

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
MINAS GERAIS - *CAMPUS* BETIM-MG
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Paulo Pereira Hubner

**AUTOMATIZAÇÃO DE SISTEMA CLASSIFICADOR DE PEÇAS
METÁLICAS E NÃO-METÁLICAS UTILIZANDO CLP E TIA PORTAL**

Betim
2026

PAULO PEREIRA HUBNER

**AUTOMATIZAÇÃO DE SISTEMA CLASSIFICADOR DE PEÇAS
METÁLICAS E NÃO-METÁLICAS UTILIZANDO CLP E TIA PORTAL**

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

Orientador: Prof. Dr. Arthur Hermano Rezende Rosa

Betim
2026

FICHA CATALOGRÁFICA

H879a Hubner, Paulo Pereira

Automatização de sistema classificador de peças metálicas e não-metálicas utilizando CLP e Tia Portal / Paulo Pereira Hubner. – 2026.

35 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Câmpus Betim, 2026.

Orientação: Prof. Dr. Arthur Hermano Rezende Rosa

1. Controladores programáveis. 2. CLP. 3. Classificador de peças. 4. Manufatura industrial. 5. Engenharia de Controle e Automação. I. Hubner, Paulo Pereira. II. Título.

CDU: 681.5



ATA DE DEFESA DE RELATÓRIO DE PROJETO

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Relatório de Projeto intitulada **AUTOMATIZAÇÃO DE SISTEMA CLASSIFICADOR DE PEÇAS METÁLICAS E NÃO-METÁLICAS UTILIZANDO CLP E TIA PORTAL** apresentada pelo aluno **Paulo Pereira Hubner (0063542)** do Curso **Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação (Campus Betim)**. Os trabalhos foram iniciados às **18:00** do dia **02/02/2026** pelo Professor presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Arthur Hermano Rezende Rosa** (Orientador)
- **Deliene Costa Guimaraes Barros** (Examinadora Interna)
- **Virgil del Duca Almeida** (Examinador Interno)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo do Relatório de Projeto, passou à arguição do candidato. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

Aprovado

Reprovado

Nota (quando exigido): _____

Observação / Apreciações:

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **Arthur Hermano Rezende Rosa** lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Documento assinado digitalmente
gov.br VIRGIL DEL DUCA ALMEIDA
Data: 03/02/2026 20:33:21-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Virgil del Duca Almeida

BETIM / MG, 02/02/2026
Documento assinado digitalmente
gov.br ARTHUR HERMANO REZENDE ROSA
Data: 03/02/2026 06:24:40-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Arthur Hermano Rezende Rosa

Deliene Costa Guimaraes Barros

Documento assinado digitalmente
gov.br DELIENE COSTA GUIMARAES BARROS
Data: 03/02/2026 09:12:16-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dedico este trabalho minha vó Maria José aos meus familiares, que foram a base fundamental de apoio e incentivo durante toda a minha jornada, e a todos que acreditam que a engenharia pode transformar realidades através do conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pela força e saúde concedidas para superar todos os desafios deste percurso. Ao meu orientador, Prof. Dr. Arthur Hermano Rezende Rosa, pela paciência, dedicação e pelas orientações técnicas fundamentais que tornaram a execução deste projeto possível. Aos membros da banca examinadora, Profa. Deliene Costa Guimarães Barros e Prof. Virgil del Duca Almeida, pelas contribuições e valiosas observações que enriquecem este trabalho. Ao Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) – Campus Betim, pela infraestrutura e aos professores do curso de Engenharia de Controle e Automação, pelos ensinamentos compartilhados ao longo destes anos. Aos meus colegas de turma, pelo apoio mútuo e pelas experiências vividas, e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste TCC voltado à democratização do ensino tecnológico através de soluções de baixo custo. E principalmente a minha família que sempre esteve comigo nos momentos mais difíceis me suportando e ajudando em cada momento.

A engenharia não é apenas sobre máquinas e circuitos, mas sobre usar a criatividade para transpor barreiras e construir soluções acessíveis para o mundo real.

RESUMO

A automação industrial busca constantemente otimizar processos de manufatura, reduzindo erros humanos e aumentando a eficiência produtiva. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de sistema classificador de peças, capaz de diferenciar materiais metálicos de não metálicos. O diferencial deste projeto reside na utilização de materiais de baixo custo e na adaptação de componentes eletrônicos comerciais para integração com equipamentos industriais robustos, como o Controlador Lógico Programável (CLP) Siemens S7-1200. A lógica de controle utiliza uma abordagem híbrida no ambiente TIA Portal, combinando linguagem Ladder (LAD) para acionamentos sequenciais e Diagrama de Blocos de Função (FBD) para organização modular. Os resultados validam a eficácia das adaptações eletromecânicas realizadas e demonstram a viabilidade de aplicar conceitos complexos de automação em bancadas didáticas acessíveis.

Palavras-chave: Automação Industrial. TIA Portal. CLP. Classificador de Peças. Baixo Custo. Educação em Engenharia.

ABSTRACT

Industrial automation constantly seeks to optimize manufacturing processes, reducing human errors and increasing productive efficiency. This work presents the development of a part sorting system prototype, capable of differentiating metallic from non-metallic materials. The differential of this project lies in the use of low-cost materials and the adaptation of commercial electronic components for integration with robust industrial equipment, such as the Siemens S7-1200 Programmable Logic Controller (PLC). The control logic uses a hybrid approach in the TIA Portal environment, combining Ladder Diagram (LAD) for sequential actuations and Function Block Diagram (FBD) for modular organization. The results validate the effectiveness of the electromechanical adaptations performed and demonstrate the feasibility of applying complex automation concepts in accessible educational workbenches.

Keywords: Industrial Automation. TIA Portal. PLC. Part Sorter. Low Cost. Engineering Education.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Imagens Software SIMMAQ 3D, Planta Classificador de Peças	11
Figura 2 – Imagens Software SIMMAQ 3D, Planta Classificador de Peças	11
Figura 3 – Imagens Software SIMMAQ 3D, Planta Classificador de Peças	12
Figura 4 – Diagrama do principal Relé utilizado para interfaceamento.	17
Figura 5 – datasheet Fim de Curso.	18
Figura 6 – Esquema elétrico de acionamento com inversão por relé e proteção por fim de curso.	18
Figura 7 – Esquema elétrico que habilita a linha de 5Vcc.	19
Figura 8 – Diagramas dos comandos vindos do PLC.	19
Figura 9 – Adaptação elétrica do motor: soldagem direta nos terminais.	20
Figura 10 – Adaptação mecânica: remoção da trava da engrenagem para rotação contínua.	21
Figura 11 – Braço original à esquerda e braço após adaptações à direita.	21
Figura 12 – Montagem da bancada com esteira e braço integrados.	22
Figura 13 – Montagem da bancada com esteira e braço integrados.	22
Figura 14 – Lógica Ladder de controle de partida direta da esteira com retenção.	24
Figura 15 – Vista Lateral do PROTOBOARD.	26
Figura 16 – Vista superior do PROTOBOARD.	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quadro comparativo entre trabalhos correlatos e o sistema proposto. . .	13
Tabela 2 – Lista de Materiais e Componentes Utilizados.	16
Tabela 3 – Lista de Entradas e Saídas (I/O List).	16

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	Contextualização e Problematização	7
1.2	Objetivos	8
1.2.1	Objetivo Geral	8
1.2.2	Objetivos Específicos	8
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
2.1	Controladores Lógicos Programáveis (CLP)	9
2.2	Sensores Industriais de Proximidade	9
2.2.1	Sensores Indutivos	9
2.2.2	Sensores Óticos e Capacitivos	9
2.3	Softwares de Simulação e a Lacuna Prática	10
2.4	Ambiente TIA Portal e Norma IEC 61131-3	12
2.5	Trabalhos Correlatos	13
2.6	Trabalhos Correlatos e Análise Comparativa	13
3	MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1	Descrição da Planta Didática	15
3.2	Lista de Materiais	15
3.3	Arquitetura de Hardware e Interligação	16
3.3.1	Adaptação Elétrica e Interface de Potência	16
3.3.2	Modificação Mecânica e Elétrica dos Motores	20
3.4	Estratégia de Controle no TIA Portal	22
3.4.1	Lógica Ladder (LAD)	22
3.4.2	Blocos Funcionais (FBD) e Temporização	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.0.1	Implementação da Lógica	24
4.0.2	Resposta do Sistema de Classificação	24
4.0.3	Análise das Adaptações <i>Low Cost</i>	25
4.0.4	Desafios de Implementação e Melhorias Futuras	25
5	CONCLUSÃO	27
5.1	Trabalhos Futuros	27
	REFERÊNCIAS	28

APÊNDICE A – LÓGICA DO BRAÇO ROBÓTICO E MODO AUTOMÁTICO (PSEUDO-CÓDIGO)	29
--	-----------

1 INTRODUÇÃO

No contexto da Indústria 4.0, a eficiência nas linhas de produção depende diretamente da capacidade dos sistemas de automação em identificar, rastrear e separar produtos com alta velocidade e precisão. Processos de manufatura e reciclagem frequentemente exigem a separação de materiais com base em suas propriedades físicas, como a condutividade elétrica.

A classificação manual de peças, além de ser ergonomicamente inadequada e propensa a falhas humanas, representa um gargalo produtivo. Dessa forma, a implementação de sistemas automáticos de triagem utilizando Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) tornou-se um padrão na engenharia moderna.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de uma bancada didática para classificação de peças em uma esteira transportadora, capaz de distinguir entre itens metálicos e não-metálicos. O sistema utiliza sensores industriais indutivos e capacitivos, acionamento pneumático ou eletromecânico para a separação e controle centralizado em um CLP Siemens S7-1200, programado através do ambiente TIA Portal.

A proposta central gira em torno da criação de um kit rápido, barato e com componentes comuns de mercado (conhecido como COTS - *Commercial Off-The-Shelf*), que possa ser replicado em instituições de ensino. A ideia é produzir soluções que envolvam impressão 3D, corte a laser e adaptação de eletrônica de consumo para padrões industriais.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMATIZAÇÃO

O ensino de automação industrial requer a fusão entre teoria lógica e prática física. Muitas vezes, os alunos aprendem lógica Ladder apenas em simuladores, sem lidar com os desafios reais de sensoriamento, cabeamento e interface com atuadores. Equipamentos didáticos profissionais costumam ter custos proibitivos, o que limita o acesso dos estudantes a uma quantidade suficiente de bancadas para testes individuais.

O problema abordado neste projeto é duplo: primeiro, a necessidade técnica de criar um algoritmo robusto que integre diferentes linguagens de programação (Ladder e Diagrama de Blocos Funcionais - FBD) para gerenciar um processo sequencial com restrições temporais; segundo, o desafio de engenharia de adaptar componentes de baixo custo (motores de 5V, servos de modelismo) para operarem sob o comando de um CLP industrial de 24V, criando uma ponte acessível entre a teoria acadêmica e a prática de chão de fábrica.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver e validar a lógica de automação para um sistema classificador de peças, utilizando o ambiente TIA Portal e um CLP industrial, garantindo a correta separação entre materiais metálicos e não-metálicos. Além disso, implementar um protótipo físico de baixo custo que possa ser integrado com a aplicação para teste e melhor visualização do código implementado.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Projetar a lógica de controle sequencial utilizando a linguagem Ladder (LAD) para o acionamento da esteira e dos atuadores.
- Implementar Blocos Funcionais (FB/FC) para a estruturação organizada do código e tratamento de sinais dos sensores.
- Desenvolver circuitos de interface para conversão de níveis de tensão (24Vcc industrial ↔ 5Vcc kit didático) utilizando relés.
- Realizar adaptações mecânicas em motores de passo e servomotores para permitir controle simplificado via saídas digitais do CLP.
- Integrar sensores indutivos (detecção de metal) e óticos/capacitivos (presença de peça) ao sistema.
- Realizar a simulação e validação do sistema utilizando o PLCSIM e a bancada física.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A base para o desenvolvimento deste projeto envolve conhecimentos sólidos sobre controladores industriais, teoria de sensoriamento e ambientes de desenvolvimento integrados.

2.1 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS (CLP)

O CLP é o cérebro da automação industrial moderna. Segundo a norma IEC 61131-3, os CLPs podem ser programados em diversas linguagens, sendo o Ladder Diagram (LD) e o Function Block Diagram (FBD) as mais utilizadas para lógica discreta. A linha S7-1200 da Siemens, utilizada neste trabalho, oferece uma arquitetura modular ideal para aplicações de pequeno e médio porte, permitindo expansão de módulos de I/O e comunicação em rede PROFINET.

A escolha do CLP justifica-se pela sua robustez em ambiente industrial, imunidade a ruídos elétricos e capacidade de processamento em tempo real, características essenciais para a sincronização da esteira com o sistema de expulsão de peças.

2.2 SENSORES INDUSTRIAIS DE PROXIMIDADE

Para a distinção dos materiais, o sistema utiliza uma combinação de sensores que exploram diferentes princípios físicos.

2.2.1 Sensores Indutivos

O sensor indutivo opera através da variação de um campo eletromagnético de alta frequência gerado por uma bobina osciladora em sua face sensora. Quando um objeto metálico entra neste campo, correntes de Foucault (correntes parasitas) são induzidas na superfície do material. Essas correntes dissipam energia, amortecendo a amplitude de oscilação do sensor. Um circuito interno detecta essa variação e comuta a saída.

Este sensor é crucial para o projeto, pois é responsável por detectar exclusivamente as peças metálicas, ignorando plásticos, madeira ou outros materiais.

2.2.2 Sensores Óticos e Capacitivos

Para detectar a presença de qualquer peça na esteira, independentemente do material, utilizam-se sensores óticos (barreira ou difusos) ou capacitivos. O sensor ótico, por exemplo, baseia-se na interrupção ou reflexão de um feixe de luz. No contexto deste trabalho, ele

serve como gatilho (*trigger*) para iniciar o temporizador de rastreamento da peça ao longo da esteira.

2.3 SOFTWARES DE SIMULAÇÃO E A LACUNA PRÁTICA

Atualmente, dentro do ambiente industrial, com o crescente tamanho e complexidade dos projetos de automação, a utilização de softwares para simulação de plantas e comissionamento virtual tornou-se uma prática indispensável. Ferramentas de simulação permitem a predição de comportamentos, o dimensionamento correto de equipamentos e a antecipação de falhas antes mesmo da implementação física, resultando em uma significativa redução de custos e riscos operacionais.

No contexto acadêmico, especificamente no curso de Engenharia de Controle e Automação do IFMG Campus Betim, utiliza-se ferramentas como o software *SimMac 3D* para o ensino de lógica de programação. Este software oferece ambientes virtuais que replicam cenários industriais, como uma planta de seleção de peças equipada com atuadores pneumáticos, ventosas e sistemas de movimentação em três eixos (X, Y, Z). A utilização deste recurso permite que o aluno desenvolva e teste lógicas de controle complexas em um ambiente seguro, sem o risco de danificar equipamentos reais.

Entretanto, apesar das inegáveis vantagens da simulação, softwares tendem a criar uma desconexão com os desafios do mundo real. No ambiente virtual, a interconexão entre sistemas é idealizada: não existem problemas de cabeamento, ruído elétrico, falhas de contato ou a necessidade de interpretar diagramas elétricos para a ligação física de motores e periféricos. Essa abstração, muitas vezes, limita o aprendizado do aluno, que pode se tornar proficiente em software, mas inseguro diante de uma montagem física.

Foi a partir desta constatação — observada nas aulas de Laboratório de Automação — que surgiu a inspiração para este trabalho. O protótipo aqui desenvolvido busca preencher essa lacuna, oferecendo uma bancada física que mimetiza a funcionalidade da planta virtual (seleção de peças), mas que obriga o estudante a lidar com a realidade da montagem: a ligação de *drivers*, a adaptação de níveis de tensão e o acionamento real de motores. Enquanto o software utiliza atuadores pneumáticos virtuais, este projeto adapta a mecânica para o uso de motores elétricos e servomotores de baixo custo, mantendo a lógica de controle similar, mas trazendo a experiência tátil e prática necessária para a formação completa do engenheiro.

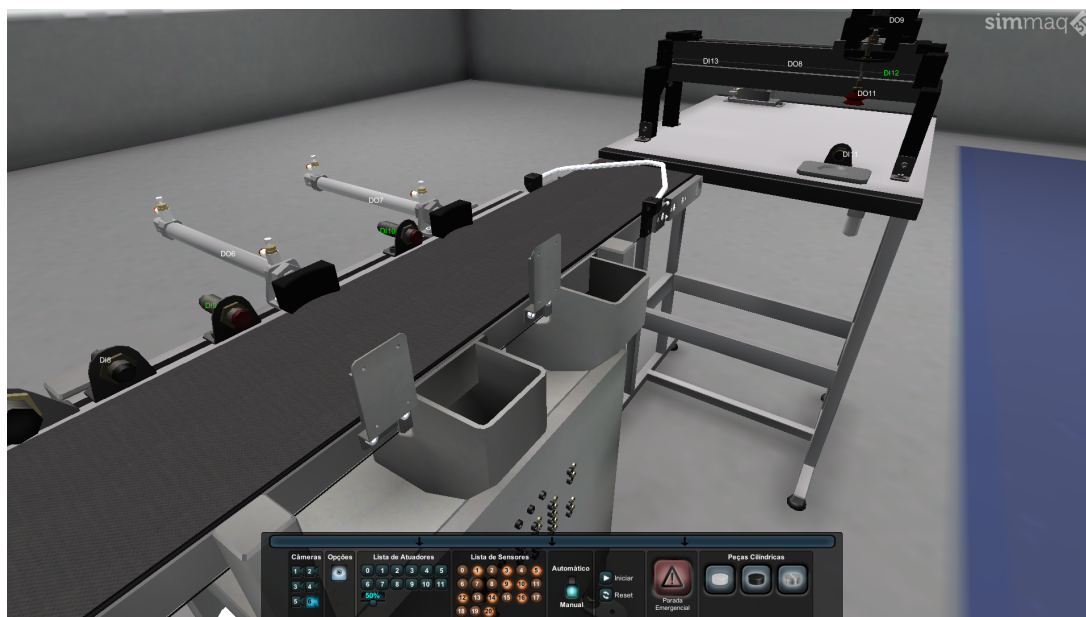


Figura 1 – Imagens Software SIMMAQ 3D, Planta Classificador de Peças

Fonte: <https://oniria.com.br/simulador-didatico-simmaq-3d-autom/>

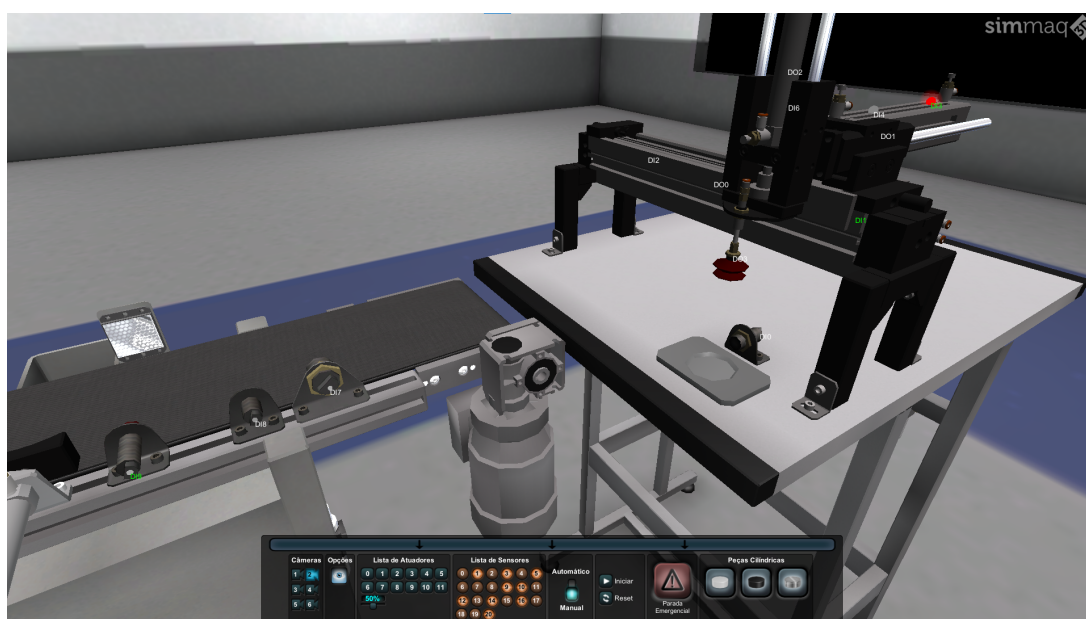


Figura 2 – Imagens Software SIMMAQ 3D, Planta Classificador de Peças

Fonte: <https://oniria.com.br/simulador-didatico-simmaq-3d-autom/>

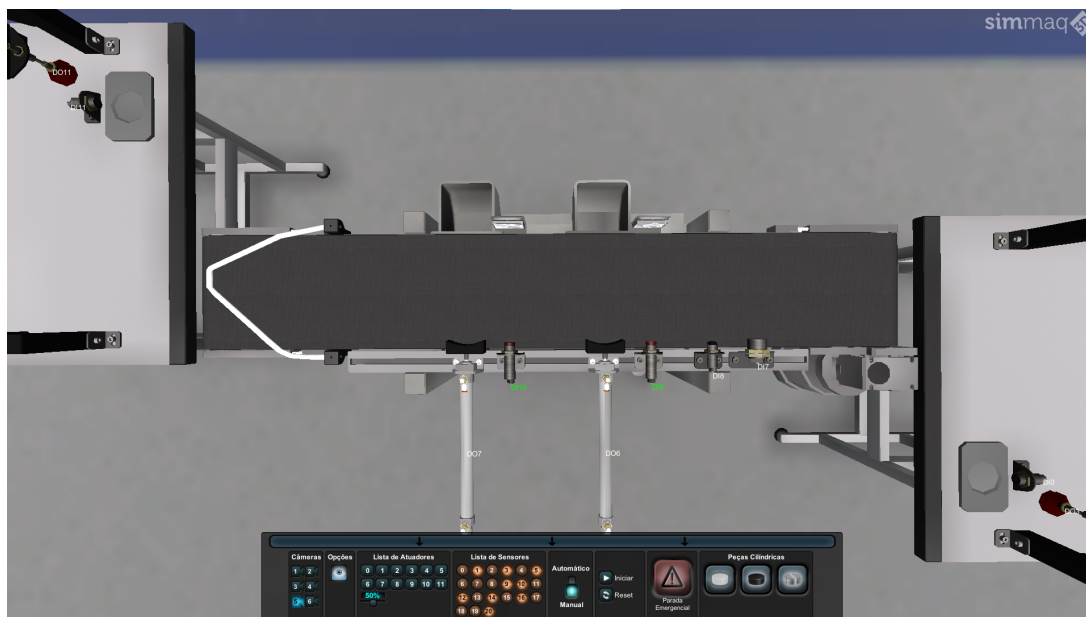


Figura 3 – Imagens Software SIMMAQ 3D, Planta Classificador de Peças

Fonte: <https://oniria.com.br/simulador-didatico-simmaq-3d-autom/>

2.4 AMBIENTE TIA PORTAL E NORMA IEC 61131-3

O *Totally Integrated Automation (TIA) Portal* é a plataforma de engenharia da Siemens que unifica o software de programação de CLPs (STEP 7) e IHM (WinCC). A programação estruturada neste ambiente permite a criação de:

- **Organization Blocks (OBs):** Interfaces entre o sistema operacional do CLP e o programa do usuário. O OB1 é o bloco principal executado ciclicamente.
- **Functions (FCs):** Blocos de código sem memória própria, ideais para lógicas matemáticas ou repetitivas simples.
- **Function Blocks (FBs):** Blocos com memória (Instance Data Blocks), essenciais para encapsular lógicas complexas como contadores, temporizadores e máquinas de estado, facilitando a modularização e reuso de código.

A norma IEC 61131-3 padroniza as linguagens utilizadas:

- **Ladder Diagram (LAD):** Utilizado para a lógica sequencial e intertravamentos de segurança, assemelhando-se a esquemas elétricos de relés.
- **Function Block Diagram (FBD):** Utilizado para encapsulamento de lógicas de fluxo de sinal, facilitando a visualização de portas lógicas (AND, OR) e blocos de processamento.

2.5 TRABALHOS CORRELATOS

2.6 TRABALHOS CORRELATOS E ANÁLISE COMPARATIVA

A validação da relevância deste projeto não se dá apenas pela sua funcionalidade, mas pelo seu posicionamento frente às soluções já existentes na literatura e no mercado. No contexto educacional de engenharia, observa-se uma dicotomia clara: de um lado, existem bancadas didáticas industriais (ex: Festo, De Lorenzo) que, embora robustas, possuem custo proibitivo para aquisição em larga escala; de outro, encontram-se projetos do universo *Maker* baseados puramente em microcontroladores (Arduino/PIC), que são acessíveis, mas muitas vezes falham em reproduzir a realidade da programação industrial em Ladder/CLP.

O foco central deste trabalho — **a criação de um protótipo de Baixo Custo (*Low Cost*) com finalidade didática industrial** — busca atuar justamente nessa lacuna. A proposta é oferecer a experiência de programação em um ambiente profissional (Siemens TIA Portal) utilizando uma estrutura física acessível.

A Tabela 1 apresenta uma síntese dos trabalhos mais relevantes encontrados na revisão bibliográfica. A comparação destaca as diferenças de arquitetura (controladores e sensores) e o objetivo principal de cada obra, evidenciando como a solução híbrida aqui proposta (CLP + Mecânica Adaptada) se diferencia das demais abordagens.

Tabela 1 – Quadro comparativo entre trabalhos correlatos e o sistema proposto.

Autor/Ano	Aplicação	Controlador	Sensores	Foco Principal
Carvalho et al. (2021) [6]	Esteira Seletora	Microcontrolador	Indutivo	Separação de Recicláveis (Metal/Não-Metal).
Vieira (2022) [7]	Esteira Didática	Arduino	Indutivo / Capacitivo	Baixo custo para ensino de engenharia.
Pazetto (2022) [8]	Braço Robótico	CLP	N/A	Acionamento de manipulador via CLP.
Aquino (2015) [9]	Supervisório Ind.	Arduino + CLP S7-1200	Diversos	Integração de protocolos e supervisão.

Autor/Ano	Aplicação	Controlador	Sensores	Foco Principal
Teixeira (2022) [10]	Braço Robótico	Microcontrolador	N/A	Automação de bancada experimental.
Quinto (2021) [11]	Bancada Didática	CLP	Diversos	Práticas gerais de automação industrial.
Este Trabalho	Esteira + Braço	CLP S7-1200 + Interface	Indutivo / Ótico	Criação de protótipo Low Cost, com intuito educacional.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada para este trabalho foi experimental e incremental. Buscou-se desenvolver um hardware que fosse acessível, replicável e que permitisse a integração com tecnologias industriais.

3.1 DESCRIÇÃO DA PLANTA DIDÁTICA

A planta consiste em uma esteira transportadora acionada por um motor CC com tensão de operação de 3 a 5 VCC, mais um servo motor para acionar o seletor de peças. Inclui também um braço robótico com quatro motores, sendo três para movimentação em XYZ e mais um motor para o acionamento da garra. Todos os motores são de passo que possuem tensão de operação de 3 a 6 VCC.

O fluxo de operação foi definido da seguinte maneira:

1. **Zona de seleção:** O braço robótico pega a peça de um repositório inicial e a coloca na esteira de seleção.
2. **Zona de Identificação:** Conjunto de sensores para discriminar o material enquanto a esteira se move.
3. **Zona de Atuação:** Um motor com uma barreira (atuador expulsor) é responsável por bloquear o caminho e redirecionar as peças metálicas para uma saída lateral. As peças não-metálicas seguem livremente até o final da esteira.

3.2 LISTA DE MATERIAIS

A seguir será apresentada a lista dos principais materiais utilizados na montagem. Itens de consumo como cabos, estanho e parafusos não foram listados. A escolha priorizou a filosofia de "facilidade de reposição", utilizando componentes comuns no mercado de eletrônica.

Tabela 2 – Lista de Materiais e Componentes Utilizados.

Qtde.	Descrição do Componente
05	Micro Servomotores SG90 (Adaptados para rotação contínua)
01	Motor DC com Caixa de Redução (3 a 6 Vcc)
01	Estrutura da Esteira em Acrílico (Corte a Laser)
01	Kit Braço Robótico em Acrílico (4 Graus de Liberdade)
02	Roletes rolamentados para a esteira
10	Bornes para pino banana 2mm (Painel de Conexões)
10	Micro Chaves Fim de Curso (Endstop KW12)
08	Relés JRC-19F (Bobina 24 Vcc, Contatos 1A)
01	Relé de Potência (24Vcc, 10A) para Emergência Geral
01	Sensor Indutivo PNP (6-36V) Modelo LJ8A3-2-Z/BY
01	Sensor Ótico/Infravermelho para detecção de presença

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

3.3 ARQUITETURA DE HARDWARE E INTERLIGAÇÃO

A integração entre o CLP (nível industrial) e os componentes do kit (nível eletrônico) exigiu o desenvolvimento de uma interface dedicada. A Tabela 3 detalha o mapeamento de entradas e saídas.

Tabela 3 – Lista de Entradas e Saídas (I/O List).

Tag	Endereço	Tipo	Descrição
Start_Button	%I0.0	BOOL	Botão de Início de Ciclo (NA)
Stop_Button	%I0.1	BOOL	Botão de Parada de Emergência (NF)
Sensor_Indutivo	%I0.2	BOOL	Detecta metal (Alta prioridade)
Sensor_Presenca	%I0.3	BOOL	Sensor ótico difuso (Gatilho)
Motor_Esteira	%Q0.0	BOOL	Aciona motor da esteira
Atuador_Motor1	%Q0.1	BOOL	Movimento Eixo X (Braço)
Atuador_Motor2	%Q0.2	BOOL	Movimento Eixo Y (Braço)
Atuador_Motor3	%Q0.3	BOOL	Movimento Eixo Z (Braço)
Atuador_Motor4	%Q0.4	BOOL	Aciona a Garra (Gripper)
Atuador_Expulsor	%Q0.5	BOOL	Atuador de Descarte (Triagem)
Habilita_Planta	%Q0.6	BOOL	Relé Geral (Energiza a planta)
Sinaliza_Metal	%Q0.7	BOOL	Lâmpada Piloto (Indica Metal)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

3.3.1 Adaptação Elétrica e Interface de Potência

O kit montado tem uma tensão de operação de no máximo 5 Vcc. Contudo, a saída digital do PLC S7-1200 fornece 24 Vcc. Além da incompatibilidade de tensão, as saídas digitais do CLP

não fornecem corrente suficiente para o acionamento direto de motores, e o kit original não provê drivers de potência adequados para interface direta.

Para solucionar este problema, foi montado um circuito elétrico de interface utilizando o Relé JRC-19F de 8 pinos com bobina de 24 Vcc. A lógica adotada utiliza a isolação galvânica do relé para proteger o CLP e, simultaneamente, controlar a direção dos motores de corrente contínua.

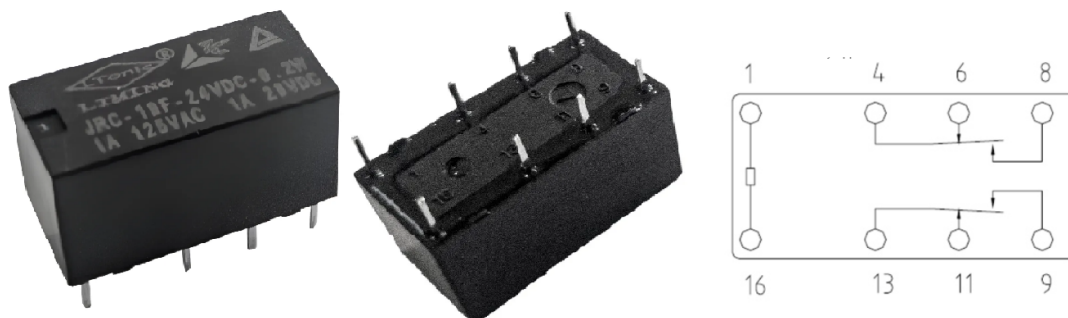


Figura 4 – Diagrama do principal Relé utilizado para interfaceamento.

Fonte: www.electronicoscaldas.com

Esse componente foi selecionado para implementar a seguinte lógica de controle simplificada: *quando a saída do CLP estiver em nível lógico 1, o relé atraca, invertendo a polaridade e movendo o motor até a posição final (X); quando a saída for 0, o relé repousa, invertendo novamente a polaridade e fazendo o motor retroceder até a posição inicial.*

Essa abordagem elimina a necessidade de Pontes-H complexas ou drivers de motor de passo controlados por trens de pulso, facilitando a lógica de programação no TIA Portal e tornando o componente mais didático. Para garantir a segurança mecânica, cada eixo do motor apresenta o seguinte circuito elétrico, onde existem 2 chaves fim de curso que interrompem fisicamente o circuito de alimentação do motor, impedindo que ele vá além do limite mecânico, mesmo que o CLP envie um comando errôneo.

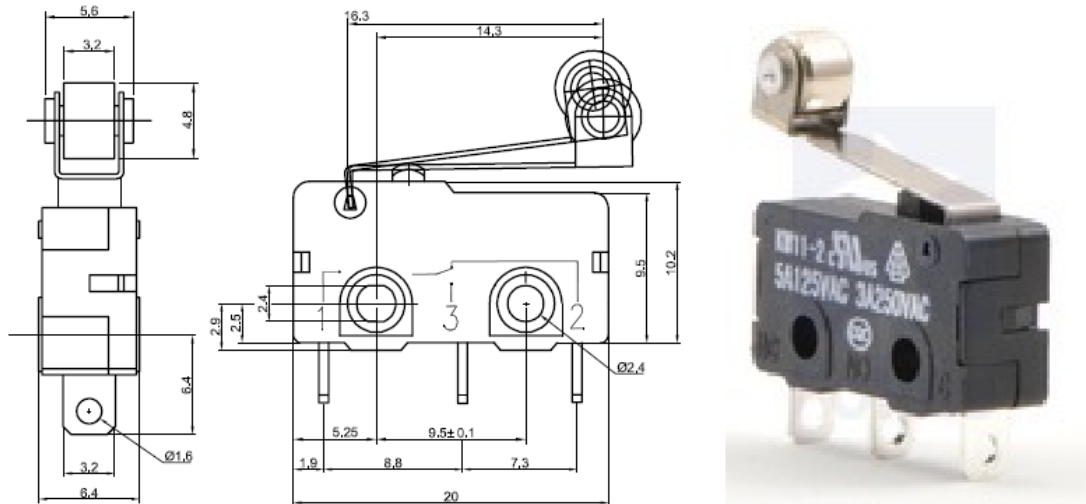


Figura 5 – datasheet Fim de Curso.

Fonte: <http://comphaus.com.br/home/?wpsc-product=switch-com-alavanca-de-16-7-mm-e-rodinha-3-pinos-spdt-5a>.

Nesta configuração, o sinal de 24V do PLC aciona a bobina do relé (pinos 1 e 16), comutando os contatos que manipulam a fonte externa de 5V entregue ao motor.

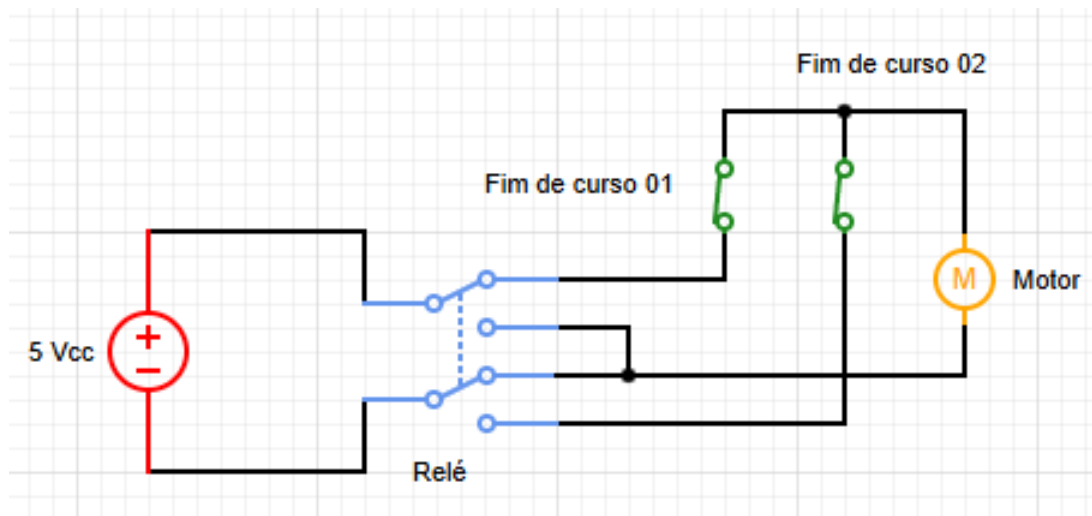


Figura 6 – Esquema elétrico de acionamento com inversão por relé e proteção por fim de curso.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Para o acionamento da esteira e a energização dos circuitos de potência da planta, utilizou-se um relé eletromecânico de 5 pinos com bobina de 24 Vcc. Este componente atua como uma interface de potência, chaveando a linha de alimentação de 5 Vcc responsável por energizar os motores do kit didático.

No desenvolvimento da lógica Ladder, este relé desempenha um papel crucial na segurança do sistema. Ele foi configurado para atuar como um dispositivo de corte geral ou de emergência, capaz de desenergizar instantaneamente todos os atuadores da planta. Esta implementação

visa atender aos requisitos de segurança em máquinas e equipamentos, alinhando o projeto às diretrizes de normas regulamentadoras como a NR-10 (Segurança em Instalações Elétricas) e a NR-12 (Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos).

A Figura a seguir apresenta o diagrama de força do relé, ilustrando a habilitação do barramento de 5 Vcc.

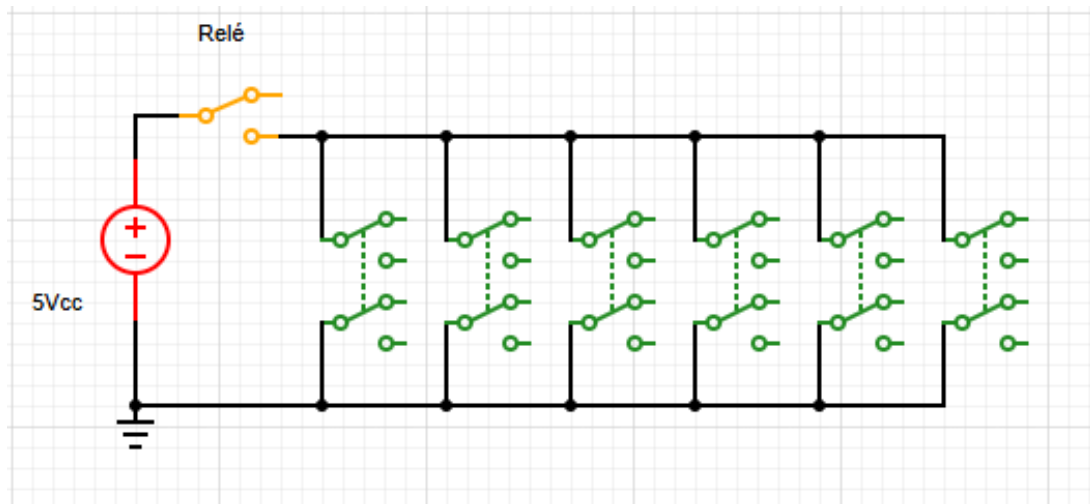


Figura 7 – Esquema elétrico que habilita a linha de 5Vcc.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Após a análise do diagrama de força, é necessário compreender o circuito de comando. Visto que o Controlador Lógico Programável (CLP) utilizado opera com saídas digitais de 24 Vcc, as bobinas dos relés são conectadas diretamente a estas saídas. Dessa forma, todo o intertravamento lógico, temporização e condições de segurança são processados via software (programa Ladder), simplificando a montagem física e restringindo o hardware apenas à conexão direta entre os bornes de saída do CLP e as bobinas dos relés."

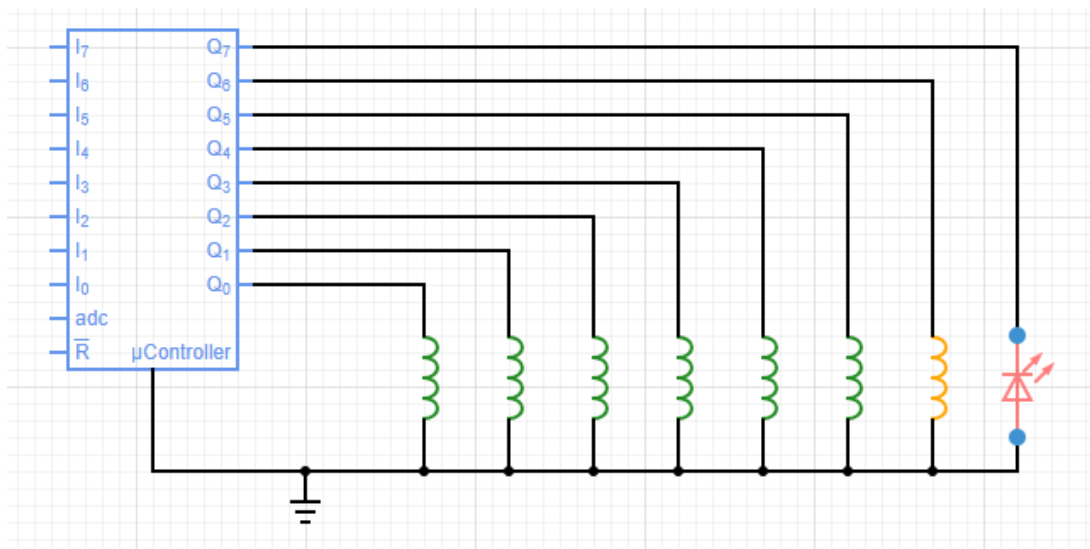


Figura 8 – Diagramas dos comandos vindos do PLC.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

3.3.2 Modificação Mecânica e Elétrica dos Motores

Para viabilizar o controle via relés, os motores precisaram passar por adaptações técnicas (processo conhecido como *hardware hacking*). O kit original utiliza pequenos motores de passo com drivers integrados, projetados para sinais PWM.

Para permitir o controle direto por tensão contínua (DC), os motores foram abertos e dois fios foram soldados diretamente aos terminais das bobinas do motor DC interno. O circuito original de controle foi preservado fisicamente, porém foi realizado "bypass" nesse circuito para funcionar nessa aplicação. Esta abordagem mantém a versatilidade do componente: o kit pode funcionar com Arduino (usando a eletrônica original) ou com o CLP (usando a ligação direta).

Outro aspecto relevante desta adaptação diz respeito à durabilidade. Originalmente, estes motores possuem travas mecânicas nas engrenagens e são sensíveis a travamentos, podendo queimar se forçados além do limite. Com a remoção das travas internas, o motor passa a ter rotação livre contínua. Dessa forma, mitiga-se o risco de queima por sobrecorrente em casos de erros de lógica ou falhas mecânicas, pois o eixo não encontrará resistência física interna mesmo se o comando de acionamento persistir indevidamente.

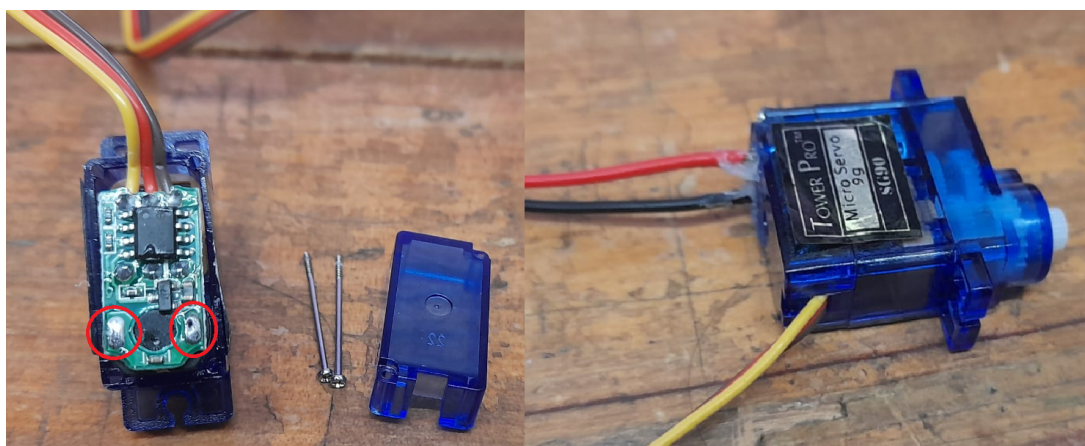


Figura 9 – Adaptação elétrica do motor: soldagem direta nos terminais.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Uma segunda alteração mecânica foi necessária. Por serem originalmente motores de passo ou servos, as engrenagens internas possuíam travas mecânicas que limitavam o giro a um ângulo específico (geralmente 180 graus). Para a aplicação na esteira e em alguns eixos do braço, era necessário movimento contínuo ou ângulos maiores. Portanto, as travas plásticas nas engrenagens foram removidas (lixadas ou cortadas), permitindo a rotação livre. Isso, combinado com as chaves fim de curso externas, transferiu o controle de limite do interior do motor para a estrutura da bancada. Outro aspecto relevante desta adaptação diz respeito à durabilidade dos atuadores. Originalmente, estes motores apresentam alta sensibilidade a travamentos mecânicos, podendo sofrer danos irreversíveis (queima das bobinas) caso recebam comandos que forcem o eixo além de seus limites físicos. Com a remoção das travas internas, o motor passa a ter rotação livre contínua. Dessa forma, mitiga-se o risco de queima por sobrecorrente em casos de erros de

lógica ou falhas 32, pois o eixo não encontrará resistência física interna mesmo se o comando de acionamento persistir indevidamente.

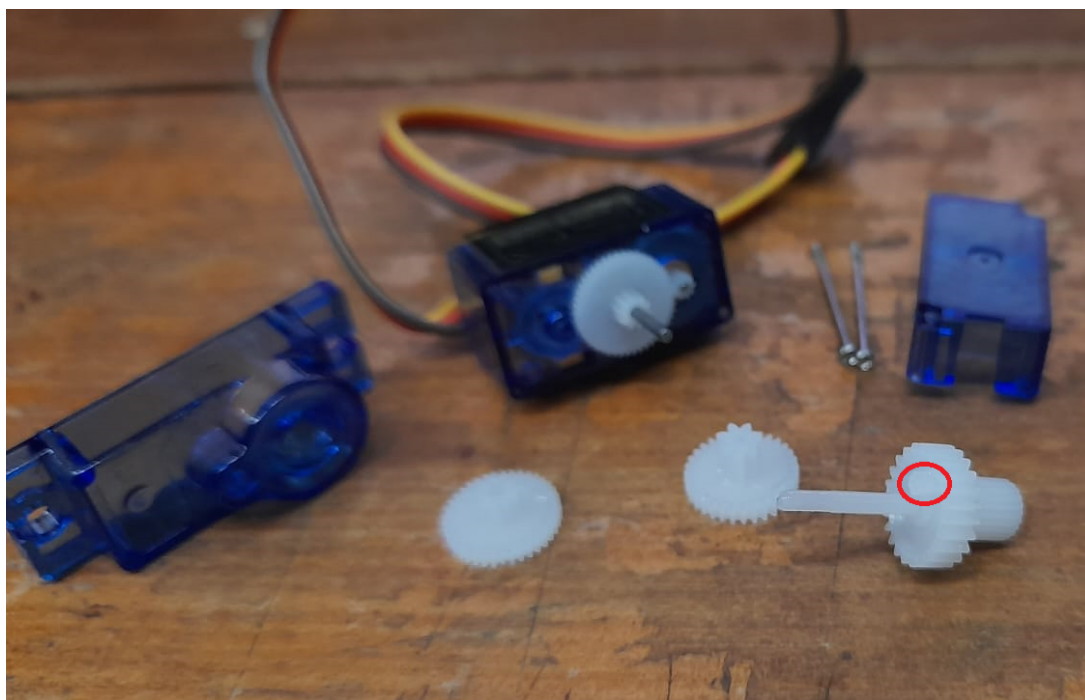


Figura 10 – Adaptação mecânica: remoção da trava da engrenagem para rotação contínua.

Fonte:Elaborado pelo autor, 2026.

Na Figura 11 são apresentadas a imagem do kit original e a garra finalizada após as alterações feitas. A Figura 12 exhibe a montagem final da planta. E por fim a Figura 13 mostra uma imagem ilustrativa do conjunto inteiro finalmente montado

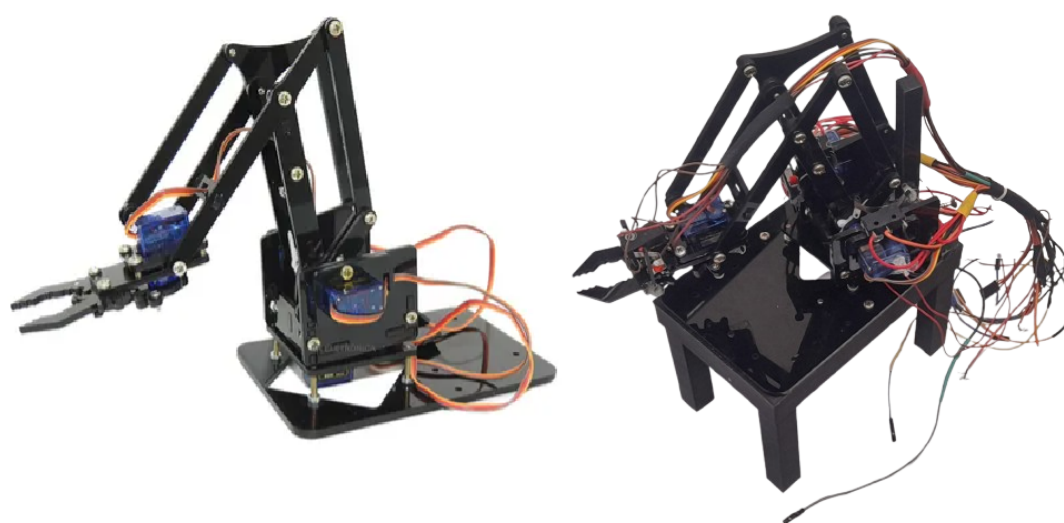


Figura 11 – Braço original à esquerda e braço após adaptações à direita.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.



Figura 12 – Montagem da bancada com esteira e braço integrados.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

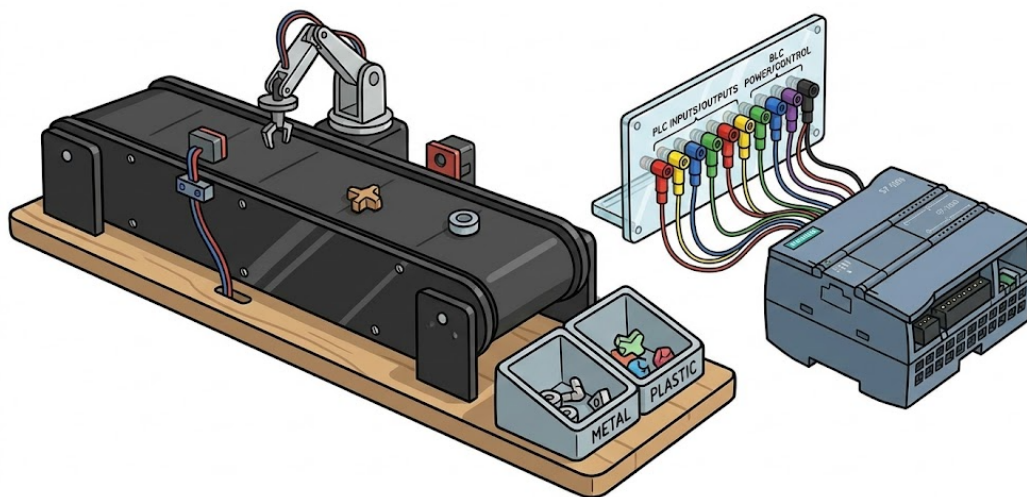


Figura 13 – Montagem da bancada com esteira e braço integrados.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

3.4 ESTRATÉGIA DE CONTROLE NO TIA PORTAL

A programação foi estruturada de forma mista para otimizar o processamento e a legibilidade do código.

3.4.1 Lógica Ladder (LAD)

A lógica Ladder foi utilizada no bloco principal (OB1) e nas rotinas de acionamento de saídas físicas. O Ladder é ideal para intertravamentos de segurança e lógica booleana simples. Por exemplo, o acionamento da esteira utiliza um selo clássico:

$$Motor = (Start \vee Motor) \wedge \neg Stop$$

3.4.2 Blocos Funcionais (FBD) e Temporização

Os blocos funcionais foram cruciais para o processamento dos sensores. Foi criado um Function Block (*FB_Classificador*) que encapsula a lógica de decisão. Diferente de uma lógica simples, o classificador precisa lidar com o tempo de deslocamento da esteira.

- Quando o *Sensor_Presenca* detecta uma peça, um timer interno é disparado.
- Se, dentro de uma janela de tempo Δt , o *Sensor_Indutivo* também for ativado, a peça é marcada ("flag") na memória do sistema como **METAL**.
- O sistema utiliza um temporizador *TON* (*Timer On-Delay*) para sincronizar o momento exato em que a peça passa em frente ao atuador expulsor. Este tempo é calculado com base na velocidade média da esteira.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.0.1 Implementação da Lógica

A lógica desenvolvida no TIA Portal demonstrou robustez e a modularização permitiu testes isolados. A separação das rotinas em FCs permitiu testar individualmente o acionamento da esteira e a resposta dos sensores antes da integração total com o braço robótico.

A Figura 14 ilustra a "Network 1" do sistema no TIA Portal, onde ocorre o intertravamento principal da esteira. A visualização gráfica do Ladder facilitou o diagnóstico de falhas durante a fase de comissionamento, permitindo identificar rapidamente quando um botão de emergência estava pressionado ou um sensor desconectado.

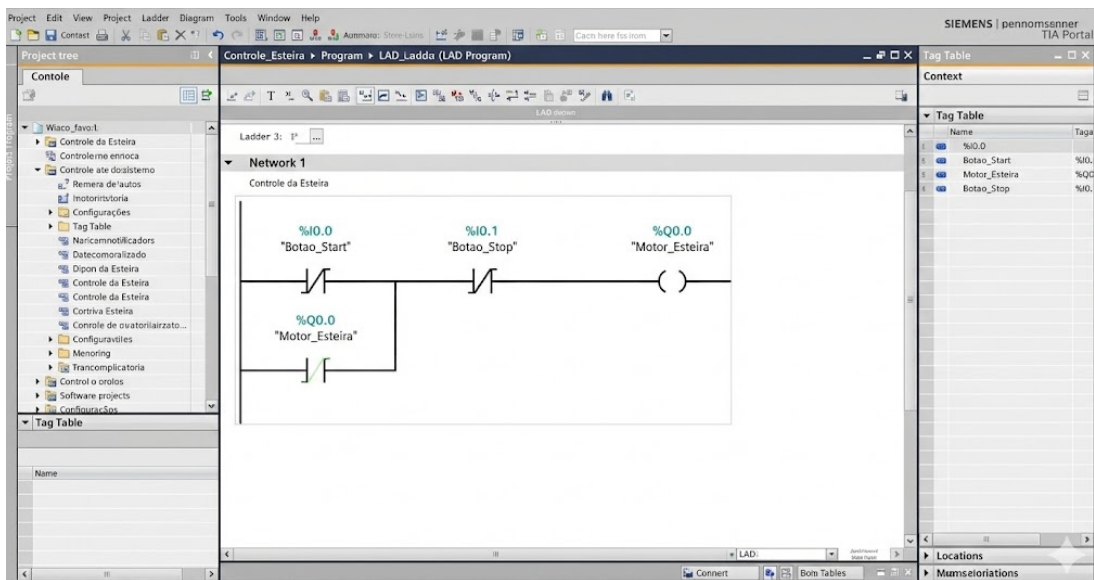


Figura 14 – Lógica Ladder de controle de partida direta da esteira com retenção.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

4.0.2 Resposta do Sistema de Classificação

Durante os testes práticos na bancada montada, o sistema foi submetido a diversos ciclos de operação. A dinâmica observada foi:

- **Cenário 1 (Peça Metálica):** Ao passar pelo sensor indutivo, a memória interna "Flag_Metal" é setada. O temporizador conta o tempo de deslocamento da esteira (calibrado para aprox. 1.5s). Ao fim do tempo, o atuador (%Q0.6 - Atuador_Expulsor) é energizado por 500ms. A barreira mecânica se move, desviando a peça para a rampa lateral. O sistema então reseta a flag.
- **Cenário 2 (Peça Plástica):** A peça passa pelo sensor de presença, iniciando o ciclo, mas o sensor indutivo permanece em nível lógico baixo (não detecta). A "Flag_Metal" permanece

falsa. Quando a peça passa pela zona de atuação, o expulsor permanece inerte, permitindo que a peça siga até o final da esteira para o repositório de não-metálicos.

4.0.3 Análise das Adaptações *Low Cost*

Um dos resultados mais expressivos deste trabalho foi a validação da abordagem de baixo custo. A utilização de relés para inverter a polaridade dos motores DC adaptados funcionou perfeitamente para a precisão exigida neste projeto didático. Embora não ofereça a precisão micrométrica de um servo industrial ou motor de passo com driver micro-step, a solução proposta permitiu que o braço robótico executasse movimentos de "Pick and Place" (Pegar e Soltar) com repetibilidade suficiente para fins educacionais.

A remoção das travas dos motores permitiu que a esteira rodasse continuamente sem superaquecimento excessivo, validando a modificação mecânica. O custo final da bancada ficou significativamente inferior a soluções comerciais equivalentes, cumprindo o objetivo de acessibilidade.

4.0.4 Desafios de Implementação e Melhorias Futuras

Durante a fase de integração final do projeto, um dos maiores desafios encontrados foi a complexidade física das interconexões. À medida que o número de atuadores (motores e servos) e sensores aumentava, a quantidade de cabos e conexões na matriz de contatos (*protoboard*) cresceu exponencialmente.

Embora o circuito individual de acionamento de um motor seja simples, a multiplicação desse circuito para todos os eixos do braço e da esteira resultou em uma densidade de conexões que se aproximou do limite físico da protoboard. Isso gerou dificuldades de diagnóstico (*troubleshooting*), pois tornou-se complexo distinguir visualmente se uma falha no sistema era oriunda de um erro lógico no código do CLP ou de um mau contato elétrico nas trilhas da placa de montagem.

Optou-se pela manutenção da montagem em protoboard neste protótipo devido à facilidade de manutenção. Caso um relé venha a falhar, sua substituição é imediata, bastando desconectá-lo. Em uma solução definitiva soldada (Placa de Circuito Impresso - PCI), a substituição de um componente exigiria o processo de dessoldagem, o que poderia danificar as trilhas se realizado repetidamente por alunos em ambiente didático. E também a flexibilidade do protoboard é muito grande, pois se algum circuito ou trilha precisar ser alterado, basta mudar os cabos de lugar. Se estivesse utilizando uma PCI, a alteração é possível apenas com a confecção de uma nova placa gerando assim mais gastos e perda de material, e isso para um protótipo onde vários cenários estão sendo testados torna-se muito dispendioso.

Contudo, para evoluções futuras deste trabalho e visando aumentar a robustez industrial do kit, sugere-se:

- **Desenvolvimento de uma PCB Dedicada:** A confecção de uma placa de circuito impresso específica (Shield de Interface), com trilhas de cobre dimensionadas e conectores robustos, eliminaria os problemas de mau contato e a "poluição" visual dos cabos.

- **Controle de Velocidade:** A atual implementação via relés permite apenas o acionamento direto (On/Off). A criação de uma placa driver eletrônica permitiria o controle de velocidade dos motores via PWM, suavizando os movimentos do braço robótico.

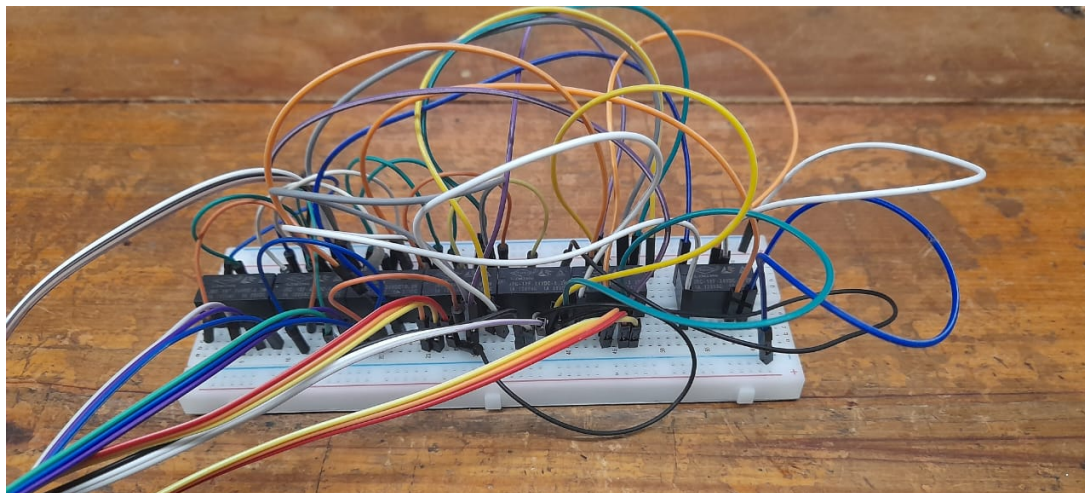


Figura 15 – Vista Lateral do PROTOBOARD.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

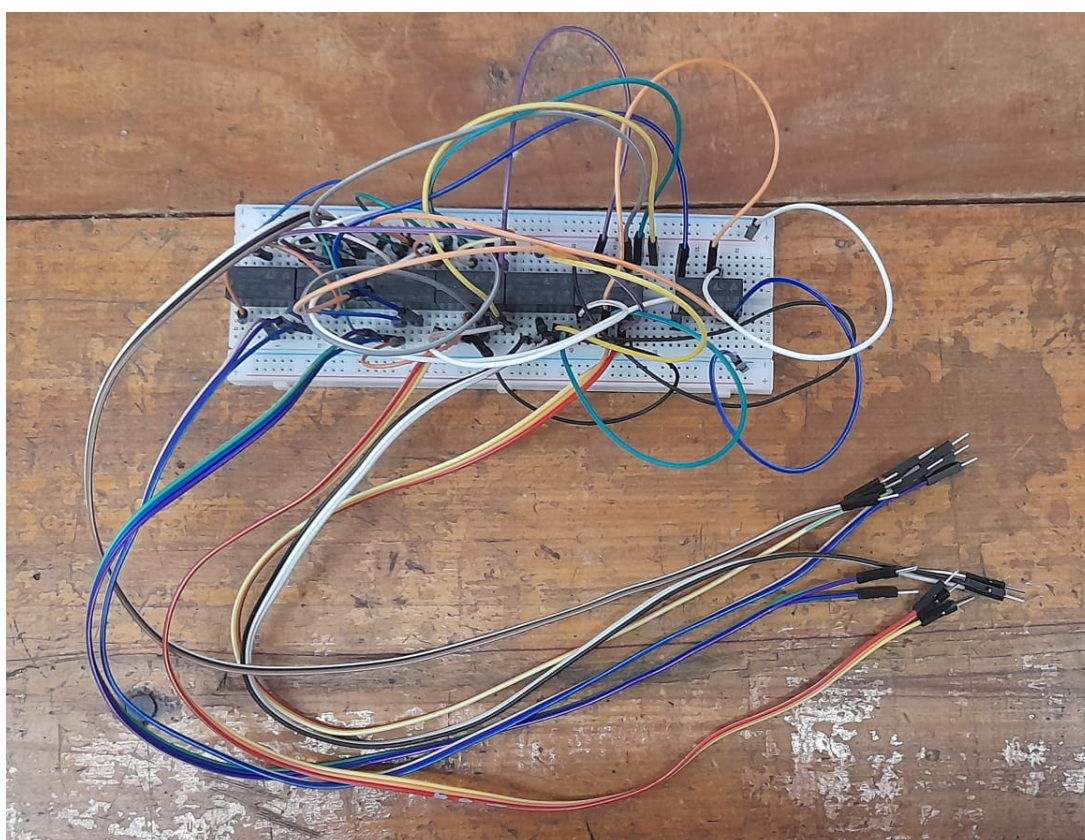


Figura 16 – Vista superior do PROTOBOARD.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

5 CONCLUSÃO

O projeto atingiu com êxito o objetivo de automatizar o processo de classificação de peças utilizando tecnologias compatíveis com a realidade industrial, mas aplicadas a um hardware de baixo custo. O uso do CLP S7-1200 e do ambiente TIA Portal permitiu a implementação de uma lógica estruturada, combinando a simplicidade visual do Ladder para acionamentos com a capacidade de organização dos Blocos Funcionais.

As adaptações eletromecânicas realizadas – especificamente a conversão de motores de passo para operação DC direta e a criação da interface a relés – provaram ser uma solução engenhosa para transpor a barreira de custo e compatibilidade de tensão (24V vs 5V). Isso demonstra que é possível criar laboratórios de automação complexos utilizando componentes acessíveis e criatividade na engenharia.

Conclui-se que a correta discriminação entre materiais metálicos e não-metálicos depende não apenas da lógica de programação, mas da correta especificação e posicionamento físico dos sensores. O ajuste fino dos temporizadores (Timer TON) mostrou-se crítico: pequenas variações na tensão da esteira alteravam sua velocidade, exigindo recalibração do tempo de atuação do expulsor.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Para a continuidade e aprimoramento deste projeto, sugere-se:

- Implementação de uma Interface Homem-Máquina (IHM) física ou virtual para contagem de peças em tempo real e visualização de alarmes.
- Utilização de um *encoder* acoplado ao eixo da esteira. Isso permitiria substituir a lógica baseada em tempo (que sofre com variações de velocidade) por uma lógica baseada em posição/deslocamento, aumentando significativamente a precisão da triagem.
- Integração com microcontroladores como Arduino ou Raspberry Pi para adicionar visão computacional simples, permitindo classificar peças também por cor ou formato, além do material.

REFERÊNCIAS

- [1] SILVA, A. R. **Automação Industrial com PLCs Siemens S7-1200**. São Paulo: Editora Érica, 2023.
- [2] THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. 9. ed. São Paulo: Érica, 2022.
- [3] SIEMENS AG. **TIA Portal V17 Programming Guideline**. Manual Técnico, 2024.
- [4] FRANKI, R. **Controladores Lógicos Programáveis: Sistemas Discretos**. Rio de Janeiro: LTC, 2021.
- [5] RASHID, M. H. **Eletrônica de Potência: Dispositivos, Circuitos e Aplicações**. 4. ed. São Paulo: Pearson, 2018.
- [6] CARVALHO, J. A. et al. **Esteira seletora de metal e não metal**. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Mecatrônica) – ETEC Paulino Botelho, São Carlos, 2021.
- [7] VIEIRA, A. C. **Esteira didática de transporte e seleção de peças metálicas e não-metálicas utilizando a plataforma Arduino**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Pará (UFPA), Tucuruí, 2022.
- [8] PAZETTO, M. S. **Braço robótico via CLP**. Artigo Científico – Repositório Universitário da Ânima (RUNA), Joinville, 2022.
- [9] AQUINO, R. D. G. **Desenvolvimento de uma ferramenta para automação e supervisão, baseada na plataforma Arduino e CLP**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará (UFC), Sobral, 2015.
- [10] TEIXEIRA, L. C. **Projeto de um braço robótico para automação de bancada experimental**. Monografia (Engenharia Mecatrônica) – Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, 2022.
- [11] QUINTO, H. O. A. **Construção de uma bancada didática para práticas de automação industrial**. Monografia (Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Ouro Preto, 2021.

APÊNDICE A – LÓGICA DO BRAÇO ROBÓTICO E MODO AUTOMÁTICO (PSEUDO-CÓDIGO)

Esta seção descreve a lógica implementada para o controle do braço robótico (Pick and Place) e integração com a esteira, conforme descrito no projeto.

```

1 // --- VARIÁVEIS GLOBAIS ---
2 BOOL Modo_Auto, Modo_Manual;
3 BOOL Botao_Inicio, Botao_Emergencia;
4 BOOL Sensor_Peca_Inicio; // Fim de curso na base de peças
5 BOOL Braco_Em_Movimento;
6
7 // NETWORK 1: Seleção de Modo de Operação
8 IF Botao_Auto THEN
9     Modo_Auto := TRUE;
10    Modo_Manual := FALSE;
11 ELSIF Botao_Manual THEN
12    Modo_Auto := FALSE;
13    Modo_Manual := TRUE;
14 END_IF;
15
16 // NETWORK 2: Start do Processo Automático
17 IF Modo_Auto AND Botao_Inicio AND NOT Botao_Emergencia THEN
18    Sistema_Ligado := TRUE;
19    Motor_Esteira := TRUE; // Esteira liga direto no modo Auto
20 ELSE
21    Sistema_Ligado := FALSE;
22    Motor_Esteira := FALSE;
23 END_IF;
24
25 // NETWORK 3: Lógica Pick-and-Place (Braço Robótico)
26 // Condição: Sistema ligado, peça detectada na base e braço
    livre
27 IF Sistema_Ligado AND Sensor_Peca_Inicio AND NOT
    Braco_Em_Movimento THEN
28    Braco_Em_Movimento := TRUE;
29

```

```
30 // Passo 1: Mover para posição de pega (Home)
31 Mover_Eixo_X(Posicao_Pega);
32 Mover_Eixo_Y(Posicao_Pega);
33 Mover_Eixo_Z(Baixo); // Desce garra
34
35 // Passo 2: Fechar Garra
36 Atuar_Garra(FECHAR);
37 Wait(500ms);
38
39 // Passo 3: Mover para Esteira
40 Mover_Eixo_Z(Cima); // Sobe garra
41 Mover_Eixo_X(Posicao_Esteira);
42
43 // Passo 4: Soltar Peça
44 Atuar_Garra(ABRIR);
45 Wait(500ms);
46
47 // Passo 5: Retornar para Home e Liberar
48 Mover_Eixo_X(Posicao_Home);
49 Braco_Em_Movimento := FALSE; // Pronto para proximo ciclo
50 END_IF;
51
52 // NETWORK 4: Classificação (J descrita anteriormente)
53 // Esta parte integra com a lógica de sensores da esteira...
```

Listing A.1 – Pseudo-código da Lógica do Braço e Modos de Operação