



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

KARINE BRITO DA SILVA

**MONITORAMENTO DE ARMAZENAGEM DE GRÃOS EM SILOS  
UTILIZANDO O SENSOR MICROPILOT FMR67 E O AMBIENTE DE  
AUTOMAÇÃO TIA PORTAL**

TUCURUÍ

2024

KARINE BRITO DA SILVA

**MONITORAMENTO DE ARMAZENAGEM DE GRÃOS EM SILOS  
UTILIZANDO O SENSOR MICROPILOT FMR67 E O AMBIENTE DE  
AUTOMAÇÃO TIA PORTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Elétrica, pela Universidade Federal do Pará.

Orientador:  
Prof. Dr. Raphael Barros Teixeira.

TUCURUÍ

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)  
autor(a)

---

S586m Silva, Karine Brito da.  
MONITORAMENTO DE ARMAZENAGEM DE GRÃOS  
EM SILOS UTILIZANDO O SENSOR MICROPILOT FMR67  
E O AMBIENTE DE AUTOMAÇÃO TIA PORTAL / Karine  
Brito da Silva. — 2024.  
86 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Raphael Barros Teixeira  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -  
Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de  
Tucuruí, Faculdade de Engenharia Elétrica, Tucuruí, 2024.

1. CLP. 2. Ladder. 3. Sensor de nível. 4.  
Armazenamento. I. Título.

CDD 629.89

---

KARINE BRITO DA SILVA

**MONITORAMENTO DE ARMAZENAGEM DE GRÃOS EM SILOS  
UTILIZANDO O SENSOR MICROPILOT FMR67 E O AMBIENTE DE  
AUTOMAÇÃO TIA PORTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Elétrica, pela Universidade Federal do Pará.

Trabalho aprovado no dia 03/07/2024 com conceito **EXCELENTE**.

**Banca Examinadora:**

---

**Prof. Dr. Raphael Barros Teixeira**  
Orientador - FEE/CAMTUC/UFPA

---

**Prof. Dr. André Felipe Souza da Cruz**  
Avaliador Interno - FEE/CAMTUC/UFPA

---

**Prof. Dr. Washington Cesar B. Sousa**  
Avaliador Interno - FEE/CAMTUC/UFPA

TUCURUÍ

2024

Dedico este trabalho às minhas queridas avós, cujo amor e sabedoria continuam a inspirar-me mesmo na ausência física. Seu legado vive em cada conquista alcançada. Para sempre em meu coração, com gratidão eterna.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por estar presente em todos em todos os momentos da minha vida, me conduzindo sempre pelos melhores caminhos e fortalecendo minha fé diante das situações difíceis.

Ao meu pai, Jorge Luiz, por ser o meu maior exemplo de humildade e simplicidade, cujo apoio inabalável e exemplo inspirador moldaram meu caminho até aqui. À minha mãe, Débora Brito, por todo o encorajamento constante e por nunca ter deixado de acreditar em mim. À meu irmão, Kayky Brito, minha gratidão por me apoiar sempre ao longo desta jornada. Seu amor e incentivo foram meu pilar durante toda essa jornada.

Quero expressar minha sincera gratidão a todas as pessoas que tornaram possível a conclusão deste trabalho. Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador(a), Raphael Barros Teixeira, por sua orientação perspicaz, paciência e incentivo ao longo deste processo. Seu apoio foi fundamental para o sucesso deste trabalho.

À minha família e amigos, que sempre estiveram ao meu lado, oferecendo apoio incondicional e compreensão, meu mais profundo agradecimento.

Aos meus amigos de curso Talita Agnes, Thalita Lourrany e Alex Ribeiro pelos momentos de estudos e por momentos que fizeram com que os dias fossem mais leves e felizes. Aos meus amigos Fábio Silva, Gustavo Neves e Victor Gimenes, parceiros e companheiros que contribuíram para que o meu estágio fosse o melhor do mundo, por ter fornecido os dados e todo suporte necessário para elaboração deste trabalho.

Quero também expressar minha gratidão a todos os colegas de curso e trabalho, cujas trocas de experiências e debates enriqueceram meu aprendizado e contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Chegar até aqui foi uma jornada desafiadora, e sou imensamente grata por ter tido o apoio de pessoas tão especiais ao meu lado. Às minhas amigas, Hilda Beatriz, Gabriela Costa, Juliana Gonçalves, Anadby Gonçalves e Débora Santos, que se dedicaram a me ajudar nas últimas revisões deste trabalho, o meu mais sincero agradecimento. Vocês dedicaram tempo e esforço, oferecendo-me suporte, conselhos e aquele olhar atento que fez toda a diferença. Obrigada por estarem comigo até o final, garantindo que este TCC estivesse o melhor possível.

Ao meu namorado, Lucas Holanda, sua paciência, carinho e dedicação foram essenciais, especialmente nas últimas noites, quando você ficou acordado até tarde comigo, cuidando dos últimos detalhes deste trabalho. Sua presença tornou todo esse processo mais leve. Este TCC carrega também um pouco de você, e sou eternamente grata por ter

você ao meu lado.

Agradeço também a todas as instituições e pessoas que, de alguma forma, colaboraram com este projeto, fornecendo recursos, orientações ou mesmo um ambiente propício para o desenvolvimento acadêmico.

Por fim, agradeço sinceramente a todos os participantes da pesquisa, cuja disposição em compartilhar suas experiências e opiniões foi fundamental para a realização deste estudo.

A todos vocês, meu profundo agradecimento. Este trabalho é fruto do esforço coletivo e não teria sido possível sem o apoio e contribuição de cada um de vocês.

"Enquanto eu estiver vivo, minhas possibilidades são infinitas!"  
(Monkey D. Luffy, da obra ficcional One Piece - por Eiichiro Oda).

## RESUMO

Este trabalho apresenta um projeto que utiliza o sensor de nível Micropilot FMR67 - um radar de onda livre - para a medição contínua de sólidos a granel dentro dos silos de armazenamento, proporcionando dados confiáveis e precisos. O sistema proposto é controlado por um Controlador Lógico Programável (CLP), que desempenha um papel crucial na gestão dos dados recebidos pelo sensor e no monitoramento de volume. Os dados coletados e processados pelo CLP são exibidos em uma Interface Homem Máquina (IHM), que permite ao operador monitorar o nível do silo em tempo real. Isso não só ajuda a identificar e resolver problemas rapidamente, mas também proporciona uma base sólida para a melhoria contínua dos processos. A implementação deste sistema traz vários benefícios significativos para a empresa, pois, a automação do monitoramento de armazenamento aumenta a eficiência operacional, reduz o tempo e esforço necessários para essas atividades e minimiza os riscos associados à intervenção manual.

**Palavras-chave:** CLP, Ladder, Sensor de nível, Armazenamento.

## ABSTRACT

*This work presents a project that uses the Micropilot FMR67 level sensor - a free wave radar - for continuous measurement of bulk solids inside storage silos, providing reliable and accurate data. The proposed system is controlled by a Programmable Logic Controller (PLC), which plays a crucial role in managing the data received by the sensor and in volume monitoring. The data collected and processed by the PLC is displayed on a Human Machine Interface (HMI), which allows the operator to monitor the silo level in real time. This not only helps you quickly identify and resolve problems, but also provides a solid foundation for continuous process improvement. The implementation of this system brings several significant benefits to the company, as the automation of storage monitoring increases operational efficiency, reduces the time and effort required for these activities and minimizes the risks associated with manual intervention.*

**Keywords:** *PLC, Ladder, Level sensor, Storage..*

## Sumário

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
|          | <b>Sumário</b>  | <b>10</b> |
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>                                     | <b>16</b> |
| 1.1      | Problematização                                       | 19        |
| 1.2      | Objetivo Geral  | 20        |
| 1.3      | Metodologia   | 21        |
| <b>2</b> | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>                          | <b>23</b> |
| 2.1      | O armazenamento de grãos em silos                     | 23        |
| 2.2      | Problemática  | 25        |
| 2.3      | Soluções tecnológicas utilizadas                      | 26        |
| 2.4      | Sensor radar  | 28        |
| 2.5      | Automação e Instrumentação                            | 30        |
| 2.6      | Controlador Lógico Programável (CLP)                  | 33        |
| 2.6.1    | Entradas e Saídas                                     | 35        |
| 2.6.2    | Programação de CLP's                                  | 36        |
| 2.7      | Linguagem Ladder                                      | 37        |
| 2.8      | Ambientes de simulação                                | 39        |
| <b>3</b> | <b>PROJETO E SIMULAÇÃO DO SISTEMA</b>                 | <b>43</b> |
| 3.1      | Micropilot FMR67 Hart - Caracterização técnica        | 43        |
| 3.2      | Dimensões do silo                                     | 45        |
| 3.2.1    | Cálculo volumétrico                                   | 45        |
| 3.2.2    | Ângulo de repouso                                     | 46        |
| 3.2.3    | Passo 1: Calcular a altura efetiva do grão no silo    | 47        |
| 3.2.4    | Passo 2: Volume do Cone                               | 47        |
| 3.2.5    | Passo 3: Volume do Cilindro                           | 48        |
| 3.2.6    | Passo 4: Volume Total do Silo                         | 48        |
| 3.2.7    | Passo 5: Cálculo da Massa dos Grãos                   | 48        |
| 3.2.8    | Configuração do Hardware do CLP                       | 49        |
| 3.2.9    | Endereçamento de Entradas e Saídas                    | 51        |
| 3.2.10   | Escalonar Entrada Analógica                           | 53        |
| 3.2.11   | Criação do Function Block para escalonamento          | 55        |
| 3.2.12   | Escalonando o sensor de nível                         | 57        |
| 3.2.13   | Cálculo volumétrico no <i>Main Block</i> - <i>OB1</i> | 59        |
| 3.2.13.1 | Volume do Cone  | 60        |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| 3.2.13.2   | Volume do Cilindro . . . . .   | 60        |
| 3.2.13.3   | Volume Total . . . . .   | 60        |
| 3.2.14     | Compilando e descarregando o programa no CLP . . . . .   | 61        |
| 3.2.15     | Tela IHM - Interface Homem-Máquina . . . . .   | 62        |
| 3.2.16     | Comunicação com o <i>Factory I/O</i> . . . . .   | 68        |
| <b>4</b>   | <b>PROCESSO DE CALIBRAÇÃO, TESTES E ESPECIFICAÇÕES PARA INSTALAÇÃO DO SENSOR MODELO ENDRESS HAUSER . . . . .</b> | <b>71</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Condição de instalação . . . . .</b>  | <b>71</b> |
| 4.1.1      | Ângulo de feixe . . . . .  | 72        |
| <b>4.2</b> | <b>Antena com montagem <i>flush</i> . . . . .</b>  | <b>73</b> |
| <b>4.3</b> | <b>Conexão elétrica . . . . .</b>  | <b>73</b> |
| 4.3.1      | Esquema de ligação elétrica, 2 fios: 4-20 mA HART . . . . .  | 73        |
| <b>4.4</b> | <b>Comissionamento - Calibração . . . . .</b>  | <b>75</b> |
| 4.4.1      | Alimentação de <i>loop</i> . . . . .   | 75        |
| 4.4.2      | Comissionamento através do menu de operação . . . . .  | 75        |
| <b>5</b>   | <b>CONCLUSÃO . . . . .</b>   | <b>82</b> |
|            | <b>Referências . . . . .</b>   | <b>84</b> |

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Porto Miritituba. . . . .  | 17 |
| Figura 2 – ETC - Estação de Transbordo de Cargas. . . . .                               | 18 |
| Figura 3 – Silo modelo SAG. . . . .   | 20 |
| Figura 4 – Modo de abertura das válvulas. . . . .                                       | 24 |
| Figura 5 – Cone Invertido. . . . .  | 24 |
| Figura 6 – Logística. . . . .   | 26 |
| Figura 7 – Scanner de sólidos em 3D. . . . .  | 28 |
| Figura 8 – Sensor de nível tipo radar. . . . .  | 29 |
| Figura 9 – Temperatura de uma correia em tempo real. . . . .                            | 31 |
| Figura 10 – Nível do castelo de água. . . . .   | 32 |
| Figura 11 – Estrutura do CLP. . . . .   | 34 |
| Figura 12 – Inicialização e ciclo de varredura. . . . .                                 | 35 |
| Figura 13 – Entrada e saída analógica para um CLP. . . . .                              | 36 |
| Figura 14 – Padrão IEC 61131 de linguagens associadas com a programação de CLP. . . . . | 37 |
| Figura 15 – Simbologia ladder e seus similares elétricos. . . . .                       | 38 |
| Figura 16 – Portal de Automação Totalmente Integrado. . . . .                           | 41 |
| Figura 17 – Ambiente de simulação - Factory I/O. . . . .                                | 42 |
| Figura 18 – Micropilot FMR67 Hart. . . . .  | 44 |
| Figura 19 – Silo fundo plano SAG. . . . .   | 46 |
| Figura 20 – Esquema da determinação do ângulo. . . . .                                  | 46 |
| Figura 21 – Simatic S7-1500 1511-1 PN. . . . .  | 50 |
| Figura 22 – Configuração dos módulos de entrada/saída. . . . .                          | 50 |
| Figura 23 – Módulo de entrada AI4 x U/I/RTD/TC 16-bit. . . . .                          | 51 |
| Figura 24 – Configuração do módulo de entrada em 4 a 20mA. . . . .                      | 51 |
| Figura 25 – Endereçamento de entradas e saídas do sistema. . . . .                      | 52 |
| Figura 26 – Escalonar entrada analógica. . . . .  | 54 |
| Figura 27 – Bloco NORM_X. . . . .   | 54 |
| Figura 28 – Bloco SCALE_X. . . . .  | 55 |
| Figura 29 – Parâmetros <i>Function Block</i> . . . . .                                  | 56 |
| Figura 30 – Bloco Norm_X. . . . .   | 56 |
| Figura 31 – Bloco Scale_X. . . . .  | 57 |
| Figura 32 – <i>Function Block</i> . . . . .   | 57 |
| Figura 33 – <i>Function Block</i> na <i>Organization Block</i> . . . . .                | 58 |
| Figura 34 – Parâmetro adicionado para o valor em porcentagem. . . . .                   | 58 |
| Figura 35 – <i>Function Block</i> atualizado com valor em porcentagem. . . . .          | 58 |
| Figura 36 – <i>Organization Block</i> atualizado com valor em porcentagem. . . . .      | 59 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 37 – Bloco com sensor de nível. . . . .  | 59 |
| Figura 38 – Volume do Cone. . . . .   | 60 |
| Figura 39 – Volume do Cilindro. . . . .   | 61 |
| Figura 40 – Volume Total. . . . .   | 61 |
| Figura 41 – <i>Ethernet addresses</i> . . . . .   | 61 |
| Figura 42 – Conexão de Rede. . . . .  | 62 |
| Figura 43 – PLCSIM. . . . .   | 63 |
| Figura 44 – <i>Compile Hardware e Software</i> . . . . .  | 64 |
| Figura 45 – Assistente de comunicação. . . . .  | 65 |
| Figura 46 – Inserindo uma IHM a um projeto. . . . .   | 66 |
| Figura 47 – Conexão entre CLP e IHM. . . . .  | 66 |
| Figura 48 – Tela IHM. . . . .   | 67 |
| Figura 49 – Definição de valores máximos, mínimos e <i>tags</i> associadas. . . . .                   | 67 |
| Figura 50 – Driver Factory I/O. . . . .   | 68 |
| Figura 51 – <i>SET POINT display</i> em comunicação com CLP. . . . .                                  | 69 |
| Figura 52 – Variável de Processo - PV display em comunicação com CLP. . . . .                         | 69 |
| Figura 53 – IHM em conjunto com Factory IO. . . . .   | 70 |
| Figura 54 – Orientação de instalação - Meio sólido. . . . .   | 71 |
| Figura 55 – Relação entre o ângulo do feixe $\alpha$ , a distância D e o diâmetro do feixe W. . . . . | 72 |
| Figura 56 – Diâmetro da largura do feixe W. . . . .   | 72 |
| Figura 57 – Micropilot FMR67 com unidade de alinhamento. . . . .                                      | 73 |
| Figura 58 – Esquema de ligação elétrica, 2 fios: 4-20 mA HART. . . . .                                | 74 |
| Figura 59 – Diagrama de bloco, 2 fios: 4-20 mA HART. . . . .  | 74 |
| Figura 60 – Cabo de acordo com o esquema de ligação elétrica. . . . .                                 | 75 |
| Figura 61 – Fluke 789 ProcessMeter. . . . .   | 76 |
| Figura 62 – Modo de alimentação de <i>loop</i> . . . . .  | 76 |
| Figura 63 – Conexão 4-20 mA. . . . .  | 77 |
| Figura 64 – Ligação elétrica, 2 fios. . . . .   | 78 |
| Figura 65 – Configuração para medição de nível. . . . .   | 79 |
| Figura 66 – Calibração em vazio e cheio. . . . .  | 80 |
| Figura 67 – Obstáculo em aproximadamente 25%. . . . .   | 80 |
| Figura 68 – Valores em porcentagem e mA. . . . .  | 81 |

## LISTA DE TABELAS

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Dimensões do silo. . . . . | 45 |
|---------------------------------------|----|

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|       |   |
|-------|---|
| BIOS  | <i>Basic Input/Output System</i>                |
| CLP   | <i>Controlador Lógico Programável</i>           |
| DC    | <i>Direct Current</i>                           |
| ETC   | <i>Estação de Transbordo de Cargas</i>          |
| FB    | <i>Function Block</i>                           |
| FBD   | <i>Function Block Diagram</i>                   |
| FIFO  | <i>First IN, First OUT</i>                      |
| FMCW  | <i>Frequency Modulated Continuous Wave</i>      |
| HART  | <i>Highway Addressable Remote Transducer</i>    |
| I/O   | <i>Input/Output</i>                             |
| IA    | <i>Inteligência Artificial</i>                  |
| IHM   | <i>Interface Homem-Máquina</i>                  |
| IL    | <i>Instruction List</i>                         |
| IoT   | <i>Internet of Things</i>                       |
| LD    | <i>Ladder</i>                                   |
| LSH   | <i>Level Switch High</i>                        |
| OB    | <i>Organization Block</i>                       |
| PLC   | <i>Programmable Logic Controller</i>            |
| SCADA | <i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> |
| SFC   | <i>Sequential Function Chart</i>                |
| ST    | <i>Structured Text</i>                          |
| TIA   | <i>Totally Integrated Automation Portal</i>     |

# 1 INTRODUÇÃO

A logística de transporte e armazenagem de grãos, como soja e milho, na BR-163 desempenha um papel crucial no setor agrícola brasileiro. A BR-163 é uma importante rodovia que atravessa o país, conectando a região produtora de grãos do Centro-Oeste, como o Mato Grosso, aos portos no Norte do Brasil no Pará, especialmente os portos de Miritituba e Santarém.

A produção agrícola nessas regiões tem crescido rapidamente ao longo dos anos, tornando o transporte e a armazenagem eficientes uma necessidade premente. No entanto, a logística de transporte ao longo da BR-163 enfrentou desafios significativos no passado. A rodovia era conhecida por sua precariedade, com trechos não pavimentados, pontes em más condições e gargalos logísticos. Isso resultava em atrasos no transporte, perdas de carga e altos custos operacionais (ROCHA; SAES, 2018). Para contornar esses desafios, o governo brasileiro e o setor privado investiram na melhoria da sua infraestrutura. Nos últimos anos, houve investimentos em pavimentação, construção de pontes e duplicação de trechos críticos.

A pavimentação dos trechos não asfaltados tem proporcionado maior fluidez e segurança no transporte de cargas ao longo da rodovia. Isso reduz o desgaste dos veículos, diminui o consumo de combustível e permite um fluxo mais rápido e eficiente. Além disso, a pavimentação possibilita a utilização de veículos de maior capacidade, aumentando a escala de transporte e reduzindo o custo unitário por tonelada transportada.

A melhoria da infraestrutura da BR-163 tem sido fundamental para a redução dos custos logísticos e para a otimização do transporte de grãos ao longo dessa rodovia estratégica. O investimento em infraestrutura viária tem proporcionado benefícios significativos para o setor agrícola brasileiro, facilitando o escoamento da produção de grãos e aumentando a competitividade no mercado internacional (AMARAL; TONIAL, 2023).

Com o crescimento da produção agrícola nas regiões produtoras de grãos, como o Mato Grosso e o Pará, a necessidade de armazenamento eficiente e estratégico se tornou ainda mais evidente. Nesse sentido, a construção de silos tem sido uma solução fundamental para atender a essa demanda.

Ao longo da BR-163, como mostra na figura 1, têm sido construídos silos e armazéns próximos à rodovia, visando facilitar o armazenamento temporário da safra de grãos. Essa proximidade permite reduzir o tempo e os custos de transporte entre as áreas produtoras e os locais de armazenamento, além de proporcionar maior agilidade no processo logístico.

Os silos são estruturas especialmente projetadas para armazenar grãos, oferecendo condições adequadas de temperatura, umidade e ventilação (SOUSA, 2024). Esses aspectos

Figura 1 – Porto Miritituba.



Fonte: (BRANDÃO, 2024).

são essenciais para preservar a qualidade dos grãos, evitando perdas e mantendo as características nutricionais e comerciais.

A construção de silos ao longo da BR-163 também proporciona outros benefícios logísticos. Eles permitem a consolidação de cargas, ou seja, a reunião de grãos provenientes de diferentes produtores, facilitando o carregamento dos veículos de transporte. Dessa forma, é possível otimizar o espaço e reduzir os custos com o transporte parcialmente carregado.

Outro aspecto importante é a capacidade de armazenamento dos silos, que permite que os produtores possam estocar a safra e escolher o momento mais adequado para comercialização, evitando a venda em momentos de baixa nos preços. Isso proporciona maior poder de negociação e melhores condições de mercado.

Vale ressaltar que, além dos silos, também têm sido construídos armazéns nas proximidades da BR-163. Esses armazéns funcionam como locais de transbordo e consolidação das cargas, permitindo uma maior eficiência no processo logístico, principalmente quando se trata do transporte de grãos para os portos. Ao longo dessa rodovia, existem diversas empresas que atuam em diferentes setores, contribuindo para o desenvolvimento econômico das regiões por onde passa.

No setor agrícola, encontramos empresas de produção, processamento e comercialização de grãos. Grandes produtores de soja, milho e outros grãos estabeleceram suas

operações ao longo da BR-163 para aproveitar a proximidade com as áreas de produção. Além disso, empresas de insumos agrícolas, como fertilizantes, também estão presentes na região, fornecendo os produtos necessários para o cultivo de grãos.

No ramo de armazenagem, destacam-se empresas que oferecem serviços de armazenamento temporário e de longo prazo de grãos. Esses armazéns e silos estão estrategicamente localizados ao longo da BR-163, permitindo o armazenamento adequado da safra e a consolidação de cargas antes do envio aos destinos finais. Essas empresas garantem a preservação da qualidade dos grãos e contribuem para a redução de perdas durante o processo de armazenagem.

Figura 2 – ETC - Estação de Transbordo de Cargas.



Fonte: De autoria própria.

A figura 2 apresenta informações atualizadas e detalhadas sobre as empresas presentes na região até a data da confecção deste trabalho. A presença de empresas ao longo da BR-163 pode variar de acordo com fatores econômicos e comerciais.

Dado os fatos mencionados, observa-se que o armazenamento de grãos é uma etapa crucial na cadeia produtiva agrícola, sendo fundamental para garantir a qualidade e a quantidade dos produtos agrícolas disponíveis no mercado. Nesse contexto, o monitoramento do nível dos grãos em silos é uma prática essencial para gerenciar adequadamente o armazenamento e evitar perdas.

O uso de tecnologias avançadas, como sensores radar e sistemas de automação, torna-se cada vez mais importante para melhorar a eficiência operacional e reduzir os custos. (BHS, 2024) destaca que a adoção dessas tecnologias permite uma melhor gestão de recursos, otimização de processos e aumento da produtividade industrial.

Desse modo, o presente trabalho abordará a programação do sensor radar Micropilot FMR67 Hart no Controlador Lógico Programável (CLP) utilizando a linguagem ladder. Este sensor opera com tecnologia de radar, que permite medições precisas de nível, mesmo

em condições desafiadoras como poeira, umidade e variações de temperatura. O Micropilot FMR67 funciona emitindo ondas eletromagnéticas que refletem na superfície do material armazenado no silo e retornam ao sensor. Com base no tempo que essas ondas levam para retornar, o sensor calcula a distância até a superfície do material, permitindo assim a medição precisa do nível dos grãos.

Com a leitura realizada, é possível estimar o volume de grãos presente no silo. A programação no CLP utilizando a linguagem ladder facilita a integração e o controle dessas medições, permitindo a automação do monitoramento e controle dos níveis de grãos de maneira eficiente.

A expectativa deste trabalho é demonstrar como a combinação do sensor radar Micropilot FMR67 Hart com a programação ladder no CLP pode melhorar significativamente a gestão de estoques de grãos, aumentando a precisão das medições, reduzindo desperdícios e melhorando a eficiência operacional das instalações de armazenamento.

Este trabalho será dividido em fundamentação teórica, projeto e simulação do sistema, processo de calibração, testes e especificações para instalação do sensor modelo Endress Hauser.

## 1.1 Problematização

A estimativa do volume de grãos nos silos é um problema crucial na logística de estocagem de grãos, pois o conhecimento preciso dessa variável otimiza a gestão de estoques, a programação de transportes e a alocação de recursos. Uma medição precisa do volume de grãos permite uma melhor tomada de decisão, redução de perdas e aumento da eficiência operacional.

No processo industrial que é objeto de estudo deste trabalho, a estimativa do volume é realizada de modo empírico. Tipicamente, o colaborador utiliza uma escada caracol para verificar chapa a chapa e conferir o volume. Quando a chapa produz um barulho "diferente" ao ser tocada, o colaborador sabia que naquela área não havia produto, permitindo uma estimativa do volume dentro do silo. Esse método, embora funcional, é suscetível a erros humanos e apresenta riscos à segurança dos colaboradores. Além disso, não proporciona uma medição contínua e precisa do volume dos grãos.

A introdução de tecnologias avançadas, como o sensor radar Micropilot FMR67 Hart, pode oferecer uma solução mais precisa e segura para a medição do volume de grãos nos silos, eliminando a necessidade de métodos empíricos e melhorando a eficiência e a precisão do processo de estocagem.

A figura 3 refere-se ao modelo de silo de base reta utilizado no estudo. Este modelo ilustra a estrutura típica de um silo de armazenamento de grãos, que é comum em operações de estocagem agrícola e industrial. O silo é equipado com diversas chapas

que permitem a verificação do volume de grãos armazenados. Na metodologia tradicional, descrita anteriormente, os colaboradores utilizam uma escada caracol para inspecionar chapa a chapa, verificando o som produzido ao bater na chapa para determinar a presença de grãos, entretanto, com o decorrer do tempo, esta escada começou a se deteriorar, ocasionando possíveis riscos aos colaboradores.

Figura 3 – Silo modelo SAG.



Fonte: (UNI-ANPEX..., 2024).

Atualmente, para saber o volume dentro do silo, o controle de estoque é feito manualmente através de uma planilha, visando o volume e a qualidade do grão, porém, os dados inseridos diariamente não são confiáveis, devido à não automatização do processo.

Para aprimorar o monitoramento do controle de estoque do silo, este trabalho apresenta um projeto de instalação de um sensor de radar de onda livre, controlado por um Controlador Lógico Programável (CLP) programado na linguagem Ladder. A implementação desta tecnologia visa proporcionar uma medição precisa e automatizada do volume de grãos armazenados, aumentando a eficiência operacional e a confiabilidade dos dados de estoque.

## 1.2 Objetivo Geral

O propósito deste projeto é supervisionar o armazenamento de grãos em uma empresa situada no oeste do Pará. Para essa finalidade, está sendo empregado o sensor radar Micropilot FMR67, conhecido por sua extensa aplicação na indústria para medição precisa de níveis de líquidos e sólidos em tanques e silos. Este dispositivo se destaca pela sua confiabilidade e facilidade de integração com sistemas de automação, conforme descrito por Endress+Hauser (ENDRESS+HAUSER, 2018).

A programação do sensor no CLP será feita utilizando a linguagem ladder para monitorar o volume de grãos armazenados no silo, considerando a leitura de 4 a 20 mA.

Essa abordagem permitirá que o sistema automatizado ajuste com precisão as medições de nível conforme as variações no volume de grãos, garantindo um controle eficiente e otimizado do processo de armazenamento.

A linguagem ladder é uma das linguagens mais utilizadas para programação de CLPs, sendo baseada em diagramas elétricos e permitindo fácil leitura e entendimento por parte dos técnicos envolvidos (BOLTON, 2009). Ela utiliza símbolos gráficos para representar as operações lógicas e de controle, facilitando a implementação de lógica de controle complexa, como no caso do monitoramento do sensor radar Micropilot FMR67 para o armazenamento de grãos. Essa abordagem não apenas simplifica a programação, mas também aumenta a eficiência na manutenção e no diagnóstico de falhas do sistema automatizado.

Além disso, o trabalho aborda a comunicação dos dados coletados pelo sensor para um sistema centralizado de controle e supervisão, permitindo o monitoramento em tempo real do volume de grãos armazenados no silo. Essa integração é fundamental para garantir a eficiência na gestão dos recursos e proporcionar maior controle sobre os processos envolvidos no armazenamento de grãos.

Em suma, este Trabalho de Conclusão de Curso busca contribuir para a área de Engenharia e Automação ao apresentar uma solução prática e eficiente para a programação do sensor radar utilizando a linguagem ladder. A pesquisa realizada visa fornecer uma base sólida para futuros estudos e aplicações relacionadas à automação na indústria de armazenamento de grãos.

### 1.3 Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho será dividida em quatro etapas principais: revisão bibliográfica, simulação do sistema, programação do sensor no CLP e análise dos resultados.

A primeira etapa envolve uma revisão bibliográfica e pesquisa sobre os conceitos fundamentais relacionados ao tema, como o funcionamento do sensor, os princípios da linguagem ladder e a utilização do ambiente de simulação. Essa revisão permitirá uma compreensão mais profunda do assunto e fornecerá as informações necessárias para desenvolver a programação adequada.

Na segunda etapa, serão apresentadas as caracterizações técnicas do sensor e do silo onde será instalado, além disso, realizada a programação utilizando a linguagem ladder no ambiente de simulação Tia Portal e a comunicação com o Factory I/O, o qual, é um ambiente virtual de simulação com cenas projetadas para simular a leitura do sensor durante a vazão do produto no silo. A programação deve ser desenvolvida de acordo com as especificações técnicas do sensor e as necessidades específicas da aplicação em questão

(monitoramento do volume de grãos armazenados no silo).

A terceira etapa envolve a realização de testes e simulações para verificar se a programação desenvolvida está funcionando corretamente e atendendo às necessidades do projeto. Isso inclui testar a comunicação entre o sensor radar, o CLP e o sistema centralizado de controle e supervisão (IHM - Interface Homem-Máquina), bem como verificar se os dados coletados pelo sensor estão sendo processados corretamente pelo CLP (ZURAWSKI, 2014).

Na quarta etapa, os dados coletados durante os testes serão analisados para determinar a eficácia da programação desenvolvida. Isso pode incluir a análise de desempenho do sistema em termos de tempo de resposta, precisão na medição do volume de grãos armazenados no silo e confiabilidade na comunicação dos dados coletados para o sistema centralizado de controle e supervisão (ZINI et al., 2022).

Por fim, com base nos resultados obtidos nas etapas anteriores, serão propostas melhorias e ajustes na programação do CLP e IHM, se necessário. Além disso, serão discutidas as implicações práticas da implementação dessa solução em um ambiente real de armazenamento de grãos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 O armazenamento de grãos em silos

Os grãos são seres vivos que respiram, consumindo oxigênio e liberando água, calor e gás carbônico (ELIAS; OLIVEIRA; VANIER, 2017). Por isso, o objetivo da armazenagem deve ser manter o padrão inicial de qualidade dos grãos. Não é possível melhorá-la durante a armazenagem, exceto quando se misturam lotes de diferentes qualidades.

Para termos a melhor conservação possível, temos que minimizar as condições de metabolismo dos grãos. Quanto mais úmido e quente, mais rápido será o metabolismo dos grãos, além de permitir o desenvolvimento de fungos e insetos (TECNOLOGIAS..., 2018).

Para gerar uma boa gestão de estoque, é importante controlar as entradas e saídas dos produtos. A unidade segue a metodologia FIFO (First IN, First OUT), ou seja, o primeiro que entra, é o primeiro que sai. Este modelo é utilizado em estoques onde o produto possui um prazo de validade de mediano a longo prazo, priorizando a expedição das cargas que chegaram primeiro, sem considerar a validade do produto em estoque (SEMBIRING et al., 2019).

Os procedimentos de monitoramento e estocagem devem ser seguidos enquanto houver produto no silo. Semanalmente, as condições de armazenagem devem ser informadas no relatório operacional. Tanto o carregamento dos silos quanto sua descarga devem acontecer de forma uniforme, com verificação do processo e seu enchimento deve ser feito somente até a atuação do sensor e nível alto (LSH).

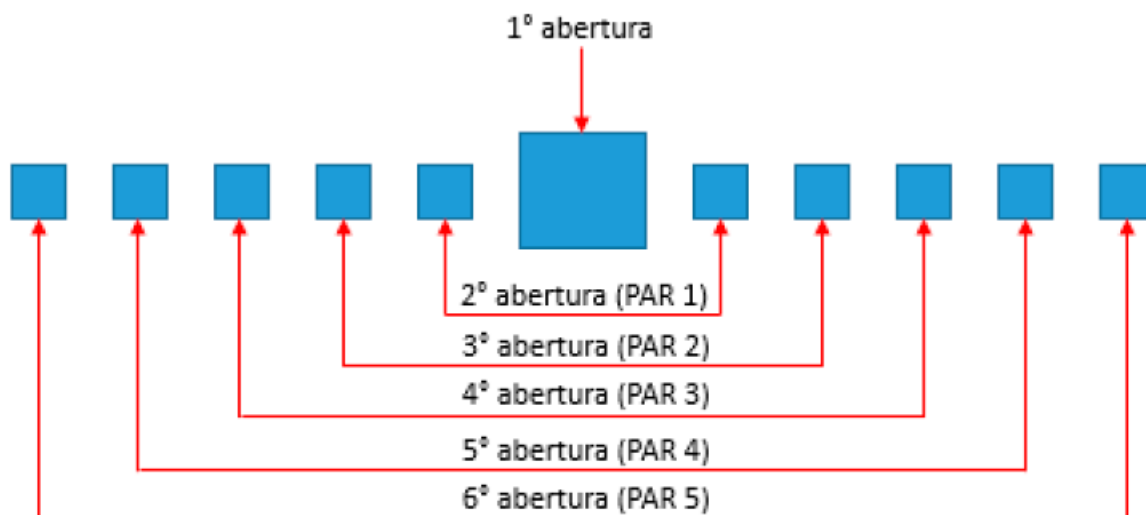
A unidade possui três silos metálicos verticais de base plana, cada um com capacidade de 18.000 (dezoito mil) toneladas, que foram calculados e projetados para armazenagem de produtos granulares.

Para descarga de produto, sempre deverá ser iniciada pela válvula central (principal). Como mostra a figura 4, após a válvula central perder gravidade, é iniciado a retirada de produto pelas válvulas 5 e 7, 4 e 8, 3 e 9, 2 e 10, 01 e 11 (secundárias), abrindo o registro de forma igual para não sobrecarregar o equipamento de descarga e transporte.

Deve ser verificado constantemente a maneira com que o silo está sendo descarregado, observando se a operação está acontecendo de forma uniforme formando um cone invertido no centro do silo, como a figura 5.

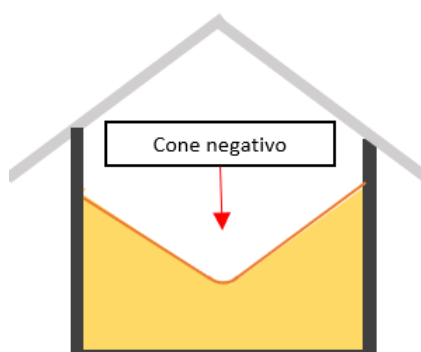
É importante que não seja formado desníveis dentro do silo e que não seja descarregado mais de um lado que outro. Essas práticas são essenciais para garantir a segurança e a estabilidade durante o processo de descarregamento de grãos ou silagem. Eles também

Figura 4 – Modo de abertura das válvulas.



Fonte: De autoria própria.

Figura 5 – Cone Invertido.



Fonte: De autoria própria.

evitam acidentes e garantem que os materiais armazenados sejam distribuídos uniformemente. Ao descarregar o silo, é importante manter a integridade estrutural e a eficiência operacional do processo de armazenamento mantendo a distribuição equitativa dos grãos ou silagem.

A descarga excêntrica de silos envolve a liberação não central de materiais granulares das estruturas de armazenamento, de acordo com os contextos de pesquisa fornecidos. Esse padrão de descarga pode causar problemas estruturais porque há pressões não uniformes ao redor das paredes do silo, que podem causar falhas ou deformações (MAITI *et al.*, 2016) (SAGARNAGA, 2014). Isso enfatiza a importância de entender a distribuição assimétrica da pressão para a integridade e o projeto estrutural (ZHU *et al.*, 2012).

Além dos itens mencionados acima, deve-se esvaziar e limpar os silos a cada 20

a 30 dias (em média), visando garantir segurança de operação e, por consequência, boa qualidade de grãos no embarque. A periodicidade evita que se formem no interior dos silos bolsões de produtos empedrados ou descarga excêntrica.

## 2.2 Problemática

Para gerar uma boa gestão de estoque é necessário saber o volume armazenado nos silos, assim, permitindo o controle eficaz das entradas e saídas dos produtos. Essa prática possibilita uma gestão mais precisa e eficiente do estoque, garantindo o monitoramento adequado da quantidade de grãos armazenados e facilitando o planejamento das operações de armazenagem e distribuição (DAMIANI, 2023). Ao ter acesso ao volume armazenado nos silos, os gestores podem tomar decisões embasadas em informações concretas, evitando desperdícios, otimizando o espaço de armazenamento e garantindo a disponibilidade dos produtos conforme a demanda .

A figura 6 mostra um diagrama da logística, o qual, no planejamento da logística de grãos, desde a produção até a entrega final aos clientes, algumas das principais atividades nesta fase incluem: Previsão da demanda e produção de grãos, determinação das necessidades de armazenagem e transporte, seleção dos modais de transporte mais adequados, entre outros.

O gerenciamento de pedidos é crucial para garantir a eficiência da cadeia logística de grãos, algumas atividades-chave nesta etapa são: Recebimento e processamento de pedidos dos clientes, verificação da disponibilidade de estoque, separação e expedição dos pedidos e emissão de documentos fiscais e de transporte.

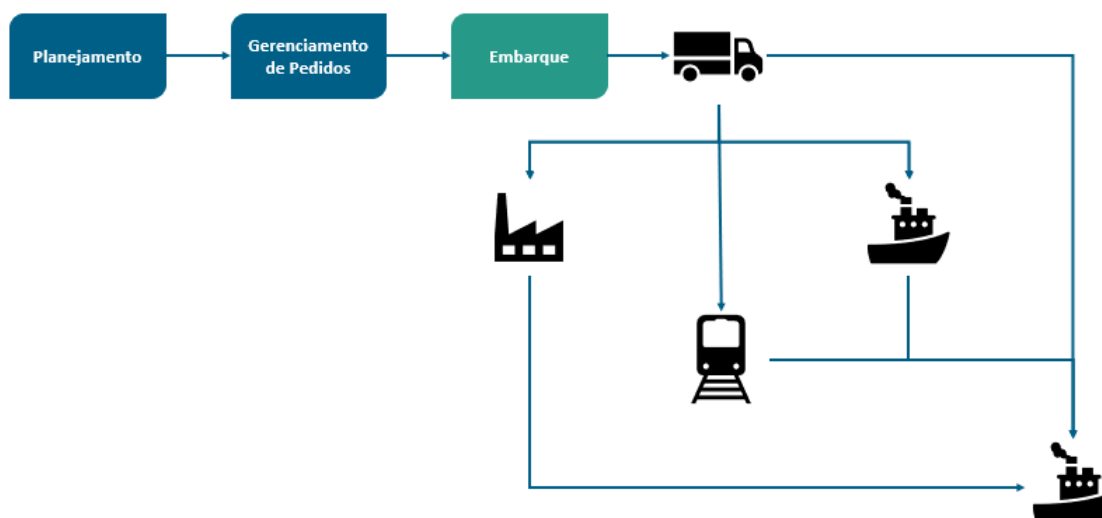
O embarque e transporte são etapas fundamentais para o escoamento da produção de grãos. Algumas ações importantes incluem: Carregamento dos grãos nos veículos de transporte, escolha do modal de transporte mais adequado (rodoviário, ferroviário, hidroviário), contratação de transportadoras e motoristas, monitoramento do transporte até a entrega final e descarregamento e entrega dos grãos aos clientes.

Esses processos devem ser integrados e gerenciados de forma eficiente para garantir a entrega dos grãos no momento certo, na quantidade correta e com a qualidade esperada pelos clientes (PIRES, 1998). O uso de tecnologias como sistemas de informação, rastreamento de veículos e automação pode aprimorar a gestão da logística de grãos.

Este controle é usado para termos a visão do realizado e previsão de execução por fluxo, com informações de volume carregado e a carregar, volume recebido e a receber, saída de barcaças e previsão de saídas, estoque atual e previsão de futuro.

Com esse controle conseguimos ver o que foi realizado em cada fluxo e o que será realizado mostrando o real cenário com o que devemos/podemos executar na origem, e se é necessária alguma ação para atender o programa. Assim, otimizando o uso dos nossos

Figura 6 – Logística.



Fonte: De autoria própria.

ativos e eliminar gargalos operacionais, fornecendo aos times operacional e logística uma prescrição do que receber e embarcar nas unidades. Maximizando o recebimento de grãos, e otimizando o uso dos espaços de armazenamento.

Visto a importância do controle do estoque dos silos, faz-se necessário o monitoramento do volume dos grãos para a cadeia logística. Entretanto, atualmente este controle é feito via planilha em Excel, onde são adicionados diariamente o volume de cada caminhão que entra no terminal. Além desta planilha, também é usada outra onde é adicionada a qualidade da carga e para qual silo ela irá, porém, os dados são inseridos manualmente, onde geralmente há erros, como por exemplo, a placa do caminhão (método utilizado para cruzar as duas planilhas).

Para obter uma maior precisão do volume estocado, neste trabalho será abordado o uso do sensor radar de onda livre Micropilot FMR67 HART destinado à medição de sólidos à granel. Este tipo de sensor é uma entre as diversas tecnologias utilizadas neste processos que serão abordadas a seguir.

### 2.3 Soluções tecnológicas utilizadas

Com o avanço da tecnologia, várias soluções têm sido desenvolvidas para medir o volume de sólidos armazenados em silos. Essas soluções oferecem uma maneira precisa e eficiente de medir o volume dentro de um silo, permitindo que os operadores gerenciem melhor o estoque e planejem a logística.

Uma das soluções mais comuns é o uso de sensores de nível. Esses sensores são instalados dentro do silo e medem a altura do material armazenado em relação ao fundo

do silo. Esses dados são então usados para calcular o volume do material. Existem vários tipos de sensores de nível, como sensores ultrassônicos, de radar e de pressão. Cada tipo de sensor tem suas próprias vantagens e desvantagens, e a escolha depende do tipo de material armazenado, das condições ambientais e do orçamento disponível.

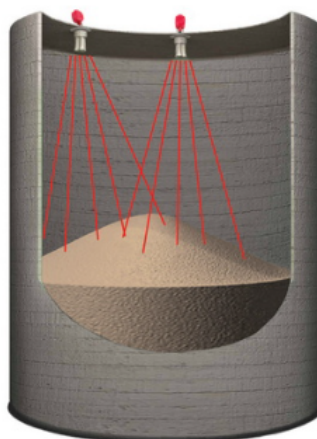
Alguns dos tipos mais comuns são:

- Sensores de nível ultrassônicos: esses sensores emitem ondas sonoras de alta frequência que são refletidas na superfície do material. A partir do tempo de retorno dessas ondas, é possível medir a distância entre o sensor e o material e, assim, calcular o nível do material no silo (PEPPERL+FUCHS, 2015). Esses sensores são precisos e não são afetados pelas propriedades do material, mas podem ser prejudicados por condições atmosféricas, como ventos fortes e chuva e também pelo ambiente empoeirado.
- Sensores de nível por radar: esses sensores emitem ondas eletromagnéticas que são refletidas na superfície do material (BINDICATOR, 2013). A partir do tempo de retorno dessas ondas, é possível medir a distância entre o sensor e o material e, assim, calcular o nível do material no silo. Esses sensores são precisos e não são afetados pelas condições atmosféricas, além disso, o medidor de nível de radar pode, com alta frequência, funcionar bem em ambientes empoeirados (INSTRUMENTS, 2017).
- Sensores de nível por pressão: esses sensores medem a pressão hidrostática do material no fundo do silo. A partir dessa medida, é possível calcular o nível do material no silo. Entretanto, eles podem ser sensíveis a variações de temperatura, o que pode afetar a precisão das medições, além disso, os sensores de pressão exigem calibração regular para manter a precisão das medições ao longo do tempo. Embora os sensores de pressão possam ser utilizados para medir a pressão de sólidos em algumas situações, eles são mais comumente recomendados e eficazes para medições de líquidos, onde oferecem precisão, sensibilidade e compatibilidade adequadas (CHEAYTANI, 2018).

Outra solução é o uso de scanners 3D, como mostrado na figura 7, esses scanners usam tecnologia de imagem para criar um modelo 3D do material armazenado no silo. Os dados de imagem são então usados para calcular o volume do material (GRUNN, 2022). Essa solução é particularmente útil para materiais que são difíceis de medir com sensores de nível, como materiais em pó ou granulados.

Além disso, há também as soluções baseadas em software que usam modelos matemáticos para calcular o volume do material com base em dados de entrada, como as dimensões do silo e a densidade do material armazenado. Essa solução é particularmente útil para silos com formatos complexos ou para materiais com propriedades desconhecidas.

Figura 7 – Scanner de sólidos em 3D.



Fonte: (GRUNN, 2022).

Independentemente da solução escolhida, é importante lembrar que a precisão da medição depende da calibração correta dos dispositivos e da manutenção adequada dos equipamentos. Além disso, a escolha da solução certa depende do tipo de material armazenado, das condições ambientais e dos requisitos específicos do negócio.

Em resumo, existem várias soluções tecnológicas disponíveis para medir o volume dentro de um silo. A escolha da solução certa depende do tipo de material armazenado, das condições ambientais e dos requisitos específicos do negócio. Com a solução certa, é possível gerenciar melhor o estoque, planejar a logística e aumentar a eficiência do processo.

## 2.4 Sensor radar

Os sensores de radar são amplamente utilizados para medir o nível de material dentro de silos (FREITAS, 2013). Esses sensores são baseados em ondas eletromagnéticas que são emitidas pelo sensor e refletidas na superfície do material, permitindo a medição precisa da altura do material dentro do silo (BINDICATOR, 2013), a partir do tempo que leva para os pulsos retornarem, e assim, é possível calcular a distância entre o sensor e a superfície do material para determinar o nível de enchimento do silo, sendo esta a tecnologia explorada neste trabalho.

Em um silo, o sensor de radar é instalado na parte superior e direcionado para a superfície do material armazenado, como é apresentado na figura 8 abaixo.

Um dos principais benefícios dos sensores de radar é sua capacidade de medir o nível do material com alta precisão, mesmo em condições adversas, como poeira, névoa ou vapores (WEBER, 2021). Além disso, são especialmente úteis em silos com grandes diâmetros e alturas, pois podem medir a altura do material em qualquer ponto do silo,

Figura 8 – Sensor de nível tipo radar.



Fonte: (BINDICATOR, 2013).

independentemente da localização do sensor. Isso permite uma medição precisa e confiável do nível de material, sem a necessidade de vários sensores instalados em diferentes pontos do silo.

Outra vantagem dos sensores de radar é sua capacidade de detectar diferentes materiais, como líquidos, grãos, pós e outros sólidos a granel. Isso torna os sensores de radar altamente versáteis e adequados para uma ampla variedade de aplicações industriais.

Os sensores de radar são uma excelente opção para medir o nível de materiais em silos que possuem pó em suspensão, pois são capazes de contornar os desafios enfrentados por outros tipos de sensores nesse ambiente. Essa solução oferece diversas vantagens em relação a outros tipos de sensores, como mostram os estudos realizados na área (CHEAYTANI, 2018).

Em silos com pó em suspensão, os sensores ópticos, ultrassônicos ou capacitivos podem enfrentar dificuldades para realizar a medição devido à interferência das partículas no caminho do feixe ou onda sonora. Já os sensores de radar, que operam com ondas eletromagnéticas, não são afetados pelo pó em suspensão, pois as ondas passam diretamente através das partículas.

Ao comparar o desempenho de diferentes tipos de sensores para medir o nível de materiais em um silo com pó em suspensão, vários trabalhos de pesquisa fornecem informações sobre vários sensores de nível. Esses estudos destacam coletivamente a ampla gama de tecnologias de sensores disponíveis para medir com precisão o nível de materiais empoeirados em silos, cada uma com suas vantagens e aplicações exclusivas. Portanto, com base nas informações fornecidas nas referências neste trabalho, o sensor de radar é a melhor opção para medir o nível de material em silos com pó em suspensão, oferecendo resistência, precisão e confiabilidade mesmo em condições ambientais desafiadoras.

Tendo como exemplo, o sensor ultrassônico que emitem ondas sonoras de alta frequência e medem o tempo de retorno do eco para calcular a distância entre o sensor e o nível do sólido no silo. No entanto, quando se trata de ambientes que possam formar espuma ou libertar poeiras, os sensores ultrassônicos podem enfrentar alguns desafios, como por exemplo, o pó em suspensão pode absorver e dispersar as ondas sonoras, resultando em reflexões imprecisas ou atenuadas, o que pode levar a leituras inconsistentes ou incorretas do nível do sólido. Além disso, é necessário realizar limpezas periódicas para garantir um desempenho adequado, caso contrário, pode afetar a qualidade das medições.

Em contra partida, os sensores radar oferecerem resistência à interferência do pó e menor necessidade de manutenção, uma vez que são menos propensos ao acúmulo de pó. Outra vantagem dos sensores de radar é que eles não requerem contato físico com o material armazenado. Isso significa que não há risco de contaminação do material ou danos ao sensor, como pode ocorrer com outros tipos de sensores.

Além disso, os sensores de radar são capazes de medir o nível de materiais em silos de grande altura, o que pode ser um desafio para outros tipos de sensores, e também, podem ser integrados a sistemas de controle e automação, permitindo o monitoramento remoto do nível de materiais em tempo real. Em suma, os sensores de radar são uma ótima opção para medir o nível de materiais em silos com pó em suspensão.

## 2.5 Automação e Instrumentação

A automação e a instrumentação são duas áreas distintas da engenharia, mas estão diretamente relacionadas ao controle e monitoramento de processos industriais. A instrumentação é responsável pela seleção, instalação, calibração e manutenção de instrumentos de medição utilizados para monitorar variáveis físicas e químicas, como temperatura, pressão, vazão, nível, entre outras. Esses instrumentos fornecem informações precisas e confiáveis sobre o processo, permitindo o controle e otimização das operações (NEPIN, 2024). Já a automação é responsável pela seleção e integração de diferentes tecnologias, como sensores, controladores, sistemas de supervisão e controle, sistemas de aquisição de dados e sistemas programáveis, para controlar e monitorar processos industriais e sistemas automatizados. A automação envolve o desenvolvimento de algoritmos e programas que possibilitam a tomada de decisões automatizadas em tempo real, sem a necessidade de intervenção humana (NEVES, 2024).

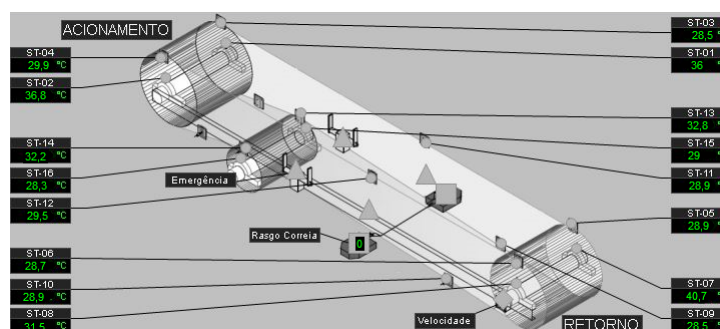
Portanto, a instrumentação é uma parte importante da automação, pois fornece informações precisas sobre o processo que são utilizadas pelos sistemas de automação para controlar e monitorar as operações (NEPIN, 2024). A instrumentação é responsável pela coleta de dados, enquanto a automação é responsável pelo processamento e tomada de decisões com base nesses dados.

Em alguns casos, os termos "automação" e "instrumentação" são utilizados de forma intercambiável, mas é importante entender que são áreas distintas da engenharia com objetivos diferentes, embora complementares. Ambas são essenciais para o controle e monitoramento eficiente e seguro de processos industriais.

Entretanto, a automação e instrumentação são áreas que visam otimizar a operação de sistemas, processos e equipamentos industriais, através da utilização de tecnologias de controle, monitoramento e medição (MANESIS; NIKOLAKOPOULOS, 2018). A automação tem como objetivo principal substituir a intervenção humana em tarefas repetitivas, perigosas e de alto custo (RAJAWAT et al., 2021), enquanto a instrumentação é responsável pela medição de variáveis físicas e químicas, como temperatura, pressão, vazão e nível, com o intuito de controlar e monitorar o processo industrial.

Um exemplo de automação e instrumentação em um processo industrial é a utilização de sistemas de controle para garantir que a temperatura, a pressão e outros parâmetros sejam mantidos dentro de limites seguros e ideais para a produção. Esses sistemas podem ser programados para monitorar e ajustar automaticamente as variáveis de processo, reduzindo a intervenção manual e aumentando a precisão e a eficiência. Como exemplo, na figura 9 faz-se o uso de sistemas de automação industrial, que permitem o monitoramento contínuo e em tempo real da temperatura e do desalinhamento das correias, contribuindo para a eficiência operacional e a prevenção de falhas nos equipamentos.

Figura 9 – Temperatura de uma correia em tempo real.

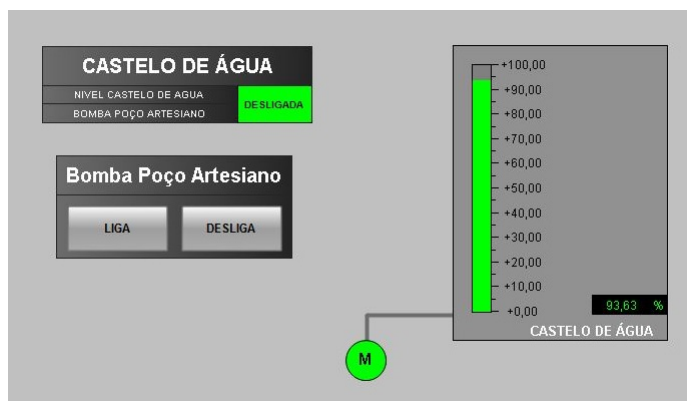


Fonte: De autoria própria.

Outro exemplo é a utilização de sensores e medidores para monitorar o nível de líquidos e sólidos em tanques e silos, como na figura 10. Esses dispositivos podem fornecer informações em tempo real sobre o volume do material armazenado, permitindo o controle preciso do processo de produção e a redução de desperdícios.

A aplicação de automação e instrumentação tem sido amplamente difundida nas indústrias química, petroquímica, farmacêutica, alimentícia, entre outras, sendo considerada essencial para garantir a segurança, eficiência e qualidade dos produtos e processos. As principais vantagens da automação e instrumentação incluem:

Figura 10 – Nível do castelo de água.



Fonte: De autoria própria.

- Redução de custos: a automação e instrumentação podem reduzir os custos operacionais e de produção, através da eliminação de desperdícios e da otimização do consumo de energia e matéria-prima.
- Aumento da produtividade: ao substituir a intervenção humana por sistemas automatizados, é possível aumentar a produtividade, reduzir os tempos de parada e aumentar a disponibilidade do equipamento.
- Qualidade do produto: a instrumentação pode monitorar os parâmetros de qualidade do produto, garantindo que ele atenda aos requisitos de especificação.
- Segurança do trabalho: a automação pode eliminar tarefas perigosas e reduzir o risco de acidentes de trabalho, aumentando a segurança dos trabalhadores.

Entre as tecnologias de automação e instrumentação mais utilizadas nas indústrias, destacam-se:

- Sensores: dispositivos responsáveis pela medição de variáveis físicas e químicas, como temperatura, pressão, vazão e nível.
- Controladores: equipamentos que controlam a operação do processo, regulando as variáveis medidas pelos sensores.
- Sistemas de supervisão e controle: plataformas que monitoram o processo e permitem a visualização e o controle remoto dos equipamentos e variáveis de processo.
- Sistemas de aquisição de dados: dispositivos que coletam e armazenam as informações geradas pelos sensores, possibilitando o monitoramento e análise dos dados do processo.

- Sistemas de automação programável (PLC): equipamentos que executam funções lógicas, controlando o processo industrial através de algoritmos e programas desenvolvidos por engenheiros especializados.
- Sistemas SCADA: sistemas de supervisão, controle e aquisição de dados, que permitem a integração dos equipamentos e processos em um ambiente centralizado.

A automação é uma área essencial para a indústria moderna, que busca cada vez mais a otimização dos processos produtivos (SINGH, 2012). As tecnologias de automação estão em constante evolução, com a adoção de novas tecnologias, como a Internet das Coisas (IoT) e a Inteligência Artificial (IA), permitindo a criação de soluções cada vez mais eficientes e inovadoras (VINOD et al., 2016).

O processo de armazenamento de grãos em silos depende de instrumentação e automação para garantir segurança, eficácia e qualidade. Instrumentos de medição e sensores fornecem dados precisos sobre essas variáveis em tempo real, permitindo um controle rigoroso do processo. Por sua vez, esses dados são usados pela automação para controlar e otimizar o processo de armazenamento de forma independente. Ao reduzir a necessidade de intervenção humana, sistemas automatizados podem ativar alarmes e fazer decisões com base em parâmetros pré-definidos.

## 2.6 Controlador Lógico Programável (CLP)

O Controlador Lógico Programável (CLP) é um dispositivo eletrônico programável utilizado no controle e monitoramento de processos industriais (CARVALHO, 2017). Ele foi desenvolvido na década de 1970 para substituir os sistemas de controle baseados em relés, que eram menos flexíveis e mais difíceis de manter.

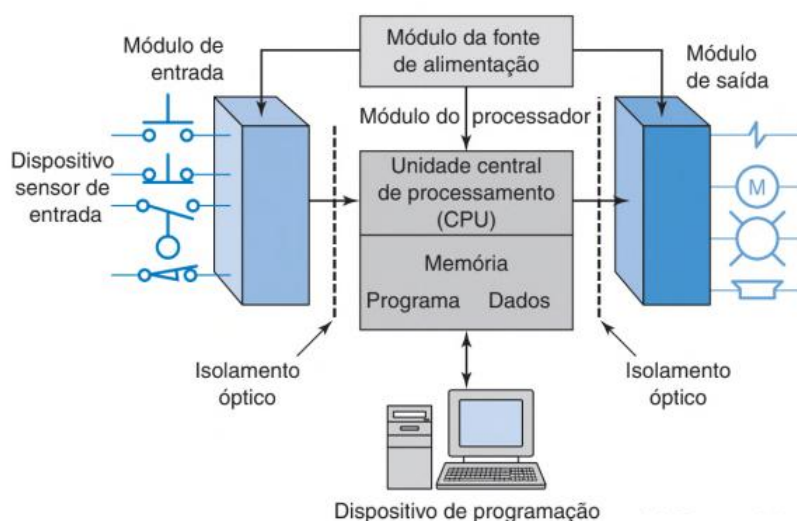
Uma das principais vantagens do Controlador Lógico Programável (CLP) é a sua flexibilidade e capacidade de ser programado para realizar diversas funções. Ele pode ser programado para monitorar as entradas do processo, processar as informações e ativar as saídas correspondentes. Além disso, o CLP é capaz de executar operações complexas de controle, como lógica *booleana*, temporização e sequenciamento de eventos (PETRUZELLA, 2014).

Outra vantagem do CLP é a sua capacidade de trabalhar em ambientes industriais adversos, como temperaturas extremas, vibrações e interferências eletromagnéticas. Isso o torna uma opção ideal para aplicações industriais. No entanto, é importante destacar que o CLP deve ser utilizado por profissionais qualificados e treinados para garantir a segurança e eficiência do processo controlado.

O CLP pode ser dividido em partes, como mostra a figura 11, é composto por uma unidade central de processamento (CPU), memória, entradas e saídas (E/S) e um software

de programação. Ele pode ser utilizado para controlar uma ampla variedade de processos, como a automação de máquinas, sistemas de aquecimento e resfriamento, sistemas de bombeamento, sistemas de embalagem, entre outros.

Figura 11 – Estrutura do CLP.



Fonte: (PETRUZELLA, 2014).

Durante o funcionamento do Controlador Lógico Programável (CLP), ocorre uma sequência de operações denominada ciclo de varredura (ZANCAN, 2016). A figura 12 descreve o modo de execução de um CLP. Ao ser ligado, um programa semelhante à BIOS (*Basic Input/Output System*) de um computador, o qual, é responsável por diversas funções essenciais durante o processo de inicialização e funcionamento do sistema, realiza uma verificação geral de vários itens, como o reconhecimento dos módulos de entradas e saídas conectados ao CLP e o estado da memória, verificando se existe um programa de usuário instalado.

Esse processo de inicialização, também conhecido como *boot*, é responsável por verificar se todo o hardware (parte física do CLP) está em condições adequadas e se há um programa de usuário instalado. Caso essas condições sejam atendidas, o programa de inicialização dá início ao programa do usuário, iniciando assim o ciclo de varredura.

O ciclo de varredura consiste em uma sequência repetitiva de etapas. Primeiramente, o CLP verifica o estado das entradas e saídas, realizando a leitura e armazenando essa informação na memória, criando uma imagem das entradas e saídas. Em seguida, ocorre a comparação dessa imagem com o programa do usuário, verificando se existem diferenças entre os estados lógicos esperados e os estados lidos das entradas.

Caso seja identificada alguma diferença entre a imagem armazenada e o programa do usuário, o CLP atualiza as saídas correspondentes para corrigir essa discrepância. Esse

processo ocorre de forma contínua e repetitiva, garantindo que o CLP esteja constantemente monitorando e controlando o estado das entradas e saídas de acordo com o programa de usuário.

Figura 12 – Inicialização e ciclo de varredura.



Fonte: (ALIEVI, 2008).

### 2.6.1 Entradas e Saídas

As entradas são as interfaces que permitem ao Controlador Lógico Programável (CLP) receber informações sobre o processo, sendo responsáveis por receber os sinais provenientes de diversos dispositivos de monitoramento, como botoeiras, contatos de relés e sensores (PETRUZELLA, 2014). Esses dispositivos fornecem um retorno de informação ao CLP, permitindo que ele acompanhe e controle o processo de maneira adequada.

Existem dois tipos principais de entradas: digitais e analógicas. As entradas digitais recebem sinais que podem ter apenas dois estados, geralmente representados como "ligado" ou "desligado". Já as entradas analógicas são capazes de receber sinais que variam em uma faixa contínua de valores, como tensão ou corrente.

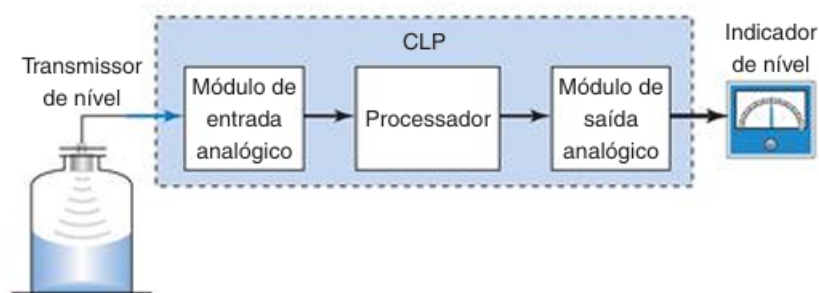
Além disso, as entradas podem ser classificadas como internas ou externas. As entradas externas são aquelas em que o CLP recebe sinais provenientes de sensores ou dispositivos externos ao próprio CLP. Por outro lado, as entradas internas são aquelas que recebem sinais de outros componentes internos do CLP, como contatos de temporizadores ou saídas de outros módulos internos.

As saídas são as interfaces por meio das quais o Controlador Lógico Programável (CLP) pode alimentar uma carga, realizando o acionamento de dispositivos externos (PETRUZELLA, 2014). Assim como as entradas, as saídas podem ser classificadas como digitais ou analógicas, dependendo do tipo de sinal que é fornecido.

As saídas externas são responsáveis por comandar dispositivos externos ao CLP, como motores e atuadores. O CLP envia um sinal elétrico para esses componentes externos, controlando seu funcionamento de acordo com a lógica programada. Por outro lado, as saídas internas correspondem a elementos internos do CLP, como um temporizador interno.

O uso de módulos de entrada e saída analógicos para medir e monitorar o nível de fluido em um tanque é ilustrado na figura 13. O módulo de interface de entrada analógica contém os circuitos necessários para receber um sinal de tensão ou corrente analógica de um dispositivo de campo transmissor de nível. O processador pode usar esse valor digital após a conversão dessa entrada de um valor analógico para um digital. O circuito do módulo de saída analógica recebe um valor digital do processador e o converte novamente em um sinal analógico. Isso aciona o medidor de nível do tanque no campo.

Figura 13 – Entrada e saída analógica para um CLP.



Fonte: (PETRUZELLA, 2014).

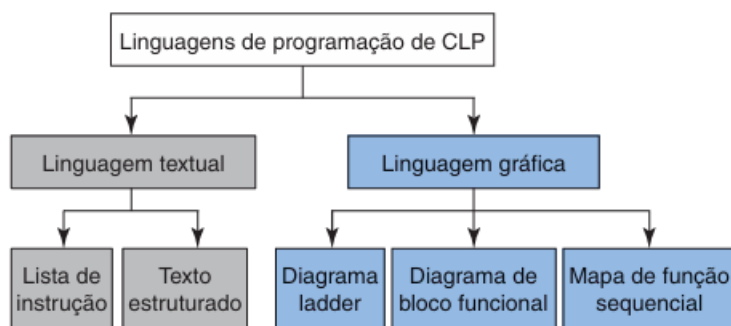
Nota-se que, o CLP possibilita o controle preciso de variáveis como nível de grãos, temperatura, umidade e outros parâmetros relevantes para a armazenagem de grãos em silos, garantindo um gerenciamento mais eficaz e seguro.

### 2.6.2 Programação de CLP's

O termo "linguagem de programação do CLP" refere-se à forma como o usuário transmite informações ao CLP. O padrão IEC 61131 (figura 14) foi estabelecido com o objetivo de uniformizar as múltiplas linguagens relacionadas à programação de CLP por meio da definição das cinco linguagens padrão seguintes.

- Linguagem Ladder (LD): baseada na representação de circuitos elétricos em diagramas de escada.
- Linguagem de Texto Estruturado (ST): se assemelha à linguagem de programação C e oferece maior flexibilidade para programação complexa e avançada.

Figura 14 – Padrão IEC 61131 de linguagens associadas com a programação de CLP.



Fonte: (PETRUZELLA, 2014).

- Diagrama de Blocos Funcionais (FBD): linguagem gráfica amplamente utilizada na programação de PLCs que permite a criação de programas através da conexão de blocos de função, facilitando a visualização e a depuração do código.
- Lista de Instruções (IL): linguagem textual que descreve as instruções de forma sequencial.
- Diagrama de Sequência de Funções (SFC): linguagem gráfica usada para representar sequências de operações e máquinas de estados.

A escolha da linguagem de programação depende do projeto específico, das habilidades do programador e das necessidades do sistema de automação. Muitas vezes, é possível utilizar uma combinação de diferentes linguagens para alcançar os objetivos desejados.

## 2.7 Linguagem Ladder







A linguagem Ladder, também conhecida como diagrama de relés, é uma das linguagens de programação mais utilizadas na programação de Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) na automação industrial. Neste trabalho, discutiremos os fundamentos da linguagem Ladder, suas características e aplicações na programação de CLPs. Para embasar nossa pesquisa, utilizaremos referências bibliográficas reconhecidas no campo.

A linguagem Ladder é uma linguagem de programação gráfica baseada em símbolos e diagramas que representam a lógica de controle, como exemplo, na figura 15. Seu nome deriva da semelhança dos diagramas com a estrutura de uma escada. Na linguagem Ladder, a programação é realizada por meio da interconexão de símbolos que representam bobinas (saídas), contatos (entradas) e blocos de função.

Os elementos básicos da linguagem Ladder incluem:

- Bobinas: Representam as saídas do CLP, como atuadores, motores, luzes, entre outros. São indicadas por símbolos retangulares e estão conectadas a contatos para ativar ou desativar as saídas.
- Contatos: Representam as entradas do CLP, como sensores, botões e outros dispositivos de entrada. São indicados por símbolos em forma de contato normalmente aberto (NA) ou normalmente fechado (NF).
- Blocos de Função: São símbolos gráficos que representam operações lógicas, matemáticas ou de temporização. Incluem funções como E lógico (AND), OU lógico (OR), temporizadores, contadores, entre outros.

Figura 15 – Simbologia ladder e seus similares elétricos.

| Tipo            | Símbolo   | Equipamento elétrico  |
|-----------------|---|---|
| Contato aberto  |    |    |
| Contato fechado |    |    |
| Saída           |  |  |

Fonte: De autoria própria.

A linguagem Ladder é amplamente utilizada na programação de CLPs devido à sua simplicidade e facilidade de compreensão. Ela é especialmente adequada para representar a lógica de controle discreta, como sequências de acionamento de dispositivos e intertravamentos.

Algumas das principais aplicações da linguagem Ladder incluem:

- Controle de Processos Industriais: A linguagem Ladder é empregada no controle de processos industriais, como acionamento de motores, controle de válvulas, intertravamentos de segurança e controle de sequências de operação.
- Automação de Máquinas: Na automação de máquinas, a linguagem Ladder é utilizada para programar o controle de movimentos, interfaces homem-máquina (IHM), dispositivos de segurança e outras funções de controle.
- Sistemas de Supervisão e Controle (SCADA): A linguagem Ladder é frequentemente utilizada em sistemas SCADA para a interface entre o CLP e o software supervisor. Ela permite a representação gráfica da lógica de controle e a interação com o operador.

## 2.8 Ambientes de simulação

O exercício de programação de Controladores Lógicos Programáveis (CLP's) é uma tarefa crítica na automação industrial. Embora os CLP's sejam ferramentas poderosas para o controle de processos, é importante destacar que a sua programação requer supervisão adequada. Neste trabalho, discutiremos as razões pelas quais não se deve exercer programação em CLP's sem supervisão e como a falta de supervisão pode afetar a segurança e o desempenho dos sistemas automatizados.

A programação de CLP's sem supervisão adequada pode resultar em diversos riscos e problemas, incluindo:

- Erros de programação: Sem a supervisão adequada, é mais provável que ocorram erros de programação nos CLP's. Esses erros podem levar a comportamentos indesejados do sistema automatizado, como acionamento incorreto de atuadores, leituras de sensores imprecisas e até mesmo avarias em equipamentos.
- Falhas de segurança: A falta de supervisão na programação de CLP's pode comprometer a segurança dos processos industriais. Erros na lógica de controle podem resultar em situações perigosas, como falhas no desligamento de emergência, falta de proteção contra sobrecargas ou falhas de intertravamento de segurança.
- Impacto na produtividade: Programações inadequadas ou incorretas podem levar a interrupções e paralisações nos processos produtivos. Essas falhas podem resultar em perda de produção, retrabalho e prejuízos financeiros para a empresa.
- Dificuldade de diagnóstico e solução de problemas: Sem supervisão adequada, os erros de programação podem ser difíceis de serem detectados e corrigidos. A falta de um olhar experiente pode tornar o diagnóstico de problemas complexo e demorado, resultando em tempos de inatividade prolongados.

A supervisão na programação de CLP's é essencial para garantir a segurança e o desempenho dos sistemas automatizados mesmo após a programação inicial. As atualizações e modificações no código de programação devem ser realizadas com supervisão para garantir que não haja impacto negativo na operação do sistema automatizado. Logo, neste trabalho foi optado por iniciar a lógica no ambiente de simulação Tia Portal.

Essa etapa inclui a identificação e correção de erros, otimização do código e verificação da conformidade com os requisitos funcionais e de segurança antes de sua implementação em ambiente de produção. Isso ajuda a identificar e corrigir falhas de programação, garantindo que o sistema automatizado funcione conforme o esperado.

O TIA (Totally Integrated Automation) Portal (figura 16), desenvolvido pela Siemens, é uma plataforma de engenharia de automação líder na indústria. Este ambiente de

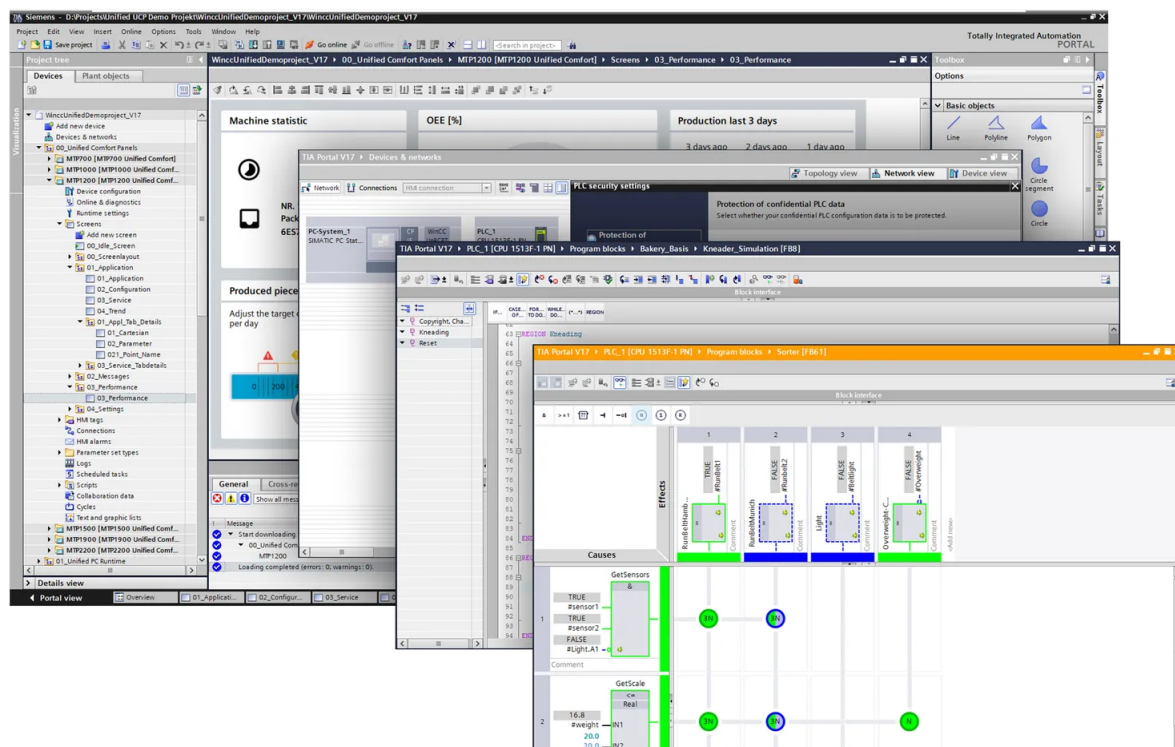
engenharia integrado oferece uma solução abrangente para projetar, configurar, programar, testar e manter sistemas de automação industrial em uma ampla gama de setores (SIEMENS, 2024). Os componentes incluem:

- **Simatic STEP 7:** Como a principal ferramenta de programação de controladores lógicos programáveis (CLPs), o Simatic STEP 7 oferece suporte a várias linguagens de programação, incluindo Ladder (LAD), Lista de Instruções (STL), Blocos de Função (FBD) e Structured Text (SCL). Ele permite o desenvolvimento flexível e eficiente de lógica de controle para uma variedade de aplicações industriais.
- **WinCC:** O WinCC é um software poderoso de supervisão e controle de processos (SCADA), projetado para visualização e monitoramento em tempo real de sistemas de automação industrial. Ele fornece uma interface gráfica intuitiva para monitorar o status do processo, histórico de dados, alarmes e muito mais.
- **Startdrive:** Esta ferramenta é dedicada ao projeto e configuração de sistemas de acionamento, incluindo motores, conversores de frequência e outros dispositivos de controle de movimento. O Startdrive simplifica o processo de engenharia para sistemas de acionamento, proporcionando maior eficiência e flexibilidade.
- **Safety:** O TIA Portal também inclui um ambiente de engenharia dedicado à configuração de sistemas de segurança industrial. Isso permite a implementação de dispositivos de segurança, como dispositivos de parada de emergência e sistemas de segurança integrados, garantindo um ambiente de trabalho seguro para os operadores.
- **Energy Suite:** Esta solução fornece recursos para monitoramento e análise do consumo de energia em sistemas de automação industrial. Ele ajuda as empresas a otimizarem o uso de energia, identificando áreas de melhoria e reduzindo os custos operacionais.

Entre os benefícios do TIA Portal estão:

- **Integração:** O TIA Portal oferece uma integração perfeita entre suas várias ferramentas de engenharia, permitindo um fluxo de trabalho eficiente e consistente.
- **Produtividade:** Com sua interface de usuário intuitiva e recursos avançados, o TIA Portal ajuda a aumentar a produtividade dos engenheiros de automação.
- **Flexibilidade:** O TIA Portal é altamente flexível e escalável, atendendo às necessidades de uma ampla variedade de aplicações industriais.
- **Interoperabilidade:** Ele suporta uma ampla gama de dispositivos e protocolos de comunicação, garantindo interoperabilidade com sistemas existentes e futuros.

Figura 16 – Portal de Automação Totalmente Integrado.



Fonte: (SIEMENS, 2024).

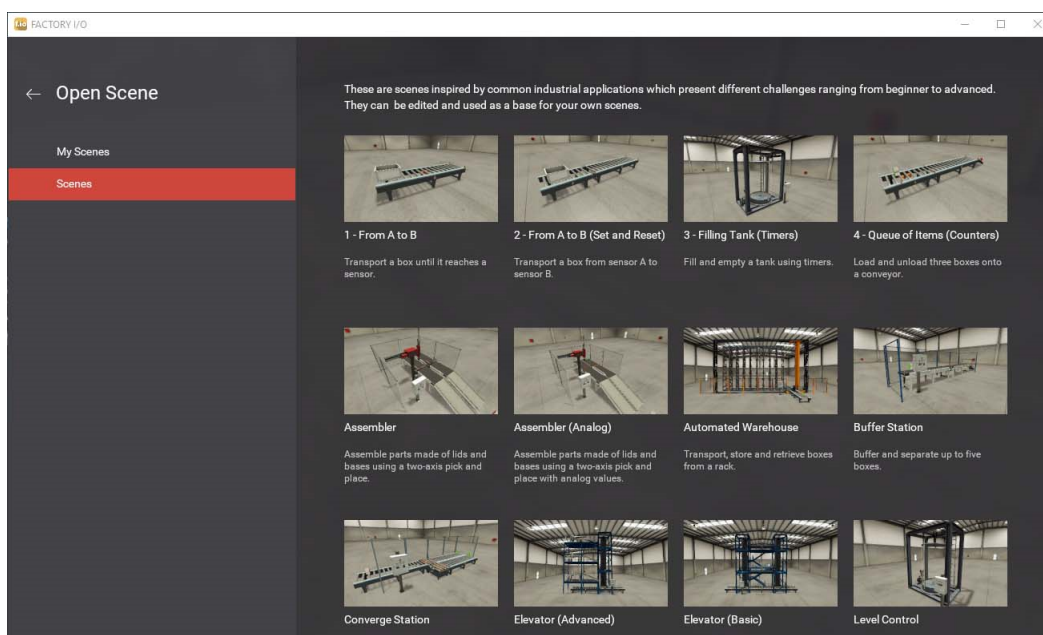
Além disso, foi optado usar o Factory I/O em conjunto com o TIA Portal. O Factory I/O é um software de simulação de automação industrial desenvolvido pela Real Games, que oferece um ambiente virtual 3D interativo para experimentar e testar conceitos de automação em tempo real (figura 17). A integração entre o Factory I/O e o TIA Portal oferece simulação e teste de sistemas de automação em um ambiente virtual.

Recursos e Funcionalidades do Factory I/O em Comunicação com o TIA Portal:

- **Comunicação em Tempo Real:** O Factory I/O permite a comunicação em tempo real com o TIA Portal, permitindo que os usuários testem e validem seus programas de automação em um ambiente virtual antes de implementá-los em um ambiente real de produção.
- **Configuração Simples:** A integração entre o Factory I/O e o TIA Portal é fácil de configurar e usar. Os usuários podem definir os parâmetros de comunicação no Factory I/O para se conectar aos controladores configurados no TIA Portal.
- **Troca de Dados Bidirecional:** O Factory I/O pode trocar dados bidirecionalmente com o TIA Portal, permitindo que os usuários monitorem o status do processo e controlem dispositivos virtuais no Factory I/O a partir do TIA Portal, e vice-versa.

- **Compatibilidade com Diferentes Dispositivos:** O Factory I/O suporta uma ampla gama de dispositivos virtuais, como sensores, atuadores, esteiras transportadoras, robôs e válvulas, que podem ser controlados e monitorados através do TIA Portal.
- **Visualização Avançada:** O Factory I/O oferece uma visualização avançada em tempo real do processo industrial em um ambiente virtual 3D, permitindo que os usuários observem o comportamento dos dispositivos e façam ajustes conforme necessário.

Figura 17 – Ambiente de simulação - Factory I/O.



Fonte: (I/O, 2024).

## 3 PROJETO E SIMULAÇÃO DO SISTEMA

### 3.1 Micropilot FMR67 Hart - Caracterização técnica

O sensor radar Micropilot FMR67 Hart é um dispositivo desenvolvido pela empresa Endress Hauser, projetado especificamente para medição de nível em aplicações com sólidos a granel, como o armazenamento de grãos em silos (ENDRESS+HAUSER, 2018). O FMR67 utiliza a tecnologia de radar de frequência modulada contínua (FMCW), que permite uma medição precisa e confiável mesmo em condições desafiadoras, como superfícies irregulares, poeira e altas temperaturas. Além disso, o sensor possui comunicação Hart (Highway Addressable Remote Transducer), facilitando a integração com sistemas de automação industrial e permitindo o monitoramento remoto do nível dos grãos nos silos (ENDRESS+HAUSER, 2018).

Vários relatos têm destacado a eficácia do uso do sensor radar Micropilot FMR67 Hart no monitoramento do armazenamento de grãos. Por exemplo, em uma fábrica de ração animal no Nordeste do Brasil, o processo estava interferindo na medição do nível nos silos de farinha (ENDRESS+HAUSER, 2024). Os medidores foram inicialmente instalados como radares de onda guiada. No entanto, existem roscas no fundo de alguns silos que podem enrolar no cabo do sensor acidentalmente, causando perda de controle de nível e danos no processo.

A solução apresentada foi um radar de onda livre com a frequência de 80GHz. O modelo Micropilot FMR67 foi projetado especificamente para uso em sólidos e era um radar de onda livre com frequência de 80GHz. A onda bateu no produto e retornou com um sinal bastante forte devido à sua alta frequência e formato de onda estreito. De qualquer forma, o equipamento tem uma purga que pode ser ligada ao ar comprimido, expulsando a poeira e a sujeira que fica ao redor da antena. Portanto, os sólidos em suspensão não prejudicaram a onda eletromagnética do radar.

A medição precisa e confiável do nível de grãos em silos é de extrema importância para a indústria agrícola. O sensor Micropilot FMR67 Hart se destaca como uma solução avançada para a medição de nível em silos com grãos, proporcionando monitoramento eficiente e controle adequado do armazenamento desses produtos.

O Micropilot FMR67 Hart (figura 18) é de fácil instalação, podendo ser montado externamente no silo, sem a necessidade de entrar em contato direto com os grãos. Além disso, sua manutenção é simples, reduzindo o tempo de inatividade do sistema.

A utilização do sensor Micropilot FMR67 Hart em silos com grãos traz diversos benefícios, tais como:

Figura 18 – Micropilot FMR67 Hart.



Fonte: (ENDRESS+HAUSER, 2018).

- Gerenciamento eficiente de estoque: O sensor fornece informações precisas sobre o nível de grãos no silo, permitindo um melhor gerenciamento do estoque e evitando problemas como a falta ou excesso de grãos.
- Monitoramento em tempo real: O sensor permite o monitoramento contínuo do nível de grãos, fornecendo informações em tempo real sobre o armazenamento. Isso auxilia na tomada de decisões rápidas e eficientes em relação ao controle de estoque.
- Prevenção de perdas e danos: Ao monitorar de forma precisa o nível de grãos, o sensor ajuda a prevenir perdas e danos, como o desperdício de grãos devido a transbordamentos ou a formação de vazios que podem levar à deterioração dos produtos.
- Automação do processo: A integração do sensor com sistemas de automação permite um controle mais preciso e eficiente do armazenamento de grãos, possibilitando a automação de processos, como a abertura e fechamento de comportas ou o acionamento de transportadores.

Algumas características relevantes do sensor são:

- Faixa de medição: O sensor Micropilot FMR67 Hart possui uma ampla faixa de medição de nível de até 125 metros.
- Temperaturas do processo: O sensor é capaz de operar em uma ampla faixa de temperaturas do processo entre  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $200^{\circ}\text{C}$ , garantindo a sua adequação para diferentes aplicações industriais.

- Comunicação: O sensor Micropilot FMR67 Hart possui uma saída de sinal baseada no protocolo de comunicação Hart 4-20mA, que é amplamente utilizado na indústria para transmissão de dados e configuração de dispositivos de campo.
- Tensão de alimentação: O sensor é alimentado por uma fonte de alimentação de corrente contínua (DC) padrão na faixa de 12 a 30 VDC.
- Integração: O sensor Micropilot FMR67 Hart pode ser facilmente integrado a sistemas de automação e controle, permitindo a comunicação com controladores lógicos programáveis (PLC's), sistemas de supervisão e aquisição de dados (SCADA) e outros dispositivos de campo compatíveis com o protocolo Hart.
- Princípio de medição: O sensor utiliza o princípio de medição por radar guiado, onde um pulso de radar é emitido e refletido pela superfície do material em que está imerso, sendo então detectado e utilizado para determinar o nível do material.
- Certificação para locais perigosos: O sensor Micropilot FMR67 Hart é projetado e certificado para ser utilizado em ambientes classificados como locais perigosos, atendendo a normas e regulamentações específicas de segurança, como a certificação ATEX e IECEx.

## 3.2 Dimensões do silo

De acordo com o manual de instalação, os silos da linha SAG105 são destinados para estocagem de grãos com boa fluidez (fácil escoamento) e densidade de até  $833 \frac{kg}{m^3}$ . Estes silos são utilizados no processo industrial sob estudo, possuindo as seguintes dimensões conforme tabela 1:

Tabela 1 – Dimensões do silo.

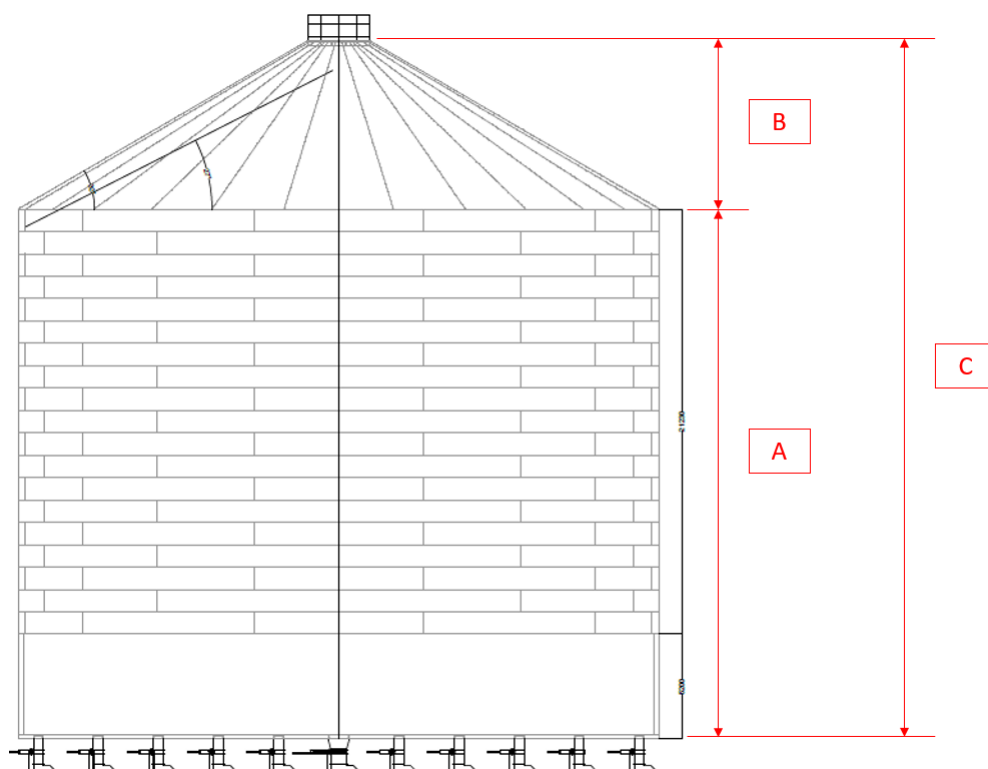
|                           |       |
|---------------------------|-------|
| Diâmetro Nominal (m):     | 31,8  |
| Altura do cilindro A (m): | 26,23 |
| Altura do cone B (m):     | 8,41  |
| Altura total C (m):       | 34,64 |

### 3.2.1 Cálculo volumétrico

Para calcular o volume de um silo cilíndrico com cone na parte superior, como é o caso do modelo SAG105, considerando a densidade do grão de milho ou soja, é necessário dividir o cálculo em duas partes: a do cilindro e a do cone. A densidade do grão de milho ou soja, em  $kg/m^3$ , deve ser conhecida previamente para realizar os cálculos.

Para obter um cálculo mais preciso e adaptado à realidade do silo, há diversos fatores específicos a serem considerados, como o formato da descarga, o ângulo de repouso dos grãos e outros detalhes que podem influenciar no volume real disponível para armazenamento.

Figura 19 – Silo fundo plano SAG.

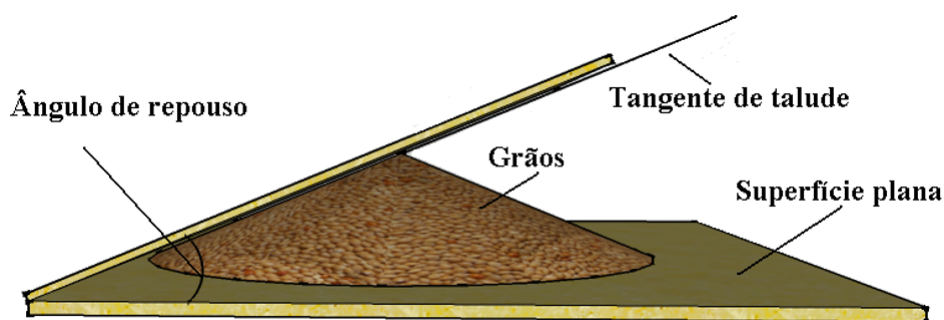


Fonte: De autoria própria.

### 3.2.2 Ângulo de repouso

O ângulo de repouso dos grãos de milho e soja refere-se ao ângulo máximo de inclinação que os grãos podem atingir antes de começarem a se mover ou deslizar devido à ação da gravidade (figura 20). Esse ângulo é um importante parâmetro para o projeto e dimensionamento de silos de armazenamento e outros equipamentos relacionados ao manuseio de grãos (NAKA, 2010).

Figura 20 – Esquema da determinação do ângulo.



Fonte: (CORREA; SILVA, 2014).

O ângulo de repouso pode variar para diferentes tipos de grãos e condições de

armazenamento, incluindo o teor de umidade e a compactação dos grãos.

Os valores médios aproximados do ângulo de repouso dos grãos de milho e soja são:

- Ângulo de repouso dos grãos de milho: aproximadamente 25 a 30 graus.
- Ângulo de repouso dos grãos de soja: aproximadamente 25 a 35 graus.

O ângulo de repouso influencia na altura efetiva do grão armazenado no silo. Nesse caso, será necessário considerar a altura efetiva do grão dentro do silo para calcular o volume corretamente.

### 3.2.3 Passo 1: Calcular a altura efetiva do grão no silo

A altura efetiva do grão dentro do silo pode ser determinada a partir da altura total do silo (incluindo o cone) e do ângulo de repouso dos grãos. Essa altura efetiva é a altura na qual o grão fica repousado dentro do silo.

Vamos chamar de  $H$  a altura total do silo (do fundo até o topo, incluindo o cone) e de  $\alpha$  o ângulo de repouso dos grãos.

A altura efetiva  $h_{ef}$  pode ser calculada por:

$$h_{ef} = H \cdot \cos(\alpha) \quad (1)$$

O cosseno do ângulo de repouso é utilizado para determinar a altura efetiva, pois ele representa a componente vertical da força gravitacional que suporta o grão.

Assim, para o silo utilizado neste trabalho, a altura efetiva é dada por:

$$h_{ef} = 34,64 \cdot \cos(30) = 29,99m \quad (2)$$

### 3.2.4 Passo 2: Volume do Cone

O volume do cone é calculado usando a fórmula:

$$V_{cone} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h_{cone} \quad (3)$$

, onde:

$\pi$  (pi) é uma constante aproximada igual a 3,14159.

$r$  é o raio da base do cone (igual ao raio da base do cilindro).

$h_{cone}$  é a altura do cone, que é igual a " $H - h_{ef}$ ".

,logo:

$$h_{cone} = H - h_{ef}$$

$$h_{cone} = 34,64 - 29,99 = 4,65m$$

$$V_{cone} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot (15,9m)^2 \cdot 4,65m$$

$$V_{cone} = 1231,05m^3$$

### 3.2.5 Passo 3: Volume do Cilindro

O volume do cilindro é calculado usando a fórmula:

$$V_{cilindro} = \pi \cdot r^2 \cdot h_{efetiva} \quad (4)$$

, onde:

$\pi$  (pi) é uma constante aproximada igual a 3,14159.

$r$  é o raio da base do cilindro.

,sendo assim:

$$V_{cilindro} = \pi \cdot (15,9m)^2 \cdot 29,99m$$

$$V_{cilindro} = 23818,83m^3$$

### 3.2.6 Passo 4: Volume Total do Silo

O volume total do silo é a soma do volume do cilindro com o volume do cone:

$$V_{Total} = V_{cilindro} + V_{cone}$$

$$V_{Total} = 23818,83 + 1231,05 = 25049,88$$

### 3.2.7 Passo 5: Cálculo da Massa dos Grãos

Para calcular a massa dos grãos armazenados no silo, é necessário saber a densidade do grão de milho ou soja ( $\rho_{grão}$ ), em  $\frac{kg}{m^3}$ , e multiplicá-la pelo volume total do silo:

$$\text{Massa dos Grãos} = \rho_{\text{grão}} \cdot V_{\text{total}}$$

, onde a massa dos grãos é a quantidade de grãos armazenados no silo, em kg ou toneladas

Com o valor da massa dos grãos, é possível ter uma ideia da quantidade total de milho ou soja armazenada no silo, considerando a densidade específica do grão utilizado.

A densidade aparente é a relação entre a massa dos grãos e o volume ocupado por eles, normalmente expressa em  $\frac{kg}{m^3}$ .

Os valores aproximados de densidade aparente para o milho e a soja são:

- Densidade do grão de milho: aproximadamente 720 a 760  $\frac{kg}{m^3}$ .
- Densidade do grão de soja: aproximadamente 640 a 680  $\frac{kg}{m^3}$ .

Ressalta-se que o volume do silo calculado representa o volume total disponível, e nem todo esse espaço estará preenchido com grãos, pois existem espaços vazios e espaços ocupados por eventuais estruturas internas.

$$\text{Massa dos Grãos} = \rho_{\text{grão}} \cdot 25049,88$$

$$\text{Massa dos Grãos} \cong 18.000.000kg = 18kton$$

### 3.2.8 Configuração do Hardware do CLP

O TIA Portal (*Totally Integrated Automation Portal*) é um ambiente de engenharia da Siemens que permite a configuração, programação e diagnóstico de equipamentos de automação, incluindo Controladores Lógicos Programáveis (CLPs).

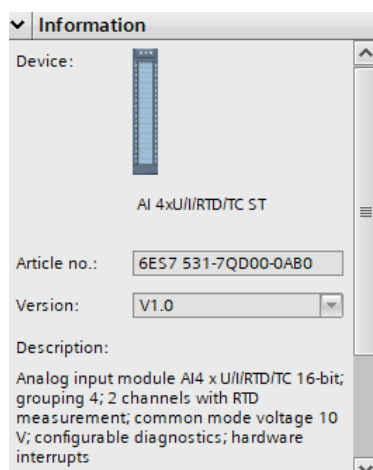
O hardware escolhido dentro da lista de catálogo de dispositivos do Tia Portal foi o Simatic S7-1500 1511-1 PN (figura 21) por oferecer um equilíbrio entre desempenho e recursos, além de, possuir interfaces de comunicação, incluindo Profinet, a fim de, ser integrado a sistemas de automação mais amplos. Além disso, o mesmo pode suportar cartões de expansão para módulos de entrada/saída (I/O) e funcionalidades adicionais.

Em seguida, é realizado a configuração dos módulos de entrada/saída necessários para conectar o CLP aos sensores, atuadores e outros dispositivos no seu sistema.

O módulo de entrada AI4 x U/I/RTD/TC 16-bit (figura 23) sugere que é um módulo de entrada analógica com quatro canais, capaz de medir sinais de tensão (U), corrente (I), termo-resistências (RTD), e termopares (TC). A resolução é de 16 bits, o que indica a precisão na leitura do sinal analógico.



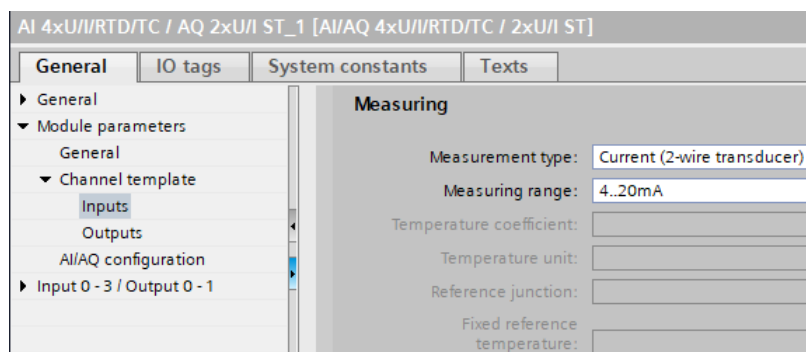
Figura 23 – Módulo de entrada AI4 x U/I/RTD/TC 16-bit.



Fonte: De autoria própria.

Como mencionado, a faixa de leitura do sensor é de 4 a 20mA, logo, um sinal de 4 a 20mA é conectado ao módulo de entrada analógica do CLP (figura 24). Esse módulo converte o sinal analógico em um valor digital que pode ser processado pelo CLP.

Figura 24 – Configuração do módulo de entrada em 4 a 20mA.



Fonte: De autoria própria.

### 3.2.9 Endereçamento de Entradas e Saídas

O endereçamento de entradas e saídas refere-se à atribuição de endereços de hardware específicos a dispositivos de entrada e saída conectados ao Controlador Lógico Programável (CLP). Esses endereços são usados para identificar e acessar os dispositivos no programa de automação.

As entradas do CLP, como botões, sensores e *switches*, são associadas a endereços de entrada para que o CLP possa ler seus estados. Por exemplo, uma entrada pode ser endereçada como "I1.0" para representar o primeiro bit da primeira entrada digital.

As saídas do CLP, como relés, válvulas e lâmpadas, são associadas a endereços de saída para que o CLP possa controlar seu estado. No TIA Portal, os endereços de entrada e saída podem ser definidos em termos de números inteiros ou nomes simbólicos que representam o hardware físico conectado ao CLP. Por exemplo, uma saída pode ser endereçada como "Q2.3" para representar o quarto bit da terceira saída digital.

A fim de simular o sistema como um todo, foi adicionado *tags* das válvulas de entrada e saída (figura 25).

Figura 25 – Endereçamento de entradas e saídas do sistema.

|    | Name            | Tag table         | Data type | Address | Retain                   | Acces...                            | Writa...                            | Visibl...                           |
|----|-----------------|-------------------|-----------|---------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1  | START           | Default tag table | Bool      | %I0.0   | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2  | RESET           | Default tag table | Bool      | %I0.1   | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3  | STOP            | Default tag table | Bool      | %I0.2   | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 4  | SENSOR_NIVEL    | Default tag table | Int       | %IW100  | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5  | SENSOR_FLUXO    | Default tag table | Int       | %IW102  | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 6  | SET_POINT       | Default tag table | Int       | %IW104  | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 7  | START_LIGHT     | Default tag table | Bool      | %Q0.0   | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 8  | RESET_LIGHT     | Default tag table | Bool      | %Q0.1   | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 9  | STOP_LIGHT      | Default tag table | Bool      | %Q0.2   | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 10 | VALVULA_ENTRADA | Default tag table | Int       | %QW100  | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 11 | VALVULA_SAIDA   | Default tag table | Int       | %QW102  | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 12 | SP_DISPLAY      | Default tag table | Int       | %QW104  | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 13 | PV_DISPLAY      | Default tag table | Int       | %QW106  | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

Fonte: De autoria própria.

Onde,

- **START** - O botão de Start é usado para iniciar o funcionamento do sistema simulado. Quando pressionado, ele inicia o processo ou a máquina virtual representada no software. Por exemplo, ao pressionar o botão de Start em uma simulação de uma esteira transportadora, a esteira começaria a se mover;
- **RESET** - O botão de Reset é utilizado para reiniciar ou redefinir o estado do sistema simulado. Ele é comumente usado para interromper o funcionamento do sistema em caso de emergência ou para limpar eventuais erros. Ao pressionar o botão de Reset, o sistema retorna ao seu estado inicial, pronto para ser iniciado novamente;
- **STOP** - O botão de Stop é empregado para interromper o funcionamento do sistema simulado de forma imediata. Quando pressionado, ele para todas as operações em andamento no sistema virtual. Esse botão é importante para garantir a segurança e para evitar danos ao equipamento ou ao processo simulado;
- **START\_LIGHT** - Led usado para simular que o sistema está em funcionamento;

- RESET\_LIGHT - Led usado para simular que o sistema foi reiniciado;
- STOP\_LIGHT - Led usado para simular que o sistema está parado;

START, RESET, STOP, START\_LIGHT, RESET\_LIGHT e STOP\_LIGHT são variáveis do tipo *Bool*, ou seja, uma variável do tipo booleana, a qual, é um tipo de dado utilizado em programação para representar valores lógicos, ou seja, valores que podem ser verdadeiros ou falsos. As variáveis booleanas são representadas por um único bit, onde 0 geralmente representa "falso" e 1 representa "verdadeiro".

As demais variáveis são do tipo *Int*, ou seja, inteira. Uma variável do tipo inteira é uma variável que armazena valores numéricos inteiros, divididas entre entradas e saídas analógicas.

As entradas analógicas são:

- SENSOR\_NIVEL
- SENSOR\_FLUXO
- SET\_POINT

As saídas analógicas são:

- VALVULA\_ENTRADA
- VALVULA\_SAIDA
- SP\_DISPLAY
- PV\_DISPLAY

### 3.2.10 Escalonar Entrada Analógica

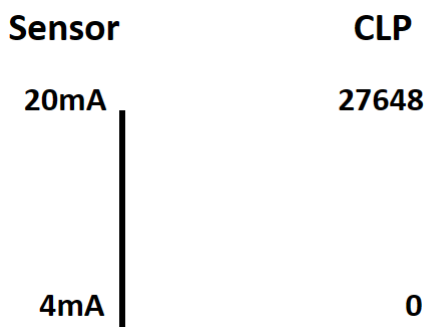
Como mencionado anteriormente, o sensor enviará um sinal de 4 a 20mA para o CLP, e o sinal será recebido por uma entrada analógica associada à uma tag do tipo inteira (Int).

O módulo é responsável por converter o sinal analógico em um valor digital que o CLP pode entender.

É necessário configurar o módulo analógico para corresponder às características do sinal de 4 a 20 mA. Isso inclui configurar a faixa de leitura, a resolução e outros parâmetros relacionados.

Se o sensor estiver mandando 4mA, o CLP vai entender um valor inteiro de número zero. Quando a entrada analógica está recebendo seu maior valor no seu range (20mA), o

Figura 26 – Escalonar entrada analógica.



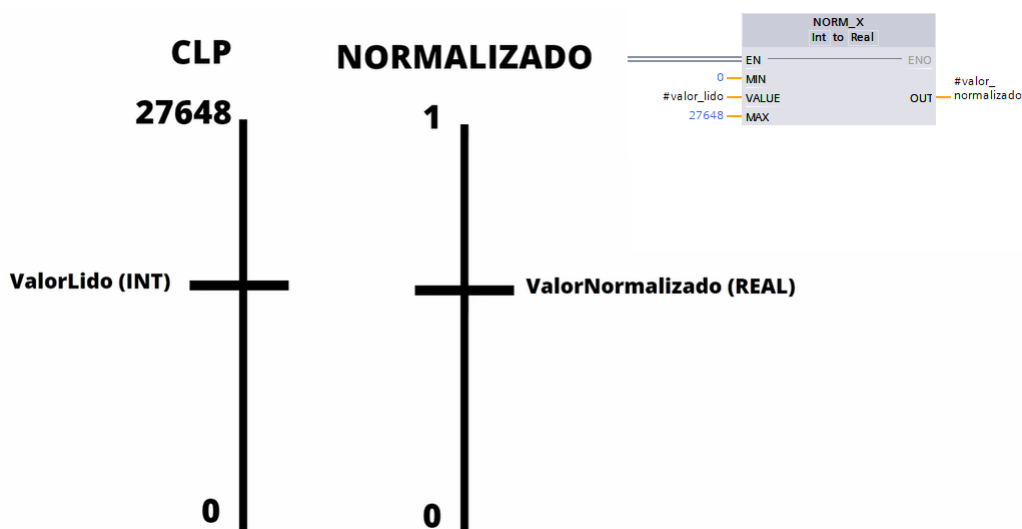
Fonte: De autoria própria.

CLP entende como o valor máximo de 27.648, o qual, o número 27.648 é um padrão que a Siemens adotou para o CLP S7.

Quando um valor de entrada analógica é digitalizado, é comum que precise ser normalizado para garantir que os valores numéricos correspondam com precisão às variáveis físicas do processo. Para alcançar a máxima precisão nesse processo, os valores de normalização devem ser convertidos para o tipo de dados REAL, minimizando assim os erros de arredondamento.

O Tia Portal oferece uma função para fazer isso, que é o NORM\_X (figura 27). Ele recebe um valor na entrada e normaliza esse valor para a escala de zero um.

Figura 27 – Bloco NORM\_X.



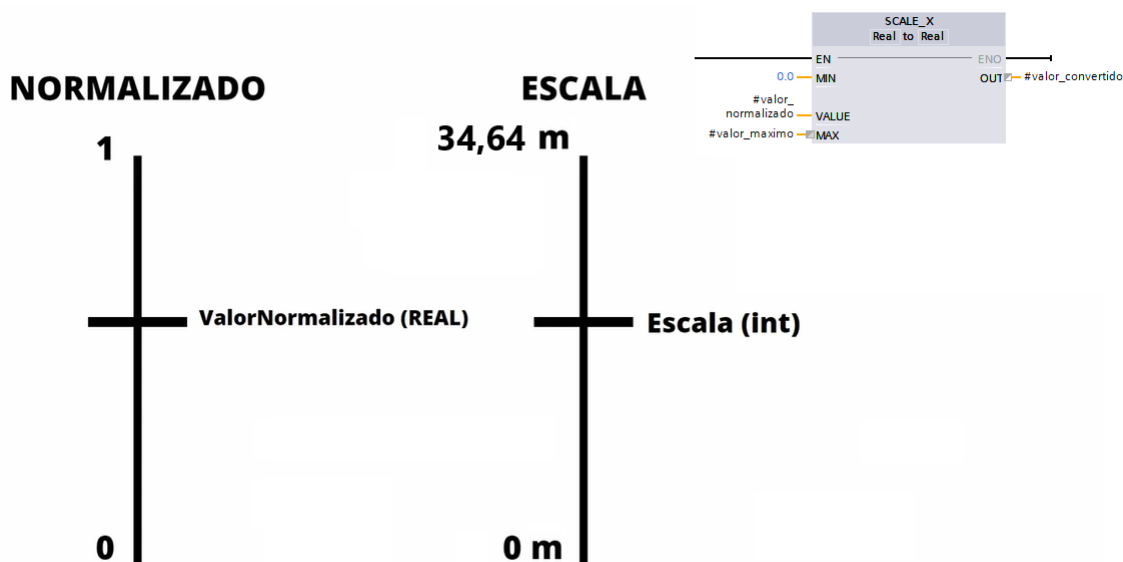
Fonte: De autoria própria.

Logo, o sinal que está vindo do sensor é de 27.648 até zero, ou seja, é um sinal inteiro que está sendo recebido pelo CLP. Quando ele passar para a escala de normalizado,

ele vai ser um valor tipo real.

Após adicionar o valor normalizado, coloca-se na escala de engenharia desejável utilizando o bloco SCALE\_X (figura 28).

Figura 28 – Bloco SCALE\_X.



Fonte: De autoria própria.

O valor mínimo da minha escala, no caso, vai ser zero, e o valor máximo da minha escala será 34,34, que representa a altura do silo.

Além da escala engenharia, opta-se também por converter esse valor normalizado para uma escala em porcentagem, logo, irá sinalizar a altura do silo, e também, a porcentagem. Quando estiver cheio, estará em 100%.

### 3.2.11 Criação do Function Block para escalonamento

Os blocos de função possibilitam a organização do programa em unidades lógicas e funcionais, simplificando a compreensão, manutenção e reutilização do código.

Cada bloco de função encapsula um conjunto de instruções e variáveis associadas a uma função específica, permitindo que os detalhes de implementação sejam ocultados, focando-se apenas na funcionalidade em si. Ao criar um *function block*, é necessário criar parâmetros de entradas e saídas (figura 29).

Onde, `valor_lido` e o `valor_normalizado` serão utilizados no bloco NORM\_X para normalizar o valor da *tag* na entrada VALUE mapeando-a para uma escala linear (figura 30).

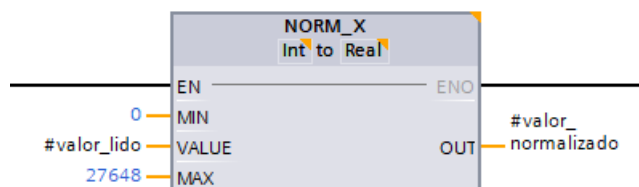
Figura 29 – Parâmetros *Function Block*.

| escala_entradas |                   |           |
|-----------------|-------------------|-----------|
|                 | Name              | Data type |
| 1               | Input             |           |
| 2               | valor_lido        | Int       |
| 3               | valor_maximo      | Int       |
| 4               | Output            |           |
| 5               | valor_convertido  | Int       |
| 6               | InOut             |           |
| 7               | <Add new>         |           |
| 8               | Static            |           |
| 9               | valor_normalizado | Real      |

Fonte: De autoria própria.

- os parâmetros MIN e MAX para definir os limites de uma faixa de valores que é aplicada à escala
- valor\_lido - tipo inteiro (*Int*) e indicará o valor de 0 a 27.648 do CLP.
- valor\_normalizado - variável estática, do tipo Real, logo, calculado e armazenado como um número de ponto flutuante dependendo da localização do valor a ser normalizado dentro desta faixa de valores e receberá o valor entre 0 e 1.

Figura 30 – Bloco Norm\_X.

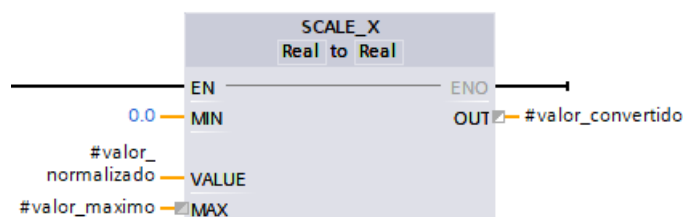


Fonte: De autoria própria.

A instrução "Scale" será utilizada para dimensionar o valor na entrada VALUE mapeando-o para um intervalo de valores especificado (figura 31). Quando a instrução "Scale" é executada, o valor de ponto flutuante na entrada VALUE é escalonado para a faixa de valores definida pelos parâmetros MIN e MAX. O resultado do escalonamento é um número inteiro, que é armazenado na saída RET\_VAL.

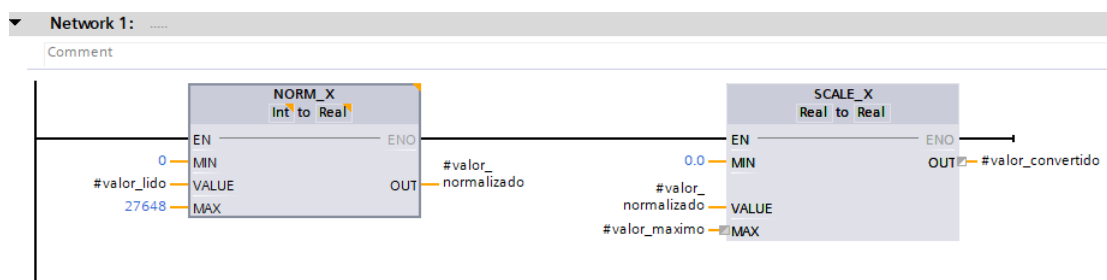
- os parâmetros MIN e MAX para definir os limites de uma faixa de valores entre 0 e 34,64m.
- valor\_maximo - valor máximo da escala até 34,64m.
- valor\_convertido

Figura 31 – Bloco Scale\_X.



Fonte: De autoria própria.

Figura 32 – Function Block.



Fonte: De autoria própria.

Após configurado o *function block* (figura 32), foi adicionado a FB (*function block*) no OB1 (*Organization Block*) (figura 33). O OB1 refere-se a um tipo específico de organização de blocos em um programa de automação e é o bloco principal de um programa de controle. Ele contém a lógica de controle principal do sistema e é responsável por coordenar todas as outras partes do programa.

Em termos simples, o OB1 é o ponto de partida da execução do programa no CLP. Quando o CLP é colocado em operação, o OB1 é o primeiro bloco a ser executado e é responsável por inicializar variáveis, executar lógica de inicialização, verificar alarmes de segurança, entre outras tarefas importantes.

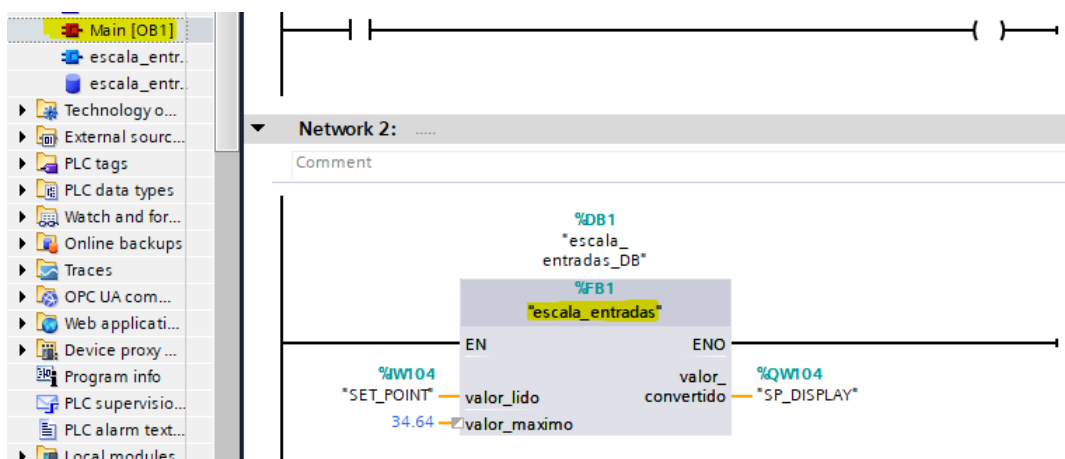
Onde,

- SET\_POINT será definido por um potenciômetro para simular a altura do silo;
- valor\_maximo será o tamanho máximo do silo, ou seja, 34,64;
- SP\_DISPLAY é o display onde aparecerá o valor definido pelo potenciômetro.

### 3.2.12 Escalonando o sensor de nível

Como falado anteriormente, além da escala engenharia, opta-se também por converter esse valor normalizado para uma escala em porcentagem, logo, quando o silo estiver cheio, o parâmetro receberá o valor de 100%.

Figura 33 – *Function Block* na *Organization Block*.



Fonte: De autoria própria.

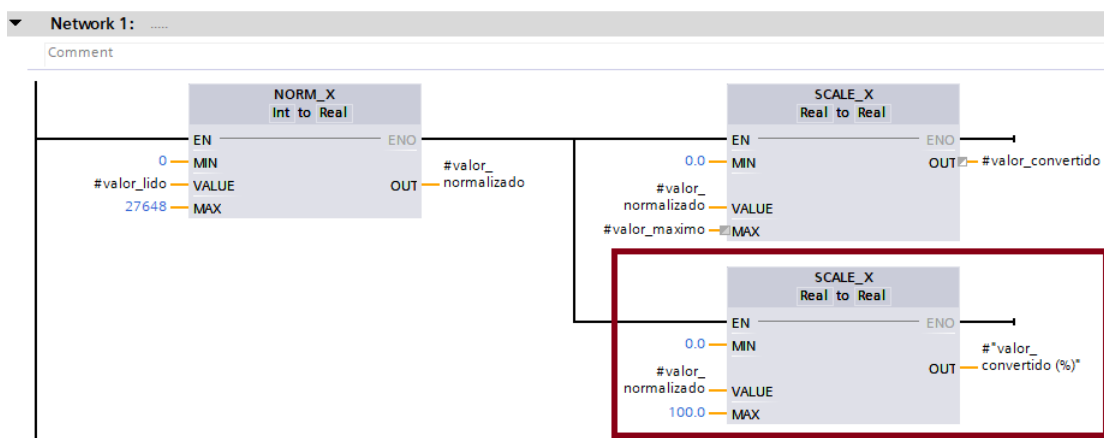
Para adicionar a porcentagem, adiciona-se um *Open Branch*, e muda a escala trabalhada, ou seja, de 0 a 100. Além disso, também é necessário criar um parâmetro para receber o valor convertido em porcentagem (figura 34).

Figura 34 – Parâmetro adicionado para o valor em porcentagem.

| escala_entradas |                      |           |
|-----------------|----------------------|-----------|
|                 | Name                 | Data type |
| 4               | Output               |           |
| 5               | valor_convertido     | Int       |
| 6               | valor_convertido (%) | Real      |

Fonte: De autoria própria.

Figura 35 – *Function Block* atualizado com valor em porcentagem.

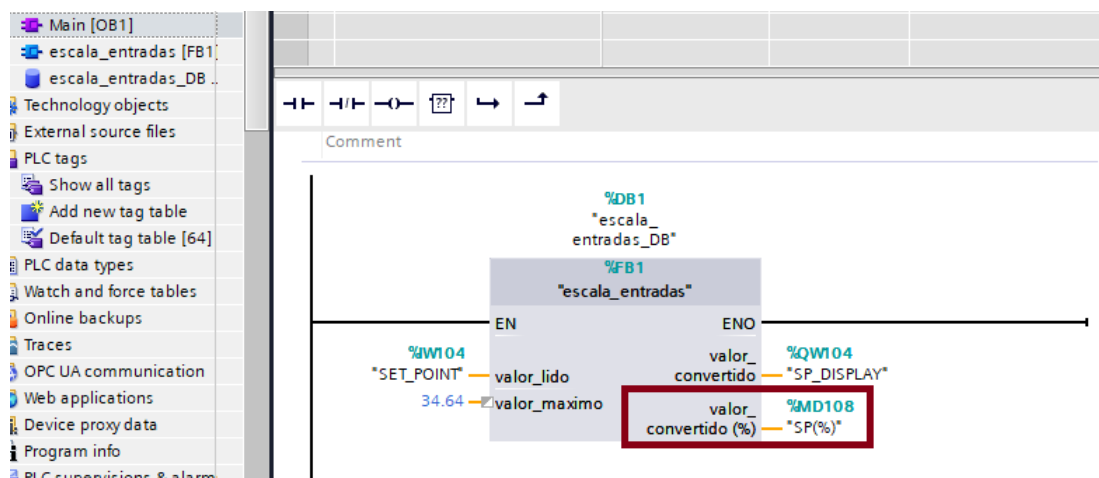


Fonte: De autoria própria.

Devido as alterações na FB (figura 35), é necessário atualizar o bloco no OB1 e adicionar nos endereçamentos do sistema o SP(%) para receber o valor convertido em

porcentagem (figura 36).

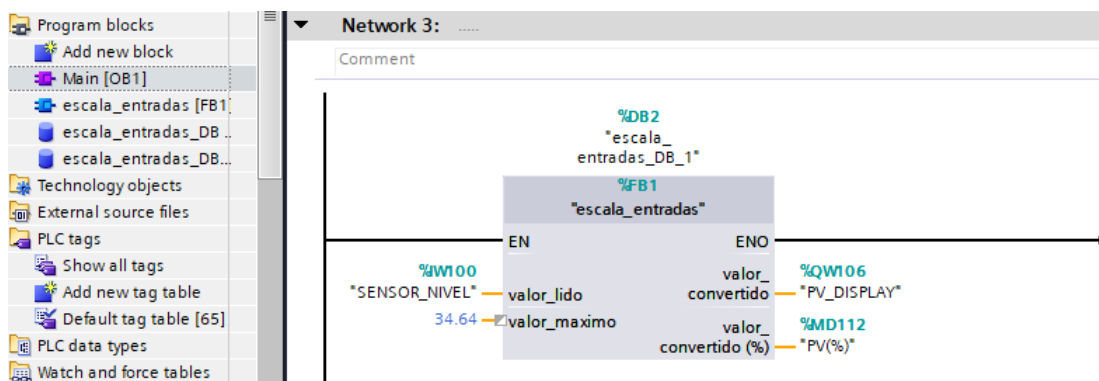
Figura 36 – Organization Block atualizado com valor em porcentagem.



Fonte: De autoria própria.

Posteriormente, é criado um novo bloco para ler o valor lido do sensor de nível (figura 37).

Figura 37 – Bloco com sensor de nível.



Fonte: De autoria própria.

O valor máximo que esse sensor de nível vai mostrar é de 34.64, que condiz com a altura do silo. O valor convertido será mostrado no display da variável de processo PV\_DISPLAY e o valor em porcentagem será o PV(%).

### 3.2.13 Cálculo volumétrico no Main Block - OB1

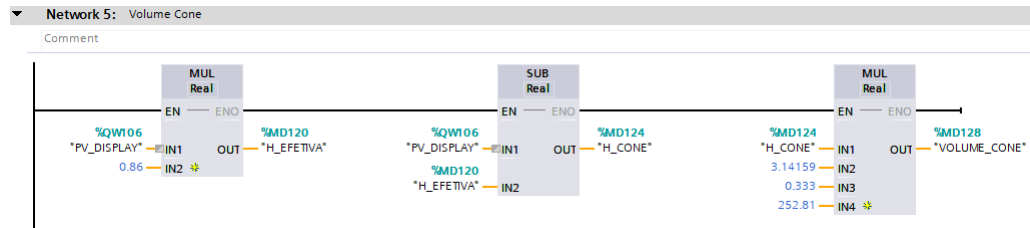
No Tia Portal as funções matemáticas são blocos de função que realizam operações matemáticas em variáveis ou valores numéricos. Essas funções irão realizar os cálculos matemáticos descritos na subseção 3.2.1 referente ao cálculo de volume.

## 3.2.13.1 Volume do Cone

Assim como na Fórmula 3, para encontrar o volume do cone é necessário encontrar a altura efetiva do grão no silo, representada pelo primeiro bloco MUL (figura 38).

$$h_{efetiva} = H \cdot \cos(\alpha)$$

Figura 38 – Volume do Cone.



Fonte: De autoria própria.

O *Multiply* é usado para multiplicar o valor na entrada IN1 pelo valor na entrada IN2 e consultar o produto na saída OUT ( $OUT = IN1 \times IN2$ ). O valor na entrada IN1 será a altura lida pelo sensor PV\_DISPLAY, o valor IN2 será cosseno do ângulo de repouso do grão e OUT será a multiplicação entre IN1 e IN2.

Em seguida, para encontrar a altura do cone, subtrai  $H - h_{efetiva}$ , representado pelo segundo bloco SUB. Onde, é subtraído o valor na entrada IN2 do valor na entrada IN1 e consultar a diferença na saída OUT ( $OUT = IN1 - IN2$ ).

Onde,  $IN1 = PV\_DISPLAY$ ,  $IN2 = H\_EFETIVA$  e OUT será a altura do cone, representado por H\_CONE.

Após identificado o valor da altura do cone, o terceiro bloco satisfaz a Fórmula 3 para encontrar o volume do cone (OUT).

$$\text{Onde, } IN1 = H\_CONE, IN2 = \pi, IN3 = \frac{1}{3} \text{ e } IN4 = r^2.$$

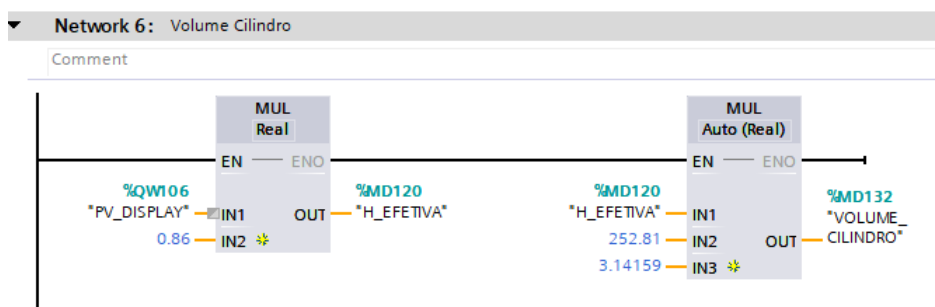
## 3.2.13.2 Volume do Cilindro

Do mesmo modo, na Fórmula 4, faz-se a multiplicação entre  $IN1 = H\_EFETIVA$ ,  $IN2 = \pi$  e  $IN3 = r^2$  (figura 39).

## 3.2.13.3 Volume Total

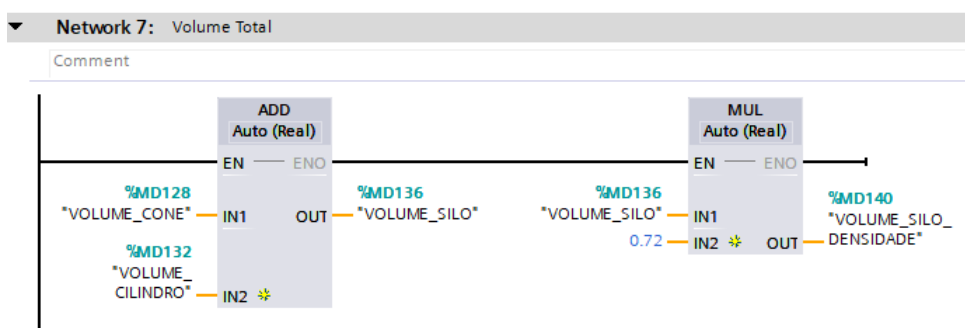
Por fim, para encontrar o volume total, como mostra a figura 40, faz-se a soma do volume do cone e do cilindro (Bloco ADD) e posteriormente multiplica-se pela densidade do grão (Bloco MUL).

Figura 39 – Volume do Cilindro.



Fonte: De autoria própria.

Figura 40 – Volume Total.



Fonte: De autoria própria.

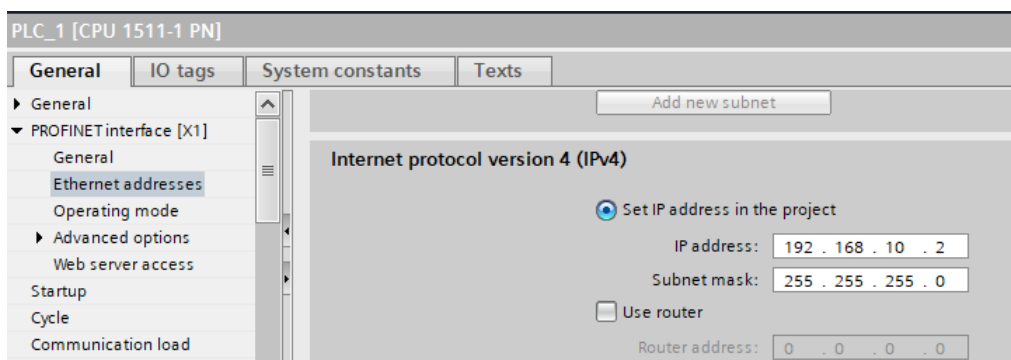
### 3.2.14 Compilando e descarregando o programa no CLP

Antes de fazer download do programa no PLC, é necessário configurar o IP na opção *Ethernet addresses* (figura 41).

IP adress: 192.168.10.2

Subnet mask: 255.255.255.0

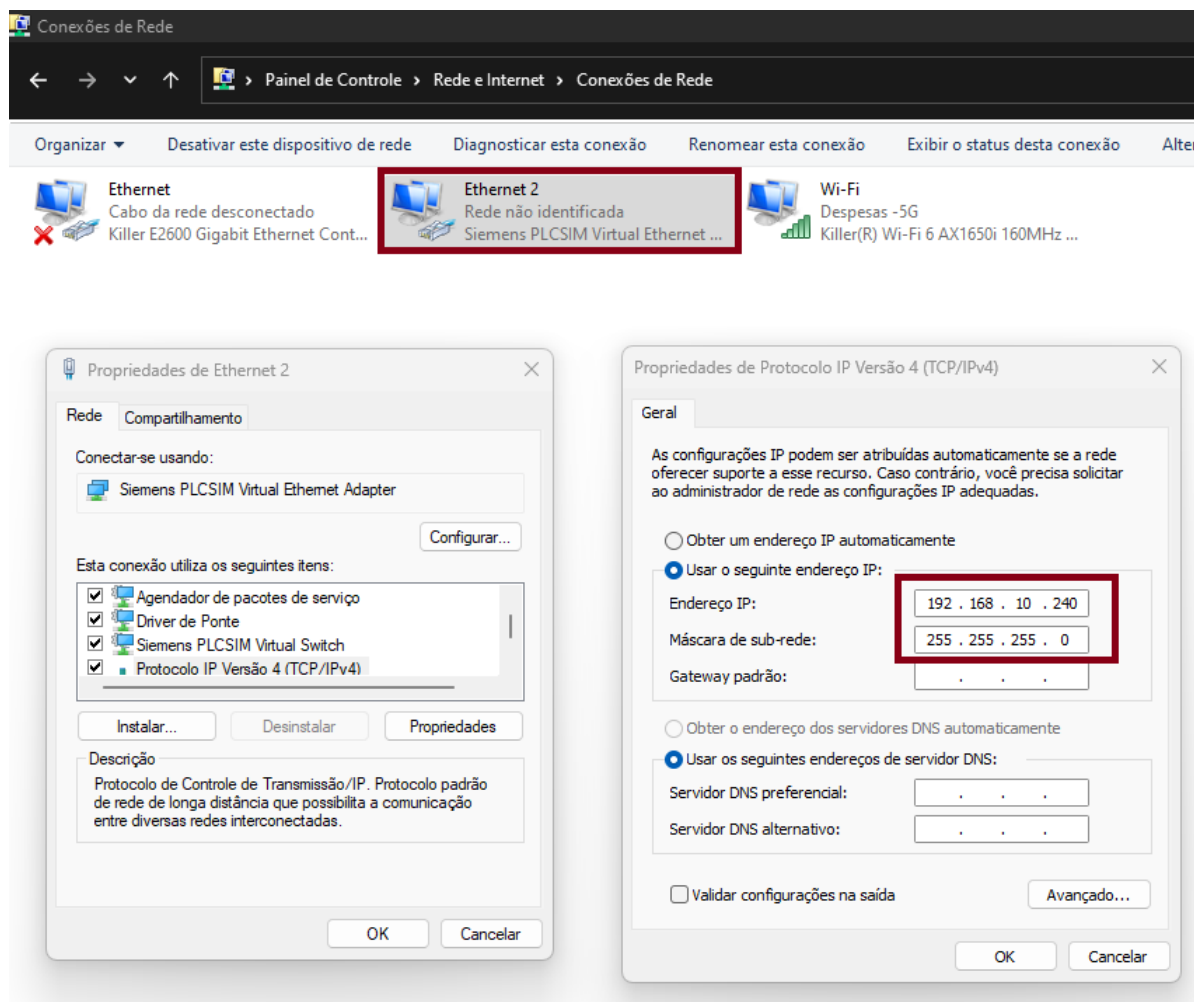
Figura 41 – *Ethernet addresses*.



Fonte: De autoria própria.

Após realizado esse passo, em Conexões de Rede (figura 42), há a interface da placa de rede virtual instalada após baixar o PLCSIM Advanced, o qual, é o simulador que será utilizado. O IP do PLCSIM Advanced deve estar na mesma faixa que o CLP (figura 43).

Figura 42 – Conexão de Rede.



Fonte: De autoria própria.

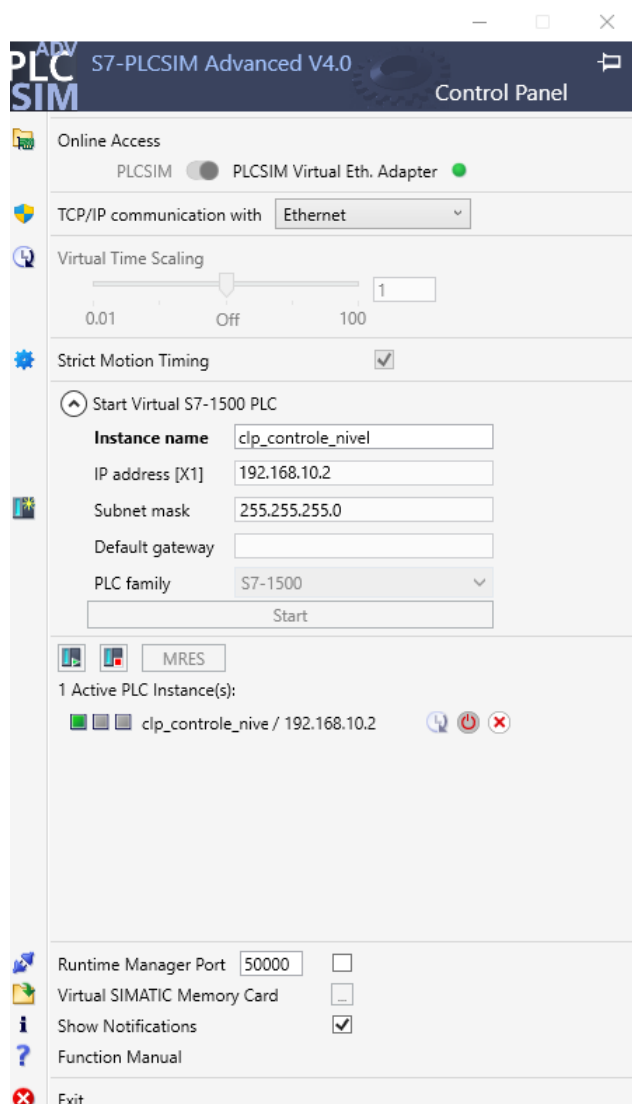
Posteriormente, é necessário compilar o *hardware* e o *software* a fim de verificar sintaxe para garantir que não haja erros que possam causar falhas na execução (figura 44).

Ao fazer o *Download* para o dispositivo, ele abrirá um assistente de comunicação que se adapta à placa utilizada, no caso, será utilizado a *Siemens PLCSIM Virtual Ethernet Adapter* (figura 45).

### 3.2.15 Tela IHM - Interface Homem-Máquina

O Interface Homem-Máquina (IHM) é um componente essencial em sistemas de automação industrial, atuando como uma interface de comunicação entre o operador e o sistema automatizado. A IHM é comumente composta por uma tela sensível ao toque ou

Figura 43 – PLCSIM.



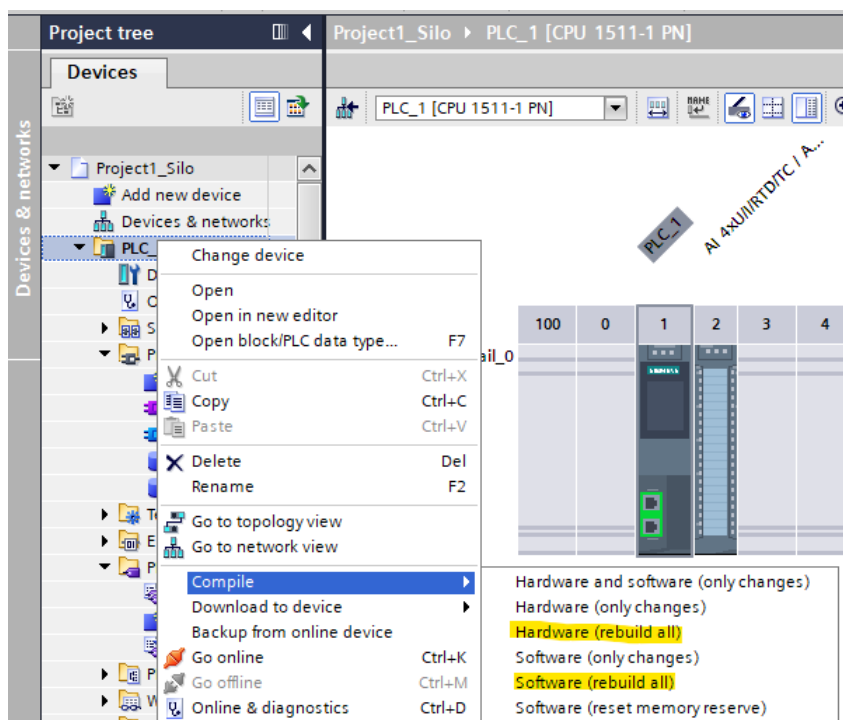
Fonte: De autoria própria.

teclado, e oferece uma variedade de funcionalidades para monitorar, controlar e interagir com o processo industrial.

Entre os benefícios e funcionalidades da IHM, estão:

- **Monitoramento em Tempo Real:** Uma das principais funções da IHM é fornecer ao operador informações em tempo real sobre o status do processo industrial. Isso inclui dados como temperatura, pressão, nível de estoque, velocidade de produção e muito mais.
- **Controle de Processos:** Além de monitorar o processo, a IHM permite que o operador controle diversos parâmetros e variáveis do sistema. Isso pode incluir iniciar ou parar máquinas, ajustar configurações de produção, definir alarmes e muito mais.

Figura 44 – Compile Hardware e Software.

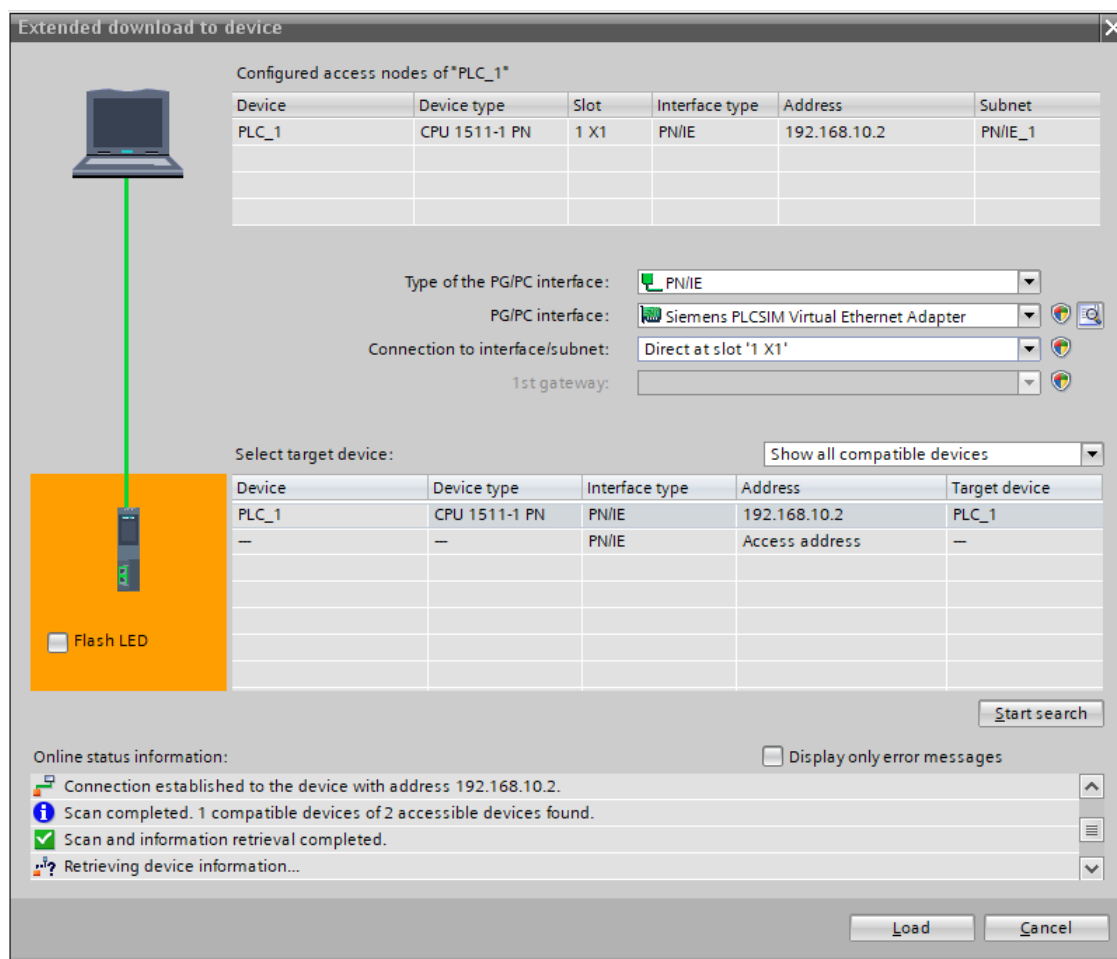


Fonte: De autoria própria.

- **Interface Intuitiva:** As telas de IHM são projetadas com uma interface intuitiva e amigável, facilitando o uso por parte dos operadores. Isso ajuda a reduzir o tempo de treinamento necessário e aumenta a eficiência operacional.
- **Visualização Gráfica:** A IHM geralmente apresenta informações de forma visual, usando gráficos, diagramas, cores e indicadores para representar o status do processo de forma clara e compreensível.
- **Acesso Remoto:** Muitos sistemas de IHM permitem o acesso remoto, o que significa que os operadores podem monitorar e controlar o processo industrial de qualquer lugar, aumentando a flexibilidade e a capacidade de resposta.
- **Registro de Dados:** Algumas IHMs têm a capacidade de registrar dados do processo ao longo do tempo, permitindo análises históricas e identificação de tendências para otimização do desempenho.

Em resumo, a Interface Homem-Máquina desempenha um papel fundamental na automação, oferecendo uma interface intuitiva e eficaz para que os operadores monitorem e controlem os processos de produção. Com suas diversas funcionalidades e benefícios, a IHM contribui para melhorar a eficiência, a segurança e a produtividade nas instalações industriais.

Figura 45 – Assistente de comunicação.



Fonte: De autoria própria.

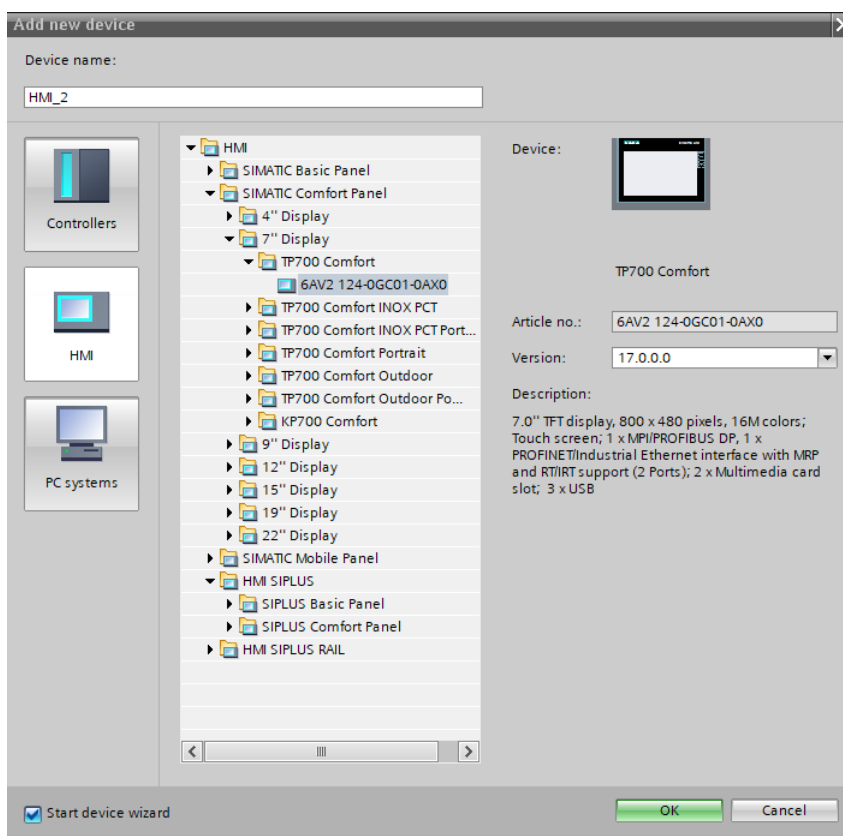
Após confirmar a inclusão da Interface Homem-Máquina (IHM) no projeto (figura 46), ela já está pronta e disponível para programação na árvore de projetos.

As *tags* de uma interface são as variáveis que fazem a ponte entre o sistema de controle (CLP) e a tela para o operador propriamente dita. Cada elemento carregado em uma IHM geralmente é atrelado a um TAG, quando se utiliza o WinCC integrado ao Tia portal há possibilidades de importação de *tags* dos CLP's que estão conectados.

Para isso, é necessário comunicar o CLP à IHM é com uma configuração prévia da conexão em *Devices and Networks* (figura 47). Esta janela apresenta todos os dispositivos inseridos no projeto com suas devidas interfaces de rede, nos equipamentos as cores demonstram qual protocolo de rede em questão a porta esta comunicando, neste caso, será Profinet, o qual é um protocolo Ethernet industrial de alto desempenho, desenvolvido para fornecer comunicação em tempo real.

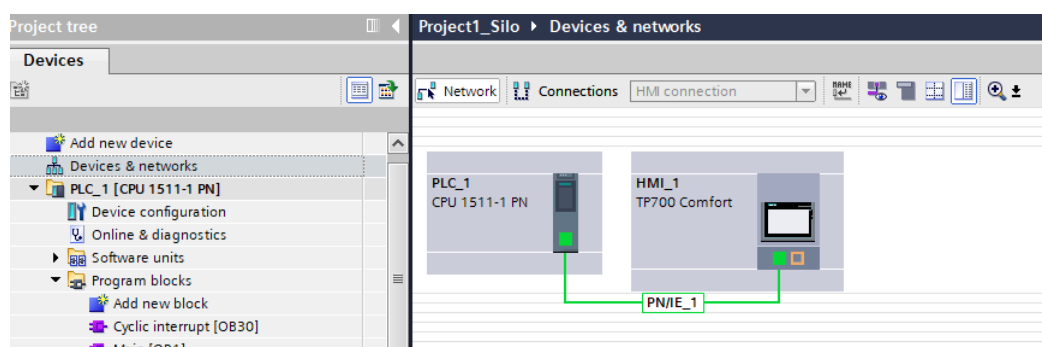
O IHM permite observar o processo de acordo com as necessidades, como neste trabalho, onde o processo é mostrado na tela e o display é atualizado cada vez que um

Figura 46 – Inserindo uma IHM a um projeto.



Fonte: De autoria própria.

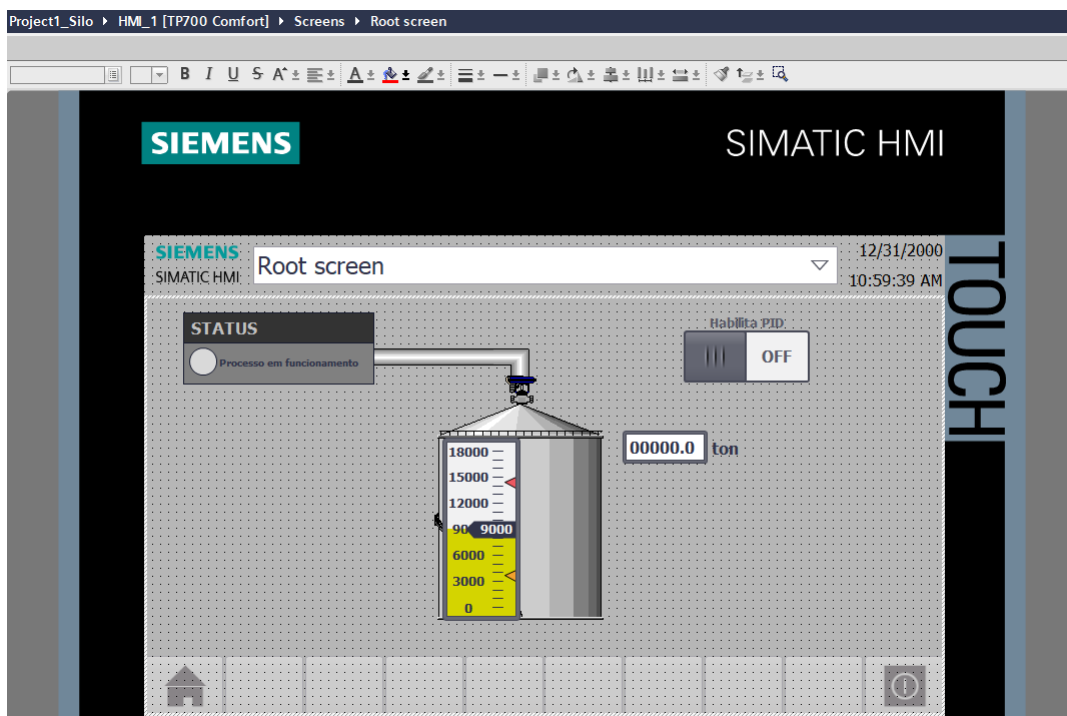
Figura 47 – Conexão entre CLP e IHM.



Fonte: De autoria própria.

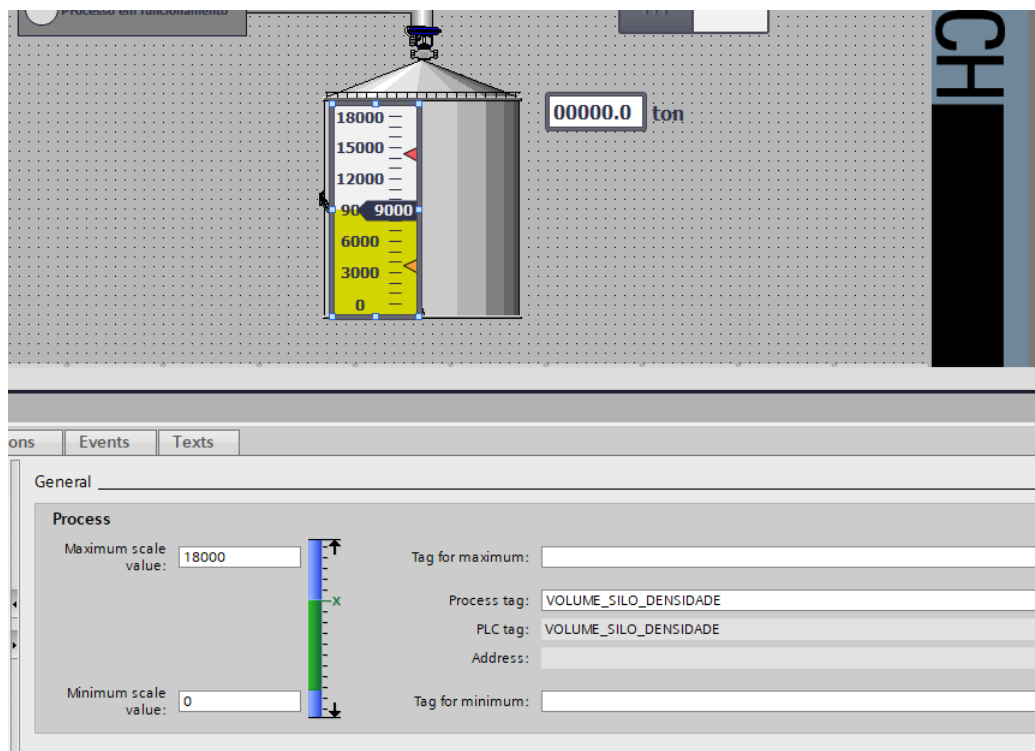
estado nas mudanças de processo uma vez que as variáveis de processo setadas no *Main Block* serão atualizadas (figura 48). Na figura 49 é setado os valores de máximo e mínimo de volume à ser apresentado na régua e adicionado o parâmetro onde mostrará o valor recebido pelos cálculos na subseção 3.2.13.3.

Figura 48 – Tela IHM.



Fonte: De autoria própria.

Figura 49 – Definição de valores máximos, mínimos e tags associadas.



Fonte: De autoria própria.

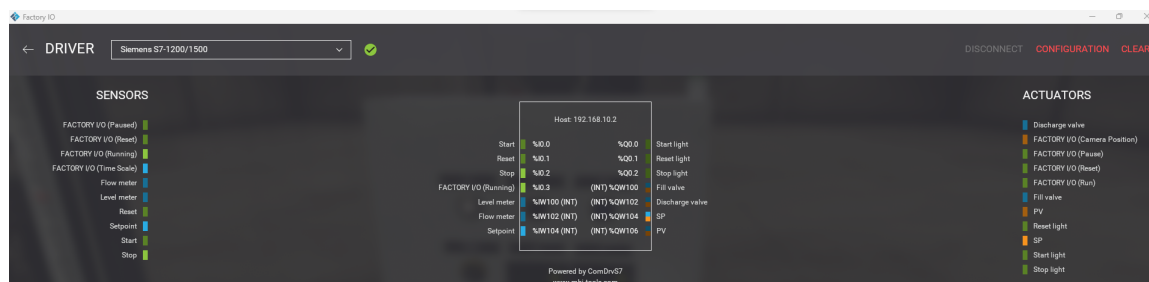
### 3.2.16 Comunicação com o *Factory I/O*

A integração entre o Factory I/O e o TIA Portal oferece uma simulação e teste de sistemas de automação industrial. No Factory I/O, as "cenar" são ambientes virtuais 3D predefinidos que representam diferentes cenários industriais. Cada cena é projetada para simular um ambiente específico de automação industrial, como uma fábrica de montagem, uma linha de produção de alimentos, um armazém automatizado, entre outros.

As cenas no Factory I/O são compostas por uma variedade de elementos, como máquinas, esteiras transportadoras, robôs, sensores, atuadores e produtos finais. Esses elementos interagem entre si de maneira dinâmica, permitindo que os usuários visualizem e simulem processos industriais complexos em um ambiente virtual.

Neste trabalho, foi escolhido a cena "*tank level*" pois é a que mais se adequa ao presente trabalho, nesta, o ambiente virtual é projetado para simular o processo de medição e controle do nível de líquido em um tanque. Nesta cena, é possível visualizar e interagir com um tanque fictício e os dispositivos associados a ele, como válvulas, bombas, sensores de nível e medidores de fluxo.

Figura 50 – Driver Factory I/O.



Fonte: De autoria própria.

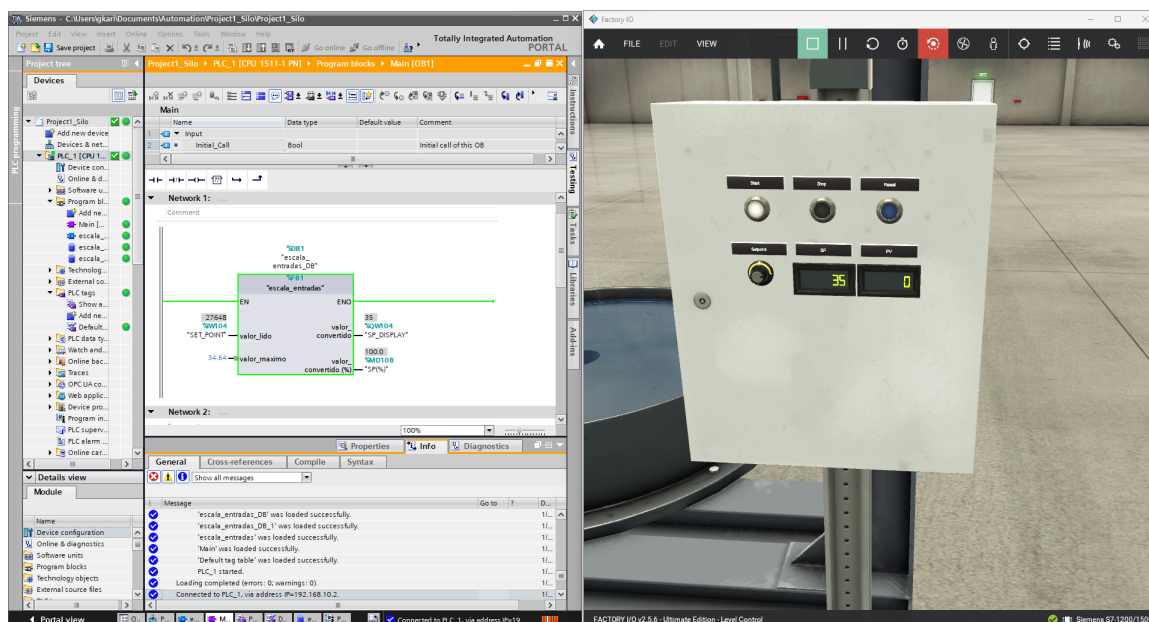
Para realizar a comunicação entre o Factory I/O e o CLP, é necessário que as *tags* sejam as mesmas, ou seja, os endereçamentos de entradas de saídas na figura 50 devem estar listadas na figura 25.

Embora o Factory I/O seja uma ferramenta poderosa e versátil para simulação de automação industrial, é importante reconhecer que também há alguns aspectos que podem ser considerados desvantajosos ou limitantes em relação às cenas disponíveis. Algumas dessas limitações incluem a personalização devido as cenas serem pré-construídas.

Dado o ocorrido, isso restringiu a capacidade de criar um ambiente de simulação adaptado às necessidades do projeto, como por exemplo, não foi possível trocar a régua da altura do tanque (300cm), porém, essas mudanças foram realizadas no CLP.

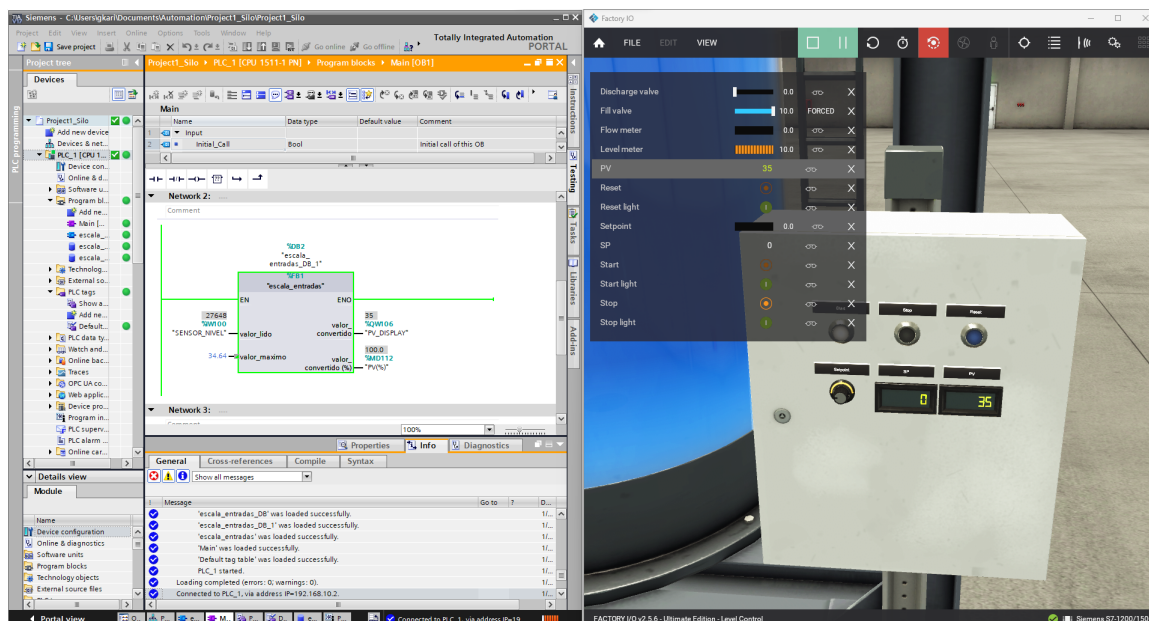
Neste trabalho, o Factory I/O foi utilizado para ter uma visão realista do ambiente em si e para realizar testes e experimentos em um ambiente virtual seguro e controlado.

Figura 51 – SET POINT display em comunicação com CLP.



Fonte: De autoria própria.

Figura 52 – Variável de Processo - PV display em comunicação com CLP.



Fonte: De autoria própria.

Isso permite avaliar diferentes configurações, estratégias de controle e cenários de falha sem o risco associado à operação em um ambiente real.

Na figura 52 é possível verificar que a altura está no máximo setado (35), onde, o silo se encontraria totalmente cheio.

Além disso, o Factory I/O pode ser usado em conjunto com uma Interface Homem-

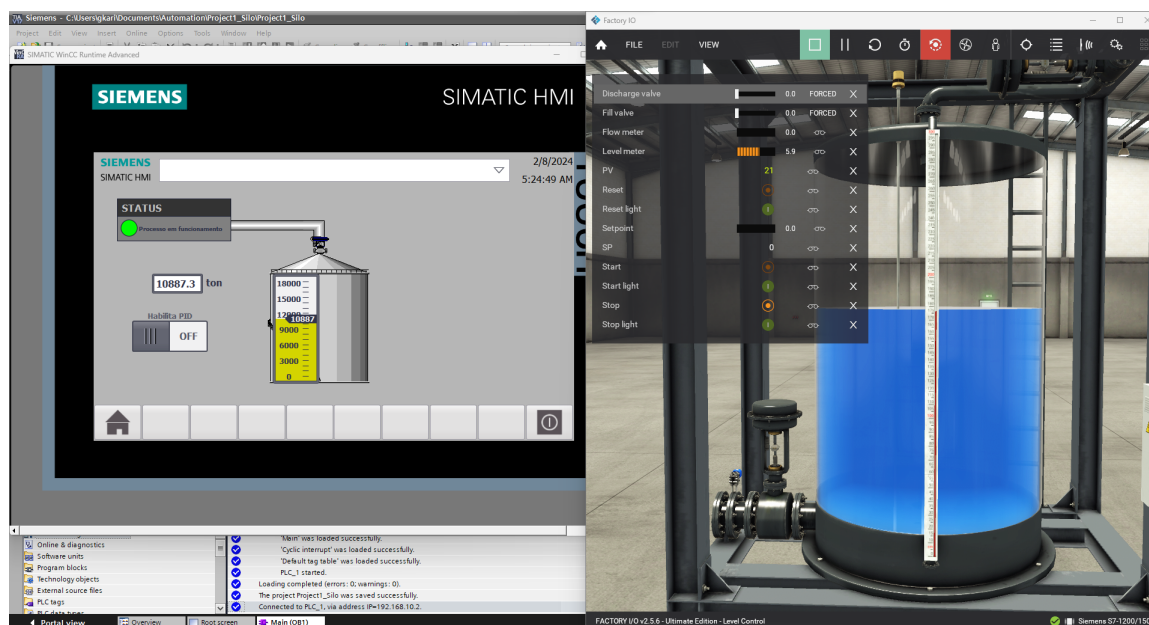
Máquina (IHM) para criar um ambiente de treinamento mais realista e imersivo em automação industrial.

A IHM é configurada para se comunicar com um controlador lógico programável (CLP) que controla um processo industrial simulado no Factory I/O. Isso geralmente é feito por meio de uma conexão de rede ou uma interface de comunicação específica, dependendo do modelo e das capacidades da IHM e do CLP. A mesma envia comandos e solicitações de dados para o CLP por meio da rede de comunicação. O CLP processa essas solicitações e envia respostas de volta à IHM conforme necessário. Isso permite que a IHM exiba informações em tempo real sobre o estado do processo controlado pelo CLP.

O Factory I/O é configurado para se comunicar com o mesmo CLP que a IHM, permitindo que ele simule o processo industrial com base nos comandos recebidos e nos dados enviados pelo CLP. Isso cria uma representação virtual do processo que pode ser visualizada e interagida no Factory I/O.

À medida que o processo é simulado no Factory I/O, o estado do processo e quaisquer alterações são enviados de volta para o CLP, e o mesmo atualiza a IHM com essas informações, permitindo que os operadores monitorem e controlem o processo de forma remota e em tempo real (figura 53).

Figura 53 – IHM em conjunto com Factory IO.



Fonte: De autoria própria.

Apesar das limitações, o software é de grande valia devido à possibilidade de testar programas de automação em um ambiente virtual antes de implementá-los em um ambiente real de produção. Além disso, isso ajuda a reduzir o tempo e os custos associados ao desenvolvimento e depuração de sistemas de automação.

## 4 PROCESSO DE CALIBRAÇÃO, TESTES E ESPECIFICAÇÕES PARA INSTALAÇÃO DO SENSOR MODELO ENDRESS HAUSER

### 4.1 Condição de instalação

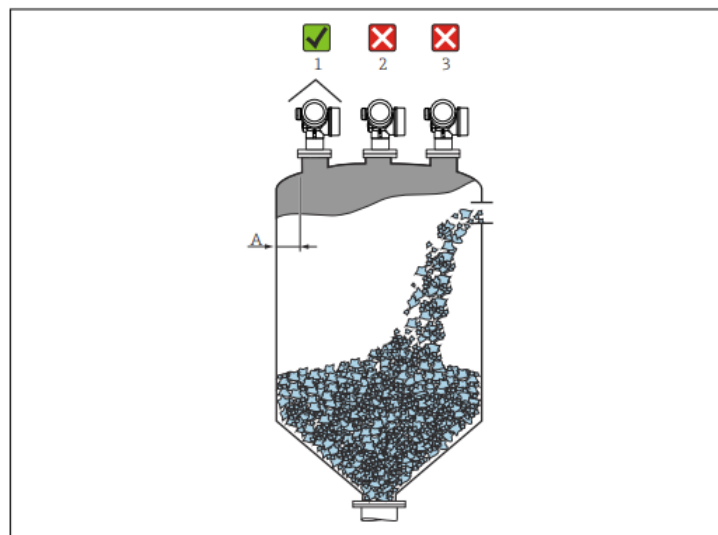
De acordo com a orientação do manual do sensor, o mesmo não deve ser instalado muito próximo do centro, onde o silo é carregado, nem muito próximo da parede, como mostra a figura 54. A posição deve estar entre  $\frac{1}{6}$  a  $\frac{2}{6}$  do diâmetro do silo e o ângulo apontando para o centro do silo. A inclinação máxima do sensor é de 15 graus, para modelo Endress Hauser.

Observação: sempre que possível, o sensor deverá ser instalado próximo a escadas ou acessos existentes para permitir atividades de configuração e manutenção.

Se a parede do contêiner não for lisa (ferro ondulado, costuras de solda, juntas etc.), recomenda-se manter a maior distância possível da parede. Se necessário, use uma unidade de alinhamento para evitar reflexões de interferência a partir da parede do contêiner.

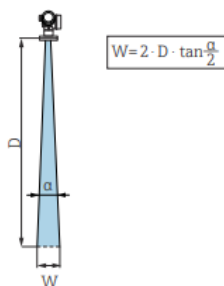
O uso de uma tampa de proteção contra intempéries é recomendado para proteger o transmissor da luz direta do sol ou da chuva e em aplicações com fortes emissões de poeira, a conexão de purga integrada pode impedir que a antena fique obstruída

Figura 54 – Orientação de instalação - Meio sólido.



Fonte: Instruções de operação Micropilot FMR67 HART: Radar de onda livre. 2. ed. rev, 2018. cap. 6, p. 19-31. Acesso em: 20/05/2024.

Figura 55 – Relação entre o ângulo do feixe  $\alpha$ , a distância D e o diâmetro do feixe W.



Fonte: Instruções de operação Micropilot FMR67 HART: Radar de onda livre. 2. ed. rev, 2018. cap. 6, p. 19-31. Acesso em: 20/05/2024.

#### 4.1.1 Ângulo de feixe

O ângulo de feixe é definido como o ângulo  $\alpha$  no qual a densidade de energia das ondas de radar alcança metade do valor da densidade máxima de energia (largura 3dB) (figura 55). As micro ondas também são emitidas fora do feixe do sinal e podem ser refletidas para fora das instalações de interferência.

Na figura 56 é possível conferir o diâmetro da largura do feixe de acordo com a distância.

Figura 56 – Diâmetro da largura do feixe W.

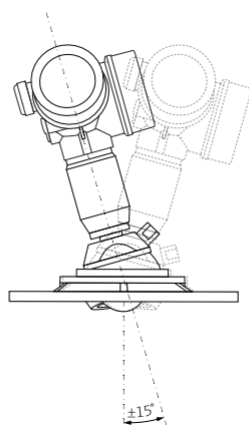
| FMR67                    |                                |                                |
|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                          |                                |                                |
| Antena <sup>1)</sup>     | Gotejamento, PTFE 50 mm / 2"   | Montagem flush PTFE 80 mm / 3" |
| Ângulo do feixe $\alpha$ | 6°                             | 4°                             |
| Distância (D)            | Diâmetro da largura do feixe W |                                |
| 5 m (16 ft)              | 0.52 m (1.70 ft)               | 0.35 m (1.15 ft)               |
| 10 m (33 ft)             | 1.05 m (3.44 ft)               | 0.70 m (2.30 ft)               |
| 15 m (49 ft)             | 1.57 m (5.15 ft)               | 1.05 m (3.44 ft)               |
| 20 m (66 ft)             | 2.10 m (6.89 ft)               | 1.40 m (4.59 ft)               |
| 25 m (82 ft)             | 2.62 m (8.60 ft)               | 1.75 m (5.74 ft)               |
| 30 m (98 ft)             | 3.14 m (10.30 ft)              | 2.10 m (6.89 ft)               |
| 35 m (115 ft)            | 3.67 m (12.04 ft)              | 2.44 m (8.00 ft)               |
| 40 m (131 ft)            | 4.19 m (13.75 ft)              | 2.79 m (9.15 ft)               |
| 45 m (148 ft)            | 4.72 m (15.49 ft)              | 3.14 m (10.30 ft)              |
| 50 m (164 ft)            | 5.24 m (17.19 ft)              | 3.49 m (11.45 ft)              |
| 60 m (197 ft)            | -                              | 4.19 m (13.75 ft)              |
| 70 m (230 ft)            | -                              | 4.89 m (16.04 ft)              |
| 80 m (262 ft)            | -                              | 5.59 m (18.34 ft)              |
| 90 m (295 ft)            | -                              | 6.29 m (20.64 ft)              |
| 100 m (328 ft)           | -                              | 6.98 m (22.90 ft)              |
| 110 m (361 ft)           | -                              | 7.68 m (25.20 ft)              |
| 120 m (394 ft)           | -                              | 8.38 m (27.49 ft)              |
| 125 m (410 ft)           | -                              | 8.73 m (28.64 ft)              |

Fonte: Instruções de operação Micropilot FMR67 HART: Radar de onda livre. 2. ed. rev, 2018. cap. 6, p. 19-31. Acesso em: 20/05/2024.

## 4.2 Antena com montagem *flush*

As flanges UNI com uma unidade de alinhamento integrada estão disponíveis para dispositivos FMR67 com uma antena de montagem embutida. Um ângulo de inclinação de até  $15^\circ$  em todas as direções pode ser ajustado para o eixo da antena usando a unidade de alinhamento, a qual, é usada para alinhar de forma otimizada o feixe de radar ao sólido a granel (figura 57).

Figura 57 – Micropilot FMR67 com unidade de alinhamento.



Fonte: Instruções de operação Micropilot FMR67 HART: Radar de onda livre. 2. ed. rev, 2018. cap. 6, p. 19-31. Acesso em: 20/05/2024.

## 4.3 Conexão elétrica

### 4.3.1 Esquema de ligação elétrica, 2 fios: 4-20 mA HART

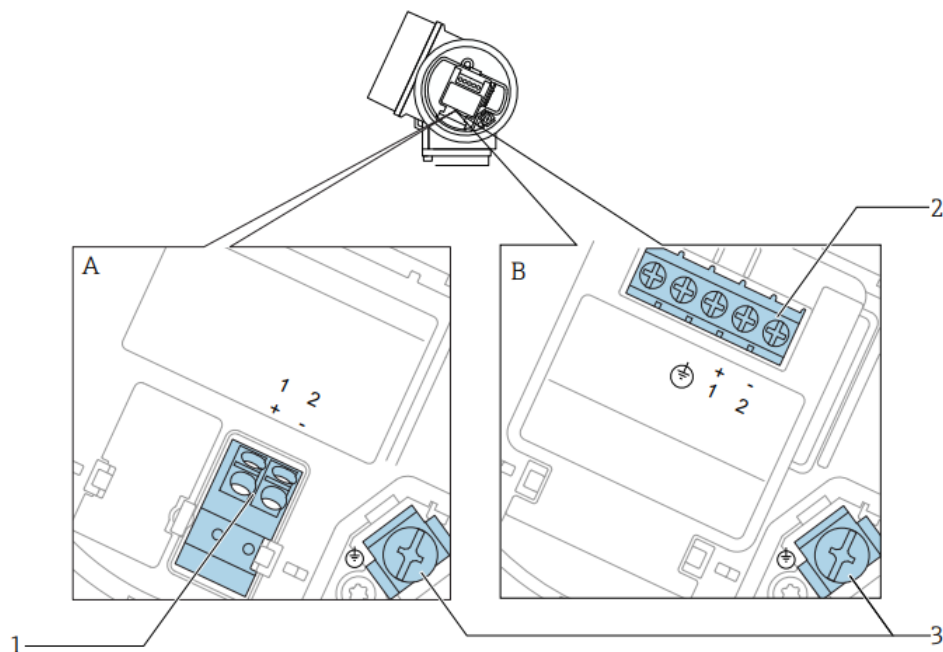
Onde, no esquema de ligação elétrica representado pela figura 58,

- A Sem proteção contra sobretensão integrada
- B Com proteção contra sobretensão integrada
- 1 Conexão 4-20 mA HART passiva: terminais 1 e 2, sem proteção integrada contra sobretensão
- 2 Conexão 4-20 mA HART passiva: terminais 1 e 2, com proteção integrada contra sobretensão
- 3 Terminal para blindagem do cabo

Onde, no diagrama de bloco demonstrado pela figura 59,

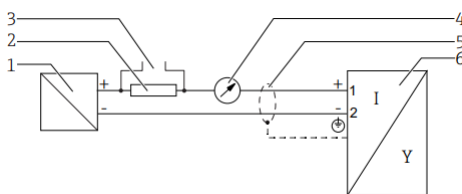
- 1 Barreira ativa com fonte de alimentação (por exemplo, RN221N): observe a tensão do terminal

Figura 58 – Esquema de ligação elétrica, 2 fios: 4-20 mA HART.



Fonte: Instruções de operação Micropilot FMR67 HART: Radar de onda livre. 2. ed. rev, 2018. cap. 7, p. 32-41. Acesso em: 20/05/2024.

Figura 59 – Diagrama de bloco, 2 fios: 4-20 mA HART.

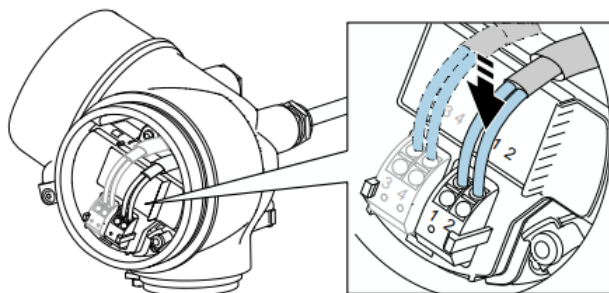


Fonte: Instruções de operação Micropilot FMR67 HART: Radar de onda livre. 2. ed. rev, 2018. cap. 7, p. 32-41. Acesso em: 20/05/2024.

- 2 Resistor de comunicação HART ( $\geq 250\Omega$ ); observe a carga máxima
- 3 Conexão para Commubox FXA195 ou FieldXpert SFX350/SFX370 (através de modem Bluetooth VIATOR)
- 4 Equipamento de display analógico; observe a carga máxima
- 5 Blindagem do cabo; observe a especificação do cabo
- 6 Medidor

A figura 60 representa como deve ser posicionado os cabos de acordo com o esquema de ligação elétrica.

Figura 60 – Cabo de acordo com o esquema de ligação elétrica.



Fonte: Instruções de operação Micropilot FMR67 HART: Radar de onda livre. 2. ed. rev, 2018. cap. 7, p. 32-41. Acesso em: 20/05/2024.

## 4.4 Comissionamento - Calibração

### 4.4.1 Alimentação de *loop*

Para calibração do sensor foi utilizado um multímetro digital com as funcionalidades de um calibrador de *loop* (Fluke 789 ProcessMeter) apresentado na figura 61.

A função mA *Loop Power* 250 HART no Fluke 789 ProcessMeter é uma capacidade de alimentação de *loop* de corrente (*loop power*) que permite fornecer energia a dispositivos de campo, como transmissores de temperatura, pressão ou fluxo, que operam com um sinal de corrente de 4-20 mA.

De acordo com o manual, o modo de fonte, ou geração de corrente, é selecionado automaticamente quando são introduzidos cabos de teste nas tomadas + e - , na função *SOURCE*, conforme mostrado na figura 62. As setas mostram o fluxo de corrente convencional. O modo de fonte é usado quando for necessário suprir corrente para um circuito passivo, tal como, uma corrente de *loop* sem alimentação (FLUKE... , 2024).

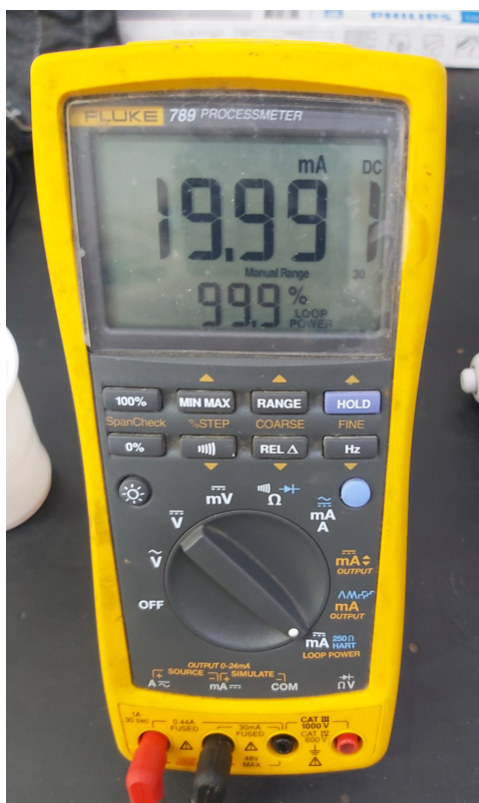
Nesse modo, o medidor age como uma fonte de energia semelhante a uma bateria, enquanto o instrumento de processo regula a corrente. Simultaneamente, o medidor realiza a medição da corrente consumida pelo instrumento de processo.

Como mostrado na figura 58, foi conectado as pontas de prova corretas aos terminais de entrada e saída do sensor e ativado a função de alimentação de para fornecer energia ao sensor (figura 63 e figura 64).

### 4.4.2 Comissionamento através do menu de operação

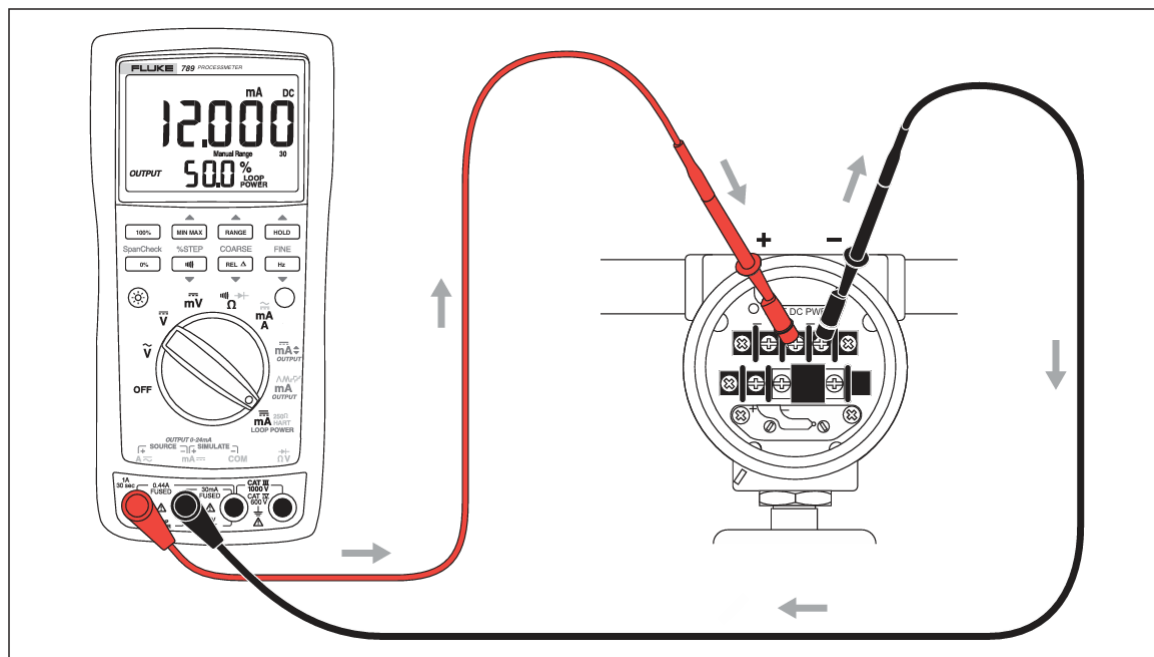
Quando ocorrem falhas, resolver problemas de configuração com entradas analógicas de 4-20 mA pode consumir tempo e recursos significativos. Especialmente durante o comissionamento no local, essas questões podem se tornar ainda mais dispendiosas. Para facilitar a testagem das entradas analógicas, com o auxílio de um simulador Fluke, cada etapa da configuração de 4-20 mA pode ser minuciosamente testada e validada. Isso

Figura 61 – Fluke 789 ProcessMeter.



Fonte: De autoria própria.

Figura 62 – Modo de alimentação de loop.



Fonte: 789/787B | Manual do Usuário: Modo de alimentação de loop. 4. ed. rev. Fluke Corporation, 2017. 50 p.. Acesso em: 20/05/2024.

Figura 63 – Conexão 4-20 mA.



Fonte: De autoria própria.

permite a identificação e resolução precoce de problemas relacionados à configuração de entrada analógica e sinal. Como resultado, a eliminação de atrasos desnecessários durante o comissionamento torna-se viável.

A fim de identificar possíveis problemas relacionadas à configuração, o comissionamento do sensor foi realizado por meio do menu de operação do próprio dispositivo. Este processo envolve várias etapas para garantir a configuração adequada e a precisão das medições.

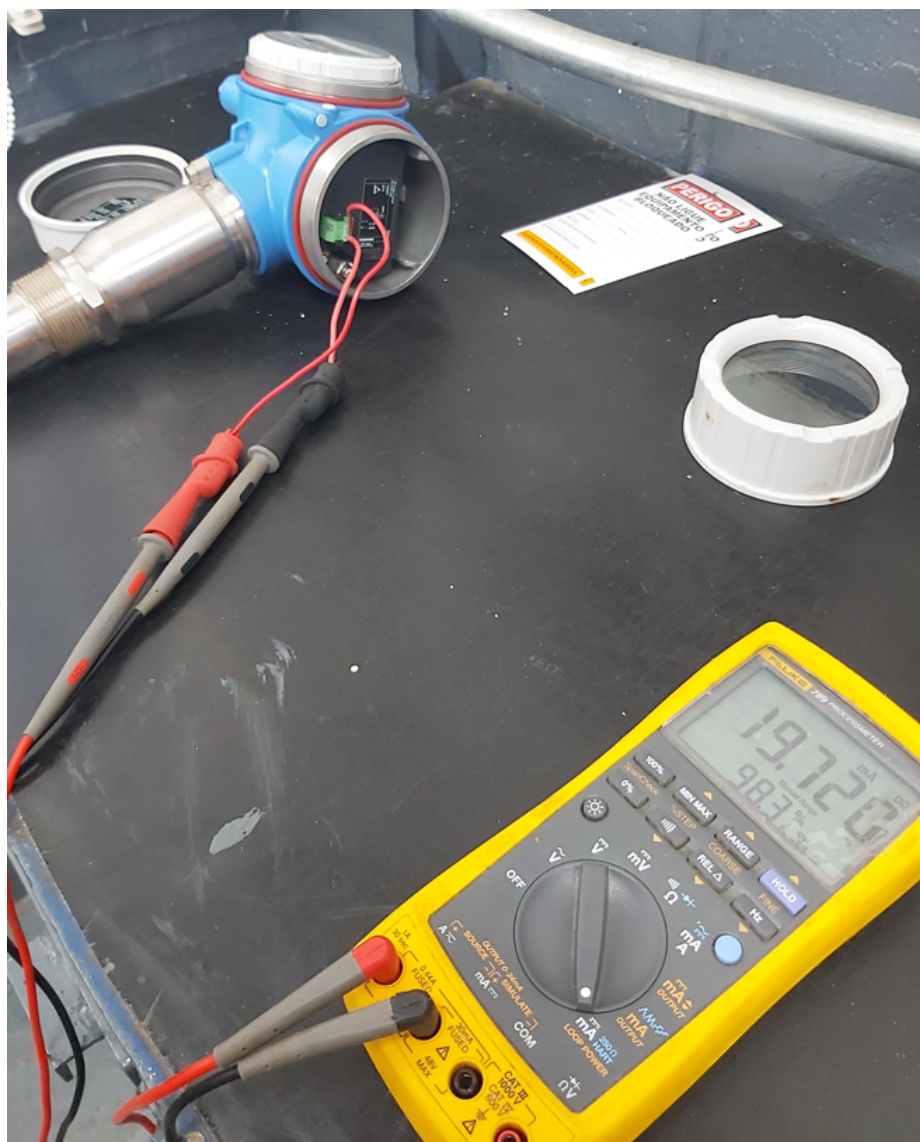
De acordo com o manual, deve ser feito a configuração para medição de nível dada a figura 65 abaixo.

O ajuste dos parâmetros de medição foi conforme necessário, incluindo a faixa de medição, a unidade de medida, para atender aos requisitos específicos da aplicação. Para teste em bancada, foi considerado um espaço de 1,8m.

Onde, a calibração em vazio é dado por 1,8m e a calibração cheia é dado por 1,6m (figura 66).

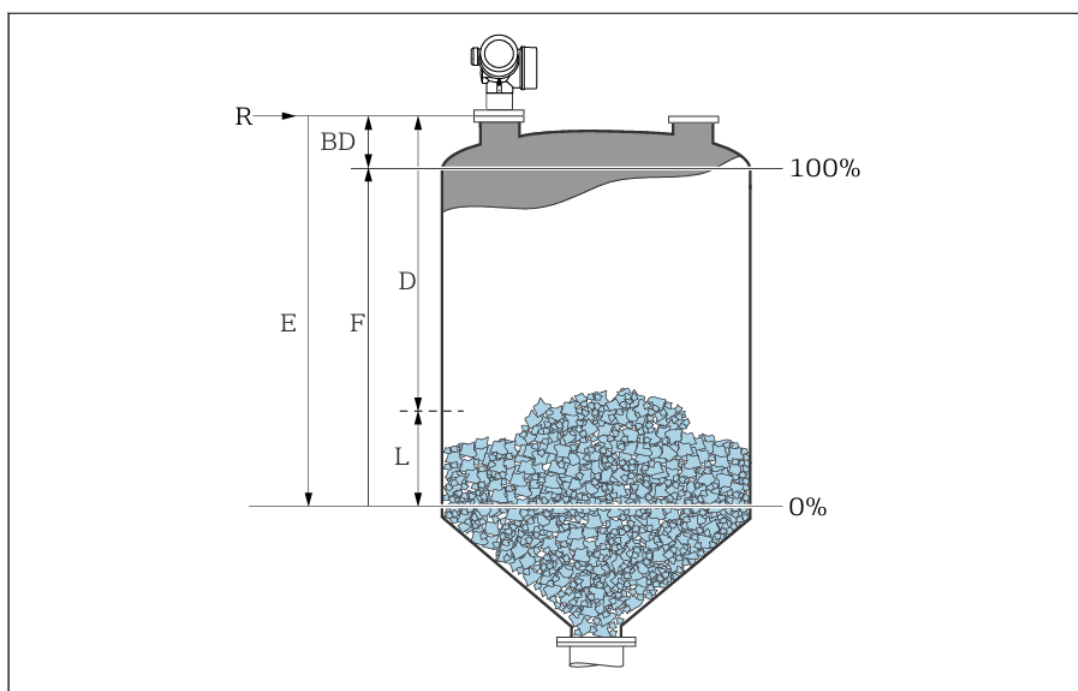
Adicionando um obstáculo em  $\frac{1}{5}$  da distância (figura 67), percebe-se que o valor retornado está de acordo com o calibrado conforme figura 68.

Figura 64 – Ligação elétrica, 2 fios.



Fonte: De autoria própria.

Figura 65 – Configuração para medição de nível.



32 Parâmetros de configuração para as medições de nível em sólidos

R Ponto de referência da medição

D Distância

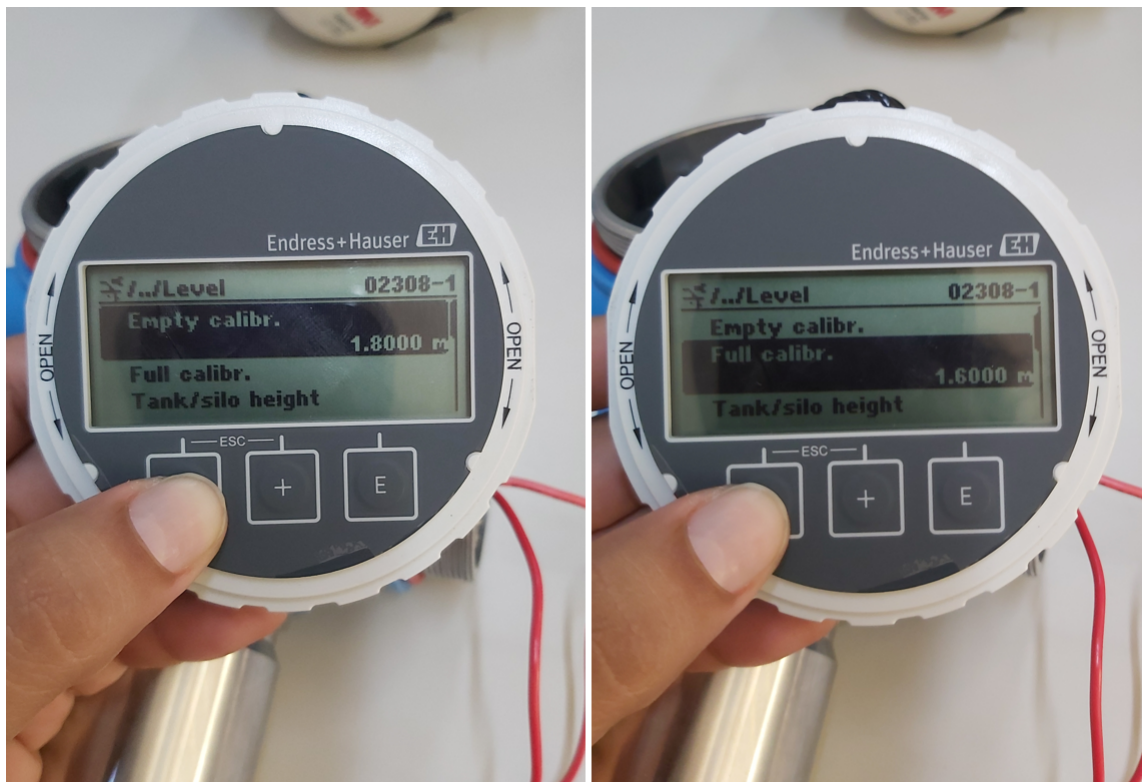
L Nível

E Calibração vazia (= zero)

F Calibração cheia (= span)

Fonte: Instruções de operação Micropilot FMR67 HART: Radar de onda livre. 2. ed. rev, 2018. cap. 12, p. 68-74. Acesso em: 20/05/2024.

Figura 66 – Calibração em vazio e cheio.

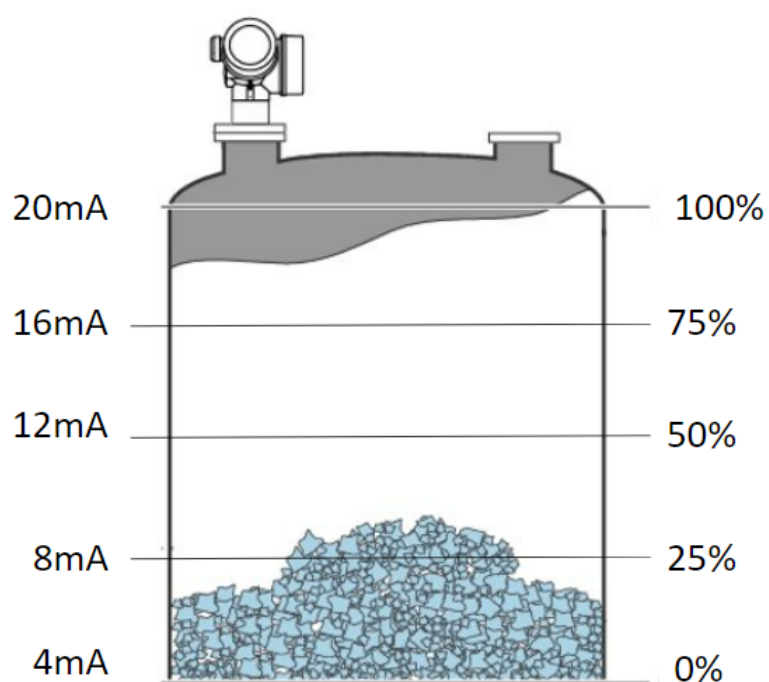


Fonte: De autoria própria.

Figura 67 – Obstáculo em aproximadamente 25%.



Fonte: De autoria própria.



Fonte: Adaptada de Instruções de operação Micropilot FMR67 HART: Radar de onda livre. 2. ed. rev, 2018. cap. 12, p. 68-74. Acesso em: 20/05/2024.

Figura 68 – Valores em porcentagem e mA.

## 5 CONCLUSÃO

O início do projeto se inicia com a coleta abrangente de dados da aplicação, visando obter o máximo de informações para garantir que o projeto de automação atenda às expectativas dos futuros usuários. É essencial compreender as precisões necessárias para a aplicação, a fim de possibilitar a especificação mais apropriada do Controlador Lógico Programável (CLP) e das placas de Entrada/Saída (I/O) que serão empregadas. Uma análise cuidadosa dos instrumentos e sensores utilizados na aplicação é fundamental, uma vez que o nível de automação alcançado está intrinsecamente ligado ao nível de instrumentação disponível. Portanto, é imperativo especificar os componentes com grande critério, levando em consideração suas particularidades individuais.

De modo geral, é fundamental compreender diversos aspectos do ambiente onde o sistema será implantado, sobretudo as restrições específicas que podem afetar o custo e viabilidade da aplicação. É necessário avaliar se há presença de substâncias inflamáveis no local, o que poderia caracterizar uma área classificada, e investigar detalhes como ponto de ignição, ponto de fulgor, limites de inflamabilidade, índice de explosividade e energia mínima de ignição das substâncias envolvidas. Além disso, é crucial considerar as condições ambientais, como níveis de ventilação, temperatura, altitude e umidade, bem como a possível presença de poeira e substâncias corrosivas. É igualmente importante analisar as condições operacionais e as características dos equipamentos de processos nos quais essas substâncias estão presentes, a fim de garantir a segurança e o funcionamento adequado do sistema.

De acordo com objetivos levantados, além da solução proposta para o problema inicial, podemos obter com este trabalho uma ampla visão de um projeto de automação industrial, passando pela definição do escopo, especificação técnica, análise da aplicação na qual se determina quais equipamentos e dispositivos serão usados.

Contudo, não foi possível resultados obtidos com a instalação do sensor de nível no silo. Embora tenham sido feitos esforços significativos para a implementação completa do sistema proposto, é importante destacar que, devido a restrições de tempo, recursos financeiros e atividade pausada devido à fatores biológicos estarem atrapalhando na infra elétrica, o sensor FMR67 ainda não foi instalado. Esta pendência representa uma oportunidade para futuros estudos e desenvolvimentos, visando aprimorar ainda mais o sistema proposto e validar sua eficácia completa. A ausência da instalação do sensor não invalida os resultados obtidos até o momento, mas destaca a necessidade de um trabalho contínuo e colaborativo para alcançar os objetivos estabelecidos.

Como propostas de trabalhos futuros, tem-se a identificação e modelagem matemá-

tica dos erros envolvidos, tais como o erro absoluto, inclinação do sensor e o alinhamento em relação ao topo da pilha. Um método com essas características ajudaria a traçar com maior precisão o comportamento do sistema.

Além disso, visando garantir a segurança de operação, é possível fazer uso da programação em Ladder desenvolvida e aproveitá-la para melhorar o processo de descarga excêntrica. Com a adaptação e o desenvolvimento de novas funções, é possível otimizar e automatizar o processo para que as válvulas auxiliares representadas na figura 4 só estejam disponíveis para abertura quando o sensor apresentado neste trabalho retornar um valor estipulado.

## Referências

- ALIEVI, C. A. Automação residencial com utilização de controlador lógico programável. *Centro Universitário Feevale. Novo Hamburgo*, 2008. Citado na página 35.
- AMARAL, P. H. do; TONIAL, T. M. O impacto que a infraestrutura da br-163 causa no escoamento de grãos do mato grosso. *Revista Arq-Engenharia de Mato Grosso*, v. 1, n. 1, p. 123–137, 2023. Citado na página 16.
- BHS. *Eficiência Operacional: Melhore a logística com tecnologia - BHS*. 2024. <<https://www.bhs.com.br/2023/11/06/eficiencia-operacional-logistica-com-tecnologia/>>. Citado na página 18.
- BINDICATOR. *Sensor de Nível Tipo Radar | Bindicator*. 2013. Disponível em: <<https://bindicator.com.br/sensor-nivel-tipo-radar.html>>. Citado 3 vezes nas páginas 27, 28 e 29.
- BOLTON, W. *Mecatrônica: uma abordagem multidisciplinar*. [S.l.]: Bookman Editora, 2009. Citado na página 21.
- BRANDÃO, V. *Arco Norte põe Brasil com os pés no futuro | Brasil 61*. 2024. <https://brasil61.com/n/arco-norte-poe-brasil-com-os-pes-no-futuro-bras190002>. Citado na página 17.
- CARVALHO, D. B. D. Importância da implantação de controlador lógico programável para a automação industrial. 2017. Citado na página 33.
- CHEAYTANI, R. *Que sensor de nível escolher? - Buying Guides DirectIndustry*. 2018. <<https://guide.directindustry.com/pt/que-sensor-de-nivel-escolher/>>. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 29.
- CORREA, P.; SILVA, J. De Sousa e. Estrutura, composição e propriedades dos grãos. In: \_\_\_\_\_. [S.l.: s.n.], 2014. p. 24. ISBN 978-85-62032-00-4. Citado na página 46.
- DAMIANI, J. Armazenagem de grãos no brasil: capacidade estática do país é capaz de armazenar cerca de 602023. Citado na página 25.
- ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M. d.; VANIER, N. L. Tecnologias de pré-armazenamento, armazenamento e conservação de grãos. *Pelotas: UFPel*, 2017. Citado na página 23.
- ENDRESS+HAUSER. *Radar - Micropilot FMR67 | Endress+Hauser*. 2018. Disponível em: <<https://www.br.endress.com/pt/produtos/n%C3%ADvel/radar-micropilot-FMR67>>. Citado 3 vezes nas páginas 20, 43 e 44.
- ENDRESS+HAUSER. *Medição de nível em silo de Farinha | Endress+Hauser*. 2024. <<https://www.br.endress.com/pt/endress-hauser-grupo/industria-aplicacao-artigo/medicao-nivel-silo-farinha>>. Citado na página 43.
- FLUKE 789 ProcessMeter™ | Ferramenta definitiva do Eletricista | Fluke. 2024. <<https://www.fluke.com/pt-br/produto/ferramentas-de-calibracao/calibradores-de-loop-ma/fluke-789>>. Citado na página 75.

FREITAS, J. M. M. d. Sensor de nível por micro-ondas e tecnologia radar-fmcw. 2013. Citado na página 28.

GRUNN. *Sistema múltiplo de scanner de nível 3D - Grunn do Brasil*. 2022. <<https://grunn.com.br/binmaster-medidores-de-nivel/scanner-de-nivel-3d/sistema-multiplo-de-scanner-de-nivel-3d/>>. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.

INSTRUMENTS, S. A. *Diferença entre o medidor de nível ultrassônico e o medidor de nível de radar*. 2017. <<https://pt.silverinstruments.com/support/technical-reference/level-measurement/ultrasonic-level-meter-and-radar-level-meter-compa.html>>. Citado na página 27.

I/O, F. *Next-Gen PLC Training - Factory I/O*. 2024. <<https://factoryio.com/>>. Citado na página 42.

MAITI, R. et al. Flow field during eccentric discharge from quasi-two-dimensional silos—extension of the kinematic model with validation. *AIChE Journal*, Wiley Online Library, v. 62, n. 5, p. 1439–1453, 2016. Citado na página 24.

MANESIS, S.; NIKOLAKOPOULOS, G. *Introduction to industrial automation*. [S.l.]: CRC Press, 2018. Citado na página 31.

NAKA, S. Determinação das propriedades físicas dos grãos de mamona ‘guarani’ visando armazenagem em silos verticais. *Universidade Estadual de Campinas–SP*, 2010. Citado na página 46.

NEPIN. *Entenda a diferença entre a automação e instrumentação | Nepin*. 2024. <<https://www.nepin.com.br/blog/industria/automacao-e-instrumentacao/>>. Accessed: 2024-05-26. Citado na página 30.

NEVES, D. *Diferenças entre Automação e Instrumentação - INETEC*. 2024. <<https://inetec.com.br/diferencas-entre-automacao-e-instrumentacao/>>. Citado na página 30.

PEPPERL+FUCHS. *Conhecimento dos sensores ultrassônicos Parte 4*. 2015. <<https://www.pepperl-fuchs.com/brazil/pt/25518.htm>>. Citado na página 27.

PETRUZELLA, F. D. *Controladores lógicos programáveis*. [S.l.]: AMGH Editora, 2014. Citado 5 vezes nas páginas 33, 34, 35, 36 e 37.

PIRES, S. R. I. Gestão da cadeia de suprimentos e o modelo de consórcio modular. *Revista de Administração da Universidade de São Paulo*, v. 33, n. 3, 1998. Citado na página 25.

RAJAWAT, A. S. et al. Robotic process automation with increasing productivity and improving product quality using artificial intelligence and machine learning. In: *Artificial Intelligence for Future Generation Robotics*. [S.l.]: Elsevier, 2021. p. 1–13. Citado na página 31.

ROCHA, F. V. da; SAES, M. S. M. Desenvolvimento econômico e social por meio de investimentos em infraestrutura: o caso da br-163. *Desenvolvimento em Questão*, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, v. 16, n. 42, 2018. Citado na página 16.

- SAGARNAGA, J. C. Eccentric discharge from silos: Bulk solids behavior, loads and structural implications. In: *Structures Congress 2014*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1729–1740. Citado na página 24.
- SEMBIRING, A. C. et al. Improvement of inventory system using first in first out (fifo) method. In: IOP PUBLISHING. *Journal of Physics: Conference Series*. [S.l.], 2019. v. 1361, n. 1, p. 012070. Citado na página 23.
- SIEMENS. *TIA Portal - Siemens Brasil*. 2024. <<https://www.siemens.com/br/pt/produtos/software/industria/automacao/tia-portal.html>>. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 41.
- SINGH, P. K. Management of business processes can help an organization achieve competitive advantage. *International Management Review*, v. 8, n. 2, 2012. Citado na página 33.
- SOUSA, E. *Armazenamento de grãos: conheça os benefícios e cuidados*. 2024. <<https://terramagna.com.br/blog/armazenamento-de-graos/>>. Citado na página 16.
- TECNOLOGIAS para armazenamento adequado de grãos de arroz. 2018. <<https://www.corteva.com.br/coeficiente-agro/linha-arroz-blog/tecnologias-para-armazenamento-adequado-de-graos-de-arroz.html>>. Citado na página 23.
- UNI-ANPEX - PORTFÓLIO. 2024. <<https://agfi.com.br/catalogos/silos/>>. Citado na página 20.
- VINOD, R. V. B. et al. *Advancements in Automation, Robotics and Sensing*. [S.l.]: Springer, 2016. Citado na página 33.
- WEBER, K. *Sensor de Nível Radar*. 2021. <<https://www.youtube.com/watch?v=dbERRpz7gUs>>. Citado na página 28.
- ZANCAN, M. D. Controladores programáveis. 2016. Citado na página 34.
- ZHU, Y. Z. et al. Distribution of lateral pressure in large diameter squat silos under eccentric discharge. *Applied Mechanics and Materials*, Trans Tech Publ, v. 226, p. 1420–1425, 2012. Citado na página 24.
- ZINI, M. et al. Radar sensor system for unobtrusive level monitoring of granular solids stored in silos. In: SPRINGER. *AISEM Annual Conference on Sensors and Microsystems*. [S.l.], 2022. p. 147–152. Citado na página 22.
- ZURAWSKI, R. *Industrial communication technology handbook*. [S.l.]: CRC press, 2014. Citado na página 22.