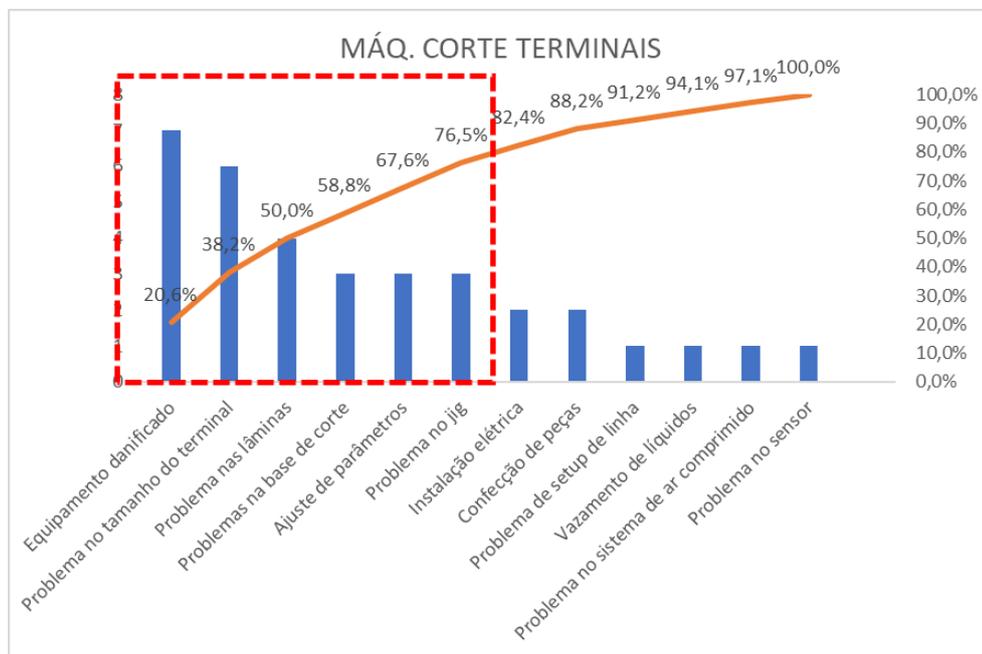
Figura 28: Etiquetas RFID das máquinas com maior recorrência de parada segundo dados de jun/2021



Fonte: Acervo pessoal

Após a identificação citada, precisou-se de um estudo aprofundado em cada uma das três máquinas, principalmente em relação aos seus gargalos de paradas emergenciais (levando em consideração que as paradas planejadas já estão registradas no plano de manutenção). Sendo assim, fez-se primeiramente uma padronização de todos os problemas coletados dos dados históricos do segundo semestre de 2021, para obter um banco de dados que permitisse análise. Em seguida, foi utilizado o método do Diagrama de Pareto para priorizar os itens que aparecerão na tela para o usuário, evitando com que haja certa confusão devido à grande quantidade de opções disponíveis (Figura 29).

Figura 29: Diagrama de Pareto utilizado para analisar e priorizar quais opções de falha aparecerão na tela para o operador



Fonte: Autoria própria

Para os dados não contemplados nos 80% tidos como prioritários, na interface do operador haverá uma opção “OUTROS”, sendo possível acessar todas as outras falhas. Porém, a análise do Diagrama de Pareto deverá ser refeita a cada trimestre ou caso tenha sido implementada alguma melhoria significativa no processo de manutenção, para garantir que os dados prioritários continuem relevantes e com o objetivo de manter um ciclo de melhoria contínua.

No tocante à interface do time da manutenção, pensou-se (além da utilização do monitor com as informações da solicitação) na utilização de sinalizadores

industriais de três cores, como mostrado na Figura 30, com a finalidade de aumentar a velocidade de captação da mensagem através de sinalizações complementares.

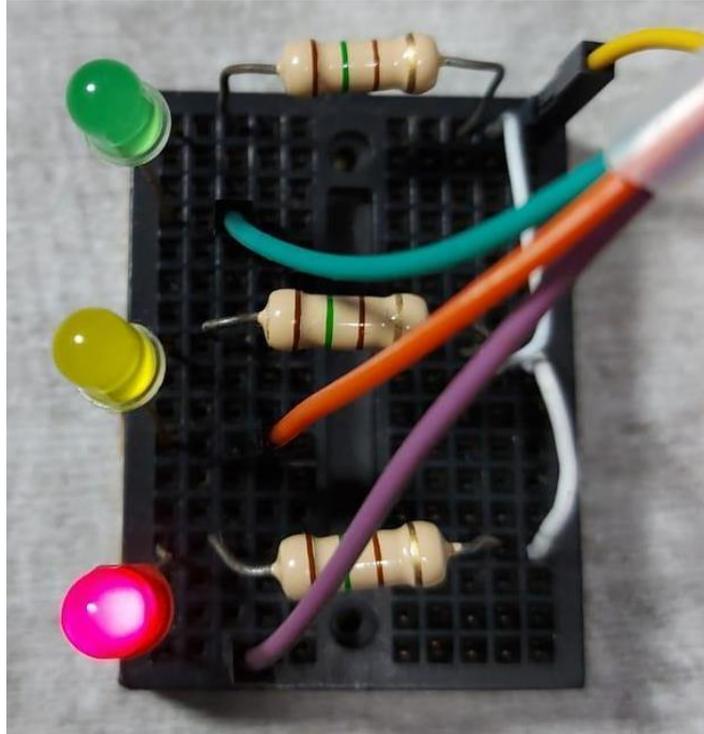
Figura 30: Torre luminosa de três cores



Fonte: Acervo pessoal

Para o protótipo implementado em ambiente simulado, foram utilizados três LEDs, no intuito de simular a sinalização complementar, como demonstrado na Figura 31.

Figura 31: LEDs utilizados no protótipo para simular a sinalização complementar ao time da manutenção



Fonte: Acervo pessoal

Após a explicação dos componentes que foram utilizados, os motivos que baseiam seu uso e alguns outros conceitos que foram levados em consideração na hora de desenvolvê-lo, deve-se entender também seu funcionamento de forma mais abrangente, demonstrando seu passo-a-passo e fazendo um paralelo com a realidade local da empresa, a fim de explicar o que foi pensado no momento da concepção do protótipo mostrado neste trabalho. Sendo assim, as etapas são as seguintes:

1. Quando o operador de linha de produção ver que o resultado do seu processo não está de acordo com o previsto. Ao identificar a falha, ele coleta o cartão que estará anexado na máquina e vai até o leitor que estará próximo à sala da manutenção. Este leitor estará dentro de um suporte e acima dele, existirá uma tela que mostrará a mensagem “Aproxime a *tag* da máquina”, após aproximá-la, o sistema identificará a máquina (a qual linha ele se refere) de onde ele coletou o cartão. Este processo pode ser observado na Figura 32:

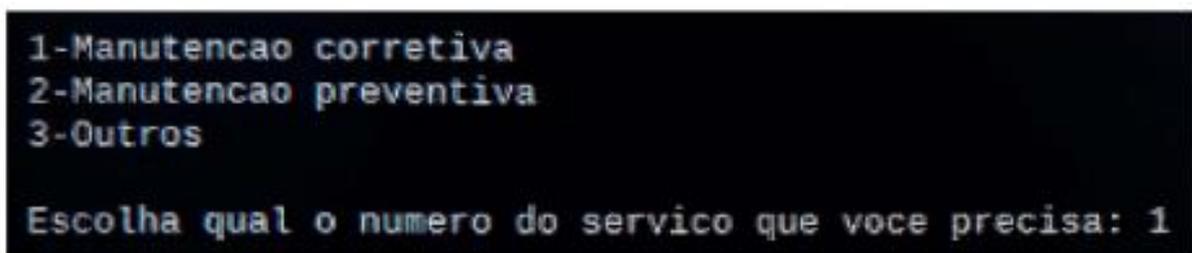
Figura 32: Etapa um da interface do operador



Fonte: Acervo pessoal

2. Após passar o cartão no leitor e identificar a qual máquina e linha o cartão passado se refere, aparecerão três opções para escolher (Figura 33) que poderão ser selecionadas através de um teclado numérico (Figura 34), sendo elas:
 - a. Manutenção corretiva - Deverá ser escolhida em casos de falhas funcionais, sendo este o foco principal do projeto;
 - b. Manutenção preventiva - Deverá ser escolhida em casos em que houver parâmetros em que o operador considera inadequado, como por exemplo vibrações, ruídos ou até mesmo falhas no ar comprimido;
 - c. Outros – Deverá ser escolhido para suportes esporádicos que não necessariamente afetam a linha de produção, como por exemplo a troca de tampões, troca de mantas antiestáticas e aterramento;

Figura 33: Etapa dois da interface do operador



Fonte: Acervo pessoal

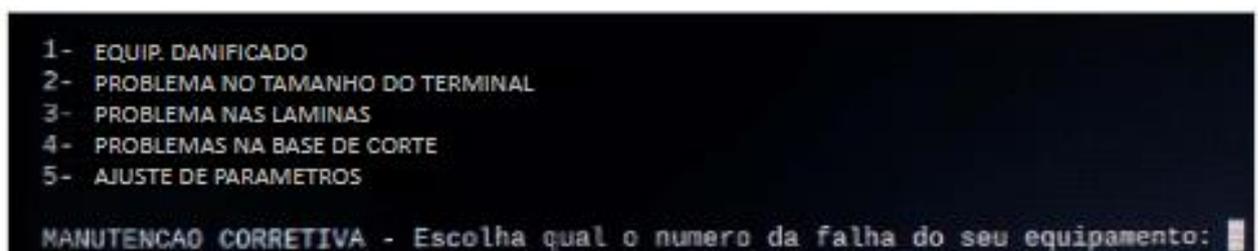
Figura 34: Teclado numérico que permitirá com que o operador selecione as opções da interface



Fonte: <https://www.amazon.com.br/Almofadas-num%C3%A9ricas-extens%C3%B5es-contabilidade-financeira/dp/B07RZZMV62>

3. Após escolher o número do serviço, aparecerá uma outra interface com cinco opções (Figura 35), sendo estas as falhas mais recorrentes, que foram destacadas pela técnica do Diagrama de Pareto demonstrada anteriormente, do mais recorrente ao menos recorrente, fazendo com que a escolha do operador seja a mais simples e interativa possível, garantindo praticidade e velocidade. Na interface final, haverá seis opções, pois levará em consideração a opção “outros”, que levará a uma página com outros defeitos recorrentes.

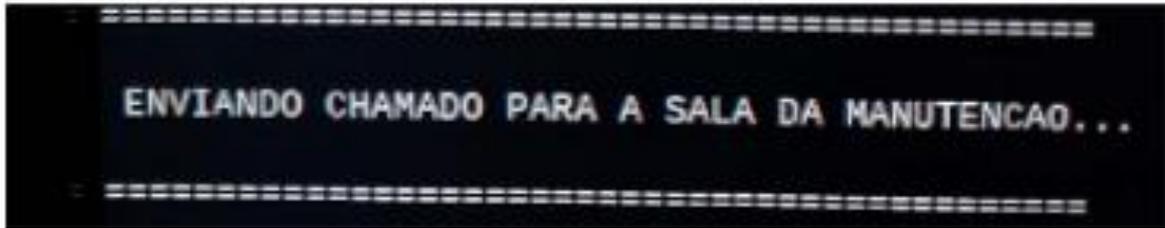
Figura 35: Etapa três da interface do operador



Fonte: Acervo pessoal

4. Após selecionar a falha, aparecerá uma mensagem como a demonstrada na Figura 36. Após isso, aparecerá uma mensagem de chamado enviado e a interface do operador voltará ao ponto um.

Figura 36: Etapa final da interface do operador



Fonte: Acervo pessoal

5. Ao final, as informações coletadas aparecerão na interface da sala da manutenção, mostrando todos os dados coletados pelo operador ao longo do processo (Figura 37). Além disso, a torre luminosa será acionada dependendo do tipo de solicitação (Vermelho – Manutenção corretiva; Amarelo – Manutenção preventiva; Verde - Outros). Os dados que irão aparecer na interface do time da manutenção são:
 - a. Número do chamado;
 - b. Qual máquina falhou;
 - c. De qual linha foi;
 - d. Qual foi a falha;
 - e. Qual a ferramenta necessária para resolver a falha (informação coletada através do histórico de falhas);
 - f. Qual habilidade é necessária para resolver a falha (informação coletada através do histórico de falhas);

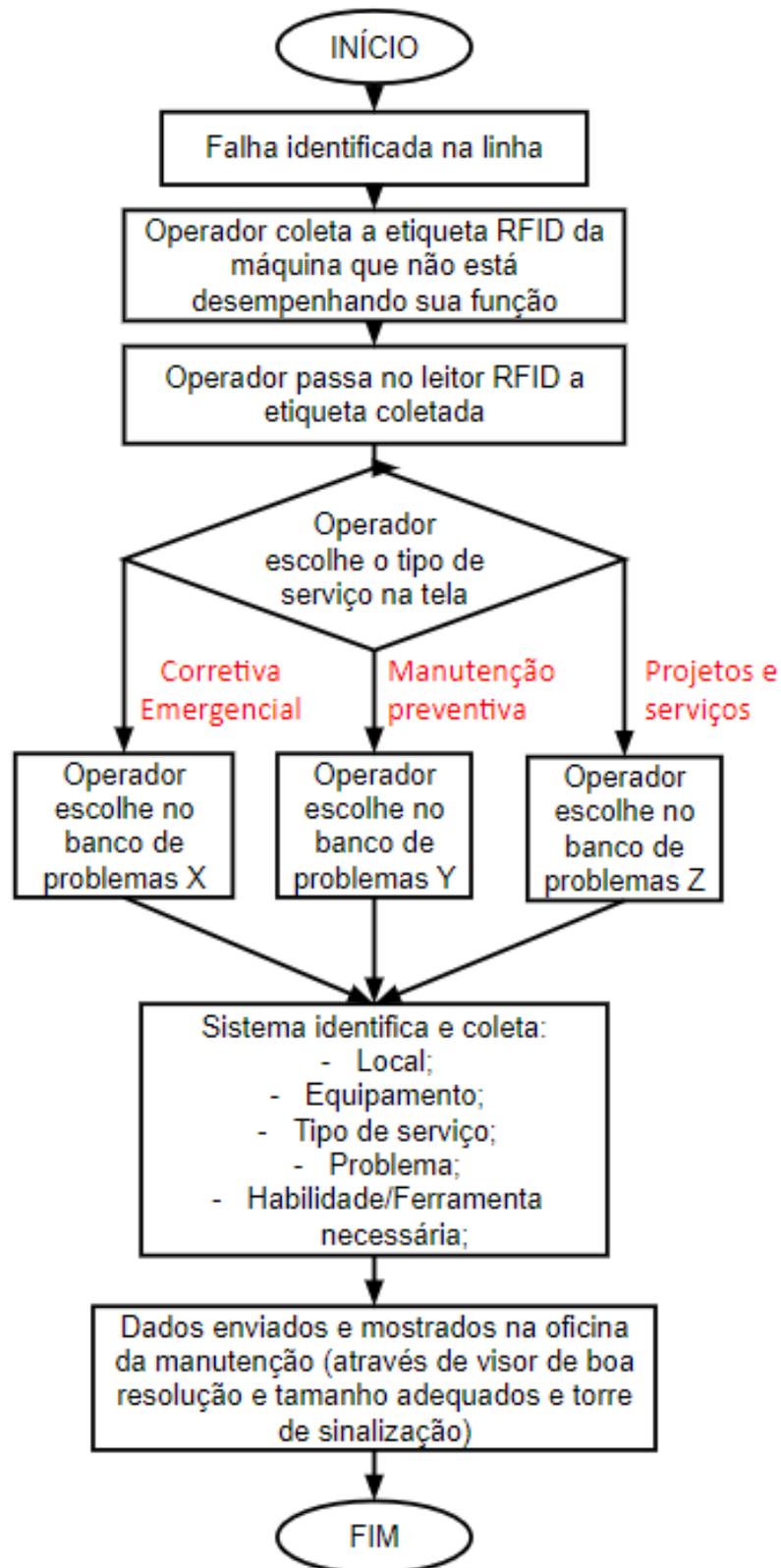
Figura 37: Interface da sala da manutenção

```
=====
OFICINA - MANUTENCAO:
Numero da Solicitacao de Servico:
1
Local da solicitacao:
Linha 1 - Equipamento: MAQ. DE CORTE T.
Servico solicitado:
Corretiva_Emergencial
Falha do equipamento:
PROBLEMA NO TAMANHO DO TERMINAL
Ferramentas necessarias:
Ferramenta 2
Habilidades necessarias:
Habilidade 2
```

Fonte: Acervo pessoal

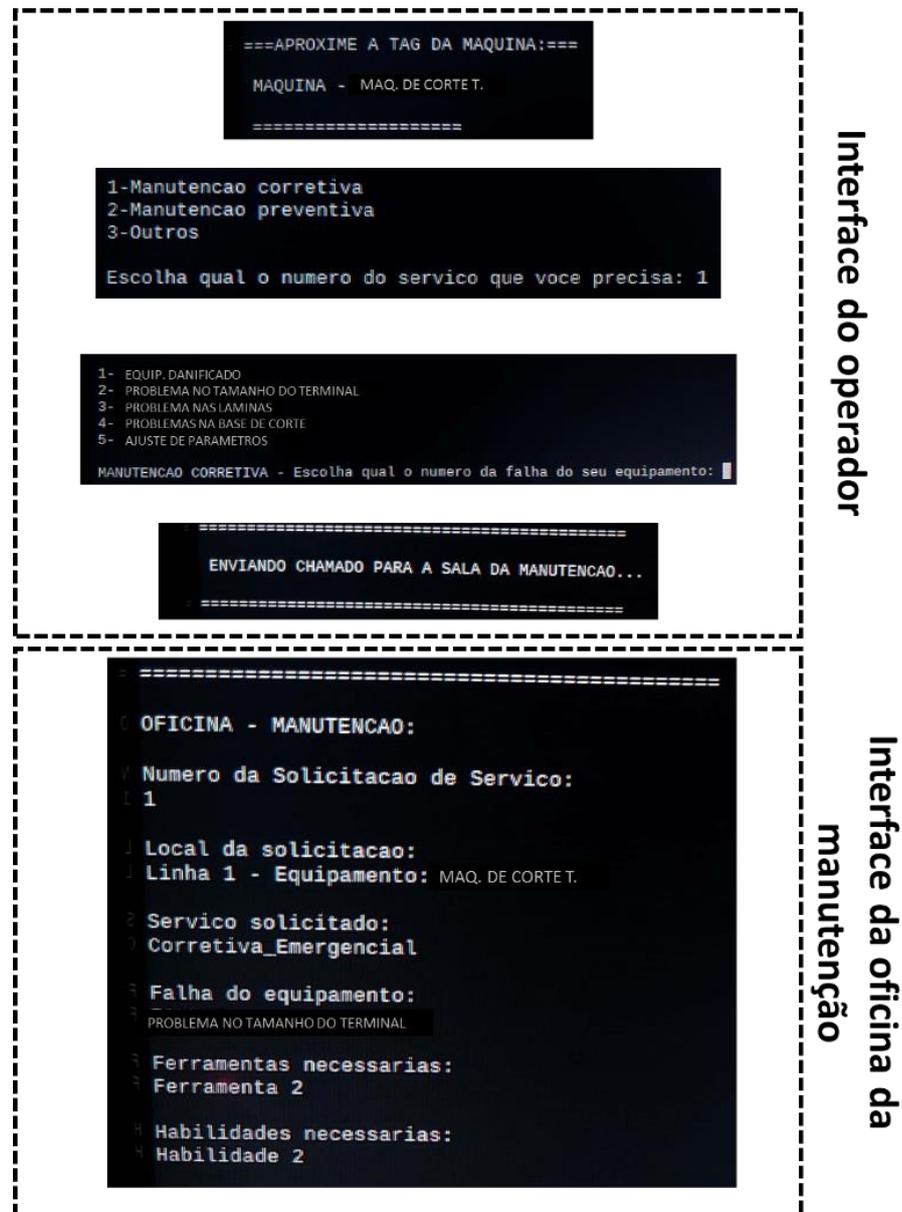
Por fim, pode-se analisar o fluxograma de funcionamento do projeto através da Figura 38 e a interface geral do sistema simulado na Figura 39.

Figura 38: Fluxograma de funcionamento do projeto



Fonte: Acervo pessoal

Figura 39: Interface geral do sistema simulado



Fonte: Acervo pessoal

Com as iterações realizadas em ambiente simulado, cada processo irá durar cerca de 60 segundos. Porém, levando-se em consideração o deslocamento do operador em locais de escala real, é possível aproximar o tempo do ciclo de solicitação de manutenção em cerca de 2 a 3 minutos. Logo, utilizando os mesmos dados coletados anteriormente (74 paradas emergenciais por mês), tem-se um tempo gasto de 3,1 horas por mês, o que significa uma redução de 70,59% no tempo despendido em ciclos de solicitação de manutenção mensalmente, o que pode ser traduzido, conseqüentemente, em:

- *Downtime* (tempo de parada) da linha de produção reduzido;
- Lucro cessante reduzido;

Além dos dois benefícios citados, com a digitalização do processo é possível eliminar outros dois grandes problemas: o número de pessoas envolvidas no processo, reduzindo de cinco para três, fazendo com que seja possível realocar de forma inteligente os recursos humanos para outras atividades como projetos de melhoria contínua e análises de falha, além da padronização dos registros, o que torna os dados mais simples de serem analisados e confiáveis.

4.1. Análise econômica

Primeiramente, observou-se os custos relacionados ao sistema manual de solicitação de manutenção, o qual só possui um único custo de consumível relacionado, que são as etiquetas. Trimestralmente, eram compradas mais de 1200 etiquetas, dependendo dos estoques remanescentes, o que custou em média à empresa (levando em consideração dados de 2021) R\$980/trimestre e R\$3920 anualmente.

Já ao analisar a implementação do sistema proposto neste trabalho, devemos identificar os componentes necessários e seus custos associados:

- *Raspberry pi 3B* – R\$576,30 (A unidade) / R\$1152,60 (uma unidade para coletar as informações provenientes da linha de produção e outra unidade para receber os dados coletador e projetar no monitor da sala de manutenção);
- Leitor de RFID MFRC522 – R\$18,50;
- *Tags* RFID- R\$7,51 (A unidade) / R\$135,18 (uma unidade para cada máquina de uma linha de produção);
- Torre luminosa – R\$254,05;
- Monitores 19.5" – R\$499,99 (A unidade) / R\$999,98 (um para a interface do operador e outro para a interface do time da manutenção);
- Teclado numérico – R\$44,90;

- Cabos HDMI- R\$12,90 (A unidade) / R\$25,80 (um para a interface do operador e outro para a interface do time da manutenção);

Ao final do levantamento, pode-se assumir que a implementação do projeto piloto em uma linha de produção custaria a empresa, aproximadamente R\$2618,11, fazendo com que o tempo estimado para o investimento gerar retornos suficientes para cobrir seu custo (*Payback*) fosse de, aproximadamente, 8 meses, levando-se em consideração apenas o custo associado às etiquetas. Já o retorno sobre investimento (ROI), fica na faixa de 49,72%, demonstrando assim a viabilidade econômica do projeto citado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo apresentar uma alternativa prática, eficiente e economicamente viável para o sistema de solicitação de manutenção manual implementado em uma indústria do ramo de baterias no Polo industrial de Manaus, com o intuito de otimizar e trazer ganhos de eficiência ao processo.

Durante o desenvolvimento do trabalho, pôde-se realizar a análise do sistema de solicitação manual existente na empresa e seus principais gargalos através do estudo de dados gerados pelo método e observações *in loco*, subdividir em partes menores uma linha de produção, identificando os principais componentes e máquinas que necessitam do apoio da manutenção, padronizando e analisando dados as informações, além da descrição de um método de solicitação de manutenção simples e eficaz que tem possibilidade de diminuir o *downtime* da linha de produção (caso implementado) em 70,59%, financeiramente viável (sendo o ROI de 49,72% e o *Payback* de 8 meses) e plenamente capaz de permitir expansões e melhorias continuamente através da programação do sistema embarcado usado no sistema. Por fim, foi possível descrever um protótipo capaz de substituir o método atual de solicitação de manutenção manual através da digitalização e consequente padronização de alguns processos chave, sendo este, capaz de criar ordens de serviço para os técnicos e alertá-los dentro da sala de manutenção (fornecendo dados relativos à máquina, local, problema e habilidade/ferramenta necessária). Porém, devido à limitações técnicas e de tempo, não foi possível realizar a implementação do envio das ordens de serviço coletadas para o banco de dados.

Para trabalhos futuros, vê-se como essencial a implementação do banco de dados para registro e consulta dos dados gerados pelo sistema, além do desenvolvimento da interface gráfica para os operadores de produção e para o time da manutenção. Outro tópico interessante a ser explorado é um sistema de fechamento de solicitação de manutenção (com registro de soluções de falhas, tempo de serviço) acoplado ao sistema apresentado, para que seja possível mensurar alguns indicadores de manutenção como MTBF (*Mean time between failure* – Tempo médio entre falhas), MTTR (*Mean Time to Repair* – Tempo Médio de Reparo), Homem-Hora empregado por tipo de manutenção, confiabilidade, entre outros, o que permitirá uma melhoria expressiva no setor, além de facilitar as análises.

6. BIBLIOGRAFIA

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da Produção. São Paulo: Atlas, 2002. 703 p

FACCIO, M.; PERSONA, A.; Sgarbossa, F.; Zanin, G. Industrial maintenance policy development: A quantitative framework. Jan. 2014, V. 147, p 85-93.

OTANI, M.; MACHADO, W. V. A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. Revista Gestão Industrial. Vol.4, n.2, 2008.

Sherwin, D. J. 2000. A review of overall models for maintenance management. Journal of Quality in Maintenance Engineering. 2000, Vol. 6, 138 -164.

HANSEN, R.C. Overall Equipment Effectiveness: a powerful production/maintenance tool for increased profits. 1ed. Nova Iorque: Industrial Press, 2001.

Seleme, Robson. 2015. Manutenção Industrial, mantendo a fábrica funcionando. Curitiba: Intersaberes, 2015.

Portal da Indústria (CNI). A importância da indústria para o Brasil. 2022. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/importancia-da-industria/>. Acesso em: 20/09/2022

ANGELES, Rebecca. Rfid Technologies: *Supply-Chain Applications and Implementation Issues*. *Information Systems Management*. dez. 2005, v. 22, n. 1, p.51-65.

CALDEIRA, Bruno. ALTA DISPONIBILIDADE – REPLICAÇÃO DE DADOS VIA MYSQL, COM ÊNFASE EM IDENTIFICAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE FALHAS. 2006. P. 14.

DUCHOVNI, D., et al. Identificação por Rádio Frequência: RFID. São Paulo: PUC-Campinas, 2006.

FALCONI, Vicente. Gerenciamento pelas diretrizes, 5ª edição. Belo Horizonte: INDG, 2004.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. Manutenção Função Estratégica, 4ª edição. Rio de Janeiro: Quality mark, 2013.

COSTA, Mariana. GESTÃO ESTRATÉGICA DA MANUTENÇÃO: UMA OPORTUNIDADE PARA MELHORAR O RESULTADO OPERACIONAL. 2013. P. 21.

Teles, Jhonata. Curva PF: O que é e como usar. 2018. Disponível em: <https://engeteles.com.br/curva-pf/>. Acesso em: 31 de julho de 2022.

OLIVEIRA, Andre; ANDRADE, Fernando. Sistemas Embarcados: Hardware e Firmware na prática. 2ª edição. São Paulo: Érica, 2010. 320p.

Raspberry PI. Compre um Raspberry PI. 2017. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/products/>>. Acesso em: 10 de março de 2022.

RESENDE, Andre; DIAS, Lucas. MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM): CONSIDERAÇÕES SOBRE CASOS DE SUCESSO. XXXIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2014. P. 7-8.

REZENDE, Ricardo. Conceitos Fundamentais de Banco de Dados. 2006. Disponível em: <<https://www.devmedia.com.br/conceitos-fundamentais-de-banco-de-dados/1649#:~:text=Segundo%20Korth%2C%20um%20banco%20de,tenho%20um%20banco%20de%20dados.>>. Acesso em: 15 de março de 2022