

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
CAMPUS CAJAZEIRAS

LUIZ EDUARDO DE SOUZA LIMA

**EFICIÊNCIA TECNOLÓGICA NA INDÚSTRIA 4.0: DESENVOLVIMENTO E
ANÁLISE DETALHADA DE *RETROFIT* EM SISTEMA DE PULVERIZAÇÃO DE
ÓLEO**

Cajazeiras-PB
2024

LUIZ EDUARDO DE SOUZA LIMA

EFICIÊNCIA TECNOLÓGICA NA INDÚSTRIA 4.0: DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DETALHADA DE *RETROFIT* EM SISTEMA DE PULVERIZAÇÃO DE ÓLEO

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação, sob Orientação do Prof. Paulo Ricardo de Oliveira Queiroz e a Coorientação do Prof. Rairton Helder Façanha Júnior.

Cajazeiras-PB
2024

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

L732e Lima, Luiz Eduardo de Souza.
Eficiência tecnológica na indústria 4.0 : desenvolvimento e análise detalhada de *retrofit* em sistema de pulverização de óleo / Luiz Eduardo de Souza Lima. – 2024.

68f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2024.

Orientador(a): Prof. Bel. Paulo Ricardo de Oliveira Queiroz.
Coorientador(a): Prof. Bel. Rairton Helder Façanha Júnior.

1. Controle automático. 2. Indústria 4.0. 3. Máquinas industriais. 4. Processo de *retrotif*. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. II. Título.

IFPB/CZ

CDU: 681.5(043.2)

LUIZ EDUARDO DE SOUZA LIMA

EFICIÊNCIA TECNOLÓGICA NA INDÚSTRIA 4.0: DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DETALHADA DE *RETROFIT* EM SISTEMA DE PULVERIZAÇÃO DE ÓLEO

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, *Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Aprovado em 14 de março de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Paulo Ricardo de Oliveira Queiroz – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador

Rairton Helder Façanha Júnior – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Coorientador

Fabio Araújo de Lima – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador 1

Dedico este trabalho a todos da minha família que sempre estiveram ao meu lado e me proporcionaram chegar até este momento.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus mais profundos agradecimentos neste momento especial da conclusão deste trabalho:

Primeiramente, agradeço a Deus, que esteve sempre ao meu lado, fortalecendo-me nos momentos em que mais precisei. A Ele, devo todas as coisas boas que foram colocadas no meu caminho e que me trouxeram até onde estou hoje.

Aos meus amados pais, Maria Doralice de Souza e Gilcemo Lima de Souza, que me ensinaram diariamente o verdadeiro significado do amor. Com eles, aprendi que não importa a origem, posso sempre alçar voos mais altos. Minha índole foi moldada pela deles, e espero carregar para sempre os preciosos ensinamentos que me proporcionaram.

À minha querida irmã, Maria Clara de Souza Lima, que sempre esteve ao meu lado, estendendo-me a mão nos momentos de necessidade. Ela me protegeu ao longo da vida e mostrou-se presente em todos os momentos difíceis. Com ela ao meu lado, sei que nada na vida será capaz de me derrubar, pois sempre estará lá para me erguer.

Aos meus avós, pelo constante apoio e incentivo, sempre presentes em minha vida e dispostos a terem boas conversas comigo. Em especial, à minha querida avó, carinhosamente apelidada de Didi, e à minha tia Geneilda Lima. A falta que vocês fazem em minha vida é imensurável, mas carrego ambas em todos os momentos da minha jornada.

Aos amigos que fiz nessa jornada acadêmica: Paloma Jaciara, Carolina Lira, Winne Carvalho, Pedro Eduardo, Pyerre Diniz, Nathan dos Santos, Fabio Xavier e Antônio Monteiro. A jornada foi árdua, mas tê-los ao meu lado tornou tudo mais significativo.

Aos estimados professores do Instituto Federal da Paraíba (IFPB), *Campus Cajazeiras*, por compartilharem seus conhecimentos e me ajudarem a crescer como profissional. Em especial, ao professor Paulo Queiroz, por seu apoio e acompanhamento nesta trajetória.

Aos parceiros que fiz na Avante Automação, Lucas Florentino, Rafael Lima e Robson Freire, que estiveram ao meu lado durante toda esta jornada. E a todos os membros da Avante Automação, que de diversas formas contribuíram para o meu crescimento profissional.

Por fim, meu sincero obrigado a todos que, de alguma maneira, contribuíram para que este momento fosse possível. Suas presenças e apoio foram fundamentais para esta conquista.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

Este trabalho aborda o processo de *retrofit* de uma máquina de pulverização de óleo como uma solução viável e econômica para modernizar equipamentos industriais antigos, alinhando-os aos padrões da Indústria 4.0. Na atual era de constantes avanços tecnológicos, as empresas enfrentam o desafio de adaptar suas operações para garantir eficiência, competitividade e sustentabilidade. Nesse contexto, o *retrofit* surge como uma alternativa promissora, permitindo a revitalização de maquinários obsoletos sem a necessidade de substituição completa. A introdução deste estudo destaca a importância do *retrofit* no contexto da transformação digital da indústria. As indústrias estão cada vez mais buscando maneiras de modernizar suas operações, adotando novas tecnologias e estratégias para se manterem competitivas em um mercado em constante evolução. O *retrofit* de máquinas industriais antigas surge como uma resposta a essa necessidade, oferecendo uma abordagem econômica e sustentável para atualização de equipamentos. A justificativa do estudo ressalta os benefícios do *retrofit*, incluindo a atualização de equipamentos ultrapassados, a redução do impacto ambiental e a melhoria da eficiência operacional. Com base nesses fundamentos, foram elaborados objetivos específicos para este trabalho. Inicialmente, realizou-se uma análise detalhada do estado inicial da máquina de pulverização de óleo, identificando áreas de aprimoramento e pontos críticos. Os objetivos também incluíram a identificação e descrição dos equipamentos indispensáveis para o *retrofit*, bem como a elaboração de um projeto abrangente contemplando todas as modificações necessárias. A implementação prática do projeto foi conduzida de forma a assegurar a execução das modificações planejadas. Destacam-se as melhorias no sistema de controle da máquina, incluindo o novo painel elétrico reorganizado para facilitar a compreensão do projeto elétrico por qualquer pessoa que o analise. Além disso, a inclusão de um CLP de segurança, reforçando a proteção do processo produtivo e dos operadores. As melhorias nas telas da IHM proporcionaram uma visualização mais clara e facilitaram o controle do processo. A tela dedicada ao controle dos inversores ofereceu um gerenciamento mais abrangente de todas as etapas da operação da máquina, proporcionando aos operadores acesso a informações detalhadas sobre o *status* dos inversores e ajustes precisos conforme necessário. Por fim, uma análise pós-implementação foi conduzida, avaliando criticamente os resultados do *retrofit*. Os testes realizados nos equipamentos e durante o processo confirmaram os benefícios tangíveis do *retrofit*, demonstrando melhorias na eficiência operacional, segurança dos operadores e disponibilidade da máquina para produção contínua. Este estudo busca contribuir significativamente para o campo do *retrofit* de máquinas industriais antigas, destacando sua importância para a modernização e eficiência das indústrias na era da Indústria 4.0.

Palavras-chave: *retrofit*; máquinas industriais; eficiência; sustentabilidade.

ABSTRACT

This work addresses the retrofit process of an oil spraying machine as a viable and economical solution to modernize old industrial equipment, aligning them with Industry 4.0 standards. In the current era of constant technological advancements, companies face the challenge of adapting their operations to ensure efficiency, competitiveness, and sustainability. In this context, retrofitting emerges as a promising alternative, allowing the revitalization of obsolete machinery without the need for complete replacement. The introduction of this study highlights the importance of retrofitting in the context of the digital transformation of the industry. Industries are increasingly seeking ways to modernize their operations, adopting new technologies and strategies to remain competitive in an ever-evolving market. Retrofitting old industrial machines emerges as a response to this need, offering an economic and sustainable approach to equipment updating. The study's justification emphasizes the benefits of retrofitting, including updating outdated equipment, reducing environmental impact, and improving operational efficiency. Based on these fundamentals, specific objectives were developed for this work. Initially, a detailed analysis of the initial state of the oil spraying machine was carried out, identifying areas for improvement and critical points. The objectives also included identifying and describing the indispensable equipment for retrofitting, as well as developing a comprehensive project encompassing all necessary modifications. The practical implementation of the project was conducted to ensure the execution of the planned modifications. Highlights include improvements in the machine's control system, including the new electric panel reorganized to facilitate understanding of the electrical project by anyone analyzing it. In addition, the inclusion of a safety PLC reinforced the protection of the production process and operators. Improvements in the HMI screens provided clearer visualization and facilitated process control. The screen dedicated to inverter control offered a more comprehensive management of all stages of the machine operation, providing operators with access to detailed information on the status of the inverters and precise adjustments as needed. Finally, a post-implementation analysis was conducted, critically evaluating the results of the retrofit. Tests performed on the equipment and during the process confirmed the tangible benefits of retrofitting, demonstrating improvements in operational efficiency, operator safety, and machine availability for continuous production. This study seeks to significantly contribute to the field of retrofitting old industrial machines, highlighting its importance for the modernization and efficiency of industries in the era of Industry 4.0.

Keywords: retrofit; industrial machinery; efficiency; sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Antes e depois do retrofit de uma unidade hidráulica.	18
Figura 2 - Representação em blocos do CLP.	19
Figura 3 - Compact Logix 1768 - L43.....	21
Figura 4 - Controlador CompacLogix 5370-L3.	22
Figura 5 - CLP de segurança Guardmaster.....	23
Figura 6 - Conversor de frequência variável.	24
Figura 7 - Exemplo de interface gráfica com excesso de informação.....	26
Figura 8 - Exemplo de interface gráfica simples e limpa.	26
Figura 9 - Pontos positivos da implementação da NR 10.	27
Figura 10 - Conformadora de tubos.....	29
Figura 11 - Máquina onduladeira de arame.....	30
Figura 12 - Máquina onduladeira de arame após as mudanças.	31
Figura 13 - Máquina utilizada para cortar gaxetas	32
Figura 14 - Visão do lado esquerdo da máquina de pulverização de óleo.	34
Figura 15 - Visão direita da máquina de pulverização de óleo.	35
Figura 16 - Fluxo da máquina de pulverização de óleo.....	36
Figura 17 - Disposição dos equipamentos da máquina de pulverização de óleo retirado do projeto elétrico.....	38
Figura 18 - Primeira parte do painel elétrico da máquina de pulverização de óleo.	41
Figura 19 - Segunda parte do painel elétrico da máquina de pulverização de óleo.	42
Figura 20 - Raque de automação no <i>software</i> RSLogix 5000.....	44
Figura 21 - Rotinas para controle do processo no <i>software</i> RSLogix 5000.....	44
Figura 22 - Linha de código no <i>software</i> RSLogix 5000 responsável por acionar a bomba superior.....	45
Figura 23 - Tela antiga para controle do processo dos motores pulverizadores feita no FactoryTalk View Studio.	46
Figura 24 – Tela antiga para controle do processo de limpeza feita no FactoryTalk View Studio.	46
Figura 25 - Disposição dos equipamentos da máquina de pulverização de óleo retirado do novo projeto elétrico.....	49
Figura 26 - Raque de automação atualizado no <i>software</i> Studio 5000.	50

Figura 27 - Linha de código no <i>software</i> RSLogix 5000 responsável por acionar um dos motores superior.	51
Figura 28 - Parâmetros do inversor que controla o motor da esteira no Studio 5000.	51
Figura 29 - Tela de controle do processo de pulverização feita no FacktoryTalk View.	52
Figura 30 - Tela de controle do processo de limpeza feita no FacktoryTalk View.	52
Figura 31 - Primeira parte do novo painel elétrico.	57
Figura 32 - Segunda parte do novo painel elétrico.	58
Figura 33 - Tela de visão geral da máquina de pulverização de óleo feita no FacktoryTalk View.	59
Figura 34 - Tela para monitoramento do CLP de segurança feito no FacktoryTalk View.	59
Figura 35 - Tela para monitoramento dos botões de emergência feita no <i>software</i> FacktoryTalk View.	60
Figura 36 - Tela para controle individual dos motores feita no FacktoryTalk View.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção manual X Produção automático (por hora).	30
Tabela 2 - Variáveis obtidas e utilizadas no cálculo do <i>payback</i>	32
Tabela 3 - Legenda das numerações da Figura 15.....	36
Tabela 4 - Relação entre os inversores e os motores.....	38
Tabela 5 - Comparação entre o CompactLogix 1768 - L43 e o CompactLogix 5370 L3.....	47
Tabela 6 - Comparação entre o PowerFlex 40 e o PowerFlex 525.	47
Tabela 7 - Equipamentos adquiridos.	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IHM - Interface Humano-Máquina.

CLP - Controlador Logico Programável.

CPU - Unidade Central de Processamento.

SD - Segurança Digital.

USB - *Universal Serial Bus*.

CA - Corrente Alternada.

CC - Corrente Continua.

PC - Computador Individual.

NR - Normas Regulamentadoras.

E/S - Entradas e Saídas.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	JUSTIFICATIVA.....	15
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i>	16
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	<i>RETROFIT</i>	17
2.2	CONTROLADOR LOGICO PROGRAMÁVEL(CLP)	18
2.2.1	<i>Tipos de Controladores</i>	20
2.3	INVERSOR DE FREQUÊNCIA	23
2.4	INTERFACE HUMANO-MÁQUINA	24
2.5	NORMAS REGULAMENTADORAS.....	26
2.6	<i>RETROFIT EM MÁQUINAS INDUSTRIAIS</i>	28
2.6.1	<i>Retrofit em Conformadora de Tubos</i>	28
2.6.2	<i>Retrofit de Máquina Onduladeira de Arame</i>	29
2.6.3	<i>Retrofit de Máquina de Corte de Gaxetas</i>	31
3	METODOLOGIA	33
3.1	VISÃO GERAL DA MÁQUINA DE PULVERIZAÇÃO DE ÓLEO	33
3.2	ANÁLISE INICIAL DA MÁQUINA DE PULVERIZAÇÃO DE ÓLEO.....	37
3.3	ELABORAÇÃO DO PROJETO	43
3.4	COMPRA DE MATERIAIS	46
3.5	IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO	48
4	RESULTADOS E ANÁLISES	54
5	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

À medida que os anos avançam, as indústrias experimentam um constante fluxo de inovações tecnológicas. Esse progresso configura um movimento de transformação digital, destacando a essência na automação de processos, na utilização de máquinas e computadores, e na ênfase em inovação e customização como conceitos centrais. Nesse cenário, Ilari *et al.* (2021) ressaltam que a adaptação das máquinas se torna indispensável para a manutenção da competitividade das empresas, considerando os aspectos econômicos, sociais e ambientais. A evolução tecnológica, conforme apontada por Souza (2020), destaca a urgência de aprimorar os processos produtivos. Isso é crucial para atender à crescente demanda de um mercado cada vez mais competitivo, onde as empresas se veem compelidas a modernizar suas operações em busca de eficiência, sustentabilidade e alinhamento com os princípios dessa nova era industrial.

Novas tecnologias vêm sendo amplamente estudada e implementadas por empresas em todo o mundo, pois oferece um grande potencial para melhorar a eficácia operacional, aumentar a produtividade e a competitividade, bem como desenvolver novos modelos de negócios, serviços e produtos. De acordo com Kagermann (*apud Santos et al.*, 2018), essa transformação digital oferece uma série de vantagens e oportunidades, graças à automação de processos e ao uso de tecnologias inovadoras. Considerando o impacto positivo que as novas tecnologias podem ter nos processos produtivos e na competitividade das empresas, torna-se relevante investigar como essa abordagem pode ser aplicada em um contexto específico, como é o caso do reaproveitamento de máquinas industriais antigas por meio do *retrofit*. Essa pesquisa visa contribuir para a compreensão dos desafios e benefícios dessa abordagem sustentável e econômica, oferecendo *insights* relevantes para empresas que desejam atualizar seus equipamentos com uma abordagem mais sustentável.

Com a crescente necessidade de adaptação das empresas à indústria 4.0, tanto as já estabelecidas quanto as novas, a introdução de novas tecnologias no âmbito industrial torna-se indispensável. Nesse contexto, o *retrofit* surge como uma solução viável e econômica para modernizar equipamentos já existentes por meio da incorporação de novas tecnologias (Lins, 2020), atendendo à parcela do mercado que busca se adaptar à indústria 4.0. Portanto, este trabalho tem como objetivo realizar e avaliar a viabilidade técnica e econômica do *retrofit* de uma máquina industrial antiga, visando um reaproveitamento sustentável e econômico desse equipamento, em conformidade com os conceitos de atualização tecnológica sustentável e econômica.

Este trabalho descreve a atualização de um raque de automação com tecnologias obsoletas, como o controlador CompactLogix 1768-L43 e os inversores PowerFlex 40, e atualizar as telas da Interface Humano-Máquina (IHM) Panelview Plus 1000 que controla o processo, visando melhorar o controle e eficiência da produção, reduzindo perdas e tempos de inatividade, questão de extrema importância para indústria. Ao construir um novo painel elétrico em conformidade com as normas de segurança, busca-se também aumentar a segurança dos operadores.

1.1 JUSTIFICATIVA

A contínua progressão da tecnologia na era contemporânea tem introduzido novas soluções em diversos domínios, incluindo virtualização, robotização e automação. O *retrofit* é o foco principal desta pesquisa. Com o avanço da tecnologia e a adoção de sistemas inovadores em vários setores de produção, a modernização de equipamentos ultrapassados tornou-se crucial para um desenvolvimento sustentável e econômico, de acordo com Monteiro (2021).

Considerando o constante avanço tecnológico, muitos maquinários utilizados na indústria podem tornar-se obsoletos e não atender mais às demandas produtivas. Nesse sentido, o *retrofit* tem surgido como uma técnica que permite a atualização desses equipamentos, tornando sua utilização possível novamente e reduzindo o impacto ambiental causado pelo descarte desnecessário de maquinários. Assim, a aplicação de técnicas de *retrofit* tem ganhado cada vez mais destaque na indústria como uma alternativa sustentável e econômica para a modernização de equipamentos (Monteiro, 2021).

Com base nas considerações apresentadas, o propósito deste estudo consiste em realizar e analisar os resultados decorrentes do *retrofit* de uma máquina de spray óleo, destinada a distribuir óleo de maneira uniforme sobre alimentos. A máquina em questão estava equipada com componentes obsoletos e de difícil substituição, aumentando o risco de paralisação na linha de produção em caso de falhas em algum desses elementos. Por meio desta análise, foram examinados os benefícios e a viabilidade do *retrofit* para a indústria em questão.

Segundo Carlo *et al.* (2021), o *retrofit* pode trazer diversos benefícios para as indústrias que adotam essa técnica, como aprimorar a precisão, elevar os padrões de segurança, otimizar o consumo de energia, facilitar a manutenção e melhorar a usabilidade de uma planta antiga para atingir o desempenho ideal da mesma. Portanto, torna-se essencial analisar máquinas que passaram pelo processo de *retrofit*, a fim de identificar as abordagens mais eficazes para esse procedimento e compreender quão benéfico ele pode ser para as indústrias.

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção, serão apresentados os objetivos que guiarão este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Definir claramente os objetivos é fundamental para direcionar a pesquisa, estabelecendo metas específicas que serão alcançadas durante o desenvolvimento do estudo. Esta seção fornecerá uma visão geral sucinta dos propósitos deste trabalho, apresentando os resultados esperados e a contribuição pretendida para a área de estudo.

1.2.1 Objetivo Geral

Realizar e analisar o *retrofit* de uma máquina de pulverização de óleo por meio da substituição do controlador CompactLogix 1768-L43 e dos inversores PowerFlex 40, realizando também o ajuste de parâmetros e a construção de um novo painel elétrico, visando a otimização operacional, a segurança e a integração eficiente do *hardware* e *software*.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, foram elaborados os seguintes objetivos específicos:

- realizar uma análise detalhada do estado inicial da máquina de pulverização de óleo destinada ao *retrofit*, identificando áreas de aprimoramento e pontos críticos;
- identificar e descrever de forma abrangente os equipamentos indispensáveis para a efetivação do *retrofit*, fazendo uma distinção clara entre os componentes que serão mantidos e os que requerem atualização;
- elaborar um projeto abrangente para o *retrofit* da máquina de pulverização de óleo, contemplando todas as modificações necessárias para a modernização, com foco na eficiência operacional e integração tecnológica;
- realizar a implementação prática do projeto de *retrofit*, assegurando a execução eficiente das modificações planejadas para a modernização da máquina;
- conduzir uma análise pós-implementação, avaliando de maneira crítica e abrangente os resultados do *retrofit*, destacando ganhos operacionais e áreas que podem ser aprimoradas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem como objetivo explorar os fundamentos essenciais para o desenvolvimento e implementação bem-sucedidos de sistemas de *retrofit* em ambientes industriais. O *retrofit*, prática cada vez mais essencial para a modernização de equipamentos e processos, visa não apenas à otimização da eficiência energética, mas também ao aprimoramento da segurança e à maximização do controle operacional.

Nesse contexto, será examinado o papel dos Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) e das Interfaces Humano-Máquina (IHMs) na automação e monitoramento desses sistemas, destacando suas funções e benefícios práticos. Além disso, será abordada a importância dos inversores de frequência na atualização de motores e processos industriais, considerando sua contribuição para a eficiência operacional e a redução de custos. Por fim, serão discutidas as implicações das normas regulamentadoras pertinentes, buscando alinhar os processos de *retrofit* às exigências legais e normativas que regem o ambiente industrial, garantindo assim a conformidade e a segurança dos sistemas implementados. Esta revisão visa oferecer uma análise abrangente e integrada desses elementos-chave, proporcionando uma base sólida para a compreensão e aplicação prática do *retrofit* em contextos industriais diversos.

2.1 RETROFIT

Retrofit, um termo em inglês que significa reforma, é amplamente utilizado no contexto da engenharia para descrever o processo de modernização e atualização de equipamentos. Esse procedimento é fundamental para aprimorar sistemas de comando e automação, substituir peças desgastadas e renovar partes móveis, garantindo assim a eficiência e prolongando a vida útil do equipamento (Teixeira *et al.*, 2019).

Segundo Santos, Salume e Freitas (2019) a obsolescência de equipamentos é resultado da constante busca por melhorias nos sistemas, especialmente os eletrônicos, para atender à crescente demanda por produtividade. Isso acarreta uma redução no ciclo de vida dos equipamentos, tornando a atualização tecnológica uma necessidade imperativa. Frequentemente, os componentes ou sistemas afetados por essa dinâmica têm seu fornecimento interrompido pelos fabricantes, o que reforça a urgência da atualização.

O *Retrofit* é uma prática que visa aprimorar sistemas existentes, como máquinas ou linhas de produção, adicionando funcionalidades que não estavam presentes em sua

configuração original. Esse processo envolve a integração de novos componentes de *software* e *hardware*, juntamente com a adoção de protocolos de comunicação mais modernos entre os elementos do sistema. Ao aprimorar essas partes, é possível realizar diagnósticos mais precisos e monitorar dados e informações de maneira mais eficaz e ágil, atendendo assim às demandas do cliente de forma mais eficiente (Monteiro, 2021).

Grams e Cetnarowski (2014) descrevem as etapas do *retrofit* em: avaliação do equipamento, desenvolvimento do projeto, aquisição de materiais, implementação e testes. Na etapa de avaliação, define-se o objetivo do projeto e levantam-se os dados necessários por meio de uma análise inicial da máquina. No desenvolvimento, as modificações são elaboradas com base no projeto original do equipamento. Em seguida, realiza-se a compra dos materiais e a intervenção no equipamento, desmontando peças antigas e instalando as alterações conforme o projeto elaborado. Durante a instalação, são conduzidos testes de funcionamento e ajustes para assegurar o desempenho esperado. Ao término dos testes, a máquina é monitorada por um período específico, variando conforme sua complexidade.

O *retrofit* de máquinas ou sistemas, é um processo usual e eficaz para modernizá-los, sendo uma opção mais econômica em comparação à aquisição de novos. Essa prática envolve a substituição de peças e componentes obsoletos, possibilitando uma renovação que visa estender a vida útil de máquinas desatualizadas, enquanto gera economia para as indústrias (Souza, 2020). A Figura 1, mostra uma unidade hidráulica antes e depois do *retrofit*, e somente através dela é possível perceber o efeito do *retrofit* na máquina, que agora aparenta ser uma máquina nova, mas que simplesmente passou por esse processo.

Figura 1 - Antes e depois do retrofit de uma unidade hidráulica.



Fonte: Extraído de Industrial 4.0 (2018).

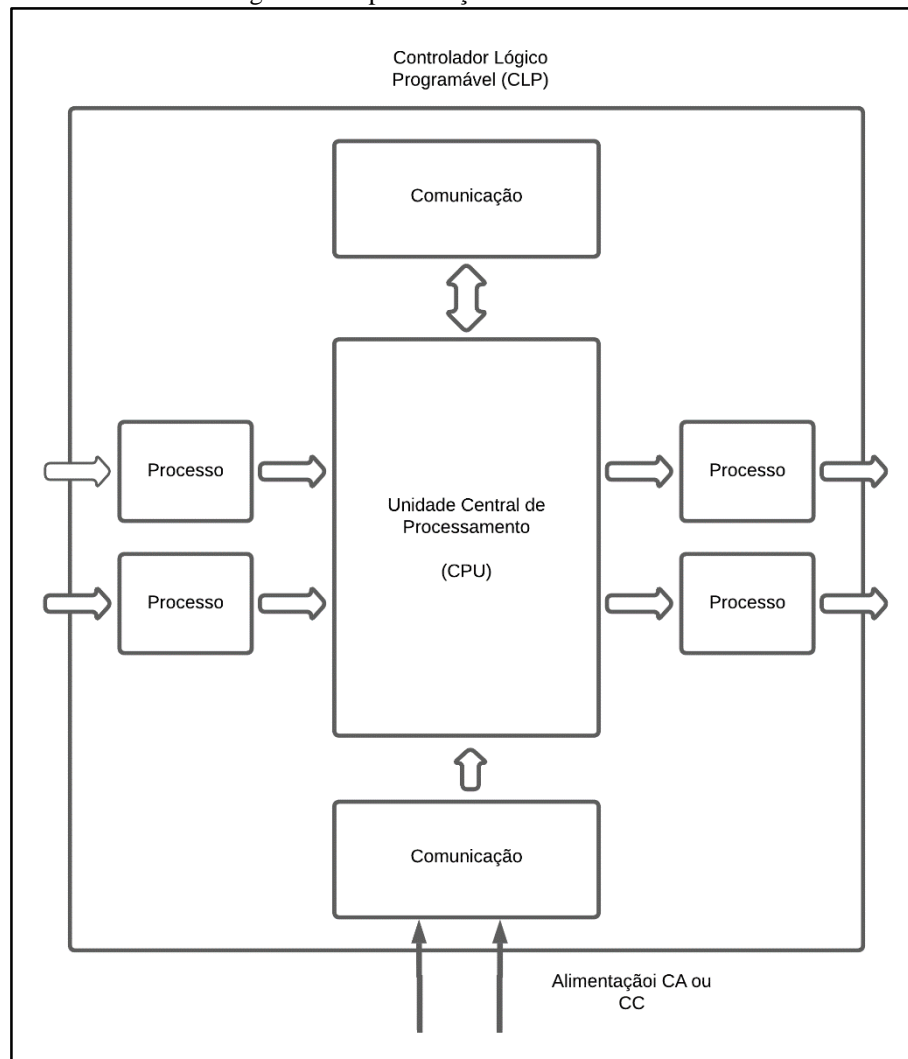
2.2 CONTROLADOR LOGICO PROGRAMÁVEL (CLP)

O Controlador Lógico Programável (CLP), conforme destacado por Silva (2021), é um tipo de computador industrial dotado da capacidade de armazenar instruções para o

gerenciamento de processos, bem como a implementação de funções e blocos funcionais em um sistema. Além disso, o CLP apresenta a capacidade de executar operações lógicas e aritméticas, manipulação de dados, bem como comunicação em rede, o que possibilita a automação eficiente do controle das atividades em uma planta industrial.

Segundo Santos (2023), o CLP é composto basicamente por um dispositivo com entrada e saídas (analógicas e/ou digitais), uma Unidade Central de Processamento (*CPU*), uma unidade de comunicação e uma fonte de alimentação, como é apresentado na Figura 2. Os CLPs são amplamente empregados em diversos contextos de automação, destacando-se por suas inúmeras vantagens, como a facilidade de programação e instalação. Além disso, proporcionam uma notável redução de atrito e custos associados aos circuitos de controle convencionais com relés.

Figura 2 - Representação em blocos do CLP.



Fonte: Adaptada de Santos (2023).

Arioli (2023) afirma que os Controladores Lógicos Programáveis são constituídos por

um processador central, memória dedicada para o armazenamento do programa, interfaces de entrada e saída, e também oferecem módulos opcionais para expandir sua capacidade. Estes dispositivos funcionam através da execução de um programa desenvolvido em uma linguagem de programação específica, tais como *Ladder*, *Function Block*, *Instruction List* ou *Structured Text*.

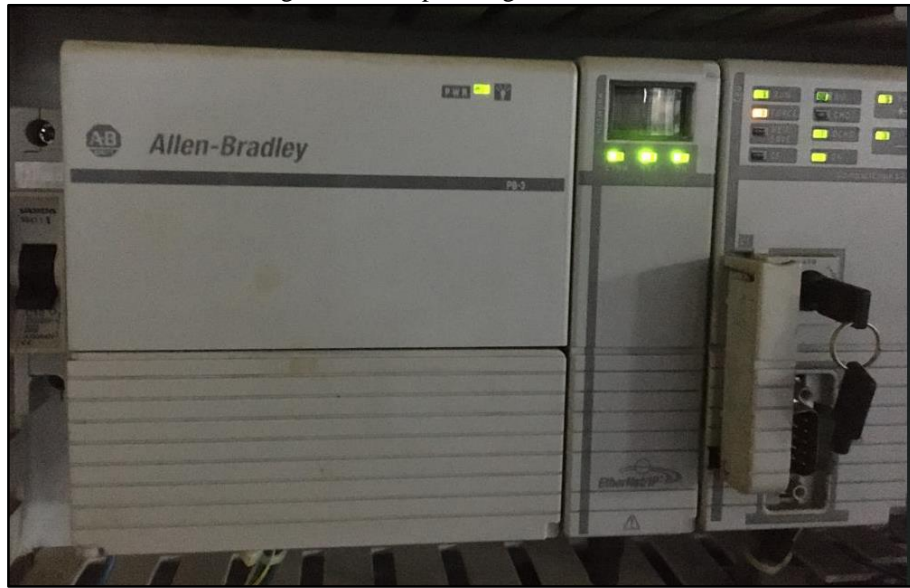
Atualmente, no mercado de automação, uma variedade de marcas oferece controladores notáveis pela sua robustez e confiabilidade. Esses dispositivos demandam dos profissionais da automação não apenas flexibilidade, mas também uma compreensão profunda das tecnologias específicas que cada marca emprega. Destacando-se nesse cenário de avanços tecnológicos, a Siemens se posiciona como uma líder incontestável. Com seis décadas de experiência, a empresa desempenhou um papel fundamental na transformação da produção industrial (Kratsch, 2022).

2.2.1 Tipos de Controladores

Existem diversos modelos de CLP para as mais variadas aplicações, sendo necessário entender qual modelo se encaixa mais para cada situação. Um dos modelos de CLP de comando mais utilizado é o CompactLogix 1768-L43, da fornecedora global Rockwell Automation, apresentado na Figura 3. O sistema Compact Logix foi desenhado para oferecer uma solução para aplicações de controle a nível de máquina com requisitos de entradas/saídas, movimento e rede (Morán, 2023).

Conforme destacado por Scott (2020), o controlador CompactLogix 1768-L43 fez sua estreia inicial em 2001, apresentando inovações como um cartão de memória *flash* compacto, uma porta Ethernet, uma porta serial RS-232, além dos módulos 1768 e um módulo de fonte de alimentação integrado.

Figura 3 - Compact Logix 1768 - L43.



Fonte: Autoria própria (2024).

Outro controlador de comando amplamente empregado, também pertencente à linha da Rockwell Automation e da mesma família do controlador mencionado anteriormente, é o CompactLogix 5370-L3. Esse dispositivo foi projetado para supervisionar processos automatizados, oferecendo uma solução compacta e economicamente viável. Sua utilização abrange desde aplicações de menor escala até aquelas que demandam desempenho elevado (Tandazo; Briones, 2020).

A Figura 4, apresenta o CompactLogix 5370-L3 que, segundo Scott (2020) foi lançado em 2012, sendo um controlador de baixo custo, habilitado para Ethernet/IP, com alto desempenho e um formato 40% menor que as versões anteriores. O CLP possui um cartão de memória SD (*Security Digital*), duas entradas Ethernet, uma entrada *USB 2.0*, módulos de entradas e saídas 1769, uma fonte de energia, suporta instruções de alarme e podem ser programados utilizando o *software* Studio 5000. Essas características tornam o controlador uma escolha eficaz e versátil para diversas aplicações industriais.

Figura 4 - Controlador CompacLogix 5370-L3.



Fonte: Extraído de Escorihuela (2019).

Um dos Controladores Lógicos Programáveis que se destacam por suas funções distintas é o CLP de segurança. Ao contrário do controlador de comando convencional, o CLP de segurança tem a responsabilidade de monitorar os componentes instalados para garantir a operação segura das máquinas. Esse tipo de CLP é essencial em ambientes industriais onde a segurança dos operadores e a integridade dos equipamentos são prioridades (Corrêa; Rivaben; Pinheiro, 2021).

O CLP de segurança, especializado para ambientes industriais, foi meticulosamente projetado para fornecer funcionalidades de segurança avançadas. Semelhante ao relé de segurança, ele tem a capacidade de monitorar e controlar várias entradas e saídas. No entanto, ele vai além, permitindo interações sofisticadas por meio de *software* dedicado, o que garante um controle preciso e detalhado sobre a segurança das máquinas (Ronchi, 2023).

Um exemplo de CLP de segurança amplamente utilizado é o Guardmaster Allen-Bradley, fabricado pela Rockwell Automation. Estes CLPs verificam e monitoram o sistema de segurança, permitindo que a máquina inicie ou execute comandos para interromper sua operação ou controlar funções relacionadas à segurança. Eles são recomendados em situações onde é necessário um grande e diversificado número de dispositivos de proteção (Rockwell Automation, 2014). A Figura 5, apresenta um modelo do Guardmaster.

Figura 5 - CLP de segurança Guardmaster.



Fonte: Extraído de Rockwell Automation (2014).

O Guardmaster possui 22 pontos de E/S, portar serial incorporada e possui modelos de expansão para aprimorar ainda mais o sistema de proteção, sendo capaz de monitorar uma grande variedade de dispositivos de segurança em uma gama de aplicações. Esse equipamento possui flexibilidade para ser programada através de dois *softwares* da fabricante Rockwell Automation, o Connected Components Workbench e o Studio 5000 (Rockwell Automation, 2014).

2.3 INVERSOR DE FREQUÊNCIA

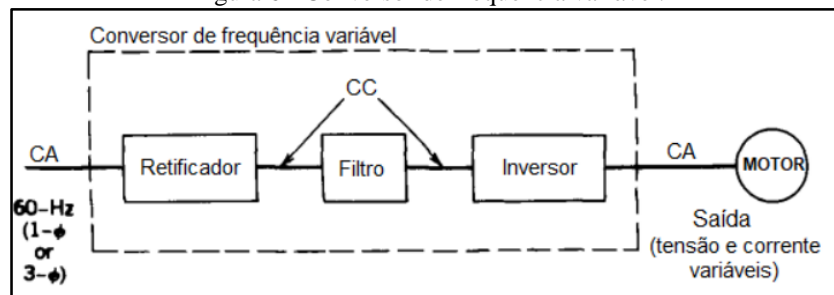
Amplamente empregado na indústria, o inversor de frequência é um dispositivo que possibilita a geração de tensão e frequência trifásicas ajustáveis, sendo utilizado para controlar a velocidade de motores de indução trifásicos. Motores que incorporam esse tipo de acionamento desfrutam de vantagens notáveis, como a eficiência energética e aprimoramento no desempenho de máquinas e equipamentos. Este acionamento reduz significativamente o pico de corrente na partida do motor, contribuindo para um aumento notável na vida útil e uma diminuição na frequência necessária para a manutenção (Santos, 2019).

Conforme mencionado por Coelho (2020), existem diversas estratégias para a aplicação eficiente de um inversor de frequência, se sua utilização na fase inicial do motor. O emprego de um acionamento suave, por meio de rampas específicas, não apenas traz vantagens para o próprio processo, mas também apresenta benefícios abrangentes para a rede elétrica em sua

totalidade. Além disso, uma aplicação adicional de destaque é a habilidade de ajustar continuamente a rotação do motor. Essa abordagem evita variações abruptas nas tubulações de água, oferecendo um controle preciso sobre a pressão de recalque.

Os inversores de frequência consistem, essencialmente, em três etapas, conforme ilustrado na Figura 6. Na primeira fase, a tensão de corrente alternada (CA) proveniente da rede elétrica atravessa um retificador, controlado ou não, com o propósito de converter essa onda em uma tensão corrente contínua (CC) com oscilações de CA. No segundo estágio, a onda convertida passa por um filtro para atenuar as variações geradas pelo retificador. Por fim, um circuito inversor comuta a tensão CC para criar uma onda de tensão CA com a frequência desejada para alimentar o motor (Araújo, 2023).

Figura 6 - Conversor de frequência variável.



Fonte: Extraído de Araújo (2023).

Entre as diversas abordagens para o controle de motores, aquelas que mais se sobressaem são as que incorporam o inversor de frequência. Como resultado, este dispositivo encontra-se amplamente presente em várias indústrias. Atualmente, uma extensa gama de empresas dedica-se à fabricação de inversores, incluindo nomes como Weg, Yaskawa, Allen Bradley, ABB, Siemens, entre outras. Essas companhias não apenas oferecem uma variedade de modelos de inversores, que podem ser utilizados em diversas situações (Santos, 2019).

2.4 INTERFACE HUMANO-MÁQUINA

Conforme Vieira (2018) destaca, a Interface Humano-Máquina (IHM) desempenha o papel crucial de ser uma conexão entre o operador e o ambiente da fábrica. Essa interface viabiliza a interação do operador com uma máquina, permitindo-lhe tanto comandá-la quanto monitorá-la. Essa interação é facilitada por meio de conjuntos de telas, *displays* gráficos, *switches*, botões e outras tecnologias similares.

A Interface Humano-Máquina serve como uma plataforma que simplifica a comunicação entre o indivíduo e o equipamento. Suas diversas funcionalidades e leituras são condensadas e apresentadas de maneira acessível ao usuário através de uma interface. Em vez

de recorrer a linhas de código de programação, as telas incorporam botões e símbolos representativos, abrangendo todos os elementos que uma pessoa pode tocar, ver, ouvir ou utilizar para realizar operações de controle e receber *feedback* sobre essas ações (Rocha, 2021).

As atuais IHM's apresentam telas *touchscreen* programáveis de acordo com os requisitos da máquina. Elas estabelecem comunicação eficiente com o Controlador Lógico Programável por meio de diversos protocolos, como RS232, RS485 e Ethernet. Além disso, ao se comunicar com o controlador, a IHM utiliza tanto a sua própria memória quanto a do CLP, otimizando a troca de informações. Essa abordagem contribui para economizar entradas e saídas físicas, eliminando a necessidade de adquirir módulos de expansão adicionais (Grams; Cetnarowski, 2014).

As IHM's são divididas em três tipos básicos (Rocha, 2021):

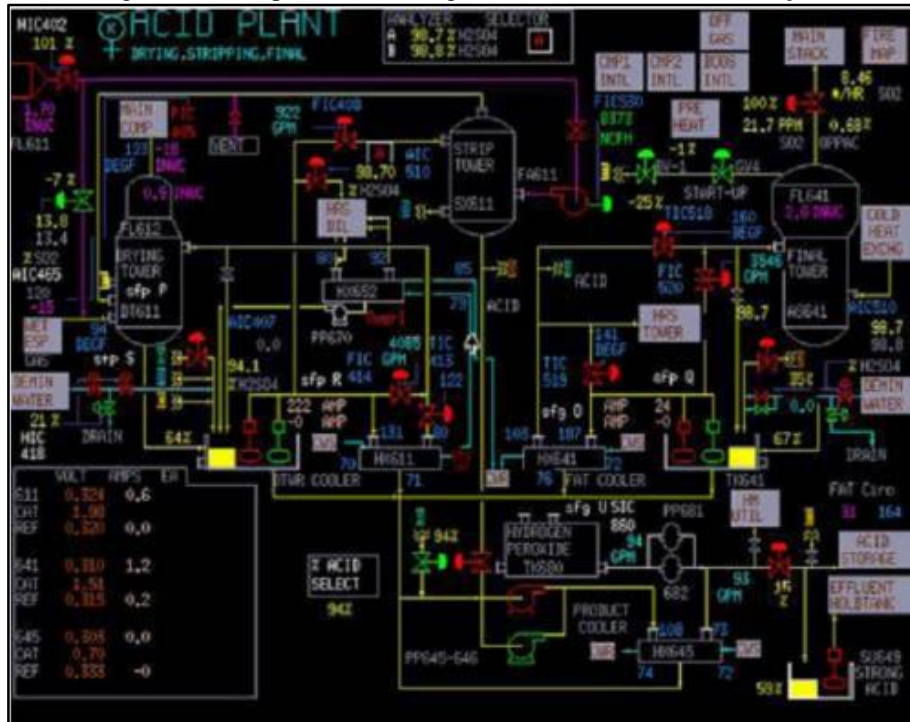
- Substituição de botoeiras: possibilita a centralização de todas as botoeiras e suas funções em um único local, de forma gráfica. Geralmente, essas interfaces apresentam apenas botões, textos, números e gráficos com limitações significativas;
- Tratamento de dados: utilizadas em aplicações que exigem monitoramento constante, como, por exemplo, *feedbacks* de desempenho de uma planta operada. São equipadas com memória de grande capacidade e sistemas operacionais eficientes;
- Supervisão: semelhante à anterior, a diferença reside no desenvolvimento da programação da IHM e no custo de implementação. Estas IHMs seguem uma abordagem baseada em PC, tipicamente utilizando *software* licenciado, enquanto o próprio PC executa a aplicação, proporcionando recursos adicionais para o tratamento de dados.

O *design* das telas da Interface Humano-Máquina está diretamente vinculado ao nível de produção das áreas em que esses equipamentos são utilizados, uma vez que influenciam a capacidade de gerenciamento efetivo das operações. Por exemplo, telas com baixa relevância, mas com excesso de informações, podem prejudicar a detecção de alarmes. O uso indiscriminado de animações ou cores também pode desviar a atenção do operador do que é verdadeiramente importante. Essas são algumas das preocupações a serem consideradas durante o desenvolvimento de uma IHM (Vieira, 2018).

A Figura 7, ilustra um exemplo de interface Humano-máquina sobrecarregada com informações, enquanto a Figura 8 exibe um *design* mais simples, porém que incorpora todas as informações relevantes de maneira legível. De acordo com Vieira (2018), muitos acidentes industriais podem ser evitados através de interfaces bem projetadas. No entanto, a premissa oposta também é verdadeira; uma IHM com falhas de *design* pode agravar situações ou até

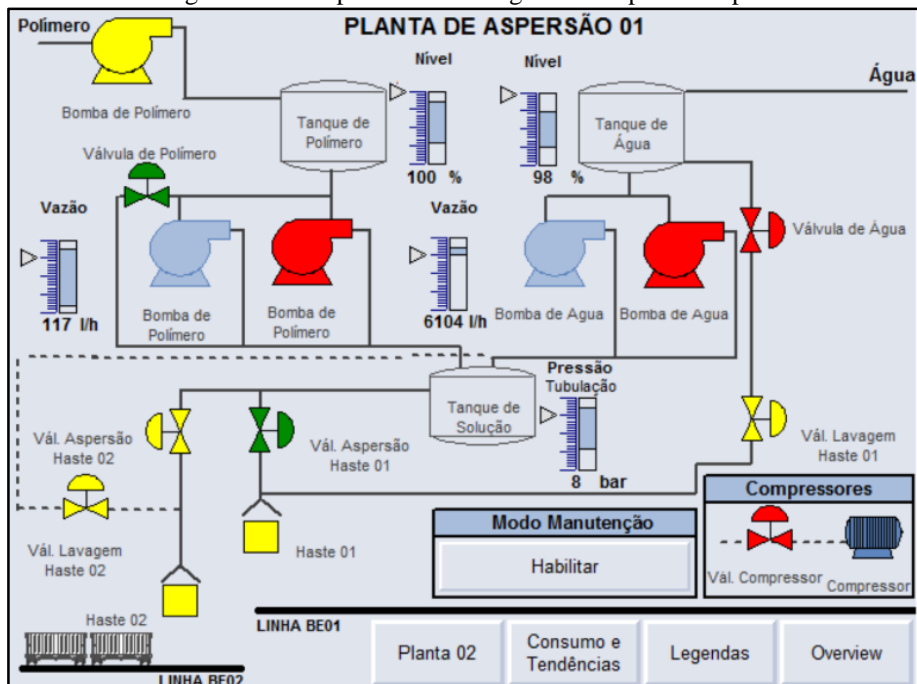
mesmo ser a causa de catástrofes. Portanto, é de vital importância, durante o desenvolvimento de uma interface, analisar se as telas possuem *designs* elaborados para auxiliar os operadores, sem prejudicar sua compreensão.

Figura 7 - Exemplo de interface gráfica com excesso de informação.



Fonte: Extraído de Vieira (2023).

Figura 8 - Exemplo de interface gráfica simples e limpa.



Fonte: Extraído de Vieira (2023).

2.5 NORMAS REGULAMENTADORAS

Segundo Santos Júnior (2018), em 1978 foram criadas as Normas Regulamentadoras (NR) pelo ministério do trabalho, trazendo como benéficos para o governo a diminuição de acidentes de trabalho, reduzindo e garantindo a segurança dos trabalhadores brasileiros.

Duas normas são de extrema importância para projetos elétricos, sendo elas a NR 10 – Segurança em Instalações e Serviço com Eletricidade, que estabelece os requisitos e condições mínimas exigidas para garantir a segurança e saúde de trabalhadores que interagem com instalações elétricas, e a NR 12 (Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos) que definem técnicas de proteção que tendem a garantir a saúde e integridade física dos colaboradores durante as fases do projeto (Teixeira *et al.*, 2019).

A Norma Regulamentadora 10 (NR 10) passou por sua última atualização em 2004, trazendo uma significativa movimentação no mercado no que diz respeito à proteção dos profissionais que lidam com eletricidade. Ela foi criada para preencher uma lacuna técnica entre as normas existentes, os procedimentos necessários e os equipamentos de segurança, com o objetivo de reduzir o índice de acidentes relacionados a intervenções elétricas (Santos Júnior, 2018). Por mais que represente um custo para as empresas, a implementação da NR 10 traz diversos pontos positivos como mostra a Figura 9.

Figura 9 - Pontos positivos da implementação da NR 10.



Fonte: Extraído de Santos Júnior (2018).

A Norma Regulamentadora 12 (NR 12) tem como objetivo estabelecer técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para assegurar a saúde e a integridade física dos trabalhadores. Ela define requisitos para prevenir acidentes e doenças em todas as fases, desde

o projeto até a utilização de máquinas e equipamentos de todos os tipos. Isso abrange desde a concepção, passando pela produção, até o uso final desses equipamentos (Silva, 2019).

2.6 RETROFIT EM MÁQUINAS INDUSTRIAIS

O processo de *retrofit* tem ganhado destaque entre empresas industriais em busca de otimização de processos e equipamentos, oferecendo uma alternativa econômica à substituição completa. Ao analisar os casos de *retrofit*, percebe-se uma série de benefícios, incluindo a extensão da vida útil dos equipamentos, a redução dos custos de manutenção e o aumento da disponibilidade operacional. Além disso, essa técnica possibilita a introdução de novas funcionalidades, tornando os equipamentos mais versáteis e eficientes. Portanto, investir em *retrofit* não apenas melhora a competitividade das empresas a curto prazo, mas também promove economias a longo prazo e práticas mais sustentáveis, tornando-se uma opção atrativa para muitas organizações.

2.6.1 *Retrofit em Conformadora de Tubos*

O propósito fundamental de uma conformadora de tubos, como a representada na Figura 10, é moldar o tubo conforme o projeto específico solicitado pelo cliente. De acordo com a análise conduzida por Grams e Cetnarowski (2014), a fábrica onde este *retrofit* foi implementado possuía três conformadoras de tubos que estavam fora de operação devido a problemas no CLP e à falta de materiais adequados. Com a intenção de reduzir os custos associados à manutenção dessas máquinas, optou-se por realizar o *retrofit* completo do sistema de controle da máquina. Este processo foi conduzido com o objetivo de revitalizar o desempenho e a eficiência das conformadoras, proporcionando uma operação mais confiável e econômica.

Figura 10 - Conformadora de tubos.



Fonte: Extraído de Grams e Cetnarowski (2014).

Para a realização do *retrofit*, foi desenvolvido um novo painel elétrico equipado com tecnologia atualizada. Em seguida, foram conduzidos testes minuciosos com os sinais digitais e analógicos, culminando na elaboração do programa de controle da máquina. Após essa etapa, o programa foi rigorosamente testado, resultando em um funcionamento eficiente da máquina (Grams; Cetnarowski, 2014).

O ponto mais significativo desse *retrofit* foi a economia substancial alcançada. De acordo com Grams e Cetnarowski (2014), o preço de uma nova máquina fabricada no Brasil varia entre R\$ 320.000,00 e R\$ 400.000,00, enquanto o custo do *retrofit* da máquina foi de aproximadamente R\$ 40.000,00. Essa diferença considerável demonstra a eficácia e o impacto positivo da decisão de realizar o *retrofit* em vez de adquirir uma nova máquina.

2.6.2 *Retrofit de Máquina Onduladeira de Arame*

Conforme mencionado por Dalchasso *et al.* (2020), a máquina onduladeira de tubos, representada na Figura 11 e submetida ao *retrofit*, desempenha um papel crucial no processo de fabricação de telas artísticas. Anteriormente operando de forma manual, essa máquina estava completamente dependente do operador. Em decorrência disso, foi conduzido o processo de *retrofit* com o objetivo de converter a máquina para operação em modo automático. Essa transformação possibilitou uma operação mais eficiente e independente, melhorando significativamente o processo de fabricação das telas artísticas.

Figura 11 - Máquina onduladeira de arame.



Fonte: Extraído de Dalchasso *et al.* (2020).

A automação da máquina de ondular arames trouxe uma série de benefícios significativos para a empresa, incluindo ganhos no tempo de produção, precisão de corte e economia de material. O aumento na produção é claramente evidenciado na Tabela 1, onde se constata que o modo automático gera 1400 mil metros lineares por hora a mais do que no modo manual, representando um aumento de aproximadamente 333,33% na produção em metros, conforme relatado por Dalchasso *et al.* (2020). Esses resultados destacam o impacto positivo da automação na eficiência operacional e na produtividade da empresa. A figura 12, apresenta a máquina onduladeira após as mudanças.

Tabela 1 - Produção manual X Produção automático (por hora).

Tempo	Produção – Unidade de medida: metro linear	
	MANUAL	AUTOMÁTICO
1 hora	600 m	2000 m

Fonte: Extraído de Dalchasso *et al.* (2020).

Figura 12 - Máquina onduladeira de arame após as mudanças.



Fonte: Extraído de Dalchasso et al. (2020).

2.6.3 Retrofit de Máquina de Corte de Gaxetas

De acordo com Souza (2020), a gaxeta é um elemento de vedação essencial que pode ser empregado para controlar a quantidade de zinco em um processo de galvanização a quente de arames de aço. No entanto, as gaxetas utilizadas nessa aplicação são mais robustas do que as disponíveis atualmente, o que acaba comprometendo a qualidade do processo de fabricação dessas peças em máquinas já existentes. Em resposta a isso, foi conduzido um *retrofit* na máquina utilizada na fabricação de gaxetas, visando capacitar a máquina para o corte desse material específico. Esse *retrofit* possibilitou a adaptação da máquina às exigências do processo, garantindo assim a qualidade e eficiência necessárias na produção das gaxetas.

O projeto englobou o estudo do funcionamento dos sistemas e componentes da máquina atual, conforme representada na Figura 13, possibilitando assim o desenvolvimento e teste de opções para otimizar o corte, automatizar a alimentação do material e proporcionar ganhos significativos em produtividade e segurança do operador, como descrito por Souza (2020). Esse esforço direcionado resultou em melhorias substanciais no desempenho da máquina, garantindo um processo de fabricação mais eficiente e seguro para a produção das gaxetas.

Figura 13 - Máquina utilizada para cortar gaxetas



Fonte: Extraído de Souza (2020).

Além dos benefícios evidentes no processo de operação da máquina, Souza (2020) também realizou uma análise dos ganhos financeiros resultantes das modificações realizadas por meio do *retrofit*. Para a execução desse projeto, foi estabelecido um orçamento no valor de R\$ 23.732,45. Utilizando a Tabela 2, foi concluído que o investimento será recuperado em aproximadamente 2 anos e 4 meses. Essa avaliação financeira reforça a viabilidade e o retorno positivo obtido com o *retrofit* da máquina utilizada na fabricação das gaxetas.

Tabela 2 - Variáveis obtidas e utilizadas no cálculo do *payback*.

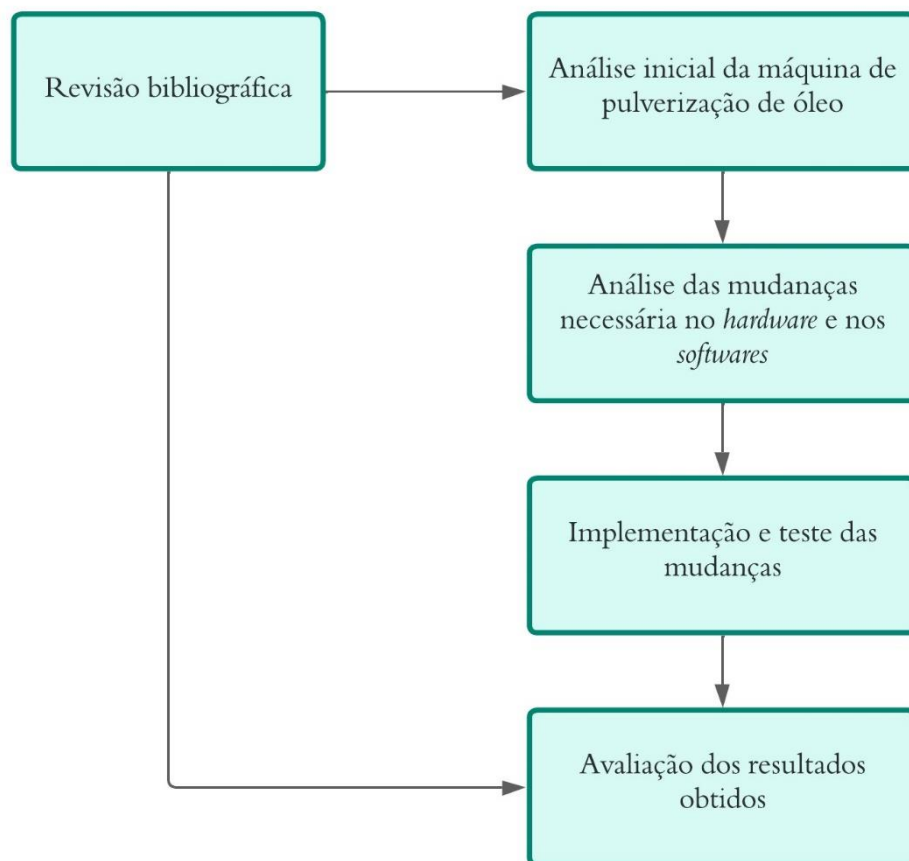
COMPARATIVO PROJEÇÃO DE VENDAS	
NÚMERO DE PEÇAS NECESSÁRIA POR MÊS [un]	1200
QTD DE HORAS TRABALHADAS MÁQ. ATUAL [h]	54
QTD DE HORAS TRABALHADAS MÁQ. NOVA [h]	20
GANHO MENSAL [R\$]	841,18
GANHO ANUAL [R\$]	10.094,12
<i>PAYBACK</i> [anos]	2,35

Fonte: Extraído de Souza (2020).

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento desse trabalho foi dividido em várias etapas fundamentais: análise do estado da máquina de pulverização de óleo antes do *retrofit*, identificação das alterações necessárias nos componentes de *hardware* e *software*, implementação dessas modificações e, por fim, avaliação dos resultados obtidos. Cada uma dessas fases será conduzida em paralelo com revisões bibliográficas. O Fluxograma 1, destaca as etapas-chave essenciais para o desenvolvimento da pesquisa, proporcionando uma compreensão mais aprofundada da metodologia empregada.

Fluxograma 1 - Etapas do processo metodológico.



Fonte: Autoria própria (2024).

3.1 VISÃO GERAL DA MÁQUINA DE PULVERIZAÇÃO DE ÓLEO

O propósito da máquina de pulverização de óleo, ilustrada nas Figuras 14 e 15 consiste na distribuição uniforme de líquidos sobre alimentos. Composta por uma cúpula metálica, a máquina abriga quatro motores na parte inferior e dois na parte superior, incumbidos de aplicar

o líquido sobre os alimentos. Além disso, integra uma esteira horizontal que atravessa a cúpula, movendo os alimentos de uma extremidade a outra da máquina para pulverizar o líquido sobre eles. Para o monitoramento e controle do processo, a máquina conta ainda com uma Interface Humano-Máquina.

Figura 14 - Visão do lado esquerdo da máquina de pulverização de óleo.



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 15 - Visão direita da máquina de pulverização de óleo.

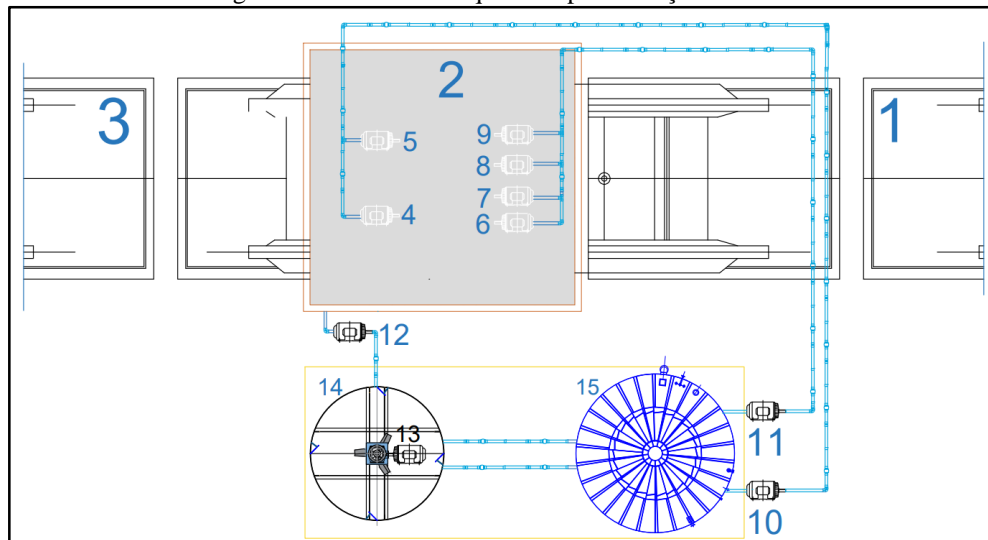


Fonte: Autoria própria (2024).

A máquina desempenha dois processos distintos, ambos controlados pela interface Humano-máquina. No primeiro, realiza-se o processo de pulverização do líquido nos alimentos. Nessa etapa, o líquido é inicialmente liberado para as bombas, que iniciam a pulverização. Posteriormente, a esteira é ativada, permitindo que os alimentos transitem pela área de pulverização. O segundo processo é dedicado à limpeza da máquina de pulverização de óleo, onde é liberado um produto de limpeza para os motores, os quais pulverizam esse agente de limpeza por toda a máquina.

A Figura 16, apresenta o *layout* da máquina de pulverização de óleo, onde é possível observar os pontos críticos dela, que são nomeados na Tabela 3.

Figura 16 - Fluxo da máquina de pulverização de óleo.



Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 3 - Legenda das numerações da Figura 15.

Numeração	Nomeação
1	Esteira para entrada do produto
2	Esteira da máquina de pulverização de óleo
3	Esteira para saída do produto finalizado
4	Motor superior 1
5	Motor superior 2
6	Motor inferior 1
7	Motor inferior 2
8	Motor inferior 3
9	Motor inferior 4
10	Bomba superior
11	Bomba inferior
12	Bomba de retorno
13	Motor de mistura
14	Tanque de mistura
15	Tanque de armazenamento

Fonte: Autoria própria (2024).

O processo inicia no ponto 1, onde a esteira de entrada do produto fornece o material destinado à pulverização por óleo. Este material segue então para a máquina de pulverização de óleo, atravessando a esteira correspondente a este ponto, marcada como ponto 2. Em paralelo ao suprimento do produto, as bombas identificadas como 11 e 10 direcionam o óleo do tanque de armazenamento, representado pelo número 15, para os motores numerados de 4 a 5. Após a pulverização, o óleo restante, que não adere ao produto, é direcionado de volta ao tanque de mistura através da bomba de retorno, designada como número 12, localizada nesse ponto. No tanque de mistura, o óleo é processado pelo motor 13, com o intuito de manter uma consistência específica e auxiliar na limpeza, permitindo seu retorno ao tanque de armazenamento para um

novo ciclo de uso. Por fim, o produto já pulverizado pelo óleo segue para a esteira de saída 3, pronto para ser finalizado.

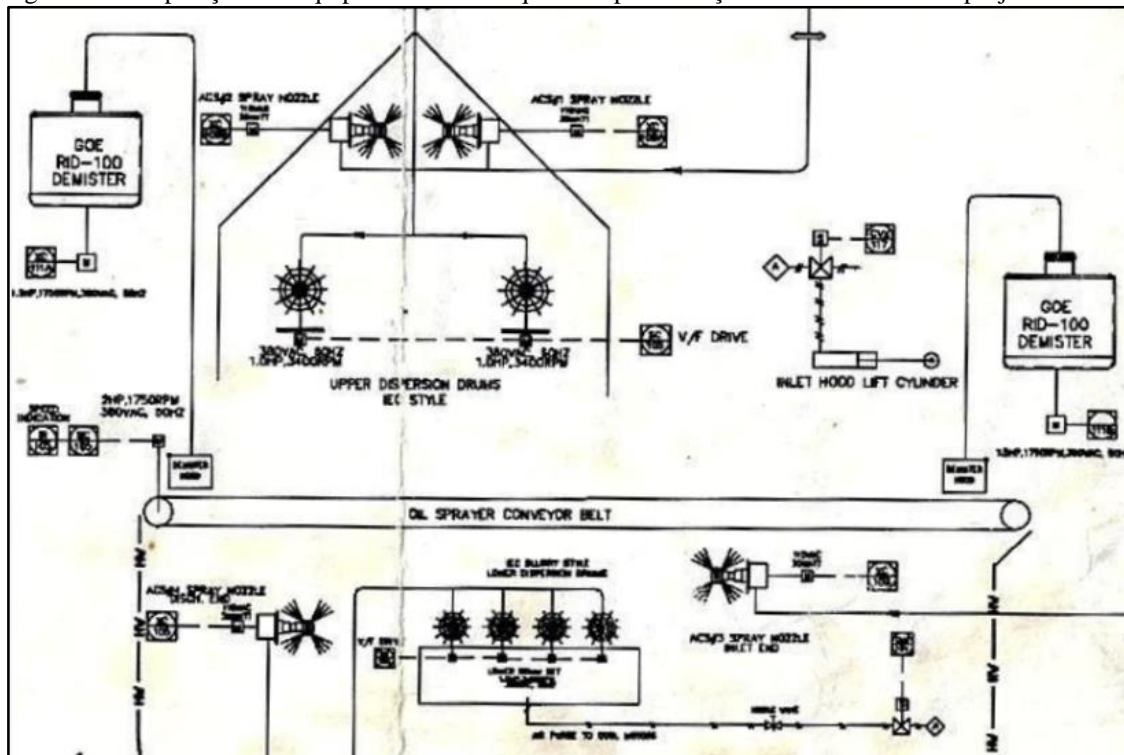
3.2 ANÁLISE INICIAL DA MÁQUINA DE PULVERIZAÇÃO DE ÓLEO

A primeira etapa da análise da máquina iniciou-se com uma visita de campo, permitindo a observação direta dos processos da máquina de pulverização de óleo, dos equipamentos presentes e do painel elétrico. Durante essa visita, foi possível entender melhor a função de cada equipamento e seu comportamento em todos os processos. Foi possível obter informações importantes, como a quantidade de motores utilizados (um total de 11), os *datasheets* de cada um, bem como o tipo de controlador e IHM utilizados. Além disso, durante essa visita, foram feitos os *backups* do projeto elétrico, do código do CLP e do código da IHM.

O segundo objetivo da visita foi analisar as entradas e saídas dos cartões do CLP, para compreender o que cada saída aciona e quais sinais chegam nas entradas do controlador. Isso foi feito em conjunto com o *backup* do projeto elétrico, o que ajudou a identificar onde cada E/S se conecta.

A terceira análise realizada envolveu a observação do número de inversores em operação na máquina de pulverização de óleo, bem como quantos motores cada um deles controlava. Para isso, também foi necessário compreender a disposição de cada um dos motores, que está detalhada na Figura 17, retirada do projeto elétrico. Essa figura esquematiza a disposição dos equipamentos na máquina de pulverização de óleo. No total, foram identificados sete inversores PowerFlex 40 em uso no processo, e os detalhes sobre a quantidade e quais motores cada um controlava estão listados na Tabela 4.

Figura 17 - Disposição dos equipamentos da máquina de pulverização de óleo retirado do projeto elétrico.



Fonte: Extraído do projeto elétrico (2024).

Tabela 4 - Relação entre os inversores e os motores.

Modelo do Inversor	Máquinas controladas
Inversor PowerFlex 40	Motor Superior 1 Motor Superior 2
Inversor PowerFlex 40	Motor Inferior 1 Motor Inferior 2 Motor Inferior 3 Motor Inferior 4
Inversor PowerFlex 40	Motor da esteira
Inversor PowerFlex 40	Bomba superior
Inversor PowerFlex 40	Bomba inferior
Inversor PowerFlex 40	Bomba de retorno
Inversor PowerFlex 40	Motor de mistura

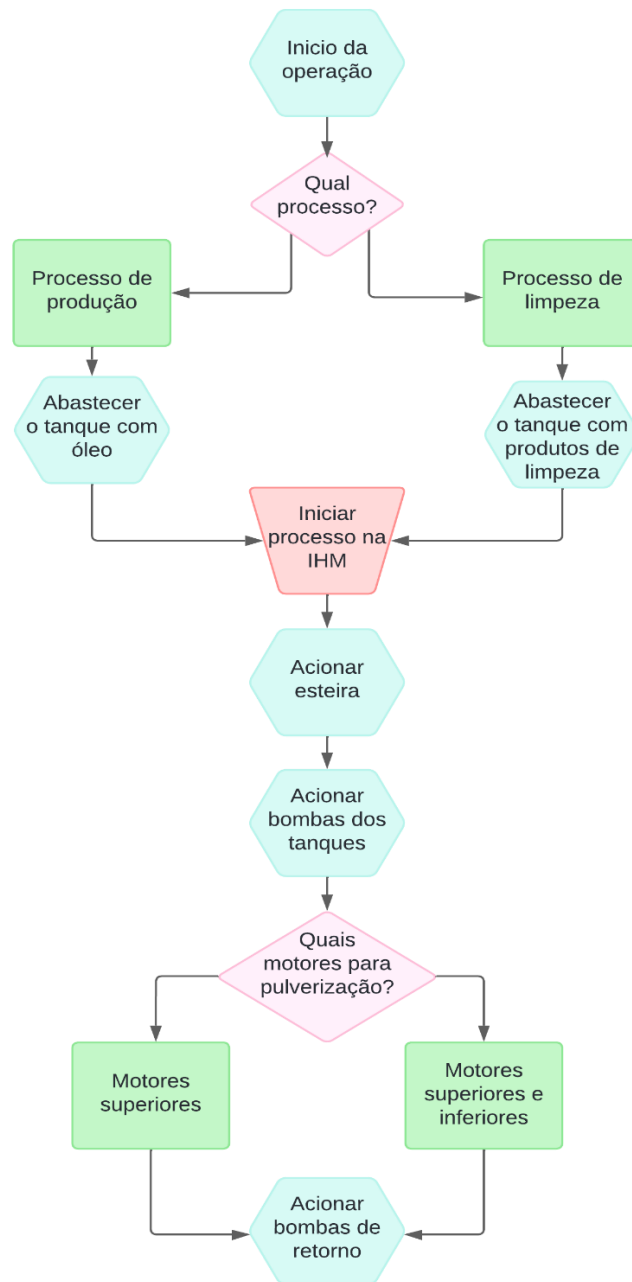
Fonte: Autoria própria (2024).

Foi possível observar através do estudo desses inversores que os quatro motores inferiores eram controlados por um único inversor PowerFlex 40, assim como os dois motores superiores. Essa configuração apresenta potenciais problemas, pois não apenas se trata de um modelo desatualizado desse equipamento, dificultando a substituição, mas também implica que, se o inversor que controla os quatro motores inferiores apresentar falhas, todos esses motores cessariam sua operação. Isso resultaria na interrupção da produção, mesmo que em menor capacidade, e o mesmo cenário ocorreria para os motores superiores. Portanto, tornou-se evidente a necessidade de adquirir novos inversores, destinando um para cada motor na

máquina de pulverização de óleo. Essa abordagem garantiria que, em caso de problemas com um inversor específico, apenas o motor correspondente a ele seria afetado, permitindo que os demais continuassem operando. Isso possibilitaria a continuidade do funcionamento da máquina, mesmo que com uma produção reduzida.

Após analisar os inversores, foi desenvolvido o Fluxograma 2 dos dois processos executados pela máquina de pulverização de óleo. Essa etapa foi crucial para compreender o fluxo das operações e assegurar sua execução adequada durante a atualização do equipamento. Durante a operação, o operador precisa escolher entre o processo de limpeza ou o de produção. Em seguida, ele abastece os tanques, seja com óleo ou produtos de limpeza, usando a IHM. Após isso, inicia-se o processo na IHM e é acionada a esteira. O operador então liga as bombas que levam os produtos aos motores e escolhe quais motores de pulverização serão ativados. Por fim, a bomba de retorno é acionada para devolver o produto utilizado ao local apropriado. Esse fluxograma servirá como guia durante a atualização da máquina.

Fluxograma 2 – Fluxo dos processos realizados pela máquina de pulverização de óleo.



Fonte: Autoria própria (2024).

Através do projeto elétrico e da visita a campo, também foi possível constatar que o painel elétrico, ilustrado nas Figura 18 e 19, não estava em conformidade com as normas de segurança, além de apresentar defasagem em vários equipamentos. O Controlador Lógico Programável (CLP) em uso era um CompactLogix 1768-L43, o qual, de acordo com Scott (2020), foi descontinuado em julho de 2020, tornando-se indisponível para compra. Portanto, em caso de falhas nesse CLP, a substituição por um controlador do mesmo tipo seria bastante desafiadora, ressaltando a urgência da atualização desse equipamento.

Figura 18 - Primeira parte do painel elétrico da máquina de pulverização de óleo.



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 19 - Segunda parte do painel elétrico da máquina de pulverização de óleo.



Fonte: Autoria própria (2024).

Por fim, outras duas mudanças necessárias foram observadas com a análise de campo e do projeto elétrico. Para que o painel elétrico se adequasse as normas de segurança, deveria ser acrescentado um controlador de segurança, que protegeria todo o sistema. Além disso, as telas da IHM deveriam ser modificadas para ser possível controlar a velocidade da esteira e dos motores individualmente, sendo um problema constatado pelos próprios operadores da máquina, além dessas telas possuírem um *layout* de difícil compreensão, dificultando o controle do processo.

3.3 ELABORAÇÃO DO PROJETO

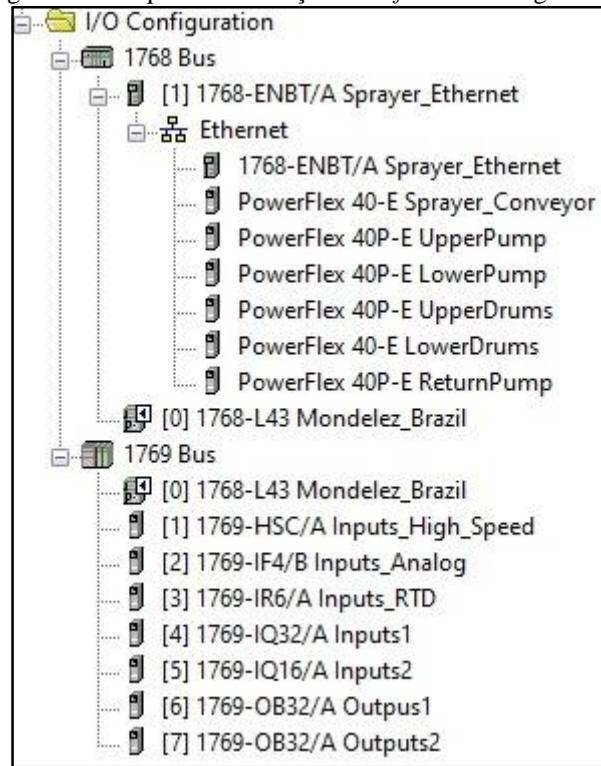
O *retrofit* da máquina de pulverização de óleo teve como propósito a substituição dos componentes obsoletos do painel, tais como *drives* e *hardware*, por equipamentos mais modernos. Assim, a partir da análise preliminar da máquina, foi elaborado um novo projeto elétrico que incorporasse os novos dispositivos e abordasse todas as exigências da máquina, a qual operava com os seguintes parâmetros:

- Tensão de alimentação trifásica 380 Vca – 60 Hz;
- Tensão de comando 24 Vcc;
- Corrente geral 80 A;
- Tensão de trabalho do CLP 24 Vcc;
- Tensão de trabalho da IHM 24 Vcc.

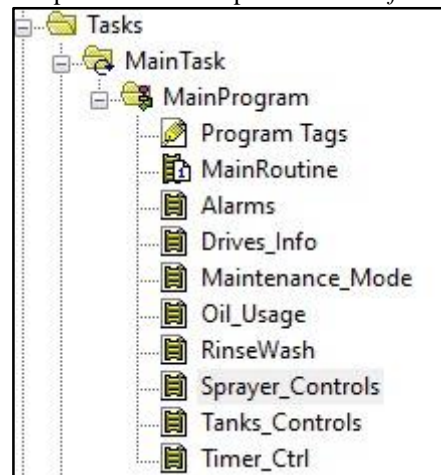
Após uma análise detalhada do *hardware* do raque de automação, tornou-se evidente a necessidade de substituir o controlador atual, o CompactLogix 1768-L43, uma vez que estava descontinuado, conforme observado por Scott (2020). Além disso, embora os inversores PowerFlex 40 estivessem atualmente controlando os motores, a sua obsolescência em comparação com outros modelos e a ausência de comunicação em rede não atendiam aos requisitos da indústria.

Diante dessa realidade, foi imprescindível adquirir novos modelos de inversores capazes de cumprir as especificações dos motores e oferecer comunicação em rede. A fim de assegurar uma maior segurança e redundância no sistema, optou-se por incluir um inversor para cada motor no painel. Essa configuração garantirá que, em caso de falha, apenas um dos motores seja afetado, permitindo o funcionamento contínuo e ininterrupto da máquina.

Para elaborar o projeto, foi conduzida uma análise detalhada dos *softwares* do CLP e da IHM, visando compreender profundamente o seu funcionamento. O controlador foi programado utilizando o RSLogix 5000, um *software* de automação fornecido pela Rockwell Automation. Como exemplificado na Figura 20, o RSLogix 5000 permite a configuração dos dispositivos que se comunicam com o CLP. Além disso, na Figura 21, são destacadas as diferentes rotinas presentes no código para controlar o processo em questão. Um exemplo específico de linha de código, ilustrado na Figura 22, demonstra como os motores superiores são acionados. Essa análise aprofundada dos *softwares* foi essencial para compreender a lógica de funcionamento e os aspectos de programação relevantes para o projeto de atualização da máquina.

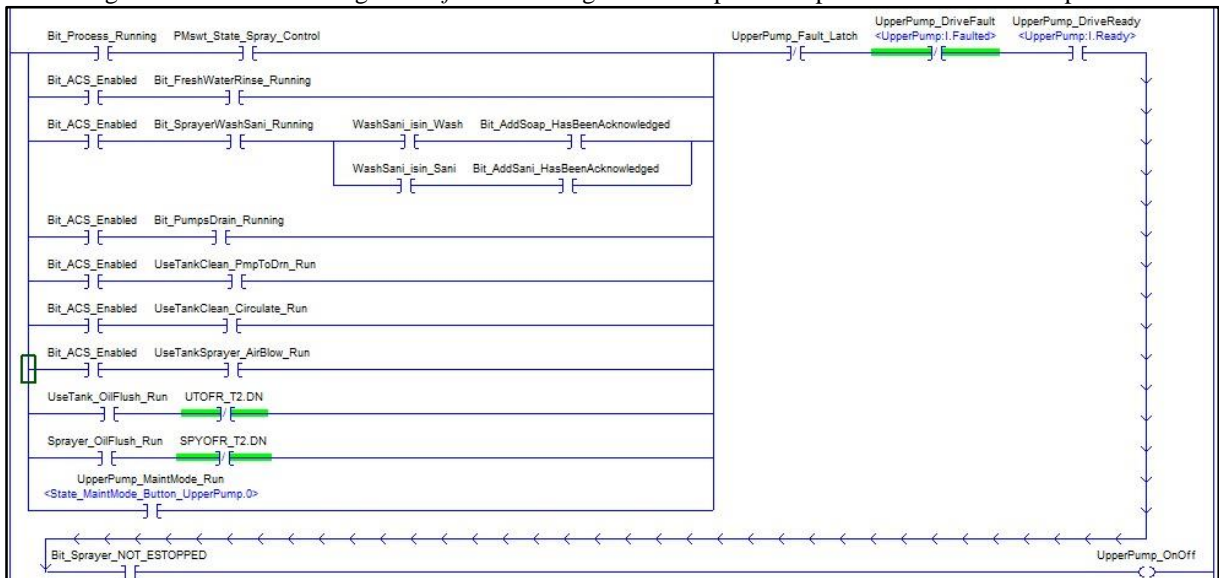
Figura 20 - Raque de automação no *software* RSLogix 5000.

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 21 - Rotinas para controle do processo no *software* RSLogix 5000.

Fonte: Autoria própria (2024).

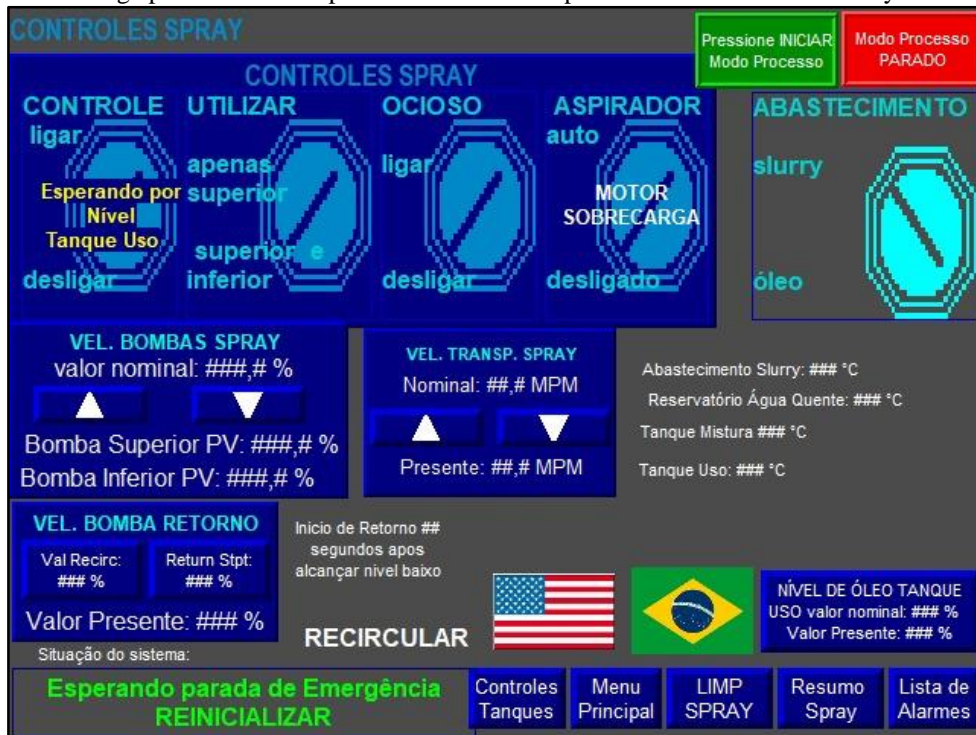
Figura 22 - Linha de código no *software* RSLogix 5000 responsável por acionar a bomba superior.



Fonte: Autoria própria (2024).

O *software* utilizado para a programação da IHM é o FactoryTalk View Studio, também da Rockwell Automation. Como pode ser observado nas Figuras 23 e 24, as telas da IHM apresentam um *layout* de difícil compreensão e com excesso de informações, tornando necessária a realização de modificações nestas telas. Além disso, devido à inclusão de novos equipamentos no projeto, seria preciso criar novas telas para o controle e monitoramento de cada um deles. Esta adaptação das telas da IHM é essencial para garantir uma operação eficiente e uma interface amigável para os operadores da máquina.

Figura 23 - Tela antiga para controle do processo dos motores pulverizadores feita no FactoryTalk View Studio.



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 24 – Tela antiga para controle do processo de limpeza feita no FactoryTalk View Studio.



Fonte: Autoria própria (2024).

3.4 COMPRA DE MATERIAIS

Os dados do CLP antigo foram analisados para selecionar o novo controlador, e foram

utilizados na escolha do equipamento atualizado. A Tabela 5, apresenta as informações do CLP antigo e as informações do novo CLP, comprovando que eles são compatíveis e que o CompactLogix 5370 L3 pode atender a demanda da máquina de pulverização de óleo.

Tabela 5 - Comparação entre o CompactLogix 1768 - L43 e o CompactLogix 5370 L3.

	Controlador CompactLogix 1768 – L43	Controlador CompactLogix 5370 L3
Família	CompactLogix	CompactLogix
Capacidade de processamento	0.8 MB de memória	2 MB de memória
Comunicação	1 porta Ethernet/IP, 1porta <i>USB</i>	2 porta Ethernet/IP, 1porta <i>USB</i>
Capacidade de memoria	Memória RAM 1 MB e memória flash 2 MB	Memória RAM 2 MB e memória flash 4 MB
Portas de E/S	12 entradas digitais e 6 saídas digitais	16 entradas digitais e 16 saídas digitais

Fonte: Extraído de Rockwell Automation (2013a) e Rockwell Automation (2023).

A escolha do novo inversor de frequência foi feita analisando os dados dos inversores antigos, e respeitando os dados de placa dos motores das bombas. A Tabela 6, apresenta o comparativo entre o inversor PowerFlex 40, antigo modelo utilizado na máquina de pulverização de óleo, e o PowerFlex 525, o novo inversor adquirido para a atualização da máquina. A principal diferença entre os inversores de frequência PowerFlex 40 e PowerFlex 525 da Rockwell Automation está na capacidade de comunicação e recursos de controle avançados.

Tabela 6 - Comparação entre o PowerFlex 40 e o PowerFlex 525.

	PowerFlex 40	PowerFlex 525
Família	PowerFlex	PowerFlex
Capacidade de potencia	0.4 kW a 22 kW	0.4 kW a 22 kW
Tensão de alimentação	Monofásico 200 – 240 V	Trifásico 200 – 400 V, 380 –480 V
Corrente nominal	2.5 A a 71 A	2.1 A a 70 A
Modos de controle	Vetorial e escalar	Vetorial e escalar
Interfaces de comunicação	Modbus RTU	Ethernet/IP, Modbus TCP, DeviceNet, entre outros

Fonte: Extraído de Rockwell Automation (2008) e Rockwell Automation (2013b).

Junto com o controlador principal, o controlador de seguranças e os inversores, foram necessários adquirir outros materiais e equipamentos para a montagem do painel. A Tabela 7 mostra a quantidade e o preço desses novos itens, fabricados pela Rockwell. Através da análise da tabela, observa-se que a aquisição de todos os materiais resultou em uma despesa total de R\$ 85.577,55.

Tabela 7 - Equipamentos adquiridos.

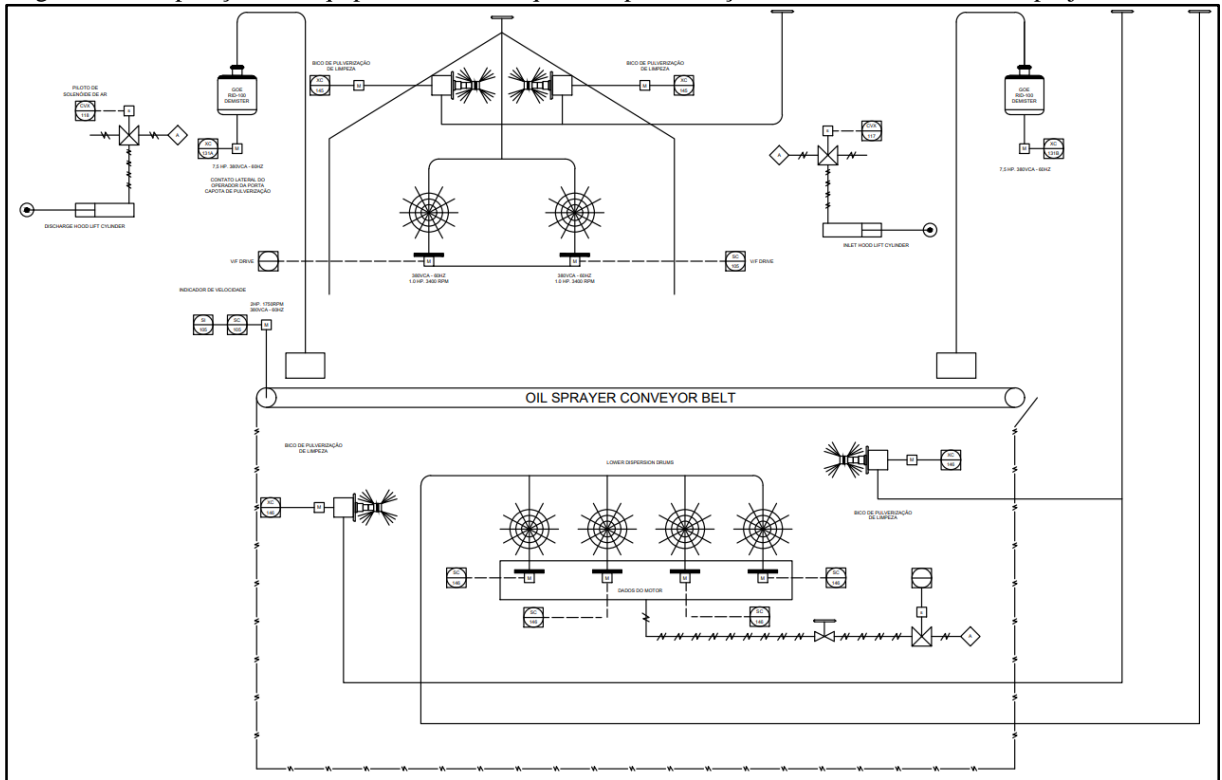
Item	Qtde	Descrição do Produto	Preço unitário	Preço total
1	6	Inversor – PowerFlex 525: 480 Vac, 3 Phase, 2.3 Amps, 1.0 HP, 0.7 kW	R\$ 4.702,59	R\$ 28.215,54
2	4	Inversor – PowerFlex 525: 480 Vac, 3 Phase, 4 Amps, 2.0 HP, 1.5 kW	R\$ 5.389,54	R\$ 21.558,16
3	1	Inversor – PowerFlex 525: 480 Vac, 3 Phase, 10.5 Amps, 5 HP, 4 kW	R\$ 7.808,31	R\$ 7.808,31
4	1	CLP – CompactLogix 5370 L3 Controller + cartões	R\$ 11.220,00	R\$ 11.220,00
5	1	Switch – Stratix 5700	R\$ 7.000,00	R\$ 7.000,00
6	1	Guardmaster 440c-enet Ethernet Plug in Module	R\$ 4.950,00	R\$ 4.950,00
7	1	1606 XLE Power Supply 240 W 24 V, 10 A 1ph	R\$ 1.595,54	R\$ 1.595,54
8	4	Partida Relé – E300 Overload: Current Sensing Module (0.5...30A)	R\$ 807,50	R\$ 3.230,00

Fonte: Autoria própria (2024).

3.5 IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

O início da implementação do projeto começou com a construção do novo painel elétrico, seguindo rigorosamente o projeto elétrico atualizado. Após a substituição dos componentes antigos pelos novos, a integração dos novos equipamentos e a realização dos testes preliminares, o painel foi enviado para o cliente. No local, o antigo painel elétrico foi retirado e substituído pelo novo painel equipado com tecnologia atualizada, conforme representado no esquema da Figura 25, pertencente ao projeto elétrico atualizado.

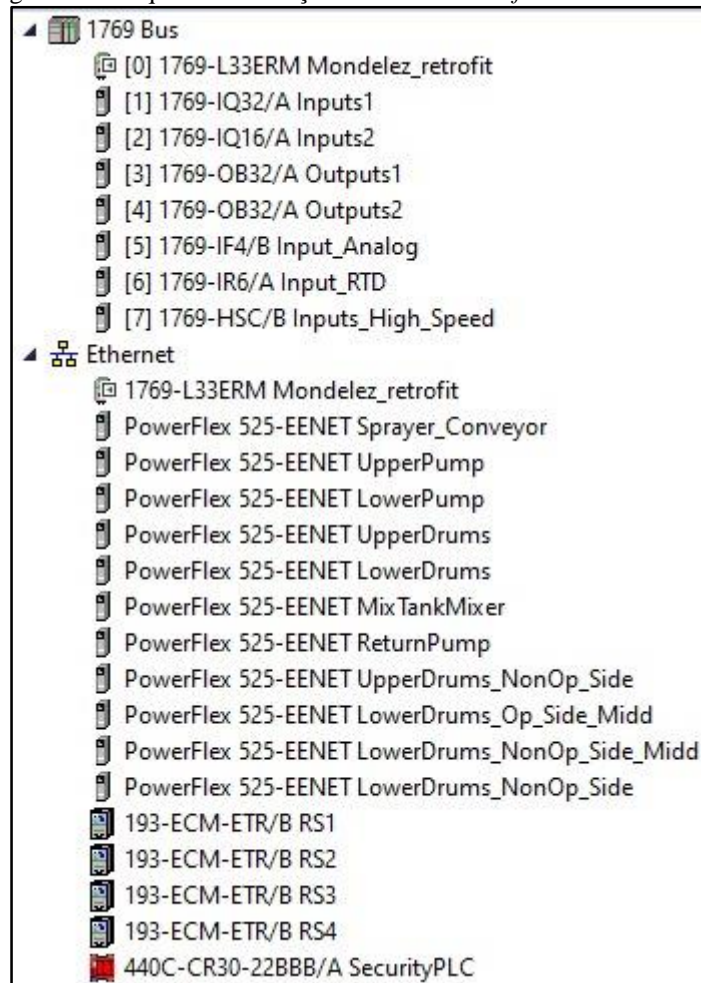
Figura 25 - Disposição dos equipamentos da máquina de pulverização de óleo retirado do novo projeto elétrico.



Fonte: Autoria própria (2024).

Durante o processo de montagem do novo painel elétrico, também foi realizada a atualização do código do CLP e da IHM. Para compatibilidade com o novo controlador CompactLogix 5370-L3, o programa foi convertido para o formato de arquivo aceito no Studio 5000, um *software* da Rockwell Automation utilizado para programar esse tipo de controlador. Após isso, os programas foram ajustados para incluir os novos equipamentos controlados pelo CLP, como pode ser visto na Figura 26. Essa inclusão garante que o CLP será capaz de enviar comandos e receber sinais desses equipamentos, garantindo que todo o controle do processo seja feito por ele.

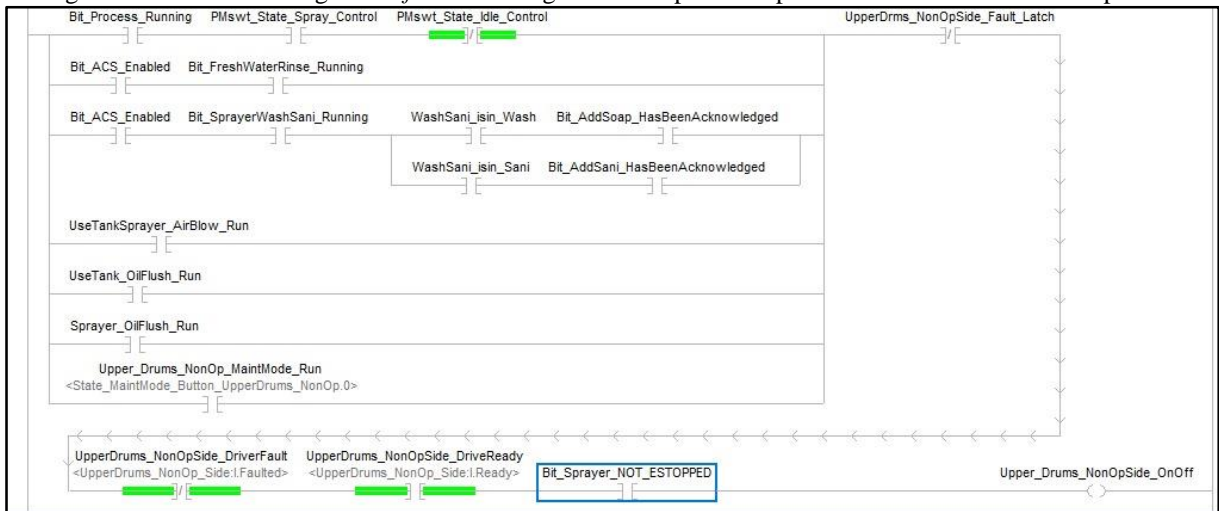
Figura 26 - Raque de automação atualizado no *software* Studio 5000.



Fonte: Autoria própria (2024).

Para cada novo equipamento adicionado ao raque de automação, foi necessário incluir uma nova linha de código em cada uma das rotinas, replicando os comandos utilizados no programa anterior para controlar os sete inversores. Dessa forma, no novo código, tornou-se possível controlar todos os novos inversores adicionados ao projeto. Uma dessas mudanças pode ser observada na Figura 27, onde uma nova linha de código foi adicionada para controlar o inversor de apenas um dos motores superiores. Anteriormente à atualização, um único inversor controlava os dois motores superiores, exigindo apenas uma linha de código, como mostrado na imagem.

Figura 27 - Linha de código no *software* RSLogix 5000 responsável por acionar um dos motores superior.



Fonte: Autoria própria (2024).

Além de incorporar as novas linhas de código, houve a necessidade de realizar a parametrização individual de cada inversor. Essa etapa foi executada por meio do *software* Studio 5000, conforme exemplificado na Figura 28. Nela, são destacados alguns dos parâmetros essenciais utilizados para configurar o inversor responsável pelo controle do motor da esteira na máquina de pulverização de óleo.

Figura 28 - Parâmetros do inversor que controla o motor da esteira no Studio 5000.

Name	Value	Units
Motor NP Volts	380	V
Motor NP Hertz	60	Hz
Motor OL Current	3.8	A
Motor NP FLA	4.1	A
Motor NP Poles	4	
Motor NP RPM	1750	RPM
Motor NP Power	1.50	kW
Reserved	0	

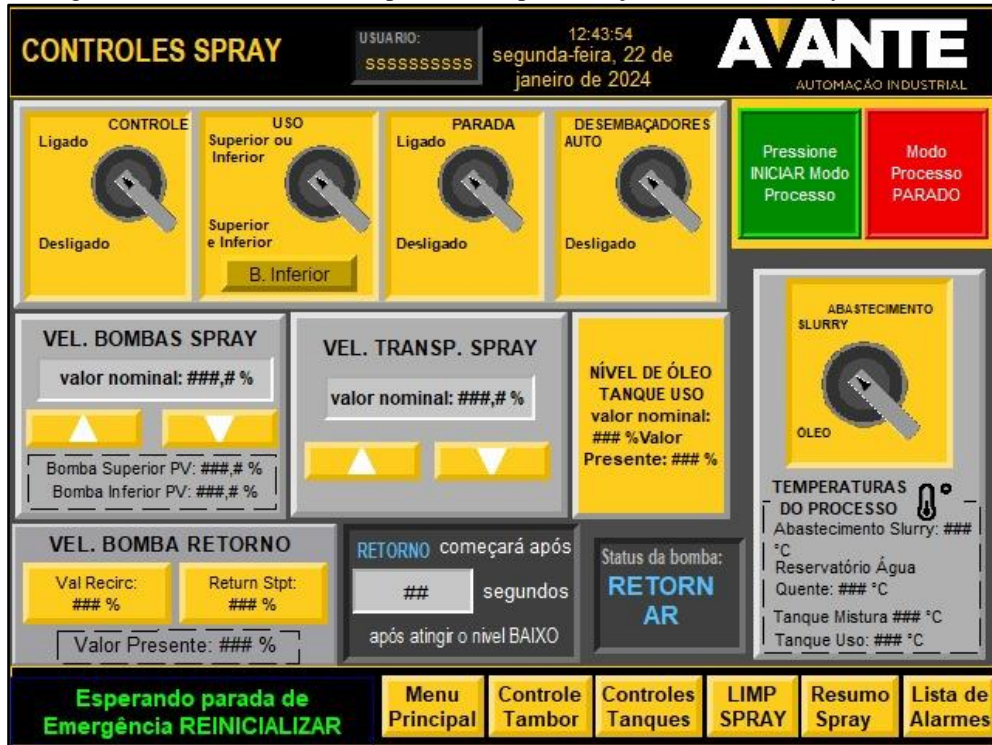
Fonte: Autoria própria (2024).

Em relação ao CLP de segurança, sua programação foi incorporada ao código do CLP de controle principal. Neste programa, foi estabelecido que caso qualquer um dos botões de emergência seja acionado, o CLP de segurança entrará em falha, resultando na parada de todos os inversores e, conseqüentemente, dos motores associados a eles.

Para a IHM, todas as telas presentes no código foram redesenhadas utilizando o FactoryTalk View, de modo a proporcionar um *layout* mais compreensível. Isso permitiu que

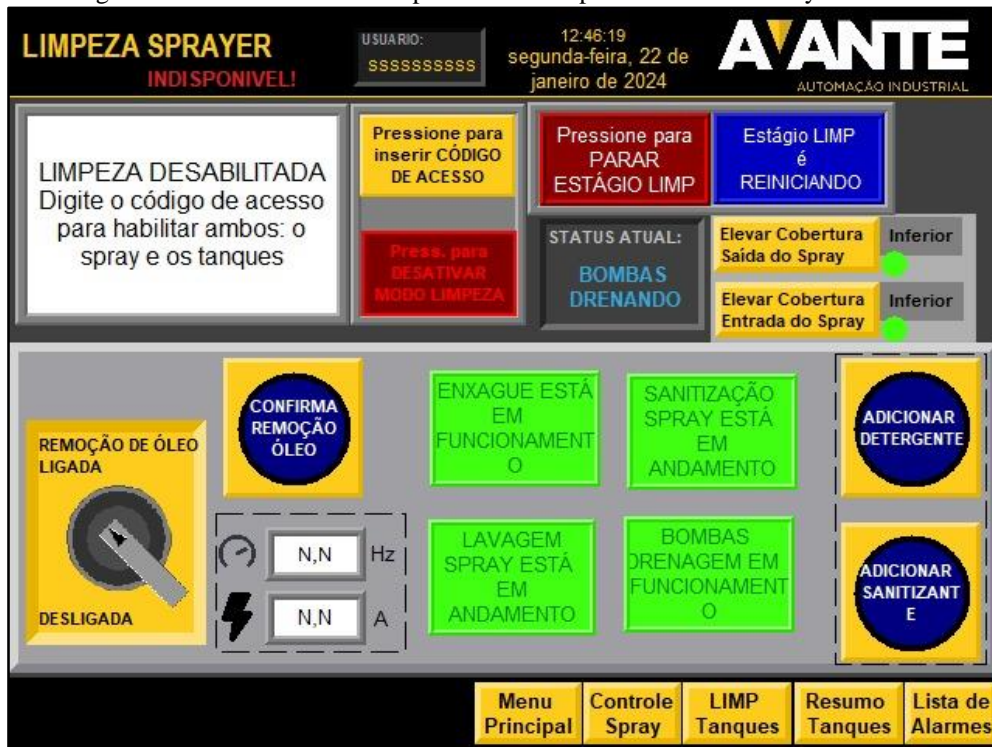
os operadores tivessem um maior controle sobre o processo. As Figuras 29 e 30, mostram duas dessas telas reformuladas, evidenciando um *design* mais intuitivo e melhorado. Essas alterações contribuem significativamente para a operação da máquina de spray de óleo.

Figura 29 - Tela de controle do processo de pulverização feita no FacktoryTalk View.



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 30 - Tela de controle do processo de limpeza feita no FacktoryTalk View.



Fonte: Autoria própria (2024).

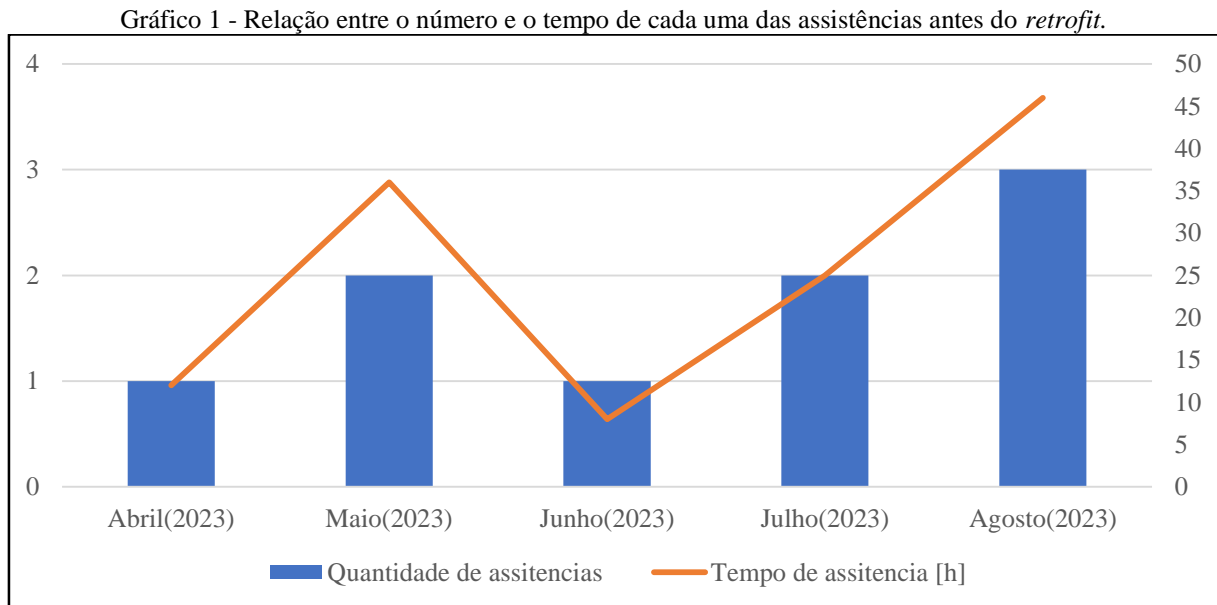
Após a instalação do novo painel elétrico, procedeu-se com a energização do mesmo e realizaram-se testes para assegurar o funcionamento de todos os equipamentos presentes nele. Em seguida, os novos códigos foram enviados para seus respectivos equipamentos, dando-se início aos testes dos dispositivos de entrada e saída. Cada um foi testado individualmente para garantir o correto desempenho de suas funções.

Para garantir o funcionamento preciso dos novos inversores no controle dos motores, eles foram parametrizados individualmente, em conformidade com as especificações detalhadas nos *datasheets* de cada dispositivo. Em seguida, uma bateria de testes foi conduzida para verificar a adequação desses ajustes.

Posteriormente, após a conclusão dessas etapas, foi realizado um teste abrangente dos procedimentos executados pela máquina, seguindo o fluxograma estabelecido, com o propósito de confirmar que, mesmo após as modificações, a máquina de pulverização de óleo continuaria a desempenhar todas as suas funções conforme o esperado, porém agora oferecendo novas opções de controle e monitoramento.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

A realização do *retrofit* na máquina de pulverização de óleo resultou em diversos benefícios, sendo um deles a redução significativa da frequência de paradas na máquina e do tempo necessário para troca e manutenção dos equipamentos. Para quantificar esses benefícios, foram analisados os relatórios de assistências solicitadas pela empresa onde a máquina está localizada, e construído o Gráfico 1, que apresenta uma análise da quantidade de vezes que foram solicitadas assistências e o tempo gasto em cada uma delas durante os 5 meses anteriores ao processo de *retrofit*. A partir desses dados, foi observado que ao longo desses meses, ocorreram 9 assistências, totalizando 81 horas em que a máquina de pulverização de óleo ficou parada.



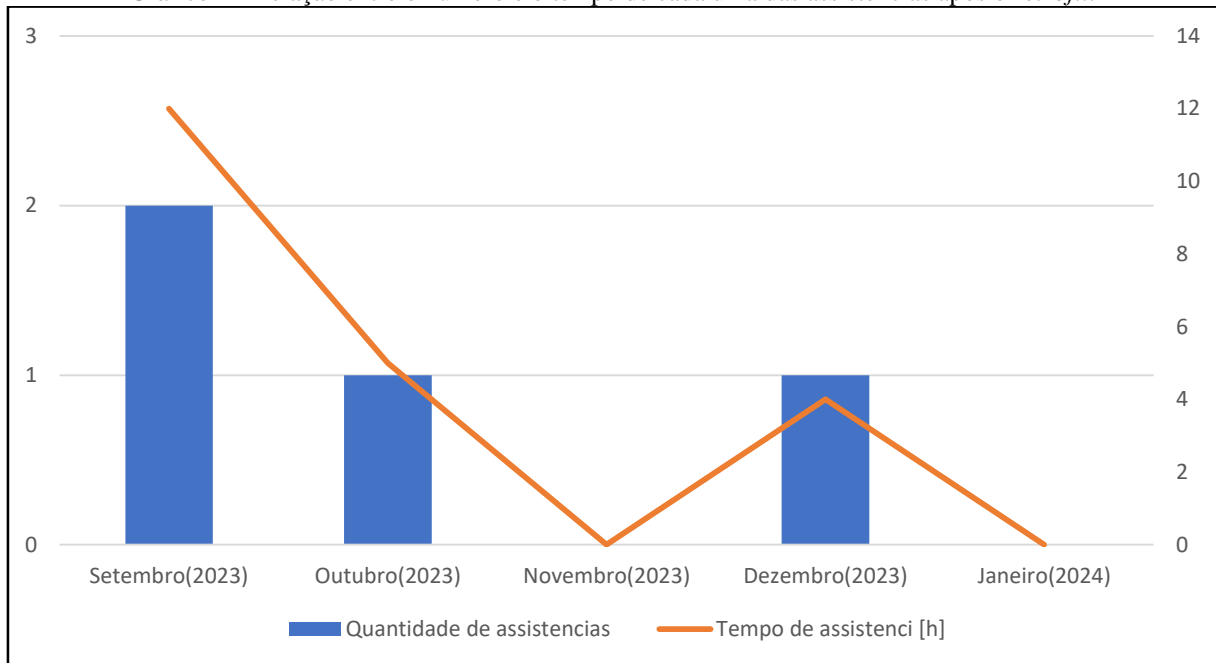
Fonte: Autoria própria (2024).

Através de uma análise realizada durante as assistências foi constatado que, a cada uma hora da máquina de pulverização de óleo parada, era perdido aproximadamente 1 tonelada de produção de material. Logo, durante o período analisado no Gráfico 1, foi perdido um total de 81 toneladas de produção, causando um prejuízo alto para a empresa que precisou arcar com os custos dessa perda e das assistências solicitadas para resolver os problemas que causaram as paradas. Agora, analisando a quantidade de vezes que foram solicitadas assistências e o tempo gasto em cada uma delas durante os 5 meses após o *retrofit* da máquina de pulverização de óleo, obteve-se o Gráfico 2.

Analisando o Gráfico 2, pode-se observar que após o *retrofit*, foram solicitadas 4 assistências que corresponderam há 21 horas com a máquina parada. Como cada hora

corresponde a perda de aproximadamente 1 tonelada de material, durante esses 5 meses foram perdidas 21 toneladas durante as paradas. Dessa forma, houve uma redução na perda de matérias durante no valor de 60 toneladas, após a realização do *retrofit*. Esse valor representa uma economia alta para empresa que antes perdia uma grande quantidade de produção devido a problemas em um único equipamento.

Gráfico 2 - Relação entre o número e o tempo de cada uma das assistências após o *retrofit*.



Fonte: Autoria própria (2024)

De acordo com a empresa que realizou o serviço, perder uma tonelada representa um prejuízo de cerca de R\$ 20.833,00. Com o retrofit, o prejuízo foi reduzido em cerca de R\$ 1.249.980, o que equivale a aproximadamente 74,07% do valor perdido antes das mudanças.

Portanto, ao analisar os custos gerados pela compra de novos materiais de compra, fica claro que a diminuição no tempo de parada da máquina compensou totalmente esses gastos. O prejuízo causado pelos materiais novos, que totalizava R\$ 85.577,55, é aproximadamente 93,15% menor do que o prejuízo que a indústria teria enfrentado se não houvesse o investimento na compra e instalação desses novos equipamentos.

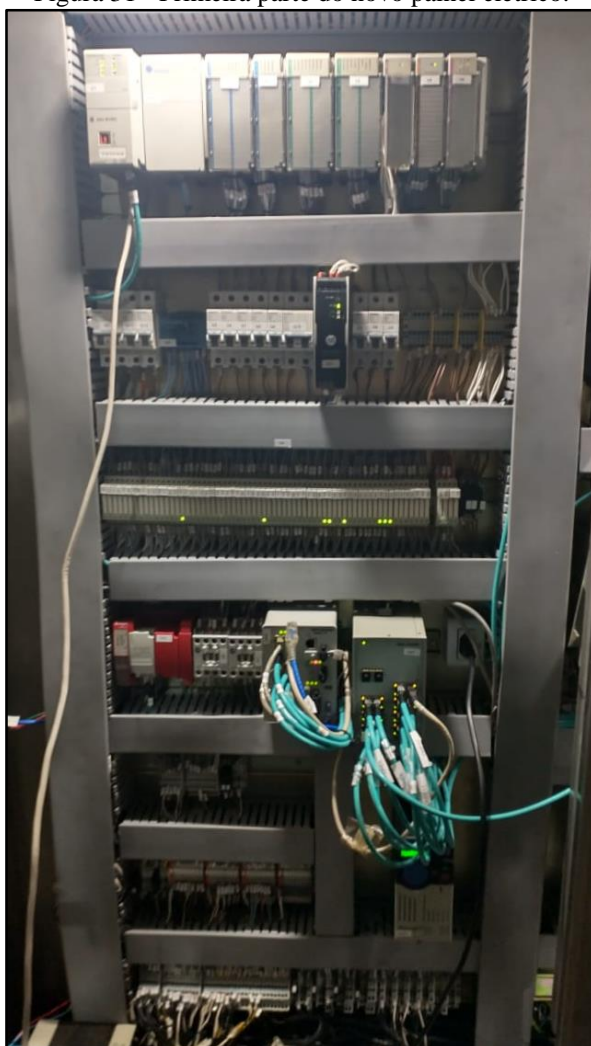
É importante destacar que as assistências mencionadas correspondem às paradas ocasionadas por problemas nos equipamentos que foram substituídos durante o processo de *retrofit*, como os inversores e os cartões do controlador. Paradas decorrentes de falhas em outros equipamentos não foram consideradas, uma vez que, após o *retrofit*, os mesmos equipamentos que já estavam presentes na máquina de pulverização de óleo foram mantidos. Essa distinção é relevante para compreender que as melhorias e a redução das perdas de produção foram

diretamente influenciadas pelas modificações realizadas nos equipamentos substituídos, resultando em ganhos significativos de eficiência e produtividade para a empresa.

Após a conclusão bem-sucedida da implementação do projeto, alcançamos um sistema funcional que possibilita um controle mais preciso e eficiente da máquina de pulverização de óleo. Este sistema está equipado com tecnologia atualizada, facilitando a obtenção de peças sobressalentes quando necessário, diminuindo o tempo de parada da máquina até a troca por novos equipamentos. É possível visualizar essa melhoria ao comparar os Gráficos 1 e 2, pois antes do *retrofit* da máquina, as paradas eram frequentes e prolongadas devido à dificuldade em encontrar os modelos antigos dos equipamentos utilizados. Com o *retrofit*, o tempo de parada foi consideravelmente reduzido, uma vez que os novos equipamentos são encontrados mais facilmente, permitindo uma substituição rápida em caso de falhas.

O novo painel elétrico, apresentado nas Figuras 31 e 32, foi reorganizado para melhorar a compreensão do projeto elétrico por qualquer pessoa que o analisar. Cada componente do painel agora está claramente identificado, seguindo todas as normas de segurança pertinentes. Isso garante uma operação mais segura para aqueles que interagem com a máquina ou realizam manutenção no painel.

Figura 31 - Primeira parte do novo painel elétrico.



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 32 - Segunda parte do novo painel elétrico.



Fonte: Autoria própria (2024).

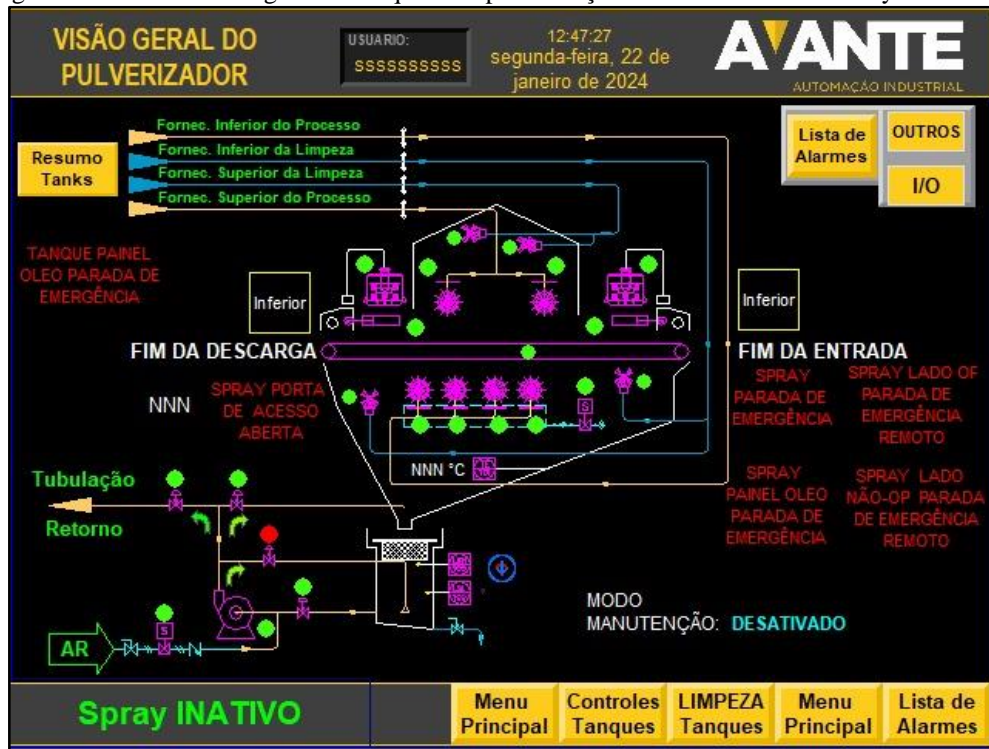
A inclusão de um CLP de segurança reforça ainda mais a proteção do processo produtivo e dos operadores. Em caso de acionamento, o CLP de segurança, que está ligado a todos os inversores, interrompe todo o processo, evitando possíveis danos ou acidentes.

As melhorias nas telas da IHM proporcionam uma visualização mais clara e facilitam o controle do processo. O novo *design*, com formatos e cores mais intuitivos, substitui as telas anteriores, que eram confusas e dificultavam a compreensão para os operadores.

Além da reformulação das telas existentes, novas telas foram adicionadas ao programa para o monitoramento do processo. Uma delas é apresentada na Figura 33, cujo objetivo principal é fornecer uma visão geral da máquina de pulverização de óleo. Essa tela contém informações sobre sensores, válvulas, motores e outros componentes importantes do sistema.

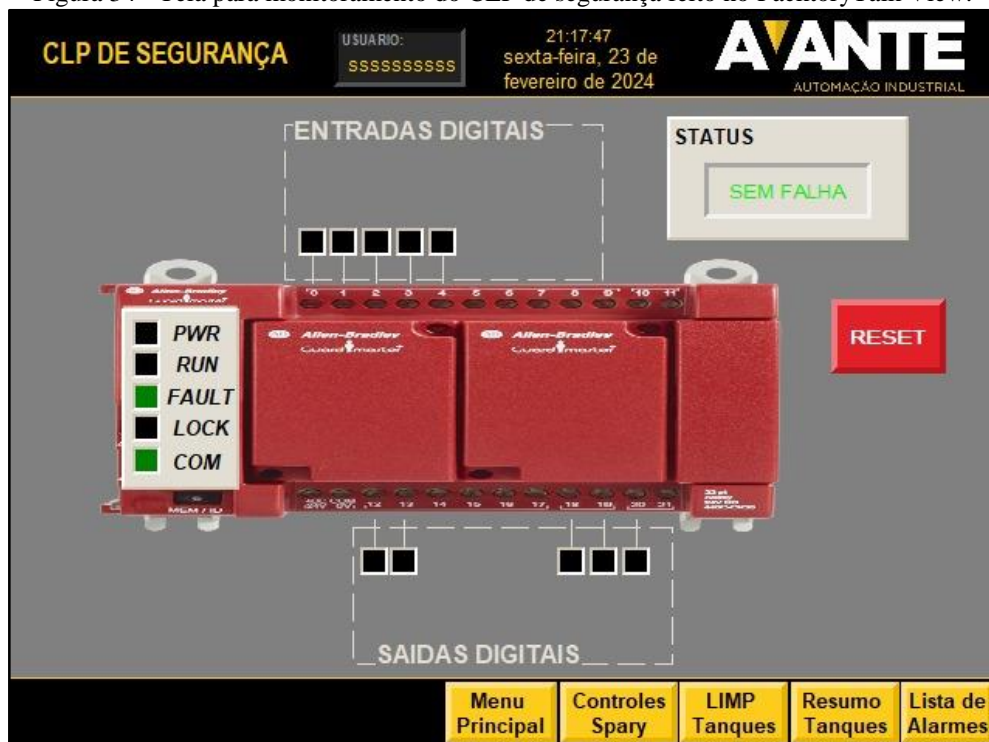
Outra tela criada foi destinada ao monitoramento do CLP de segurança, conforme mostrado na Figura 34. Nessa tela, é possível acompanhar os sinais de entrada e saída desse controlador, bem como verificar se há alguma falha no sistema de segurança. Essas adições melhoram significativamente a capacidade de monitoramento e controle dos operadores sobre o processo.

Figura 33 - Tela de visão geral da máquina de pulverização de óleo feita no FacktoryTalk View.



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 34 - Tela para monitoramento do CLP de segurança feito no FacktoryTalk View.

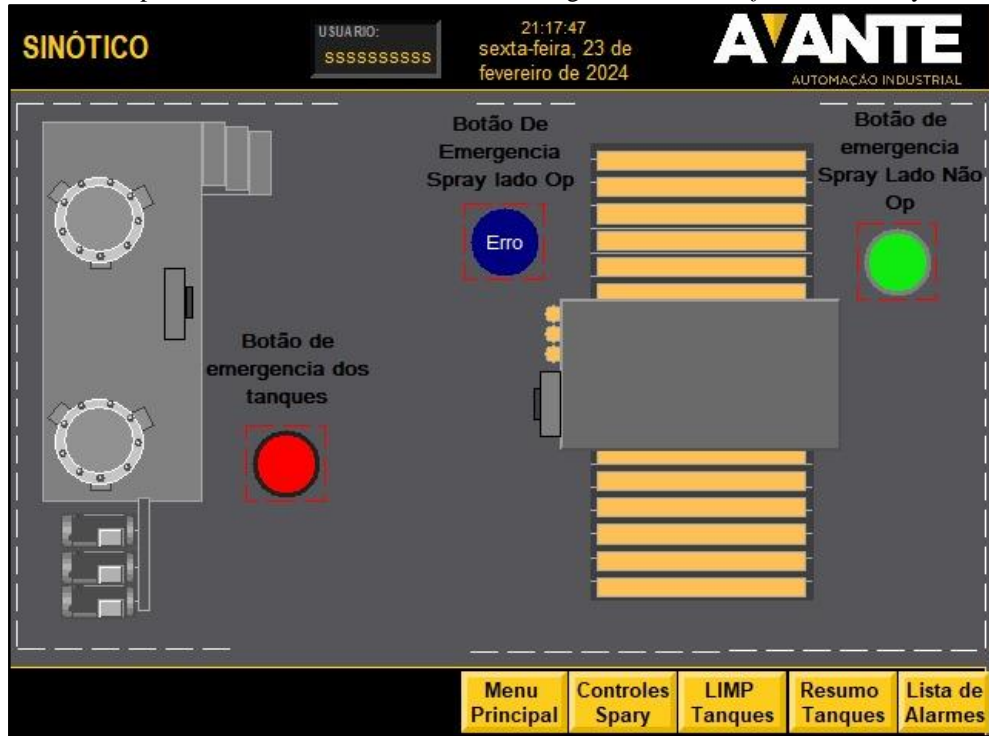


Fonte: Autoria própria (2024).

Para complementar o código da IHM, foi desenvolvida a tela exibida na Figura 35 para monitorar os botões de emergência presentes na máquina de pulverização de óleo. Se algum desses botões for pressionado, a tela irá sinalizar essa ocorrência, modificando o indicador

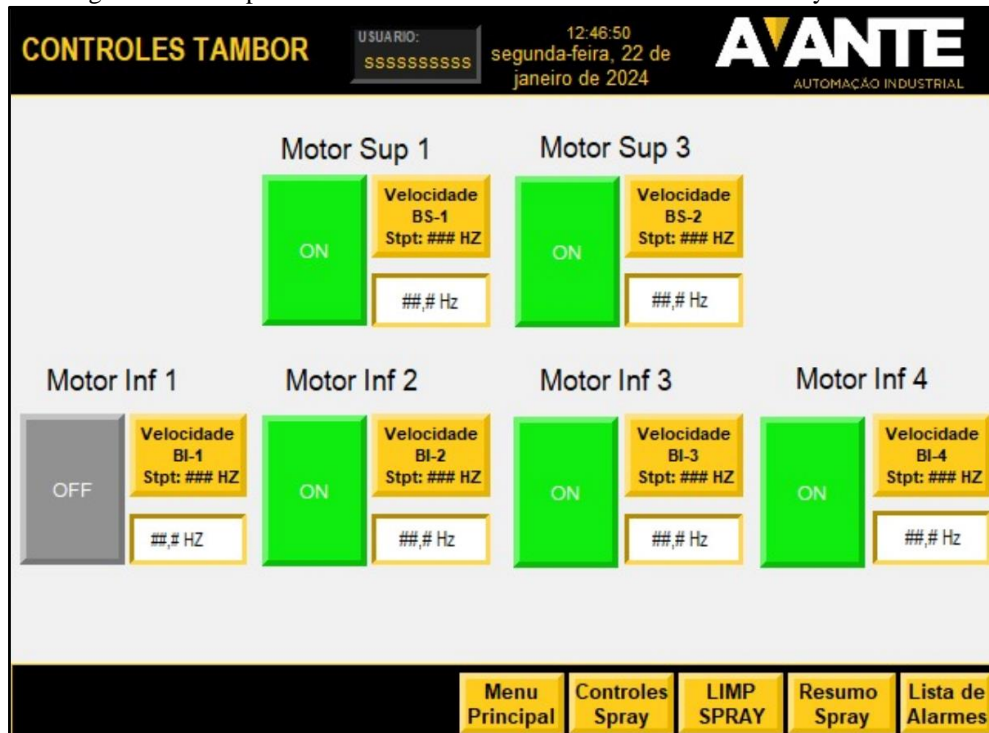
luminoso correspondente na IHM para indicar qual botão de emergência foi acionado. Além disso, a tela da Figura 36 foi criada para possibilitar o controle individual dos motores pulverizadores. Isso permite o monitoramento e ajuste da velocidade de cada um dos motores de forma independente, contribuindo para uma operação mais eficiente e segura da máquina de pulverização de óleo.

Figura 35 - Tela para monitoramento dos botões de emergência feita no *software* FactoryTalk View.



Fonte: Aatoria própria (2024).

Figura 36 - Tela para controle individual dos motores feita no FactoryTalk View



Fonte: Autoria própria (2024)

Além disso, a tela dedicada ao controle dos inversores oferece um gerenciamento mais abrangente de todas as etapas da operação da máquina de pulverização de óleo. Os operadores agora têm acesso a informações detalhadas sobre o *status* dos inversores e podem ajustar as configurações conforme necessário.

Por fim, o aprimoramento do painel elétrico e da IHM, com a inclusão de novos inversores e telas para o controle desses dispositivos, viabilizou a fabricação de uma nova versão do produto que requer uma quantidade reduzida de óleo. Através dessa nova interface, é possível diminuir a velocidade dos motores pulverizadores, resultando em uma menor quantidade de óleo aplicada no produto final.

5 CONCLUSÃO

A conclusão bem-sucedida da implementação do projeto de *retrofit* da máquina de pulverização de óleo resultou em um sistema funcional e modernizado, proporcionando um controle mais preciso e eficiente do processo de pulverização. As melhorias implementadas têm impacto direto na eficiência operacional, na segurança dos operadores e na disponibilidade da máquina para produção contínua.

Um dos principais avanços foi a atualização tecnológica do sistema, que agora permite um controle mais ágil e preciso da máquina. O sistema está equipado com tecnologia atualizada, facilitando a obtenção de peças sobressalentes quando necessário e reduzindo significativamente o tempo de parada da máquina para manutenção ou troca de equipamentos.

O novo painel elétrico, reorganizado para melhorar a compreensão do projeto elétrico, segue todas as normas de segurança pertinentes. Cada componente está claramente identificado, garantindo uma operação mais segura e eficiente para aqueles que interagem com a máquina ou realizam manutenção no painel. A inclusão de um CLP de segurança reforça ainda mais a proteção do processo produtivo e dos operadores, interrompendo o processo em caso de acionamento e evitando possíveis danos ou acidentes.

As melhorias nas telas da IHM representam um avanço significativo na visualização e controle do processo. O novo *design*, mais intuitivo e claro, substitui as telas anteriores, proporcionando aos operadores uma interface mais amigável e de fácil compreensão. A tela dedicada ao controle dos inversores oferece um gerenciamento abrangente de todas as etapas da operação da máquina, permitindo ajustes precisos e monitoramento detalhado do processo de pulverização.

Por fim, todos os processos executados pela máquina foram testados conforme o Fluxograma estabelecido. Esses testes visaram garantir que, após todas as melhorias e mudanças implementadas, a máquina de pulverização de óleo desempenhasse suas funções adequadamente. Os resultados foram satisfatórios, evidenciando que as novas opções de controle e monitoramento disponíveis proporcionam uma operação mais eficiente e eficaz da máquina.

Em suma, este estudo cumpriu seus objetivos ao realizar uma análise detalhada da máquina, elaborar um projeto abrangente de *retrofit*, implementar as modificações de forma eficiente e conduzir uma análise pós-implementação dos resultados. Os benefícios obtidos com o *retrofit* da máquina de pulverização de óleo são evidentes, destacando a importância dessa

técnica para a modernização, eficiência e competitividade das indústrias. As melhorias implementadas não apenas otimizam a produção e a eficiência operacional, mas também garantem um ambiente de trabalho mais seguro e moderno para os operadores, alinhando-se assim com os princípios da Indústria 4.0.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, I. P. H. **Controle do inversor de frequência PowerFlex 525**. 2023. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Controle e Automação) – Departamento de Engenharia Elétrica, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/52704>. Acesso em: 04 nov. 2023.
- ARIOLI, G. E. A. **Desenvolvimento de uma esteira transportadora automatizada por controlador lógico programável**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2023. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/33174>. Acesso em: 15 jan. 2024.
- CARLO, F. D.; MAZZUTO G.; BEVILACQUA, M.; CIARAPICA, F. E. Retrofitting a process plant in an industry 4.0 perspective for improving safety and maintenance performance. *Sustainability*, v. 13, n. 2, p. 646, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13020646>.
- COELHO, F. B. **Estudo de operação do controle por variação de velocidade em motores de indução trifásicos em estações elevatórias de água tipo "booster" operando através de inversores de frequência**. 2020. 102f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/204011>. Acesso em: 04 nov. 2023.
- CORRÊA, L. H.; RIVABEN, G.; PINHEIRO, W. C. **Automação de prensa excêntrica**. 2021. 37f. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Eletroeletrônica) – Centro Estadual de Educação Paula Souza, Escola Técnica Estadual - ETEC Trajano Camargo, Limeira. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/7999>. Acesso em: 12 jan. 2024.
- DALCHASSO, J.; MAKIYAMA, M. K.; GUEDES, B. T.; CASONATTO, D. C. Retrofit de máquina onduladeira de arame. *Anais da Engenharia Mecânica*, v. 5, n. 1, p. 337 - 353, dec. 2020. ISSN 2594-4649. Disponível em: <https://uceff.edu.br/anais/index.php/engmec/article/view/404>. Acesso em: 05 mar. 2024.
- ESCORIHUELA, J. A. **Actualización y mejora de la automatización de un horno para esmaltes**. 2019. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universitat Jaume I, Castellón, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10234/184667>. Acesso em: 6 nov. 2019.
- GRAMS, C. A.; CETNAROWSKI, E. **Retrofit em máquinas industriais: estudo de caso**. 2014. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Mecatrônica Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/9475>. Acesso em: 05 nov. 2023.
- ILARI, S.; CARLO, D. F.; CIARAPICA, F. E.; BEVILACQUA, M. Machine tool transition from Industry 3.0 to 4.0: a comparison between old machine retrofitting and the purchase of new machines from a triple bottom line perspective. *Sustainability*, v. 13, n. 18, p. 10441, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su131810441>.

INDUSTRIAL 4.0. **Retrofit de equipamentos industriais**. 2018. Disponível em: <https://industrial4-0.com.br/retrofit-de-equipamentos-industriais/>. Acesso em: 19 jan. 2024.

KRATSCH, H. G. **Retrofit parcial de painel elétrico de máquina de estanqueidade a hélio**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2022. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/30583>. Acesso em: 02 nov. 2023.

LINS, T. S. **CPPS retrofitting no contexto da indústria 4.0**. 2020. 107. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Ouro Preto-UFOP, Ouro Preto-MG, 2020. Disponível em: http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/12011/1/TESE_CPPSRetrofittingConteto.pdf. Acesso em: 11 mar. 2023.

MONTEIRO, J. F. V. B. **Uma contribuição para o desenvolvimento de estratégias de retrofitting para equipamentos da indústria têxtil e vestuário no âmbito da indústria 4.0**. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial) – Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2021. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1822/72173>. Acesso em: 16 mar. 2023.

MORÁN, M. E. M. **Implementación de un Sistema de Gestión de Edificios (BMS) para la supervisión y monitoreo de los sistemas eléctricos y sistemas de climatización en un centro de datos**. Dissertação (Mestrado em Automatización y Control Industrial) – Escuela Superior Politécnica del Litoral-ESPOL, FIEC, Guayaquil, Equador, 2023. Disponível em: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/58500>. Acesso em: 6 nov. 2023.

ROCKWELL AUTOMATION. **Inversor de frequência PowerFlex 40**. 2008. Disponível em: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/qs/22b-qs001_-pt-p.pdf. Acesso em: 19 jan. 2024.

ROCKWELL AUTOMATION. **1768 CompacLogix controllers**. 2013a. Disponível em: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1769-um021_-en-p.pdf. Acesso em: 18 jan. 2024.

ROCKWELL AUTOMATION. **Inversor ajustável de frecuencia PowerFlex série 520**. 2013b. Disponível em: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1769-um021_-en-p.pdf. Acesso em: 19 jan. 2024.

ROCKWELL AUTOMATION. **Relés de segurança guardmaster**. 2014. Disponível em: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/br/glsafe-br003_-pt-p.pdf. Acesso em: 17 jan. 2024.

ROCKWELL AUTOMATION. **CompacLogix 5370 controllers**. 2023. Disponível em: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1769-um021_-en-p.pdf. Acesso em: 18 jan. 2024.

- ROCHA, S. T. K. **Modelo de referência para interface homem máquina no CLP**. 2021. 129 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecatrônica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/223222>. Acesso em: 05 nov. 2023.
- RONCHI, J. V. S. **Análise de adequação à NR-12 aplicada a um torno convencional com ênfase aos equipamentos utilizados na automação**. Centro Universitário UNISATC, 2023. Disponível em: <http://repositorio.satc.edu.br/handle/satc/717>. Acesso em: 12 jan. 2024.
- SANTOS, A. C. C. dos. **Estado da arte do acionamento de motores de indução através de inversores de frequência**. 2019. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/27951>. Acesso em: 04 nov. 2023.
- SANTOS, A. G. N. R.; SALUME, P. K.; FREITAS, L. S. de. Restauração e modernização de equipamentos industriais: um estudo de caso sob a perspectiva de gestão de projeto em parada de manutenção. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 19, n. 4, p. 187-211, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20397/2177-6652/2019.v19i4.1555>.
- SANTOS, B. P.; ALBERTO, A.; LIMA, T. D. F. M.; CHARRUA-SANTOS, F. M, B. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. **RPD Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, p. 111-124, 2018. Disponível em: <https://revistas.cefet-rj.br/index.php/producaoedesarrollo/article/view/e316/193>. Acesso em: 11 mar. 2023.
- SANTOS, L. L. **Retrofit de controlador lógico programável em um sistema de captação de água para mineração**. 2023. 56 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/5857>. Acesso em: 02 nov. 2023.
- SANTOS JÚNIOR, J. R. dos. **NR-10: segurança em eletricidade-uma visão prática**. 2. ed. Editora Érica/Saraiva, 2018.
- SCOTT, A. **Learning RSLogix 5000 programming: build robust PLC solutions with controllogix, compactlogix, and studio 5000/RSLogix 5000**. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2020.
- SILVA, D. C. S. **Adequação de máquinas e equipamentos antigos à NR-12 visando o baixo custo**. 2019. 67 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/1921>. Acesso em: 14 jan. 2024.
- SILVA, E. A. **Introdução às linguagens de programação para CLP**. São Paulo: Editora Blucher, 2021.
- SOUZA, G. A. **Retrofitting de uma máquina de corte de gaxetas em uma empresa do setor de vedação industrial**. 2020. 135 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Centro Federal de Educação Tecnologia Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <http://www.cefet->

ry.br/attachments/article/2943/Projeto%20Final%202020_1%20Retrofitting%20de%20Máquina%20Corte%20Gaxetas%20em%20Empresa%20Setor%20de%20Vedação%20Industrial.pdf . Acesso em: 15 jan. 2024.

TANDAZO, J. P. Z.; BRIONES, B. V. V. **Diseño del sistema electrónico, control y monitoreo de un horno de secado para recuperación y mantenimiento de motores eléctricos en industrias papeleras**. 2020. Tese (Doutorado em Ingeniería en Electricidad y Computación) - Escuela Superior Politécnica del Litoral-ESPOL, FIEC, Quayaquil, Equador. Disponível em: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57238>. Acesso em: 6 nov. 2023

TEIXEIRA, I. R.; BARRETTO, J. N. dos S.; NAVES, L. N. C.; SOUZA NETO, M. A. S. de. **Retrofit em máquina fabricante de molas**. 2019. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2019. Disponível em: <http://repositoriosenaiba.fieb.org.br/handle/fieb/1747>. Acesso em: 10 jan. 2024.

VIEIRA, L. L. **Desenvolvimento de interfaces homem-máquina de alta performance**. 2018. 63 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/1542>. Acesso em: 05 nov. 2023.