

IMPLEMENTAÇÃO DE POSICIONADORES AUTOMATIZADOS NO PROCESSO DE CALANDRAGEM DE CHAPAS PARA A FABRICAÇÃO DE TANQUES DE COMBUSTÍVEIS

Alessandra dos Passos Tiburski¹, Marco Antônio Ferreira Boaski²

Instituto Federal Farroupilha Campus Panambi, Panambi-RS, Brasil

e-mail: alessandra2022015308.@aluno.iffar.edu.br

¹Discente do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial, ² Professor Orientador do Curso de Tecnologia em Automação Industrial.

Resumo: A competitividade de mercado exige produção de alta qualidade, o que demanda maquinário automatizado, moderno e bem planejado, além de uma equipe capacitada para as demandas de produção. Este projeto propõe a automação e a instalação de um sistema de posicionadores automáticos na calandra utilizada na fabricação de tanques de combustível. O objetivo é modernizar o equipamento, resultando em maior eficiência, produtividade e redução de custos operacionais. Optar pela automação da calandra existente, em vez de adquirir uma nova máquina, representa uma alternativa econômica. Essa abordagem permite a incorporação de novas funcionalidades e a manutenção do equipamento em operação. O processo de automação restaura o desempenho original da calandra e adiciona avanços significativos em segurança, confiabilidade e disponibilidade, capacitando o equipamento a satisfazer exigências de produção com alta qualidade e diminuindo a ocorrência de interrupções não programadas.

Palavras-Chave – Automação, Custos, Qualidade, Posicionadores.

IMPLEMENTATION OF AUTOMATED POSITIONERS IN THE PLATE BENDING PROCESS FOR THE MANUFACTURE OF FUEL TANKS.

Abstract: Market competitiveness demands high-quality production, which requires automated, modern and well-planned machinery, as well as a team trained to meet production demands. This project proposes the automation and installation of an automatic positioning system in the calender used in the manufacture of fuel tanks. The objective is to modernize the equipment, resulting in greater efficiency, productivity and reduced operating costs. Choosing to automate the existing calender, instead of purchasing a new machine, represents a cost-effective alternative. This approach allows the incorporation of new functionalities and the maintenance of the equipment in operation. The automation process restores the calender's original performance and adds significant advances in safety, reliability and availability, enabling the equipment to meet production demands with high quality and reducing the occurrence of unscheduled interruptions.

Keywords – Automation, Costs, Quality, Positioners.

NOMENCLATURA

CLP Controlador lógico programável

IHM Interface homem máquina

CNC Controle Numérico Computadorizado

QR Code Quick Response Code, ou Código de Resposta Rápida

MQTT Message Queuing Telemetry Transport

CAD Computer-Aided Design

I INTRODUÇÃO

A automação industrial teve início durante a Revolução Industrial do século XVIII, quando as máquinas começaram a substituir o trabalho manual. Naquele período, a introdução de tecnologias como o motor a vapor e o motor mecânico revolucionou a produção, permitindo às fábricas aumentar significativamente sua produtividade. Essa época marcou o início da mecanização e do uso de máquinas para tarefas realizadas anteriormente exclusivamente por humanos, criando um novo paradigma na produção industrial [1].

A automação industrial, caracterizada pelas substituições de tarefas manuais por sistemas automáticos e informatizados, está intrinsecamente ligada à eficiência operacional, ao aumento da produtividade e à redução de custos [2]. Com o passar do tempo, sua evolução transformou o setor produtivo, trazendo eficiência e competitividade às indústrias em um cenário de demandas crescentes por qualidade e sustentabilidade. A implementação de sistemas de automação industrial representa um marco na modernização e otimização dos processos produtivos.

Esse processo envolve a integração de tecnologias avançadas, como sensores, atuadores, controladores lógicos programáveis (CLPs), sistemas de supervisão e aquisição de dados (SCADA) e, mais recentemente, a Internet das Coisas (IoT) e a Inteligência Artificial (IA) [3]. Além disso, a aplicação de tecnologias como identificação por códigos QR e integração com sistemas de controle de qualidade minimiza falhas operacionais, promove consistência e otimiza o fluxo produtivo. Contudo, a implementação dessas tecnologias ainda enfrenta desafios, como os elevados investimentos necessários, a deficiência de mão de obra comprometida e a dificuldade de integrar sistemas legados às novas tecnologias [4].

A adoção de sistemas de automação tem como objetivo automatizar tarefas repetitivas, aumentar a eficiência operacional, reduzir custos e melhorar a qualidade do produto final. Com a chegada da Indústria 4.0, o setor industrial passou por uma revolução, integrando tecnologias avançadas e transformando células fabris automatizadas em sistemas inteligentes e interconectados [5]. Esse novo paradigma oferece maior velocidade, flexibilidade e produtividade,

características indispensáveis para organizações competitivas na era digital [6].

A produção de tanques de combustível na Bruning Tecnometal, localizada em Panambi, RS, enfrenta desafios significativos relacionados à eficiência e qualidade do processo de calandragem. Com uma produção mensal de aproximadamente 7.000 tanques, a ocorrência de falhas operacionais neste estágio acarreta perdas substanciais. Atualmente, o sucateamento de cerca de 51 tanques por mês é um problema crítico, resultando em um impacto financeiro estimado em R\$ 36.000,00 mensais.

Um dos principais fatores que contribuem para esses problemas é a ausência de posicionadores de chapas no processo de calandragem. Essa deficiência gera desalinhamentos e erros que comprometem diretamente a qualidade do produto final. A resolução desses desafios é, portanto, imperativa para otimizar a eficiência da produção e garantir a competitividade da empresa no mercado. Este trabalho tem como objetivo principal a implementação de posicionadores automáticos na calandra, visando a automação do equipamento de forma a atender aos requisitos operacionais com segurança e eficiência. A solução proposta contempla a integração com sistemas de TI, a redução de riscos de acidentes, a melhoria da ergonomia e a simplificação da operação. Serão desenvolvidas interfaces na IHM com telas intuitivas, permitindo modos de operação manual e automático, além da geração de alarmes e funcionalidades voltadas à manutenção. A instalação terá os seguintes objetivos:

- Automatizar e aumentar a precisão no processo de calandragem;
- Adequar a máquina a NR12;
- Reduzir desperdícios;
- Elevar a eficiência operacional e garantir conformidade com os padrões de qualidade.

II. METODOLOGIA

O desenvolvimento deste projeto foi conduzido por meio de uma abordagem estruturada e colaborativa, contando com o auxílio fundamental das equipes de automação, ferramentaria e líderes da empresa. Essa sinergia entre as diferentes expertises garantiu uma visão abrangente e a eficácia das soluções propostas. As etapas chave que guiaram o processo foram:

- **Análise de falhas no processo de calandragem:** Foi realizada uma avaliação técnica detalhada das principais falhas identificadas durante o processo de calandragem, as quais comprometem diretamente a qualidade e a eficiência na fabricação de tanques de combustível.
- **Levantamento de requisitos técnicos e operacionais:** Identificaram-se as necessidades específicas da empresa, com ênfase nos requisitos técnicos, operacionais e de segurança necessários para o desenvolvimento e integração dos posicionadores automáticos ao sistema existente.

- **Implementação dos posicionadores automáticos:** A etapa de instalação contemplou a montagem dos dispositivos, capacitação dos operadores e a execução de testes preliminares. Essas ações foram essenciais para a validação do funcionamento do sistema automatizado em ambiente real de produção.
- **Definição dos resultados esperados:** Foram definidos como resultados esperados através da automação do processo, a elevação dos níveis de segurança e produtividade, a redução de custos decorrentes de retrabalho e sucateamento, além do aprimoramento da qualidade final dos produtos e maior confiabilidade do processo.

A proposta de automação da calandra está alinhada com os fundamentos da Indústria 4.0 e reforça o compromisso da empresa Bruning Tecnometal com a inovação tecnológica, segurança e excelência operacional. A integração de tecnologias inteligentes aos processos industriais visa não apenas o aumento da produtividade, mas também a criação de um ambiente mais seguro e eficiente para os colaboradores[7]. A modernização da calandra por meio da implementação de posicionadores automáticos contribui para a padronização dos processos, redução de falhas operacionais e diminuição de desperdícios, alinhando-se às exigências contemporâneas de competitividade e sustentabilidade. Essa solução promove a melhoria contínua do sistema produtivo e fortalece a confiabilidade da produção, com impactos diretos na qualidade dos produtos e na redução de custos [8]. Além disso, a proposta contempla a adequação da máquina à Norma Regulamentadora nº 12 (NR-12), que estabelece requisitos técnicos mínimos para garantir a segurança na operação de máquinas e equipamentos industriais. Essa norma visa assegurar a integridade física e a saúde dos trabalhadores, prevenindo acidentes e reduzindo os riscos ocupacionais no ambiente fabril [9]. A conformidade com a NR-12 é um passo essencial para empresas que desejam se manter competitivas e socialmente responsáveis, integrando segurança e tecnologia como pilares da produção moderna.

III. IDENTIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS

As calandras são equipamentos essenciais no setor industrial, cuja principal função é dobrar chapas em formato cilíndrico. Uma calandra consiste em um conjunto de cilindros de aço giratórios, destinados à estrutura da máquina. Esses cilindros podem ser ajustados para se aproximarem ou se distanciarem, de forma automática ou manual, e, por meio de giro, realizarem diversos processos conforme o modelo e o tamanho do equipamento [10]. Na Bruning Tecnometal, a calandra é um elemento crucial na fabricação de tanques de combustíveis, influenciando diretamente a qualidade final do produto.

O modelo de calandra (figura 1) utilizado pela empresa possui quatro rolos cônicos que, por meio de programação específica, realizam a dobra precisa das chapas metálicas.



Figura 1: Calandra usada pela empresa.

Contudo, o processo atual depende significativamente da atuação manual do operador em duas etapas críticas:

1. **Centralização da chapa nos rolos da máquina:**

O operador posiciona manualmente a chapa metálica em relação aos rolos (Figura 2). Este procedimento exige extrema atenção e precisão, pois qualquer desalinhamento pode resultar em dobras incorretas, comprometendo a qualidade do tanque fabricado.

2. **Seleção do programa correto:**

O operador é responsável por escolher o programa adequado para cada tipo de chapa (Figura 3), garantindo que as configurações da máquina estejam ajustadas às especificações do produto. Erros nesta etapa podem causar falhas na conformação da chapa ou até mesmo desperdício de material.



Figura 2: Chapa sendo posicionada na máquina.



Figura 3: Tela da máquina, para localização de programas

Esses pontos de intervenção manual representam riscos significativos de falhas operacionais, como o desalinhamento das chapas e a seleção incorreta de configurações. Esses fatores contribuem diretamente para o alto índice de sucateamento identificado na empresa. A ausência de um sistema de posicionadores automatizados para o alinhamento das chapas agrava esses problemas, exigindo maior esforço e precisão por parte dos operadores.

Segundo dados da empresa, cerca de 35% do sucateamento mensal na linha de fabricação de tanques de combustível é gerado no processo de calandragem por erros operacionais, resultando em um prejuízo aproximado de R\$ 36 mil por mês. Além disso, a alta rotatividade de funcionários também contribui para o aumento do sucateamento devido à falta de experiência dos operadores.

- **Tanques calandrados tortos:** O desalinhamento das chapas durante o processo de dobra compromete a geometria dos tanques, resultando em produtos fora das especificações (figura 4)
- **Programas selecionados incorretamente:** A escolha errada dos parâmetros de operação pode causar falhas na conformação das chapas.
- **Sucateamento de material:** Erros no alinhamento ou na programação geram perdas de matéria-prima, aumentando custos operacionais e impactos ambientais.
- **Qualidade final comprometida:** Inconsistências nos processos afetam a confiabilidade e durabilidade dos tanques, prejudicando a reputação da empresa e a satisfação dos clientes.



Figura 4: Exemplo de tanque calandrado torto.

Falhas no processo da calandra não só aumentam o descarte de material, mas também colocam em risco a segurança dos operadores — com perigos como esmagamentos e quedas — e comprometem a eficiência geral da máquina.

Diante da necessidade de aprimorar o desempenho operacional, elevar os níveis de segurança, reduzir custos e adaptar a máquina de calandragem às novas exigências produtivas, a empresa Bruning Tecnometal optou por automatizar o equipamento. O objetivo principal foi entregar à linha de produção uma máquina modernizada, capaz de atender às demandas com maior qualidade, confiabilidade, produtividade e plena conformidade com as normas de segurança vigentes.

Para viabilizar essa transformação, foi conduzido um estudo técnico aprofundado, com foco na identificação de soluções eficazes para a redução de falhas operacionais e a automação do processo de calandragem. A seguir, são descritas as principais ações desenvolvidas ao longo do projeto:

- **Análise de Componentes e Tecnologias Disponíveis:** Foi realizada uma pesquisa de mercado com o objetivo de identificar os materiais, dispositivos eletroeletrônicos e componentes de automação mais adequados às necessidades da aplicação. Essa análise considerou critérios como

desempenho técnico, durabilidade, compatibilidade com o sistema existente, facilidade de integração e custo-benefício

- **Definição de Materiais e Componentes do Sistema:** Com base na análise anterior, definiu-se o conjunto de materiais e componentes que seriam utilizados no projeto, incluindo sensores de posição, válvulas, motoredutores, inversores de frequência, CLPs (Controladores Lógicos Programáveis) e IHMs (Interfaces Homem-Máquina), bem como o CLP de segurança
- **Controle e Monitoramento dos Acionamentos:** O sistema de controle foi projetado para gerenciar todos os acionamentos da máquina, como motoredutores, válvulas e sensores, garantindo respostas rápidas e precisas às condições de operação. A supervisão contínua dos sinais permite o monitoramento do status dos componentes e a identificação preventiva de falhas.
- **Programação dos Sistemas de Controle:** Foram desenvolvidos os programas do CLP principal, do CLP de segurança, da IHM e do drive e servomotores. O sistema lógico foi estruturado para garantir uma operação sequencial segura, com intertravamentos adequados e lógica de segurança conforme os padrões da NR-12.
- **Adequação à Norma Regulamentadora NR-12:** A automação da máquina contemplou todas as exigências da Norma Regulamentadora nº 12, incluindo barreiras físicas, dispositivos de parada de emergência, relés de segurança, zonas de risco mapeadas e sistemas de controle redundantes. O objetivo foi garantir a integridade física dos operadores e o cumprimento da legislação vigente.
- **Automação do Alinhamento das Chapas:** Para garantir o posicionamento correto das chapas metálicas durante a calandragem, foram implementados posicionadores automáticos que serão utilizados sensores indutivos, garantido que a chapa seja posicionada corretamente. Essa solução visa eliminar falhas de alinhamento, reduzir o retrabalho e melhorar a qualidade final do produto.
- **Sistema Inteligente para Seleção de Programas:** Foi desenvolvida uma interface automatizada na IHM (Interface Homem-Máquina) que permite a seleção de programas com base em parâmetros previamente configurados, a qual será interligada a um sistema de leitura de QR Code. Essa integração possibilita a identificação automática do produto ou processo, reduzindo significativamente a ocorrência de erros operacionais manuais. Além disso, contribui para a padronização da operação da máquina, promovendo maior eficiência, rastreabilidade e segurança no processo produtivo.

Um dos principais fatores que viabilizaram a automatização da máquina foi a disponibilidade de infraestrutura técnica e capital humano qualificado dentro da própria empresa. Todo o projeto, tanto mecânico quanto elétrico, foi desenvolvido internamente, por meio da colaboração integrada entre os

setores de projetos de ferramentaria, automação industrial e manutenção. Essa abordagem multidisciplinar permitiu uma sinergia entre as áreas, garantindo que todas as etapas, desde o dimensionamento e especificação técnica até a montagem e os testes finais fossem conduzidas com elevado padrão de qualidade e alinhadas às necessidades operacionais do processo. A execução interna do projeto também contribuiu para a redução de custos, maior controle sobre prazos e total aderência aos padrões técnicos e de segurança exigidos.

IV. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE AUTOMAÇÃO

Com a finalização do projeto mecânico, incluindo todas as funcionalidades e conceitos definidos, iniciou-se a etapa de detalhamento dos aspectos relacionados à automação da máquina. A seleção dos componentes eletroeletrônicos responsáveis pelo controle dos posicionadores da calandra e pela interface entre o operador e a máquina é uma etapa crítica para o desenvolvimento de um novo projeto de quadro de comando.

Os dispositivos escolhidos devem atender aos requisitos funcionais do sistema, assegurando a confiabilidade operacional e a segurança do operador. Dessa forma, foram definidos os componentes (figura 5) essenciais e realizados os respectivos detalhamentos técnicos, os quais abrangem: sistemas de segurança, Controlador Lógico Programável (CLP), Interface Homem-Máquina (IHM), sensores, projeto elétrico e programação *off-line*. O desenvolvimento do projeto abordara os seguintes itens:

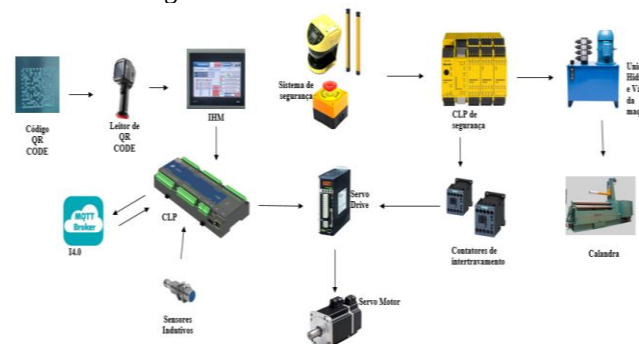


Figura 5- Componentes utilizados no projeto.

A) A Norma Regulamentadora nº 12 (NR-12): Emitida pelo Ministério do Trabalho e Emprego, estabelece diretrizes para a segurança no trabalho em máquinas e equipamentos, visando à prevenção de acidentes e à proteção da integridade física dos trabalhadores. Conforme determina a norma, as empresas devem:

- Projetar, construir e instalar máquinas e equipamentos de acordo com as normas técnicas vigentes;
- Capacitar os operadores, fornecendo treinamentos adequados e instruções claras quanto ao uso seguro dos equipamentos;
- Implementar dispositivos de segurança, como proteções fixas e móveis, sistemas de parada de emergência, entre outros;

- Realizar inspeções e manutenções periódicas para verificação do estado de conservação e funcionamento seguro dos equipamentos;
- Utilizar sinalizações visuais adequadas, que alertem para riscos e promovam um ambiente de trabalho seguro.

O descumprimento das exigências estabelecidas pela NR-12 pode resultar em sanções administrativas, incluindo multas e interdição de equipamentos. Ressalta-se ainda que essa norma está sujeita a atualizações, sendo essencial que as empresas acompanhem constantemente suas revisões para garantir a conformidade legal e operacional[11].

Considerando tais aspectos, todas as fases subsequentes do projeto foram conduzidas com ênfase na segurança operacional, em conformidade com os requisitos legais

B) Sistema de Segurança Eletrônico: Para a implementação do sistema de segurança da máquina, será utilizado o controlador de segurança FlexiSoft (figura 6), fabricado pela empresa Sick, juntamente com seus respectivos módulos de entrada e saída de segurança (I/O Safety). Esses dispositivos são responsáveis pela gestão dos seguintes elementos: cortinas de luz, paradas de emergência, monitoramento do bloco de segurança e função *Safe Torque Off (STO)* dos inversores de frequência.

O controlador também realiza a interface e o bloqueio de segurança com o CLP da máquina por meio de sinais digitais. Como este dispositivo já se encontra instalado na estrutura atual e possui alto grau de confiabilidade e compatibilidade com o sistema existente, sua utilização será mantida neste novo projeto.



Figura 6- Controlador de segurança FlexiSoft.

C) CLP- Controlador Logico Programável: o controlador utilizado nesse trabalho é o CLP325 (figura 7) do fabricante Altus (figura). Os produtos dessa linha de CLP são fabricados para controlar sistemas industriais, máquinas, linhas de produção de alta qualidade e os mais avançados processos da Indústria 4.0 de forma distribuída e redundante[12]. Esses produtos têm excelente desempenho de processamento e capacidade de expansão em bastidores. Sua arquitetura permite integração simples com redes de monitoramento, controle e campo, bem como redundância de CPU, fonte de alimentação, conectividade e confiabilidade. Pensando em otimizar possíveis paradas para manutenção corretiva, os equipamentos também fornecem diagnósticos avançados e troca a quente, possibilitando um trabalho focado somente onde está apresentando alguma anormalidade,

minimizando ou eliminando paradas para manutenção e garantindo a continuidade do processo produtivo.



Figura 7- Controlador Logico Programável.

D) Servo Drive: O modelo utilizado no trabalho é o D2-1023-S-C0 da HIWIN (figura 8), um modelo avançado da série D2, projetado para aplicações industriais que exigem controle preciso e alto desempenho [13]. É amplamente utilizado em aplicações como máquinas CNC, robôs industriais, sistemas de embalagem e automação em geral, devido à sua capacidade de garantir alta precisão em operações que exigem rápidas variações de velocidade e posição. Sua combinação de recursos avançados e flexibilidade de configuração o torna uma escolha robusta e confiável para diversas necessidades industriais. Um acompanhamento detalhado e análise do processo, foi estudada a implementação de melhorias na calandra, com o objetivo de entregar à linha de produção uma máquina capaz de atender às demandas com qualidade, segurança, confiabilidade e maior produtividade.



Figura 8: Servo drive a ser utilizado no projeto.

E) Sensores: Para assegurar o posicionamento preciso das chapas e, conseqüentemente, a validação da etapa de processo, optou-se pela integração de sensores indutivos da marca Schneider (figura 9). Esses dispositivos específicos são escolhidos por suas características técnicas que garantem a alta confiabilidade operacional, um fator crítico para a precisão do sistema. A capacidade de montagem direta sobre superfícies ou suportes simplifica a implementação e integração no ambiente de produção.

Além disso, a tecnologia empregada nesses sensores permite a detecção precisa da presença de objetos metálicos próximos, fundamental para o controle de posicionamento. Eles se destacam pela maior exatidão na leitura e pela imunidade a perturbações de origem magnética [14], o que minimiza a ocorrência de leituras falsas e garante a estabilidade do processo.

A relevância da incorporação de sensores em ambientes industriais é amplamente reconhecida na literatura, que enfatiza a obtenção de maior precisão nos processos e a significativa redução de falhas operacionais. No contexto específico deste projeto, esses sensores desempenharão um papel estratégico na validação da posição correta das chapas.



Figura 9- Sensor Indutivo.

F) IHM- Interface Homem Máquina: A Interface Homem-Máquina escolhida para esta aplicação foi o modelo X2-BASE-10, desenvolvido pela fabricante Altus. Trata-se de uma IHM moderna, equipada com tela sensível ao toque de 10 polegadas em formato *widescreen*, com gráficos de alta qualidade, alta performance de hardware e excelente capacidade de comunicação com múltiplos dispositivos de automação industrial. Além disso, oferece uma interface intuitiva, com recursos de engenharia de fácil programação e uso. A Figura 10 ilustra o modelo adotado.



Figura 10: Foto da tela inicial da IHM.

G) Projeto Elétrico: O projeto elétrico do painel de comando dos posicionadores da calandra, foi desenvolvido utilizando o *software* CAD, amplamente utilizado para desenho técnico em projetos industriais. A elaboração do projeto teve início após a definição dos equipamentos de automação e dos materiais elétricos que seriam utilizados.

O *layout* do fundo do painel de controle foi projetado com base nos desenhos em 2D de todos os componentes, garantindo precisão na montagem e melhor aproveitamento do espaço físico, conforme ilustrado na Figura 6.

O projeto foi elaborado com todas as ligações devidamente definidas, dimensionadas e identificadas, sendo organizado em uma sequência lógica de páginas que facilita a interpretação e a montagem do sistema:

Principais Características Técnicas:

- Tela colorida de 10" com tecnologia TFT, que permite ajuste de brilho e contraste;
- *Backlight* de longa duração, garantindo maior vida útil do *display*;
- Interface de comunicação Ethernet 10/100 Mbps;
- Portas seriais RS232 e RS485, além de porta USB para comunicação e armazenamento;
- Visor *widescreen*, ideal para aplicações com muitos elementos gráficos;
- Simulação online e *offline*, facilitando o desenvolvimento e validação de telas;
- *Softwares* de programação sem custo de licença, com templates e banco de dados integrados que possibilitam o desenvolvimento ágil de aplicações complexas;
- Função de criação de receitas, permitindo armazenar e gerenciar parâmetros específicos de cada ferramenta ou produto;
- Gerenciamento de níveis de usuários, garantindo segurança e controle de acesso às funções do sistema;
- Envio automático de e-mails com alarmes e relatórios, útil para diagnóstico e manutenção preventiva;
- Suporte a acesso remoto via VNC (*Virtual Network Computing*), permitindo visualização e controle à distância;
- Suporte técnico gratuito, fornecido pelo fabricante.

- Capa: contém os dados de identificação do projeto;
- Páginas 01 e 02: diagramas de força;
- Páginas 03: Motor dos posicionadores (figura 11);
- Páginas 04: Rede de comunicação;
- Páginas 05 a 09: entradas e saídas analógicas;
- Página 10: comandos de acionamento de relés e válvulas;
- Página 11 a 12: *Layout*, guia para execução da montagem, com todas as cotas informadas (figura 12);
- Página 13 a 22: Segurança;
- Páginas 23 a 26: intertravamentos e sinalização.

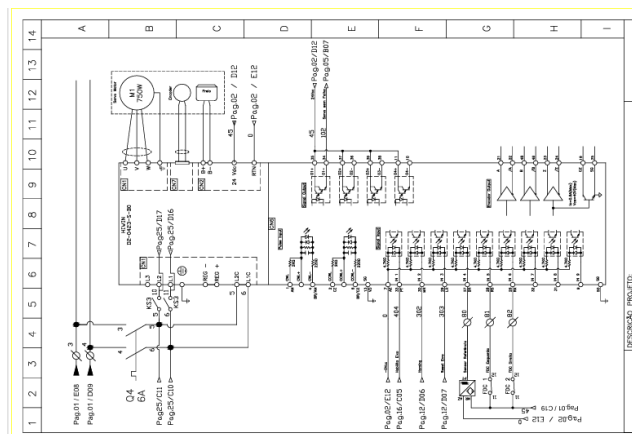


Figura 11: Esquema Elétrico dos motores dos posicionadores.

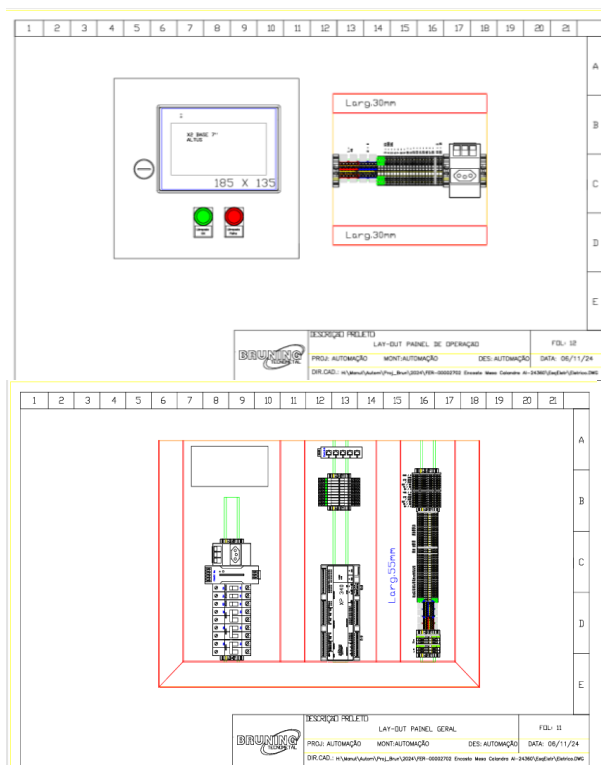


Figura12: Layout do painel de comando e de operação.

H) Programação dos equipamentos: Após a conclusão do projeto elétrico, iniciou-se a etapa de programação dos componentes de automação envolvidos na instalação dos posicionadores. Este processo contempla a configuração e o desenvolvimento de lógicas de controle para equipamentos como CLPs, IHMs, inversores de frequência e CLPs de segurança, cada um deles com *softwares* específicos de acordo com a marca e o modelo.

- **Programação do CLP:** A programação do CLP foi realizada por meio do *software* MasterTool IEC XE (figura 8), fornecido pela fabricante Altus. A linguagem utilizada foi *Ladder* (LD), amplamente adotada na indústria por sua semelhança com os diagramas de comandos elétricos convencionais, o que facilita a interpretação, manutenção e modificações futuras no sistema.

- **Programação da IHM:** A programação da Interface Homem-Máquina (IHM) foi realizada utilizando o *software* iX Developer, fornecido pelo próprio fabricante. Para facilitar a integração entre o CLP e a IHM, foi utilizada a importação de tags por meio de um arquivo XML, gerado a partir da lista de variáveis do *software* MasterTool IEC XE, responsável pela programação do CLP.

O iX Developer permite ao programador configurar todos os elementos gráficos das telas da IHM, como botões, indicadores, alarmes, gráficos de tendência e caixas de entrada de dados, vinculando-os diretamente às variáveis definidas na lógica *Ladder* do CLP. Dessa forma, a interface do operador se torna dinâmica, intuitiva e personalizada conforme a aplicação. A comunicação entre a IHM e o CLP é realizada por meio da porta Ethernet, sendo necessário configurar ambos os dispositivos na mesma faixa de endereçamento IP, garantindo uma comunicação eficiente e sem conflitos.

- **A programação do CLP de segurança:** foi realizada utilizando o *software* Flexi Soft Designer, conforme ilustrado na Figura 15. Este *software*, desenvolvido para controladores da linha Flexi Soft, permite a criação de lógicas de segurança com uma linguagem gráfica baseada em blocos funcionais, de fácil compreensão e aplicação.

A programação em blocos é uma abordagem visual que possibilita ao programador construir, organizar e acompanhar a lógica de funcionamento do sistema de segurança de forma clara e intuitiva. Após a programação, o *software* permite a monitorização em tempo real, o que facilita a validação e o diagnóstico de falhas durante os testes.

Antes da criação do programa, as entradas e saídas digitais utilizadas no sistema devem ser configuradas individualmente de acordo com sua função, como botões de emergência, sensores de segurança, relés de parada, entre outros. Esta etapa é essencial para garantir que o sistema atenda às exigências normativas de segurança e funcione corretamente em situações críticas.

A determinação de pontos de entrada, senhas, requisitos de segurança, lógica de controle e sequências operacionais desejadas fazem parte da programação do FlexiSoft. Além disso, é possível fazer uso de funções específicas de segurança como monitoramento de velocidade, sinalização de parada de emergência, circuitos de segurança e outras ferramentas oferecidas pelo FlexiSoft.

V. PRINCIPIO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

O sistema será de fácil operação, facilitando para o operador, com o auxílio de um leitor de QR Code, o operador vai ler o código de QR Code já impresso na chapa.

Sequência de Operação do Processo:

1. Um código QR é lido, e as informações são exibidas na IHM.
2. O operador interage com a IHM, talvez confirmando dados ou inserindo parâmetros adicionais.
3. O CLP geral processa essas informações e, com base na lógica programada, comanda o Servo Drive e o sistema hidráulico.
4. O Servo Drive controla o Servo Motor para movimentos precisos da calandra.
5. O sistema hidráulico, controlado por válvulas, também atua na calandra.
6. Sensores indutivos fornecem feedback sobre o estado da máquina para o CLP geral.
7. Paralelamente, o CLP de segurança monitora constantemente os dispositivos de segurança (barreiras de luz, botão de emergência, contadores de intertravamento).
8. Em caso de falha ou ativação de um dispositivo de segurança, o CLP de segurança sobrepõe o CLP geral e atua diretamente para parar a máquina (possivelmente desenergizando a unidade hidráulica e bloqueando o Servo Drive).

9. Dados do processo do CLP geral são enviados para o MQTT Broker, que é o servidor central responsável por receber, filtrar e encaminhar mensagens entre dispositivos conectados, permitindo monitoramento e análise remota (Indústria 4.0).

Em resumo, este sistema é um exemplo de como a automação industrial moderna integra controle preciso, segurança robusta e comunicação de dados para otimizar a operação de máquinas como uma calandra.

VI – IMPLEMENTAÇÃO

Após a finalização do projeto elétrico, foi elaborada a lista de materiais e equipamentos necessários para a montagem do painel de controle e sua integração ao sistema da máquina. Os itens foram devidamente orçados, incluindo materiais como cabos, conectores, painel metálico, botoeiras, entre outros, além da mão de obra das equipes técnicas envolvidas. O custo total estimado do projeto foi de aproximadamente R\$ 180.000,00, contemplando tanto os insumos quanto os serviços para a execução completa da solução.

A montagem e instalação do painel já foram iniciadas pela equipe de automação, com previsão de conclusão até o segundo semestre de 2025. O processo de instalação seguirá rigorosamente as etapas técnicas descritas a seguir, garantindo a confiabilidade operacional, segurança e integração com o sistema automatizado dos posicionadores:

1. **Montagem do painel de controle conforme o projeto elétrico:** Nessa etapa, será realizada a montagem do layout interno, fixação dos trilhos DIN e instalação dos componentes na placa de montagem (figura. 12). Serão utilizados seccionadores, contadores, controladores de segurança, CLP (Controlador Lógico Programável), inversores de frequência, fonte de alimentação 24 VCC, relés de interface, disjuntores e bornes. Também serão instalados no painel a IHM (Interface Homem-Máquina), botões de emergência e partida, chave de seccionamento geral e torre de sinalização luminosa. A disposição dos elementos segue as normas de ergonomia e segurança, facilitando a operação e a manutenção.



Figura 13 – Painel já montado.

2. **Conexão dos circuitos de força e de comando:** Com os dispositivos fixados, serão realizados os cabeamentos dos circuitos de potência e comando, conforme esquemas elétricos. Essa etapa é fundamental para garantir a correta alimentação dos motores, sensores, inversores e CLP, além de possibilitar o controle seguro das operações da máquina.
3. **Interligação e comunicação entre os equipamentos:** Será estabelecida a comunicação entre os dispositivos inteligentes, utilizando protocolos industriais como Modbus RTU ou Ethernet/IP. Isso garantirá a troca de informações entre a IHM, CLP, inversores e sensores, permitindo um controle automatizado, seguro e eficiente.
4. **Energização e testes em bancada:** Com o painel montado e os circuitos interligados, será realizada a energização do sistema. Inicialmente, serão feitos testes em bancada, com aplicação de programas já desenvolvidos e carregados no CLP. Essa etapa tem o objetivo de verificar a integridade dos circuitos, a funcionalidade dos componentes e a resposta da lógica de controle.
5. **Testes em modo manual:** Cada acionamento será testado individualmente, em modo manual, sem intertravamentos. Esses testes garantem que todos os atuadores, como motores, cilindros e sensores, estão operando corretamente e que a resposta do sistema está dentro dos parâmetros definidos.
6. **Testes em modo automático:** Após a validação individual dos dispositivos, será realizado o teste em modo automático, com simulação do ciclo completo de funcionamento. A lógica de controle implementada no CLP será monitorada e ajustada, se necessário, para garantir que a sequência de operações ocorra de forma segura e eficiente.
7. **Testes práticos dos posicionadores:** Com os modos manual e automático validados, serão realizados testes práticos com os novos posicionadores instalados na calandra. O objetivo é garantir que os posicionadores estejam corretamente sincronizados

com o ciclo de operação da máquina, garantindo precisão no posicionamento das chapas e redução de falhas operacionais.

8. **Treinamento para operadores:** Por fim, será realizado o treinamento dos operadores sobre o funcionamento do novo sistema de posicionadores. Esse treinamento visa garantir a autonomia da equipe para operar e manter o sistema de forma eficaz.

A parte mecânica do projeto e a instalação dos posicionadores já foi finalizada e instalada na máquina (figura 14), aguardando a finalização da parte elétrica para iniciar os testes finais e validar o projeto.



Figura 14 – Parte mecânica dos posicionadores da máquina.

VII – RESULTADOS

Após a conclusão da implementação do projeto, prevê-se uma redução significativa no índice de sucateamento. Esse impacto se traduzirá diretamente em uma melhora substancial na qualidade do processo produtivo. A automação do posicionamento das chapas na calandra, que utiliza posicionadores automatizados, proporcionará maior repetitividade, precisão e confiabilidade operacional. Isso minimizará falhas de alinhamento e evitará deformações indesejadas, otimizando o uso dos materiais.

A implantação desse sistema de automação demonstra um notável potencial de viabilidade econômica. As projeções indicam que, em um período de até sete meses, a economia gerada pela redução do sucateamento será suficiente para cobrir o investimento inicial. Adicionalmente, o novo sistema contribuirá para o aumento da produtividade, pois reduz o tempo de *setup* e a necessidade de ajustes manuais constantes por parte do operador.

Com a introdução da Interface Homem-Máquina (IHM) e a automação dos comandos, o processo se torna mais simples, intuitivo e padronizado. Essa padronização facilita a operação, mesmo para usuários com menor experiência.

Do ponto de vista da segurança, o projeto foi desenvolvido em conformidade com as normas regulamentadoras, como a NR-

12. A inclusão de dispositivos como botões de emergência, controladores de segurança e torre de sinalização eleva consideravelmente o nível de proteção ao operador, reduzindo as chances de acidentes durante a operação da máquina.

Em resumo, a implementação deste sistema trará benefícios expressivos nas seguintes áreas:

- Redução de perdas: Diminuição significativa de perdas por falhas operacionais e sucateamento;
- Aumento da eficiência: Melhoria da produtividade e otimização do processo produtivo;
- Melhoria das condições de trabalho: Aprimoramento da ergonomia e da segurança ocupacional;
- Padronização e controle: Maior eficiência na padronização e controle das etapas de calandragem;
- Segurança operacional: Redução de acidentes com operadores.

VIII – CONCLUSÕES

O conhecimento das necessidades específicas da empresa permitiu a realização de um diagnóstico detalhado, identificando pontos críticos e oportunidades de melhoria tanto na máquina quanto no processo de calandragem. A partir dessa análise, foi desenvolvido um projeto elétrico completo para o painel de controle, incluindo uma nova interface gráfica de usuário (IHM), que passou a intermediar a comunicação entre o operador e a máquina.

Essa interface foi projetada com o objetivo de substituir os comandos manuais anteriormente utilizados por comandos automáticos mais seguros, eficientes e padronizados, reduzindo a interferência humana nas etapas críticas do processo e aumentando a confiabilidade operacional.

Com foco em disponibilizar os posicionadores da calandra em plenas condições operacionais, assegurando seu impacto positivo na qualidade final do produto, foram utilizadas as ferramentas de simulação disponíveis nos *softwares* de programação do CLP e da IHM.

Essas simulações permitiram a validação prévia da lógica de controle, além de facilitar ajustes nos parâmetros de operação e otimizações nas telas da interface gráfica, antes mesmo da aplicação prática. Essa abordagem reduziu retrabalhos, acelerou o processo de comissionamento e garantiu maior assertividade na implantação do sistema.

REFERÊNCIAS

- [1] SILVEIRA, L.; LIMA, W. Q. Um breve histórico conceitual da Automação Industrial e Redes para Automação Industrial. Redes para Automação Industrial. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, p. 16, 2003. Disponível em: https://www.dca.ufrn.br/~affonso/FTP/DCA447/trabalho1/trabalho1_13.pdf

- [2] SIMÕES, Lucas Henrique. Automação Industrial e a Indústria 4.0: a importância da tecnologia e da robótica na Indústria. 2021. 42 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica – Anhanguera Educacional, Taubaté, 2021
- [3] SANTOS, E. F.; SOUSA FILHO, J. L.; PEREIRA, T. G. Desafios para implantação da indústria 4.0 nas empresas atuais. INTERFACE: Revista Eletrônica da FAESC, v. 2, n. 01, p. 80-94, 2021.
- [4] PISCHING, M. A. Arquitetura para descoberta de equipamentos em processos de manufatura com foco na indústria 4.0. 2019. Tese (Doutorado) - Engenharia de Controle e Automação Mecânica. São Paulo, 2017.
- [5] FENERICK, Jessica Aparecida; VOLANTE, Carlos Rodrigo. A evolução das indústrias, os benefícios da automação e as perspectivas do mercado da robótica no Brasil e no mundo. [S.l.]: [s.n.], [202?]. Disponível em: jessicafenerick@hotmail.com; carlos.volante@fatectq.edu.br. Acesso em: 9 jun. 2025.
- [6] HOFMANN, E., RÜSCH, M. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. Computers in Industry. Elsevier, 2017.
- [7] KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0**. Final report of the Industrie 4.0 Working Group. Acatech – National Academy of Science and Engineering, Germany, 2013.
- [8] HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review**. Technische Universität Dortmund, 2016.
- [9] BRASIL. Ministério do Trabalho. **Norma Regulamentadora nº 12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**. Brasília: Ministério do Trabalho, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br>. Acesso em: 04 maio 2025.
- [10] FERNANDO. Calandra: Uma máquina perigosa. 2015. Disponível em: <http://linksst.com/calandra-uma-maquina-perigosa/>.
- [11] BRASIL. Ministério do Trabalho. **Norma Regulamentadora nº 12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**. Brasília: Ministério do Trabalho, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br>. Acesso em: 04 maio 2025.
- [12] ALTUS. CLP Nexto Xpress. [Caxias do Sul, RS], [2024?]. Disponível em: <https://www.altus.com.br/produto/44/clp-nexto-xpress>. Acesso em: 9 jun. 2025.
- [13] HIWIN. Servo Drive D2-1023-S-C0. [São Paulo, SP], 2020. Disponível em: <https://www.hiwin.com.br/2020/09/servo-drive-d2-1023-s-c0.html>. Acesso em: 9 jun. 2025.
- [14] DIMENSIONAL. Sensor indutivo metálico PNP NA 12 a 48 VCC 2,5 mm conector M12 – Telemecanique. [São Paulo, SP], [2024?]. Disponível em: https://www.dimensional.com.br/sensor-indutivo-metalico-pnp-na-12-a-48-vcc-2_5-mm-conector-m12-telemecanique/p?srsId=AfmBOorKNRD60KJT1IK116XBGfTr5IglknaHUUE4kVUjb_bDUWgFpxx. Acesso em: 9 jun. 2025.

DADOS BIOGRÁFICOS

Alessandra dos Passos Tiburski, nascida dia 02/05/2000 em Bento Gonçalves, é técnico em mecatrônica (2021) pelo Colégio Evangélico Panambi. Atualmente é aluno do curso de Tecnologia em Automação Industrial do IFFAR Panambi-RS. Suas áreas de interesse são: Automação industrial, eletrônica, elétrica e robótica.