

RETROFIT DE MÁQUINA DE MANUFATURA ALIMENTÍCIA

Vinícius Gustavo de Bairros da Silva¹, Talis Piovesan²
Instituição Federal De Educação e Ciência e Tecnologia Farroupilha, Panambi – RS, Brasil
e-mail: vinicius_bairros@hotmail.com

Resumo – Este trabalho de conclusão de curso propõe o desafio de desenvolvimento de uma solução voltada à modernização e automação da máquina de manufatura alimentícia, especificamente nas etapas de extrusão e corte da massa. A proposta tem como base a aplicação dos conceitos de *Retrofit* industrial, automação de processos e adequação à NR-12, visando a transformação de um sistema manual e analógico em um equipamento automatizado, seguro e eficiente. O desenvolvimento foi fundamentado em conhecimentos consolidados sobre controle de máquinas, segurança industrial e integração de sistemas automatizados, possibilitaram a aquisição de experiência prática em programação de CLP's, configuração de IHM's, montagem de painéis elétricos e implementação de dispositivos de segurança. A partir dos estudos e conhecimentos obtidos, observa-se uma possível melhoria na precisão, padronização e segurança operacional da máquina, além de redução de tempo de setup e maior confiabilidade no processo produtivo. Este trabalho reforça a importância do *Retrofit* como ferramenta de inovação e sustentabilidade dentro da indústria, demonstrando que a automação aplicada ao setor alimentício é capaz de elevar a produtividade e atender às exigências da Indústria 4.0, garantindo competitividade e segurança nas operações industriais.

Palavras-Chave – Automação industrial; Indústria 4.0; Manufatura alimentícia; NR-12; *Retrofit*; Segurança de máquinas.

RETROFIT OF A COOKIE MANUFACTURING MACHINE

Abstract – This undergraduate thesis proposes the development of a solution aimed at the modernization and automation of a food manufacturing machine, specifically focusing on the dough extrusion and cutting stages. The proposal is based on the application of industrial Retrofit concepts, process automation, and compliance with Regulatory Standard NR-12, with the objective of transforming a manual and analog system into an automated, safe, and efficient piece of equipment. The project was based on established knowledge of machine control, industrial safety, and the integration of automated systems, providing practical experience in PLC programming, HMI configuration, electrical control panel assembly, and the implementation of safety devices. Based on the studies and knowledge acquired, the proposed solution is expected to improve the machine's precision, process standardization, and operational safety, while reducing setup time and increasing the reliability of the production process. This work reinforces the importance of industrial *Retrofit* as a strategy for innovation and sustainability within the manufacturing

sector, demonstrating that automation applied to the food industry can enhance productivity and meet the requirements of Industry 4.0, ensuring competitiveness and safety in industrial operations.

Keywords - Industrial automation; Industry 4.0; Cookie manufacturing; NR-12; *Retrofit*; Machine safety.

NOMENCLATURA

Automação Industrial Aplicação de sistemas automáticos no controle de processos industriais
CAD Computer-Aided Design (Projeto Assistido por Computador)
CB1241 Módulo de comunicação RS-485 Siemens utilizado no projeto
CLP Controlador Lógico Programável
Corte a fio Método de corte contínuo por fio metálico
CPU Unidade Central de Processamento do CLP
Enclausuramento Proteção física que impede acesso às partes perigosas.
Extrusão Processo de conformação da massa através de pressão mecânica
Fim de Curso Sensor utilizado para monitoramento de posição e segurança
Guilhotina Sistema mecânico pneumático de corte
IHM Interface Homem-Máquina
Indústria 4.0 Conceito de integração digital, automação inteligente e conectividade industrial
Intertravamento Sistema que impede funcionamento em condição insegura
Ladder Linguagem gráfica de programação utilizada em CLP's
Malha Aberta Sistema sem realimentação automática do processo
Modbus RTU Protocolo de comunicação serial utilizado em automação industrial
Pistão Pneumático Atuador linear acionado por ar comprimido
Policarbonato Material utilizado nas proteções mecânicas da máquina
Profinet Protocolo de comunicação industrial Ethernet da Siemens
Relé de Segurança Dispositivo responsável pelo monitoramento seguro de emergência e intertravamentos
Retrofit Processo de modernização tecnológica de máquinas e equipamentos industriais
RS-485 Padrão de comunicação serial industrial
Setup Tempo de preparação e ajuste da máquina
TIA Portal Totally Integrated Automation Portal – software de programação Siemens

I. INTRODUÇÃO

A evolução da indústria ao longo das últimas décadas tem sido marcada por profundas transformações tecnológicas que redefiniram os processos produtivos e a interação entre homem, máquina e informação. A Primeira Revolução Industrial, no século XVIII, introduziu a mecanização a partir da utilização da energia a vapor; a Segunda Revolução Industrial consolidou a eletrificação e a produção em massa; enquanto a Terceira Revolução Industrial trouxe a automação baseada na eletrônica e nos sistemas computacionais. Atualmente, a indústria encontra-se inserida no contexto da chamada Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, caracterizada pela integração entre sistemas físicos e digitais, conectividade entre equipamentos, análise de dados em tempo real e utilização de tecnologias inteligentes nos processos produtivos [1].

A Indústria 4.0 representa um novo paradigma industrial no qual os sistemas produtivos tornam-se interconectados, autônomos e capazes de realizar monitoramento contínuo das operações. Esse modelo possibilita maior eficiência produtiva, tomada de decisão descentralizada e integração entre os diversos níveis da manufatura. Entretanto, no contexto brasileiro, muitas indústrias ainda operam com máquinas antigas e sistemas de controle analógicos, o que dificulta a adoção plena dessas tecnologias e exige estratégias de modernização do parque industrial [2].

Paralelamente às exigências tecnológicas, a segurança no ambiente industrial também se apresenta como um fator essencial no processo de modernização das máquinas. Nesse sentido, a NR-12 estabelece princípios e medidas de proteção para garantir a segurança na operação, manutenção e interação com máquinas e equipamentos. A NR-12 define requisitos técnicos relacionados à implementação de proteções físicas, dispositivos de parada de emergência, sistemas de intertravamento e medidas de prevenção de riscos, assegurando condições adequadas de segurança durante todo o ciclo de vida do equipamento [3].

Nesse cenário, o *Retrofit* industrial destaca-se como uma alternativa técnica e economicamente viável para a modernização de equipamentos existentes. Essa estratégia consiste na atualização tecnológica de máquinas antigas por meio da substituição ou modernização de sistemas de controle, acionamento e monitoramento, mantendo a estrutura principal do equipamento. Dessa forma, o *Retrofit* possibilita aumentar a eficiência operacional, melhorar a confiabilidade dos processos e adequar as máquinas às normas de segurança vigentes, sem a necessidade de substituição completa do equipamento [4].

Diante desse contexto, este trabalho apresenta o desenvolvimento e a implementação de um projeto de *Retrofit* em uma máquina industrial de manufatura alimentícia pertencente a uma empresa do setor de panificação localizada no município de Panambi. O sistema originalmente baseado em controles analógicos tem como projeto a modernização por meio da implementação de um sistema digital composto por CLP e IHM, responsáveis pelo controle e monitoramento das etapas de extrusão e corte da massa.

II. FUNDAMENTOS DA AUTOMAÇÃO

A automação industrial consiste na utilização de sistemas eletromecânicos, eletrônicos e computacionais para controlar processos produtivos de forma automática, reduzindo a necessidade de intervenção humana direta. A automação tem como principal objetivo aumentar a eficiência, a confiabilidade e a qualidade dos processos industriais, permitindo maior repetibilidade das operações e redução de falhas operacionais [5].

Historicamente, a evolução da automação acompanhou o desenvolvimento das revoluções industriais. A partir da Terceira Revolução Industrial, impulsionada pelo avanço da eletrônica e dos microprocessadores, tornou-se possível a implementação de sistemas automatizados capazes de substituir os antigos controles manuais e eletromecânicos. Atualmente, com o advento da Indústria 4.0, a automação industrial alcançou um novo nível tecnológico, integrando sensores inteligentes, redes industriais e sistemas de análise de dados capazes de gerar ambientes produtivos mais autônomos, conectados e eficientes [1]-[6].

No contexto normativo brasileiro, a NR 12 desempenha papel fundamental na evolução da automação industrial. A norma estabelece requisitos técnicos e medidas de segurança para máquinas e equipamentos, exigindo a implementação de sistemas que contemplem segurança funcional, intertravamentos, dispositivos de bloqueio de energia e interfaces seguras entre operador e máquina. Esses requisitos são frequentemente implementados por meio de sistemas automatizados que integram dispositivos de segurança ao controle do equipamento [3].

No cenário da Indústria 4.0, a automação industrial atua como o elo entre o mundo físico e o ambiente digital. Por meio de tecnologias como CLP's, IHM's e redes de comunicação industrial, as máquinas tornam-se capazes de coletar, processar e compartilhar informações em tempo real. Essa integração possibilita maior controle dos processos produtivos, melhoria da eficiência operacional e aumento da qualidade dos produtos fabricados [7].

Nesse contexto, a aplicação de automação em projetos de *Retrofit* torna-se uma estratégia importante para a modernização de equipamentos industriais. A automação permite implementar sistemas de monitoramento contínuo, ajustes operacionais mais precisos e redução da ocorrência de erros humanos, contribuindo para o aumento da produtividade e para o atendimento aos requisitos de segurança estabelecidos pela NR-12. Dessa forma, a automação não apenas otimiza o funcionamento das máquinas, mas também contribui para a prevenção de acidentes e para o cumprimento das normas técnicas e trabalhistas aplicáveis [7].

O *Retrofit* industrial consiste no processo de atualização tecnológica de máquinas e equipamentos existentes, substituindo componentes obsoletos por tecnologias mais modernas, sem a necessidade de substituição completa da estrutura mecânica do equipamento. Essa estratégia permite prolongar a vida útil das máquinas e alinhar os sistemas produtivos aos padrões atuais de automação, controle e segurança industrial [4].

Além disso, o *Retrofit* possibilita que máquinas tradicionais sejam adaptadas aos conceitos da Indústria 4.0, incorporando recursos de conectividade, supervisão e controle digital. Essa modernização contribui para a melhoria do desempenho operacional, redução de custos de manutenção e adequação às normas regulamentadoras vigentes, especialmente a NR-12, que estabelece requisitos obrigatórios de segurança para máquinas e equipamentos industriais [3]-[5].

A NR-12 define parâmetros de segurança que devem ser considerados durante todo o ciclo de vida das máquinas, desde o projeto e manufatura até sua operação e manutenção. Nesse sentido, projetos de *Retrofit* desempenham papel importante ao possibilitar a modernização de painéis elétricos, circuitos de comando e sistemas de proteção, garantindo a implementação de dispositivos como paradas de emergência, sistemas de intertravamento e mecanismos de bloqueio de energia seguros [3].

Entre as principais vantagens da aplicação de *Retrofit* em máquinas industriais, destacam-se:

- Aumento da produtividade e da confiabilidade operacional;
- Adequação às normas de segurança industrial, especialmente à NR-12;
- Redução de custos em comparação à aquisição de novos equipamentos;
- Melhoria da eficiência energética e redução das necessidades de manutenção;
- Preparação da máquina para integração com sistemas digitais e supervisão remota.

Projetos de *Retrofit* são amplamente aplicados em diversos setores industriais, como o alimentício, metalúrgico e têxtil, nos quais o controle preciso de variáveis como velocidade, temperatura e sequência de processos é fundamental para garantir a qualidade do produto final. No caso das máquinas de manufatura alimentícia, a aplicação de *Retrofit* permite substituir painéis de controle analógicos por sistemas digitais baseados em CLP's e IHM's, proporcionando maior precisão nos ajustes operacionais, melhor monitoramento do processo e aumento da segurança para os operadores [8].

III. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE *RETROFIT*

Nesta etapa apresenta-se o projeto desenvolvido para a modernização da máquina de manufatura alimentícia, contemplando as modificações mecânicas e de automação implementadas no equipamento com base no conceito de *Retrofit* industrial.

A modernização incluiu a implementação de um sistema automatizado composto por CLP e IHM, responsáveis pelo controle e monitoramento das etapas de extrusão e corte da massa. A utilização de sistemas automatizados baseados em CLP's permite maior precisão no controle dos processos produtivos, além de aumentar a confiabilidade e a repetibilidade das operações industriais. Além disso, foram projetadas proteções mecânicas e dispositivos de segurança em conformidade com os requisitos da NR 12, incluindo sistemas de parada de emergência, circuito de intertravamento e sensores de segurança, garantindo

condições adequadas de operação e proteção aos trabalhadores [3].

A integração desses elementos permitirá melhorar o controle operacional da máquina, aumentar a precisão do processo produtivo e proporcionar melhores condições de segurança para as operadoras, resultando em um sistema mais eficiente e alinhado aos padrões atuais de automação industrial.

A) Layout atual da máquina:

A máquina opera por meio de um sistema de controle analógico e manual, no qual os ajustes de velocidade da extrusora, da esteira transportadora e do sistema de corte a fio são realizados através de potenciômetros e botões seletores para selecionar on/off das velocidades, e um controlador de tempo para regulagem do corte a facão (guilhotina). A máquina é utilizada para a fabricação de diferentes modelos de bolachas, ao todo 5 modelos são produzidos, sendo necessário reajustar manualmente os parâmetros de operação a cada seleção de um novo produto, assim substituindo também o molde da respectiva bolacha selecionada. Dessa forma, as operadoras precisam modificar velocidades, sincronizando as regulagens do sistema sempre que um novo modelo de bolacha é produzido, tornando o processo de setup demorado e dependente da experiência da operadora. Além disso, a máquina não possui armazenamento das receitas, monitoramento digital ou sistema integrado de segurança, que dificulta a padronização da produção e pode ocasionar possíveis erros operacionais.

Na Figura 1, temos a visão geral da máquina. Observa-se que o equipamento ainda não possui sistemas de proteção física de segurança, como barreiras fixas ou proteções móveis, e sensores integrados ao circuito de emergência.



Figura 1 – Destaque da visão geral da máquina.

O painel do equipamento, destacado na Figura 2, é composto por um sistema analógico que apresenta limitações quanto à precisão e repetibilidade.



Figura 2 – Painel atual da máquina.

O processo de extrusão da máquina de manufatura alimentícia consiste na conformação da massa por meio da ação mecânica de um sistema extrusor, compreendido pela Figura 3, que impulsiona a massa através de um molde, destacada pela Figura 4, onde esse molde se localiza abaixo da extrusora, destacado na Figura 5, fazendo assim a substituição manual do molde quando desejado. Durante essa etapa, a velocidade do motor da extrusora influencia diretamente a vazão da massa.

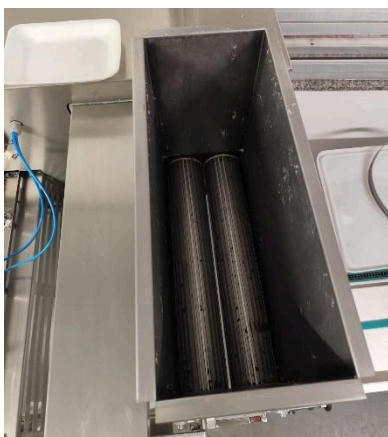


Figura 3 – Compartimento de extrusão da máquina.



Figura 4 – Molde de extrusão da máquina.

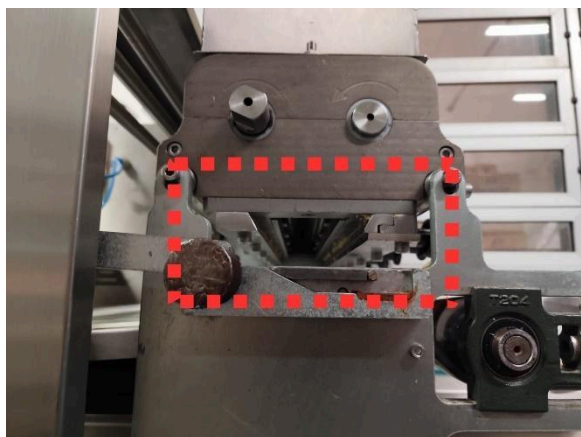


Figura 5 – Local de fixação do molde de extrusão na máquina.

Após a etapa de extrusão, a massa é direcionada ao sistema de corte a fio, vista na Figura 6, utilizado quando esse modo de operação é selecionado no painel. Esse mecanismo é composto por um dispositivo em formato de garfo, cuja extremidade possui um fio de aço inoxidável de pequeno diâmetro. Durante a operação, o conjunto realiza um movimento horizontal ao fluxo da massa extrudada, promovendo o seu seccionamento contínuo. A espessura das bolachas é determinada pela combinação entre a velocidade de extrusão da massa e a velocidade de deslocamento do fio de corte.



Figura 6 – Sistema de corte a fio.

Dependendo do modelo de bolacha a ser produzido, o sistema pode operar no modo de corte a facão (guilhotina). Nesse processo, destacado na Figura 7, a massa é extrusada através do molde e depositada sobre a esteira transportadora superior (esteira branca), que a conduz até o mecanismo de corte. O corte é realizado por uma guilhotina acionada por um cilindro pneumático, cujo movimento de descida e subida é controlado pelo painel a partir dos tempos configurados em um controlador de tempo. Esses parâmetros determinam o instante e a duração do acionamento da guilhotina, permitindo ajustar o comprimento das bolachas de acordo com as características do produto desejado.



Figura 7 – Modo de corte a facão (guilhotina).

Após a conclusão das etapas de extrusão e corte, as bolachas são transportadas automaticamente pelas esteiras até as bandejas de armazenamento. O sistema realiza o posicionamento dos produtos, promovendo o preenchimento das bandejas. Ao final dessa etapa, as bandejas encontram-se prontas para serem encaminhadas ao processo produtivo subsequente.

B) Equipamentos reutilizados no processo de Retrofit:

O Quadro 1 apresenta os equipamentos reutilizados no processo de Retrofit da máquina de manufatura alimentícia. A seleção desses componentes foi realizada com base em inspeções e testes funcionais, que confirmaram suas condições adequadas de operação, e o reaproveitamento desses dispositivos contribui para a redução dos custos de implantação.

Quadro 1 – Equipamentos reutilizados no processo do Retrofit.

Equipamento	Fabricante	Modelo	Unidades
Inversor de frequência	Delta Electronics Inc.	VFD007EL43 W-1	3
Motor elétrico de indução trifásico	1BR Redutores	T 632-4 B14	3
Válvula solenoide pneumática	Werk-Schott Pneumática	BMH024VCC	1
Fonte de alimentação chaveada	Proauto Electric	LI75-20B24R2 S	1
Relé de segurança	Digimec	DPX-257 T4	1

C) Descrição do projeto mecânico:

O desenvolvimento do projeto mecânico das proteções da máquina foi realizado utilizando o software de modelagem tridimensional Solid Edge, ferramenta amplamente empregada no desenvolvimento de projetos mecânicos industriais. Esse tipo de software permite a criação de modelos digitais detalhados, possibilitando a visualização das estruturas, verificação de interferências entre componentes e definição precisa das dimensões necessárias para a fabricação das proteções mecânicas [9].

Inicialmente, realizou-se o levantamento das dimensões da máquina e a identificação das zonas de risco, como partes móveis, eixos, polias, engrenagens e regiões de movimentação do mecanismo de extrusão e corte da massa. A partir dessa análise, definiram-se as áreas que necessitam de proteções físicas conforme os requisitos da NR-12, que estabelece que máquinas devem possuir proteções fixas ou móveis capazes de impedir o acesso do operador às zonas de perigo [3].

Com base nessas informações, foram desenvolvidos modelos tridimensionais das estruturas de proteção utilizando

o Solid Edge. Durante o processo de modelagem foram considerados fatores como distâncias de segurança, acessibilidade para manutenção, resistência estrutural das proteções e facilidade de instalação na máquina existente. Além disso, foram projetadas portas de acesso com sistemas de intertravamento para permitir manutenção segura, garantindo que a máquina não possa operar quando essas proteções estiverem abertas, conforme recomendações de segurança estabelecidas pelas normas de proteção de máquinas [5].

Após a modelagem das proteções, foram gerados desenhos técnicos contendo dimensões, materiais e especificações de fabricação das estruturas, permitindo a construção das grades e enclausuramentos necessários para a adequação da máquina às exigências de segurança. O uso de ferramentas de projeto assistido por computador (CAD) contribui significativamente para a redução de erros de projeto, melhoria da precisão dimensional e otimização do processo de desenvolvimento das soluções mecânicas.

Dessa forma, o projeto mecânico das proteções permite garantir a segurança operacional da máquina, restringindo o acesso às partes perigosas e atendendo aos requisitos da NR-12, ao mesmo tempo em que mantém a funcionalidade do equipamento e a facilidade de manutenção do sistema.

Assim, a Figura 8 apresenta a máquina de manufatura alimentícia com a identificação das principais partes móveis que oferecem riscos durante a operação.

Destacam-se o conjunto de extrusão (1), a esteira transportadora (2), as transmissões mecânicas (3) e, principalmente, o mecanismo de corte (4), composto pelo sistema de corte a fio e guilhotina acionado por pistão pneumático. As marcações evidenciam as zonas críticas onde há risco de aprisionamento, esmagamento, cisalhamento, corte e arraste, conforme os princípios da NR-12, reforçando a necessidade da aplicação de proteções adequadas para garantir a segurança do operador.

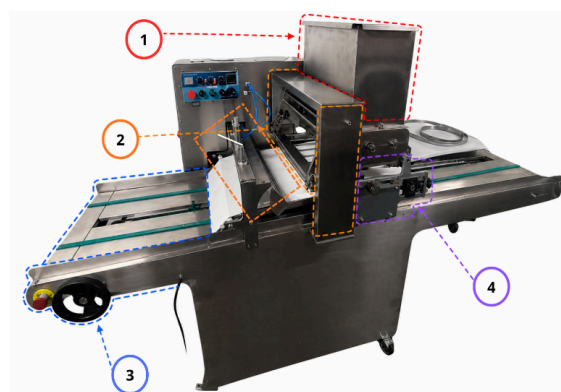


Figura 8 – Destaque das partes móveis que devem ser enclausuradas.

A seguir, o Quadro 2 apresenta a identificação das principais partes móveis da máquina de manufatura alimentícia, destacando os componentes envolvidos, sua representação na Figura 8 e os principais riscos associados à operação. Essa descrição auxilia na compreensão das áreas críticas do equipamento.

Quadro 2 – Descrição da Figura 8.

N ^o	Nome	Cor	Partes Envolvidas	Principais Perigos
1	Conjunto de Extrusão	Verme-lho	Eixo de extrusão	Aprisionamen-to, Esmagamento, Cisalhamento
2	Esteiras Transporta-doras	Azul	Correia transporta-dora, rolos de tração	Aprisionamen-to, Arraste, Esmagamento, Atrito contínuo
3	Transmis-sões	Roxo	Engrena-gens, polias, acoplamen-tos, eixos rotativos	Aprisionamen-to, Arraste, Choque mecânico, Projeção de partes
4	Mecanismo de Corte (corte a fio e guilhotina)	Laranja	Fio de corte, faca guilhotina, guias e suportes móveis	Corte, Cisalhamento, Esmagamento, Impacto mecânico, Aprisionamen-to

D) Projeto do sistema de controle da máquina:

No sistema desenvolvido para a máquina de manufatura alimentícia, os comandos operacionais são executados por meio da IHM, que permite ao operador configurar e ajustar os parâmetros de funcionamento do processo. Por meio dessa interface, é possível definir variáveis como velocidade de extrusão da massa, velocidade das esteiras e tempo de acionamento dos mecanismos de corte e condições gerais de operação da máquina. Esses parâmetros são enviados ao CLP, que executa a lógica de controle e aciona os dispositivos responsáveis pelo funcionamento do equipamento.

O sistema de controle adotado caracteriza-se como um sistema de controle em malha aberta, uma vez que as ações de controle são determinadas a partir de parâmetros previamente definidos visualmente pelas operadoras, sem a utilização de sensores para realimentação automática da qualidade do produto. Em sistemas de malha aberta o controlador executa as ações de controle sem verificar continuamente a variável de saída do processo [10].

Entretanto, no processo produtivo da máquina de manufatura alimentícia, a avaliação da qualidade do produto extrudado é realizada pelas operadoras durante a produção. Após a observação do formato, textura e uniformidade das bolachas obtidas na etapa de extrusão, eventuais ajustes podem ser realizados diretamente na IHM, alterando parâmetros como velocidade de extrusão ou tempo de corte. Dessa forma, embora o sistema seja caracterizado tecnicamente como de malha aberta, existe um processo de realimentação manual baseado na análise visual do produto, permitindo correções operacionais para manter a qualidade e padronização da produção [10].

Esse tipo de controle é comum em processos industriais de manufatura de alimentos, nos quais a experiência das

operadoras e a observação direta do produto desempenham papel importante na regulação do processo produtivo.

A Figura 9 apresenta o fluxograma do sistema de controle desenvolvido para a máquina de manufatura alimentícia dentro da implementação do *Retrofit*. O diagrama ilustra a sequência de funcionamento do sistema automatizado, incluindo a inicialização dos dispositivos de controle, a verificação das condições de segurança, o processamento dos comandos pelo CLP e a execução das etapas de extrusão e corte da massa. O fluxograma também demonstra a participação das operadoras na avaliação visual do produto e no ajuste dos parâmetros por meio da IHM, caracterizando um sistema de controle em malha aberta com intervenção humana.

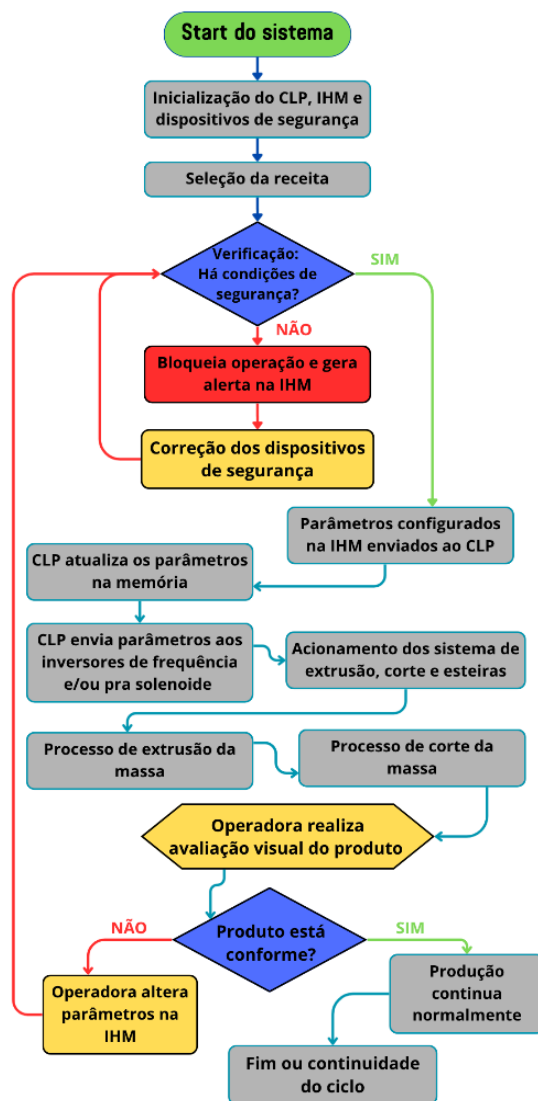


Figura 9 – Fluxograma do sistema de controle para máquina de manufatura alimentícia após a implementação do *Retrofit*.

A partir da lógica de funcionamento apresentada no fluxograma da Figura 9, define-se as variáveis utilizadas pelo CLP para monitoramento, processamento e controle do sistema automatizado. Essas variáveis representam os sinais de entrada provenientes dos dispositivos de campo, bem como os sinais de saída responsáveis pelo acionamento dos equipamentos envolvidos no processo produtivo.

As entradas do CLP são compostas pelos dispositivos de segurança, comandos operacionais e informações provenientes da IHM e dos inversores de frequência, permitindo ao controlador monitorar continuamente as condições de operação da máquina. As saídas, por sua vez, são responsáveis pelo acionamento dos inversores de frequência, controle do sistema pneumático de corte, sinalização de alarmes e liberação segura para funcionamento da máquina.

Os Quadros 3 e 4 apresentam, respectivamente, as variáveis de entrada e saída utilizadas no desenvolvimento da lógica *Ladder* implementada no CLP, constituindo a base para o funcionamento do sistema de controle desenvolvido no *Retrofit*.

Quadro 3 – Variáveis de entrada do CLP.

Variável de Entrada	Tipo	Função no processo
Botão de emergência geral	Digital	Realiza parada imediata da máquina
Fim de curso da proteção	Digital	Intertravamento de segurança NR-12
Comandos da IHM	Comunicação	Ajuste de parâmetros operacionais
Status dos inversores	Comunicação RS-485	Monitoramento operacional
Alarmes dos inversores	Comunicação RS-485	Identificação de falhas

Quadro 4 – Variáveis de saída do CLP.

Variável de Saída	Tipo	Função no processo
Acionamento do inversor da extrusora	Comunicação RS-485/Digital	Ajuste e Controle do motor da extrusão
Acionamento do inversor da esteira	Comunicação RS-485/Digital	Ajuste e Controle da esteira transportadora
Acionamento do inversor do corte	Comunicação RS-485/Digital	Ajuste e Controle do sistema de corte
Referência de velocidade dos inversores	Comunicação RS-485	Ajuste da velocidade dos motores
Acionamento da válvula solenoide	Digital 24Vcc	Controle do pistão pneumático
Sinalização de alarme	Digital	Indicação de falha operacional
Reset Relé de segurança	Digital	Permite operação segura da máquina

E) Equipamentos implantados: IHM, CLP, Módulo de Comunicação e Sensores fim de curso:

O *Retrofit* da máquina de manufatura alimentícia tem como objetivo modernizar os sistemas do equipamento. Para isso, a implementação de dispositivos de controle e supervisão, torna o sistema mais seguro, preciso e adequado [3]-[5]-[8].

Assim, a IHM utilizada, a Siemens KTP700 Basic HMI, apresentada na Figura 10, será responsável pela interação entre operador e máquina, permitindo a supervisão do processo e a configuração dos parâmetros operacionais. Por meio dessa interface, as operadoras poderão ajustar tempos de corte, velocidades de operação, receitas de produção e acompanhar alarmes e condições de funcionamento do sistema [8].

A implantação da IHM é essencial no *Retrofit*, pois substitui controles manuais e ajustes mecânicos convencionais, proporcionando maior padronização do processo, rapidez na configuração da máquina e redução de erros operacionais. Além disso, a centralização das informações facilita o monitoramento da produção e aumenta a eficiência operacional [5]-[8].

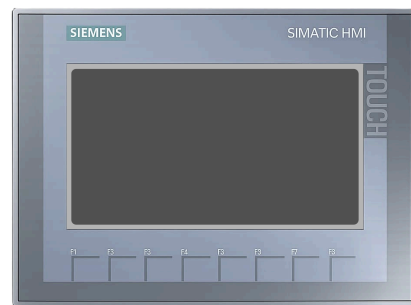


Figura 10 - Siemens KTP700 Basic HMI.

Outro equipamento implantado, é o CLP, destacado na Figura 11, que será o principal elemento de controle do sistema automatizado, responsável pelo processamento das entradas e saídas da máquina, execução da lógica de controle e gerenciamento das condições de segurança [11].

Esse equipamento realizará o acionamento dos inversores de frequência, leitura dos sensores de proteção, controle do sistema pneumático de corte e comunicação com a IHM. Sua implantação é indispensável para o *Retrofit*, pois permite automatizar funções que anteriormente dependiam de intervenção manual, aumentando a precisão, repetibilidade e segurança do processo produtivo [5]-[11].

Além disso, o CLP possibilita futuras expansões do sistema, integração com redes industriais e implementação de funções ligadas aos conceitos da Indústria 4.0 [5].



Figura 11 - CLP Siemens S7-1200 Cpu 1211c dc/dc/dc.

O módulo de comunicação, Siemens CB1241 RS485 communication module, destacada na Figura 12, será utilizado para estabelecer a comunicação RS485 entre o CLP e os inversores de frequência, utilizando o protocolo Modbus RTU [11].

A implantação desse módulo é fundamental para tornar o sistema mais integrado e eficiente, permitindo troca de informações em tempo real entre os dispositivos da automação. Através dessa comunicação, o CLP poderá enviar comandos de velocidade, partida e parada aos inversores, além de monitorar falhas e o estado operacional dos motores [11].

A utilização da comunicação industrial reduz a quantidade de cabeamento convencional, melhora a organização elétrica do painel e aumenta a confiabilidade do sistema [11].



Figura 12 - Módulo de Comunicação CB1241 RS-485.

Os sensores fim de curso implantados, Chave Fim Curso Alavanca Com Roldana Interruptor 1NA+1NF XCKN2118P20 Telemecanique, atuarão em conjunto com as proteções mecânicas da máquina, compondo o sistema de segurança conforme os requisitos da NR-12 [3]-[12].

Esses dispositivos serão instalados nas proteções móveis e pontos de acesso ao operador, monitorando constantemente as condições de segurança da máquina. Caso alguma proteção seja aberta ou removida durante o funcionamento, os sensores enviam sinais ao CLP e ao relé de segurança, interrompendo imediatamente a operação da máquina [3].

A implementação desses sensores é extremamente importante no *Retrofit*, pois:

- reduz o risco de acidentes;

- impede acesso às partes móveis durante a operação;
- garante intertravamento das proteções;
- aumenta a segurança operacional;
- adequa a máquina às exigências normativas.

Dessa forma, o sensor, apresentado na Figura 13, trabalha em conjunto com as proteções mecânicas para garantir a integridade física dos operadores e a confiabilidade do sistema automatizado [3]-[12].



Figura 13 - Chave Fim de Curso.

F) Projeto das telas da IHM da máquina:

Pensando no desenvolvimento das telas de operação pela IHM, as principais funções desenvolvidas para a interface do sistema de automação proposto para a máquina de manufatura alimentícia, funcionam da seguinte forma, e estão dispostas no capítulo Resultado, seção C.

Na tela de apresentação, é proposto o processo de inicialização do sistema, indicando o carregamento da interface e a comunicação com o CLP.

Já na segunda tela, será apresentado o menu de receitas, onde haverá os 5 modelos já existentes no processo atual, no qual o operador vai selecionar entre esses formatos de bolachas a serem extrudados e moldados pela máquina.

Nas seguintes telas, o sistema mostrará os parâmetros de configuração do processo, permitindo ao operador ajustar variáveis importantes da produção, como:

- velocidade de extrusão da massa
- velocidade das esteiras das bandejas
- velocidade ou tempo de corte das bolachas

Esses parâmetros serão ajustados diretamente na IHM, sendo posteriormente enviados ao CLP para controle dos inversores de frequência responsáveis pelo acionamento dos motores da extrusora, da esteira e do sistema de corte.

Dentro das telas de configuração do processo, a IHM mostrará também o CLP realizando a verificação das condições de segurança da máquina antes da operação. Caso algum dispositivo de segurança não esteja em conformidade, o sistema bloqueia o funcionamento e exibe um alerta visual na tela para as operadoras (**ATENÇÃO**). Somente após a correção da falha o sistema permite a continuidade do processo e a seleção da receita de produção.

Também serão apresentadas telas específicas para diferentes métodos de corte, como corte a fio ou corte a facão, permitindo adequar os parâmetros de operação de acordo com o tipo de produto fabricado.

O layout dos projetos das respectivas telas citadas acima, será apresentado no capítulo Resultados, na seção “C”, *Telas da IHM*.

G) Funcionamento inversor e motores:

No sistema de automação proposto para a máquina de manufatura alimentícia, os acionamentos de produção são realizados por meio da integração entre os 3 motores de indução trifásico e os 3 inversores de frequência. O motor de indução, amplamente utilizado na indústria devido à sua robustez e baixo custo de manutenção, opera com velocidade diretamente relacionada à frequência da rede elétrica. No entanto, quando alimentado por um inversor de frequência, essa velocidade pode ser controlada de forma contínua e precisa [13].

O inversor de frequência atua convertendo a energia elétrica de entrada em corrente contínua e, posteriormente, convertendo-a em corrente alternada com frequência e tensão variáveis. Dessa forma, é possível controlar a rotação do motor ajustando a frequência de saída do inversor, mantendo a relação tensão/frequência adequada para o funcionamento eficiente do equipamento [14].

No contexto do *Retrofit* desenvolvido, os inversores, que são reaproveitados do sistema antigo da máquina, assim como os motores, recebem comandos do CLP, que por sua vez é configurado a partir dos parâmetros definidos pelas operadoras na IHM. Assim, o controle da velocidade dos motores responsáveis pela extrusão da massa, transporte e corte das bolachas é realizado de maneira automatizada, permitindo ajustes finos no processo produtivo.

A utilização conjunta do inversor de frequência e do motor de indução proporciona maior controle operacional, redução de esforços mecânicos e melhor qualidade do produto final, além de contribuir para a eficiência energética do sistema. Assim, tornando-se fundamental em sistemas automatizados, especialmente em aplicações industriais que exigem precisão, repetibilidade e confiabilidade no processo produtivo.

H) Sistema pneumático:

No sistema de automação da máquina de manufatura alimentícia, um dos processos de corte do produto é realizado por meio de um atuador pneumático acoplado a um mecanismo de corte no formato de guilhotina (facão), representado pela Figura 14.

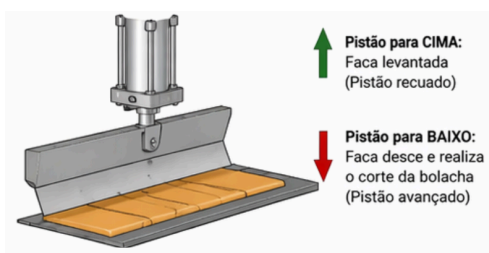


Figura 14 - Mecanismo de Corte a facão (Guilhotina)

Esse conjunto é responsável por determinar o comprimento final das bolachas extrudadas, garantindo a

padronização do produto conforme os parâmetros definidos pelas operadoras.

O acionamento do cilindro pneumático é realizado por uma válvula direcional solenoide do tipo 5/2 vias, responsável por controlar o fluxo de ar comprimido que promove o movimento de avanço e retorno do pistão, cuja representação gráfica pode ser visualizada na Figura 15.

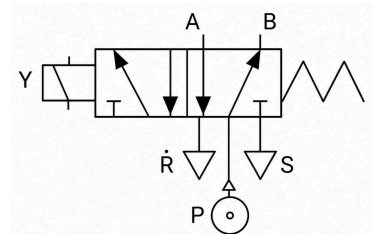


Figura 15 - Válvula solenoide direcional de 5/2 vias.

Quando energizada pelo CLP, a válvula direciona o ar para o cilindro, fazendo com que o pistão se movimente e acione o mecanismo de corte. Ao desenergizar a solenoide, a válvula retorna à posição inicial por ação de mola, completando o ciclo de operação.

O controle do corte é realizado por meio da IHM, onde as operadoras podem ajustar os tempos de atuação do cilindro pneumático. Nessa interface, são definidos dois parâmetros principais: o tempo em que o pistão permanece na posição superior (recuado) e o tempo em que o pistão permanece na posição inferior (avançado), correspondente ao momento de corte da massa. Esses tempos são enviados ao CLP, que executa a lógica de controle temporizada para acionar a válvula solenoide conforme os valores configurados.

Esse método de controle caracteriza um sistema em malha aberta, no qual o comprimento das bolachas é determinado diretamente pelo tempo de acionamento do mecanismo de corte, sem a utilização de sensores para medição direta do produto. Dessa forma, eventuais ajustes são realizados manualmente pelas operadoras com base na observação visual do produto extrudado, correções nos parâmetros diretamente na IHM.

IV. RESULTADOS

A partir do levantamento das condições de operação da máquina e definição dos requisitos técnicos do *Retrofit*, foram desenvolvidas soluções voltadas à modernização do sistema de controle, adequação dos dispositivos de segurança e melhora na operação do equipamento. Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos durante o desenvolvimento do projeto, incluindo a arquitetura de controle implementada no CLP e IHM, as lógicas de programação desenvolvidas em linguagem *Ladder*, o projeto das proteções mecânicas, as telas de supervisão e operação, o sistema eletropneumático de corte e a análise dos custos estimados para implantação da proposta. Esses resultados permitem avaliar a aplicabilidade técnica da solução desenvolvida e os benefícios esperados para o processo produtivo da máquina de manufatura alimentícia.

A) Diagrama elétrico:

A Figura 16 representa o esquema elétrico proposto para a automação da máquina de manufatura de bolachas, destacando a integração entre a IHM, do CLP, os dispositivos de segurança, os inversores de frequência, os motores e o sistema pneumático, conforme a arquitetura definida para o processo de Retrofit.

B) Sistema de controle:

A programação do sistema de controle foi desenvolvida utilizando o software TIA Portal, ambiente de engenharia da Siemens destinado à configuração, programação e integração dos dispositivos. A lógica foi implementada em linguagem *Ladder* (LAD), amplamente utilizada devido à sua facilidade de interpretação, manutenção e diagnóstico.

Inicialmente foi realizada a configuração da comunicação entre o CLP Siemens S7-1200 CPU 1211C e a IHM Siemens KTP700 Basic PN através da rede Profinet. Essa comunicação permitirá a troca de informações em tempo real entre os dispositivos, possibilitando que os parâmetros configurados pelo operador na IHM sejam enviados ao controlador para processamento da lógica de controle, evidenciado na Figura 17.

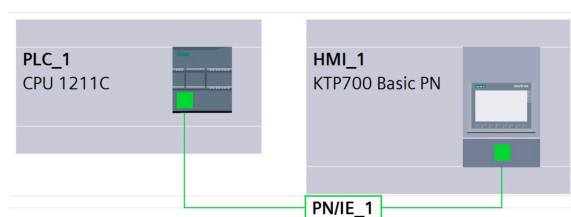


Figura 17 - Configuração da comunicação entre CLP e IHM.

Após, conforme representado pela Figura 18, foram criadas as variáveis utilizadas pela IHM para a operação da máquina. Essas variáveis são responsáveis pelo envio dos comandos de partida, parada, seleção do modo de corte, velocidades dos motores através dos inversores e os tempos de acionamento do sistema pneumático.

IHM		
	Name	Data type
1	Static	
2	LIGA_BLC1	Bool
3	PAUSE_BLC1	Bool
4	CORTE_FIO_BLC1	Bool
5	VELOC_EXT_BLC1	Int
6	VELOC_ESTEIRA_BLC1	Int
7	VELOC_CORTE_BLC1	Int
8	TEMPO_VS1_SUP_BLC1	Dint
9	TEMPO_VS1_INF_BLC1	Dint
10	LIGA_BLC2	Bool
11	PAUSE_BLC2	Bool
12	CORTE_FIO_BLC2	Bool
13	VELOC_EXT_BLC2	Int
14	VELOC_ESTEIRA_BLC2	Int
15	VELOC_CORTE_BLC2	Int
16	TEMPO_VS1_SUP_BLC2	Dint
17	TEMPO_VS1_INF_BLC2	Dint
18	LIGA_BLC3	Bool
19	PAUSE_BLC3	Bool
20	CORTE_FIO_BLC3	Bool
21	VELOC_EXT_BLC3	Int
22	VELOC_ESTEIRA_BLC3	Int
23	VELOC_CORTE_BLC3	Int
24	TEMPO_VS1_SUP_BLC3	Dint
25	TEMPO_VS1_INF_BLC3	Dint
26	LIGA_BLC4	Bool
27	PAUSE_BLC4	Bool
28	CORTE_FIO_BLC4	Bool
29	VELOC_EXT_BLC4	Int
30	VELOC_ESTEIRA_BLC4	Int
31	VELOC_CORTE_BLC4	Int
32	TEMPO_VS1_SUP_BLC4	Dint
33	TEMPO_VS1_INF_BLC4	Dint
34	LIGA_BLC5	Bool
35	PAUSE_BLC5	Bool
36	CORTE_FIO_BLC5	Bool
37	VELOC_EXT_BLC5	Int
38	VELOC_ESTEIRA_BLC5	Int
39	VELOC_CORTE_BLC5	Int
40	TEMPO_VS1_SUP_BLC5	Dint
41	TEMPO_VS1_INF_BLC5	Dint

Figura 18 - Estrutura das variáveis utilizadas na interface de operação.

Na sequência de programação, para implementar as receitas de produção, foram desenvolvidos blocos de função específicos para as diferentes receitas de produção. Cada bloco, com a mesma funcionalidade, armazena parâmetros de operação previamente configurados pelas operadoras através da IHM, para os diferentes modelos de bolachas, de acordo com a Figura 19.

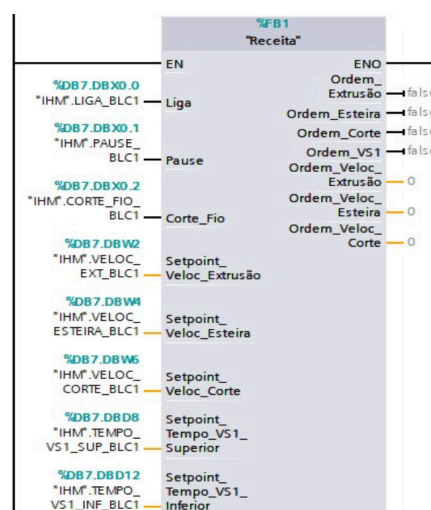


Figura 19 - Bloco de função desenvolvido para as receitas de produção.

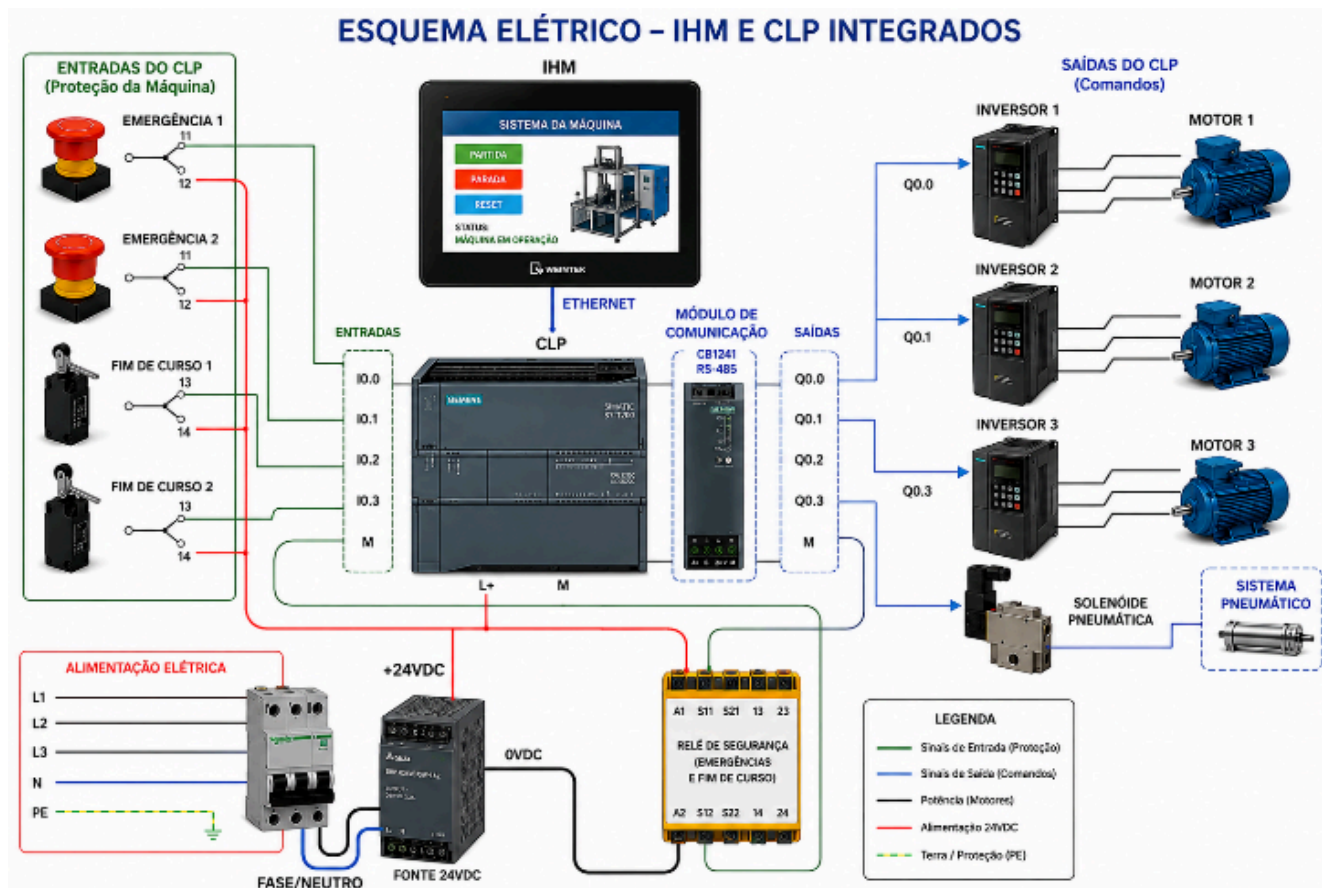


Figura 16 – Diagrama do esquema elétrico.

Na sequência, a Figura 20 apresenta os valores de velocidade que são configurados na IHM e inseridos pelo operador em uma escala de 0 a 100%. Entretanto, os inversores de frequência operam com referência em frequência, variando de 0 a 60 Hz.

Para realizar essa conversão, foram utilizados os blocos **NORM_X** e **SCALE_X** do TIA Portal. O bloco **NORM_X** converte o valor percentual para uma faixa normalizada entre 0 e 1, enquanto o bloco **SCALE_X** converte esse valor para a faixa de frequência utilizada pelos inversores.

Dessa forma, o operador realiza os ajustes de forma intuitiva na IHM, enquanto o CLP executa automaticamente a conversão necessária para os inversores de frequência da extrusora, esteira transportadora e sistema de corte.

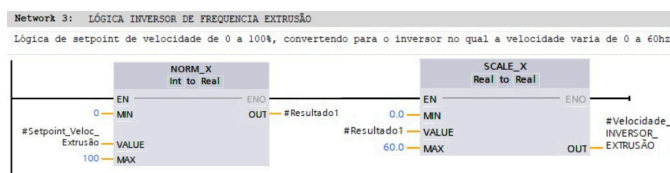


Figura 20 - Representação dos blocos com as lógicas de conversão para velocidades dos inversores.

Na sequência, as Figuras 21 e 22 apresentam as principais rotinas da programação **Ladder** responsáveis pelo controle dos motores e do sistema pneumático da máquina de manufatura alimentícia. Na Figura 21, os comandos Liga e Pause controlam o início e a interrupção da operação,

enquanto as variáveis **Ordem_Extrusão** e **Ordem_Esteira** habilitam o funcionamento dos motores da extrusora e da esteira. A lógica também verifica a seleção do modo de corte através da variável **Corte_Fio**, definindo se o processo utilizará o sistema de corte a fio (**Ordem_Corte**) ou o sistema pneumático acionado pela válvula solenóide (**Ordem_VS1**).

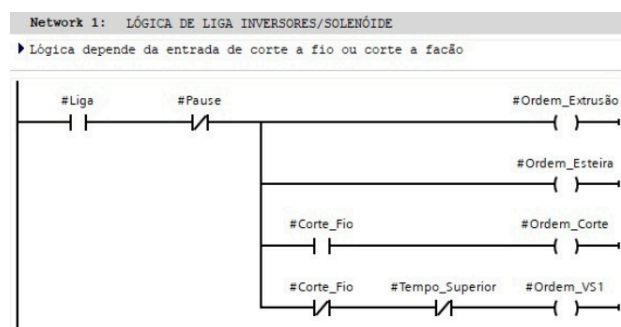


Figura 21 - Lógica **Ladder** para acionamento dos inversores de frequência e seleção do sistema de corte.

Na Figura 22 representa, os temporizadores do tipo **TON** utilizam os parâmetros **Setpoint_Tempo_VS1_Inferior** e **Setpoint_Tempo_VS1_Superior**, configurados na IHM, para controlar os tempos de avanço e retorno do cilindro pneumático. A variável **Tempo_Superior** é utilizada para gerenciar a sequência de funcionamento dos temporizadores, enquanto as instruções **Set (S)** e **Reset (R)** realizam o acionamento e desligamento das etapas da sequência pneumática. Dessa forma, o CLP controla automaticamente o

acionamento da válvula solenoide e sincroniza os movimentos do sistema de corte com as demais etapas do processo produtivo.

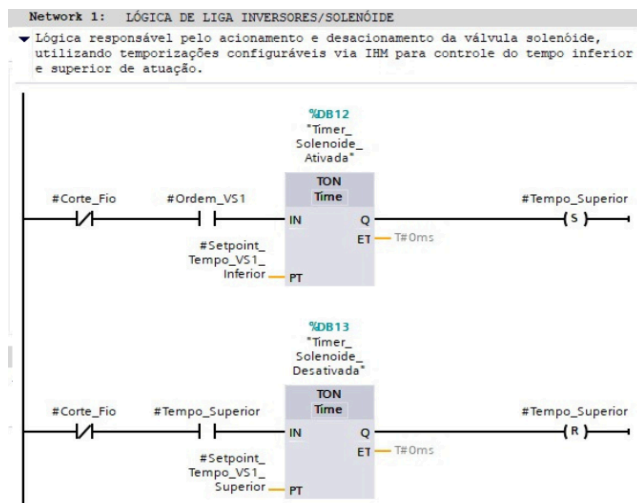


Figura 22 - Lógica Ladder para controle temporizado da válvula solenoide do sistema pneumático de corte.

A Figura 23 apresenta a lógica Ladder responsável pelo monitoramento do sistema de segurança da máquina. O comando **Contato_Relé_de_Segurança** representa o sinal proveniente do relé de segurança, responsável por supervisionar os dispositivos de proteção da NR-12, incluindo os botões de emergência e os sensores de fim de curso instalados nas proteções mecânicas.

Quando o **Contato_Relé_de_Segurança** identifica uma condição insegura, a variável **EMERGÊNCIA_ATUADA** é acionada através da instrução **Set (S)**, indicando ao CLP que houve uma atuação do sistema de segurança. Nessa condição, os comandos de operação da máquina são bloqueados, impedindo o funcionamento dos inversores de frequência e do sistema pneumático.

Após a correção da condição de segurança, o operador pode realizar o rearme do sistema através do comando **IHM.RESET_EMERGÊNCIA**, disponível na IHM. Quando o relé de segurança retorna ao estado normal e o comando de reset é acionado, a variável **EMERGÊNCIA_ATUADA** é desativada por meio da instrução **Reset (R)**, liberando novamente a operação da máquina.

Dessa forma, essa rotina garante que qualquer atuação dos dispositivos de segurança seja registrada e mantida pelo CLP até que um rearme consciente seja realizado pelo operador, atendendo aos princípios de segurança exigidos pela NR-12.



Figura 23 - Lógica de monitoramento do relé de segurança e das condições de emergência.

C) Projeto mecânico:

Para as proteções projetadas, foi selecionado o material policarbonato, material amplamente utilizado em sistemas de segurança industrial devido à sua elevada resistência mecânica, transparência e durabilidade. O policarbonato apresenta alta resistência ao impacto quando comparado ao vidro e a outros materiais transparentes, sendo amplamente aplicado em sistemas de proteção de máquinas e equipamentos industriais. Além de proporcionar maior segurança ao operador, o material permite a visualização do processo produtivo sem a necessidade de remoção das barreiras de proteção, contribuindo para melhores condições de operação, inspeção e monitoramento da máquina.

O uso do policarbonato permite o isolamento das partes móveis da máquina sem comprometer a visibilidade do processo produtivo, possibilitando que o operador acompanhe o funcionamento do equipamento de forma segura. As proteções têm como objetivo impedir o acesso às zonas de risco durante a operação, reduzindo riscos de aprisionamento, esmagamento, cisalhamento e contato com componentes móveis.

O projeto foi desenvolvido em ambiente CAD, apresentados nas Figuras 24 e 25, utilizando o software Solid Edge, permitindo a definição estrutural das proteções, análise dimensional e posicionamento dos pontos de fixação dos sensores de segurança (destacado em vermelho na imagem). Além disso, o sistema prevê a utilização de sensores de fim de curso integrados às proteções móveis, garantindo o bloqueio automático da máquina em caso de abertura ou remoção das barreiras de proteção, conforme os princípios estabelecidos pela NR-12.

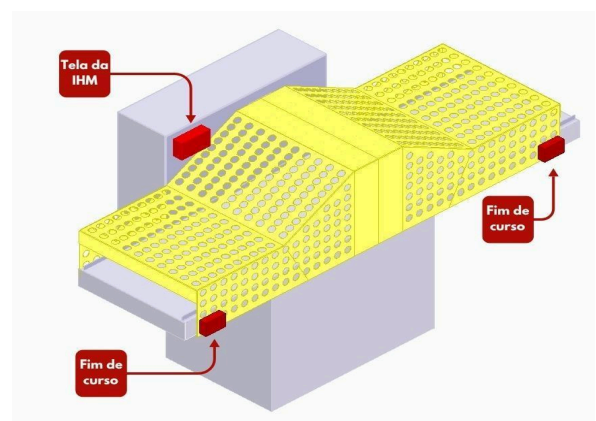


Figura 24 - Modelagem 3D das proteções e sensores na visão da máquina inteira.

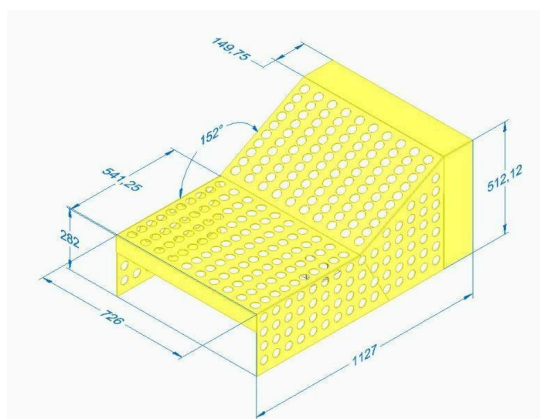


Figura 25 - Modelagem 3D das proteções NR-12

As proteções de segurança projetadas serão do tipo móvel, permitindo fácil acesso aos componentes da máquina durante as atividades de troca de moldes, regulagens e procedimentos de limpeza. Essa solução é adotada para preservar a praticidade das operações de manutenção e higienização, sem comprometer a segurança das operadoras.

Para a fabricação das proteções, priorizando a segurança e baixo custo de implantação, estima-se a utilização aproximada de 3 m² de policarbonato, considerando as coberturas do sistema de extrusão, mecanismo de corte e mais partes móveis. Levando em consideração o custo médio de R\$552,00 por metro quadrado, o investimento estimado no material será de aproximadamente R\$1.656,00. Além disso, o projeto apresenta vantagem econômica devido ao fato de que a instalação das proteções será realizada pelos próprios técnicos da empresa fabricante de bolachas, eliminando custos adicionais com mão de obra terceirizada e reduzindo o valor total da implementação do *Retrofit*.

Sobre as características e propriedades do policarbonato, material escolhido para fabricação das proteções, os dados apresentados a seguir no Quadro 5, demonstram que o material possui propriedades adequadas para aplicação em proteções industriais, destacando-se pela elevada resistência ao impacto, boa resistência mecânica e alta transparência. Essas características contribuem para a segurança operacional e estrutural da máquina, permitindo a proteção dos operadores sem comprometê-las. Assim, o material atende aos requisitos técnicos necessários para a adequação da máquina.

Quadro 5 - Características e propriedades Mecânicas do Policarbonato

Característica / Propriedade	Valor	Unidade
Resistência à tração	69	MPa
Módulo de elasticidade	2200	MPa
Resistência à flexão	97	MPa
Resistência ao impacto	Alta (não rompeu)	kJ/m ²

Dureza Shore D	82	Shore D
Temperatura de serviço contínua	120	°C
Temperatura de serviço curta	140	°C
Absorção de água	0,03	%
Transparência	Alta	-
Densidade	1,19	g/cm ³
Resistência mecânica	Elevada	-
Usinabilidade	Boa	-
Durabilidade	Elevada	-
Resistência ao impacto	Muito alta	-

Fonte: Elaborado pelo autor com base em [15]

D) Telas da IHM:

A seguir são apresentadas as principais telas, destacadas pelas Figuras 26 a 31, que foram desenvolvidas no TIA Portal, para funcionalidade da IHM, dentro do sistema de automação proposto para a máquina de manufatura alimentícia:

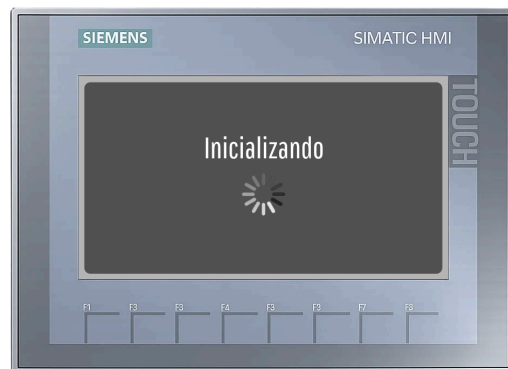


Figura 26 - Tela de inicialização do sistema.



Figura 27 - Tela de seleção de receitas de produção.



Figura 28 - Tela de configuração do processo de corte a fio.

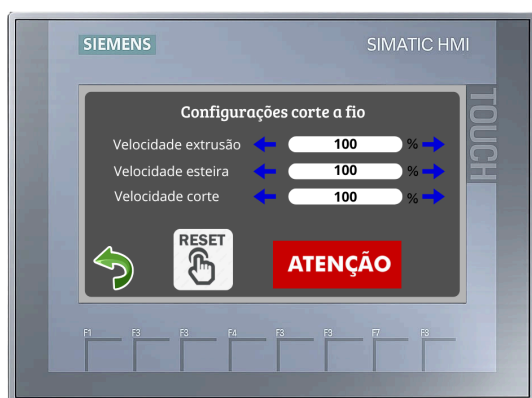


Figura 29 - Tela de alerta do sistema no modo corte a fio.



Figura 30 - Tela de configuração do processo de corte a facão.

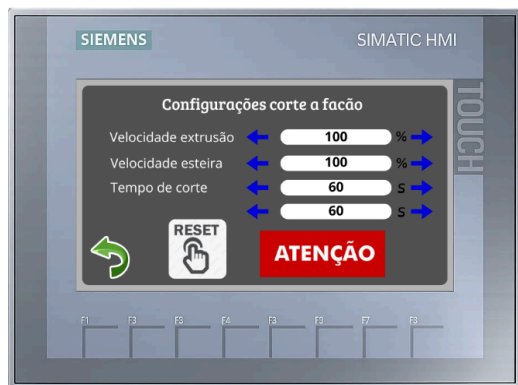


Figura 31 - Tela de alerta no modo corte a facão.

E) Projetos do circuito eletropneumático:

O circuito eletropneumático e de comando apresentado pela Figura 32, representa o acionamento projetado do sistema de corte da máquina após o *Retrofit*. O CLP receberá os comandos e parâmetros configurados na IHM, como o tempo em que o pistão pneumático deverá permanecer avançado e o tempo de retorno ou espera entre os ciclos de corte. Com base nesses valores, a lógica *Ladder* determinará o momento exato e o tempo de acionamento da saída digital responsável por energizar a solenoide A1 da válvula 5/2 vias. Dessa forma, a válvula direciona o ar comprimido para o cilindro pneumático de dupla ação, movimentando o pistão responsável pelo acionamento do mecanismo de corte (guilhotina). Após o tempo definido na IHM, o CLP desenergiza a solenoide, permitindo o retorno da válvula por ação da mola e o reposicionamento do pistão para o próximo ciclo de corte.

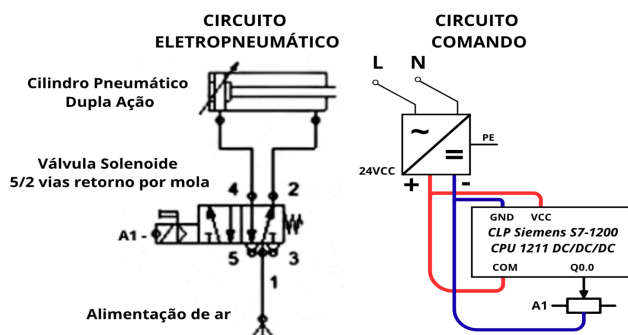


Figura 32 - Circuito eletropneumático e comando da válvula.

F) Custo estimado do Retrofit:

Para a implementação do *Retrofit* da máquina de manufatura alimentícia, foi realizado um levantamento para avaliar a viabilidade econômica dos principais componentes necessários para a modernização do sistema de controle e adequação aos requisitos de segurança. Os custos apresentados contemplam os equipamentos de automação, dispositivos de segurança, materiais para fabricação das proteções mecânicas, componentes auxiliares para montagem do painel elétrico, além das horas destinadas às atividades de instalação, testes e treinamento operacional. O Quadro 6 apresenta essa estimativa dos custos envolvidos na implantação do *Retrofit*.

Quadro 6 – Custos estimados de implantação do *Retrofit*.

Item	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
IHM Siemens KTP700	1	4.278,00	4.278,00
CLP Siemens S7-1200 CPU 1211C	1	2.173,50	2.173,50
Módulo CB1241 RS485	1	805,00	805,00
Proteções em policarbonato (3m²)	3	552,00	1.656,00

Sensor fim de curso XCKN2118P20	2	207,00	414,00
Cabos, conectores e materiais elétricos			575,00
Componentes auxiliares de painel			690,00
Valor total estimado do <i>Retrofit</i>			10.591,50

VI. CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste trabalho permitiu compreender e aplicar os princípios conceitos de *Retrofit* industrial dentro da modernização de máquinas, no caso específico a de manufatura bolachas. A proposta visa transformar um sistema originalmente manual, analógico e com recursos limitados em segurança, em um processo automatizado, digital e seguro, capaz de atender às exigências técnicas, produtivas e normativas da indústria moderna.

Após o estudo técnico realizado, constatou-se que a aplicação do *Retrofit* irá proporcionar benefícios expressivos, como a padronização do produto final, redução de desperdícios de matéria-prima, aumento da precisão e além da diminuição do tempo de *setup* entre diferentes receitas produzidas. Essas melhorias resultarão em maior eficiência operacional e de produtividade, fatores esses que são essenciais para a competitividade, neste caso o do setor alimentício.

A implementação de tecnologias de automação industrial, como o CLP e a IHM, mostra-se fundamental para a evolução desse processo produtivo. Esses dispositivos implementados, irão permitir o monitoramento contínuo das variáveis do sistema e segurança, e o ajuste dinâmico das configurações e a sincronização precisa entre a extrusora e os sistemas de corte, garantindo mais controle e muito mais confiabilidade no processo.

No aspecto de segurança, o *Retrofit* atenderá plenamente às diretrizes da NR-12, com a inclusão de dispositivos de parada de emergência, as proteções fixas e móveis, os sensores em conjunto com os relés de segurança. Essas adequações vão assegurar um ambiente de operação seguro, reduzindo os riscos de acidentes e promovendo melhores condições ergonômicas às operadoras.

Além dos ganhos imediatos em produtividade e segurança, o projeto se posiciona dentro dos conceitos da Indústria 4.0, ao incorporar comunicação digital, controle inteligente e possibilidade de integração futura com sistemas supervisórios e redes industriais. Essa preparação para a conectividade e análise de dados em tempo real reforça o potencial de evolução contínua da linha de produção.

Conclui-se, portanto, que o *Retrofit* da máquina de manufatura alimentícia representa uma solução viável, eficiente e sustentável, capaz de prolongar a vida útil do equipamento, otimizar o processo produtivo e garantir conformidade com as normas de segurança. O projeto demonstra que a integração entre engenharia, automação e segurança é o caminho ideal para a modernização e

competitividade da indústria alimentícia brasileira, reforçando a importância da inovação tecnológica na busca por processos mais produtivos, precisos e seguros.

REFERÊNCIAS

- [1] SCHWAB, Klaus. A Quarta Revolução Industrial. São Paulo: Edipro, 2016.
- [2] KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0: Final Report of the Industrie 4.0 Working Group. München: Acatech – National Academy of Science and Engineering, 2013. Disponível em: https://en.acatech.de/wp-content/uploads/sites/6/2018/03/Final_report_Industrie_4.0_accessible.pdf
- [3] BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora NR-12 — Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. Brasília: MTE, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-12-atualizada-2022-1.pdf>
- [4] CHAVES, Laís E. O uso de CLP e IHM na automação industrial. Engenharia Híbrida, 2023. Disponível em: <https://www.engenhariahibrida.com.br/post/uso-de-clp-ihm-na-automacao-industrial>
- [5] GROOVER, Mikell P. Automação Industrial e Sistemas de Manufatura. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.
- [6] CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). Desafios para Indústria 4.0 no Brasil. Brasília: CNI, 2016. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/d6/cb/d6cbfbba-4d7e-43a0-9784-86365061a366/desafios_para_industria_4.0_no_brasil.pdf
- [7] GARCIA JUNIOR, Eraldo. Introdução a sistemas de supervisão, controle e aquisição de dados: SCADA. 1. ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2019.
- [8] BOLTON, W. Engenharia de Controle. São Paulo: Makron Books, 1995.
- [9] SHIH, Randy H. Parametric Modeling with Solid Edge. SDC Publications, 2018.
- [10] OGATA, Katsuhiko. Engenharia de Controle Moderno. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2010.
- [11] SIEMENS. SIMATIC S7-1200 Easy Book. Siemens AG. Disponível em: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/465/36932465/att_106119/v1/s71200_system_manual_en-US_en-US.pdf?utm_source
- [12] SCHNEIDER ELECTRIC / TELEMECANIQUE SENSORS. Catálogo técnico XCKN2118P20. Disponível em: https://telemecaniquesensors.com/global/en/product/reference/XCKN2118P20?utm_source
- [13] FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, C.; UMANS, S. D. Máquinas Elétricas. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- [14] FRANCHI, Claiton Moro. Acionamentos elétricos. São Paulo: Érica, 2007.

[15] ENSINGER INDÚSTRIA PLÁSTICOS TÉCNICOS LTDA. *TECANAT natural – Semiacabados: ficha técnica do policarbonato (PC)*. São Leopoldo, RS, 2023. Disponível em: https://www.ensinger-online.com/modules/public/sheet/create_sheet.php?SID=1346&FL=13&FILENAME=TECANAT_natural_13.PDF&ZOOM=1.2

DADOS BIOGRÁFICOS

Vinicius Gustavo de Bairros da Silva, nascido em 20/10/1993 em Panambi-RS, é técnico em manutenção na empresa Agropecuária Cooperativa Cotripal (2019) e estudante do curso tecnólogo em Automação Industrial do IFFAR – Campus Panambi (2023). Dentro dos estudos na área tecnológica possui interesse em áreas como: elétrica e acionamentos, eletrônica, mecânica, automação e desenvolvimento de projetos.