

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GUILHERME LECHENCO VARGAS PEREIRA

**AUTOMAÇÃO DE UMA PLANTA INDUSTRIAL - PROCESSO DE ENVASE,
PALETIZAÇÃO E ESTOQUE DE PRODUTOS**

APUCARANA

2022

GUILHERME LECHENCO VARGAS PEREIRA

**AUTOMAÇÃO DE UMA PLANTA INDUSTRIAL - PROCESSO DE ENVASE,
PALETIZAÇÃO E ESTOQUE DE PRODUTOS**

**Automation of an industrial plant - Process for filling, palletizing and
stocking products**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Willian Ricardo Bispo
Murbak Nunes

APUCARANA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GUILHERME LECHENCO VARGAS PEREIRA

**AUTOMAÇÃO DE UMA PLANTA INDUSTRIAL - PROCESSO DE ENVASE,
PALETIZAÇÃO E ESTOQUE DE PRODUTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Elétrica do
Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 29/novembro/2022

Prof. Willian Ricardo Bispo Murbak Nunes
Doutor em Engenharia Elétrica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Sebastian de Jesus Manrique Machado
Doutor em Engenharia Elétrica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Mario Alessandro Romagnolli Junior
Bacharel em Engenharia Elétrica
PID Brasil Automação Industrial

APUCARANA

2022

Dedico este trabalho a minha família e aos meus amigos, pelos momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho não poderia ser finalizado sem a ajuda de diversas pessoas e/ou instituições às quais presto meus agradecimentos. Certamente, esses parágrafos não abrangem todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre estas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e tem minha gratidão.

A minha família, pelo carinho, incentivo e total apoio em todos os momentos da minha vida.

Ao meu orientador, que me mostrou os caminhos a serem seguidos e pela confiança depositada.

A todos os professores e colegas do curso, que ajudaram de forma direta e indireta na realização e/ou conclusão deste trabalho.

A todos os demais que de alguma forma contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional.

RESUMO

A espécie humana possui a capacidade criativa de desenvolver inovações no âmbito de produtos, serviços e processos visando alcançar a melhor eficiência, qualidade de vida e transformação social. A automação industrial é um destes desenvolvimentos na história mais recente da vida humana. O controlador lógico programável (CLP) é o elemento central na arquitetura da automação, intermediando as informações provenientes ou fornecidas pelos sensores e estabelecendo os sinais desejados para as saídas ligadas aos atuadores de um determinado processo. A adoção da automação industrial nas empresas propicia diversas vantagens para o processo produtivo, tais como: redução do erro humano na fabricação, uniformidade no produto, minimização dos casos de lesões por esforço repetitivo, monitoramento por gráficos das variáveis de interesse, entre outros. Este trabalho apresenta uma proposta de automação de um processo industrial composto por etapas de envase, paletização e estoque de produtos. Os resultados provindos de simulação mostrarão o funcionamento dos processos de uma fábrica virtual a partir da programação de um CLP e um sistema de supervisão Web conectados por meio de um servidor OPC. Resultados práticos com o CLP Altus Nexto Xpress, um inversor de frequência e uma interface homem-máquina (IHM) série P2 interligados por meio de protocolo de rede industrial demonstrarão o funcionamento de uma parte da abordagem proposta.

Palavras-chave: controlador lógico programável; fábrica virtual; indústria 4.0; redes industriais; sistema de controle e supervisão.

ABSTRACT

The human species has the creative capacity to develop innovations in the scope of products, services, and processes in order to achieve better efficiency, quality of life, and social transformation. Industrial automation is one such development in the most recent history of human life. The programmable logic controller (PLC) is the central element in the automation architecture, intermediating the information coming from or provided by the sensors and establishing the desired signals for the outputs connected to the actuators of a given process. The adoption of industrial automation in companies brings several advantages to the production process, such as reducing human error in manufacturing, standardizing production, minimizing injuries by repetitive efforts, allows graphical monitoring of variables of interest, among others. This work presents a proposal to automate an industrial process composed by the stages of filling, palletizing and product storage. The simulated results will show the processes running through a virtual factory from the programming of a PLC and a Web supervision system connected through an OPC server.

Keywords: programmable logic controller; virtual factory; industry 4.0; industrial networks; control and supervisory system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Histórico das revoluções industriais.	15
Figura 2 – Pilares da indústria 4.0 utilizadas neste trabalho de conclusão de curso.	16
Figura 3 – Empresas que relataram progresso pós COVID-19 ao adotarem a indústria 4.0 segundo a pesquisa da <i>Mckinsey & Company</i>	17
Figura 4 – Exibições gráficas dos comportamentos do TP, TON e TOF em função do tempo.	21
Figura 5 – Visualização da simulação do exemplo proposto.	22
Figura 6 – Código em <i>ladder</i> para o exemplo.	24
Figura 7 – Demonstração de passo e transição no GRAFCET.	27
Figura 8 – Código em SFC para o exemplo.	28
Figura 9 – Código em <i>ladder</i> para implementar o contador utilizado no exemplo.	28
Figura 10 – Camadas das tecnologias de redes.	29
Figura 11 – Comparativo das camadas de redes entre os protocolos MODBUS RTU e TCP.	30
Figura 12 – Ilustração da conexão entre dispositivos para comunicação MODBUS na topologia barramento.	31
Figura 13 – Estrutura do cabeçalho de mensagem no MODBUS RTU.	32
Figura 14 – Planta operando em malha fechada com um controlador PID.	33
Figura 15 – Resposta ou degrau unitário de uma planta.	34
Figura 16 – Ilustração do CLP Altus XP 340.	36
Figura 17 – Metodologia empregada para ensaio de identificação de sistema, sintonia de controlador e validação da programação do CLP.	37
Figura 18 – Cenário tridimensional contendo os processos de envase, paletização e estoque.	38
Figura 19 – Fábrica virtual: esteira do processo de envase.	39
Figura 20 – Detalhes do tanque industrial utilizado no processo de envase.	39
Figura 21 – Visão geral do processo de paletização.	41
Figura 22 – Esteiras do <i>palletizer</i>	42
Figura 23 – Visão superior do elevador do processo de paletização.	42
Figura 24 – Palete montado.	43

Figura 25 – Visão geral do processo e das prateleiras do estoque.	44
Figura 26 – Fábrica virtual: Robô empilhadeira.	45
Figura 27 – Bancada de ensaios para validação experimental da programação do CLP, IHM e acionamento do motor de indução utilizando protocolo de rede industrial.	47
Figura 28 – Conexões entre o CLP e o inversor de frequência e o tanque.	48
Figura 29 – Funcionamento da fábrica virtual. Clique aqui para visualizar o vídeo demonstrativo.	50
Figura 30 – Código em <i>ladder</i> para acionamento da válvula de descarga para os estados de enchimento rápido e lento.	51
Figura 31 – Gráfico da resposta do sistema ao um degrau de $10V$ aplicado na válvula de enchimento.	52
Figura 32 – Resposta temporal do sensor de nível $y(t)$ a partir de um degrau de tensão na válvula de enchimento $u(t)$	53
Figura 33 – Validação da resposta temporal da saída do sistema a partir das funções de transferência estimadas.	54
Figura 34 – Erro de estimativa das funções de transferências.	55
Figura 35 – Nível do tanque operando em malha fechada com o controlador PI.	55
Figura 36 – Ação de controle sobre a válvula de enchimento.	56
Figura 37 – Programação em linguagem <i>ladder</i> do bloco PID no <i>software</i> Master-Tool IEC XE.	57
Figura 38 – Montagem que foi realizado em laboratório. Clique aqui para visualizar o vídeo demonstrativo	57
Figura 39 – Tela de <i>login</i> e inicial da IHM para cada nível de operação.	58
Figura 40 – Telas de menus da IHM para cada nível de operação.	59
Figura 41 – Telas do processo de paletização.	60
Figura 42 – Tela de alarmes da paletização.	61
Figura 43 – Telas de configuração de do processo de paletização.	62
Figura 44 – Código em <i>ladder</i> para acionamento do inversor de frequência por meio de saída analógica do CLP.	63
Figura 45 – Funcionamento da implementação prática no processo de paletização. Clique aqui para visualizar o vídeo demonstrativo.	64

Figura 46 – Tela de configuração dos parâmetros de gerenciamento da produção. .	65
Figura 47 – Tela do indicador de performance OEE.	65
Figura 48 – Montagem realizada para validação experimental de controle do tanque. .	66
Figura 49 – Tela de supervisão e controle de nível do tanque.	67
Figura 50 – Tela de alarmes do tanque.	68
Figura 51 – Funcionamento da implementação prática do controle do tanque. Cli- que aqui para visualizar o vídeo demonstrativo.	68
Figura 52 – Gráfico da aquisição de dados.	69
Figura 53 – Comparativo entre a resposta dinâmica do tanque proveniente da aqui- sição de dados e a resposta proveniente da função de transferência estimada 7.	70
Figura 54 – Resposta do sistema para um <i>setpoint</i> do tipo degrau definido em 20 cm. .	71
Figura 55 – Resposta do sistema há um degrau aplicado de 24cm.	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Simbologia básica da linguagem de diagrama <i>ladder</i> segundo o IEC 61131-3.	23
Quadro 2 – Operadores da linguagem texto estruturado.	25
Quadro 3 – Lista de instruções texto estruturado.	26
Quadro 4 – Velocidade da camada física da <i>interface</i> RS485 MODBUS.	31
Quadro 5 – Especificações de <i>Fcode</i> para comunicação entre dispositivos.	32
Quadro 6 – Especificação dos objetos, acesso, tamanho dos dados e faixa de endereçamento das variáveis para o protocolo MODBUS.	33
Quadro 7 – Regras de sintonia de Ziegler-Nichols baseada na resposta ao degrau da planta.	34
Quadro 8 – Lista das entradas e saídas para controle de nível do tanque industrial.	40
Quadro 9 – Lista das entradas e saídas da cena <i>Palletizer</i>	43
Quadro 10 – Lista das entradas e saídas quando é utilizado o método digitais da cena <i>Automated Warehouse</i>	45
Quadro 11 – Codificação da posição da carro pelo método digital do <i>Stacker Crane</i> .	46
Quadro 12 – Lista das entradas e saídas (digitais e analógicas) do <i>Automated Warehouse</i>	46
Quadro 13 – Quadro das senhas de segurança da IHM.	59
Quadro 14 – Orçamento de motores para o projeto.	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Siglas

CAGR	Do inglês <i>Compound Annual Growth Rate</i> , que significa a taxa composta de crescimento anual
CFC	Linguagem Gráfico Funcional Contínuo
CLP	Controlador Lógico Programável
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CRC	Do inglês <i>Cycling Redundancy Check</i>
CTD	Contador decrescente
CTU	Contador crescente
GM	Do inglês <i>General Motors</i>
IHM	Interface Homem-Máquina
LD	Do inglês <i>Ladder Diagram</i> , que corresponde a uma programação do tipo diagrama de contatos
OEE	Do inglês <i>Overall Equipment Effectiveness</i> , que significa Eficiência Global do Equipamento
OPC	Do inglês <i>Open Platform Communications</i> , que significa Comunicação de Plataforma Aberta
ST	Do inglês <i>Structured Text</i> , que significa texto estruturado
SFC	Do inglês <i>Sequential Function Chart</i> , que significa gráfico de funções sequenciais
PID	Controlador Proporcional Integral Derivativo
PI	Controlador Proporcional Integrativo
TCU	Tribunal de Contas da União
TON	Temporizador com retardo na energização, do inglês <i>on delay</i>
TOF	Temporizador com retardo na desenergização, do inglês <i>off delay</i>
TP	Temporizador por pulso

UTFPR Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Acrônimos

GRAFCET Do francês *Graphe Fonctionnel de Commande, Étapes Transitions*, que significa um gráfico funcional de comandos, etapas e transições

IPEA Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

LER Lesão por Esforço Repetitivo

POUs Do inglês *Program Organizational Units*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Problema proposto	17
1.2	Justificativa	18
1.3	Objetivos	18
1.3.1	Objetivos específicos	18
1.4	Organização do trabalho	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	Introdução	20
2.2	Linguagens de programação do CLP	20
2.2.1	Diagrama <i>ladder</i>	21
2.2.1.1	Exemplo proposto para conceituar as linguagens	22
2.2.1.2	Execução do exemplo 2.2.1.1 na linguagem <i>ladder</i>	24
2.2.2	Texto estruturado	24
2.2.2.1	Execução do exemplo 2.2.1.1 na linguagem texto estruturado	25
2.2.3	Gráfico de funções sequenciais	27
2.2.3.1	Execução do exemplo 2.2.1.1 em gráfico de funções sequenciais	27
2.3	Redes industriais	29
2.3.1	Protocolo MODBUS	30
2.3.1.1	MODBUS RTU	31
2.4	Controlador PID	33
2.4.1	Método Ziegler-Nichols	34
2.4.1.1	Regras de sintonia de Ziegler-Nichols baseada na resposta ao degrau da planta	34
3	MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1	Controlador lógico programável das simulações	36
3.2	Fábrica virtual	38
3.3	Processo 1: Envase	38
3.3.1	Controlador de nível PID	39
3.3.2	Identificação da dinâmica do tanque industrial	40
3.3.3	Sintonia do Controlador PID	41
3.4	Processo 2: Paletização	41

3.5	Processo 3: Estoque	44
3.5.1	Método digital do alinhamento do <i>Stacker Crane</i>	45
3.5.2	Método numérico do alinhamento do <i>Stacker Crane</i>	46
3.6	Implementação prática	46
3.6.1	Indicador de performance	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1	Fábrica Virtual	50
4.1.1	Processo de envase	50
4.1.2	Processo de paletização	51
4.1.3	Processo de estoque	52
4.1.4	Identificação da dinâmica do tanque virtual e sintonia do controlador	52
4.2	Implementação prática	56
4.2.1	Configuração de IHM e gerenciamento de usuários	56
4.2.2	Implementação do processo de paletização	59
4.2.3	Indicador de performance	64
4.2.4	Implementação do controle de nível para o tanque experimental	66
4.2.4.1	Identificação da dinâmica do tanque e sintonia do controlador	69
4.3	Orçamento do processo da simulação	73
5	CONCLUSÕES	75
	REFERÊNCIAS	76
	ANEXO A ORÇAMENTO DOS EQUIPAMENTOS PARA AUTOMATIZAR O PROCESSO DE PALETIZAÇÃO	79
	ANEXO B ORÇAMENTO DOS EQUIPAMENTOS PARA AUTOMATIZAR O CONTROLE DE NÍVEL E O PROCESSO DE ENVASE	83
	ANEXO C ORÇAMENTO DOS EQUIPAMENTOS PARA A AUTOMAÇÃO DO SETOR DE ESTOQUE	86

1 INTRODUÇÃO

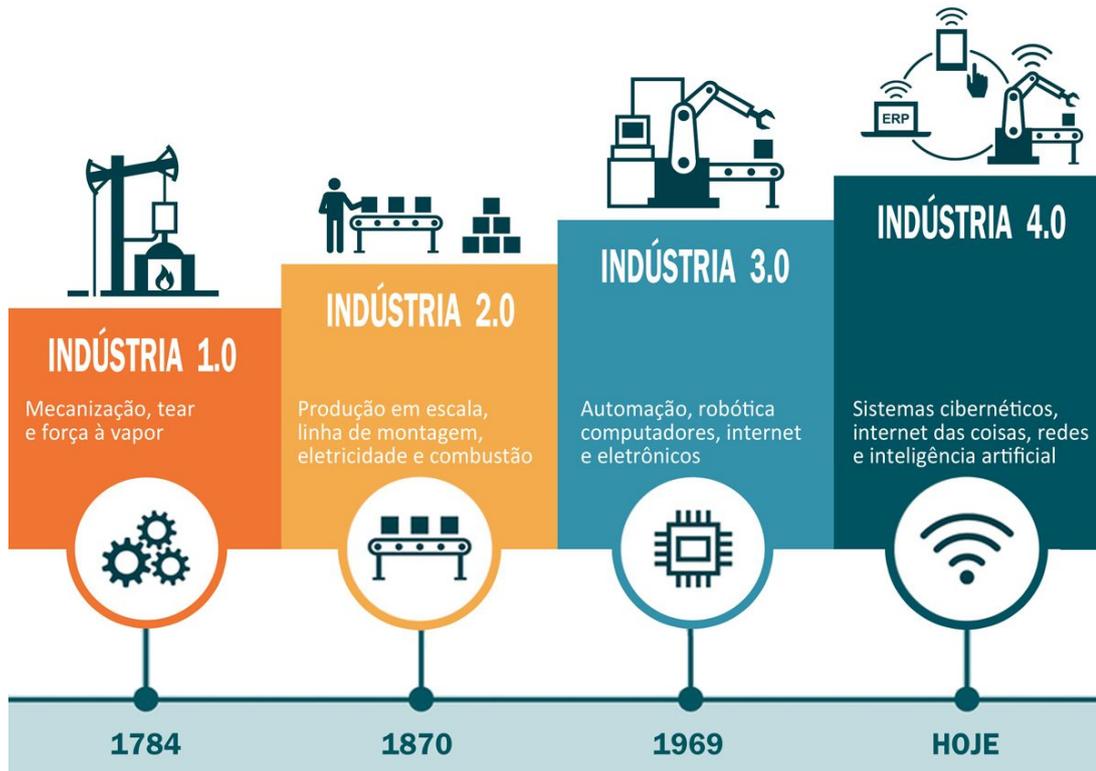
Na história nota-se que o ser humano sempre criou ferramentas para facilitar a vida e por meio destas desenvolvia outras melhores. Com o avançar do tempo isso continuou, surgindo novas tecnologias que produziam mais como por exemplo os moinhos de vento, de água ou de força animal que moíam os cereais afim de fabricarem farinhas com menor esforço humano comparado com a fabricação manual. Assim novas tecnologias foram surgindo para facilitar a vida humana como: metalurgia para o manuseio de metais e a criação de ferramentas; teares para a produção de tecidos; motores a vapor, a gasolina e elétricos; a eletricidade e todas as tecnologias do mundo moderno (LAMB, 2015).

Com o advento das revoluções industriais, houve um aumento da produção em larga escala. O aumento da produção demandou a utilização de mecanismos automáticos por meio de controladores lógicos programáveis (Controlador Lógico Programável (CLP)s) que passaram a substituir as atividades manuais, que envolviam comandos e tomadas de decisões de seres humanos. O termo automação foi criado por um engenheiro da *Ford Motor Company* na década de 1940, onde um simples sistema composto por sensores, botões e temporizadores automatizava a produção do veículo Ford modelo T (LAMB, 2015).

Com o avançar da tecnologia e o advento dos computadores, estes sistemas se tornaram mais flexíveis, menores e com menor custo. Nas décadas de 1970 e 1980 foram criados os primeiros CLP's pela empresa MODICON. A empresa interessada por estes equipamentos era a *General Motors* (Do inglês *General Motors* (GM)) visando substituir o sistema de automação composto por relés, que ocupavam muito espaço e exigiam muita manutenção (LAMB, 2015).

As revoluções industriais durante a história revolucionaram o modo de vida da comunidade mundial, a Figura 1 mostra as revoluções industriais durante a história. Atualmente vivencia-se uma transformação na manufatura denominada indústria 4.0, cujos pilares são: internet das coisas (em inglês, *Internet of Things* -IoT), *big data and analytics*, *cloud computing*, manufatura aditiva, cibersegurança, integração de sistemas, simulação, robótica e realidade aumentada (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2019). Este trabalho apresenta um desenvolvimento sinérgico para indústria 4.0 como é mostrado na Figura 2, apoiando-se no pilar de simulação. A simulação computacional tornou-se indispensável ao aproximar o mundo físico do virtual, possibilitando a análise de dados em tempo real por meio dos sensores mandando as informações para a nuvem, para o aperfeiçoamento nas configurações de máquinas e dispositivos do processo, gerando otimização de performance, tempo e recursos.

Figura 1 – Histórico das revoluções industriais.

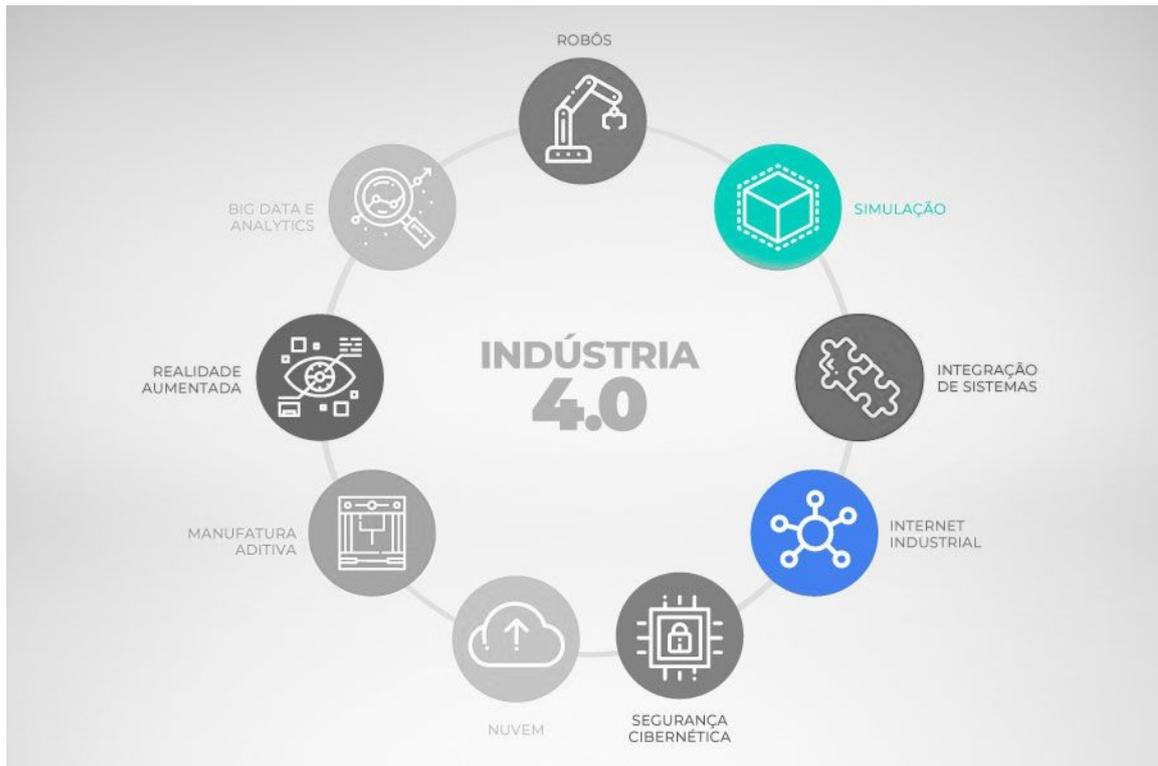


Fonte: WERT AMBIENTAL (2019).

Neste sentido, esta proposta realiza a montagem de uma fábrica virtual para simulação da lógica de programação, bem como permite capacitar colaboradores da equipe técnica com habilidades para solução de problemas comuns na área de manutenção por meio de inserção de falhas nos dispositivos.

Com o advento da pandemia da COVID-19 (Do inglês *Coronavirus disease 2019* (COVID-19)) ficou evidente a importância da automação em diferentes aplicações industriais. Medidas de segurança sanitária, tais como o isolamento social para evitar o contágio de pessoas acarretou um efeito negativo do ponto de vista econômico. Todavia, empresas com um nível de automatização em seus processos conseguiram manter suas atividades produtivas, possibilitando o trabalho remoto de seus colaboradores (VASCONCELOS, 2020).

Figura 2 – Pilares da indústria 4.0 utilizadas neste trabalho de conclusão de curso.



Fonte: Autoria própria (2021).

Segundo a pesquisa da *Mckinsey & Company* a adoção de indústria 4.0 pelas empresas trouxeram resultados positivos conforme é indicado no gráfico da Figura 3 (AGRAWAL *et al.*, 2020). Essa pesquisa apontou que as empresas que adotaram as tecnologias da indústria 4.0 obtiveram sucesso em suas operações mesmo na pandemia, enquanto as que estavam começando ou ainda não utilizando estas tecnologias tiveram algumas dificuldades que poderiam ser evitadas.

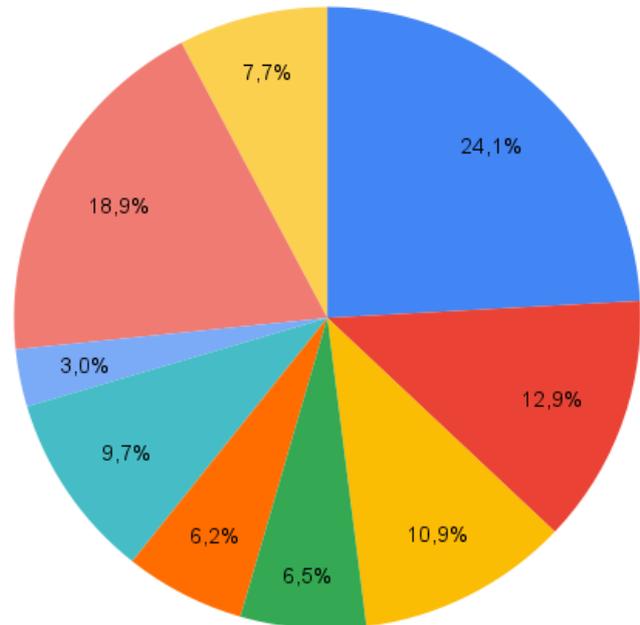
Mesmo com todo este avanço, a automação industrial e de processos também pode trazer desemprego, segundo o (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)). Com o avanço da tecnologia, sofisticação dos processos e produtos e a automação destes pode-se gerar uma crise econômica e de desemprego se não houver investimento em educação básica, cursos de qualificação profissional, técnicos de nível médio e cursos superiores para preparar as pessoas para o mercado de trabalho (ALBUQUERQUE *et al.*, 2019).

Como resposta desta possível futura crise educacional o (Tribunal de Contas da União (TCU)) identificou as ações que o Governo Federal deve realizar visando preparar o mercado de trabalho brasileiro à transformação digital, oferecendo cursos de qualificação e na área técnica para os cidadãos (SILVA, 2020).

Figura 3 – Empresas que relataram progresso pós COVID-19 ao adotarem a indústria 4.0 segundo a pesquisa da Mckinsey & Company.

Base de Operação das empresas

- Grande China
- Associação de Nações do Sudeste Asiático
- Índia
- Austrália e NZ
- Japão e Coreia do Sul
- Alemanha
- Outros países da Europa
- America do Norte
- America do Sul



Fonte: Autoria própria (2021).

Corroborando neste sentido uma pesquisa da Confederação Nacional da Indústria (Confederação Nacional da Indústria (CNI)) afirmando que os ramos que os trabalhadores atuarão na quarta revolução industrial são internet móvel, computação nas nuvens, *big data*, processamento de dados, internet das coisas, inteligência artificial, impressão 3D, entre outros (ANDRADE, 2017).

1.1 Problema proposto

Uma indústria fictícia possui um arranjo de equipamentos de um processo composto pelas etapas de envase, paletização e estoque de produtos. O problema reside em automatizar o processo por meio da programação de um CLP, IHM e supervisor Web. Além disso, considera-se a necessidade de efetuar o controle PID do nível do tanque de envase e acionar as esteiras com motores de indução por meio de inversores de frequência conectados ao CLP via protocolo de rede industrial.

1.2 Justificativa

O campo de sistemas de controle e automação industrial foi avaliado em US\$ 146,79 bilhões e deve se expandir entre 2021 à 2028 com uma taxa composta de crescimento anual (Do inglês *Compound Annual Growth Rate*, que significa a taxa composta de crescimento anual (CAGR)) de 8,9% (GRAND VIEW RESEARCH, 2021). Segundo o IBGE, o Paraná é um dos mais industrializados do Brasil, com destaque para o crescimento constante e aumento de demanda por soluções em automação nos polos industriais de Cascavel, Londrina e Maringá (SOUZA, 2021).

Neste sentido, este trabalho apresenta uma proposta de solução para problemas clássicos da indústria local visando fomentar a adoção de automação industrial nos processos de fabricação, que propicia as seguintes vantagens: ocupar um espaço menor que um painel de contadores/relés para realizar a mesma função ou até mais complexa; aliviar os funcionários de trabalhos repetitivos e monótonos que possam causar Lesão por Esforço Repetitivo (Lesão por Esforço Repetitivo (LER)) em ambiente industrial; retirar os colaboradores de locais perigosos, com temperaturas altas ou ambientes com radiação (LAMB, 2015); reduzir o erro humano na fabricação; facilitar o diagnóstico e detecção de falhas utilizando um CLP; monitorar os processos e histórico de fabricação por meio de interfaces homem-máquina (Interface Homem-Máquina (IHM)s), PC's com a Ethernet ou nuvem; obter maior velocidade nos processos, aumentando a quantidade de itens fabricados (PRUDENTE, 2011).

1.3 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho foi o desenvolvimento da automação de um processo industrial em realidade virtual composto pelas etapas de envase, paletização e estoque de produtos utilizando controlador lógico programável (CLP), sistema supervisório Web, interface homem máquina (IHM) e inversor de frequência para acionamento de motores conectados em rede.

1.3.1 Objetivos específicos

Entre os objetivos específicos foi necessário:

- especificar as entradas e saídas digitais e analógicas do processo;
- realizar a programação do CLP no *software* Mastertool para cada etapa do processo simulado, conforme norma IEC 61131-3;
- monitorar e controlar as variáveis de cada uma das etapas do processo industrial por meio de um sistema supervisório Web;
- sintonizar e testar um controlador PID no CLP para controle de nível de um tanque;

- desenvolver, carregar e testar o *layout* da IHM correspondente ao acionamento dos motores das esteiras e do controle de nível do tanque por comunicação *Ethernet Mod-Bus TCP* no *software FvDesigner*;
- montar, configurar e testar um inversor de frequência para acionar um motor de indução por meio de um CLP.

1.4 Organização do trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta uma introdução ao assunto da automação industrial, trazendo à tona o problema que pretende ser resolvido, bem como as justificativas e os objetivos a serem alcançados com a realização desse trabalho.

O segundo capítulo consiste na fundamentação teórica, no qual se exemplifica as linguagens de programação (*Ladder*, texto estruturado e *Sequential Function Chart-SFC*), discorre a respeito do protocolo industrial MODBUS e expõe o controlador PID e o método clássico de sintonia a partir de uma resposta ao degrau.

O terceiro capítulo corresponde aos materiais e métodos, especificando os *softwares* utilizados e maiores detalhes das etapas do processo que compõem a fábrica virtual. Além disto, apresenta-se o sistema físico para validação experimental do acionamento do motor de indução trifásico por meio do inversor de frequência, CLP e IHM. E no último capítulo finaliza com a conclusão do trabalho.

O quarto capítulo apresenta os resultados alcançados por meio da simulação e experimentalmente para cada uma das etapas do processo proposto. E o quinto capítulo apresenta as conclusões alcançadas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os fundamentos das linguagens de programação para o CLP, indica as características técnicas do protocolo de comunicação industrial MODBUS e detalha o método de sintonia do controlador PID para processos industriais.

2.1 Introdução

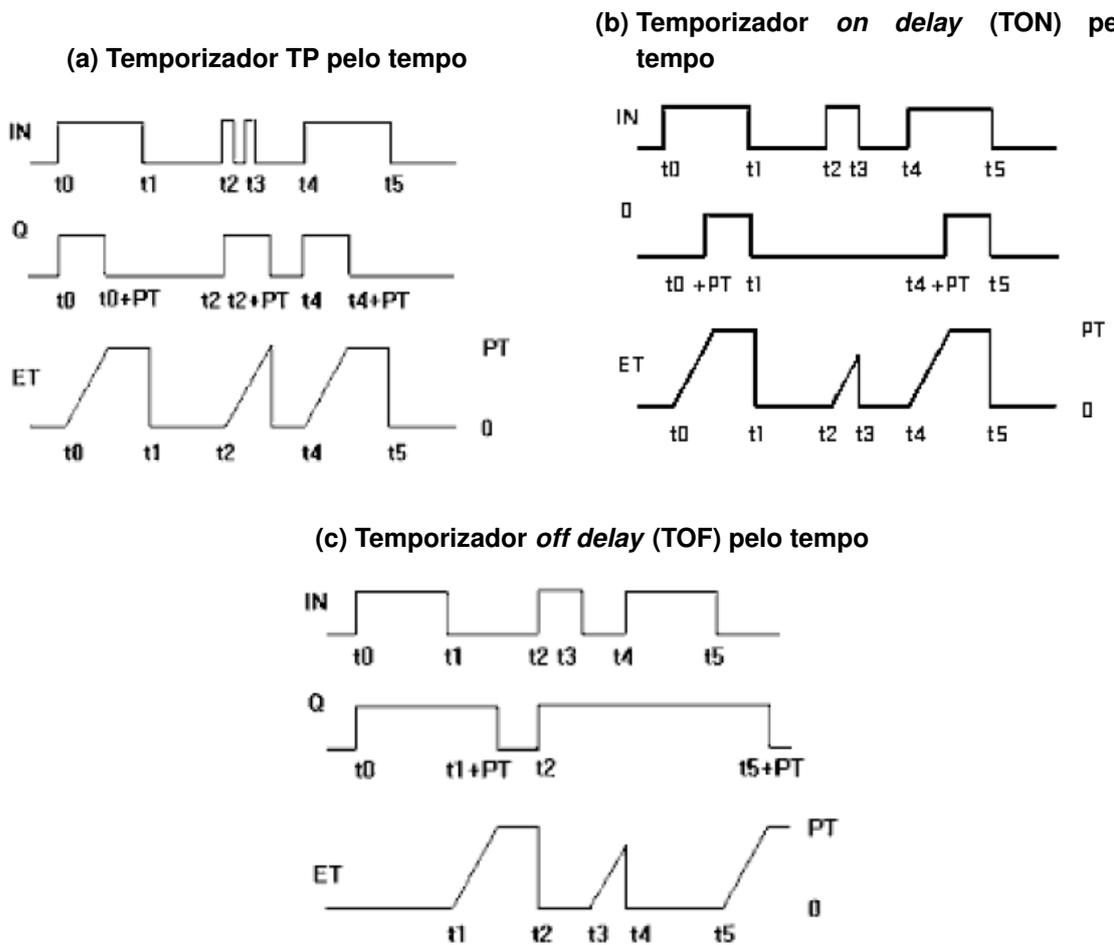
O termo automação industrial pode ser definido por realizar os processos industriais sob uma lógica programável, a fim de diminuir o erro humano. Ela une *hardware* e *software* em uma única tarefa ao automatizar um processo de produção. Assim como o nosso corpo humano, o cérebro é um órgão onde recebe sinais, processa estes sinais e por fim reproduz uma saída de resposta, semelhantemente ao CLP, que recebe sinais de entrada provindos da linha de produção ou ação humana e estes dados de entrada são processados por um programa ou algoritmo, gerando comandos de saída, controlando todo o processo (SIEMENS,).

2.2 Linguagens de programação do CLP

A norma IEC 61131-3 padroniza algumas linguagens de programação para o CLP, sendo as mais comuns *Ladder Diagram* (Do inglês *Ladder Diagram*, que corresponde a uma programação do tipo diagrama de contatos (LD)), *Structured Text* (Do inglês *Structured Text*, que significa texto estruturado (ST)) e o *Sequential Functional Chart* (Do inglês *Sequential Function Chart*, que significa gráfico de funções sequenciais (SFC)).

Para a programação do CLP segundo a norma há principalmente três opções de temporizadores, sendo eles o Temporizador por pulso (TP), o Temporizador com retardo na energização, do inglês *on delay* (TON) e o Temporizador com retardo na desenergização, do inglês *off delay* (TOF) onde suas funções são mostradas na figura 4. O temporizador TP é acionado por um simples pulso alto deixando a saída em nível lógico alto pelo tempo determinado, em seguida a saída assume um nível lógico baixo mesmo se a entrada continuar em nível lógico alto, contando o tempo somente a partir do primeiro pulso conforme ilustra na Figura 4a. O temporizador TON ativa a contagem de tempo na energização, ou seja, após transcorrido um intervalo de tempo em que a entrada permanece em nível lógico alto, então aciona-se a saída do temporizador, que permanece ativada enquanto a entrada estiver em nível lógico alto conforme é ilustrado na Figura 4b. O temporizador TOF ativa a temporização na desenergização da entrada, de forma que a saída do temporizador é ativada em nível lógico alto enquanto a entrada estiver ativada e permanece por um intervalo de tempo definido após a entrada alterar-se para nível lógico baixo conforme é mostrado na Figura 4c (ALTUS, 2018a; ALTUS, 2018b).

Figura 4 – Exibições gráficas dos comportamentos do TP, TON e TOF em função do tempo.



Fonte: Adaptada de ALTUS (2018a).

Para realizar contagens segundo a norma há principalmente três opções de contadores: Contador crescente (CTU), o Contador decrescente (CTD) e CTUD. O CTU é um contador crescente que vai acumulando em uma variável inteira global até certo valor pré-definido para acionar uma saída booleana. Já o contador CTD é decrescente, ou seja, ele irá decrementar a variável de contagem a partir de um valor pré-determinado. Ao alcançar o valor nulo, a saída do contador CTD assume o nível lógico alto. Por fim, o contador CTUD corresponde à junção dos contadores anteriores, realizando as operação de incremento e decremento da variável de contagem a partir de sinais de entrada independentes (ALTUS, 2018a; ALTUS, 2018b).

2.2.1 Diagrama *ladder*

A linguagem em diagramas *ladder* é umas das linguagens mais antigas de programação de CLP. Ela é uma linguagem de alto nível, onde o programador monta um circuito de acionamento utilizando chaves, relés e bobinas na sua construção. O *ladder* foi criada para facilitar a implementação destes controladores na indústria por técnicos de nível médio, os quais estavam

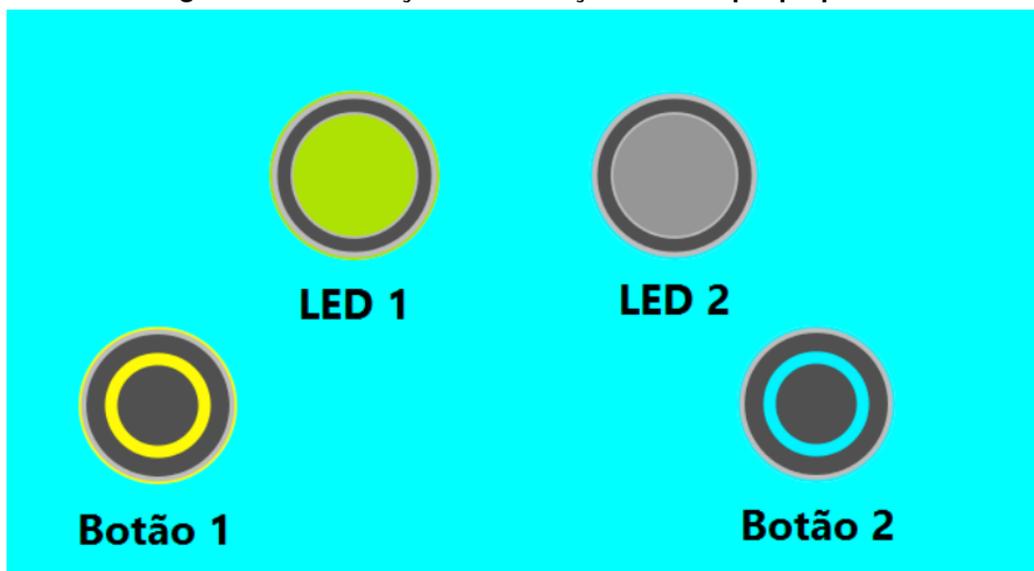
habituaados a montagens de painéis, e não tinham um conhecimento básico de programação (LAMB, 2015). A simbologia básica do *ladder* está ilustrada no Quadro 1, padronizada pela Norma IEC 61131-3 (PRUDENTE, 2011).

A linguagem *ladder* também é muito utilizada como linguagem padrão de programação, pois ela pode chamar outras *program organizational units* (Do inglês *Program Organizational Units* (POUs)) melhorando a organização do projeto. O *ladder* consiste de uma série de redes, sendo cada uma delas limitada à sua direita e esquerda por linhas de corrente verticais. As redes contêm um diagrama de circuito formado por contatos, bobinas, POUs adicionais e por linhas conectoras. A leitura do código é sempre feita da esquerda para a direita (ALTUS, 2018a).

2.2.1.1 Exemplo proposto para conceituar as linguagens

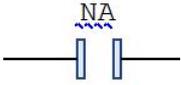
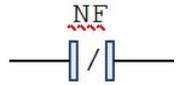
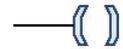
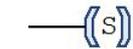
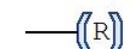
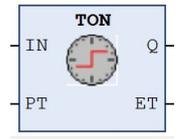
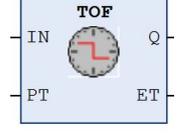
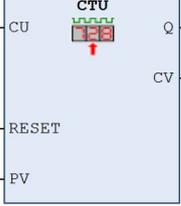
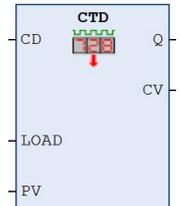
A fim de conceituar estas linguagens ao leitor, propõe-se um simples exemplo composto de duas entradas digitais (Botão 1 e Botão 2) e duas saídas digitais (LED 1 e LED 2), vide a tela de simulação apresentada na Figura 5. O objetivo é desenvolver uma lógica de programação para que o LED 1 seja ativado por um intervalo de tempo de 5 segundos caso os dois botões sejam acionados simultaneamente. Enquanto que o LED 2 deverá ser acionado por um intervalo de 10 segundos se os botões 1 ou 2 forem pressionados aleatoriamente por 5 vezes. Além disto, definiu-se uma prioridade de acionamento dos LEDs. Se o botões forem acionados simultaneamente deverá ser acionado o LED1 e não registrar o valor de contagem para o lógica de acionamento do LED2.

Figura 5 – Visualização da simulação do exemplo proposto.



Fonte: Autoria própria (2021).

Quadro 1 – Simbologia básica da linguagem de diagrama *ladder* segundo o IEC 61131-3.

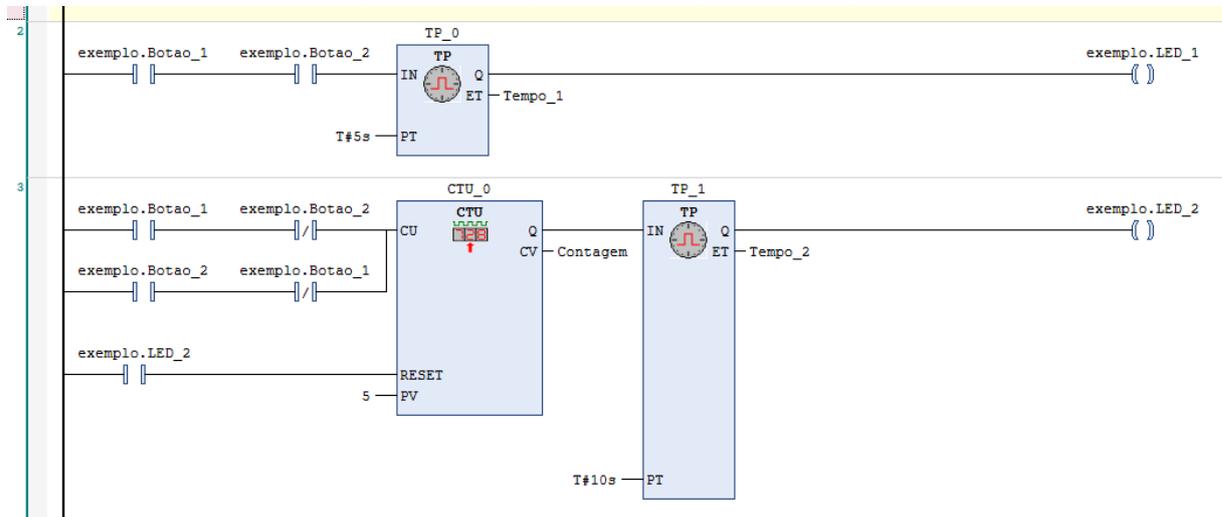
Simbolos	Nome	Descrição
	Contato normalmente aberto (NA)	Contatos normalmente abertos são aqueles contatos que em seu estado de repouso o circuito fica aberto;
	Contato normalmente fechado (NF)	Contatos normalmente fechados são aqueles contatos que em seu estado de repouso o circuito fica fechado;
<p>Bobina</p> 	Bobina	É ativada quando uma combinação de contatos de entrada permite a sua energização. Sua análise é a seguinte: "1" para bobina energizada e "0" para bobina desenergizada.
<p>SET</p> 	Bobina SET	Ativa uma bobina em nível lógico alto. Uma vez ativada não pode ser desativada, a não ser que seja dado um comando de "RESET".
<p>RESET</p> 	Bobina RESET	Desativa uma bobina, alterando-a para o nível lógico baixo. Permite desativar uma bobina "SET" previamente ativada.
	Temporizador TON	Temporizador que ativa a contagem de tempo na energização da entrada
	Temporizador TOF	Temporizador que ativa a contagem de tempo na desenergização da entrada
	Contador CTU	Contador crescente
	Contador CTD	Contador decrescente

Fonte: Autoria própria (2021).

2.2.1.2 Execução do exemplo 2.2.1.1 na linguagem *ladder*

Para a execução do exemplo proposto em 2.2.1.1 utilizando a linguagem *ladder* foi utilizado dois relés temporizadores do tipo TP para manter aceso os LEDs, na *network 2* tem-se a lógica *AND*, onde tem que pressionar os dois botões ao mesmo tempo para dar o pulso do temporizador de 5 segundos para ativar o LED 1. Já na *network 3*, é utilizado um bloco de contador crescente CTU para contar 5 vezes quando os botões forem pressionados, sendo resetado quando o LED 2 estiver ativado. A saída Q do contador está conectada ao temporizador, conforme é visualizado na *network 3* Figura 6, e a saída Q deste temporizador do tipo TP de 10 segundos liga o LED 2.

Figura 6 – Código em *ladder* para o exemplo.



Fonte: Autoria própria (2021).

2.2.2 Texto estruturado

O texto estruturado é uma linguagem de programação de baixo nível, similar ao PASCAL e C (ALTUS, 2018a). É uma linguagem que utiliza estruturas do tipo: IF, FOR, WHILE, CASE, entre outros, sendo realmente uma evolução da linguagem Pascal (PRUDENTE, 2011). Com ela pode-se realizar operações lógicas e matemáticas quando necessárias. Os operadores utilizados para esta linguagem estão listados no Quadro 2. E no Quadro 3 estão alguns exemplos de instruções .

O CLP irá rodar o código em texto estruturado dentro de um *loop*, por tanto deve se ter cuidado ao projetar os algoritmos, evitando a criação de *loops* infinitos. Para um variável booleana (A), pode-se atribuir nível lógico alto (A:=TRUE;), ou nível lógico baixo (A:=FALSE;) (ALTUS, 2018a).

Quadro 2 – Operadores da linguagem texto estruturado.

Operação	Símbolo
Colocar entre parênteses	(expressão)
Chamada de função	Nome da função (lista de parâmetros)
Exponenciação	EXPT
Negar	NOT
Multiplicar	*
Dividir	/
Somar	+
Diminuir	-
Módulo	MOD
Comparar	<, >, <=, >=
Igual a	=
Diferente de	<>
Booleano AND	AND
Booleano OR	OR
Booleano XOR	XOR

Fonte: Adaptado de ALTUS (2018a).

2.2.2.1 Execução do exemplo 2.2.1.1 na linguagem texto estruturado

Para a execução do exemplo proposto em 2.2.1.1 utilizando a linguagem de texto estruturado, foi utilizado um condicional *IF* e um controlador de fluxo quando a lógica *AND* for verdadeira o LED 1 se acende por 5 segundos, caso contrário avalia-se o condicional em *ELSIF*, no qual se for pressionado qualquer um dos botões incrementa-se o contador. Quando o valor de contagem for igual a 5, o LED 2 irá acender por 10 segundos.

Resolução do exemplo em texto estruturado

```
// Para o texto estruturado foi utilizado um controlador de fluxo (IF)
IF (exemplo.Botao_1 AND exemplo.Botao_2)=TRUE THEN
Temporizador_1(IN:= TRUE, PT:=T#5S);
exemplo.LED_1:=Temporizador_1.Q;
ELSIF ((exemplo.Botao_1 OR exemplo.Botao_2) AND
NOT(exemplo.Botao_1 AND exemplo.Botao_2))=TRUE THEN
Contador_2(CU:=TRUE, RESET := exemplo.LED_2 , PV := 5);
Temporizador_3(IN:=Contador_2.Q,PT:=T#10S);
exemplo.LED_2:=Temporizador_3.Q;
END_IF
```

Quadro 3 – Lista de instruções texto estruturado.

Tipo de instrução	Exemplo
Atribuição	A:=B; CV := CV + 1; C:=SIN(X);
Chamando um bloco funcional e uso da saída FB	CMD_TMR(IN := %IX5, PT := 300); A:=CMD_TMR.Q;
Retornar	RETURN
IF	D:=B*B; IF D<0.0 THEN C:=A; ELSIF D=0.0 THEN C:=B; ELSE C:=D; END_IF;
Case	CASE INT1 OF 1: BOOL1 := TRUE; 2: BOOL2 := TRUE; ELSE BOOL1 := FALSE; BOOL2 := FALSE; END_CASE;
FOR	J:=101; FOR I:=1 TO 100 BY 2 DO IF ARR[I] = 70 THEN J:=I; EXIT; END_IF; END_FOR;
While	J:=1; WHILE J<= 100 AND ARR[J] <>70 DO J:=J+2; END_WHILE;
Repetir	J:=-1; REPEAT J:=J+2; UNTIL J= 101 OR ARR[J] = 70 END_REPEAT;
Sair	EXIT;
Continuar	CONTINUE;
JMP	label: i:=i+1; JMP label;
Instrução vazia	;

Fonte: Adaptado de ALTUS (2018a).

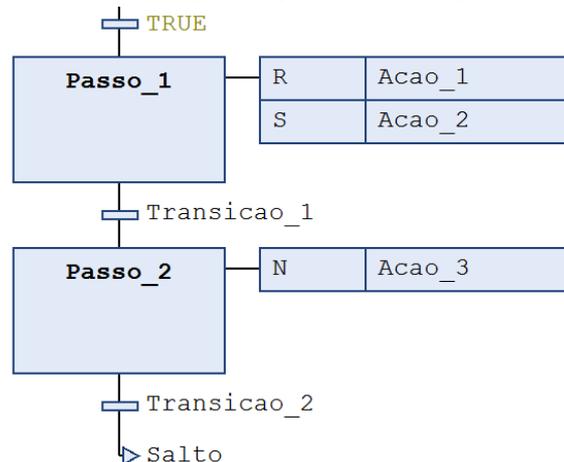
2.2.3 Gráfico de funções sequenciais

O do francês *Graphe Fonctionnel de Commande, Étapes Transitions*, que significa um gráfico funcional de comandos, etapas e transições (GRAFCET) surgiu na França em 1977 como um ferramenta para esquematizar a lógica de sistemas sequenciais. A partir do sucesso proveniente do GRAFCET, foi estabelecido a linguagem de programação gráfico de funções sequenciais (SFC, do inglês *Sequential Functional Chart*) (PRUDENTE, 2011). O SFC possui quatro elementos principais, sendo eles: o passo, a ação, a transição e o salto, como é visualizado na Figura 7. Nesta linguagem, o processo é criado a partir do passo inicial, quando a condição da transição for satisfeita o controlador avança para o próximo passo. Uma ação acontece quando o respectivo passo está ativado. O quadro mais à esquerda da ação indica o tipo da ação, podendo ser:

- N (Não-armazenado: a ação está ativa só quando o passo estiver ativo);
- R (*Reset*: a ação é desativada);
- S (*Set*: A ação inicia quando o passo estiver ativo e continua ativa até que acha uma ação de *reset* para esta variável).

E o salto é representado por uma seta, que quando for ativado vai realizar uma transição para uma determinada *label*. (ALTUS, 2018a)

Figura 7 – Demonstração de passo e transição no GRAFCET.



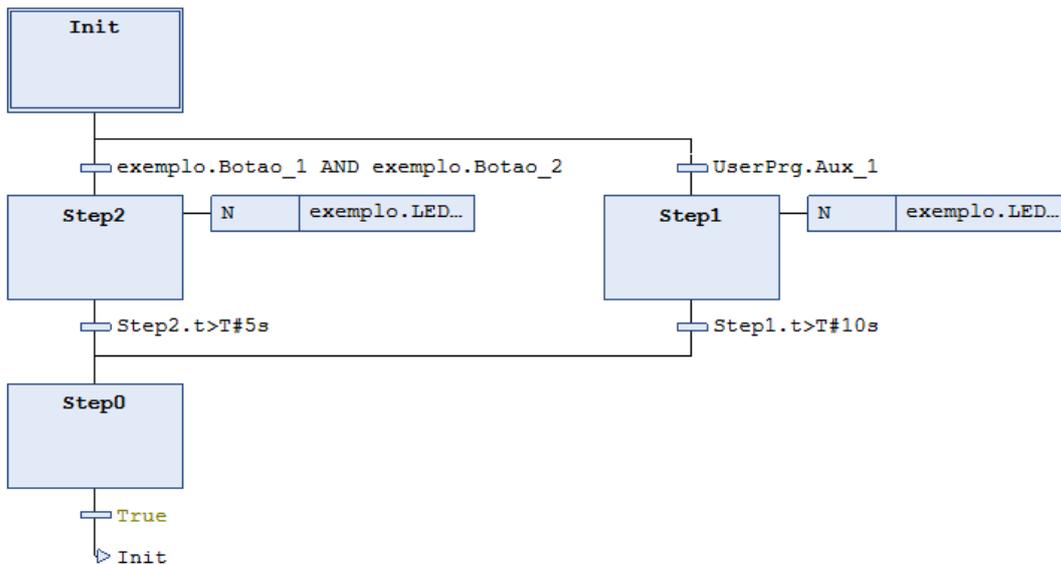
Fonte: Autoria própria (2021).

2.2.3.1 Execução do exemplo 2.2.1.1 em gráfico de funções sequenciais

Para a execução do exemplo proposto em 2.2.1.1, utilizando a linguagem SFC, foi criado o gráfico na Figura 8, onde é executado em paralelo as duas lógicas: a AND e a OR. Pelo

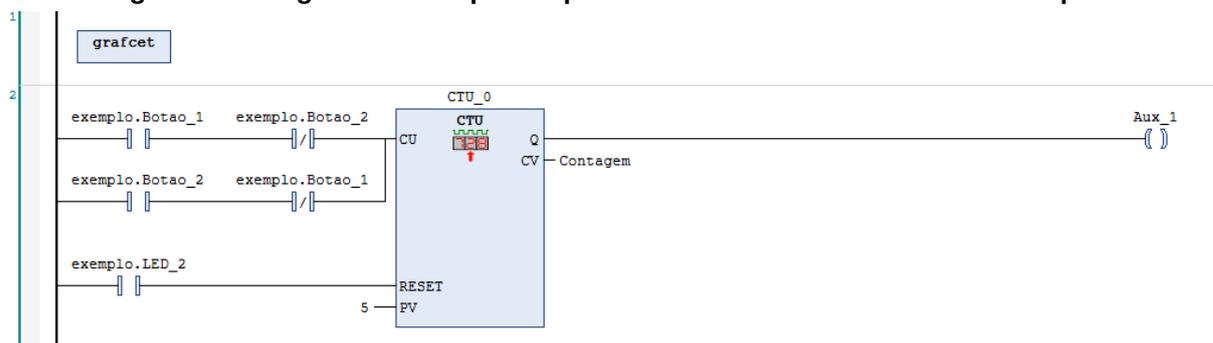
fato da linguagem SFC estabelecer a estrutura da lógica sequencial, há a flexibilidade de efetuar chamadas de POUs descritas em outras linguagens. Neste exemplo, utilizou-se a lógica do contador descrito em *ladder*, conforme representado na Figura 9. Como é observado no código em SFC há um salto que conduz para o primeiro passo, o "Init", criando um *loop*. A temporização em SFC foi realizada com a utilização do objeto tempo pertencente à estrutura do passo correspondente.

Figura 8 – Código em SFC para o exemplo.



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 9 – Código em *ladder* para implementar o contador utilizado no exemplo.



Fonte: Autoria própria (2021).

2.3 Redes industriais

Embora o CLP tenha sido desenvolvido visando solucionar problemas mais complexos, um agravante na época foi a quantidade limitada de entradas e saídas do dispositivo e a necessidade de expandir a quantidade de conexões dos dispositivos remotamente. A forma tradicional de conectar as entradas dos CLPs aos sensores, as saídas aos atuadores é ineficiente, pois aumenta o número de cabos, dificultando diagnósticos de falha e manutenção. Neste sentido, surgiram as redes industriais, reduzindo as fiações entre os dispositivos em campo com o CLP para somente um cabo de comunicação (PRUDENTE, 2011; NUNES, 2021).

As redes industriais são adequações de tecnologias de rede utilizadas no ambiente indústria, onde se tem um melhor desempenho com uma grande confiabilidade, maior imunidade a interferências e uma menor latência. As tecnologias de rede podem ser divididas em sete camadas, cada protocolo se diferencia em uma dessas camadas como é mostrado na Figura 10. As duas primeiras camadas, a física e a de enlace são interfaces, ou seja, elas têm que garantir que a informação passe do ponto A para o ponto B. A primeira camada é o meio de transmissão (cabos metálicos, ar, fibra ótica, entre outros). A segunda camada é a padronização de como essa informação é enviada, ou seja, especifica o endereçamento local e o método de correção e detecção de erro (TANENBAUM, 2003).

Figura 10 – Camadas das tecnologias de redes.



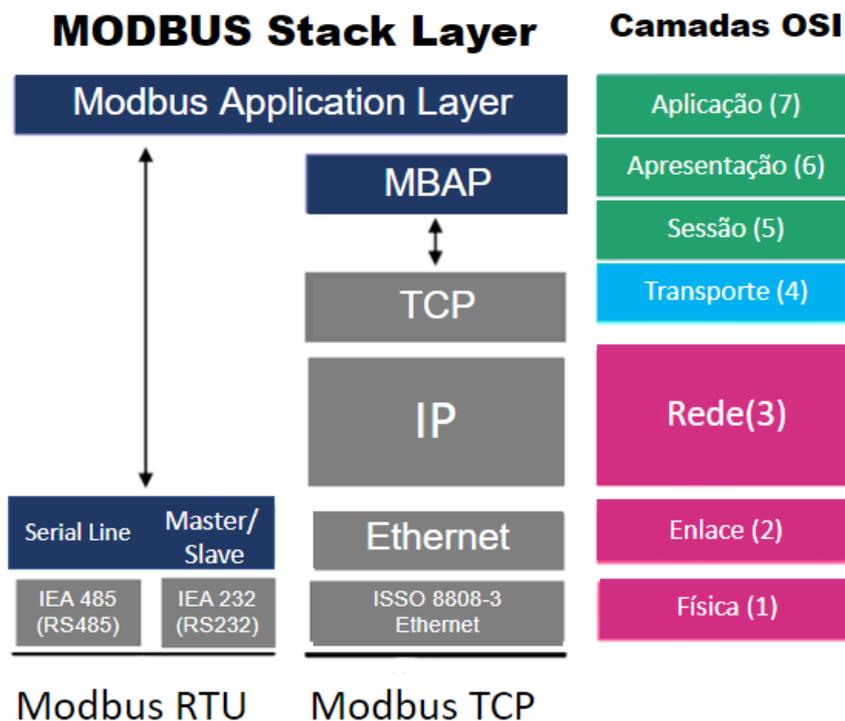
Fonte: Adaptado de Nunes (2021).

As demais camadas 3 a 7 podem ser categorizadas como especificações de protocolo. A camada 3 de rede controla a operação de transmissão de dados da origem ao destino em nível de rede local. A camada 4 de transporte efetua a conexão e desconexão, sequenciamento e repetição de pacotes para uma transmissão segura dos dados da origem ao destino. As camadas 5 a 7 podem ser vinculadas ao propósito de aplicação ao usuário, preocupando-se com a codificação e autenticação (TANENBAUM, 2003; NUNES, 2021).

2.3.1 Protocolo MODBUS

O protocolo industrial de comunicação MODBUS, desenvolvido pela MODICON em 1979, é um código aberto que permite a comunicação entre dispositivos de automação. Antigamente o seu nível de aplicação era destinado a transferir dados por camada serial, hoje em dia há dois tipos de MODBUS, sendo eles: MODBUS RTU - uma conexão *fieldbus*, uma rede de campo; MODBUS TCP - uma rede de *Ethernet* utilizando o protocolos de rede e transporte (TCP/IP). A Figura 11 compara as camadas do modelo OSI com os dois tipos de MODBUS (NUNES, 2021).

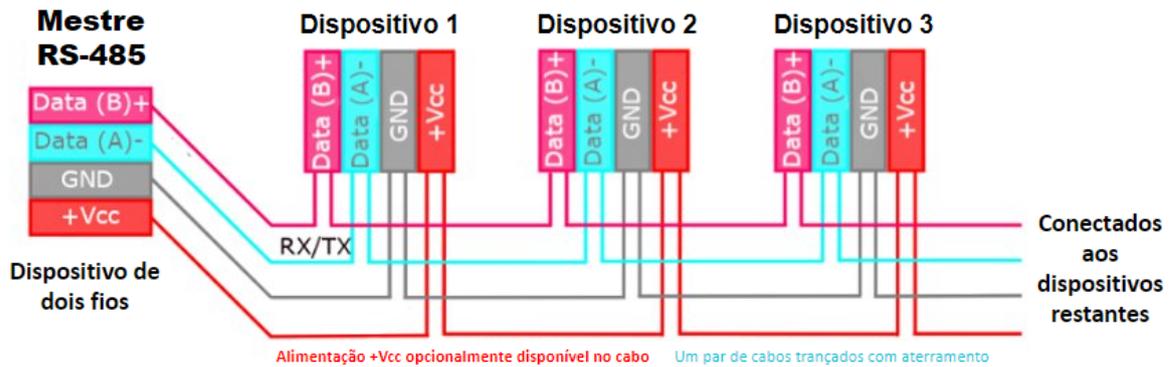
Figura 11 – Comparativo das camadas de redes entre os protocolos MODBUS RTU e TCP.



Fonte: Adaptado de Nunes (2021).

O MODBUS utiliza a topologia de rede em barramento e estabelece uma relação entre os dispositivos do tipo mestre-escravo, conforme ilustrado na Figura 12. A comunicação sempre é iniciada pelo mestre que envia uma requisição a todos os escravos do barramento e aguarda a resposta do escravo identificado.

Figura 12 – Ilustração da conexão entre dispositivos para comunicação MODBUS na topologia barramento.



Fonte: Adaptado de Nunes (2021).

2.3.1.1 MODBUS RTU

Para a comunicação MODBUS RTU há os barramentos dos dados ($A-$ e $B+$) e dos sinais de alimentação, vide Figura 12. Os dados $A-$ e $B+$ são sinais defasados em 180° , visando garantir imunidade a ruído de modo comum. Além disto, utiliza-se cabos metálicos de par trançado blindado.

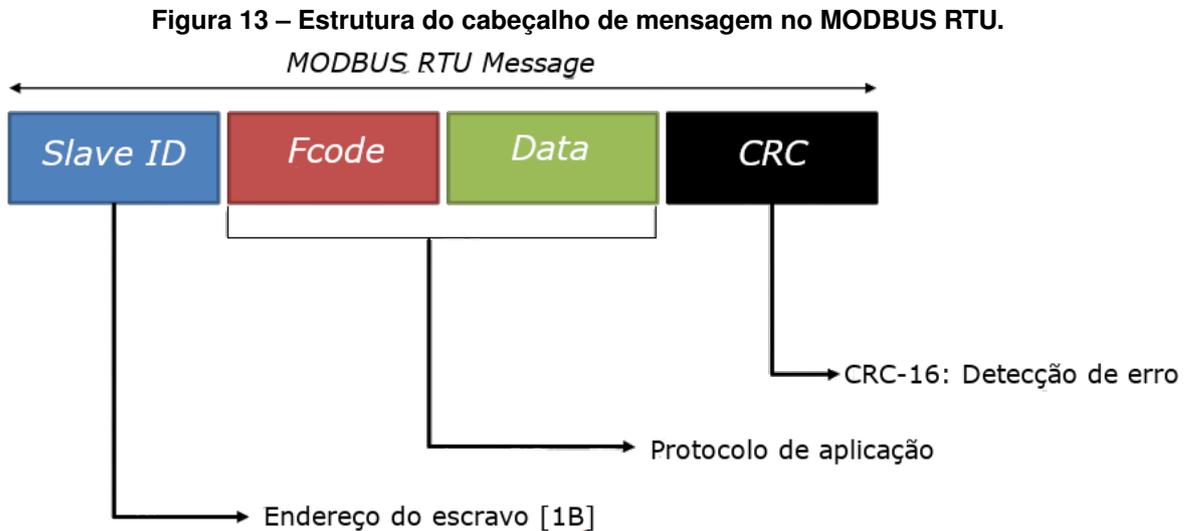
Quadro 4 – Velocidade da camada física da interface RS485 MODBUS.

Interface de rede	Distância máxima	Taxa de transmissão
RS485 MODBUS	1200 metros	9,6 Kbps
		19,2 Kbps
		45,45 Kbps
		93,75 Kbps
	1000 metros	187,5 Kbps
	400 metros	500 Kbps
	200 metros	1,5 Mbps
	100 metros	3 Mbps
		6 Mbps
		12 Mbps

Fonte: Adaptado de Nunes (2021).

O Quadro 4 especifica a distância máxima entre o mestre e o escravo para as taxas de transmissão utilizando o protocolo MODBUS sob a interface RS-485. A estrutura do cabeçalho MODBUS RTU para uma mensagem transmitida é ilustrada na Figura 13. Basicamente há três

partes: o endereçamento (*Slave ID*); o protocolo de aplicação (composto pelo *Fcode* e o *Data*); e o método de detecção de erro por (Do inglês *Cycling Redundancy Check* (CRC)) (NUNES, 2021).



Fonte: Adaptado de Nunes (2021).

Este protocolo utiliza 8 bits para endereçamento *Slave ID*. Portanto, teoricamente um mestre poderia se comunicar com até 255 dispositivos, sendo um endereço utilizado para o modo *broadcast*, um método onde um equipamento transmite uma mensagem simultaneamente para todos os equipamentos conectados nessa rede (NUNES, 2021).

Quadro 5 – Especificações de *Fcode* para comunicação entre dispositivos.

Fcode	Descrição
0x	<i>Coil</i>
1x	<i>Input Status</i>
3x	<i>Input Register</i>
4x	<i>Holding Register</i>

Fonte: Adaptado de Nunes (2021).

Além disto o protocolo utiliza *Fcodes*, apresentados no Quadro 5, que permitem distinguir o endereçamento das variáveis conforme o propósito da mensagem. Conforme consta no Quadro 6, os propósitos são: *coil*, para a leitura e escrita de 1 bit; *input status*, para a leitura de 1 bit; *input register*, para leitura de dados de 16 bits; e *holding register*, para a leitura e escrita de dados de 16 bits (NUNES, 2021). E por fim, utiliza um método de detecção de erro composto por 16 bits proveniente da técnica CRC (do inglês, *Cycling Redundancy Check*).

Quadro 6 – Especificação dos objetos, acesso, tamanho dos dados e faixa de endereçamento das variáveis para o protocolo MODBUS.

Tipo de objeto	Acesso	Tamanho	Endereçamento
<i>Coil</i>	Leitura e escrita	1 bit	00001 - 09999
<i>Input Status</i>	Leitura	1 bit	10001 - 19999
<i>Input Register</i>	Leitura	16 bits	30001 - 39999
<i>Holding Register</i>	Leitura e escrita	16 bits	40001 - 49999

Fonte: Adaptado de Nunes (2021).

2.4 Controlador PID

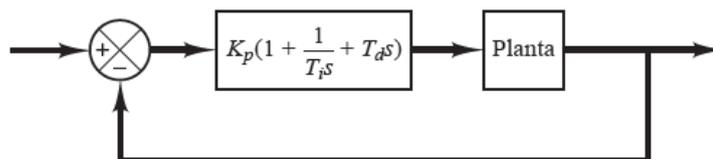
O controle em uma linha de produção é utilizado para atingir as saídas desejadas, seguindo os critérios de qualidade e uniformidade. Elas são atingidas mantendo as variáveis do processo em valores desejáveis, ou *set point*, observando as entradas e saídas do processo. O controle pode ser realizado tanto em malha aberta, quando não utiliza a saída para alterar a ação de controle, quanto em malha fechada que utiliza a saída para alterar a ação de controle (GARCIA, 2017).

O controlador Controlador Proporcional Integral Derivativo (PID) (proporcional, integrativo e derivativo) é o algoritmo de controle mais utilizado em processos industriais, isso se dá por ter fácil implementação e versatilidade, obtendo resultados satisfatórios sobre uma operação em torno de um ponto linear do sistema. O controlador PID tem três parâmetros que são ajustados para obter os resultados desejados, sendo eles: a variável proporcional K_P , que é o ganho do controlador; a variável integrativa T_I que é o tempo integrador; e a variável derivativa T_D , que é o tempo derivador. Para sintonizar o controlador PID há vários métodos, sendo eles: o método do lugar das raízes, resposta em frequência, otimização computacional, Ziegler-Nichols e entre outros (OGATA, 2010).

A Figura 14 ilustra um sistema operando em malha fechada com o controlador PID $G_C(s)$ definido como:

$$G_C(s) = K_P \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right)$$

Figura 14 – Planta operando em malha fechada com um controlador PID.



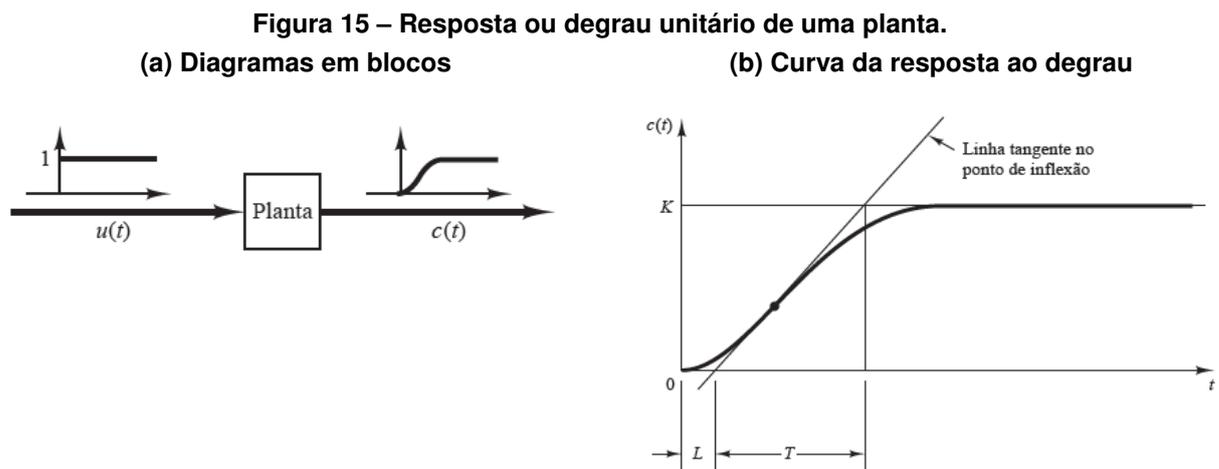
Fonte: Ogata (2010).

2.4.1 Método Ziegler-Nichols

Há dois métodos de sintonia do controlador PID por Ziegler-Nichols. O primeiro se baseia na resposta ao degrau da planta, conforme a Figura 15, e o segundo no ganho crítico que conduz o sistema à estabilidade marginal (OGATA, 2010). Neste trabalho será utilizado o primeiro método de sintonia.

2.4.1.1 Regras de sintonia de Ziegler-Nichols baseada na resposta ao degrau da planta

Este método é obtido a partir da resposta da planta a um degrau unitário, como é visualizado na Figura 15a, sendo realizado por meio experimental ou computacional. Se a planta não tiver integradores ou polos complexos conjugados dominantes, então a curva de resposta ao degrau unitário pode ter o aspecto de um sistema de primeira ordem, como é visto na Figura 15b. Este método é aplicado se a curva tiver este aspecto em S (OGATA, 2010).



Fonte: Ogata (2010).

Quadro 7 – Regras de sintonia de Ziegler-Nichols baseada na resposta ao degrau da planta.

Tipo de controlador	K_P	T_I	T_D
P	T/L	∞	0
PI	$0,9T/L$	$L/0,3$	0
PID	$1,2T/L$	$2L$	$0,5L$

Fonte: Adaptado de Ogata (2010).

A resposta da saída do sistema pode ser caracterizada por duas constantes, o atraso L e a constante de tempo T . O atraso e a constante de tempo são determinados desenhando-se uma linha tangente no ponto de inflexão na curva em de resposta da saída do sistema e determinando-se a intersecção da linha tangente com o eixo dos tempos e a linha $c(t) = K$, como é mostrado na Figura 15b. Com estes valores Ziegler-Nichols sugere utilizar os equacionamentos do Quadro 7 para escolher os valores de K_P , T_I e T_D para qual controlador

pretende-se utilizar, seja um proporcional (P), ou proporcional-integral (PI), ou proporcional-integral-derivativo (PID) (OGATA, 2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

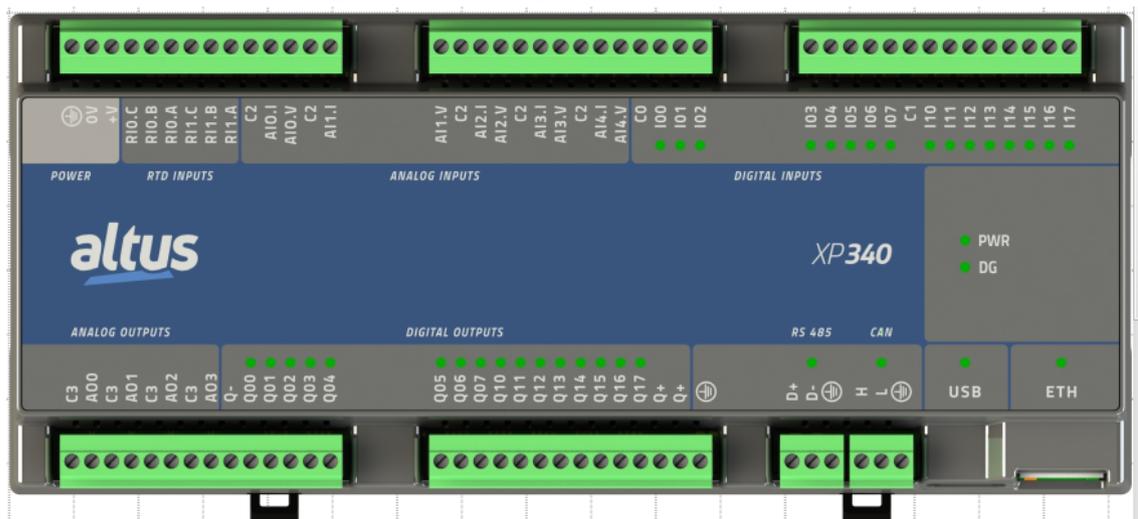
Este capítulo apresenta uma descrição da fábrica virtual montada para a validação do programa do CLP e o supervisor Web. Descreve o conjunto de variáveis de cada uma das etapas do processo virtual. Além disso, mostra o aparato utilizado para validação experimental.

Este trabalho realizou a simulação de uma fábrica virtual por meio de um cenário tridimensional no *software Factory I/O™*, versão *demo*. O CLP que foi utilizado para gerenciar todos os processos dessa fábrica virtual foi o Altus Nexto Xpress XP 340, programado por meio do *software MasterTool IEC XE™* 3.32. A identificação e sintonia do controlador do processo de nível foi realizado por meio do *software MATLAB™* utilizando protocolo de comunicação Do inglês *Open Platform Communications*, que significa Comunicação de Plataforma Aberta (OPC) (do inglês *Open Platform Communications*). Todos os sensores e atuadores da fábrica virtual são acessados e controlados virtualmente pelo *software* de programação do CLP via comunicação OPC. A Figura 17 elucida os três passos empregados para a realização deste trabalho.

3.1 Controlador lógico programável das simulações

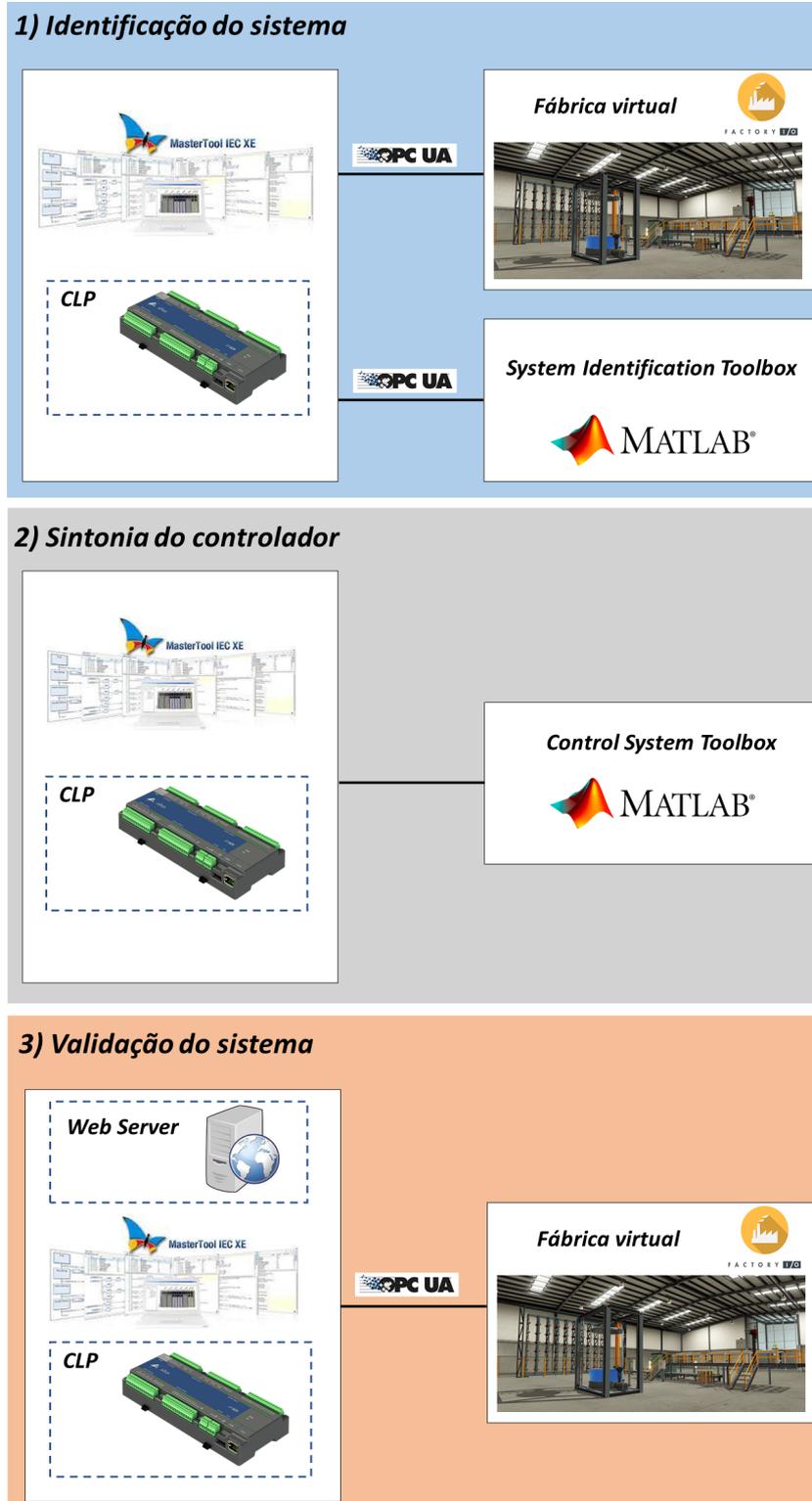
O CLP a ser programado na simulação será um Altus XP-340, ilustrado na Figura 16, o *software* a ser utilizado é o MasterTool IEC XE que foi disponibilizado gratuitamente pela fabricante Altus no site altus.com.br/produtos/44/clp-nexto-xpress onde também foi obtido todos os manuais e apostilas da Altus utilizados neste trabalho.

Figura 16 – Ilustração do CLP Altus XP 340.



Fonte: Software MasterTool IEC XE (2021).

Figura 17 – Metodologia empregada para ensaio de identificação de sistema, sintonia de controlador e validação da programação do CLP.



Fonte: Autoria própria (2022).

3.2 Fábrica virtual

O processo industrial é composto de três etapas: envase, paletização e estoque, vide Figura 18. Recipientes vazios são conduzidos até um sistema de envase de água. Após o enchimento deste recipiente com água, realiza-se o armazenamento em caixas que devem ser transportadas por meio de esteira até um sistema de paletização. A etapa de paletização é dotada de mecanismo que organiza os recipientes sobre um palete. Os paletes são transportados por meio de esteiras até o estoque matricial. O estoque é operado e gerenciado por um robô empilhadeira que possui um servomecanismo para organizar os paletes em estantes adequadas. Além disto, considera-se que o sistema de envase opera em malha fechada, ou seja, por meio de um controlador proporcional integral e derivativo (PID) mantém-se o nível do tanque industrial no valor desejado.

Figura 18 – Cenário tridimensional contendo os processos de envase, paletização e estoque.

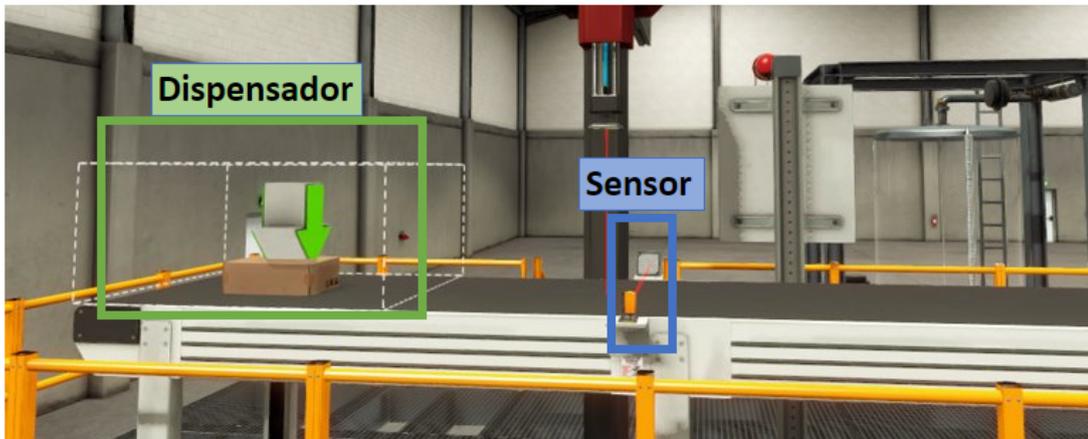


Fonte: Autoria própria (2021).

3.3 Processo 1: Envase

Este processo corresponde ao enchimento das caixas, dispensadas automaticamente no começo da esteira a cada 12 segundos, conforme indicado pela seta verde na Figura 19. O motor da esteira estará ativado até o instante em que o sensor de presença (vide retângulo azul na Figura 19) detectar a caixa. Após a detecção do sensor, o motor da esteira será desativado e iniciar-se-á o envase do produto por 10 segundos por meio de uma válvula de descarga do tanque industrial. Maiores detalhes das entradas e saída deste processo constam no Quadro 8.

Figura 19 – Fábrica virtual: esteira do processo de envase.

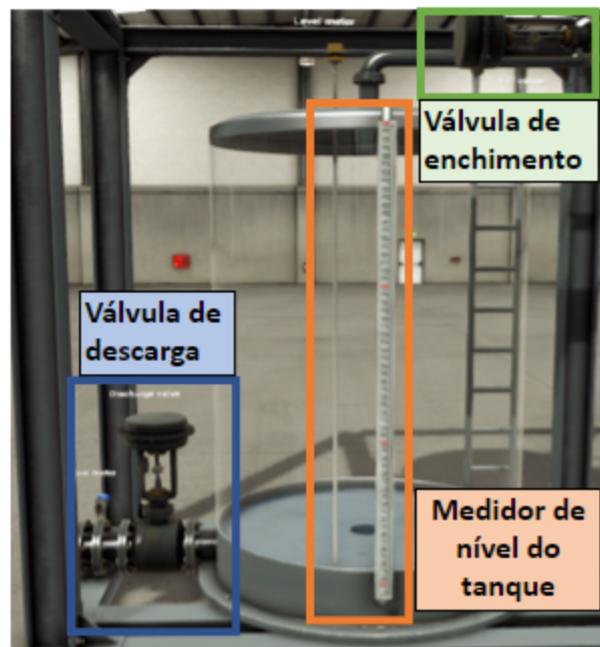


Fonte: Autoria própria (2022).

3.3.1 Controlador de nível PID

O tanque possui uma válvula de descarga, uma válvula de enchimento e um transmissor de nível, conforme indicado na Figura 20. Todas as variáveis do tanque são analógicas de 0-10V. O tanque possui dimensões de 3 m de altura e 2 m de diâmetro, que resulta em um volume de $9,4247 \text{ m}^3$. A vazão máxima da válvula de enchimento é de $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$ e a vazão máxima da válvula de descarga é de $0,3543 \text{ m}^3/\text{s}$ (REALGAMES, 2021). Durante a operação do processo deseja-se manter o nível do tanque em um valor de *setpoint* estipulado, para isto o sistema é realimentado e um controle automático do tipo PID atua sobre a válvula de enchimento. Maiores detalhes das entradas e saída deste processo constam no Quadro 8.

Figura 20 – Detalhes do tanque industrial utilizado no processo de envase.



Fonte: Autoria própria (2022).

Quadro 8 – Lista das entradas e saídas para controle de nível do tanque industrial.

Analógico			
Marcação	Entrada ou saída	Tipo	Descrição
Tanque # (válvula de enchimento)	Saída	Analógico	[0, 10] V: posicionamento da válvula de enchimento.
Tanque # (válvula de descarga)	Saída	Analógico	[0, 10] V: posicionamento da válvula de descarga.
Tanque # (medidor de nível)	Entrada	Analógico	[0, 10] V: valor do medidor de nível.
Tanque # (medidor de fluxo)	Entrada	Analógico	[0, 10] V: valor do fluxômetro (10 V = 0,3543 m ³ / s).
Digital			
Tanque (válvula de enchimento)	Saída	Bool	Abra a válvula de enchimento.
Tanque (válvula de descarga)	Saída	Bool	Abra a válvula de descarga.

Fonte: Adaptado de REALGAMES (2021).

3.3.2 Identificação da dinâmica do tanque industrial

A identificação da dinâmica do tanque industrial, Figura 20, foi realizado por meio da aquisição dos dados provindo do sensor de nível e da válvula de enchimento da fábrica virtual, transmitidas via comunicação OPC ao *software* MasterTool IEC XE™ 3.32 e armazenadas no *software* MATLAB™ utilizando *OPC Data Access Explorer*. Na programação do CLP foi configurado a válvula de descarga em 20% da vazão nominal e a válvula de enchimento em 100% da vazão nominal. O sinal de ativação do sistema é do tipo degrau, ou seja, o tanque começa a encher a partir do instante que o botão ON do quadro de comando for pressionado pelo usuário. O processo de enchimento do tanque é interrompido ao pressionar o botão OFF. O tempo de amostragem adotada para aquisição dos dados foi de $T_s = 200 \text{ ms}$.

No procedimento de identificação, por meio da *toolbox System Identification* do MATLAB™ avaliou-se as seguintes configurações de função de transferência: *i*) um polo real e atraso temporal; *ii*) dois polos reais e atraso temporal; *iii*) dois polos complexos e atraso temporal, definidos pelas equações (1), (2) e (3):

$$G_{p1d}(s) = \frac{K e^{-\tau_d s}}{\tau_{p1} s + 1}, \quad (1)$$

$$G_{p2d}(s) = \frac{K e^{-\tau_d s}}{(\tau_{p1} s + 1)(\tau_{p2} s + 1)}, \quad (2)$$

$$G_{p2du}(s) = \frac{K e^{-\tau_d s}}{(T_w s)^2 + 2\zeta T_w s + 1}. \quad (3)$$

3.3.3 Sintonia do Controlador PID

Neste trabalho foram comparados os controladores PI e PID para o tanque industrial. O controlador PID disponível no *software* MasterTool IEC XE™ possui o seguinte equacionamento do tipo paralelo clássico:

$$C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right), \quad (4)$$

onde K_p , T_i e T_d são as constantes de ganho proporcional, integral e derivativo, respectivamente. Para a sintonização do controlador PI e PID será utilizado o método de Ziegler-Nickols que se baseia na resposta ao degrau na planta.

3.4 Processo 2: Paletização

Figura 21 – Visão geral do processo de paletização.



Fonte: Autoria própria (2021).

O processo de paletização é uma maneira de organizar e manusear uma maior quantidade de produtos de uma maneira mais fácil. Por meio de um palete é possível transportar uma quantidade definida e padronizada de caixas por uma empilhadeira. Uma das maneiras de realizar a paletização no *Factory I/O* é utilizando o *palletizer*, conforme consta na Figura 21.

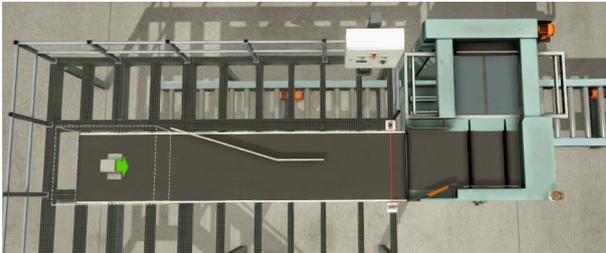
As especificações técnicas deste processo são as seguintes: o curso do elevador é de $1,75\text{ m}$; com velocidade de 2 m/s ; e o empurrador tem um curso de $0,88\text{ m}$ (REALGAMES, 2021).

Esse processo possui duas entradas, sendo uma referente ao produto a ser paletizado (as caixas) que entra pela esteira como é mostrado na Figura 22a localizado no nível superior

do sistema. E a outra entrada é dos paletes, por meio de roletes em um nível mais próximo do chão com está ilustrado na Figura 22b.

Figura 22 – Esteiras do *palletizer*.

(a) Visão superior da esteira de entrada de caixas e saída de paletes prontos



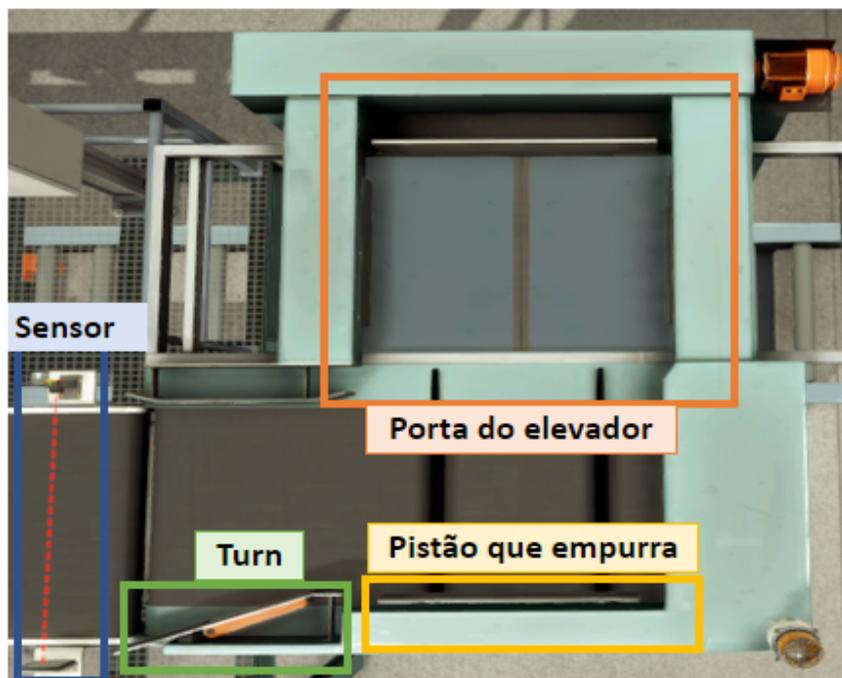
(b) Esteira de entrada de paletes



Fonte: Autoria própria (2021).

Da vista superior do elevador, vide Figura 23, nota-se o percurso dos produtos para serem organizados de forma padronizada no pallet. O sensor destacado por meio do retângulo de cor azul será responsável pela contagem de caixas. O *turn* indicado pelo quadro de cor verde é uma ferramenta para girar as caixas em 90°. Maiores detalhes das entradas e saídas deste processo constam no Quadro 9.

Figura 23 – Visão superior do elevador do processo de paletização.



Fonte: Autoria própria (2022).

Um pistão destacado no retângulo de cor amarela vai realizar a ação de empurrar as caixas até a porta do elevador (destacado em laranja) a cada final de ciclo da paletização. A porta do elevador irá abrir a cada final de dois ciclos para juntar o pallet com as caixas afim de montar o pallet completo como é mostrado na Figura 24.

Quadro 9 – Lista das entradas e saídas da cena *Palletizer*.

Marcação	Entrada ou saída	Tipo	Descrição
Paletizador # (empurrar)	Saída	Bool	Move o atuador de empurrar as peças.
Paletizador # (<i>turn</i>)	Saída	Bool	Rotaciona as peças em 90°
Paletizador # (<i>clamper</i>)	Saída	Bool	Mova o grampo.
Paletizador # Correia (+)	Saída	Bool	Girar (direção de entrada).
Paletizador # Correia (-)	Saída	Bool	Gire (direção de saída).
Paletizador # (<i>open place</i>)	Saída	Bool	Abre o prato.
Paletizador # <i>Elevator +</i>	Saída	Bool	Move o elevador para cima.
Paletizador # <i>Elevator -</i>	Saída	Bool	Move o elevador para baixo.
Paletizador # Elevator (move to limit)	Saída	Bool	Indica que o elevador deve se mover até o limite (para cima ou para baixo) e não por degraus.
Paletizador # (<i>clamper to limit</i>)	Entrada	Bool	Clamper atingiu o limite frontal.
Paletizador # (<i>place to limit</i>)	Entrada	Bool	A porta está fechada.
Paletizador # (Limite do empurrador)	Entrada	Bool	O empurrador está no limite frontal / traseiro.
Paletizador # (movimento do elevador)	Entrada	Bool	Indica que o elevador está se movendo.
Paletizador # Elevator (<i>front limit</i>)	Entrada	Bool	Sensor traseiro do elevador.

Fonte: Adaptado de REALGAMES (2021).

Figura 24 – Palete montado.

Fonte: Autoria própria (2021).

Para montar o palete finalizado como é mostrado na Figura 24, dotado de dois andares, sendo o primeiro formado por uma fileira de duas caixas e outra com três caixas, e o segundo andar é complementar.

3.5 Processo 3: Estoque

Com o intuito de automatizar o armazenamento dos produtos no final da linha de produção de uma maneira mais rápida e segura propõe-se a utilização do estoque com o robô empilhadeira, indicado na Figura 25, podendo armazenar até 54 paletes completos.

Figura 25 – Visão geral do processo e das prateleira do estoque.



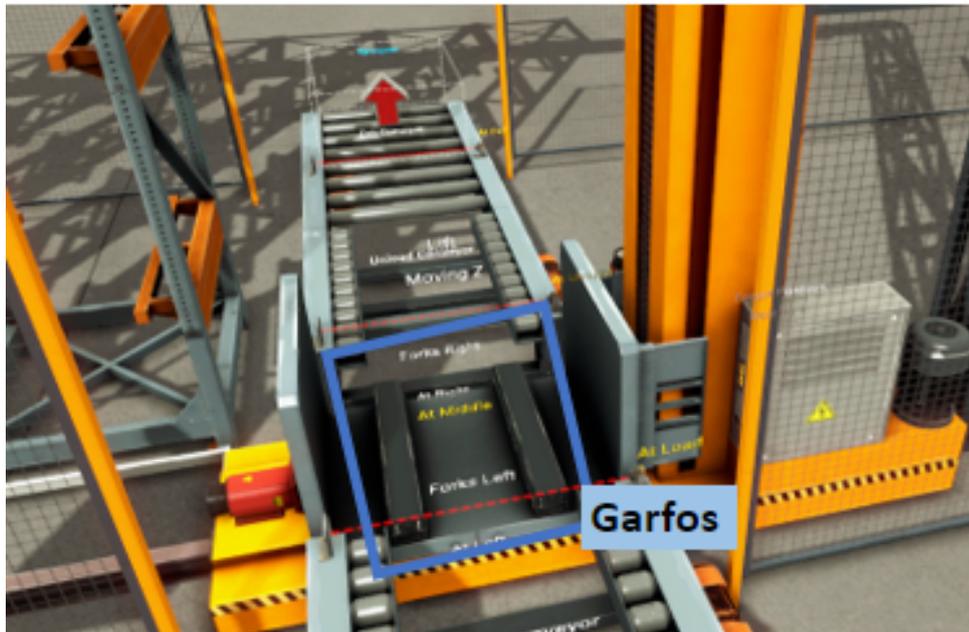
Fonte: Autoria própria (2021).

O transelevador ou do inglês *Stacker Crane* é uma estrutura constituída de uma paleteira em um elevador montado sobre um trilho. Com isso é possível se locomover em um plano tridimensional (X, Y, Z). O carro pode se locomover em até 10,5 metros no eixo X , em uma velocidade de $1,4m/s$. E o elevador pode subir em até $6,625 m$ no eixo Z , em uma velocidade $1,7 m/s$. A cesta que carrega os paletes é formada por uma paleteira dotada de garfos conforme indicado na Figura 26. Com estes garfos é possível o robô empilhadeira mover no eixo Y , tanto para pegar um palete, como para deixar um palete. O garfo pode se mover em $1,3 m$ tando em direção de $+Y$ (para pegar um palete) como $-Y$ (para retirar um palete), em uma velocidade de $0,5 m/s$. Ele tem dois telômetros a laser, colocados no carrinho e na plataforma, medindo a posição horizontal e vertical da plataforma (REALGAMES, 2021).

Os *racks* das prateleiras tem que se alinhar perfeitamente com o carro para realizar corretamente o armazenamento ou a retirada dos produtos, este robô possui três métodos de alinhamento, sendo eles: o método analógico, onde se move o carro de maneira analógica; o método digital; e o método numérico.

Para os métodos de alinhamento digital e numérico cada posição das prateleiras é pre-determinado por um número de 1 há 54. Se for informado o numero zero realiza-se a parada na posição atual, podendo ser um método de cancelamento. Se for informado um valor maior que 54 ele irá para o posto de descanso, ou seja ponto de carga/descarga.

Figura 26 – Fábrica virtual: Robô empilhadeira.



Fonte: Autoria própria (2022).

3.5.1 Método digital do alinhamento do *Stacker Crane*

Quadro 10 – Lista das entradas e saídas quando é utilizado o método digitais da cena *Automated Warehouse*.

Marcação	Entrada ou saída	Tipo	Descrição
Empilhador # Posição Alvo Bit0	Saída	Bool	Bit de codificação da posição alvo (menos significativo).
Empilhador # Posição Alvo Bit1	Saída	Bool	Bit de codificação da posição alvo.
Empilhador # Posição Alvo Bit2	Saída	Bool	Bit de codificação da posição alvo.
Empilhador # Posição Alvo Bit3	Saída	Bool	Bit de codificação da posição alvo.
Empilhador # Posição Alvo Bit4	Saída	Bool	Bit de codificação da posição alvo.
Empilhador # Posição Alvo Bit5	Saída	Bool	Bit de codificação da posição alvo.
Empilhadeira # (esquerda)	Saída	Bool	Mova os garfos para a esquerda.
Empilhadeira # (direita)	Saída	Bool	Mova os garfos para a direita.
Stacker Crane # Lift	Saída	Bool	Eleva ligeiramente a plataforma para operações de carga / descarga.
Empilhador # Moving-X	Entrada	Bool	Movendo-se ao longo do eixo X.
Empilhador # Moving-Z	Entrada	Bool	Movendo-se ao longo do eixo Z.
Empilhador # Limite esquerdo	Entrada	Bool	Garfos no limite esquerdo.
Empilhador # Limite Médio	Entrada	Bool	Forks no meio.
Empilhador # Limite Direito	Entrada	Bool	Garfos no limite certo.

Fonte: Adaptado de REALGAMES (2021).

Se for escolhido utilizar o método de alinhamento digital, irá utilizar as entradas e saídas listadas no Quadro 10, a posição que se deseja carregar/descarregar uma carga será dado aos bits (0 1 2 3 4 5) conforme é mostrado no Quadro 11.

Quadro 11 – Codificação da posição da carro pelo método digital do *Stacker Crane*.

Posição	Atuadores				
	Bit 0	1	2	3	4 5
<i>Trancado</i>	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0
3	1	1	0	0	0
4	0	0	1	0	0
...
54	0	1	1	0	1 1
<i>55 (descanso)</i>	1	1	1	0	1 1

Fonte: Adaptado de REALGAMES (2021).

3.5.2 Método numérico do alinhamento do *Stacker Crane*

Quadro 12 – Lista das entradas e saídas (digitais e analógicas) do *Automated Warehouse*.

Marcação	Entrada ou saída	Tipo	Descrição
Empilhador # posição Alvo	Saída	Inteiro	Vá para a célula desejada.
Empilhadeira # (esquerda)	Saída	Bool	Mova os garfos para a esquerda.
Empilhador # (direita)	Saída	Bool	Mova os garfos para a direita.
Stacker Crane # Lift	Saída	Bool	Eleva ligeiramente a plataforma para operações de carga / descarga.
Empilhador # Moving-X	Entrada	Bool	Movendo-se ao longo do eixo X.
Stacker Crane # Moving-Z	Entrada	Bool	Movendo-se ao longo do eixo Z.
Empilhador # Limite esquerdo	Entrada	Bool	Garfos no limite esquerdo.
Empilhador # Limite Médio	Entrada	Bool	Forks no meio.
Empilhador # Limite Direito	Entrada	Bool	Garfos no limite certo.

Fonte: Adaptado de REALGAMES (2021).

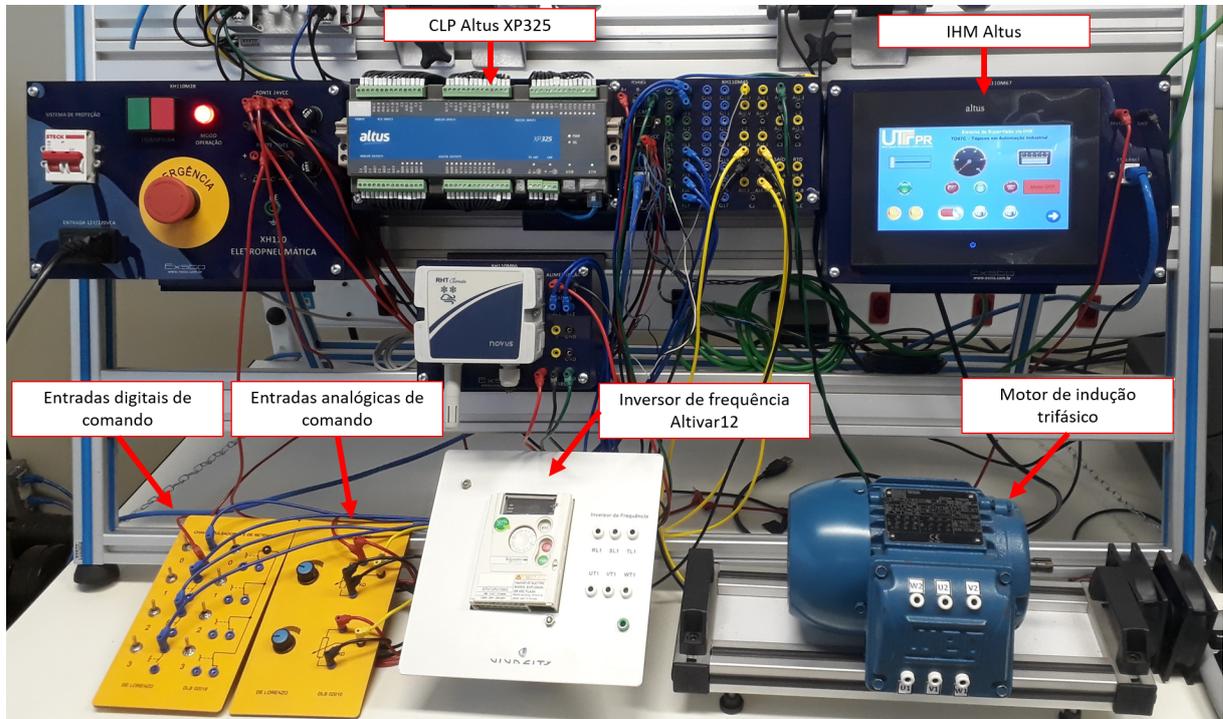
Se for escolhido utilizar o método de alinhamento numérico, irá utilizar as entrada e saídas listradas no Quadro 12, a posição que se deseja carregar/descarregar uma carga será dado de maneira numérica, ou seja uma variável inteira de 0 à 55, onde 0 é parada, 55 é a posição de repouso e de 1-54 são as posições das estantes.

3.6 Implementação prática

Para a implementação prática foram realizados testes de programação do CLP, da IHM e do acionamento do motor de indução por meio do inversor de frequência em uma bancada de ensaios presente no laboratório N204 (laboratório de automação e controle) do campus da UTFPR Apucarana, conforme indicado na Figura 27. A bancada é composta de entradas digitais e analógicas, um CLP da Altus™ Nexto Xpress modelo XP325, uma IHM da Altus™ série P2 modelo P2070NK, um inversor de frequência da Schneider Electric™ modelo Altivar12PU15M3 e um motor de indução trifásico da WEG™, rotor gaiola de esquilo, linha W22, potência nominal de 0.18 kW (1/4 cv), frequência nominal 60 Hz, rotação nominal 1710 rpm, corrente nominal de

1.14 A em tensão nominal de 220 V (ligação triângulo). A ligação entre o inversor de frequência da Schneider e a bancado com o tanque com o CLP da Altus está sendo ilustrado na Figura 28.

Figura 27 – Bancada de ensaios para validação experimental da programação do CLP, IHM e acionamento do motor de indução utilizando protocolo de rede industrial.



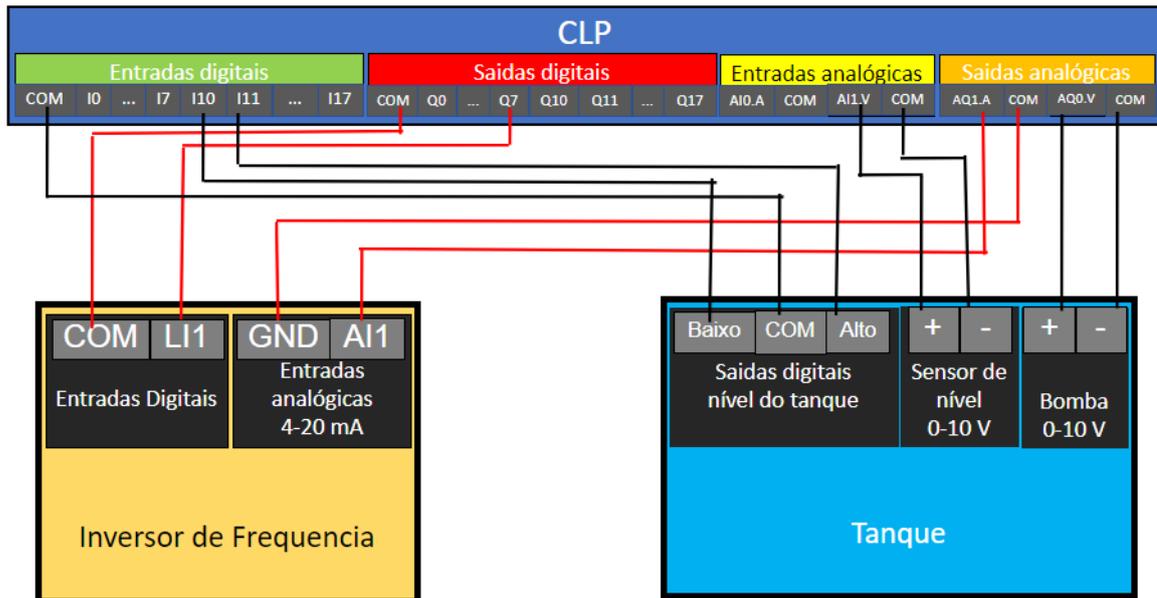
Fonte: Autoria própria (2021).

Para a programação do CLP foi utilizado o *software* gratuito *MasterTool IEC XE™*. O desenvolvimento das telas de supervisão da IHM foi desenvolvido por meio do *software* gratuito *FvDesigner™*.

A validação experimental foi realizada para o processo de paletização e controle de nível do tanque. Para o processo de paletização considerou-se o acionamento de cilindros pneumáticos, leitura de sensores capacitivo, indutivo e fotoelétrico do tipo barreira; além de um motor de passo simulando o deslocamento do elevador e esteira dotada de motor de indução com acionamento por meio de inversor de frequência.

Já no processo de controle de nível, utilizou-se uma bancada didática contendo dois reservatórios cilíndricos com chaves de nível alto e baixo, bomba de enchimento do reservatório superior (0 – 10V) e transdutor de pressão do tipo piezoelétrico (0 – 10V) para monitorar o nível do reservatório superior. Os reservatórios possuem um volume aproximado de 20 litros (30 cm de coluna d'água). Uma válvula manual pode realizar a descarga do reservatório superior para o inferior.

Figura 28 – Conexões entre o CLP e o inversor de frequência e o tanque.



Fonte: Autoria própria (2022).

3.6.1 Indicador de performance

Neste trabalho será adotado um indicador de efetividade da produção denominado Do inglês *Overall Equipment Effectiveness*, que significa Eficiência Global do Equipamento (OEE) (do inglês *Overall Equipment Effectiveness*). Trata-se de um indicador largamente utilizado nas indústrias de manufatura.

O indicador OEE foi introduzido por Seiichi Nakajima, um dos pais da TPM (*Total Productive Maintenance*), como uma medida para avaliar a performance de um equipamento, sendo usado como um dos componentes fundamentais da metodologia do TPM.

Com a expansão da manufatura enxuta (*lean manufacturing*) o OEE passou a ser usado pelas empresas com esta filosofia de produção. Atualmente, este indicador passou a ser utilizado por empresa que também aderiram ao conceito de manufatura enxuta. Entre as razões para o sucesso de adoção do OEE é pelo fato de que representa de forma simples e direta a efetividade de utilização dos equipamentos para produção, ou seja, quantos itens bons foram produzidos, comparado com a quantidade total de itens bons que teria a capacidade de ser produzido.

Neste trabalho é calculado o OEE considerando a disponibilidade, performance e qualidade, conforme (VINCE SOLUÇÕES,):

- **Disponibilidade:** cálculo da porcentagem de quanto tempo a máquina ficou rodando por quanto tempo foi definido para ela funcionar;

- **Performance:** cálculo da porcentagem de quanto foi produzido por quanto foi planejado produzir;
- **Qualidade:** cálculo da porcentagem das peças produzidas que passaram em um teste de qualidade pela quantidade total produzida;
- **OEE:** cálculo total da multiplicação dos parâmetros anteriores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Fábrica Virtual

Para o funcionamento automatizado dos processos da fábrica virtual o CLP foi programado utilizando três linguagens diferentes, a saber: *ladder* (LD), texto estruturado (ST) e SFC organizadas em POUs (do inglês, *Program Organizational Units*).

O sistema funciona de maneira automática após o usuário apertar o botão de ativação no quadro de comando. Um vídeo demonstrativo apresenta o funcionamento completo da fábrica virtual, cujo *link* está disponível na legenda da Figura 29.

Figura 29 – Funcionamento da fábrica virtual. Clique aqui para visualizar o vídeo demonstrativo.



Fonte: Autoria própria (2022).

4.1.1 Processo de envase

Quando uma caixa é detectada pelo sensor (vide quadro azul da Figura 19) a esteira para e inicia-se o procedimento de envase. O envase é realizado em duas etapas. A primeira etapa consiste no enchimento rápido, onde a válvula de descarga do tanque é acionada em $3V$, que corresponde a uma vazão de descarga Q_{d1} até alcançar o volume $V_1 = 80\%V_r$, onde $V_r = 1L$ é o volume total do recipiente. Para isto, o tempo necessário na primeira etapa T_A para manter a válvula de descarga acionada

$$T_A = \frac{V_1}{Q_{d1}} = \frac{80\%V_r}{30\%Q_{dt}} = \frac{0,8 * 0,1[m^3]}{0,3 * 0,3543} = 0,7526[s] \quad (5)$$

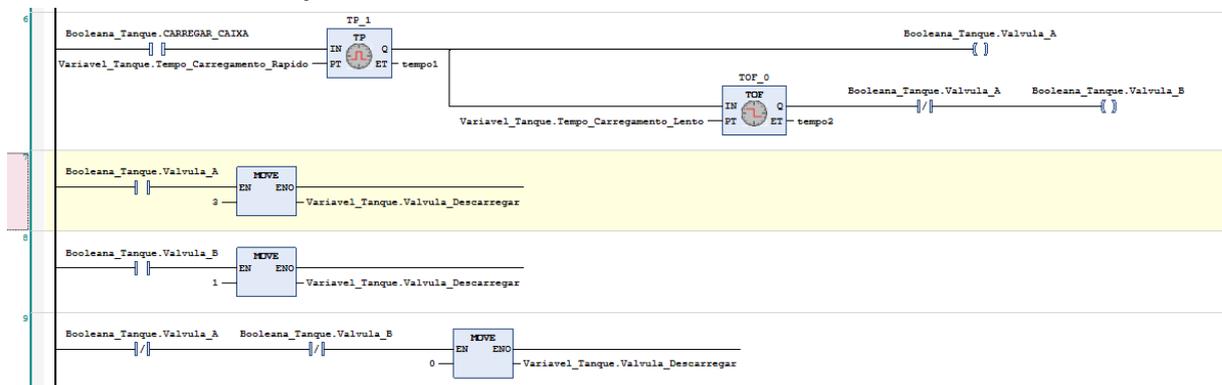
onde $Q_{dt} = 0,3543[m^3/s]$ é a vazão total de descarga.

A segunda etapa corresponde a um envase mais lento comparado ao da primeira etapa. Para isto foi estipulado uma vazão de descarga Q_{d2} , que corresponde ao acionamento da válvula em 1V. O intervalo de tempo T_B necessário para manter a válvula de descarga acionada para alcançar o volume V_2 é

$$T_B = \frac{V_2}{Q_{d1}} = \frac{20\%V_r}{10\%Q_{dt}} = \frac{0,2 * 0,1[m^3]}{0,1 * 0,3543} = 0,5645[s]. \quad (6)$$

A Figura 30 mostra como foi realizado o código em linguagem *Ladder*, utilizando blocos de temporização e de atribuição de variáveis para modificar os estados de acionamento da válvula de descarga. Vale ressaltar que na ausência de caixa, a vazão de descarga é nula.

Figura 30 – Código em *ladder* para acionamento da válvula de descarga para os estados de enchimento rápido e lento.



Fonte: Autoria própria (2022).

4.1.2 Processo de paletização

Para o processo de paletização foi adotado uma programação composta pelas linguagens SFC e *LADDER*. Adotou-se SFC em virtude da facilidade de representação de sistemas sequenciais em formato *GRAFSET* e o *LADDER* para o controle das esteiras e dos contadores.

Para a montagem das caixas nos paletes foi utilizado 4 etapas descritas da seguinte forma:

1. conta-se duas caixas com o atuador *Turn* em nível lógico baixo;
2. conta-se três caixas com o atuador *Turn* em nível lógico alto. Ao final deste ciclo abre-se a porta do elevador formando o primeiro andar do palete;
3. conta-se três caixas com o atuador *Turn* em nível lógico alto;
4. conta-se duas caixas com o atuador *Turn* em nível lógico baixo. Ao final deste ciclo abre-se a porta do elevador formando o segundo andar do palete.

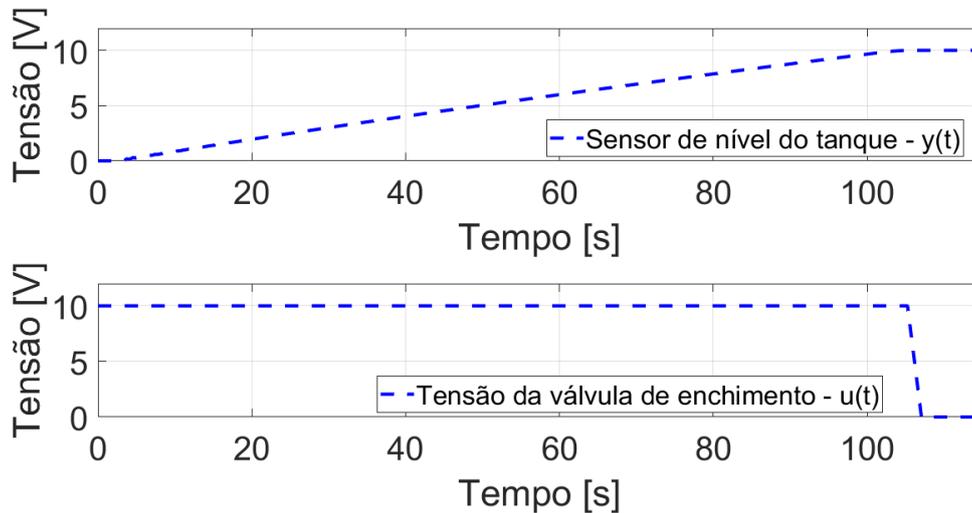
4.1.3 Processo de estoque

O método que foi escolhido no processo de estoque automático foi o método digital onde é utilizado seis portas digitais do CLP para informar para qual posição o robô vai se mover. A linguagem utilizada para a programação deste processo foi texto estruturado e *GRAFSET*.

4.1.4 Identificação da dinâmica do tanque virtual e sintonia do controlador

A Figura 32 mostra a curva experimental para identificação do sistema, provinda do sensor de nível a partir de um degrau de tensão na válvula de enchimento representado pelo gráfico da Figura 31.

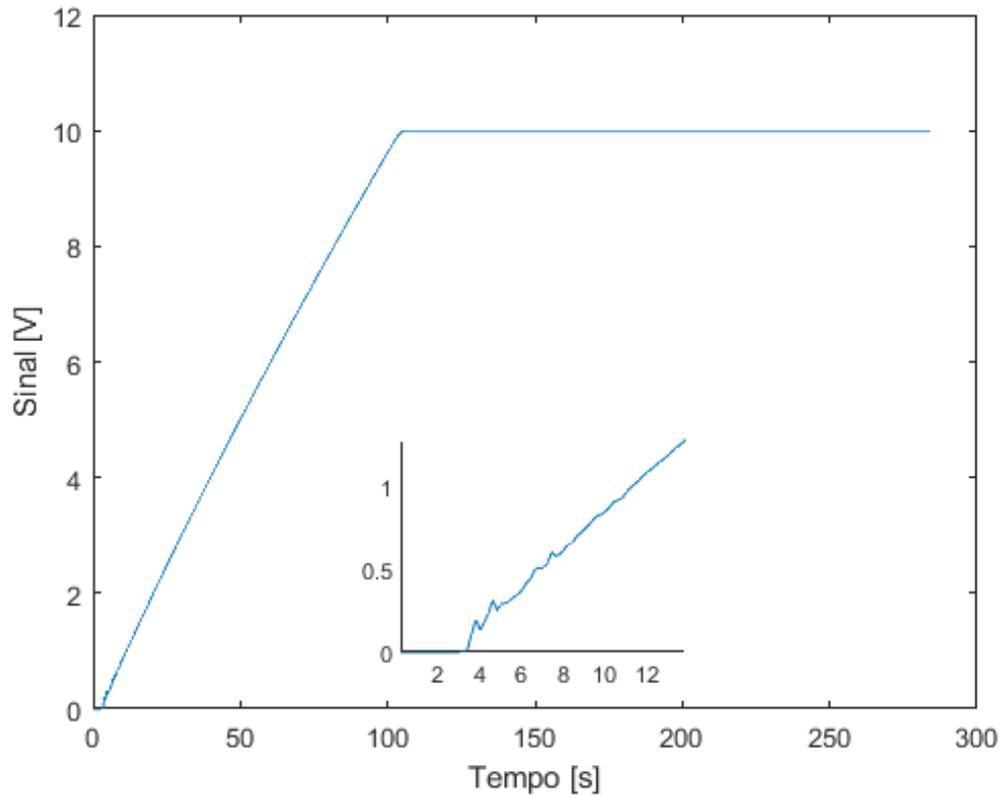
Figura 31 – Gráfico da resposta do sistema ao um degrau de 10V aplicado na válvula de enchimento.



Fonte: Autoria própria (2022).

A partir de um *zoom* no intervalo de tempo de 0 a 15s na Figura 32 é possível verificar que o *delay* na dinâmica do sistema é de 2.6129s.

Figura 32 – Resposta temporal do sensor de nível $y(t)$ a partir de um degrau de tensão na válvula de enchimento $u(t)$.



Fonte: Autoria própria (2022).

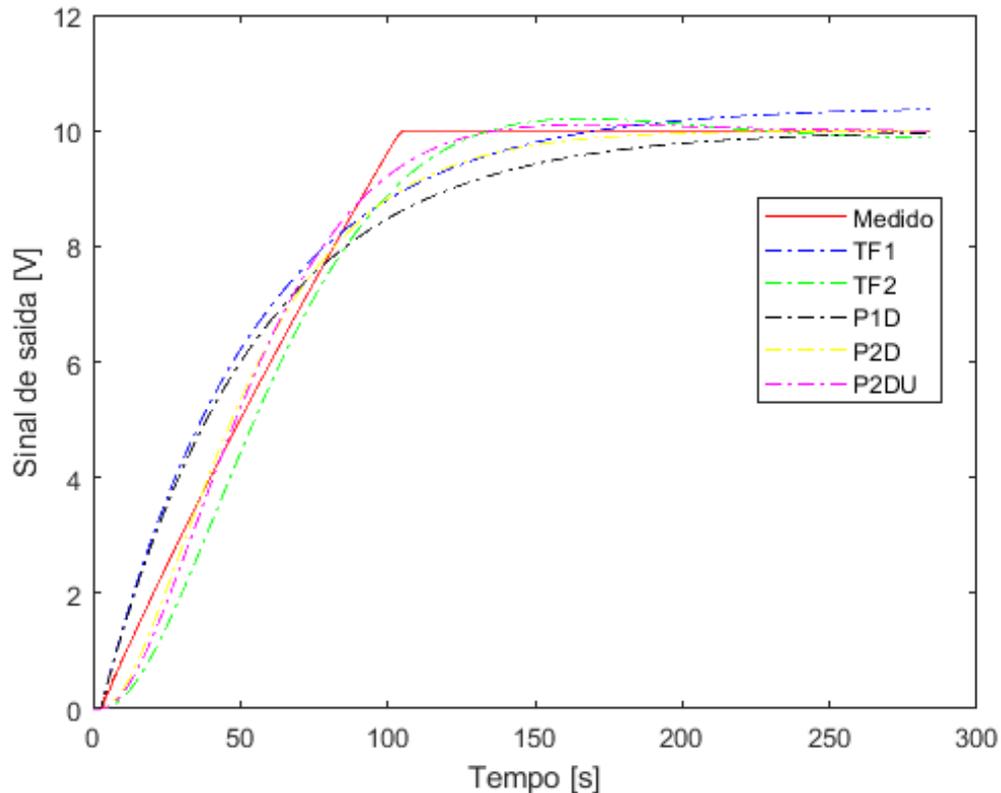
Com os dados adquiridos, determinou-se os parâmetros das funções de transferência (1)-(3) que alcançaram o melhor *fitting* em relação aos dados experimentais. A Figura 33 apresenta os resultados de validação das funções de transferências estimadas e a Figura 34 elucida o erro de estimativa. As funções de transferência estimadas são expressas por:

$$G_{p1d}(s) = \frac{1}{51.804s + 1} e^{-2.6129s},$$

$$G_{p2d}(s) = \frac{1}{(25.182s + 1)(28.976s + 1)} e^{-2.6129s},$$

$$G_{p2du}(s) = \frac{0.0011}{s^2 + 0.0548s + 0.0011} e^{-2.6129s}.$$

Figura 33 – Validação da resposta temporal da saída do sistema a partir das funções de transferência estimadas.



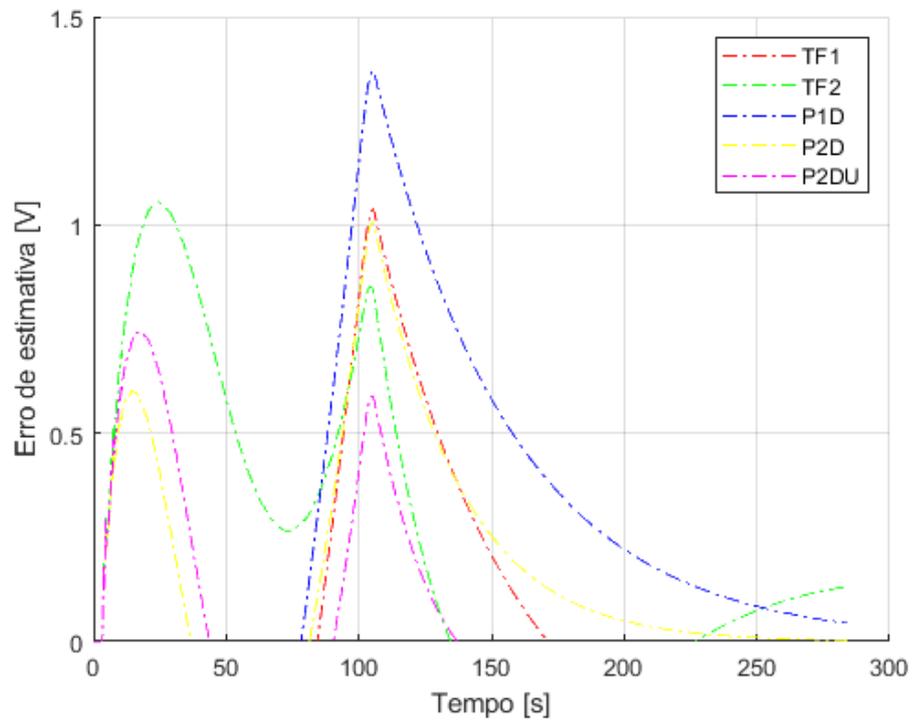
Fonte: Autoria própria (2022).

Embora as funções $G_{p2du}(s)$ e $G_{p2d}(s)$ tenham apresentado o menor erro de estimativa, o método de sintonia Ziegler-Nichols tem um problema de definir os ganhos para um sistema que tenha mais que um polos e que tenha zeros. Por esta razão, optou-se em utilizar a função $G_{p1d}(s)$, no qual a dinâmica do processo é descrita por um pólo real e um atraso temporal.

Considerando a metodologia de sintonia Ziegler-Nichols, obteve-se os ganhos $K_p = 0.011$ e $T_i = 8.29$. Com os ganhos obtidos realizou-se ainda um ajuste de $K_P = 0.333$ para melhorar o tempo de resposta transitória. As Figuras 35 e 36 mostram o desempenho do sistema operando em malha fechada com o controlador PI.

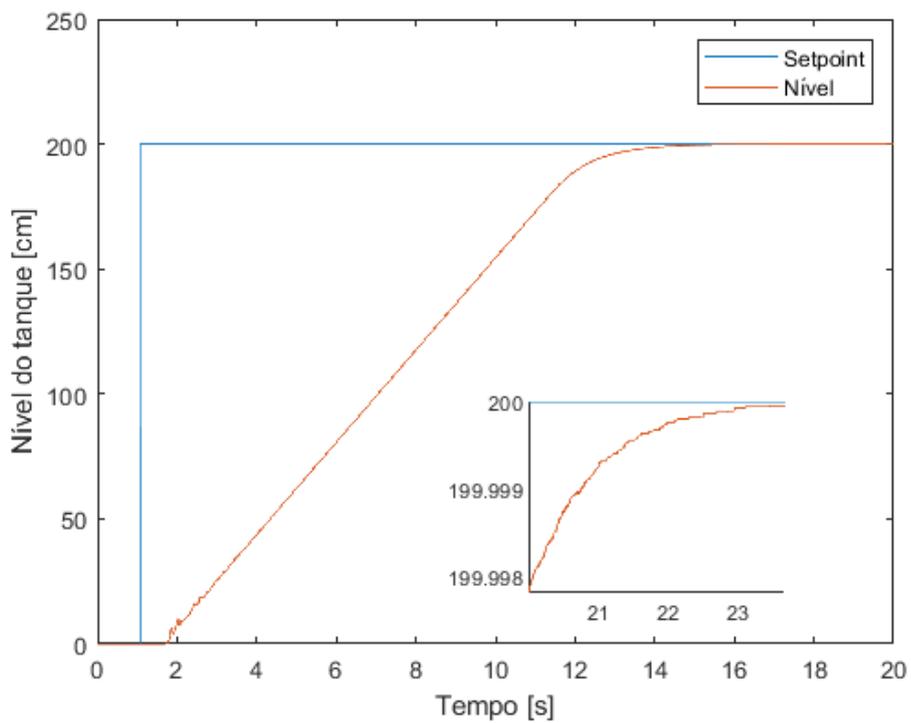
A partir da Figura 35 verifica-se tempo de estabelecimento menor que 20 segundos e erro nulo em regime permanente, considerando como condição inicial o tanque vazio. A Figura 36 mostra a ação de controle provindo do bloco PID do CLP, Figura 37, aplicado na válvula de enchimento para um *setpoint* de nível do tanque em 200cm .

Figura 34 – Erro de estimativa das funções de transferências.



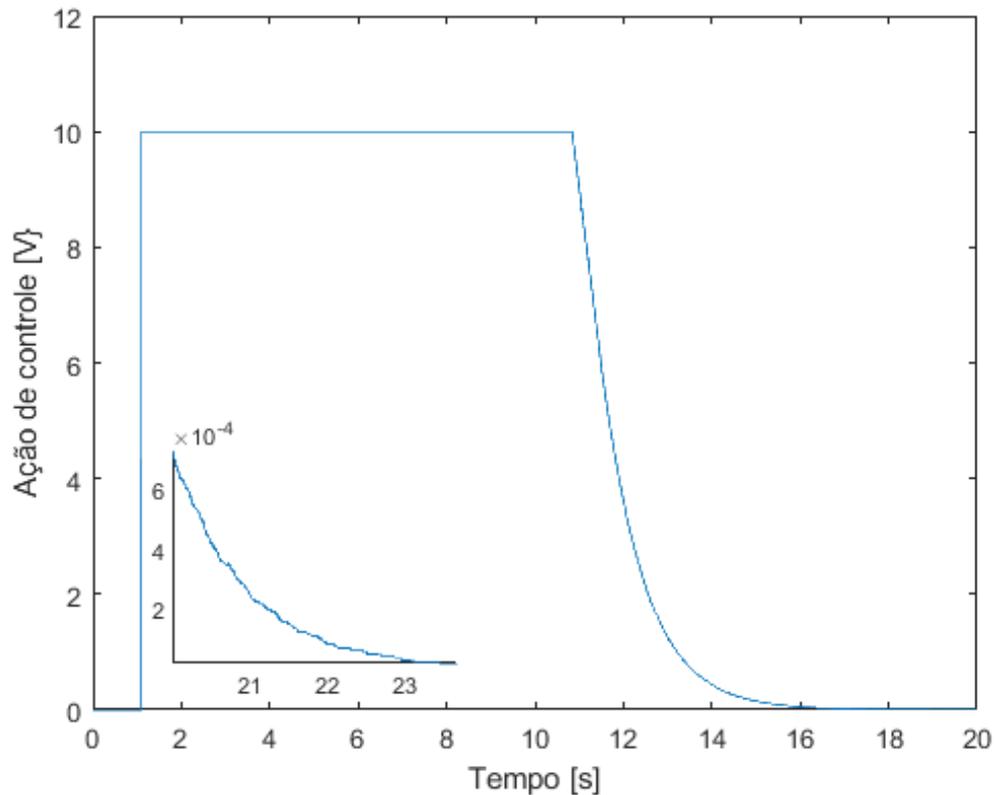
Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 35 – Nível do tanque operando em malha fechada com o controlador PI.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 36 – Ação de controle sobre a válvula de enchimento.



Fonte: Autoria própria (2022).

4.2 Implementação prática

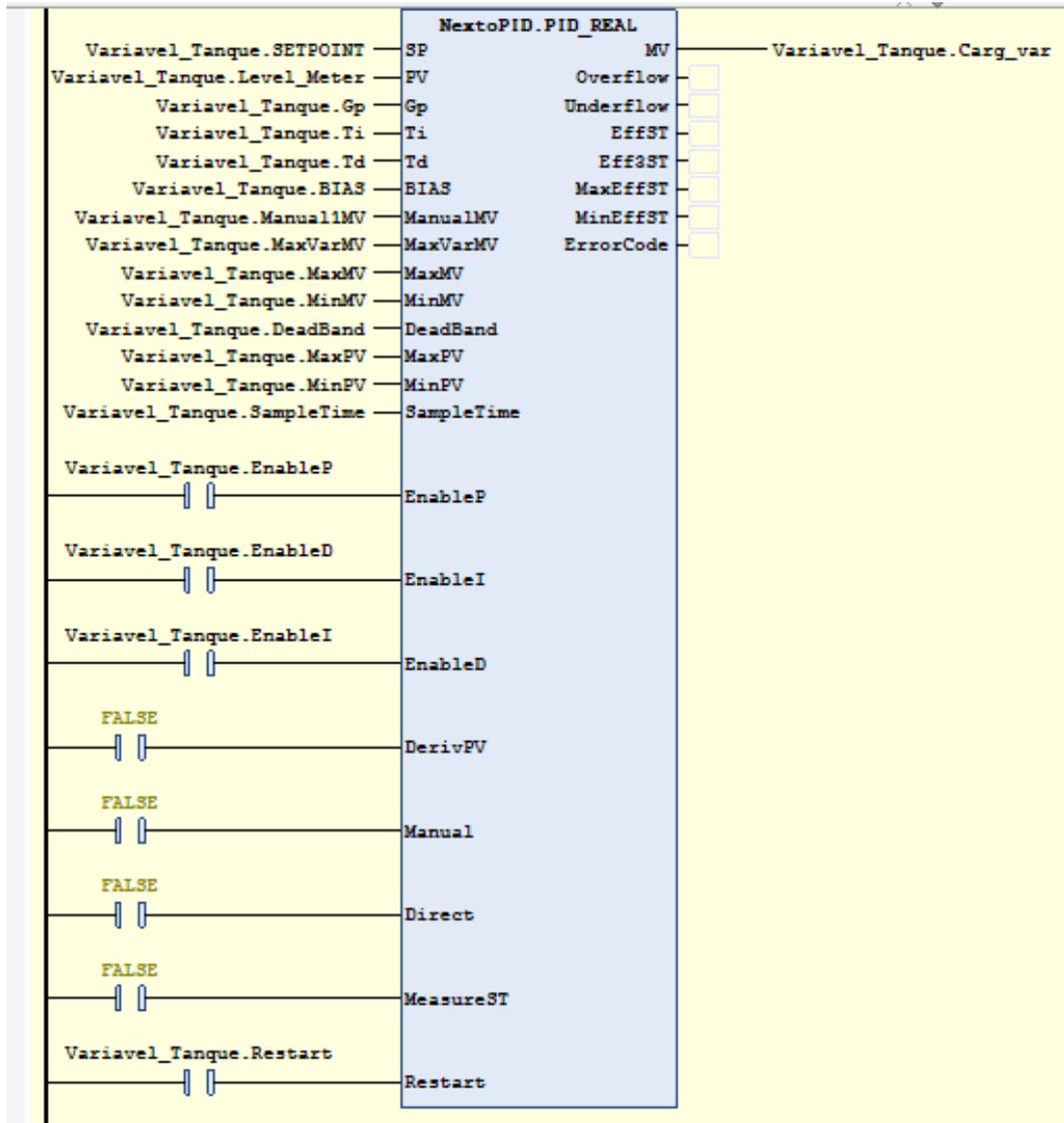
Para validação da lógica de programação realizada na simulação da fábrica virtual, foi realizado uma implementação prática dos processo de paletização e controle de nível do tanque. Um vídeo demonstrativo apresenta o funcionamento completo do processo de paletização, cujo *link* está disponível na legenda da Figura 38.

Nas subseções a seguir irá mostrar com maiores detalhes sobre a implementação e os resultados obtidos.

4.2.1 Configuração de IHM e gerenciamento de usuários

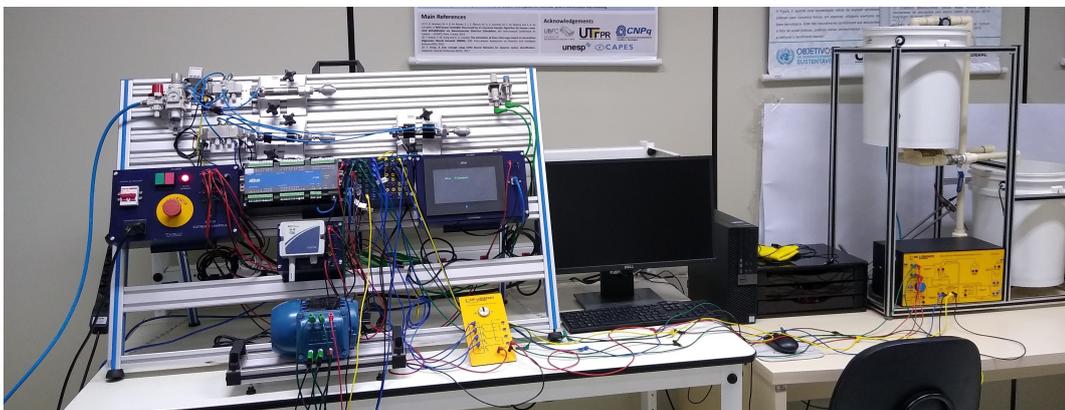
Diante a estrutura hierárquica de uma fábrica, defini-se os seguintes níveis de usuário: operador do equipamento, equipe de manutenção e gerência. A partir destas definições, desenvolveu-se as telas considerando diferentes critérios de visibilidade e acessibilidade entre os grupos de usuários.

Figura 37 – Programação em linguagem *ladder* do bloco PID no *software* MasterTool IEC XE.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 38 – Montagem que foi realizado em laboratório. Clique aqui para visualizar o vídeo demonstrativo



Fonte: Autoria própria (2022).

Por exemplo, telas com os gráficos de produção e rendimento são visíveis para gerência, enquanto telas de parametrizações de equipamentos ficam acessíveis somente para equipe de manutenção. Por sua vez um usuário do grupo operador de equipamento possui visibilidade e acesso limitado a poucas informações de cada etapa do processo.

Neste projeto foi adotado três níveis para gerenciamento de usuários, com as respectivas senhas apresentadas no Quadro 13. Cada nível possui acesso a telas específicas. A diferenciação dos níveis pode ser visualizado na por exemplo na tela de *login* e início da IHM, Figura 39. Outro exemplo é mostrado na Figura 40 onde apresenta a tela de seleção para cada um dos níveis.

Figura 39 – Tela de *login* e inicial da IHM para cada nível de operação.

(a) Tela inicial para nível 0



(b) Tela inicial do operador (nível 1)



(c) Tela inicial da manutenção (nível 2)



(d) Tela inicial da gerência (nível 3)



Fonte: Autoria própria (2022).

A partir das Figuras 40a e 40b é possível notar as diferenças de menu entre operador (nível 1), equipe de manutenção (nível 2) e gerência (nível 3).

Para validação experimental, a IHM foi conectada na rede de Ethernet da UTFPR, realizando comunicação com o CLP através do protocolo MODBUS TCP. A IHM foi configurada com endereço de IP 10.10.42.249 e o CLP com endereço IP 10.10.42.250. Para cada variável a ser transmitida pelo protocolo MODBUS deve ser especificado um *Fcode* e endereço de memória correspondente, conforme Figura 13. O endereçamento das variáveis foram mapeadas tanto no CLP e na IHM.

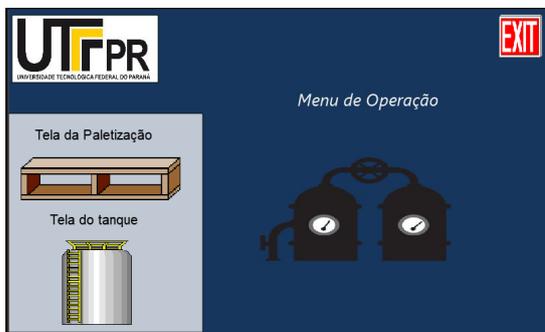
Quadro 13 – Quadro das senhas de segurança da IHM.

Nível	Nome	Senha	Comentário
0			É o nível mais baixo onde não tem permissão para alterações. Sempre que a IHM entra em hibernação ela volta para o nível 0
1	Operador	1234	É o primeiro grau de liberdade onde o operador pode iniciar o processo e visualizá-lo
2	Manutenção	12345	É o nível com maior grau de liberdade, no qual se consegue observar os elementos do nível 1, o histórico de alarmes e alterar alguns parâmetros
3	Gerência	123456	Nesse nível tem acesso aos gráficos de produção e uma visão e mais macro do processo

Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 40 – Telas de menus da IHM para cada nível de operação.

(a) Menu de operação (nível 1)



(b) Menu de manutenção (nível 2)



(c) Menu de gerência (nível 3)



Fonte: Autoria própria (2022).

4.2.2 Implementação do processo de paletização

Na implementação prática do processo de paletização foi utilizado uma lógica muito parecida ao utilizado na simulação. O motor de passo representa o funcionamento do elevador de paletes, sensores capacitivo e fotoelétrico detectam as caixas, atuadores pneumáticos representam as ações de empurar e rotacionar as caixas e um motor acionado por um inversor de frequência retrata o funcionamento da esteira.

Figura 41 – Telas do processo de paletização.

(a) Tela 01



(b) Tela 02



Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 41a representa a tela da IHM de paletização para o nível de manutenção, onde é visível as lâmpadas representando esteira de entrada de caixas, de acionamento dos atuadores (pistão e *trump*) e o sensor capacitivo que detecta as caixas. Os indicadores luminosos do lado direito da Figura 41a representam os estados do elevador. Abaixo há três botões, o primeiro volta para o menu da Figura 40b, o botão do meio direciona para a tela de alarmes da Figura 42 e o último botão direciona para a próxima tela do processo de paletização da Figura 41b.

A Figura 41b mostra a tela da IHM de paletização em uma vista frontal no qual é possível visualizar os estados lógicos do sensor de caixa da esteira superior, sensores de entrada e saída de *pallets* da esteira inferior e os motores das esteiras. Abaixo há um botão para retornar à tela anterior (Figura 41a) e no canto direito superior há um botão para retornar à tela inicial (Figura 39).

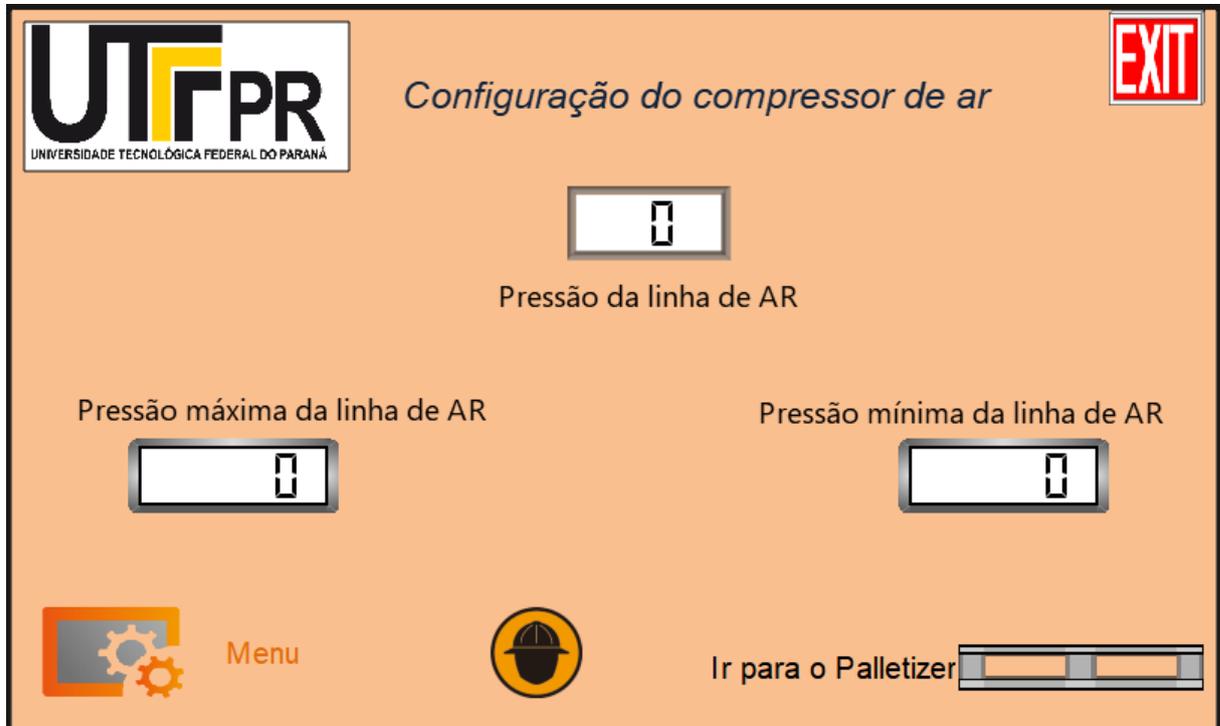
Figura 42 – Tela de alarmes da paletização.

Date	Trigger	Recovery	Message
22/11/16	22:40:29		A pressão do ar está muito alta
22/11/16	22:40:29		A pressão está muito baixa

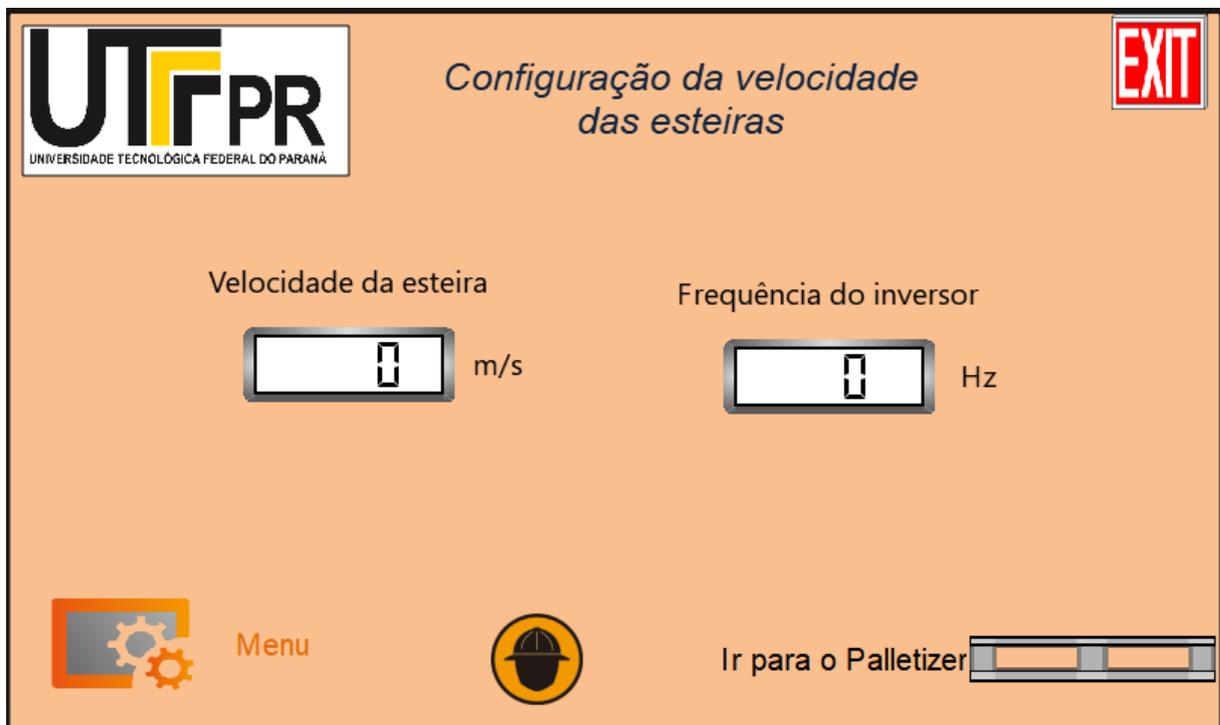
Fonte: Autoria própria (2022).

Na tela de alarmes da paletização, Figura 42, apresenta-se um quadro de alarmes, pois nessa aplicação há um sensor de pressão de ar ISE20B localizado na entrada de ar após a válvula de alívio com saída analógica 4 – 20mA linear que é convertido em unidade de pressão 0 – 16bar ou 0 – 16Kg/cm².

Figura 43 – Telas de configuração de do processo de paletização.
 (a) Configuração dos limites de pressão



(b) Configuração da velocidade da esteira



Fonte: Autoria própria (2022).

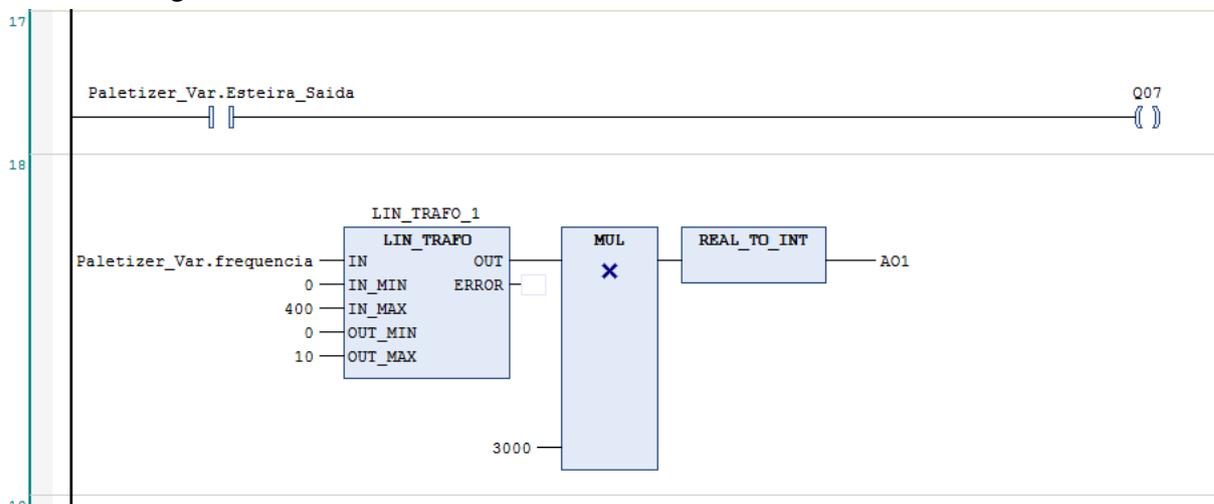
Na Figura 42 à um botão representado por um compressor de ar que direciona para a tela de configuração de parâmetros da parte pneumática, vide Figura 43a. Nesta tela de configuração pode-se ajustar os limites de pressão de trabalho. Quando a pressão está fora desses limites é apresentado um erro no quadro localizado no meio da tela da Figura 42. O terceiro botão direciona para a tela de configuração da velocidade da esteira, Figura 43b.

A velocidade desejada para a esteira é enviada para o CLP, o qual calcula a frequência correspondente para o inversor operando em modo de controle escalar, conforme mostrado no código em texto estruturado a abaixo e no código em *ladder* da Figura 44.

Código em texto estruturado para calcular a frequência referente a velocidade indicada na IHM.

```
// Calculo da velocidade do motor
RPM:=(Paletizer_Var.Velocidade_esteira*60*5)/(diametro_eixo*pi);
Paletizer_Var.frequencia:=(pi*RPM)/(120);
```

Figura 44 – Código em *ladder* para acionamento do inversor de frequência por meio de saída analógica do CLP.

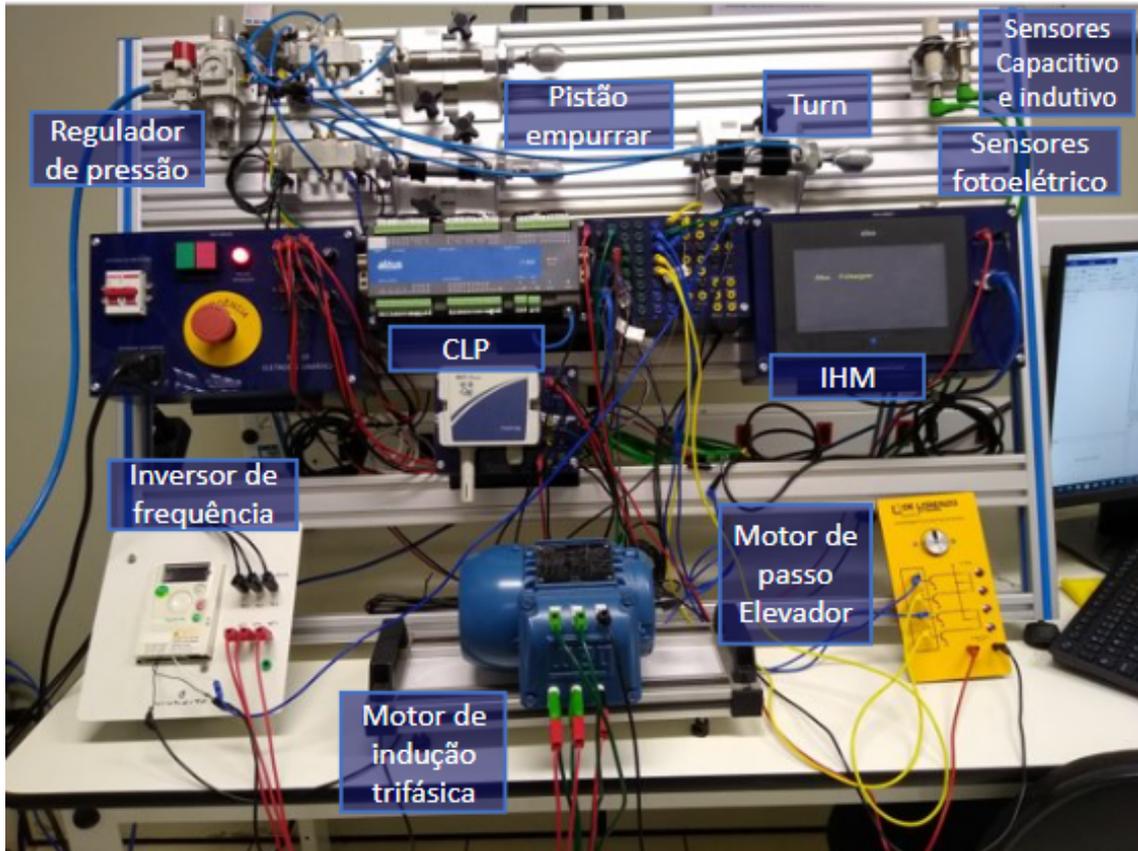


Fonte: Autoria própria (2022).

Ainda na tela de erros de paletização, Figura 42, à um botão no canto inferior direito que direciona para a tela do processo de paletização, Figura 41a, e no canto inferior esquerdo à um botão que direciona para a tela inicial, Figura 40b.

Na legenda da Figura 45 à um *link* para um vídeo demonstrativo detalhando a implementação prática do processo de paletização.

Figura 45 – Funcionamento da implementação prática no processo de paletização. Clique aqui para visualizar o vídeo demonstrativo.



Fonte: Autoria própria (2022).

4.2.3 Indicador de performance

A partir do nível de gerência pode-se acessar o menu com opções para configurar a produção e visualizar o indicador de performance, respectivamente, Figuras 46 e 47.

Na tela da Figura 46 o *display* do canto superior esquerdo define o tempo projetado para o processo funcionar. O *display* do canto inferior esquerdo especifica a quantidade total de peças planejado produzir neste intervalo de tempo. O *display* no canto superior direito mostra a quantidade de peças produzidas e o *display* no canto inferior direito mostra a quantidade de peças foram aprovadas. Quando um palete é montado aparece a IHM um *pop-up*, onde o operador especifica se a montagem está dentro do padrão de qualidade. Embora este seja um método manual de verificação, poderia ser realizado por outros métodos, como por exemplo, através de visão computacional e algoritmos de inteligência artificial.

Nota-se que na linha inferior da tela de configurações, Figura 46, há três botões. O do canto inferior esquerdo retorna ao menu, Figura 40c; o botão do meio apaga todos os dados do OEE, e o botão do canto inferior direito direciona para a tela de resultados do OEE, Figura 47.

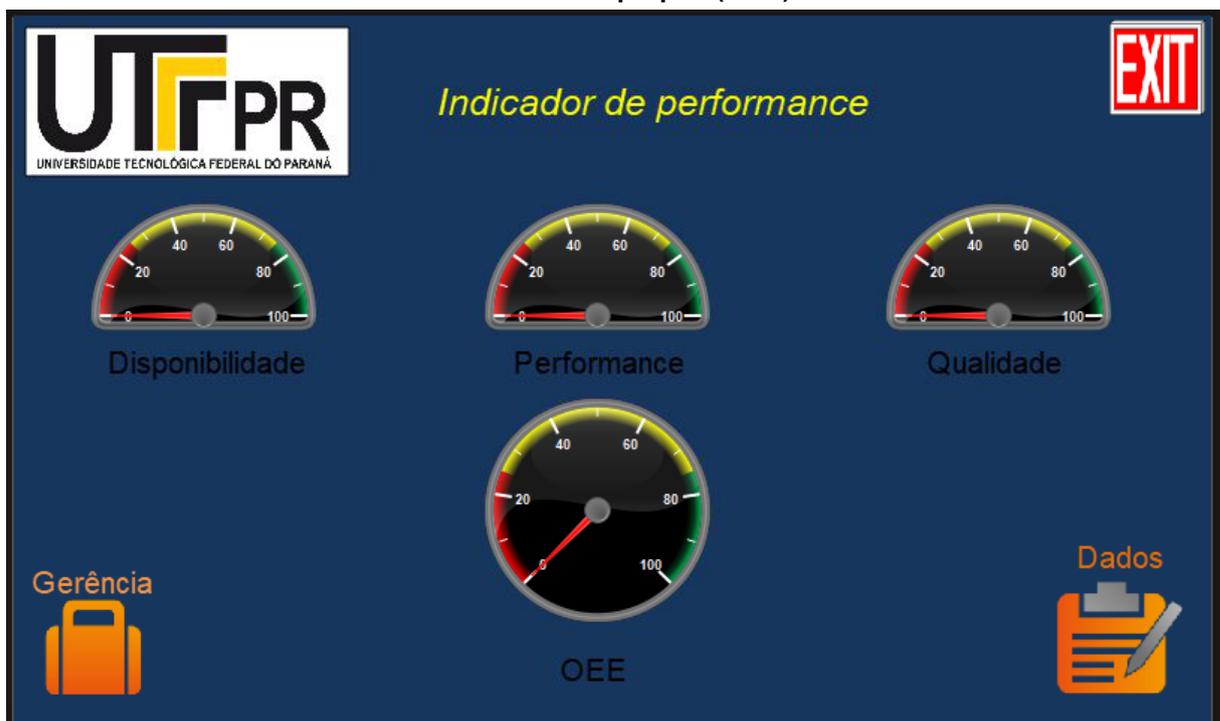
Figura 46 – Tela de configuração dos parâmetros de gerenciamento da produção.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 47 – Tela do indicador de performance OEE.

Fonte: Autoria própria (2022).



Os cálculos do indicador OEE foram realizados por meio de *scripts* na IHM. A Figura 47 mostra a tela contendo cada um dos indicadores de performance do OEE com os seus respectivos valores em porcentagem.

4.2.4 Implementação do controle de nível para o tanque experimental

Para implementação do controle de nível do tanque foi realizado as conexões das chaves de nível do reservatório superior, sensor de nível e bomba do sistema didático, Figura 48.

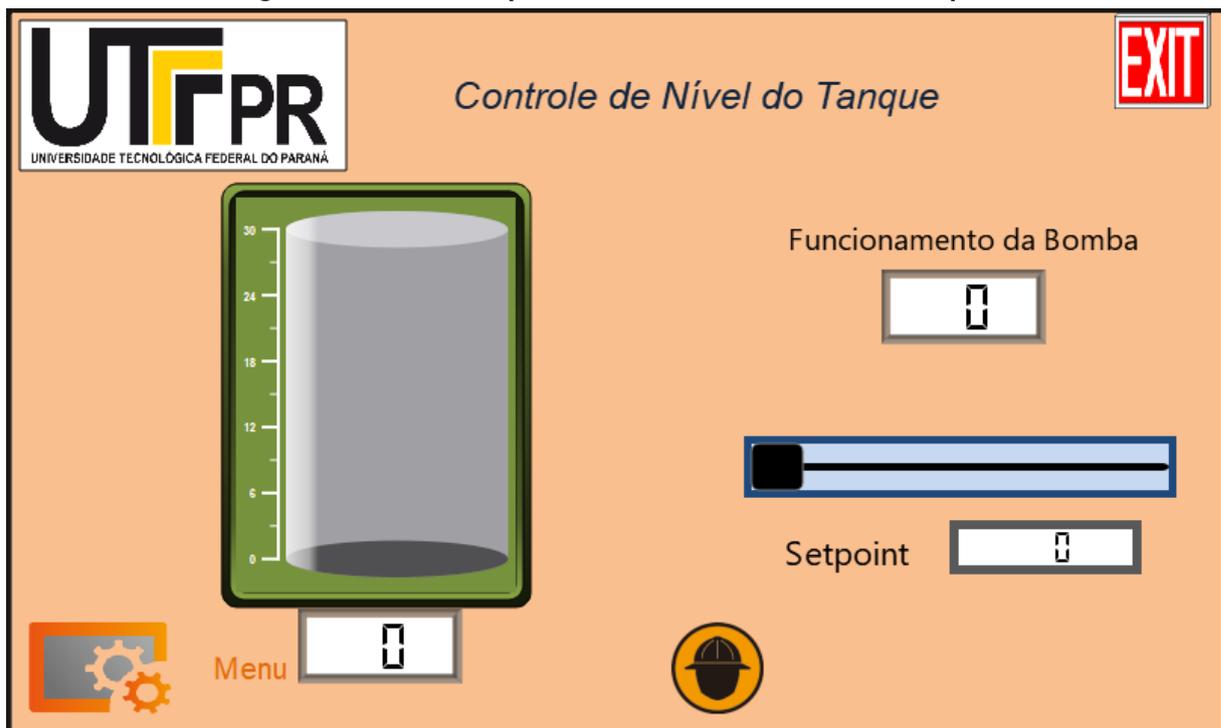
Figura 48 – Montagem realizada para validação experimental de controle do tanque.



Fonte: Autoria própria (2022).

Na tela da IHM é possível visualizar em tempo real o nível do tanque em unidade de centímetros, vide Figura 49. Nesta tela há também um *slider* que permite ajustar o valor de *set-point* desejado. Abaixo do *slider* há um *display* para mostrar o valor numérico correspondente. Ainda nesta tela há um *display* no qual o valor numérico da tensão aplicada na bomba devido à ação de controle. Nota-se também que há dois botões na linha inferior. O botão posicionado no lado inferior esquerdo direciona para a tela de menu, Figura 40b, e o botão do meio direciona para a tela de alarmes do tanque, Figura 50.

Figura 49 – Tela de supervisão e controle de nível do tanque.



Fonte: Autoria própria (2022).

Na tela de alarmes do tanque, Figura 50, há um quadro com o histórico dos alarmes. Neste projeto foi estipulado alarme proveniente de nível baixo e mínimo provenientes pela leitura do sensor de nível. Além disto, há os alarmes críticos de nível muito baixo e muito alto, respectivamente, provenientes das chaves de nível baixo e alto do tipo boia.

Figura 50 – Tela de alarmes do tanque.

Date	Trigger	Recovery	Message
22/09/07	15:11:13		O nível está baixo
22/09/07	15:11:13		A bomba está desligada

Fonte: Autoria própria (2022).

Na legenda da Figura 51 há um *link* para um vídeo demonstrativo da validação experimental de controle do tanque.

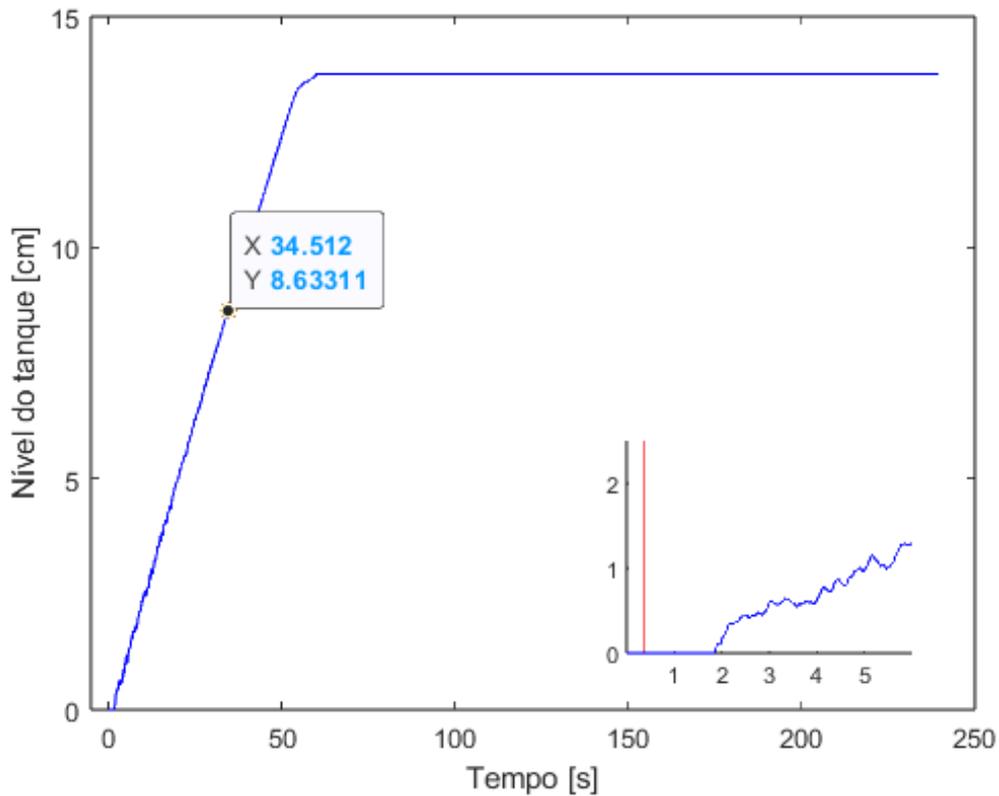
Figura 51 – Funcionamento da implementação prática do controle do tanque. Clique aqui para visualizar o vídeo demonstrativo.

Fonte: Autoria própria (2022).

4.2.4.1 Identificação da dinâmica do tanque e sintonia do controlador

Para a identificar a dinâmica do tanque foi necessário realizar aquisição de dados do enchimento do tanque em uma configuração de malha aberta, no qual aplicou-se um degrau de tensão na bomba até alcançar o nível de 15 cm, mantido por um intervalo de tempo de 250s. O resultado da resposta dinâmica do sistema está sendo mostrado na Figura 52, no qual determinou-se o visualizando no zoom do gráfico dessa figura onde a linha vermelha indica o início em $T_{início} \approx 0.35$ segundos e o sensor começou a medir após um tempo $T_{medio} \leq 1.9$ segundos resultando em um *delay* de $t_d \approx 1.5$ segundos. A constante de tempo é dada pelo o tempo em que o sistema alcançou 63% do degrau, sendo de $\tau_s \approx 34.514$ segundos mostrado no gráfico e ganho do sensor de $K = 2.75$.

Figura 52 – Gráfico da aquisição de dados.



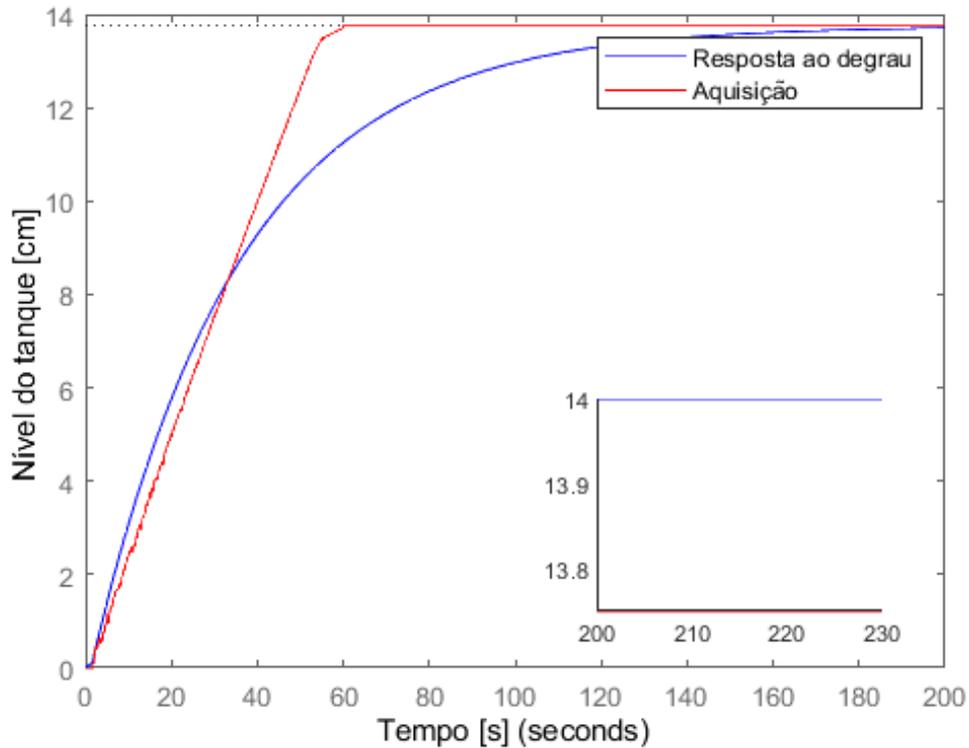
Fonte: Autoria própria (2022).

Com estes parâmetros determina-se que a função de transferência do sistema é dada por:

$$G(s) = \frac{K e^{-t_d s}}{\tau_s s + 1} = \frac{2.75 e^{-1.5s}}{34.514s + 1}. \quad (7)$$

A Figura 53 mostra um comparativo entre os dados coletados experimentalmente e a resposta da função de transferência estimada $G(s)$.

Figura 53 – Comparativo entre a resposta dinâmica do tanque proveniente da aquisição de dados e a resposta proveniente da função de transferência estimada 7.



Fonte: Autoria própria (2022).

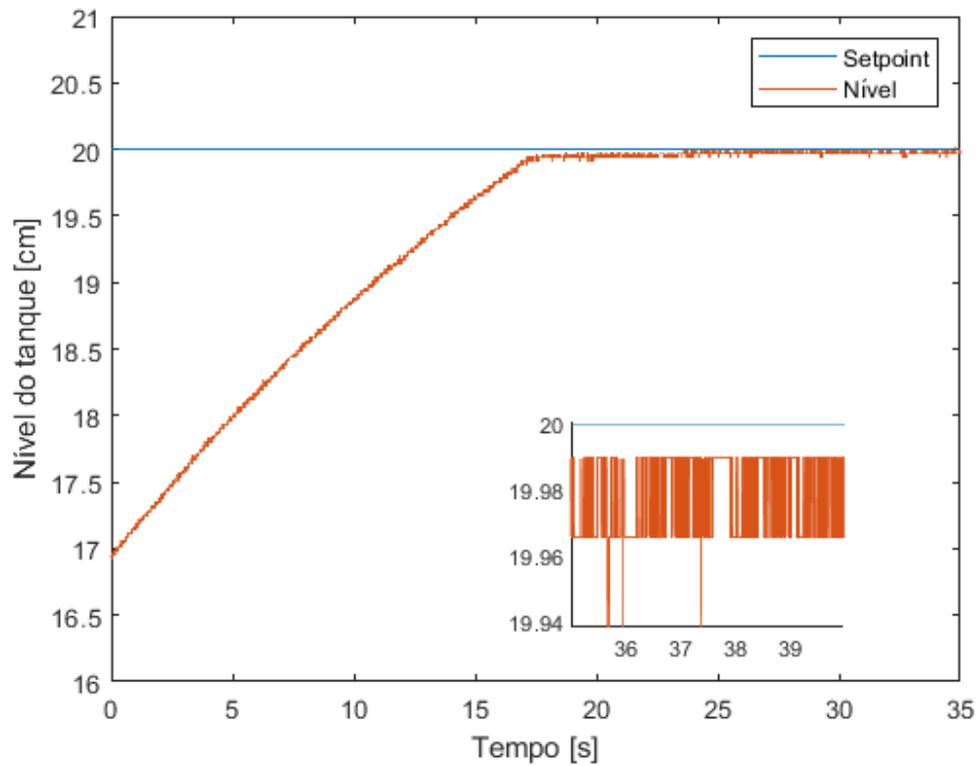
Com a função de transferência do sistema, (7), determinou-se os ganhos teóricos K_P e T_i do controlador PI utilizando o método de sintonia *Ziegler-Nichols*. Com isto determinou-se que controlador PI é definido como sendo:

$$C(s) = 7.5299 \left(1 + \frac{1}{4.9950s} \right). \quad (8)$$

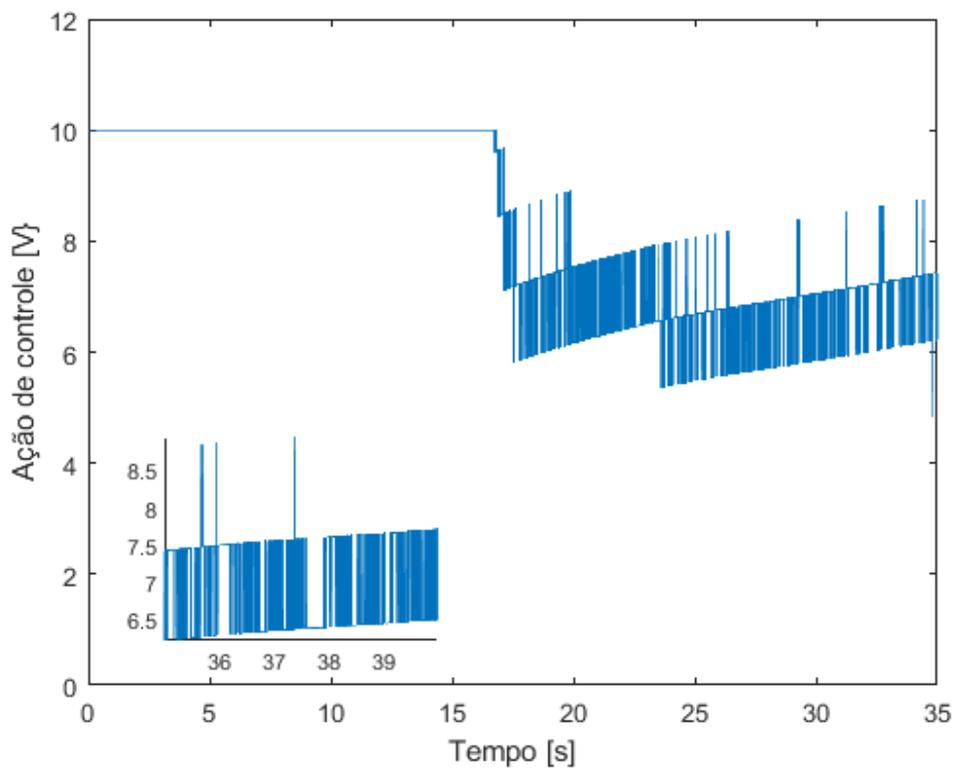
Com estes ganhos o sistema ficou muito oscilatório e com um erro de regime permanente insatisfatório. Após alguns ajustes empíricos de sintonia nesses ganhos obteve-se $K_P = 50$ e $T_i = 100$ para resultados mais satisfatórios.

Considerando o controlador programado no CLP, vide Figura 37, foi realizado dois experimentos. O primeiro experimento considerou como condição inicial o nível do tanque em $\pm 17\text{cm}$, abertura da válvula de descarga em torno de 60% e uma mudança de *setpoint* do nível para o valor de 20 cm. O comportamento do sistema nesta operação de malha fechada está indicado na Figura 54a. E a Figura 54b mostra a ação de controle aplicada na bomba nesta operação de malha fechada.

Figura 54 – Resposta do sistema para um *setpoint* do tipo degrau definido em 20 cm.
(a) Resposta dinâmica de nível do tanque.

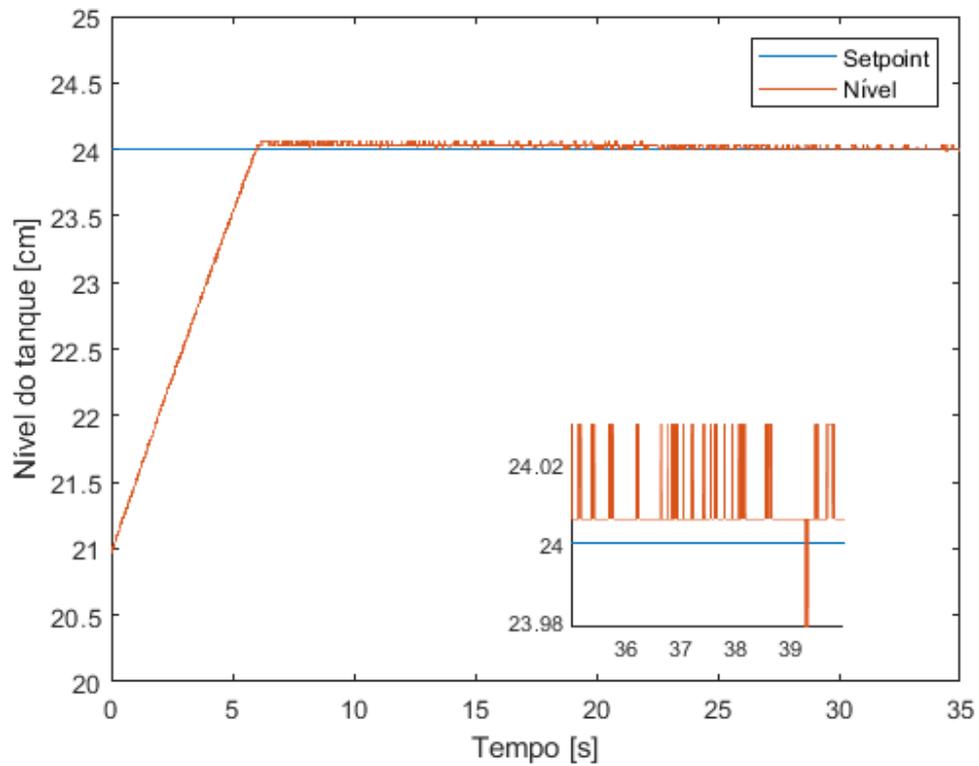


(b) Sinal da ação de controle para operação em malha fechada.

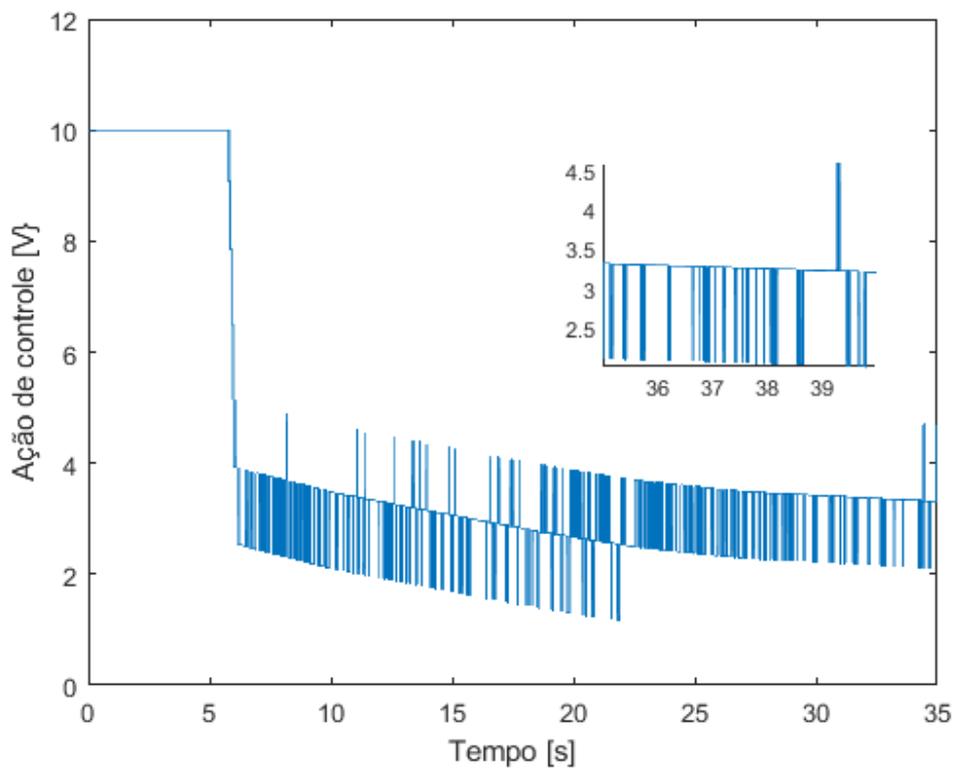


Fonte: Autoria própria (2022).

**Figura 55 – Resposta do sistema há um degrau aplicado de 24cm .
(a) Resposta dinâmica de nível do tanque.**



(b) Sinal da ação de controle para operação em malha fechada.



Fonte: Autoria própria (2022).

No segundo experimento, altera-se o fechamento da válvula de descarga para 20% e altera-se o *setpoint* para 24 cm. A Figura 55a mostra o comportamento dinâmico do nível do tanque até alcançar o *setpoint* de 24 cm. E a Figura 55b mostra a ação de controle aplicada na bomba para alcançar o nível estipulado para o tanque. Nota-se que o nível desejado para o tanque foi alcançado e a ação de controle ficou em torno de $\approx 3V$ diferente ao do primeiro experimento que ficou em torno de $\approx 7.5V$. Esta diferença representa justamente a mudança da vazão da válvula de descarga.

Todos os códigos desenvolvidos para a realização deste trabalho de conclusão de curso estão disponíveis neste link aqui.

4.3 Orçamento do processo da simulação

O orçamento deste trabalho foi realizado no fim do ano de 2022. Ressalta-se que em virtude da crise de componentes eletrônicos, muitos itens podem estar com o preços acima da média. Este é um orçamento simplificado para a montagem dos elementos estruturais, sensores, atuadores e controladores da fábrica virtual adotada no *Factory I/O*. Os orçamentos estão disponíveis nos anexos A, B e C.

Para o processo de estoque o orçamento totaliza R\$159.279,04, enquanto que para o processo de controle de nível do tanque é de aproximadamente R\$36.376,61 e para o processo de paletização cerca de R\$97.636,86. Ademais, no Quadro 14 contém o orçamento dos motores redutores e motobomba. Ressalta-se que não está incluso no orçamento o cabeamento de força, elementos como disjuntores, DR's e DPS's, painéis, bornes, entre outros componentes necessários para se montar a parte elétrica do projeto. Também não foi realizado o orçamento de partes mecânica como vigas, esteiras, postes, entre outros. No total a estimativa da fábrica virtual ficou em torno de R\$367.621,98.

Quadro 14 – Orçamento de motores para o projeto.

Item	Produto	Qtd	Preço unitário	Preço
1	Reservatório Vertical 10 Mil litros	1	R\$ 27.868,28	R\$ 27.868,28
2	Bomba Centrífuga Schneider Bc-23 F2 30 Cv Trifásica 4 Voltagens	1	R\$ 21.000,00	R\$ 21.000,00
3	Motor WEG 5cv 220 V 60 Hz IV polos	7	R\$ 3.263,22	R\$ 22.842,54
4	Roldana 4 Rodas Trilho Reto Perfil 2 Peças	4	R\$ 52,70	R\$ 210,80
5	Rodizio De Borracha Cinza + PVC Giratório Sem Freio 4-100 M, Suporta Até 55 Kg Mtx	4	R\$ 20,00	R\$ 80,00
6	Corrente Dupla ASA 40/2 - EM METRO	13	R\$ 65,95	R\$ 857,35
7	Engrenagem para corrente Dupla ASA 2.50.12 ABT2	1	R\$ 66,50	R\$ 66,50
8	Engrenagem para corrente Dupla ASA 2.50.40 ABT2	1	R\$ 504,00	R\$ 504,00
9	Jogo de amortecedor de ferro e borracha 3/4"1500 KG 4 peças	1	R\$ 200,00	R\$ 200,00
10	Amortecedor Parker Mc4550m3 42,0 35x195mm	2	R\$ 350,00	R\$ 700,00
Total:				R\$ 74.329,47

Fonte: Autoria própria (2022).

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho evidenciou-se que a automação industrial facilita a execução de processos repetitivos, além de aumentar a quantidade e qualidade da produção. Além disto, pesquisas apontam que o mercado mundial de sistemas de controle e automação possui uma forte tendência de crescimento pelos próximos anos. Por sua vez, estudos do IBGE destacam um crescimento constante da procura por soluções em controle e automação nos polos industriais na região norte do Paraná.

Neste sentido, a solução apresentada neste trabalho de conclusão de curso é automatizar uma linha de produção composta por etapas de envase, paletização e estoque em uma fábrica fictícia, por meio da programação de um CLP, IHM e supervisório Web.

Uma vez implementado a automação na fábrica, ela terá uma melhor organização dos produtos, um controle no nível do tanque para ter um menor desperdício de matéria prima, uma quantidade menor de trabalhadores principalmente no estoque, uma melhor rastreabilidade dos produtos, uma menor quantidade de trabalhadores com LER causada principalmente por carregamento de peso e trabalhos repetitivos.

Além disto, considera-se a necessidade de efetuar o controle PI do nível do tanque de envase. A proposta de um controlador corresponde a um PI embarcado no CLP, com os ganhos propostos k_P e T_I , os sistemas ficarão estáveis e alcançarão erros em tempo permanente próximos de zero.

REFERÊNCIAS

- AGRAWAL, M. *et al.* **COVID-19: Um ponto de inflexão para a Indústria 4.0.** Singapura: Mckinsey & Company, 2020. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/covid-19-an-inflection-point-for-industry-40/pt-br>. Acesso em: 25 out. 2021.
- ALBUQUERQUE, P. H. M. *et al.* **TD 2457 - Na era das Máquinas, o Emprego é de Quem?:** Estimção da Probabilidade de Automação de Ocupações no Brasil. Rio de Janeiro: IPEA, 2019. 40 p. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=34650&Itemid=444. Acesso em: 27 nov. 2021.
- ALTUS. **Manual de Programação IEC 61131.** 2018. Disponível em: <https://www.altus.com.br/suporte/download/baixararquivo/BQED/2>. Acesso em: 24 out. 2021.
- ALTUS. **Manual de Utilização MasterTool IEC XE MT8500.** 2018. Disponível em: <https://www.altus.com.br/suporte/download/baixararquivo/BQED/2>. Acesso em: 24 out. 2021.
- ANDRADE, R. B. d. **Relações trabalhistas no contexto da indústria 4.0.** Brasília: CNI, 2017. 76 p. Disponível em: https://conexaotrabalho.portaldaindustria.com.br/media/publication/files/Relacoes_trabalhistas_web.pdf. Acesso em: 25 out. 2021.
- GARCIA, C. **Controle de processos industriais: Estratégias convencionais.** 1ª. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2017.
- GRAND VIEW RESEARCH. **Industrial Automation And Control Systems Market Report, 2028.** San Francisco: Grand View Research, 2021. 130 p. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/industrial-automation-market>. Acesso em: 26 ago. 2021.
- LAMB, F. **Automação Industrial na Prática: Série Tekne.** Porto Alegre: Grupo A, 2015.
- NUNES, W. R. B. M. **Notas de aulas da disciplina Tópicos Especiais em Automação Industrial.** Apucarana: UTFPR/COELT-AP, 2021.
- OGATA, K. **Engenharia de controle moderno.** 5ª. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.
- PORTAL DA INDÚSTRIA. **Indústria 4.0: o que é, conceitos, fundamentos e seus impactos.** Brasília: CNI, 2019. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/industria-4-0/>. Acesso em: 27 out. 2021.
- PRUDENTE, F. **Automação Industrial PLC: Teoria e aplicações.** 2ª. ed. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2011.
- REALGAMES. **Stations - Factory I/O - Documentation.** Portugal: Realgames, 2021. Disponível em: <https://docs.factoryio.com/manual/parts/stations/#palletizer>. Acesso em: 20 set. 2021.
- SIEMENS. **Entenda tudo sobre automação industrial | Indústria: Tendências, Oportunidades e Soluções | Siemens.** São Paulo: Siemens Brasil. Disponível em: <https://new.siemens.com/br/pt/empresa/stories/industria/entenda-tudo-sobre-automacao-industrial.html>. Acesso em: 24 out. 2021.

SILVA, C. M. C. **TC - 027.101/2020-7 MBC - Transformação digital Governo Federal:** Levantamento de auditoria. Brasília: TCU, 2020. 70 p. Disponível em: https://portal.tcu.gov.br/data/files/73/B4/EF/8F/2BFC9710FC66CE87E18818A8/027.101-2020-7-MBC%20-%20transformacao%20digital_Governo%20Federal_SistemaS.pdf. Acesso em: 25 out. 2021.

SOUZA, R. **Empresa de automação avança para o interior do Paraná com a oferta de soluções para a indústria.** São Paulo: Empresas & Negócios, 2021. Disponível em: <https://jornalempresasenegocios.com.br/agronews/empresa-de-automacao-avanca-para-o-interior-do-parana-com-a-oferta-de-solucoes-para-a-industria/>. Acesso em: 21 nov. 2021.

TANENBAUM, A. S. **Redes de computadores.** 4ª. ed. São Paulo: Pearson Educação, 2003.

VASCONCELOS, G. **A relevância da Indústria 4.0 durante a pandemia.** São Paulo: Nube - Núcleo Brasileiro de Estágios LTDA, 2020. Disponível em: <https://www.nube.com.br/blog/2020/09/08/a-relevancia-da-industria-4-0-durante-a-pandemia>. Acesso em: 24 out. 2021.

VINCE SOLUÇÕES. **O que é OEE?** Disponível em: <https://www.oee.com.br/o-que-e-oee/>. Acesso em: 09 mar. 2022.

WERT AMBIENTAL. **Indústria 4.0 - O que é e como ela deve afetar nossas vidas.** São Paulo: Wert Ambiental, 2019. Disponível em: https://wertambiental.com.br/2019/01/15/industria_4-0/. Acesso em: 13 nov. 2021.

**ANEXO A – Orçamento dos equipamentos para automatizar o processo
de paletização**



PID BRASIL AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL EIRELI

AV ARTHUR THOMAS, N 902 - CEP: 86065000 - LONDRINA - PR
 JARDIM BANDEIRANTES
 Fone: 4333482908
 CNPJ: 10.928.266/0001-52 Insc.Est.90485209-09

ORÇAMENTO Nº. **21132**

09/11/2022

Validade: Validade: 10 DIAS

Empresa: UNIVERSIDADE TECNOLOGIA FEDERAL DO PARAN
CNPJ: 75.101.873/0010-80 I.E: ISENT0
Contato: MARAISA
Endereço: MARCILIO DIAS 635
Cidade/UF: APUCARANA-PR
Fone/Fax: 4331621253
E-mail: maraisalm@hotmail.com

ITEM	CODIGO	IMG	DESCRIÇÃO DO PRODUTO	QNTD	NCM	VALOR UNIT	UNIT C/ DESC	ENTREGA (DIAS ÚTEIS)	TOTAL
1	MIT 009494		INVERSOR DE FREQUENCIA FR -E800, 17,5A, 3,7KW, 200 A 240V TRIFASICO, ETHERNET, PADRAO EPA 60HZ, PROTECAO 3C2	1,00	85044050	R\$ 4.127,95	----		R\$ 4.127,95
2	PEP 003149		OBR1000-R3-E2	10,00	85437099	R\$ 1.213,08	----		R\$ 12.130,80
3	PEP 002861		CCN15-30GS60-E2-V1	4,00	85437099	R\$ 1.003,73	----		R\$ 4.014,92
4	MIT 001701		INVERSOR DE FREQUÊNCIA FR -A800, POTÊNCIA 3,7KW, TENSÃO 220V TRIFÁSICO, PADRÃO FM, PORTA DE COMUNICAÇÃO ETHERNET	1,00	85044050	R\$ 7.173,99	----		R\$ 7.173,99
5	ASC 006746		CILINDRO COMPACTO SSI-DA -012-0025-4-02-2-000-000-00	2,00	84123110	R\$ 1.115,12	----		R\$ 2.230,24
6	ASC 006747		CILINDRO COM HASTE - SERIE GPC - DIA. 32 X 25MM	1,00	84123110	R\$ 14.099,42	----		R\$ 14.099,42
7	ASC 006748		CILINDRO COM HASTE SERIE PRA-DA-040-0500	1,00	84123110	R\$ 4.242,68	----		R\$ 4.242,68
8	ASC 006688		VALVULA PILOTO SOLENOIDE CD07-5/3CC-G014-024DC	4,00	84812090	R\$ 4.897,32	----		R\$ 19.589,28
9	ASC 004724		VALVULA SOLENOIDE: SC8262C080E 24/DC	1,00	84818092	R\$ 2.316,60	----		R\$ 2.316,60

(1) PID BRASIL AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL EIRELI - Fone: (43) 3348-2908 - CDSFIVE - Gestão Comercial 1.2.13.18

Empresa enquadrada no Simples Nacional conforme Lei Complementar 123 de 14/12/2006
 Outrossim, quero nesta oportunidade, agradecer a lembrança de nossa empresa para a consulta em questão, ficando a seu dispor para quaisquer esclarecimentos que se fizerem necessários, agradecemos a atenção, sem mais para o momento



PID BRASIL AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL EIRELI

AV ARTHUR THOMAS, N 902 - CEP: 86065000 - LONDRINA - PR
 JARDIM BANDEIRANTES
 Fone: 4333482908
 CNPJ: 10.928.266/0001-52 Insc. Est. 90485209-09

ORÇAMENTO Nº. **21132**

09/11/2022

Validade: Validade: 10 DIAS

Empresa: UNIVERSIDADE TECNOLOGIA FEDERAL DO PARAN
CNPJ: 75.101.873/0010-80 I.E: ISENTO
Contato: MARAISA
Endereço: MARCILIO DIAS 635
Cidade/UF: APUCARANA-PR
Fone/Fax: 4331621253
E-mail: maraisalm@hotmail.com

10	ASC 004468		VALVULA SOLENOIDE: SC8210C087 24/DC	1,00	84818092	R\$ 4.038,34	----		R\$ 4.038,34
11	PEP 003669		V1-8/16A-E2-5M-PUR	1,00	85444200	R\$ 1.942,75	----		R\$ 1.942,75
12	MIT 009512		CARTAO DE EXPANSAO PARA INVERSOR FR-E800 PARA CONEXAO DE ENCODER INCREMENTAL E KIT DE ADAPTACAO, PROTECAO 3C2	1,00	85049040	R\$ 1.260,76	----		R\$ 1.260,76
13	NOV 000288		RELÉ DE INTERFACE NIO-1R -24VAD	6,00	85364900	R\$ 195,76	----		R\$ 1.174,56
14	NOV 000692		FONTE NOVUS EDA 20A - ENTRADA 100-240VCA SAÍDA 24VCC DE 480W	1,00	85044029	R\$ 2.858,59	----		R\$ 2.858,59
15	PEP 006193		ICRL-U-8RJ45-DIN-NT - SWITCH INDUSTRIAL 8P	2,00	85176294	R\$ 4.800,60	----		R\$ 9.601,20
16	NOV 000708		DIGIRAIL CONNECT DMIX 8ED / 8SD ETH	2,00	85389010	R\$ 2.123,94	----		R\$ 4.247,88
17	NOV 000074		N1040I-RA USB RS485 - ENTRADA UNIV., 1 RELÉ + 4 -20MA + RS485	2,00	90328989	R\$ 1.293,45	----		R\$ 2.586,90

(1) PID BRASIL AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL EIRELI - Fone: (43) 3348-2908 - CDSFIVE - Gestão Comercial 1.2.13.18

Empresa enquadrada no Simples Nacional conforme Lei Complementar 123 de 14/12/2006
 Outrossim, quero nesta oportunidade, agradecer a lembrança de nossa empresa para a consulta em questão, ficando a seu dispor
 para quaisquer esclarecimentos que se fizerem necessários, agradecemos a atenção, sem mais para o momento

**PID BRASIL AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL EIRELI**

AV ARTHUR THOMAS, N 902 - CEP: 86065000 - LONDRINA - PR
JARDIM BANDEIRANTES
Fone: 4333482908
CNPJ: 10.928.266/0001-52 Insc.Est.90485209-09

ORÇAMENTO Nº. **21132**

09/11/2022

Validade: Validade: 10 DIAS

Empresa: UNIVERSIDADE TECNOLOGIA FEDERAL DO PARAN
CNPJ: 75.101.873/0010-80 I.E: ISENT0
Contato: MARAISA
Endereço: MARCILIO DIAS 635
Cidade/UF: APUCARANA-PR
Fone/Fax: 4331621253
E-mail: maraisalm@hotmail.com

Vendedor: VITORIA HONORATO FONSECA

Condição de Pagamento: 28

Transportadora:

Obs.: Frete FOB
Boleto Bancário

Total Produto R\$ 97.636,86

Total Frete R\$ 0,00

Total Desconto R\$ 0,00

Total IPI R\$

Total S.T. R\$ 0,00

Total da Venda R\$	97.636,86
--------------------------	-----------

Vendedor

Cliente

CONDIÇÕES COMERCIAIS

CONFIRMAÇÃO DO PEDIDO SÓ SERÁ ACEITA SE: Feita por escrito. (Fax, e-mail ou carta) onde deverá ser informado a Transportadora com telefone de contato, sem o que não será considerado aceito o pedido;

FATURAMENTO MÍNIMO: R\$ 250,00, sujeito a aprovação ou renovação do crédito com o departamento financeiro da PID BRASIL, e para vendas inferiores, o pagamento deverá ser a vista;

***A VISTA** - Com depósito antecipado. Emissão da NF e a mercadoria somente serão liberadas após a efetivação do depósito através de consulta interna;

FRETE: Por conta do cliente. *É favor informar transportadora e telefone para contato;*

IMPORTANTE: Caso ocorram ações governamentais e/ou alterações legais que impliquem em alterações de custos, as condições de fornecimento estarão sujeitas a revisão até a data efetiva da entrega;

PRODUTOS COMERCIALIZADOS: Controladores de temperatura e de processos, transmissores de pressão, indicadores, transmissores de temperatura e umidade, relés de estado sólido, termostatos digitais, sistemas de supervisão, inversores de frequência, CLP's, IHM's, soft-start, servomotores, motores, sensores (indutivos, capacitivos e ópticos), Motores de passo, encoders, termorresistências, termopares, transmissores e fontes de alimentação, interface relé e confecção de etiquetas em acrílico

(1) PID BRASIL AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL EIRELI - Fone: (43) 3348-2908 - CDSFIVE - Gestão Comercial 1.2.13.18

Empresa enquadrada no Simples Nacional conforme Lei Complementar 123 de 14/12/2006
Outrossim, quero nesta oportunidade, agradecer a lembrança de nossa empresa para a consulta em questão, ficando a seu dispor para quaisquer esclarecimentos que se fizerem necessários, agradecemos a atenção, sem mais para o momento

ANEXO B – Orçamento dos equipamentos para automatizar o controle de nível e o processo de envase



PID BRASIL AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL EIRELI

AV ARTHUR THOMAS, N 902 - CEP: 86065000 - LONDRINA - PR
 JARDIM BANDEIRANTES
 Fone: 4333482908
 CNPJ: 10.928.266/0001-52 Insc. Est. 90485209-09

ORÇAMENTO Nº. **21160**

11/11/2022

Validade: Validade: 10 DIAS

Empresa: UNIVERSIDADE TECNOLOGIA FEDERAL DO PARAN
CNPJ: 75.101.873/0010-80 I.E: ISENT0
Contato: MARAISA
Endereço: MARCILIO DIAS 635
Cidade/UF: APUCARANA-PR
Fone/Fax: 4331621253
E-mail: maraisalm@hotmail.com

ITEM	CODIGO	IMG	DESCRIÇÃO DO PRODUTO	QNTD	NCM	VALOR UNIT	UNIT C/ DESC	ENTREGA (DIAS ÚTEIS)	TOTAL
1	MIT 002363		INVERSOR DE FREQUÊNCIA FR-F800, 22KW, 220V TRIFÁSICO, PADRÃO FM, ETHERNET.	1,00	85044050	R\$ 14.730,51	----		R\$ 14.730,51
2	ASC 004689		VALVULA SOLENOIDE: SC8262C001 24/DC	1,00	84818092	R\$ 2.411,10	----		R\$ 2.411,10
3	ASC 004782		VALVULA SOLENOIDE: SC8262D019 24/DC	1,00	84818092	R\$ 1.197,85	----		R\$ 1.197,85
4	NOV 000288		RELÉ DE INTERFACE NIO-1R -24VAD	1,00	85364900	R\$ 195,76	----		R\$ 195,76
5	NOV 000745		TRANSMISSOR DE NÍVEL WL420 -4M-L10	1,00	90261029	R\$ 1.853,97	----		R\$ 1.853,97
6	ASC 006749		VALVULA MOTORIZADA SERIE E290 - 3/4 NPT - 24DC	1,00	84818099	R\$ 15.987,42	----		R\$ 15.987,42

(1) PID BRASIL AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL EIRELI - Fone: (43) 3348-2908 - CDSFIVE - Gestão Comercial 1.2.13.18

Empresa enquadrada no Simples Nacional conforme Lei Complementar 123 de 14/12/2006
 Outrossim, quero nesta oportunidade, agradecer a lembrança de nossa empresa para a consulta em questão, ficando a seu dispor para quaisquer esclarecimentos que se fizerem necessários, agradecemos a atenção, sem mais para o momento

**PID BRASIL AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL EIRELI**

AV ARTHUR THOMAS, N 902 - CEP: 86065000 - LONDRINA - PR
JARDIM BANDEIRANTES
Fone: 4333482908
CNPJ: 10.928.266/0001-52 Insc.Est.90485209-09

ORÇAMENTO Nº. **21160**

11/11/2022

Validade: Validade: 10 DIAS

Empresa: UNIVERSIDADE TECNOLOGIA FEDERAL DO PARAN
CNPJ: 75.101.873/0010-80 I.E: ISENT0
Contato: MARAISA
Endereço: MARCILIO DIAS 635
Cidade/UF: APUCARANA-PR
Fone/Fax: 4331621253
E-mail: maraisalm@hotmail.com

Vendedor: VITORIA HONORATO FONSECA

Condição de Pagamento: 28

Transportadora:

Obs.: Frete FOB
Boleto Bancário

Total Produto R\$ 36.376,61

Total Frete R\$ 0,00

Total Desconto R\$ 0,00

Total IPI R\$

Total S.T. R\$ 0,00

Total da Venda R\$	36.376,61
--------------------------	-----------

Vendedor

Cliente

CONDIÇÕES COMERCIAIS

CONFIRMAÇÃO DO PEDIDO SÓ SERÁ ACEITA SE: Feita por escrito. (Fax, e-mail ou carta) onde deverá ser informado a Transportadora com telefone de contato, sem o que não será considerado aceito o pedido;

FATURAMENTO MÍNIMO: R\$ 250,00, sujeito a aprovação ou renovação do crédito com o departamento financeiro da PID BRASIL, e para vendas inferiores, o pagamento deverá ser a vista;

***A VISTA** - Com depósito antecipado. Emissão da NF e a mercadoria somente serão liberadas após a efetivação do depósito através de consulta interna;

FRETE: Por conta do cliente. *É favor informar transportadora e telefone para contato;*

IMPORTANTE: Caso ocorram ações governamentais e/ou alterações legais que impliquem em alterações de custos, as condições de fornecimento estarão sujeitas a revisão até a data efetiva da entrega;

PRODUTOS COMERCIALIZADOS: Controladores de temperatura e de processos, transmissores de pressão, indicadores, transmissores de temperatura e umidade, relés de estado sólido, termostatos digitais, sistemas de supervisão, inversores de frequência, CLP's, IHM's, soft-start, servomotores, motores, sensores (indutivos, capacitivos e ópticos), Motores de passo, encoders, termorresistências, termopares, transmissores e fontes de alimentação, interface relé e confecção de etiquetas em acrílico

(1) PID BRASIL AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL EIRELI - Fone: (43) 3348-2908 - CDSFIVE - Gestão Comercial 1.2.13.18

Empresa enquadrada no Simples Nacional conforme Lei Complementar 123 de 14/12/2006
Outrossim, quero nesta oportunidade, agradecer a lembrança de nossa empresa para a consulta em questão, ficando a seu dispor para quaisquer esclarecimentos que se fizerem necessários, agradecemos a atenção, sem mais para o momento

**ANEXO C – Orçamento dos equipamentos para a automação do setor de
estoque**

Soluções completas para o crescimento da sua empresa

NOVUS

EMERSON

EMERSON

EMERSON

EMERSON

EMERSON

PID BRASIL

PID BRASIL AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL EIRELI

AV ARTHUR THOMAS, N 902 - CEP: 86065000 - LONDRINA - PR

JARDIM BANDEIRANTES

Fone: 4333482908

CNPJ: 10.928.266/0001-52 Insc. Est. 90485209-09

ORÇAMENTO Nº. **21161**

11/11/2022

Validade: Validade: 10 DIAS

Empresa: UNIVERSIDADE TECNOLOGIA FEDERAL DO PARAN

CNPJ: 75.101.873/0010-80 I.E: ISENTO

Contato: MARAISA

Endereço: MARCILIO DIAS 635

Cidade/UF: APUCARANA-PR

Fone/Fax: 4331621253

E-mail: maraisalm@hotmail.com

ITEM	CODIGO	IMG	DESCRIÇÃO DO PRODUTO	QNTD	NCM	VALOR UNIT	UNIT C/ DESC	ENTREGA (DIAS ÚTEIS)	TOTAL
1	NOV 000288		RELÉ DE INTERFACE NIO-1R-24VAD	12,00	85364900	R\$ 195,76	----		R\$ 2.349,12
2	PEP 005652		UB6000-F42-I-V15	2,00	90318099	R\$ 16.136,27	----		R\$ 32.272,54
3	ASC 006688		VALVULA PILOTO SOLENOIDE CD07-5/3CC-G014-024DC	6,00	84812090	R\$ 4.897,32	----		R\$ 29.383,92
4	ASC 006751		SENSOR ST4-R3-K03U-030	18,00	85365090	R\$ 944,79	----		R\$ 17.006,22
5	MIT 004864		SERVOAMPLIFICADOR MR-JE; CC-LINK BASIC; 200W; 200VCA	1,00	85044050	R\$ 5.443,96	----		R\$ 5.443,96
6	MIT 004860		SERVOAMPLIFICADOR MR-JE; CC-LINK BASIC; 2000W; 200VCA	1,00	85044050	R\$ 12.157,16	----		R\$ 12.157,16
7	MIT 003967		SERVOMOTOR MR-JE DE BAIXA INERCIA; 200W; 200VCA; 0,64NM; 3000RPM; C/ FREIO; C/ RETENTOR DE OLEO	1,00	85015190	R\$ 7.712,87	----		R\$ 7.712,87
8	MIT 004076		SERVOMOTOR MR-JE DE MEDIA INERCIA; 2000W; 200VCA; 9,55NM; 2000RPM; C/ RETENTOR DE OLEO	1,00	85015190	R\$ 11.843,69	----		R\$ 11.843,69
9	MIT 004917		RESISTOR DE FRENAGEM; 30W; 200V	1,00	85332900	R\$ 1.023,22	----		R\$ 1.023,22

(1) PID BRASIL AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL EIRELI - Fone: (43) 3348-2908 - CDSFIVE - Gestão Comercial 1.2.13.20

Empresa enquadrada no Simples Nacional conforme Lei Complementar 123 de 14/12/2006

Outrossim, quero nesta oportunidade, agradecer a lembrança de nossa empresa para a consulta em questão, ficando a seu dispor para quaisquer esclarecimentos que se fizerem necessários, agradecemos a atenção, sem mais para o momento

PID BRASIL AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL EIRELI

AV ARTHUR THOMAS, N 902 - CEP: 86065000 - LONDRINA - PR

JARDIM BANDEIRANTES

Fone: 4333482908

CNPJ: 10.928.266/0001-52 Insc. Est. 90485209-09

ORÇAMENTO Nº. **21161**

11/11/2022

Validade: Validade: 10 DIAS

Soluções completas para o crescimento da sua empresa

NOVUS

MITSUBISHI

OMRON

EMERSON

Delta

Sociedade

PID BRASIL

Empresa: UNIVERSIDADE TECNOLOGIA FEDERAL DO PARANÁ**CNPJ:** 75.101.873/0010-80 I.E: ISENTO**Contato:** MARAISA**Endereço:** MARCILIO DIAS 635**Cidade/UF:** APUCARANA-PR**Fone/Fax:** 4331621253**E-mail:** maraisalm@hotmail.com

10	MIT 004929		RESISTOR DE FRENAGEM; 500W; 200V	1,00	85332900	R\$ 3.380,02	----		R\$ 3.380,02
11	MIT 004694		CABO C/ CONECTOR P/ FEEDBACK; 300MM; CONEXAO EM DIRECAO DO EIXO; FLEXIBILIDADE PADRAO	1,00	85444200	R\$ 306,87	----		R\$ 306,87
12	MIT 004454		CABO C/ CONECTOR P/ FEEDBACK; 20M; ALTA FLEXIBILIDADE	1,00	85444200	R\$ 3.281,40	----		R\$ 3.281,40
13	MIT 004683		CABO C/ CONECTOR P/ FEEDBACK; 20M; FLEXIBILIDADE ALTA	1,00	85444200	R\$ 2.751,48	----		R\$ 2.751,48
14	MIT 004902		CABO C/ CONECTOR DE ALIMENTACAO DE POTENCIA P/ SERVOMOTOR C/ 10M; CONEXAO EM DIRECAO DO EIXO ; FLEXIBILIDADE ALTA	1,00	85444200	R\$ 2.325,85	----		R\$ 2.325,85
15	MIT 004901		CONECTOR P/ ALIMENTACAO DE POTENCIA DE SERVOMOTOR	1,00	85366910	R\$ 1.047,73	----		R\$ 1.047,73
16	MIT 009497		CABO COM CONECTOR P/ FREIO MR-J3, DIR. DO EIXO IP65, 10M	1,00	85444200	R\$ 2.090,79	----		R\$ 2.090,79
17	MIT 004408		SUPORTE DE BATERIA C/ CELULA DE LÍTIO, 6VDC	2,00	85065010	R\$ 1.180,62	----		R\$ 2.361,24
18	MIT 002877		CLP FX5U, COMPACTO, ALIMENTACAO 24VCC, 16 ENTR. 24V (PNP/NPN), 16 SAIDAS TRANSISTOR NPN, CONECTOR TIPO MOLA	1,00	85371020	R\$ 5.517,32	----		R\$ 5.517,32

(1) PID BRASIL AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL EIRELI - Fone: (43) 3348-2908 - CDSFIVE - Gestão Comercial 1.2.13.20

Empresa enquadrada no Simples Nacional conforme Lei Complementar 123 de 14/12/2006

Outrossim, quero nesta oportunidade, agradecer a lembrança de nossa empresa para a consulta em questão, ficando a seu dispor para quaisquer esclarecimentos que se fizerem necessários, agradecemos a atenção, sem mais para o momento



PID BRASIL AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL EIRELI

AV ARTHUR THOMAS, N 902 - CEP: 86065000 - LONDRINA - PR
 JARDIM BANDEIRANTES
 Fone: 4333482908
 CNPJ: 10.928.266/0001-52 Insc. Est. 90485209-09

ORÇAMENTO Nº. **21161**

11/11/2022

Validade: Validade: 10 DIAS

Empresa: UNIVERSIDADE TECNOLOGIA FEDERAL DO PARAN
CNPJ: 75.101.873/0010-80 I.E: ISENT0
Contato: MARAISA
Endereço: MARCILIO DIAS 635
Cidade/UF: APUCARANA-PR
Fone/Fax: 4331621253
E-mail: maraisalm@hotmail.com

19	MIT 002847		CLP FX5 MOD EXP. 32 ENTRADAS PNP/NPN 24V, CONECTOR TIPO MOLA	1,00	85389090	R\$ 2.261,68	-----		R\$ 2.261,68
20	MIT 002830		CLP FX5, MOD ADP 4CH SAIDAS ANALOGICAS (V/I)	1,00	85389090	R\$ 3.912,08	-----		R\$ 3.912,08
21	NOV 000681		FONTE NOVUS EDA 10A - ENTRADA 100-240VAC SAIDA 24VCC 240W	1,00	85044029	R\$ 1.248,68	-----		R\$ 1.248,68
22	PEP 006193		ICRL-U-8RJ45-DIN-NT - SWITCH INDUSTRIAL 8P	2,00	85176294	R\$ 4.800,60	-----		R\$ 9.601,20

Vendedor: VITORIA HONORATO FONSECA

Condição de Pagamento: 28

Transportadora:

Obs.: Frete FOB
Boleto Bancário

Total Produto	R\$	159.279,04
Total Frete	R\$	0,00
Total Desconto	R\$	0,00
Total IPI	R\$	
Total S.T.	R\$	0,00
Total da Venda	R\$	159.279,04

Vendedor

Cliente



PID BRASIL AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL EIRELI

AV ARTHUR THOMAS, N 902 - CEP: 86065000 - LONDRINA - PR
JARDIM BANDEIRANTES
Fone: 4333482908
CNPJ: 10.928.266/0001-52 Insc.Est.90485209-09

ORÇAMENTO Nº. **21161**

11/11/2022

Validade: Validade: 10 DIAS

Empresa: UNIVERSIDADE TECNOLOGIA FEDERAL DO PARAN
CNPJ: 75.101.873/0010-80 I.E: ISENT0
Contato: MARAISA
Endereço: MARCILIO DIAS 635
Cidade/UF: APUCARANA-PR
Fone/Fax: 4331621253
E-mail: maraisalm@hotmail.com

CONDIÇÕES COMERCIAIS

CONFIRMAÇÃO DO PEDIDO SÓ SERÁ ACEITA SE: Feita por escrito. (Fax, e-mail ou carta) onde deverá ser informado a Transportadora com telefone de contato, sem o que não será considerado aceito o pedido;

FATURAMENTO MINIMO: R\$ 250,00, sujeito a aprovação ou renovação do crédito com o departamento financeiro da PID BRASIL, e para vendas inferiores, o pagamento deverá ser a vista;

***A VISTA** - Com depósito antecipado. Emissão da NF e a mercadoria somente serão liberadas após a efetivação do depósito através de consulta interna;

FRETE: Por conta do cliente. *É favor informar transportadora e telefone para contato;*

IMPORTANTE: Caso ocorram ações governamentais e/ou alterações legais que impliquem em alterações de custos, as condições de fornecimento estarão sujeitas a revisão até a data efetiva da entrega;

PRODUTOS COMERCIALIZADOS: Controladores de temperatura e de processos, transmissores de pressão, indicadores, transmissores de temperatura e umidade, relés de estado sólido, termostatos digitais, sistemas de supervisão, inversores de frequência, CLP's, IHM's, soft-start, servomotores, motores, sensores (indutivos, capacitivos e ópticos), Motores de passo, encoders, termorresistências, termopares, transmissores e fontes de alimentação, interface relé e confecção de etiquetas em acrílico

(1) PID BRASIL AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL EIRELI - Fone: (43) 3348-2908 - CDSFIVE - Gestão Comercial 1.2.13.20

Empresa enquadrada no Simples Nacional conforme Lei Complementar 123 de 14/12/2006
Outrossim, quero nesta oportunidade, agradecer a lembrança de nossa empresa para a consulta em questão, ficando a seu dispor para quaisquer esclarecimentos que se fizerem necessários, agradecemos a atenção, sem mais para o momento