

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS  
GERAIS - *CAMPUS* BETIM  
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Thalles Victor Patricio de Oliveira Silva

**APRIMORAMENTO DO PROCESSO DE BOMBEAMENTO DE TINTA EM UMA  
INDÚSTRIA AUTOMOTIVA: Desenvolvimento de um Sistema de Controle por  
PLC para Garantia de Segurança e Eficiência Operacional**

Betim

2023

THALLES VICTOR PATRICIO DE OLIVEIRA SILVA

**APRIMORAMENTO DO PROCESSO DE BOMBEAMENTO DE TINTA EM UMA  
INDÚSTRIA AUTOMOTIVA: Desenvolvimento de um Sistema de Controle por  
PLC para Garantia de Segurança e Eficiência Operacional**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia de Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Bruno de Souza Baptista  
Coorientador: Felipe Augusto Rocha da Silva

Betim

2023

## FICHA CATALOGRÁFICA

S586a Silva, Thalles Victor Patricio de Oliveira  
Aprimoramento do processo de bombeamento de tinta em uma indústria automotiva: desenvolvimento de um sistema de controle por PLC para garantia de segurança e eficiência operacional / Thalles Victor Patricio de Oliveira Silva. – 2023.

58 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Câmpus Betim, 2023.

Orientador: Prof. Me. Bruno de Souza Baptista  
Coorientador: Prof. Me. Felipe Augusto Rocha da Silva

1. PLC. 2. Eficiência operacional. 3. Indústria automobilística. 4. Pintura industrial. 5. Engenharia mecânica. I. Silva, Thalles Victor Patricio de Oliveira. II. Título.

CDU: 681.5



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS**  
**Campus Betim**  
**Diretoria de Ensino**  
**Docentes Mecânica**  
Rua Itamarati - CEP 32677-564 - Betim - MG  
3135976360 - www.ifmg.edu.br

## **ATA DE DEFESA DO TCC**

Aos **19** dias do mês de **dezembro** do ano de **2023**, às **20:00** horas, sob a presidência de Bruno de Souza Baptista, o discente Thalles Victor Patrício de Oliveira Silva do Curso de **Engenharia Mecânica**, R.A n° **0035284** do IFMG – Campus Betim, defendeu o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “**APRIMORAMENTO DO PROCESSO DE BOMBEAMENTO DE TINTA EM UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA: Desenvolvimento de um Sistema de Controle por PLC para Garantia da Segurança e Eficiência Operacional**” e foi **APROVADO** com a nota **80**, que está condicionada ao cumprimento dos procedimentos pós-defesa do TCC.

Caso seja aprovado, deverá apresentar o trabalho com as devidas modificações em formato pdf, em **01/02/2024** (20 dias corridos após a data da defesa - ampliado devido ao período de férias docente) à Coordenação de TCC. O não cumprimento dos procedimentos pós-defesa de TCC até a data estipulada, implica em atribuição de nota ZERO e consequente REPROVAÇÃO.

Alterações sugeridas pela banca examinadora e outras observações pertinentes à defesa foram entregues ao discente no dia da defesa.

Betim, 14 de dezembro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Bruno de Souza Baptista, Professor**, em 20/12/2023, às 16:06, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Felipe Augusto Rocha da Silva, Professor Visitante**, em 20/12/2023, às 17:38, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Helbert Ribeiro de Sa, Professor**, em 26/02/2024, às 17:35, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Norimar de Melo Verticchio, Professor**, em 28/02/2024, às 14:08, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1773213** e o código CRC **52EE72F8**.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, que me abençoou nesta jornada e me capacitou para alcançar meus objetivos.

À minha família, pelo apoio imensurável neste período de aprendizado.

Ao IFMG, que ao longo de todos esses anos, me instruiu e direcionou em todo o conhecimento adquirido.

Agradeço aos meus orientadores, Prof.(a) Dr. Felipe Augusto Rocha da Silva, e ao Prof.(a) Me. Bruno de Souza Baptista, pela sabedoria e companheirismo, guiando-me e aconselhando-me. Aos meus colegas de sala, meu agradecimento.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo aprimorar o processo de bombeamento de tinta em uma indústria automotiva, visando garantir maior segurança operacional e eficiência na produção. Para atingir esse objetivo, foi desenvolvido e implementado um Sistema de Controle por PLC. Os métodos envolveram a escolha e integração de sensores de indução, amplificadores e outros dispositivos necessários para a automação do sistema. Os resultados obtidos destacaram avanços significativos na prevenção de acidentes e na consistência da produção. A introdução desse sistema promoveu ganhos substanciais em termos de segurança operacional e eficiência no bombeamento de tinta, representando um grande progresso para a indústria automotiva.

**Palavras-chave:** Controle por PLC, Bombeamento de Tinta, Indústria Automotiva, Segurança Operacional, Eficiência na Produção.

## **ABSTRACT**

This work aims to enhance the paint pumping process in an automotive industry, aiming to ensure greater operational safety and production efficiency. To achieve this goal, a PLC Control System was developed and implemented. The methods involved the selection and integration of induction sensors, amplifiers, and other devices necessary for the automation of the system. The results obtained highlighted significant advances in accident prevention and production consistency. The introduction of this system brought substantial gains in terms of operational safety and efficiency in paint pumping, representing an essential progress for the automotive industry.

**Keywords:** PLC Control, Paint Pumping, Automotive Industry, Operational Safety, Production Efficiency.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Conceito de Automação .....	19
Figura 2 - Ciclo de varredura de um PLC .....	21
Figura 3 - Símbolos utilizados na programação Ladder.....	23
Figura 4 - Formas de energia em um sensor .....	24
Figura 5 - Variação de temperatura de forma analógica .....	24
Figura 6 - Leitura da posição de um objeto por um encoder incremental .....	25
Figura 7 - Fluxograma de produção de tintas à base de solvente .....	27
Figura 8 - 7 passos do pilar Melhoria Focada.....	28
Figura 9 - Diagrama de Circulação de Tinta .....	33
Figura 10 - Diagrama de Circulação de Tinta com os Sensores.....	33
Figura 11 - Radar de Projeto do Time.....	34
Figura 12 - Diagrama de Ishikawa .....	36
Figura 13 - 5 Porquês .....	37
Figura 14 - Sensor Indutivo NCN3-F31k-N4 .....	39
Figura 15 - Amplificador de comutação KFD2-SR2-EX2.2 .....	40
Figura 16 - Suporte Desenvolvido via Software Siemens NX .....	41
Figura 17 - Suporte 2 Desenvolvido via Software Siemens NX .....	42
Figura 18 - Acionador e Porca .....	42
Figura 19 - Etapa 1 da programação em linguagem Ladder.....	45
Figura 20 - Etapa 2 da programação em linguagem Ladder.....	45
Figura 21 - Etapa 3 da programação em linguagem Ladder.....	46
Figura 22 - Programação do Sistema de Controle em Ladder.....	46
Figura 23 - Levantamento de Custo de Materiais .....	48
Figura 24 - Imagem do Sistema de Controle .....	50
Figura 25 – Três vistas do Suporte 1 Fonte: Do próprio autor (2023).....	57
Figura 26 - Três vistas do Suporte 2 Fonte: Do próprio autor (2023).....	58

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

PLC - Programmable Logic Controller

3D - Três Dimensões

AISI - American Iron and Steel Institute

V1 - Válvula 1

V2 - Válvula 2

IFMG – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais

Boll – Bolleano

NF – Normalmente Fechado

CPU - Unidade Central de Processamento

IMC - International Electrotechnical Commission

5W1H – Que, quem, quando, onde, por que e como

5G – Gemba, Gembutsu, Genjitsu, Genri, Gensoku

4M - Mão de obra, Materiais, Máquinas e Métodos.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- 5W1H .....	35
Tabela 2 - Cronograma de Desenvolvimento do projeto.....	38
Tabela 3 - Variáveis do Sistema de Controle .....	44

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1	<b>Justificativa</b> .....	14
1.2	<b>Colocação do Problema</b> .....	15
1.3	<b>Objetivos</b> .....	16
1.3.1	<b><i>Objetivo Geral</i></b> .....	16
1.3.2	<b><i>Objetivos Específicos</i></b> .....	16
1.4	<b>Organização do Trabalho</b> .....	17
1.5	<b>Abordagem Metodológica</b> .....	18
2	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	19
2.1	<b>Automação Industrial</b> .....	19
2.2	<b>Controle por PLC</b> .....	20
2.2.1	<b><i>Entradas de PLC</i></b> .....	22
2.2.2	<b><i>Saídas de PLC</i></b> .....	22
2.3	<b>Ladder</b> .....	23
2.4	<b>Sensores</b> .....	23
2.5	<b>Pintura industrial</b> .....	25
2.6	<b>Processo de Pintura</b> .....	25
2.7	<b>Melhoria Focada</b> .....	27
2.7.1	<b>Radar Chart</b> .....	28
2.7.2	<b><i>Kaizen</i></b> .....	29
2.7.3	<b><i>5G</i></b> .....	29
2.7.4	<b><i>5W1H</i></b> .....	29
2.7.5	<b><i>4M</i></b> .....	30
2.7.6	<b><i>5 Porquês</i></b> .....	30
2.7.7	<b><i>Objetivo smart</i></b> .....	31
3	<b>METODOLOGIA</b> .....	32
3.1	<b>Identificação das maiores perdas</b> .....	32

3.2	<b>Identificação das perdas individuais</b> .....	32
3.3	<b>Seleção do tema</b> .....	33
3.4	<b>Seleção da equipe</b> .....	34
3.5	<b>Desenvolvimento do Projeto</b> .....	34
3.5.1	<b><i>Definição do fenômeno</i></b> .....	35
3.5.2	<b><i>Estudo do sistema</i></b> .....	36
3.5.3	<b><i>Definir o objetivo</i></b> .....	37
3.5.4	<b><i>Análise das causas</i></b> .....	37
3.5.5	<b><i>Implementações de ações</i></b> .....	38
3.5.5.1	Sensor de Indução .....	38
3.5.5.2	Amplificador de Chaveamento .....	39
3.5.5.3	Suporte .....	40
3.5.5.4	Acionador .....	42
3.5.5.5	PLC .....	43
3.5.6	<b><i>Sustentabilidade</i></b> .....	47
3.6	<b>Análise de custo e benefício</b> .....	47
3.7	<b>Monitoramento e Expansão Horizontal</b> .....	48
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	50
4.1	<b>Sistema de Controle</b> .....	50
4.2	<b>Implementação do Sistema de Controle</b> .....	51
4.3	<b>Impactos Potenciais e Estratégias de Monitoramento Futuro</b> .....	51
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	52
	REFERÊNCIAS .....	54
	APENDICE A – PROJETO DOSUPORTE 1 .....	57
	APENDICE B – PROJETO DOSUPORTE 2 .....	58

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria automobilística, caracterizada por sua constante busca por inovação tecnológica, passou por uma significativa transformação desde os anos 80, impulsionada pela robotização e automação (MAINIER, 1997). Esse avanço resultou na substituição de tarefas repetitivas por robôs e máquinas, evidenciando o compromisso com a eficiência operacional e a qualidade dos produtos.

Contudo, a crescente pressão por otimização de tempo, melhoria na qualidade e reforço da segurança ganha ainda mais relevância, especialmente diante do contexto competitivo da indústria automotiva. A busca por eficiência não apenas reflete o compromisso com a excelência operacional, mas também atende às demandas cada vez mais rigorosas das legislações de segurança do trabalho, as quais impõem padrões elevados para garantir ambientes laborais seguros e em conformidade. Nesse cenário, o desafio específico no processo de bombeamento de tinta em uma indústria automotiva assume uma dimensão crucial, considerando que a gestão adequada desses aspectos não só fortalece a competitividade, mas também assegura o cumprimento de normas e regulamentações. Nesse contexto, surge o desafio específico no processo de bombeamento de tinta em uma indústria automotiva. O risco de rompimento do sistema representa não apenas ameaça à eficiência operacional, mas também potenciais impactos financeiros significativos, a segurança operacional e a interrupção crítica da produção.

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo central o desenvolvimento de um sistema de controle por PLC que visa o monitoramento do fechamento das válvulas de retorno de um sistema abastecimento de tinta, evitando o aumento indesejado de pressão do sistema, com possível rompimento do mesmo caso a operação das válvulas seja inadequada. A escolha por esse sistema visa não apenas a solução do problema identificado, mas também uma abordagem que combine eficiência, adaptabilidade e custos viáveis. A implementação bem-sucedida desse sistema garantiu a segurança operacional, mas também contribuiu para a continuidade eficiente do processo de bombeamento de tinta na indústria automotiva.

## 1.1 Justificativa

O presente trabalho, que versa sobre o aprimoramento do processo de bombeamento de tinta em uma indústria automotiva, reveste-se de relevante importância para diversos segmentos, incluindo a segurança industrial, o meio acadêmico, a implementação da automação industrial e o impulso ao avanço tecnológico.

No âmbito da segurança industrial, a pressão excessiva nas tubulações de bombeamento representa uma ameaça palpável aos trabalhadores e à integridade dos equipamentos. A implementação do sistema proposto permitiu o controle preciso dos parâmetros de pressão, possibilitando uma atuação rápida diante de situações críticas. Esse avanço não apenas contribuiu para um ambiente de trabalho mais seguro, mas também promoveu a proteção dos equipamentos, prevenindo perdas significativas, além de um monitoramento constante do sistema em operação.

No meio acadêmico, engenheiros e estudantes encontrarão neste trabalho uma valiosa complementação para seus estudos, seja na teoria ou na prática. O desenvolvimento do sistema proporcionará uma oportunidade única de aplicação prática de conhecimentos teóricos, favorecendo o desenvolvimento de habilidades e preparando futuros profissionais para os desafios da indústria.

No contexto da automação industrial, o uso de PLCs destaca-se como uma ferramenta para a execução eficiente e precisa de tarefas complexas de controle e monitoramento. Esse avanço tecnológico não apenas moderniza as indústrias, mas também abre portas para inovações futuras, impulsionando a automação industrial a novos patamares.

Além disso, contribuiu para a sustentabilidade na indústria, minimizando perdas de produtos e aprimorando a eficiência dos processos. Ao promover práticas mais sustentáveis, o desenvolvimento deste sistema alinha-se com as demandas contemporâneas por responsabilidade ambiental e eficiência operacional.

Dessa forma, este trabalho não apenas aborda um desafio específico na indústria automotiva, mas também representa uma contribuição valiosa para a segurança, a academia, a automação industrial e a promoção da sustentabilidade na indústria como um todo.

## 1.2 Colocação do Problema

O sistema de bombeamento de tinta desempenha um papel em processos industriais, especialmente na indústria automotiva. Ele consiste em uma rede intrincada de tubulações, válvulas e bombas projetadas para transportar tinta de reservatórios para pontos de aplicação. Essas tubulações são conectadas a uma série de válvulas, permitindo o controle preciso do fluxo de tinta. O sistema é alimentado por uma bomba elétrica que impulsiona a tinta através das tubulações. O controle eficiente desse processo é importante para garantir a distribuição adequada de tinta, evitando desperdícios e mantendo a qualidade na aplicação. Este trabalho concentra-se na aprimoração desse sistema, especificamente na implementação de um sistema de controle por PLC para monitorar e evitar problemas decorrentes do fechamento inadequado das válvulas de retorno. Quando essa situação ocorre, a tinta que se dirige ao retorno não tem um caminho de escape, resultando em um aumento perigoso da pressão que pode culminar no rompimento do sistema.

Essa problemática não apenas representa uma ameaça à segurança dos trabalhadores e à integridade dos equipamentos, mas também impacta diretamente a eficiência operacional na indústria automotiva. A interrupção da produção e as possíveis perdas de tempo produtivo tornam imperativa a busca por uma solução eficiente.

Diante desse cenário, surge a necessidade de desenvolver um sistema de controle por PLC capaz de detectar o fechamento simultâneo das válvulas de retorno e evitar o aumento excessivo de pressão. A pergunta que norteia este trabalho é: Como podemos garantir a segurança e a eficiência operacional no setor de pintura de uma indústria automotiva, desenvolvendo um sistema de controle eficiente, utilizando PLC, que processará o fechamento simultâneo das válvulas de retorno?

Uma abordagem alternativa para enfrentar esse desafio consiste na implementação de um sistema de controle por PLC, que utiliza sensores de indução nas válvulas de retorno. Ao detectar o fechamento simultâneo dessas válvulas, o sistema seria capaz de desligar a bomba elétrica, interrompendo o bombeamento de tinta e evitando o aumento de pressão no sistema. Esta proposta destaca-se como uma solução viável, especialmente quando confrontada com as limitações anteriormente encontradas durante o processo de avaliação de alternativas. Anteriormente, considerou-se a implementação de um sensor de pressão e a adoção

de um sistema de alívio de pressão mecânico. No entanto, essas opções mostraram-se impraticáveis devido à necessidade contínua de circulação de tinta 24 horas por dia no sistema de bombeamento. Essas alternativas mais invasivas demandaria a paralisação da circulação, resultado em problemas adversos como o risco de ressecamento da tinta nas tubulações. A solução proposta não apenas supera essas limitações, mas também oferece a vantagem adicional de um sistema de alerta e mensagens direcionadas para a manutenção, aumentando a eficiência global e fornecendo uma resposta ágil diante de situações críticas. Essa abordagem representa, portanto, uma estratégia promissora para aprimorar o processo de bombeamento de tinta na indústria automotiva.

### **1.3 Objetivos**

Os objetivos deste trabalho estão delineados para promover uma abordagem abrangente e eficiente na análise, projeto e implementação de um sistema de controle por PLC para otimizar o processo de bombeamento de tinta em uma indústria automotiva. A seguir, descreve-se o objetivo geral e os objetivos específicos que orientarão esta pesquisa.

#### ***1.3.1 Objetivo Geral***

O objetivo geral deste trabalho é analisar, projetar e implementar um sistema de controle por PLC para aprimorar o processo de bombeamento de tinta em uma indústria automotiva. O foco principal é garantir a segurança operacional e a eficiência do sistema, mitigando os desafios associados ao fechamento simultâneo das válvulas de retorno.

#### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

Realizar Levantamento Bibliográfico: Aprofundar o levantamento bibliográfico para incluir não apenas informações básicas, mas também avançadas sobre bombas de tintas, sistemas de alimentação, PLCs e as especificidades da indústria automotiva. Aplicar os 7 passos da melhoria focada para identificar oportunidades de aprimoramento nessa etapa.

**Analisar o Processo de Bombeamento:** Realizar uma análise detalhada do processo de bombeamento de tinta, identificando de forma mais específica os desafios e problemas associados ao fechamento simultâneo das válvulas de retorno. Utilizar técnicas de gestão para priorizar e resolver os problemas identificados.

**Projetar e Implementar o Sistema:** Detalhar o processo de projeto e implementação do sistema de controle por PLC, incluindo aspectos técnicos, escolha de componentes, e integração com o sistema existente na indústria automotiva. Aplicar os princípios de gestão de projetos para garantir o sucesso da implementação.

**Desenvolver os Algoritmos de Controle:** Explorar em detalhes o desenvolvimento dos algoritmos de controle, fornecendo insights sobre as lógicas adotadas para desligar automaticamente a bomba elétrica, acionar o sinal luminoso e enviar mensagens de aviso para manutenção. Utilizar técnicas de análise e melhoria de processos para otimizar os algoritmos desenvolvidos.

**Integrar o Processo:** Destacar os desafios específicos enfrentados durante a integração do sistema de controle por PLC ao processo existente na indústria automotiva. Certificando que a integração seja suave e eficiente. Certificar que a integração seja suave e eficiente, aplicando os 7 passos da melhoria focada para identificar e resolver possíveis conflitos ou obstáculos.

**Testar e Avaliar:** Especificar os métodos e critérios utilizados para realizar testes e avaliações, garantindo uma abordagem abrangente para verificar a eficácia do sistema na segurança operacional e melhoria da eficiência do processo. Utilizar ferramentas de gestão da qualidade para avaliar os resultados dos testes e propor ajustes, se necessário.

**Documentar dos Resultados:** Explicitar o formato e abrangência da documentação dos resultados obtidos, assegurando uma compreensão clara do impacto do sistema de controle por PLC na indústria automotiva. Aplicar princípios de gestão de conhecimento para garantir que os resultados sejam documentados de forma organizada e acessível para todas as partes interessadas.

#### **1.4 Organização do Trabalho**

O restante do trabalho será organizado da seguinte maneira:

**Introdução:** A introdução, que serve como ponto de partida, será brevemente recapitulada. Como a identificação do problema, os objetivos propostos, a justificativa

do estudo e a clara colocação do problema na indústria automotiva, serão revisados de maneira sucinta.

**Revisão Bibliográfica:** Neste capítulo, além de revisar a literatura associada às bombas de tintas, sistemas de alimentação, PLCs e à indústria automotiva, será dada ênfase à revisão de práticas de gestão e metodologias de melhoria contínua aplicáveis ao contexto do projeto. Será destacada a importância de abordagens gerenciais, como os 7 passos da melhoria focada, para embasar o desenvolvimento do sistema de controle proposto.

**Metodologia:** A metodologia adotada para atingir os objetivos propostos será descrita, destacando a integração das práticas de gestão ao processo de desenvolvimento do sistema de controle. Além disso, será evidenciada a importância dessas abordagens na consecução dos resultados almejados. A arquitetura do sistema, os componentes utilizados e os algoritmos de controle desenvolvidos serão apresentados, demonstrando como esses aspectos técnicos se alinham com as práticas gerenciais estabelecidas. A aplicação dos 7 passos da melhoria focada será detalhada como parte integrante da metodologia, garantindo uma abordagem abrangente e estruturada para o desenvolvimento do projeto.

**Resultado e Discussão:** O capítulo concentra nos resultados do sistema.

**Conclusão:** Resume os principais resultados obtidos, discute as contribuições do trabalho e aponta para possíveis direções futuras, será apresentado como uma reflexão abrangente sobre o estudo, consolidando as descobertas e proporcionando uma visão clara do impacto do trabalho.

## **1.5 Abordagem Metodológica**

O desenvolvimento deste trabalho foi orientado pelos princípios dos "7 passos de melhoria focada", uma metodologia reconhecida por proporcionar uma abordagem estruturada e sistemática para a resolução de problemas complexos. Esses passos incluem uma análise aprofundada do problema, a identificação e seleção de soluções, o desenvolvimento de planos de implementação, testes meticulosos e avaliação contínua. A aplicação desses passos proporcionou uma base sólida para a concepção e implementação do sistema.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Automação Industrial

Segundo Abreu (2002), a automação é um sistema independente da intervenção humana que utiliza uma base de comandos programados para executar processos específicos. Essa abordagem desempenha um papel crucial na economia global, contribuindo para a redução de trabalhos pesados e prejudiciais do ponto de vista ergonômico. Além disso, a autonomia conferida pela automação aprimora as condições de trabalho, proporcionando benefícios significativos tanto para a produtividade quanto para o bem-estar dos colaboradores.

Rosario (2009) comenta que a verdadeira revolução aconteceu com o surgimento das máquinas, especialmente após a introdução da máquina a vapor, consolidando a automação nas indústrias e impulsionando significativamente a produtividade e qualidade. No início do século XX, Henry Ford criou a linha de montagem do modelo T, visando aumentar a produtividade, reduzir os custos de produção e garantir a segurança dos trabalhadores ao realizar tarefas perigosas. A substituição dos esforços humanos por dispositivos e softwares representou um marco importante nesse processo evolutivo. A Figura 1 representa esse conceito por meio da interdisciplinaridade das áreas afins.

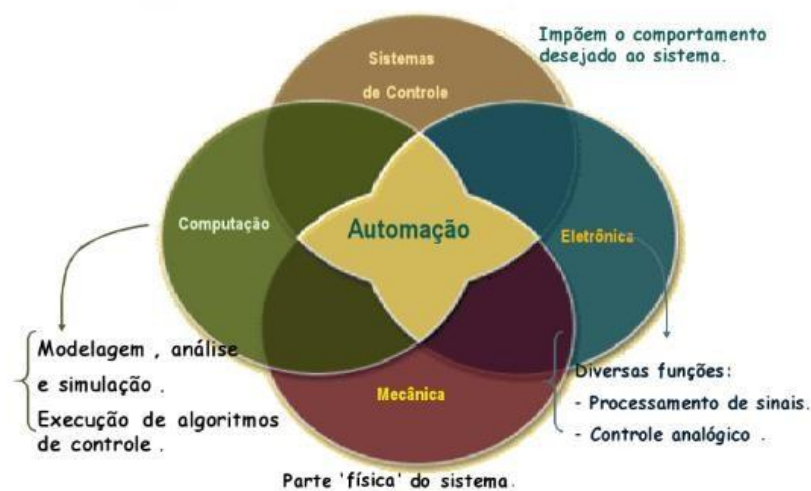


Figura 1 - Conceito de Automação  
Fonte (ROSARIO, 2009):

Considerando as metas da automatização industrial, conforme apontado por Costa (2003), a automatização da indústria procura alcançar alguns objetivos: segurança, controle, melhoria, flexibilidade e produtividade. Emerge como um caminho irrefutável, pois, uma vez que as metas são alcançadas, a melhoria contínua se torna incontestável. Torna-se evidente que não apenas a necessidade, mas também o desejo de retroceder para estruturas mais antigas torna-se obsoleto.

No âmbito industrial, Lamb (2015) destaca que a automação traz consigo uma extensa lista de vantagens, remodelando os processos produtivos para promover eficiência. A substituição de tarefas monótonas ou excessivamente pesadas por sistemas automatizados não só aprimora a eficiência operacional, mas também a qualidade das condições de trabalho. Além disso, a automação oferece soluções para ambientes perigosos e tarefas que ultrapassam as capacidades humanas, contribuindo para a segurança dos trabalhadores. Essa transformação resulta em uma produção mais ágil e eficaz, reduzindo a dependência de mão de obra. A integração de inspeções e verificações nos sistemas automatizados destaca-se, proporcionando produtos mais uniformes e aprimorando o controle estatístico do processo. A automação surge como uma resposta eficaz, imune a doenças e capaz de enfrentar diversos desafios no cenário industrial.

Barrientos (2004) argumenta que a automação industrial traz consigo uma série de vantagens, como aumento da produtividade, melhoria da qualidade, redução de custos e segurança dos trabalhadores. No entanto, a automação industrial também enfrenta críticas relacionadas à potencial redução de postos de trabalho. O autor afirma que essa preocupação é válida, pois a eficácia da automação depende da presença de mão de obra qualificada. Por exemplo, a automação de um motor pode melhorar seu desempenho, mas também torna seu uso mais complexo, exigindo treinamento específico para funcionários.

## **2.2 Controle por PLC**

Conforme estabelecido pela IEC 61131-1, International Electrotechnical Commission (2003), os PLCs são definidos como sistemas eletrônicos digitalmente operados, especialmente projetados para aplicação em ambientes industriais. Esses dispositivos utilizam uma memória programável para armazenar internamente instruções direcionadas ao usuário, possibilitando a implementação de funções

específicas, tais como lógica, sequencial, temporização, contagem e aritmético. A finalidade primordial dessas funcionalidades é o controle de máquinas ou processos por meio de entradas e saídas digitais ou analógicas. Tanto o controlador programável quanto seus periféricos associados são projetados para garantir uma fácil integração em sistemas de controle industrial, proporcionando uma utilização descomplicada em todas as suas funções específicas. Os PLCs foram criados para atender as necessidades das indústrias automobilísticas (ZANCAN, 2011).

Silva (2007) apresenta uma visão geral do funcionamento do PLC, explicando que o mesmo opera de forma sequencial, realizando um ciclo de varredura em várias etapas. Cada etapa do ciclo é executada de maneira isolada, inativando as demais. O tempo total para completar esse ciclo, denominado CLOCK, justifica a necessidade de processadores mais velozes. A operação começa com a verificação da CPU, memórias, circuitos auxiliares, estado das chaves e a presença de um programa de usuário, emitindo alertas de erro se necessário. Posteriormente, todas as saídas são desativadas, e a varredura cíclica verifica o estado das entradas, identificando acionamentos. O PLC, então, compara as instruções do programa do usuário, determinando as ações correspondentes aos acionamentos das entradas, atualizando a memória imagem das saídas. Finalmente, as saídas são acionadas ou desativadas conforme as instruções da CPU, iniciando um novo ciclo operacional.



Figura 2 - Ciclo de varredura de um PLC  
Fonte: (SILVA, 2007)

A Figura 2, apresentada por Silva (2007), ilustra o ciclo de varredura do PLC.

### **2.2.1 Entradas de PLC**

As entradas de PLC são interfaces essenciais. Elas recebem dados do ambiente externo, permitindo que monitore e controle sistemas automatizados (SILVA, 2016). Esses dados podem ser provenientes de uma variedade de dispositivos, como botoeiras, contatos de relés, sensores e encoders. As entradas de PLC podem ser classificadas em dois tipos: digitais e analógicas.

- Entradas digitais recebem sinais discretos, ou seja, que só possuem dois valores: ligado ou desligado. Esses sinais são representados numericamente por 0 ou 1, sendo 0 o nível baixo e 1 o nível alto (SILVA, 2007). Exemplos de entradas digitais incluem botoeiras, contatos de relés e sensores de presença.
- Entradas analógicas recebem sinais contínuos, podendo assumir qualquer valor entre o mínimo e o máximo valor de trabalho da entrada. Exemplos de entradas analógicas incluem sensores de temperatura, sensores de pressão e sensores de nível (SILVA, 2007).

### **2.2.2 Saídas de PLC**

As saídas de PLC são interfaces essenciais para a operação de PLCs. Elas enviam dados para o ambiente externo, possibilitando que o PLC controle dispositivos e atue sobre o processo automatizado (SILVA, 2016). As saídas de PLC também podem ser classificadas em dois tipos: digitais e analógicas.

- Saídas digitais enviam sinais discretos, ou seja, que só possuem dois valores: ligado ou desligado. Exemplos de saídas digitais incluem bobinas de relés, bobinas de contadores e válvulas solenoides (SILVA, 2016).
- Saídas analógicas enviam sinais contínuos, podendo assumir qualquer valor entre o mínimo e o máximo valor de trabalho da saída. Exemplos de saídas analógicas incluem motores de velocidade variável, válvulas proporcionais e displays gráficos (SILVA, 2007).

## 2.3 Ladder

Da Silva (2007) afirma que a linguagem Ladder foi desenvolvida inicialmente para simular diagramas elétricos. A linguagem é composta por linhas verticais que representam os polos positivo e negativo de uma bateria ou fonte de alimentação. Sendo uma das cinco linguagens definidas no padrão IEC 61131, que estabelece requisitos para sistemas que utilizam PLCs modernos, tanto em hardware quanto em software. A linguagem foi criada a partir da transcrição dos símbolos e expressões existentes nos antigos circuitos lógicos de relés, com o objetivo de manter a programação simples e próxima do método utilizado até então (LUIS, 1997). Segundo Martins (2019), a principal característica da linguagem Ladder é o processamento cíclico e gradativo de comandos, com compactação de blocos. A Figura 3 ilustra a correspondência dos símbolos utilizados na programação Ladder.






Símbolo	Nome	Descrição
	Contato aberto (NA)	Contatos normalmente abertos são aqueles contatos que em seu estado de repouso não "deixa" conduzir energia;
	Contato Fechado (NF)	Contatos normalmente fechados são aqueles contatos que em seu estado de repouso "deixa" conduzir energia;
	Bobina	É ativada quando a combinação de contatos, que há na entrada, permite. Sua análise é a seguinte: "1" para bobina energizada e "0" para bobina desenergizada.
	Bobina (SET)	Uma vez ativada não pode ser desativada, a não ser que seja dado um comando de "RESET".
	Bobina (RESET)	Permite desativar uma bobina "SET" previamente ativada.

Figura 3 - Símbolos utilizados na programação Ladder  
Fonte: (ABB, 2023)

## 2.4 Sensores

Wendling (2010) explica que o termo "sensor" se refere a dispositivos que são sensíveis a algum tipo de variável física do ambiente controlado, como luz, calor, cinética e outros tipos. Isso os ajuda a relacionar informações sobre grandezas físicas

como temperatura, pressão, velocidade, corrente, tensão, aceleração e etc. A figura 4 demonstra as formas de energia de um sensor.

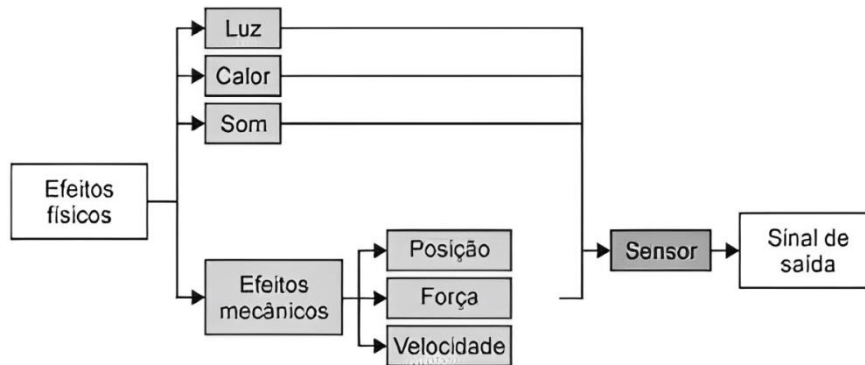


Figura 4 - Formas de energia em um sensor  
Fonte: (THOMAZINI, 2020)

Segundo Wendling (2010), desde que esteja dentro de sua faixa de operação, o sensor pode assumir qualquer valor de sinal ao longo do tempo é definido como sensor analógico. Circuitos eletrônicos específicos são usados para captar essas variáveis sensíveis. A Figura 5 mostra a variação de temperatura de forma analógica.

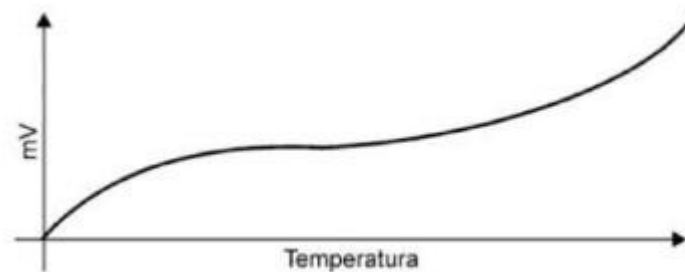


Figura 5 - Variação de temperatura de forma analógica  
Fonte: (THOMAZINI, 2020)

O sensor digital pode dar ao seu sinal de saída apenas dois valores diferentes, que podem ser interpretados como zero ou um, de acordo com Wendling (2010). Embora esses valores não possam ser assumidos por grandezas físicas, eles são mostrados ao sistema de controle por meio de um circuito eletrônico, normalmente um comparador. A decodificação destes valores discretos “1” e “0” podem ser utilizados para detecção de passagem de objetos, encoders para medir distância ou velocidade e assim por diante. A Figura 6 ilustra a leitura da posição de um objeto por um encoder incremental.

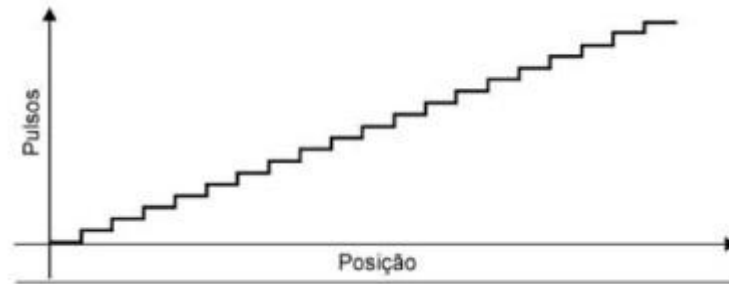


Figura 6 - Leitura da posição de um objeto por um encoder incremental  
 Fonte: (THOMAZINI, 2020)

## 2.5 Pintura industrial

De acordo com Mekal (2023), a pintura industrial pode ser definida como um processo utilizado para diversas finalidades, incluindo proteção anticorrosiva, coloração, impermeabilização, controle da rugosidade, condução elétrica e absorção de calor. A Mekal afirma que o processo de pintura industrial é um processo delicado que requer atenção em alguns pontos para que se obtenha uma boa pintura. Esses pontos incluem a preparação da superfície, a escolha da tinta adequada e a aplicação correta da tinta.

## 2.6 Processo de Pintura

Tintas são materiais aplicados a superfícies para protegê-las, sinalizar, iluminar ou embelezá-las, podem ser definidas como películas, filmes ou camadas poliméricas compostas principalmente de resina, pigmentos, cargas, solventes e aditivos (FAZENDA, 2009; NASCIMENTO, 2004).

De acordo com Analytics Brasil (2019), na indústria é frequente a utilização de dois tipos de tinta: tintas à base de água e tintas à base de óleo ou solventes. As tintas à base de água têm como principal solvente a água, sendo cerca de 15% da composição formada por solventes orgânicos, normalmente oxigenados. As tintas à base de óleo apresentam solventes orgânicos em cerca de 75% da sua composição, sendo fabricadas com óleos vegetais e os solventes mais comuns são hidrocarbonetos derivados do petróleo.

Segundo Kopeliovich (2014), todos os tipos de tinta são compostos por quatro componentes principais:

- Resina: "O componente principal da tinta é a resina, que forma uma película protetora sobre a superfície" (FAZENDA, 2009; NASCIMENTO, 2004)
- Pigmentos: "Os pigmentos são responsáveis pela cor da tinta. Eles podem ser orgânicos ou inorgânicos" (FAZENDA, 2009)
- Solventes: "Os solventes são necessários para dissolver a resina e os pigmentos. Eles também podem ajudar a controlar a viscosidade da tinta" (FAZENDA, 2009)
- Aditivos: "Os aditivos são substâncias que conferem à tinta propriedades específicas, como resistência ao calor ou à água" (FAZENDA, 2009)

O processo de fabricação de tinta automotiva envolve as seguintes etapas, conforme descrito por Abrafati (2018) e Nascimento (2004):

- Separação e pesagem: as matérias-primas são separadas e pesadas de acordo com as especificações de fabricação
- Pré-mistura: as matérias-primas são misturadas em um recipiente adequado para formar uma pasta homogênea
- Moagem: a mistura é moída para formar uma pasta fina
- Completagem: a pasta é completada com aditivos, como secantes e agentes anticorrosivos
- Acerto de cor: a cor da tinta é ajustada para atender às especificações do cliente
- Controle de qualidade: a tinta é testada para garantir que atenda aos padrões de qualidade
- Filtração e enlatamento: a tinta é filtrada para remover impurezas e enlatada para armazenamento e transporte

Na figura 7 é apresentado um fluxograma do processo de fabricação de tintas à base de solventes.

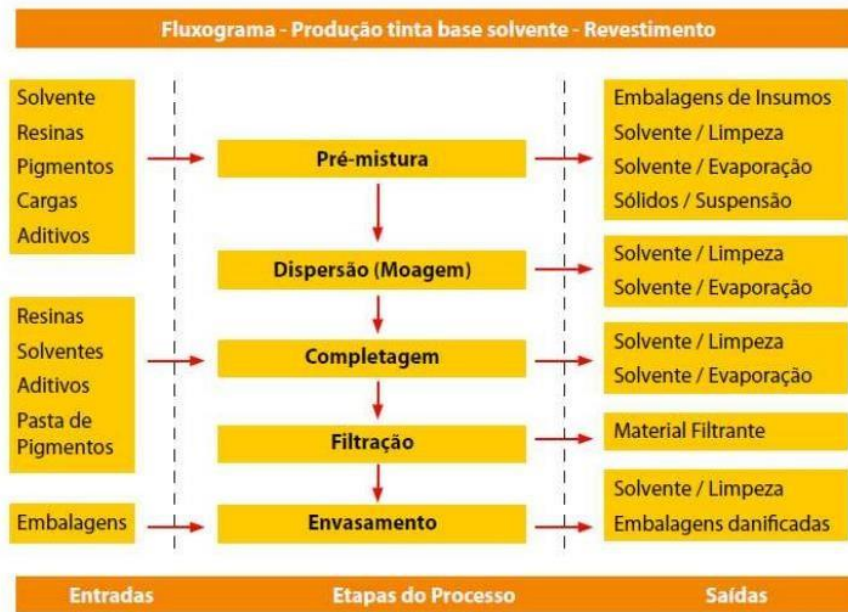


Figura 7 - Fluxograma de produção de tintas à base de solvente  
Fonte: (CANAUD, 2007)

## 2.7 Melhoria Focada

Segundo Keegan (2014), melhoria Focada é uma metodologia poderosa que resolve problemas específicos e identificáveis rapidamente, gerando resultados a curto prazo e reduzindo custos significativamente. Ela complementa o Desdobramento de Custos, mitigando perdas e otimizando processos. Através de projetos direcionados e métodos específicos, elimina perdas, melhora a qualidade e soluciona problemas de diferentes complexidades, impulsionando a produtividade, a eficiência e a competitividade da empresa. A metodologia se estrutura em sete etapas interligadas, cada uma com um conjunto específico de técnicas, métodos e ferramentas para solucionar problemas de diferentes naturezas. A Figura 8 ilustra o diagrama da metodologia, que leva em consideração a complexidade das causas e a frequência do problema em questão.

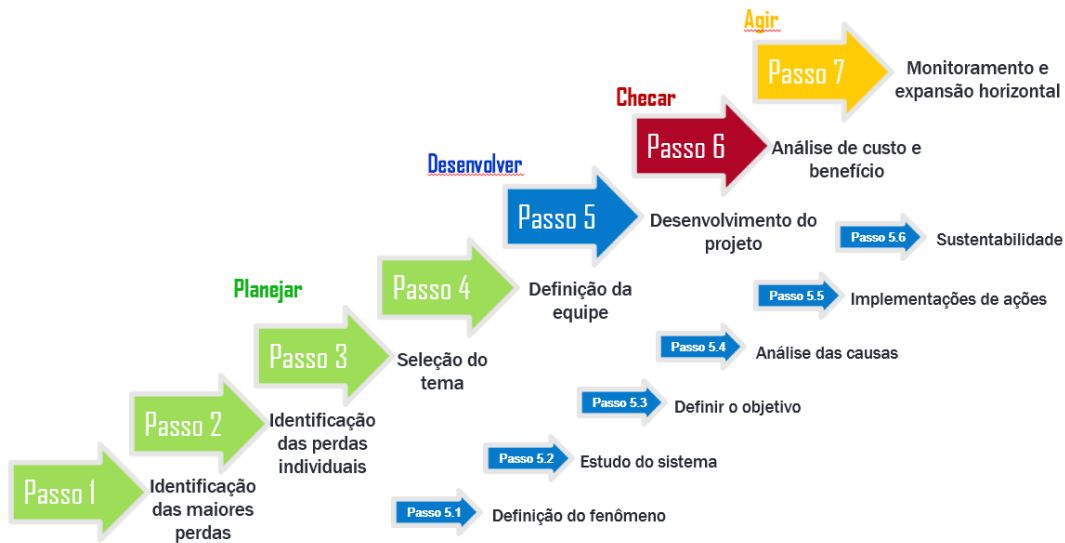


Figura 8 - 7 passos do pilar Melhoria Focada  
Fonte: (CANAUD, 2007)

Para uma efetiva implementação da metodologia são utilizadas diversas ferramentas de apoio, dentre as quais foram aplicadas no desenvolvimento deste trabalho: Radar Chart, Kaizen, 5G, 5W1H, 4M, 5 Porquês e Objetivo smart

### 2.7.1 Radar Chart

Mendes (2017) salienta que, no desenvolvimento de um projeto, é fundamental que o líder e o coach realizem uma avaliação conjunta para identificar as "principais vozes do radar" que serão úteis ao projeto. Essa avaliação tem como objetivo definir o time multifuncional com base em critérios técnicos de competências.

O autor destaca que o Radar Chart é uma ferramenta que permite "ponderar as habilidades do time de forma sintética e gráfica" (MENDES, 2017). A ferramenta apresenta quais pontos a serem melhorados para que cada membro da equipe alcance a capacitação necessária para sua função.

Dessa forma, a aplicação do Radar Chart está diretamente relacionada ao desenvolvimento profissional da equipe, pois possibilita um melhor direcionamento de tarefas e uma adequação mais precisa entre funcionário e cargo.

### **2.7.2 Kaizen**

Segundo Marchwinski e Shook (2003), o termo Kaizen significa "melhorar um fluxo de valor ou de um processo, com o intuito de aumentar o seu valor agregado diminuindo os desperdícios". Através da aplicação de seus princípios, os processos são modificados para se tornarem mais eficientes e eficazes.

O planejamento é fundamental para o sucesso da filosofia Kaizen. Tapping e Shuker (2010) argumentam que o processo de planejamento permite que as melhorias sejam alcançadas e os esforços dos colaboradores sejam reconhecidos. Para tanto, as ideias de melhoria do fluxo de valor devem ser divididas em etapas, o que facilita a implementação eficaz dos planos Kaizen.

### **2.7.3 5G**

Voitto (2024) apresenta a Ferramenta 5G como uma metodologia de investigação de problemas que se baseia em cinco passos para analisar processos e validar se estão padronizados e funcionando da melhor maneira possível. A ferramenta é utilizada para analisar fenômenos de desperdícios e perdas, como defeitos, anormalidades no funcionamento, panes, danos e irregularidades. Os cinco passos da Ferramenta 5G são conhecidos por Gemba, Gembutsu, Genjitsu, Genri e Gensoku.

Voitto (2024) argumenta que a Ferramenta 5G é apenas uma das diversas ferramentas utilizadas na aplicação dos pilares técnicos e gerenciais do World Class Manufacturing. A aplicação dos 5G visa o cumprimento de normas e padrões. Para que essas normas sejam consideradas adequadas, é necessário ir até o posto de trabalho e analisar como os processos estão de fato acontecendo. Em seguida, realiza-se uma análise crítica para estabelecer quais tarefas são mais adequadas e eficazes nos processos daquele sistema produtivo.

### **2.7.4 5W1H**

Conforme Oliveira (1995), o plano de ação 5W1H é um documento que visa destacar as ações necessárias e atribuir responsabilidades a cada participante envolvido. É essencial ressaltar que um plano de ação eficaz deve esclarecer o que precisa ser feito e quando. Caso sua implementação envolva mais de uma pessoa, é

fundamental designar claramente quem será responsável por cada ação, a fim de evitar possíveis dúvidas. Além disso, o plano deve conter justificativas para as atividades, detalhar os métodos de execução e indicar os locais onde serão realizadas. A estruturação do 5W1H deve permitir uma identificação rápida dos elementos essenciais para a implantação do projeto. Esta nomenclatura é uma abreviação das palavras em inglês: what (o que será feito), how (como cada tarefa/etapa será realizada), why (porque a tarefa deve ser executada), where (onde cada etapa será executada), when (quando cada tarefa será realizada) e who (quem será responsável pela execução das tarefas).

#### **2.7.5 4M**

Segundo a Equipe MindMeister (2022), o método 4M é uma ferramenta de análise de problemas que se baseia em quatro categorias principais: Material, Método, Máquina e Mão de obra (Homem). Material refere-se aos recursos tangíveis necessários para alcançar um objetivo ou resolver um problema. Método envolve as táticas e abordagens utilizadas para utilizar os materiais e contribuir para melhorias. Máquina representa equipamentos e ferramentas maiores que também desempenham um papel importante na produção. Mão de obra (Homem) refere-se às pessoas que utilizam materiais e máquinas para executar os métodos. O método 4M foi proposto por Kaoru Ishikawa e é amplamente utilizado para analisar problemas específicos em áreas como marketing e produção empresarial. A aplicação do método 4M nos ajuda a entender como esses quatro elementos interagem e contribuem para alcançar nossos objetivos.

#### **2.7.6 5 Porquês**

O método dos 5 porquês, frequentemente utilizado no sistema de produção da Toyota, busca identificar a causa raiz de um problema, indo além dos sintomas visíveis (OHNO, 1997). Weiss (2011) simplifica o processo em cinco passos:

- Iniciar a análise com a declaração do problema que se deseja compreender.
- Indagar por que a situação mencionada anteriormente é verdadeira.
- Para cada razão fornecida que explica por que a afirmação anterior é verdadeira, questionar novamente o porquê.

- Prosseguir com os questionamentos sucessivos até que não seja mais possível identificar novas razões.
- O encerramento das respostas para os questionamentos significa que a causa raiz foi identificada.

### **2.7.7 Objetivo smart**

Segundo Paiva (2016), esta ferramenta sugere a definição colaborativa de metas e objetivos, envolvendo não apenas os gestores, mas todos os participantes do processo de produção. Essa abordagem contribui para uma melhor estruturação dos objetivos, facilitando sua implementação de forma mais eficiente e ágil.

### **3 METODOLOGIA**

Este capítulo apresenta o desenvolvimento orientado pelos 7 passos de melhoria focada

#### **3.1 Identificação das maiores perdas**

A análise inicial concentrou-se na identificação precisa das principais perdas operacionais relacionadas ao fechamento inadequado das válvulas de retorno. Este ponto ganhou ainda mais relevância após o incidente de 20 de abril de 2021, quando ocorreu um rompimento em três pontos críticos do sistema de distribuição de tinta. Os locais afetados incluíram o sistema de alimentação do robô do esmalte 2, os filtros do esmalte 1 e o transbordo na central de abastecimento. Este incidente foi atribuído ao aumento excessivo da pressão devido ao fechamento inadequado das válvulas de retorno por um operador. Essa ocorrência realçou a importância crucial de abordar e solucionar os desafios associados a esse aspecto específico do sistema, reforçando a necessidade de melhorias substanciais.

#### **3.2 Identificação das perdas individuais**

O entendimento do fluxo de trabalho revelou que o problema central reside nas válvulas de retorno. Com um único misturador operando por vez e trocas frequentes de tanque, o risco de erro humano no momento do fechamento das válvulas é ampliado. Esse fechamento inadequado pode resultar em um aumento de pressão, ocasionando rompimentos nos pontos mais vulneráveis do sistema. O sistema de circulação de tinta inicia com a adição de massa de tinta, aditivos e o retorno de toda a tinta pelo sistema de retorno. Esse conjunto é misturado e bombeado para as linhas de produção, conhecidas como esmalte, passando por diversos filtros ao longo do trajeto. Ao chegar à linha de produção, é utilizado no processo de pintura das carrocerias. Devido ao ciclo contínuo do sistema, a tinta não utilizada é redirecionada para o misturador. A Figura 9 ilustra o Diagrama de Circulação de Tinta.

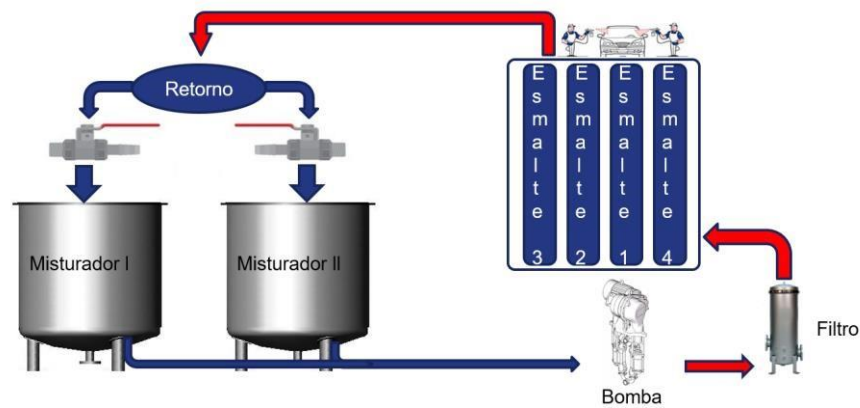


Figura 9 - Diagrama de Circulação de Tinta  
Fonte: Do próprio autor (2023)

### 3.3 Seleção do tema

O modo de falha examinado foi o risco de rompimento em pontos frágeis da tubulação de circulação de tinta devido ao fechamento simultâneo das válvulas de retorno. Este fenômeno ocorre durante a manobra nas válvulas, causando um aumento súbito de pressão na tubulação.

O desenvolvimento do sistema de controle por PLC foi iniciado após a análise minuciosa do modo de falha. Avançou com a escolha e aquisição dos componentes: 28 sensores de indução, 28 amplificadores.

A execução envolveu a instalação dos sensores nos pontos críticos da tubulação, que podemos observar na Figura 10.

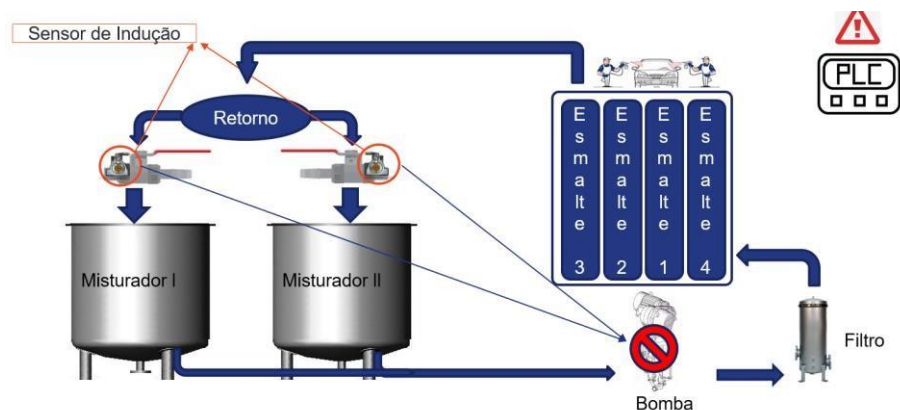


Figura 10 - Diagrama de Circulação de Tinta com os Sensores  
Fonte: Do próprio autor (2023)

### 3.4 Seleção da equipe

Foi formada uma equipe multidisciplinar composta por especialistas em automação industrial, engenheiros e profissionais com conhecimento no processo de abastecimento de tinta. A colaboração entre essas áreas de expertise garantiu uma abordagem holística na resolução dos desafios. A equipe foi liderada por Thalles Victor, responsável pelo levantamento e desenvolvimento do projeto. Essa diversidade de conhecimentos e habilidades permitiu uma abordagem abrangente na implementação dos 7 Passos de Melhoria Focada.

A equipe foi avaliada por um radar de avaliação, considerando requisitos específicos e atribuindo notas a cada critério, com 5 representando a pontuação máxima. Essa avaliação sistemática proporcionou uma visão abrangente das habilidades e competências do time, destacando áreas fortes e oportunidades de aprimoramento. A Figura 11 ilustra os resultados dessa avaliação.



Figura 11 - Radar de Projeto do Time  
Fonte: Do próprio autor (2023)

### 3.5 Desenvolvimento do Projeto

No quinto passo, referente ao Desenvolvimento do Projeto, as atividades foram estruturadas em seis etapas essenciais para garantir uma abordagem abrangente e eficaz.

### 3.5.1 Definição do fenômeno

A primeira etapa, a definição clara do fenômeno observado foi realizada através da aplicação de duas ferramentas essenciais: a metodologia 5W1H e o diagrama de Ishikawa. Utilizando a 5W1H, o modo de falha foi analisado, além disso, o diagrama de Ishikawa destacou diferentes categorias de causas contribuintes, que podemos observar na Tabela 1 e Figura 12 respectivamente.

Tabela 1 - 5W1H

MODO DE FALHA :
Sobre pressão na rede de circulação de tinta
WHAT/ O QUÊ
Rompimento da tubulação nos pontos de fragilidade
WHEN/ QUANDO
Quando foi realizado a manobra nas válvulas de retorno
WHERE/ ONDE,
Tubulação de mandata entre central de tintas e pontos de aplicação
WHO/ QUEM :
O colaborador posicionado na central de tintas
WICH/ QUAL :
O problema ocorre quando as válvulas de retorno são fechadas simultaneamente, sem ter para onde a tinta circular.
HOW/ COMO:
Aumento de pressão devido a falta de saída de tinta, causada pelo fechamento das duas válvulas de pressão simultaneamente.
FENÔMENO: RISCO DE ROMPIMENTO EM PONTOS DE FRAGILIDADE NO PECURSO DA TUBULAÇÃO DE CIRCULAÇÃO DE TINTA CAUSADO PELO FECHAMENTO SIMULTÂNEO DAS VÁLVULAS DE RETORNO, AUMENTANDO PRESSÃO NA TUBULAÇÃO.

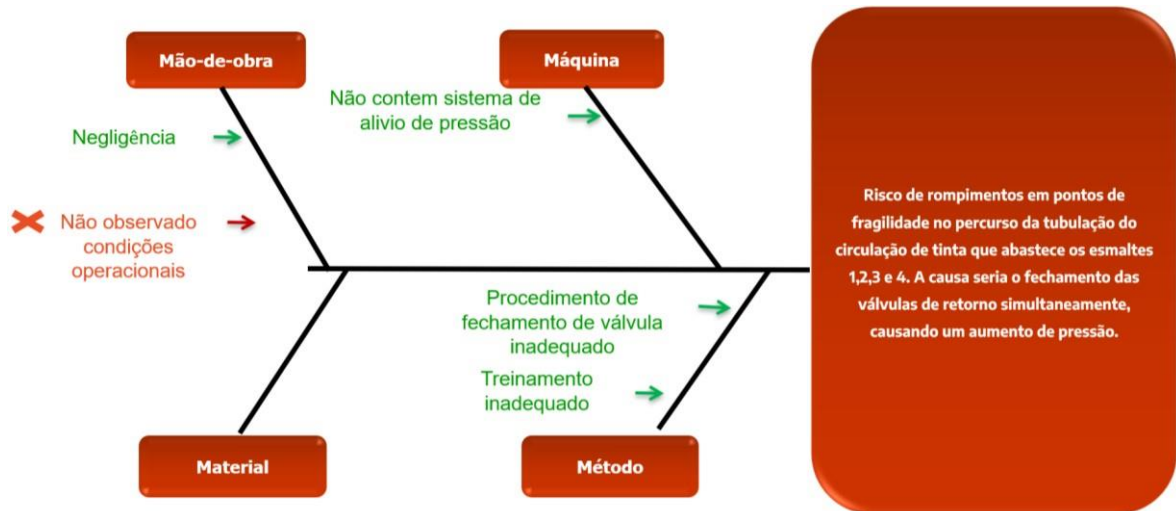


Figura 12 - Diagrama de Ishikawa  
Fonte: Do próprio autor (2023)

A identificação de "Não observado condições operacionais" foi destacada como um ponto crítico na ocorrência do problema, pois foi destacada a falta de atenção do colaborador com a não compreensão do treinamento.

### 3.5.2 Estudo do sistema

Em seguida, foi conduzido um estudo detalhado do sistema, analisando minuciosamente as interações entre os componentes e identificando os pontos críticos. Durante essa fase, foram destacadas duas partes essenciais do sistema: a Válvula de Esfera Tripartida e a Bomba Elétrica E-Flo 4000. A análise desses componentes buscou compreender seu funcionamento, características operacionais e potenciais impactos no desempenho geral do sistema de circulação de tinta. A Válvula de Esfera Tripartida desempenha um papel central no controle do fluxo, enquanto a Bomba Elétrica E-Flo 4000 é crucial para a movimentação eficiente da tinta ao longo do sistema. Essa abordagem mais específica permitiu identificar possíveis pontos de melhoria e otimização em componentes-chave, contribuindo para uma compreensão mais profunda do sistema como um todo.

### 3.5.3 Definir o objetivo

A terceira etapa concentrou-se na definição precisa do objetivo do projeto, estabelecendo metas claras e mensuráveis para orientar todas as fases subsequentes. Nesse contexto, o objetivo geral é analisar o problema e desenvolver um sistema de controle por PLC para aprimorar a segurança do processo de bombeamento de tinta. Isso visa garantir a segurança operacional, evitar paradas na produção, melhorar a eficiência do sistema e prevenir riscos de rompimento de equipamentos. Além disso, é proposto a implementação de um sistema de segurança abrangente para os 14 sistemas de bombeamento ativos no contexto do projeto. Essa abordagem visa fornecer uma solução global que abranja todos os pontos críticos, assegurando a integridade do sistema de circulação de tinta e minimizando potenciais impactos adversos. A definição clara desses objetivos contribui para uma abordagem estratégica e alinhada com as necessidades e metas da operação industrial.

### 3.5.4 Análise das causas

A análise das causas dos problemas identificados foi realizada como a quarta etapa, investigando a fundo as raízes dos desafios operacionais associados às válvulas de retorno. Como representação visual dessa análise, a Figura 13 apresenta um diagrama dos "5 Porquês", uma ferramenta eficaz para identificar as causas fundamentais de um problema específico.



Figura 13 - 5 Porquês  
Fonte: Do próprio autor (2023)

Essa análise profunda permitiu a identificação das causas fundamentais do problema, direcionando as próximas etapas do projeto para implementação de soluções eficazes e preventivas.

### 3.5.5 Implementações de ações

Na quinta etapa do processo, foi estabelecido o cronograma, foram selecionados os materiais, desenvolvido o suporte e programado o sistema.

O desenvolvimento dessas soluções foi cuidadosamente planejado e executado de acordo com um cronograma estratégico, observado no Tabela 2.

Tabela 2 - Cronograma de Desenvolvimento do projeto

<b>Etapa</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>
<b>Estudo do Acidente</b>	02/02/2023	28/02/2023
<b>Exploração de Alternativas</b>	28/02/2023	03/04/2023
<b>Análise do Sistema Atual</b>	03/04/2023	10/05/2023
<b>Tomada de Decisões do Projeto</b>	17/05/2023	24/05/2023
<b>Consulta com Terceiros</b>	29/05/2023	05/06/2023
<b>Seleção de Materiais</b>	05/06/2023	12/06/2023
<b>Desenvolvimento do Suporte</b>	08/06/2023	16/06/2023
<b>Instalação do Protótipo</b>	03/07/2023	07/07/2023
<b>Programação do Sistema</b>	10/07/2023	14/07/2023
<b>Testes Funcionais</b>	14/07/2023	26/07/2023
<b>Ampliação para os outros grupos de bombeamento</b>	31/10/2023	17/11/2023
<b>Ajustes Finais</b>	17/11/2023	24/11/2023

Fonte: Do próprio autor (2023)

Para o desenvolvimento do sistema de controle por PLC, foram utilizados os seguintes materiais:

- Sensor de Indução
- Amplificador de Chaveamento
- Suporte
- Acionador
- PLC

#### 3.5.5.1 Sensor de Indução

O sensor escolhido para a aplicação é o NCN3-F31K-N4 da Pepperl+Fuchs, demonstrado na Figura 14. Sua seleção foi fundamentada na precisão de operação e

na capacidade de se adequar a ambientes classificados como de risco de explosão (zona 0). Destaca-se que esse sensor apresenta a particularidade de possuir duas comutações normalmente fechadas, uma disposta verticalmente sobre a outra. Essa característica garante uma detecção confiável e precisa do estado da válvula de retorno.



Figura 14 - Sensor Indutivo NCN3-F31k-N4  
 Fonte: Pepperl+Fuchs (2023)

O funcionamento do sistema é projetado de maneira que, quando o acionador passa pelo sensor superior, a comutação correspondente indica que a válvula está fechada. Da mesma forma, quando o acionador alcança o sensor inferior, a comutação associada sinaliza que a válvula está aberta. Essa configuração de duas comutações normalmente fechadas proporciona uma detecção precisa dos estados da válvula, permitindo um controle efetivo do processo.

O sensor, ao detectar a alteração no ambiente magnético devido ao fechamento das válvulas, imediatamente envia um sinal elétrico ao amplificador. Essa transmissão de sinal é o ponto de partida para o processamento subsequente que ocorrerá no amplificador, desencadeando as lógicas de controle específicas para lidar com a situação de fechamento inadequado das válvulas. Essa comunicação eficiente entre o sensor e o amplificador, visa garantir uma resposta rápida e precisa do sistema como um todo.

#### 3.5.5.2 Amplificador de Chaveamento

Foi utilizado o amplificador de comutação KFD2-SR2-EX2.2W da Pepperl+Fuchs exemplificado na Figura 15.



Figura 15 - Amplificador de comutação KFD2-SR2-EX2.2  
Fonte: Pepperl+Funchs (2023)

O modelo KFD2-SR2-EX2.2W da Pepperl+Fuchs foi escolhido devido à sua notável confiabilidade em ambientes industriais, além de possuir certificação para uso em áreas classificadas, como o risco de explosão. Este amplificador desempenha o papel de integração do sensor de indução NCN3-F31K-N4 ao sistema, garantindo a eficácia do processamento dos sinais.

Conectado ao sensor de indução, o amplificador desempenha uma função importante ao receber o sinal que indica o fechamento inadequado das válvulas de retorno. Nesse momento, o KFD2-SR2-EX2.2W inicia o processamento do sinal, realizando a comutação necessária para adequar os padrões aos aceitos pelo PLC. Essa etapa assegura que os sinais provenientes dos sensores sejam interpretados de maneira eficaz e segura pelo PLC, contribuindo para a correta execução das lógicas de controle estabelecidas no sistema.

### 3.5.5.3 Suporte

Os suportes foram desenvolvidos utilizando o software Siemens NX para posicionar os sensores, visto que o equipamento original não oferecia uma posição adequada aos mesmos garantindo o posicionamento preciso e eficiente dos sensores.

As dimensões dos parafusos do suporte 1, responsáveis por fixar o suporte a válvula foram estudadas para assegurar que não interfira na estabilidade e fixação da tubulação. Esse cuidado evita desalinhamentos ou afrouxamentos dos parafusos durante as operações diárias. Essa medida garante que o sensor mantenha uma linha de visão clara para as válvulas, preservando assim sua funcionalidade.

Os suportes foram fabricados com aço AISI 316. Este material, uma variação do aço inoxidável, atende não somente os requisitos mecânicos, mas também garante durabilidade e confiabilidade ao sistema. A garantia da integridade estrutural a longo prazo e a minimização dos efeitos adversos de fatores ambientais foram fatores importantes para a decisão de empregar o aço AISI 316.

O suporte 1, apresentado na Figura 16, é destinado a ser fixado na válvula e acomodar o sensor de maneira precisa e eficiente. Seu design envolve dois furos para a fixação de parafusos M8 para garantir uma fixação na válvula, proporcionando estabilidade e resistência. Para assegurar a fixação precisa do sensor ao suporte, foram criados dois furos projetados para acomodar os parafusos M5. A escolha desses tamanhos de parafusos foi baseada em considerações a compatibilidade com as dimensões específicas da válvula e do sensor. Essa configuração proporciona não apenas uma montagem robusta, mas também facilita a manutenção e eventuais substituições, contribuindo para a eficiência operacional do sistema.

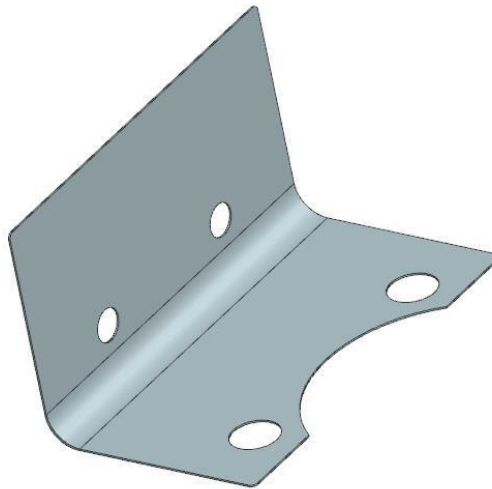


Figura 16 - Suporte Desenvolvido via Software Siemens NX  
Fonte: Do próprio autor (2023)

O projeto do suporte 2 envolveu um posicionamento estratégico sob a alavanca da válvula de esfera, requerendo a criação de um furo de 12mm para acomodação adequada. Na extremidade oposta, foram realizados dois furos de 5mm, espaçados a uma distância de 12mm, para a criação de um oblongo. Essa configuração permite a instalação do acionador em relação ao sensor. Na montagem do sistema, são necessários 2 suportes. A representação visual detalhada do suporte 2 pode ser visualizada na Figura 17.

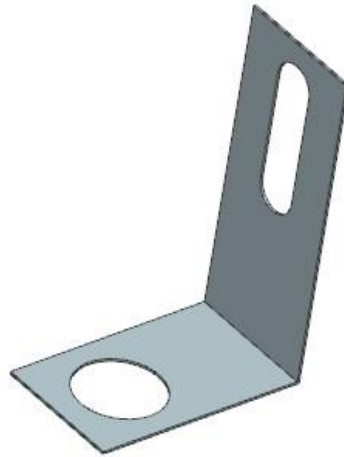


Figura 17 - Suporte 2 Desenvolvido via Software Siemens NX  
Fonte: Do próprio autor (2023)

O resultado são dois suportes que atendem aos requisitos dimensionais específicos do ambiente industrial. Este cuidado no design garante o correto funcionamento do sistema, contribuindo para a segurança e eficiência operacional.

#### 3.5.5.4 Acionador

O acionador apresentado na Figura 18 tem sua operação fundamentada na emissão de um campo magnético alternado de alta frequência. Quando um alvo de comutação metálico se aproxima desse campo, a energia é extraída, resultando em perda de corrente contínua. Adicionalmente, alvos ferromagnéticos causam perda de magnetização. Essas perdas são avaliadas, e o sensor realiza a mudança quando um limite predefinido é alcançado. Sendo que o sensor inclui duas comutações normalmente fechadas, cada uma posicionada em alturas distintas.

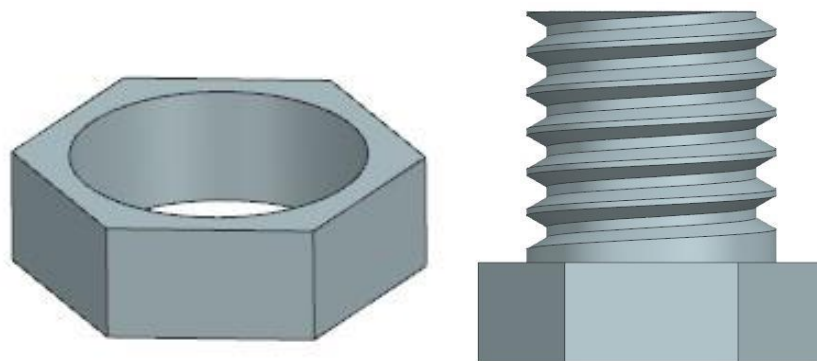


Figura 18 - Acionador e Porca  
Fonte: Do próprio autor (2023)

### 3.5.5.5 PLC

Já o PLC, figurando como o cérebro do sistema de controle, desempenha um papel na eficiência operacional do projeto. Aproveitando a infraestrutura existente, que já incorporava um sistema PLC para monitorar diversos parâmetros, optou-se por integrar o novo sistema nessa plataforma consolidada. A programação do PLC, realizada através da linguagem de programação Ladder, abrange lógicas de controle específicas projetadas para lidar com uma variedade de cenários, incluindo situações decorrentes do fechamento inadequado das válvulas.

Para a programação do sistema de controle por meio da linguagem ladder, foi desenvolvida uma tabela de variáveis para a correta execução das funções programadas, apresentado na Tabela 3. Cada variável foi nomeada e descrita para facilitar a compreensão e a manutenção do código. O sensor de abertura e fechamento de cada válvula, representados por `SENSOR_V1_ABERTO`, `SENSOR_V1_FECHADA`, `SENSOR_V2_ABERTO` e `SENSOR_V2_FECHADA`, são do tipo Booleano (Bool) e configurados como entradas, fornecendo informações sobre o estado das válvulas. Além disso, a variável `VIZUALIZADO`, representando o botão de confirmação da manutenção, também é do tipo Bool e está configurada como entrada. Por outro lado, as variáveis `BOMBA`, `ALERTA_CENTRAL`, `ALERTA_MANUTENCAO` e `DESARME` foram designadas como saídas, indicando a ativação da bomba elétrica, alertas de erro na central, alertas de erro na manutenção e desarme da bomba elétrica, respectivamente.

Tabela 3 - Variáveis do Sistema de Controle

<b>Nome</b>	<b>Nome da Variável</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tipo</b>	<b>Variável</b>
<b>Sensor de abertura da válvula 1</b>	SENSOR_V1_ABERTO (NF)	Sensor de abertura total (NF)	Bool	Entrada
<b>Sensor de fechamento da válvula 1</b>	SENSOR_V1_FECHADO (NF)	Sensor de fechamento total (NF)	Bool	Entrada
<b>Sensor de abertura da válvula 2</b>	SENSOR_V2_ABERTO (NF)	Sensor de abertura total (NF)	Bool	Entrada
<b>Sensor de fechamento da válvula 2</b>	SENSOR_V2_FECHADO (NF)	Sensor de fechamento total (NF)	Bool	Entrada
<b>Visualizado</b>	VIZUALIZADO	Botão de ok da manutenção	Bool	Entrada
<b>Desarme</b>	Desarme	Desarma a Bomba Elétrica	Bool	Saida
<b>Desarme 2</b>	Desarme_2	Desarma a Bomba Elétrica	Bool	Saida
<b>Bomba Elétrica</b>	BOMBA	Permite que a bomba seja acionada	Bool	Saida
<b>Alerta Central</b>	ALERTA_CENTRAL	Alerta do erro na central	Bool	Saida
<b>Alerta Manutenção</b>	ALERTA_MANUTENCAO	Alerta de erro na manutenção	Bool	Saida
<b>Acionador da Bomba Elétrica</b>	LIGAR_BOMBA	Aciona a Bomba Elétrica	Bool	Saida

Fonte: Do próprio autor (2023)

A programação ladder foi estruturada em etapas específicas para assegurar o funcionamento adequado do sistema de bombeamento de tinta, abrangendo diferentes cenários. Na primeira etapa, o sistema verifica se as seguintes condições são verdadeiras: se a válvula 1 está aberta e a válvula 2 está fechada, se a válvula 2 está aberta e a válvula 1 está fechada. Se essas condições forem atendidas, a bomba é ativada, permitindo o bombeamento de tinta. Entretanto, se as condições iniciais não

forem satisfeitas, o sistema avança para as etapas subsequentes. A Figura 19 apresenta esse procedimento em Ladder.

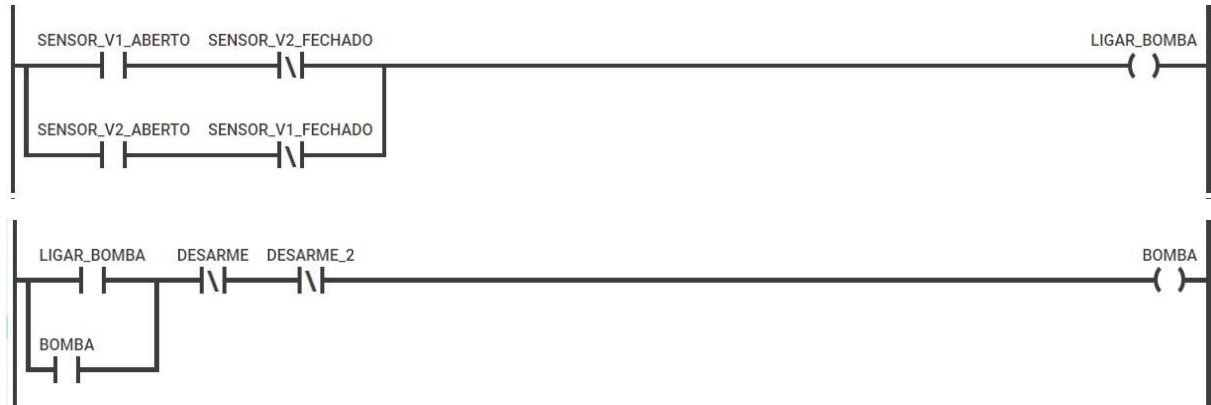


Figura 19 - Etapa 1 da programação em linguagem Ladder  
Fonte: Do próprio autor (2023)

Na segunda etapa, conforme observado na Figura 20, o sistema verifica a ocorrência de erros no fechamento das válvulas. Identificado qualquer problema, o sistema realiza o desarme e emite um alerta para a Central de Tintas, local onde estão situados os tanques de mistura do setor de pintura. Inicialmente, o sistema avalia as condições de fechamento simultâneo das válvulas, verifica se ambas as válvulas estão no meio-termo, examina se a válvula 2 está no meio-termo enquanto a 1 está fechada e analisa se a válvula 1 está no meio-termo enquanto a válvula 2 esta fechada. Caso alguma dessas situações seja constatada e o temporizador de 3 segundos expire, o funcionamento da bomba elétrica é interrompido. Esse intervalo de 3 segundos foi definido como o limite crítico para impedir o aumento excessivo de pressão no sistema.

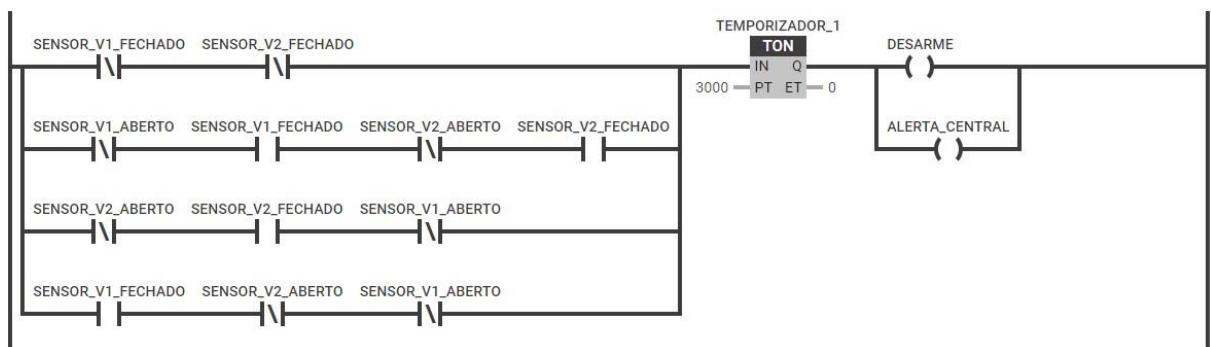


Figura 20 - Etapa 2 da programação em linguagem Ladder  
Fonte: Do próprio autor (2023)

Na terceira etapa, o sistema realiza a verificação da troca de tanque para assegurar sua execução correta e eficiente. Cada troca de tanque é executada quando é necessário abastecer o sistema. O procedimento de troca de tanque tem uma duração média de 15 segundos, e o sistema foi projetado de modo que, após 20 segundos, realize o desarme e envie um alerta para a Central de Tintas. Nessa fase, o sistema verifica se ambas as válvulas 1 e 2 estão abertas, se a válvula 1 está fechada e a válvula 2 está no meio termo, ou se a válvula 2 está fechada e a válvula 1 está no meio termo. Essa sequência é demonstrada na Figura 21.

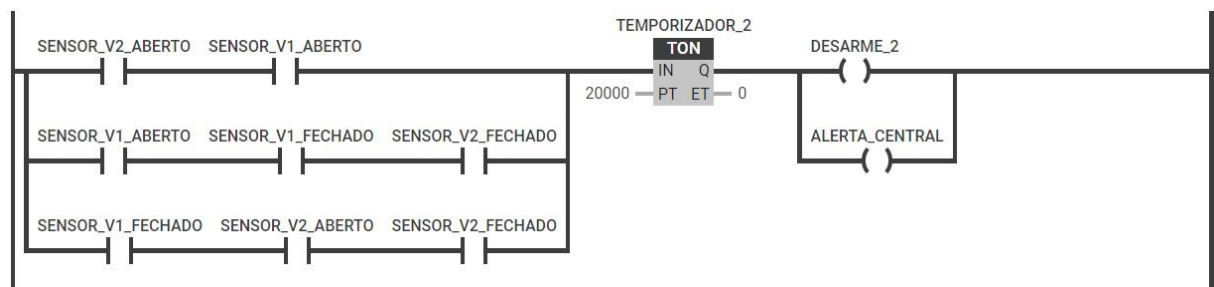


Figura 21 - Etapa 3 da programação em linguagem Ladder  
Fonte: Do próprio autor (2023)

Na quarta etapa, o sistema emite um alerta para a equipe de manutenção caso os temporizadores 1 e 2 sejam acionados. Estes temporizadores são elementos críticos para a desativação das bombas, desempenhando um papel crucial na prevenção de situações adversas. A manutenção tem a capacidade de desativar o alerta, conforme ilustrado na Figura 22. Inicialmente, o sistema verifica se os temporizadores 1 e 2 foram acionados. Em caso afirmativo, ativa o alerta da manutenção, a segunda linha verifica se a equipe de manutenção desativou o alerta após verificar e assegurar que tudo está em ordem.

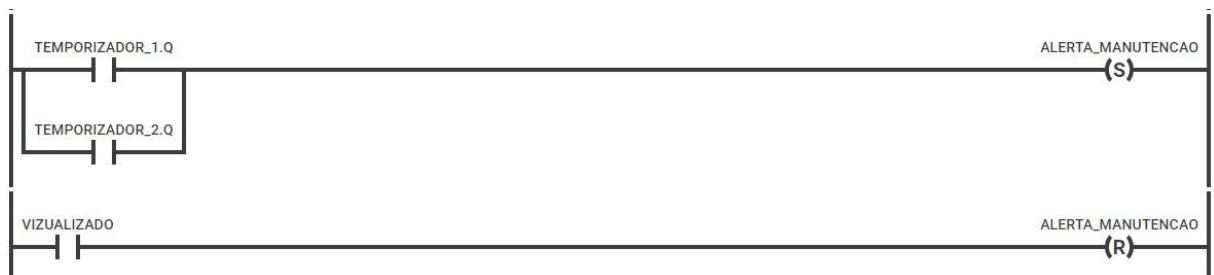


Figura 22 - Programação do Sistema de Controle em Ladder  
Fonte: Do próprio autor (2023)

Visando a eficiência do processo e a minimização das perdas de produção, a bomba é religada automaticamente assim que as válvulas são ajustadas para a posição correta.

### 3.5.6 Sustentabilidade

Foi formulado um plano abrangente para assegurar que as melhorias implementadas perdurassem ao longo do tempo. Uma ênfase significativa foi direcionada ao monitoramento contínuo, garantindo que o desempenho do sistema fosse constantemente avaliado. Esse processo permitiu a identificação precoce de potenciais problemas, possibilitando ajustes imediatos e garantindo a eficácia a longo prazo. Além disso, a integração de treinamentos específicos foi incorporada ao plano de sustentabilidade. Essa iniciativa visou capacitar os colaboradores envolvidos no uso e na manutenção do sistema, promovendo uma compreensão aprofundada das novas implementações. A avaliação de impacto foi outro componente crucial, avaliando continuamente os resultados e efeitos das mudanças implementadas. Esse processo permitiu uma compreensão clara das melhorias alcançadas e identificação de áreas que ainda necessitavam de aprimoramento. Por fim, a abordagem de aprimoramentos iterativos foi incorporada ao plano de sustentabilidade, proporcionando flexibilidade para ajustar e otimizar o sistema conforme necessário ao longo do tempo. Essa metodologia permitiu uma adaptação contínua às demandas operacionais, contribuindo assim para a eficiência operacional e confiabilidade a longo prazo do sistema de controle por PLC implementado.

### 3.6 Análise de custo e benefício

À Análise de Custo e Benefício, conduziu-se uma análise que transcendia a mera consideração dos custos associados à implementação do novo sistema. Buscando também avaliar os benefícios esperados, como eficiência operacional e redução de perdas, com o intuito de embasar as decisões financeiras. A análise financeira ultrapassou os simples custos diretos do projeto, considerando também o valor mínimo de prejuízo estimado em caso de rompimento do sistema atual. De acordo com o site Notícias Automotivas (2024), o custo médio do litro da tinta pulverizável

para pintar um carro é de R\$ 35,00. Com o sistema de abastecimento contendo 1600 litros de tinta circulando, a estimativa revelou um montante significativo em torno de R\$56.000,00, sem contar a perda de produção e o potencial dano a equipamentos. Essa análise abrangente evidencia não apenas os custos diretos do material, mas também os impactos financeiros mais amplos que poderiam resultar de uma falha no sistema existente. Assim, fica claro que o investimento no novo sistema de controle por PLC, avaliado em R\$62.647,37, apresentado na Figura 23, não só se justifica pela perspectiva de eficiência operacional, mas também pela significativa redução nos prejuízos potenciais associados ao risco de rompimento do sistema anterior. Essa consideração financeira sólida e abrangente foi fundamental para embasar e respaldar as decisões tomadas no âmbito do projeto.

Pos.	Descrição do Produto	Quantidade Entrega	Preço Unitário	Subtotal BRL	
10	Descrição: Sensor indutivo	28 pc	964,28	26.999,84	
	Código do produto: NCN3-F31K-N4	20 dias úteis			
		0.00 ST%	6.50 IPI%	4.00 ICMS%	
	P+F Item No. <b>70133033</b> <i>datasheet</i>				
	Pais de origem: Czech Republic				Valor total: <b>62.647,37</b>
	NCM: 8543.70.99				
	Peso ( gr ): 177,70				
20	Descrição: Dispositivo de Proteção / Deri	28 pc	1.216,65	34.066,20	
	Código do produto: KFD2-SR2-EX2.W	20 dias úteis			
		0.00 ST%	6.50 IPI%	4.00 ICMS%	
	P+F Item No. <b>203355</b> <i>datasheet</i>				
	Pais de origem: Indonesia				
	NCM: 8543.70.99				
	Peso ( gr ): 155,30				
30	Descrição: Pct 50pcs de prensa cabo plast	1 VPE	1.581,33	1.581,33	
	Código do produto: C.G.PIDS1.M20.PA.C.10.K50	20 dias úteis			
		0.00 ST%	9.75 IPI%	4.00 ICMS%	
	P+F Item No. <b>291359</b> <i>datasheet</i>				
	Pais de origem: Türkiye				
	NCM: 3926.90.90				

Figura 23 - Levantamento de Custo de Materiais  
Fonte: Do próprio autor (2023)

### 3.7 Monitoramento e Expansão Horizontal

No sétimo passo, voltado para o Monitoramento e Expansão Horizontal, o sistema foi estrategicamente projetado com recursos de monitoramento contínuo. Isso possibilita a identificação proativa de potenciais problemas e oportunidades de expansão horizontal para outras áreas do processo produtivo. Essa abordagem procura garantir uma visão de longo prazo, contribuindo para a sustentabilidade das melhorias implementadas. O tópico de Implementação do Sistema destaca a importância de monitorar de perto a integração e o desempenho do novo sistema de controle por PLC. Esse monitoramento contínuo permite ajustes e otimizações conforme necessário, assegurando que o sistema opere em sua capacidade máxima.

Em relação à Melhoria na Eficiência Produtiva, o monitoramento contínuo não apenas identifica possíveis gargalos ou ineficiências, mas também cria oportunidades para aprimorar ainda mais a eficiência operacional ao longo do tempo. Essa abordagem dinâmica visa garantir que as melhorias implementadas continuem proporcionando benefícios tangíveis no desempenho geral do sistema. O tópico de Mitigação de Riscos enfoca a capacidade do sistema de identificar e mitigar proativamente potenciais riscos operacionais. Ao antecipar e abordar possíveis desafios, o monitoramento contínuo contribui para a segurança operacional e a prevenção de situações adversas.

Esses três tópicos abrangentes demonstram a importância do monitoramento contínuo e da expansão horizontal para garantir não apenas a eficiência operacional imediata, mas também a adaptação e aprimoramento constantes em resposta às dinâmicas necessidades do processo produtivo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados da implementação do sistema e serão realizadas as discussões com base na literatura.

### 4.1 Sistema de Controle

O desenho completo do sensor, firmemente vinculado à válvula por meio dos suportes projetados, representa uma conquista significativa no aprimoramento do processo de bombeamento de tinta. A integração estratégica dos suportes proporcionou uma fixação precisa do sensor, garantindo sua posição ideal em relação à válvula. A utilização do software Siemens NX para o desenho possibilitou uma modelagem 3D detalhada, permitindo não apenas a visualização completa do sistema, mas também a análise abrangente da sobreposição com componentes adjacentes. A Figura 24 ilustra de maneira clara e representativa o resultado da integração dos suportes ao sensor, destacando a contribuição dessa implementação para o sucesso do projeto.

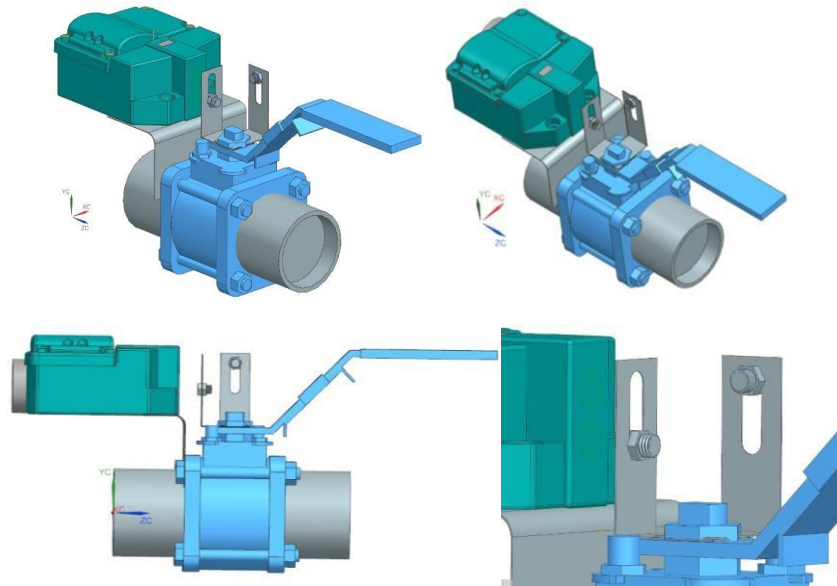


Figura 24 - Imagem do Sistema de Controle  
Fonte: Do próprio autor (2023)

## **4.2 Implementação do Sistema de Controle**

Após a implementação do sistema PLC, os resultados foram altamente satisfatórios. O sistema proporcionou uma resposta rápida e precisa às condições de fechamento inadequado das válvulas de retorno, graças à lógica de controle criada. Como resultado direto, a bomba elétrica foi desativada imediatamente quando necessário, interrompendo o bombeamento de tinta de forma eficaz.

Além disso, após a implementação, o sistema operou continuamente sem falhas durante um período de 24/11/2023 a 19/12/2023, demonstrando sua confiabilidade e eficiência na prevenção de problemas associados ao fechamento das válvulas de retorno.

O sensor de indução NCN3-F31K-N4 demonstrou ser eficaz na detecção precisa da posição das válvulas, prevenindo possíveis acidentes causados por fechamentos inadequados. O sistema de sinalização implementado desempenha um papel crucial ao alertar proativamente a equipe de manutenção sobre situações críticas. Sua eficácia não apenas agiliza a identificação de problemas, mas também possibilita uma resposta rápida e eficiente. Essa abordagem proativa é fundamental para minimizar potenciais impactos negativos, garantindo a operação contínua e eficiente do processo produtivo. A implementação bem-sucedida desse sistema representa um avanço significativo na gestão de falhas e na otimização da eficiência operacional, reforçando a importância de soluções inovadoras no contexto industrial.

## **4.3 Impactos Potenciais e Estratégias de Monitoramento Futuro**

Os resultados indicam a eficácia do sistema de controle por PLC na prevenção de riscos críticos e perdas substanciais. Para o futuro, sugere-se a implementação de um sistema de monitoramento contínuo, garantindo a eficácia a longo prazo do sistema de controle por PLC. Treinamentos regulares para a equipe, concentrados na execução adequada das trocas de tanque e na importância do sistema de controle, são recomendados. A exploração de tecnologias emergentes, como sensores avançados e sistemas de inteligência artificial, visa aprimorar ainda mais a segurança e eficiência do processo. A análise do projeto confirma a viabilidade técnica do sistema, promovendo a segurança operacional e eficiência produtiva, justificando plenamente o investimento

## 5 CONCLUSÃO

A escolha da metodologia dos 7 Passos da Melhoria Focada foi guiada pelo objetivo de desenvolver um sistema eficiente e confiável para prevenir complicações decorrentes do fechamento simultâneo das válvulas do sistema de retorno de tinta. A adoção de Controladores Lógicos Programáveis (PLC) e sensores revelou-se apropriada para automatizar o sistema, permitindo a implementação de uma solução robusta e segura. A configuração das mensagens de segurança assegurou uma resposta ágil da equipe de manutenção diante de ocorrências dessa natureza.

A conclusão do projeto destaca o êxito do sistema de controle por PLC no bombeamento de tinta, proporcionando eficiência e segurança operacional. A integração dos sensores de indução com o PLC resultou em uma solução robusta, evitando o risco de rompimento da tubulação, protegendo os colaboradores e prevenindo paradas não programadas. Além disso, o projeto desempenha um papel importante como uma iniciativa integral de segurança do trabalho, abordando aspectos fundamentais relacionados à segurança e redução de riscos associados a potenciais acidentes.

A análise de custo e benefício foi abrangente, ultrapassando os simples custos diretos associados à implementação do novo sistema. Além de considerar os benefícios esperados, como eficiência operacional e redução de perdas, também avaliamos o valor mínimo de prejuízo estimado em caso de falha do sistema atual. Ao examinarmos os custos diretos do projeto, bem como os impactos financeiros mais amplos, fica evidente que o investimento no novo sistema de controle por PLC, avaliado em R\$ 62.647,37, é justificado não apenas pela perspectiva de eficiência operacional, mas também pela significativa redução nos prejuízos potenciais associados ao risco de falha do sistema anterior. Essa análise abrangente considerou não apenas o valor da perda mínima de R\$ 56.000,00 em relação à tinta que circula no sistema, mas também os impactos indiretos, como a perda de produção e o potencial dano a equipamentos, reforçando ainda mais a importância e o retorno sobre o investimento realizado.

Esses resultados não apenas validam a viabilidade técnica do sistema, mas também promovem a segurança operacional e eficiência produtiva da empresa, justificando plenamente o investimento realizado. Portanto, o projeto não apenas

representa uma melhoria operacional, mas também um investimento estratégico que contribui para a sustentabilidade financeira da empresa.

## REFERÊNCIAS

- ABB LOJA ONLINE. Linguagem ladder: principais fundamentos. Disponível em: <https://loja.br.abb.com/blog/post/linguagem-ladder-principais-fundamentos>. Acesso em: 12 de outubro de 2023
- ABRAFATI, A. B. dos F. de T. Tintas e Vernizes. Textonovo Editora e Serviços Editoriais LTDA, 2018.
- ABREU, P. Robótica Industrial. Porto: Universidade do Porto, 2002. Disponível em: <[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/34811716/aplicacoes-with-cover-pagev2.pdf?Expires=1669269002&Signature=DDey~GPLNcBVG8312Ie8X0N241NYVDCuhHJcCvARKdPrQKnI8EY301WfmKzBI9qmBDRikTKtzXMk4iwrFVi8K8dcMB4dnVApIYhmCqe1ERrJTYGnSEK0Q-RlJlgE6iuTmV3t7Lxhm7OcykKz3j-g~JgWylDkaf4ohU1tuOATZX~zynQOIScimkVjtL8SpUm9bSyE~DFRuSKuq3NB9PdsEOPwqQBRBIHSDzWenHb2BW~oGNAzhJC~RGu8G2929~gEpcq045XQ9q4Cg8jXr7u~NOjhtVqCdVwsjDnofF9iGadHcDujxMPV0fvkTTvGdhiC9fVnfv~HZFcXI4jP9ow\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/34811716/aplicacoes-with-cover-pagev2.pdf?Expires=1669269002&Signature=DDey~GPLNcBVG8312Ie8X0N241NYVDCuhHJcCvARKdPrQKnI8EY301WfmKzBI9qmBDRikTKtzXMk4iwrFVi8K8dcMB4dnVApIYhmCqe1ERrJTYGnSEK0Q-RlJlgE6iuTmV3t7Lxhm7OcykKz3j-g~JgWylDkaf4ohU1tuOATZX~zynQOIScimkVjtL8SpUm9bSyE~DFRuSKuq3NB9PdsEOPwqQBRBIHSDzWenHb2BW~oGNAzhJC~RGu8G2929~gEpcq045XQ9q4Cg8jXr7u~NOjhtVqCdVwsjDnofF9iGadHcDujxMPV0fvkTTvGdhiC9fVnfv~HZFcXI4jP9ow__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)>. Acesso em: 5 de novembro de 2023.
- ANALYTICS BRASIL. Diferenças entre tintas à base de água e tintas à base de óleo. 2019. Disponível em: <<https://www.analyticsbrasil.com.br/blog/diferencas-entretintas-base-de-agua-e-tintas-base-de-oleo/>>. Acesso em: 20 de setembro 2023.
- BARRIENTOS, M. I. G. G. Retrofit de edificações: estudo de reabilitação e adaptação das edificações antigas às necessidades atuais. 2004. 189 f. Dissertação (Faculdade de Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- BRYAN, Luis A.; BRYAN, E. A. Programmable Controllers: Theory and Implementation. Industrial Text Company, 1997. Illustrator-Kory, Gina.
- COSTA, Isabele Moraes; LISBOA, Stella Neves Duarte; SANTOS, Talita Pitanga. Automação industrial. Natal: Dca447-Departamento de Engenharia de Computação e Automação-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2003.
- DA SILVA, Marcelo Eurípedes. Controladores Lógico Programáveis-Ladder. 2007.
- FAZENDA, Jorge MR. Tintas: ciência e tecnologia. Editora Blucher, 2009.
- HASS, Eduardo Silva; DA SILVA, Carolina Mariano; VIGIANO, Gabriel Moreira. Automação de um sistema transportador de rolos tracionados em linguagem ladder. Automação de um sistema, [s. l.], 2019.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). IEC-61131-1: Programmable controllers General information, 2003.

KEEGAN, R. East and west: the hunt for competitiveness. Practical, Proven Ways to Increased Profitability. 2014, p. 113-115. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/271304254/East-and-West>> Acesso em: 8 de novembro 2023.

KOPELIOVICH, D. D. Composition of paints. 2014. Disponível em: <[http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=composition\\_of\\_paints](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=composition_of_paints)>. Acesso em: 8 de novembro 2023.

LAMB, Frank. Automação industrial na prática-série Tekne. AMGH Editora, 2015.

MARCHWINSKI, C.; SHOOK, J. Léxico Lean: glossário ilustrado para praticantes do Pensamen-to Lean. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003

MAINIER, F.B - Reflexões: o computador, o desemprego e o processo educativo. Anais: 4<sup>a</sup> Jornada de Pesquisadores em Ciências Humanas, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, 8/10 outubro, Campus da Praia Vermelha, UFRJ, 1997, p.35.

MARTINS, Lyon Augusto; GONCALVES, Pedro Jose Faure; SZUVOVIVSKI, Itamar;

MENDES, Rafael de Carvalho. Gestão do Conhecimento aplicada ao Modelo de World Class Manufacturing: proposta de método que suporte a gestão de quickkaizens. 2017. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração, Centro Universitário Una Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Administração, Una, Belo Horizonte, 2017.

MEKAL, G. Manual de pintura. Disponível em: <[https://www.grupomekal.com.br/system/filemanager/biblioteca/manual\\_pintura.pdf](https://www.grupomekal.com.br/system/filemanager/biblioteca/manual_pintura.pdf)> Acesso em: 8 de novembro de 2023.

MINDMEISTER. *Método 4M: Uma ferramenta de análise de problemas*. Disponível em: MindMeister - Método 4M. Acesso em: 20 de novembro de 2023.

NASCIMENTO, F.C. Pintura industrial: uma visão prática. In: 11<sup>a</sup> SEVAP – Seminário de Engenharia Química do Vale do Paraíba, setembro de 2004. EEL/USP. Lorena, São Paulo.

NASCIMENTO, Fernando Codelo. Tratamento de efluentes da produção de tintas industriais, automotivas e de repintura por irradiação com feixe de elétrons. São Paulo: Universidade de São Paulo, v. 9, 2013.

OHNO, T. O sistema Toyota de produção além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OLIVEIRA, S. T. Ferramentas para o aprimoramento da Qualidade. São Paulo: Pioneira, 1995.

PEPPERL+FUCHS. Distância de operação como característica central. 2023. Disponível em: <<https://www.pepperl-fuchs.com/brazil/pt/39764.htm>>. Acesso em: 20 de novembro de 2023.

PEPPERL+FUCHS. Switch Amplifier KFD2-SR2-Ex2. W. 2023. Disponível em: <[https://www.pepperlfuchs.com/brazil/pt/classid\\_6.htm?view=productdetails&prodid=95426](https://www.pepperlfuchs.com/brazil/pt/classid_6.htm?view=productdetails&prodid=95426)>. Acesso em: 20 de novembro de 2023.

PEPPERL+FUCHS. Inductive sensor NCN3-F31K-N4. 2023. Disponível em: <[https://files.pepperlfuchs.com/webcat/navi/productInfo/pds/70133033\\_por.pdf?v=20231119134833](https://files.pepperlfuchs.com/webcat/navi/productInfo/pds/70133033_por.pdf?v=20231119134833)>. Acesso em: 20 de novembro de 2023.

PETRUZELLA, F. D. Programmable Logic Controllers. 3. ed. Boston: McGraw Hill, 2005.

ROGGIA, Leandro; FUENTES, Rodrigo Cardozo. Automação industrial. Santa Maria: E-tec Brasil, 2016.

ROSARIO, Joao Mauricio. Automação industrial. Editora Baraúna, 2009.

SILVA, A. M. (2007). Engenharia Elétrica: Fundamentos e Aplicações. Rio de Janeiro: LTC.

Silva, Gladimir Pinto da. Apostila de PLC. Pelotas: IFSul, 2016. Disponível em: <[http://www2.pelotas.ifsul.edu.br/gladimir/Apostila%20de%20PLC\\_Gladimir.pdf](http://www2.pelotas.ifsul.edu.br/gladimir/Apostila%20de%20PLC_Gladimir.pdf)>. Acesso em: 1 de novembro de 2023.

TAPPING, D.; SHUKER, T. Lean Office: gerenciamento do fluxo de valor para áreas administrativas – 8 passos para planejar, mapear e sustentar melhorias lean nas áreas administrativas. São Paulo: Editora Leopardo, 2010

THOMAZINI, Daniel; DE ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga. Sensores industriais: fundamentos e aplicações. Saraiva Educação SA, 2020.

VOITTO. (2023). O que é Ferramenta 5G. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/o-que-e-ferramenta-5g>. Acesso em: 1 de novembro de 2023.

WEISS, A.E. Key business solutions: essential problem-solving tools and techniques that every manager needs to know. Grã-Bretanha: Pearson Education Limited, 2011.

WENDLING, Marcelo. Sensores. Universidade Estadual Paulista. São Paulo, v. 2010, p. 20, 2010.

ZANCAN, Marcos Daniel. Controladores Programáveis. Controladores, [s. l.], 2011.

APENDICE A – PROJETO DOSUPORTE 1

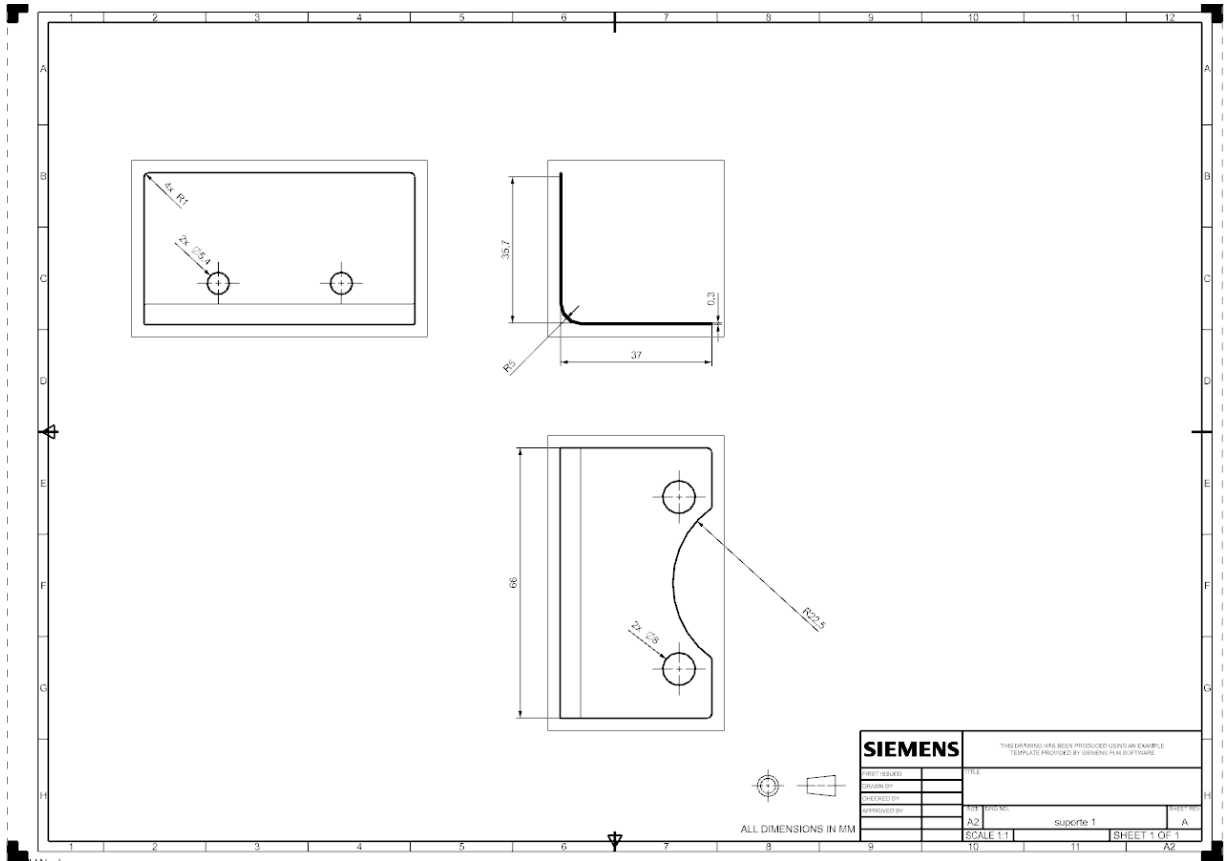


Figura 25 – Três vistas do Suporte 1  
 Fonte: Do próprio autor (2023)

**APENDICE B – PROJETO DOSUORTE 2**

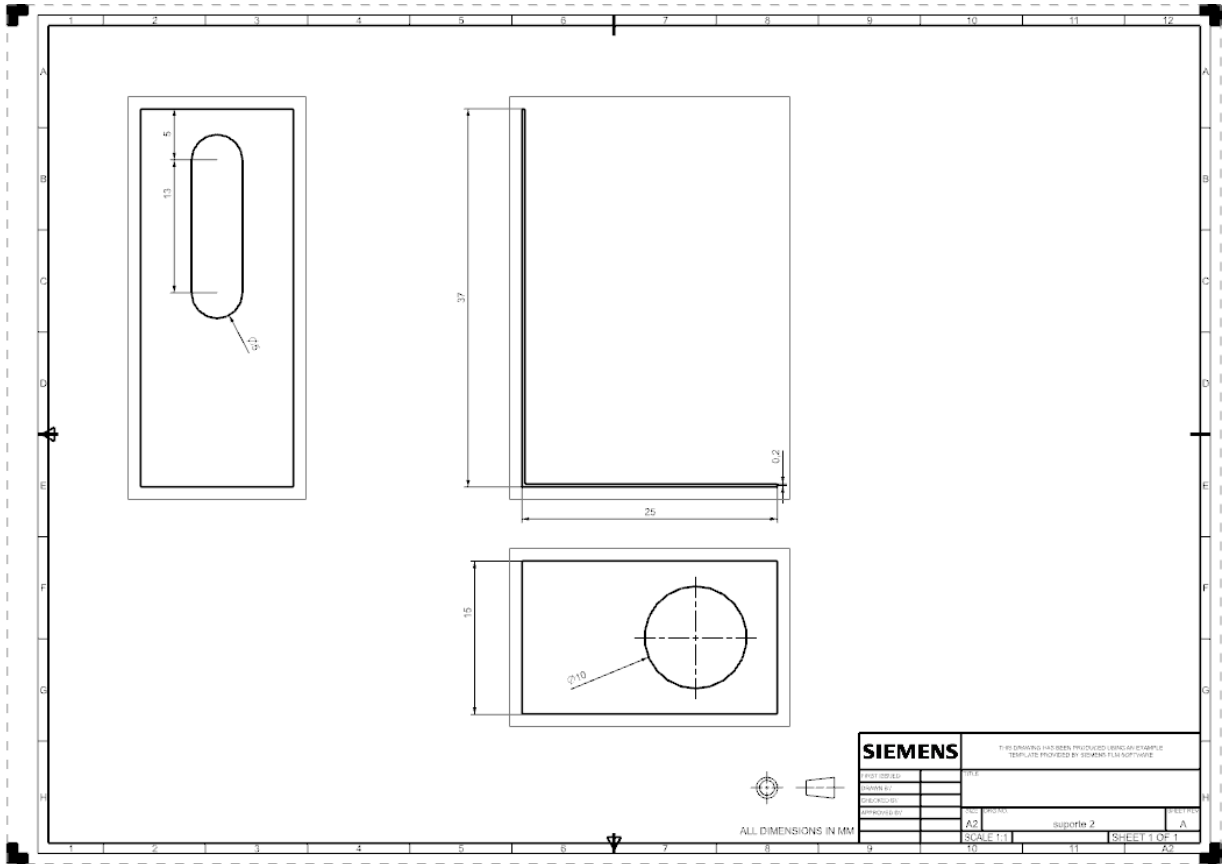


Figura 26 - Três vistas do Suporte 2  
 Fonte: Do próprio autor (2023)