

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES  
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
CÂMPUS DE ERECHIM  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**LUIS HENRIQUE PIGOZZO**

**PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DA AUTOMAÇÃO E CONTROLE DE UM  
EXTRATOR DE ÓLEO DE SOJA 2000 TONELADAS POR DIA POR MEIO DE CLP  
E SOFTWARE SUPERVISÓRIO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ERECHIM - RS  
2021**

**LUIS HENRIQUE PIGOZZO**

**PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DA AUTOMAÇÃO E CONTROLE DE UM  
EXTRATOR DE ÓLEO DE SOJA 2000 TONELADAS POR DIA POR MEIO DE CLP  
E SOFTWARE SUPERVISÓRIO**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Elétrica como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Elétrica,  
Departamento de Engenharias e Ciência da  
Computação da Universidade Regional  
Integrada do Alto Uruguai e das Missões –  
Câmpus de Erechim.**

**Orientador:** Prof. Adilson Luís Stankiewicz

**ERECHIM - RS  
2021**


**LUIS HENRIQUE PIGOZZO**

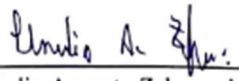
**PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DA AUTOMAÇÃO E CONTROLE DE UM  
EXTRATOR DE ÓLEO DE SOJA 2000 TONELADAS POR DIA POR MEIO DE CLP  
E SOFTWARE SUPERVISÓRIO**

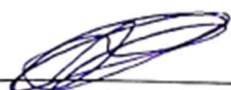
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Elétrica como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Elétrica,  
Departamento de Engenharias e Ciência da  
Computação da Universidade Regional  
Integrada do Alto Uruguai e das Missões –  
Câmpus de Erechim.

Erechim, 10 de dezembro de 2021.

**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Adilson Luis Stankiewicz (Orientador)  
URI Erechim

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Claudio Augusto Zakrzewski (Examinador)  
URI Erechim

  
\_\_\_\_\_  
Eng. Anderson José Balbino (Examinador)  
UFSC

## RESUMO

Na presente pesquisa de cunho exploratório estaremos avaliando as técnicas e procedimentos utilizados no controle de máquinas em empresas do ramo de extração de óleo de soja, mais precisamente em um extrator de óleo do tipo percolador, que usa do solvente Hexano para realizar o processo de extração. Para evidenciar a importância de serem aplicados os procedimentos e métodos de automação de maneira correta foi realizado a revisão bibliográfica referente a história e evolução dos CLP's, bem como a importância de uma programação efetiva no quesito segurança de operação, partida e parada da máquina. O presente projeto tem como objetivo a implementação da automação e do controle do extrator por meio da integração com a instrumentação da planta, passando pela programação do controlador, um CLP Allen Bradley CompactLogix 1769-L33ER, utilizando o software Rockwell Studio 5000 Logix Designer, e do desenvolvimento do supervisório abordando os conhecimentos em fluxogramas P&ID utilizando o software FactoryTalk View Studio, bem como a implementação do supervisório em uma estação de administração remota e em uma estação de operação local e também a implementação de controles PID's. As linguagens de programação a serem utilizadas serão a *ladder* e a de diagramas de blocos de funções fornecida pelo fabricante do CLP.

**Palavras-chave:** Automação e Controle. Extração de Óleo de Soja. CLP. Programação. Software Supervisório. Fluxograma. Rockwell. Studio 5000. FactoryTalk. PID.

## ABSTRACT

In this exploratory research, we will be evaluating the techniques and procedures used in the control of machines in companies in the soybean oil extraction sector, more precisely in a percolator type oil extractor, which uses Hexane solvent to carry out the extraction process. To highlight the importance of applying the automation procedures and methods correctly, a literature review was carried out regarding the history and evolution of the PLC's, as well as the importance of an effective programming in the item operating safety, startup and stopping of the machine. This project aims to implement automation and control of the extractor through integration with plant instrumentation, through controller programming, an Allen Bradley CompactLogix 1769-L33ER PLC, using Rockwell Studio 5000 Logix Designer software, and the supervisory development approaching the knowledge in P&ID flowcharts using FactoryTalk View Studio software, as well as the supervisory implementation in a remote administration station and in a local operator station and also the implementation of PID's controls. The programming languages to be used will be ladder and function block diagrams provided by the PLC manufacturer.

**Keywords:** Automation and Control. Soybean Oil Extraction. PLC. Programming. Supervisory Software. Flowchart. Rockwell. Studio 5000. FactoryTalk. PID.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Pirâmide da Automação .....	18
Figura 2 – Fluxograma de Blocos Projeto de Automação .....	19
Figura 3 – Diagrama de Blocos da UCP do CLP .....	22
Figura 4 – Módulo de Saída a Relé .....	23
Figura 5 – Módulo de Saída a Triac .....	23
Figura 6 – Módulo de Saída a Transistor .....	24
Figura 7 – Módulo de Entrada Digital .....	24
Figura 8 – Módulo de Entrada Analógica .....	25
Figura 9 – Módulo de Saída Analógica .....	25
Figura 10 – Conectores dos terminais de E/S na unidade remota e no CLP .....	26
Figura 11 – Transferência de dados de E/S no ciclo de processamento do CLP com remotas .....	27
Figura 12 – Sensor Indutivo .....	28
Figura 13 – Sensor ultrassônico .....	28
Figura 14 – Transmissor eletrônico de pressão do tipo capacitivo .....	29
Figura 15 – Produção Global de Óleo Vegetal .....	31
Figura 16 – Consumo Global de Óleos Vegetais .....	32
Figura 17 – Fluxograma simplificado do processo de extração .....	34
Figura 18 – Circuito intrinsecamente seguro .....	36
Figura 19 – Tabela referência norma ISA S 5.1 .....	41
Figura 20 – Fluxograma de Blocos do processo da Soja .....	42
Figura 21 – Fluxograma P&ID final do Extrator .....	43
Figura 22 – CLP CompactLogix 1769-L33ER .....	46
Figura 23 – Barreira de Entrada Analógica .....	48
Figura 24 – Barreira de Saída Analógica .....	48
Figura 25 – Barreira de Entrada Digital .....	49
Figura 26 – Barreira de Saída Digital .....	50
Figura 27 – Tabela de características dos Instrumentos .....	50
Figura 28 – Arquitetura de rede do servidor de Automação .....	52
Figura 29 – Identificação do CLP na arquitetura da rede de CLP's no servidor .....	53
Figura 30 – Comunicação CLP x Supervisório por meio do RS Linx .....	54
Figura 31 – Conjunto <i>faceplate</i> , objeto e bloco – <i>faceplate</i> motor .....	57
Figura 32 – Tela de Operação Principal em Desenvolvimento .....	58
Figura 33 – Indicador Multiestado .....	59
Figura 34 – <i>Faceplate</i> bloco de válvula ON/OFF .....	60
Figura 35 – <i>Faceplates</i> Entrada Analógica, Digital e Sensor de velocidade Baixa .....	61
Figura 36 – CLP central, Remota 02 e Cartões Digitais .....	62
Figura 37 – Remota 03, Cartões Analógicos e Barreiras Intrínsecas .....	63
Figura 38 – Configuração dos transmissores via configurador HART .....	64
Figura 39 – Bancada de Automação e Notebook .....	65
Figura 40 – Extrator em Testes de Simulação .....	66

Figura 41 – Extrator em Operação/Tela Final .....	67
Figura 42 – Estação de Administração Remota .....	68
Figura 43 – Estação de Operação Local .....	69
Figura 44 – Nível de Lâminas durante partida antes do PID.....	70
Figura 45 – Nível de Lâminas durante partida após o PID .....	71
Figura 46 – Operação do LIC-001 durante doze horas .....	72
Figura 47 – Nível de Hexano durante partida antes do PID.....	73
Figura 48 – Nível de Hexano durante partida após o PID.....	74
Figura 49 – Operação do LIC-002 durante doze horas .....	75
Figura 50 – Nível de Miscela durante partida antes do PID.....	76
Figura 51 – Nível de Miscela durante partida após o PID.....	77
Figura 52 – Operação do LIC-003 durante doze horas .....	78
Figura 53 – Pressão Interna do Extrator durante partida antes do PID .....	79
Figura 54 – Pressão Interna durante partida após o PID .....	80
Figura 55 – Operação do PIC-001 durante doze horas.....	81
Figura 56 – Tela Final do Extrator após PID's implementados .....	82
Figura 57 – Tela do Histórico de Alarmes .....	83
Figura 58 – LIC-0300-001 em trip Baixo-Baixo.....	84
Figura 59 – Desenvolvimento da relação Hexano x Soja da Planta.....	85
Figura 60 – Totalizador hexano FIT-0300-001 .....	85
Figura 61 – Totalizador Soja balança WIT-210 da Preparação de Grãos .....	86
Figura 62 – Faceplates Totalizadores e Relação Diária .....	86
Figura 63 – Respostas obtidas na determinação do ganho último.....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fatores de Qualidade da Matéria Prima.....	33
Tabela 2 – Custos da Planta.....	37
Tabela 3 – Empregabilidade da Planta .....	38
Tabela 4 – Lista de IO's Instrumentação.....	44
Tabela 5 – Lista de IO's Acionamentos .....	45
Tabela 6 – Levantamento Econômico do Projeto de Automação .....	51
Tabela 7 – Conversão valores de entrada analógica em unidades de engenharia .....	56
Tabela 8 – Sugestões de determinação de controle .....	40

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Prof.	Professor
CLP	Controlador Lógico Programável
IO's	Inputs & Outputs (Entradas e Saídas)
DI	Digital Input (Entrada Digital)
DO	Digital Output (Saída Digital)
AI	Analogic Input (Entrada Analógica)
AO	Analogic Output (Saída Analógica)
Faceplate	Interface visual de aquisição e operação de dados e variáveis
HMI	Human Machine Interface (Interface Homem Máquina - IHM)
P&ID	Piping and Instrumentation Diagram (Diagrama de tubulação e Instrumentação)
PID	Proporcional, Integral e Derivativo
Mainframe	Computação centralizada em computador de grande porte para armazenamento massivo de dados
SDCD	Sistema Digital de Controle Distribuído
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IEC	International Electrotechnical Commission
ISA	The Instrumentation, Systems and Automation Society
Tag	Identificação do elemento
DTSR	Dessolventizador Tostador
NAMUR	Normenausschuss Mess-und Regeltechnik (Comitê para padrões de medição e controle)
Flag	Contato auxiliar específico interno ao bloco
PCA	Painel de Controle e Automação
HART	Highway Addressable Remote Transducer (Via de Dados Endereçável por Transdutor Remoto)
CCM	Centro de Controle de Motores
Trip	Condição anormal de processo – ocasiona falhas
PV	Process Variable (Variável de Processo)

CV	Controlled Variable (Variável Controlada)
SP	Set-Point (ponto de ajuste)
Ku	Ganho Último
Pu	Período Último
Kc	Ganho Proporcional do Controlador
$\tau_i$	Tempo de Integração do Controlador
$\tau_d$	Tempo Derivativo do Controlador

## LISTA DE SÍMBOLOS

mA	Unidade de Corrente Elétrica – mili Ampéres
$\Omega$	Unidade de Resistência Elétrica - Ohms
Vcc	Tensão em Corrente Contínua
F.E.	Fundo de Escala
V.M.	Valor Medido
IxP	Elemento Conversor de Corrente para Pressão de Ar

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Objetivos .....</b>	<b>14</b>
1.1.1 Objetivo Geral .....	14
1.1.2 Objetivos Específicos .....	14
<b>1.2 Estrutura do Projeto .....</b>	<b>15</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Evolução Industrial, Momento da Indústria e Prospecções Futuras .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Automação .....</b>	<b>17</b>
2.2.1 Pirâmide da Automação Industrial .....	17
2.2.2 Projeto da Automação.....	19
<b>2.3 CLP.....</b>	<b>20</b>
2.3.1 Arquitetura .....	21
2.3.2 Fonte de Alimentação .....	21
2.3.3 UCP – Unidade Central de Processamento .....	21
2.3.4 Memória EPROM.....	22
2.3.5 Memória do Usuário.....	22
2.3.6 Memória de Dados.....	22
2.3.7 Memória-Imagem das Entradas e Saídas.....	22
2.3.8 Módulos de Entrada e Saída Digitais (DI/DO's).....	23
2.3.9 Módulos de Entrada e Saída Analógica (AI/AO's).....	24
2.3.10 Terminais Remotos de Entrada e Saída .....	25
2.3.11 Linguagem de Programação de Blocos de Função.....	27
<b>2.4 Sensores e Transmissores .....</b>	<b>28</b>
2.4.1 Sensor Indutivo .....	28
2.4.2 Sensores Ultrassônicos .....	28
2.4.3 Sensores de Temperatura Pt-100 .....	29
2.4.4 Transmissores de Pressão Capacitivos .....	29
2.4.5 Transmissores de Vazão Vórtex .....	30
<b>2.5 Software Supervisório.....</b>	<b>30</b>
2.5.1 História .....	30
2.5.2 Configuração.....	30
2.5.3 Telas de Operação.....	31
<b>2.6 Mercado, Relevância do Óleo de Soja e Extração.....</b>	<b>31</b>
2.6.1 Mercado .....	31
2.6.2 Propriedades do Óleo de Soja.....	33
2.6.3 Extração .....	33
2.6.3.1 Classificação da Área .....	35
2.6.4 Impacto Econômico .....	36
2.6.5 Impacto Social .....	37
<b>2.7 Teoria de Controle de Processos .....</b>	<b>38</b>
2.7.1 Objetivos do Controle de Processos .....	38
2.7.2 Sintonia dos Controladores PID's .....	39
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>41</b>
<b>3.1 Fluxograma P&amp;ID e Análise das variáveis .....</b>	<b>41</b>
<b>3.2 Base de Dados .....</b>	<b>44</b>
3.2.1 Hardware.....	44
<b>3.3 Materiais Utilizados .....</b>	<b>45</b>

3.3.1	Controlador .....	45
3.3.2	Cartões de IO .....	46
3.3.3	Barreiras Intrínsecas .....	47
3.3.4	Instrumentação.....	50
<b>3.4</b>	<b>Levantamento Econômico .....</b>	<b>51</b>
<b>3.5</b>	<b>Programação do CLP.....</b>	<b>52</b>
<b>3.6</b>	<b>Telas do Supervisório.....</b>	<b>54</b>
<b>3.7</b>	<b>Desenvolvimento e Aplicação dos Blocos de Controle PID .....</b>	<b>55</b>
<b>3.8</b>	<b>Desenvolvimento do Histórico de Alarmes .....</b>	<b>55</b>
<b>3.9</b>	<b>Desenvolvimento da Relação Hexano x Soja .....</b>	<b>55</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>56</b>
<b>4.1</b>	<b>Telas do Supervisório.....</b>	<b>57</b>
4.1.1	Telas de Operação.....	57
4.1.1.1	Tela Principal.....	57
4.1.1.2	Faceplates .....	59
4.1.2	Telas Gráficas .....	60
<b>4.2</b>	<b>Hardware .....</b>	<b>62</b>
4.2.1	Ampliação do CLP .....	62
4.2.2	Montagem das Barreiras Intrínsecas.....	62
4.2.3	Configuração dos Transmissores .....	63
<b>4.3</b>	<b>Testes .....</b>	<b>65</b>
4.3.1	Testes <i>Offline</i> .....	65
4.3.2	Testes <i>Online</i> .....	66
<b>4.4</b>	<b>Estações de Trabalho .....</b>	<b>68</b>
4.4.1	Estação de Administração Remota .....	68
4.4.2	Estação de Operação Local.....	69
<b>4.5</b>	<b>Aplicação dos Controles PID's.....</b>	<b>70</b>
4.5.1	Controle de Nível de Lâminas de Soja: LIC-0300-001 .....	70
4.5.2	Controle de Nível de Hexano: LIC-0300-002 .....	72
4.5.3	Controle de Nível de Miscela: LIC-0300-003 .....	75
4.5.4	Controle de Pressão e Vácuo: PIC-0300-001 .....	78
4.5.5	Tela Final do Extrator.....	82
<b>4.6</b>	<b>Histórico de Alarmes.....</b>	<b>83</b>
<b>4.7</b>	<b>Relação Hexano x Soja.....</b>	<b>84</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>88</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>89</b>
	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>91</b>
	<b>ANEXO.....</b>	<b>92</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Em plantas de extração com solvente, explosões de poeira e ferimentos pessoais causados por máquinas, quedas, queimaduras, asfixia e outras causas devem ser consideradas no desenvolvimento de uma programação efetiva na questão segurança (ERICKSON, 1995).

Um sistema supervisorio tem a capacidade de adquirir dados de vários hardwares distintos. A tarefa do sistema é integrar esses componentes, fazendo com que eles transformem-se em um único sistema de trabalho (PARK; MACKAY, 2003).

Estamos à beira de uma revolução tecnológica que alterará fundamentalmente a maneira como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos. Em sua escala, escopo e complexidade, a transformação será diferente de tudo que a humanidade já experimentou (SCHWAB, 2016).

Tendo em vista a otimização, confiabilidade e segurança nos processos de operação de máquinas de grande porte especificamente voltadas ao ramo de extração de óleo de soja, este estudo propõe a automação e o controle de um Extrator de óleo de soja do tipo percolador, que possui capacidade de extrair o óleo de duas mil toneladas de lâminas de soja por dia.

Para isso, estaremos desenvolvendo a integração da instrumentação da planta e dos drives de acionamentos de motores com um CLP, por meio de cartões de IO's digitais e analógicas, posteriormente sendo configurados para que estejam prontos para a aquisição de dados de variáveis dos instrumentos e equipamentos envolvidos no controle e supervisão do Extrator. Após isso, será feito o desenvolvimento do software supervisorio e dos *faceplates* necessários para a operação da planta. Por fim, será implementado o software supervisorio em uma HMI local, neste caso um computador, para a operação do processo.

## 1.1 Objetivos

Os objetivos do presente estudo foram divididos entre o objetivo geral e os objetivos específicos.

### 1.1.1 Objetivo Geral

- Implementação da Automação e Controle de um Extrator de Óleo de Soja.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Análise e desenvolvimento do controle e da automação de um Extrator de Óleo de Soja duas mil toneladas por dia.
- Montagem da Instrumentação da Máquina.

- Programação do CLP e Desenvolvimento do Software Supervisório.
- Implantação do Supervisório em uma estação de administração remota e em uma estação de operação local.
- Implantação dos controladores PID's, do histórico de alarmes e de uma relação hexano x soja bem como totalizadores de produção para controle gerencial.
- Operação totalmente automática do Extrator.

## 1.2 Estrutura do Projeto

A estrutura do projeto está baseada em cinco capítulos, sendo o primeiro deles a introdução do tema, aonde foi feita uma abordagem geral e explanação rápida referente aos procedimentos e métodos que foram utilizados no decorrer do projeto, além de apresentar a estrutura do mesmo.

No segundo capítulo, encontra-se a revisão bibliográfica, a qual foi utilizada com o objetivo de dar um suporte para que o tema proposto fosse desenvolvido de forma a vir de encontro com os as publicações, estudos, tecnologias e materiais profissionais envolvidos na área de aplicação do projeto. Neste capítulo também foram evidenciadas as características do mercado atual, do processo de extração de óleo de soja e suas particularidades, além de serem explanados os requisitos de especificação do produto processado na extração.

No capítulo seguinte, foram abordados os procedimentos e métodos que foram aplicados no decorrer do desenvolvimento do projeto, desde a interpretação do fluxograma P&ID para integrar a instrumentação da planta com o controlador, configuração e programação do CLP, desenvolvimento de blocos e *faceplates* necessários para a implantação do supervisório, testes *offline*, ajustes no supervisório e na programação, testes *online* no extrator, o desenvolvimento e a aplicação dos Controladores PID's, o desenvolvimento e implantação do Histórico de Alarmes e da Relação Hexano x Soja do Extrator.

Nos resultados e discussões foram abordados os resultados obtidos, e comparados com as condições iniciais de projeto, além da discussão frente a estes resultados visando possíveis melhorias.

No último capítulo, a conclusão, foram realizadas as considerações finais sobre os resultados obtidos perante as etapas de implantação do projeto.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem por objetivo a explanação de diferentes conceitos referentes ao tema proposto, como a evolução da indústria, em especial indústrias de processos de extração de óleo, assim como a evolução nos métodos de processamento de grãos. Além disto, serão abordadas as características e particularidades do processo de extração do óleo da soja e também as características dos CLP's, instrumentos de medição e software supervisor.

### 2.1 Evolução Industrial, Momento da Indústria e Prospecções Futuras

Conforme cita Allen (2006), como a história nos mostra, a primeira revolução industrial aconteceu em meados dos anos 1760 e estendeu-se até os anos 1840, tendo a Inglaterra como a sede destas grandes mudanças. A grande evolução na indústria neste período foi a aplicação da energia do vapor, com a queima do carvão vegetal, ao invés da energia proveniente da tração animal e energia hidráulica dos moinhos. Além disto, neste período encontra-se a invenção da primeira máquina de tecelagem mecanizada, em 1784.

Segundo Schwab (2016), a segunda revolução industrial é caracterizada como um passo muito importante para a evolução humana, pois trata-se da descoberta e utilização da energia elétrica, e foi no ano de 1879 que o empresário americano Thomas Edison inventou a eletricidade e sua primeira forma de utilização: a luz por meio de uma lâmpada incandescente. Durante a segunda revolução industrial também se iniciou o uso do petróleo em larga escala. Por consequência desta revolução, observou-se o início das linhas de montagem industriais, ampliando assim de forma considerável a produção em indústrias abatedouras nos Estados Unidos. A rápida adaptação dos norte-americanos nestas mudanças fez com que o país se desenvolvesse rapidamente e tornou-se assim uma potência mundial econômica e política.

A terceira revolução industrial costuma ser chamada de revolução digital ou do computador, pois foi impulsionada pelo desenvolvimento dos semicondutores, da computação em *mainframe* (década de 1960), da computação pessoal (décadas de 1970 e 1980) e da internet (década de 1990) (SCHWAB, 2016).

Este período ficou conhecido como o início da globalização, e foi acompanhada e impulsionada pela criação de acordos de livre comércio entre nações e blocos econômicos integrados (União Européia, NAFTA, MERCOSUL, etc.) e pela interligação dos mercados físicos e financeiros em escala planetária (GIANNETTI, 1996).

Chegando na quarta revolução industrial, também conhecida como Indústria 4.0: as tecnologias digitais, fundamentadas no computador, *software* e redes, não são novas, mas estão causando rupturas à terceira revolução industrial; estão se tornando mais sofisticadas e integradas e, conseqüentemente, transformando a sociedade e a economia global (SCHWAB, 2016).

Conforme cita Schwab (2016), atualmente estamos convivendo com o exponencial crescimento da China, fruto do plano do estado chinês chamado Made in China 2025, ou China Manufactured 2025, que visa a consolidação e expansão de sua indústria para que se torne uma

potência capaz de influenciar e impulsionar mercados globais de modo que esta evolução venha a coincidir com os fundamentos da Indústria 4.0. O objetivo principal do governo chinês está em reduzir a dependência tecnológica chinesa de mercados externos e com esta redução passar a criar tecnologia e posteriormente vendê-la, para que, deste modo, o país venha a ser uma potência econômica e política no curto prazo.

## 2.2 Automação

O termo automação foi criado na década de 1940 por um engenheiro da Ford Motor Company, que descreveu vários sistemas nos quais ações e controles automáticos substituíam o esforço e a inteligência humanos. Nessa época, os dispositivos de controle eram eletromecânicos por natureza. A parte lógica era realizada por meio de relés e temporizadores intertravados, e a intervenção humana acontecia em alguns pontos de decisão. Por meio de relés, temporizadores, botões, posicionadores mecânicos e sensores, podiam ser realizadas sequências simples de movimento lógico ao ligar e desligar motores e atuadores (LAMB, 2015).

Para Moraes e Castrucci (2010), a automação é um conceito de sistema baseado em computadores, que substitui ou diminui o trabalho humano em favor das pessoas e organizações, com benefícios em segurança, qualidade dos produtos, rapidez na produção e redução de custos.

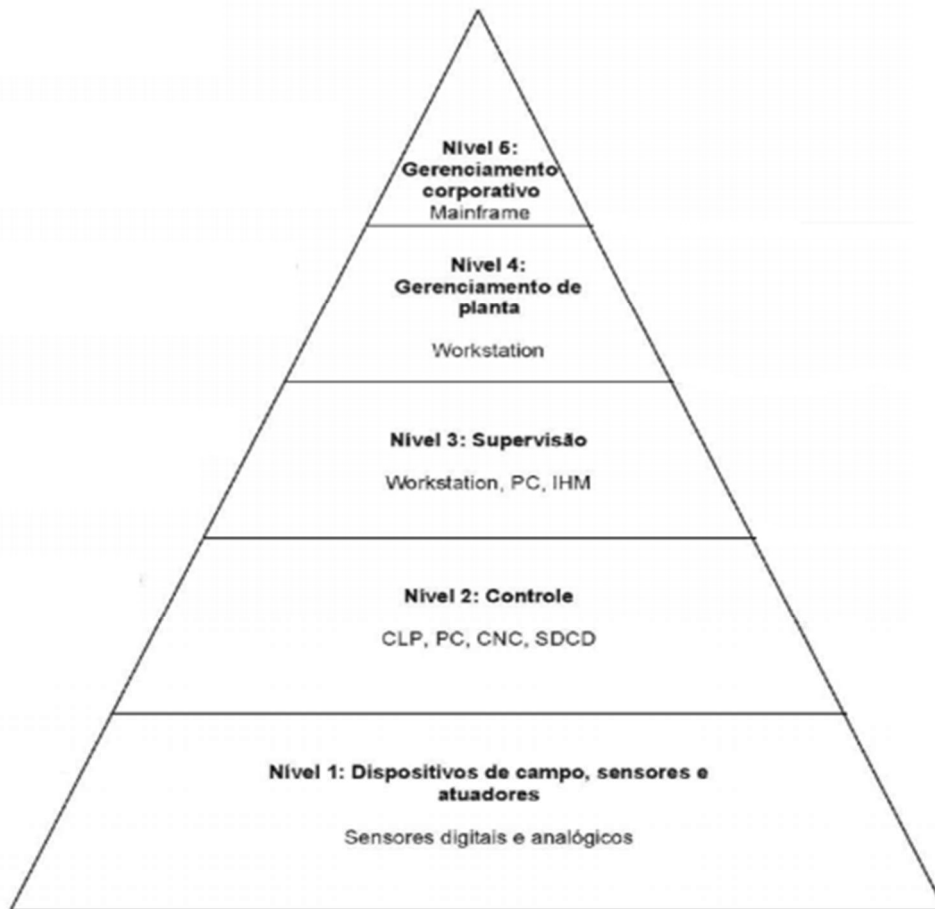
Segundo Lamb (2015), é possível dizer que os países que adotaram a automação desfrutaram de um padrão de vida mais elevado do que aqueles que não a adotaram. Ao mesmo tempo, há preocupação aos trabalhadores que perdem seus empregos devido a automação de suas tarefas. Além disso, a automação traz algumas vantagens, dentre elas:

- Executar tarefas pesadas e monótonas no lugar de operadores;
- Pode-se substituir operadores humanos que realizam trabalhos em ambientes perigosos, como em ambientes tóxicos e radioativos;
- Manuseio de peças grandes e pesadas, além de peças muito pequenas e sensíveis.

### 2.2.1 Pirâmide da Automação Industrial

Pelo conceito de Moraes e Castrucci (2010), a automação industrial exige a realização de muitas funções, para isso, é apresentado na figura 1 a pirâmide da automação.

Figura 1 – Pirâmide da Automação



Fonte: Moraes e Castrucci (2010).

A pirâmide da automação estabelece em seus níveis as diferentes etapas do controle do processo produtivo, desde sua base até o topo, seguindo uma ordem hierárquica:

**Nível 1:** dispositivos de campo, como sensores, instrumentos de medição e monitoramento, e atuadores, válvulas atuadas, motores e etc. O montante de informação é pequeno, no entanto a velocidade de processamento é alta (CAPELLI, 2013).

**Nível 2:** é o nível dos controladores, como CLP's e controladores lógicos. Aqui se encontram concentradores de informações do Nível 1 e as Interfaces Homem-Máquina (IHM) (MORAES e CASTRUCCI, 2010).

**Nível 3:** neste nível, ocorre a supervisão das máquinas e do processo, por meio da estação de trabalho, do computador e da IHM. Além disso, é responsável pelo controle geral de todo o processo produtivo (CAPELLI, 2013).

**Nível 4:** é onde ocorre a programação da produção, realizando o controle e a logística de estoques (MORAES e CASTRUCCI, 2010).

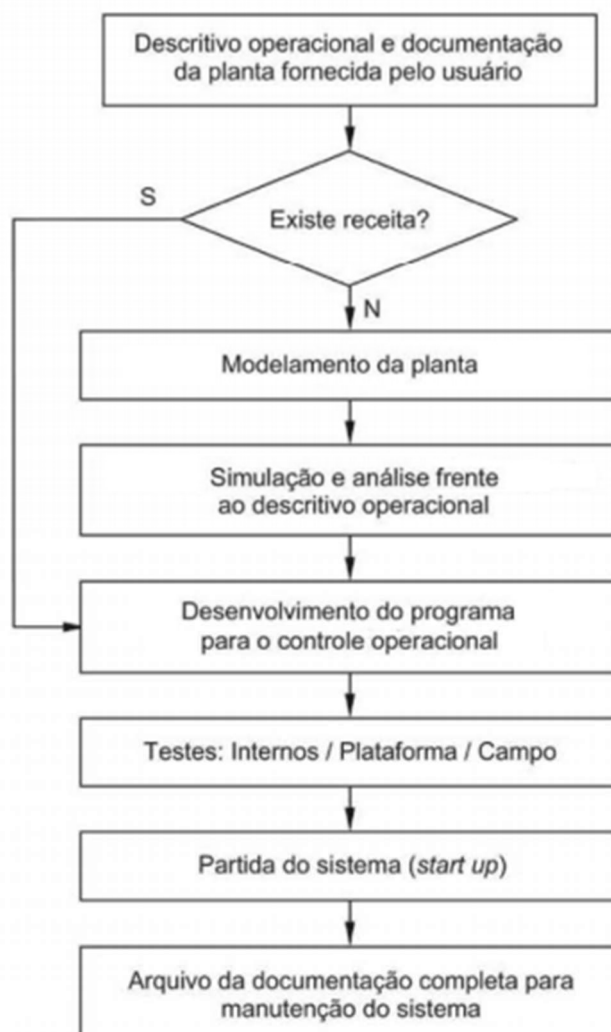
Nível 5: é o topo da pirâmide, onde ocorre a gestão estratégica da empresa. Os computadores trabalham no controle corporativo, desde a entrada de material até a gestão dos recursos (CAPELLI, 2013).

### 2.2.2 Projeto da Automação

Segundo Moraes e Castrucci (2010), existem dois tipos distintos de projeto de automação. No primeiro, o projetista recebe todas as ações a serem automatizadas e define os passos a serem seguidos. No segundo, o usuário somente define o resultado final, cabendo ao engenheiro projetista definir a lógica e sequência das ações.

Na figura abaixo, são descritas as etapas referentes ao processo do projeto da automação nas duas modalidades.

Figura 2 – Fluxograma de Blocos Projeto da Automação



Fonte: Adaptado de Moraes e Castrucci (2010).

Analisando a figura 2, segundo Moraes e Castrucci (2010), na primeira etapa do projeto podemos verificar que existe uma aplicação mais concentrada no levantamento de dados e na definição do modelo do processo operacional. Após isso, serão definidos os pontos a serem controlados e variáveis a serem medidas e manipuladas. Na última etapa será desenvolvido a programação do CLP e o software de supervisão.

### 2.3 CLP

Conforme Moraes e Castrucci (2010), foi no fim da década de 1960 que os circuitos integrados permitiram o desenvolvimento de minicomputadores que logo foram utilizados de forma *online* nos processos industriais. Em 1969, devido à uma necessidade da General Motors, surgiram os primeiros controladores, que atendiam as seguintes especificações:

- Fácil programação;
- Fácil manutenção com conceito *plug-in*;
- Alta confiabilidade para o uso industrial;
- Dimensões reduzidas se comparado aos painéis de relés;
- Envio de dados para processamento centralizado;
- Preço competitivo;
- Diversos níveis de tensão e corrente de sinais de entrada;
- Diversos níveis de tensão e corrente de sinais de saída;
- Expansão em módulos;
- Mínimo de 4000 palavras na memória.

Na década de 1970 os controladores passam a ter microprocessadores e a serem denominados Controladores Lógico Programáveis (CLP's). Na década de 1980, houve um aperfeiçoamento das funções de comunicação dos CLP's, sendo então utilizados em rede (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

Segundo cita Petruzella (2014), o CLP é um computador capaz de operar em ambientes severos que pode ser programado para executar funções específicas. Os CLP's apresentam diversos benefícios em um projeto, entre eles, a redução da fiação, facilidade de programação e instalação, controle em alta velocidade de processamento, compatibilidade de integração à rede, além de serem extremamente confiáveis.

Os CLP's são atualmente os dispositivos de controle de processos industriais mais utilizados e são considerados um sistema que opera em tempo real, onde a saída depende da entrada do sistema (PETRUZELLA, 2014).

Segundo Moraes e Castrucci (2010), a grande vantagem de utilizar sistemas que envolvam diretamente a informatização é a possibilidade da expansão utilizando recursos de fácil acesso. Assim sendo, os CLP's são de grande importância, pois tornam a automação industrial uma realidade presente em praticamente todos os lugares.

### 2.3.1 Arquitetura

Segundo Petruzella (2014), um CLP é composto basicamente de uma fonte de alimentação, uma unidade central de processamento (UCP), memórias dos tipos fixa e volátil, dispositivos de entrada e saída e de um terminal de programação, este último sendo um computador ou um dispositivo que permita acessar o programa por meio de um display e um teclado. O terminal de programação permite realizar diagnósticos, alterações *online*, programações, monitoramento, gravação e limpeza na memória do CLP.

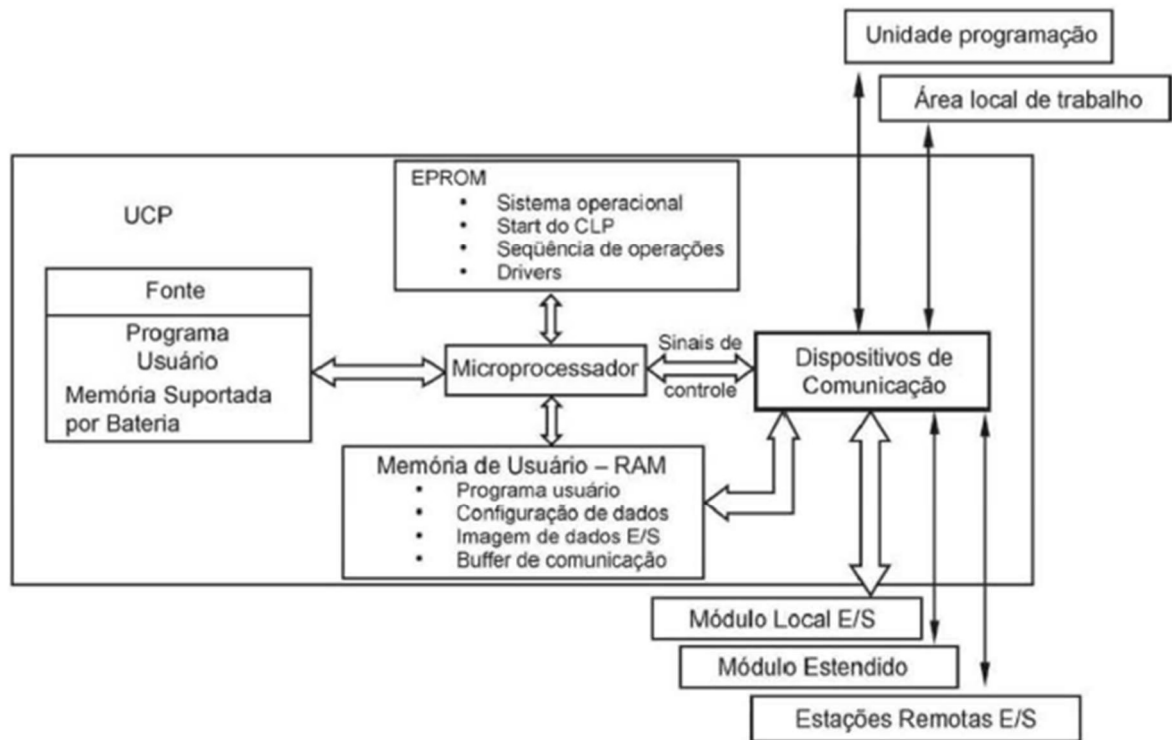
### 2.3.2 Fonte de Alimentação

A fonte de alimentação é responsável por converter corrente alternada em contínua e assim alimentar o CLP. Na maioria das fontes, existe uma bateria que impede a perda do programa previamente carregado pelo usuário. Quando retornada a energia, o programa já está apto para ser iniciado. Existem dois tipos de fontes, a fonte *source*, que é uma fonte de energia interna ao controlador, e a fonte *sink*, que é uma fonte externa ao CLP (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

### 2.3.3 UCP – Unidade Central de Processamento

Segundo Moraes e Castrucci (2010), a unidade Central de Processamento é responsável pela execução do programa do usuário e pela atualização da memória de dados e da memória-imagem das entradas e saídas de dados.

Figura 3 – Diagrama de Blocos da UCP do CLP.



Fonte: Moraes e Castrucci (2010).

### 2.3.4 Memória EPROM

A memória EPROM contém o programa elaborado pelo fabricante (*firmware*) que faz o *startup* do controlador, armazena dados e gerencia a sequência de operações. Esse tipo de memória não é acessível ao usuário do controlador (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

### 2.3.5 Memória do Usuário

Armazena o programa aplicativo do usuário. A CPU processa esse programa e atualiza a memória de dados internos e a de imagem E/S. Esta memória possui dois estados, RUN, quando está em operação cíclica, e PROG, quando se carrega o programa aplicativo do usuário no CLP (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

### 2.3.6 Memória de Dados

Segundo Moraes e Castrucci (2010), é na memória de dados onde ficam localizados os dados referentes ao processamento do programa do usuário, isto é, uma tabela de valores manipuláveis a serem alterados conforme necessário.

### 2.3.7 Memória-Imagem das Entradas e Saídas

É a memória que reproduz o estado dos periféricos de entrada e saída e grava o seu último estado. Circuitos de entradas são provenientes de sensores, chaves, etc. Circuitos de saída são utilizados para dar partida em motores, acionar relés, solenoides e outros dispositivos. A alternância entre os níveis 0 e 1 e níveis de tensão varia conforme a necessidade do projeto, por

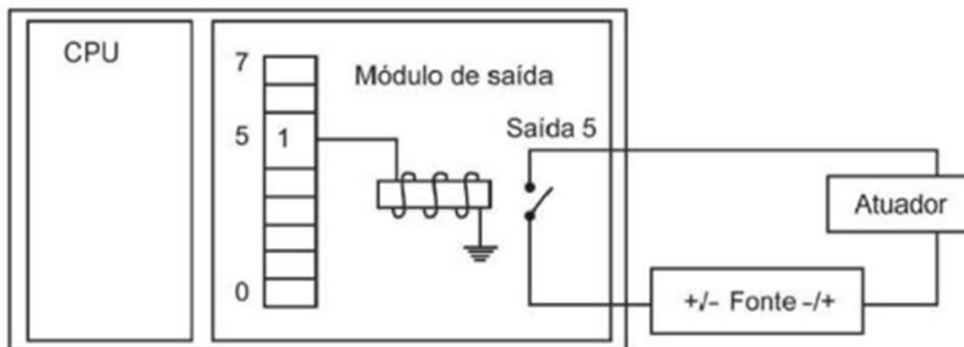
exemplo, pode ocorrer nível 0 para 0 Volts e nível 1 para 24 Vcc (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

### 2.3.8 Módulos de Entrada e Saída Digitais (DI/DO's)

Os módulos de saída dos controladores são diferenciados pelo método de acionamento das saídas, sendo elas diferenciadas em saída a relé, saída a Triac e saída a transistor.

Segundo Moraes e Castrucci (2010), a saída a relé consiste em, quando acionada a palavra-imagem de sua saída correspondente, acionar um solenoide para que se feche um contato correspondente ao borne de saída do módulo (saída 5, na figura abaixo). A vantagem da saída a relé está em sua robustez, sendo imune a praticamente qualquer transiente que venha da rede, porém, sua desvantagem está na baixa vida útil se comparada às demais, fornecendo de 150 à 300 mil ciclos de acionamento.

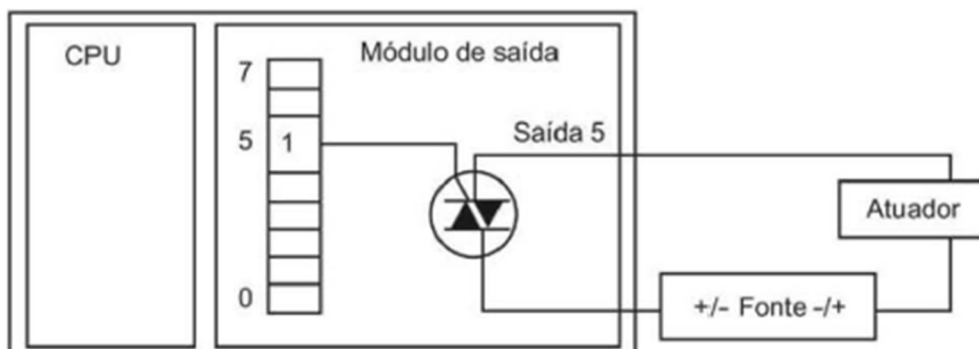
Figura 4 – Módulo de saída a relé.



Fonte: Moraes e Castrucci (2010).

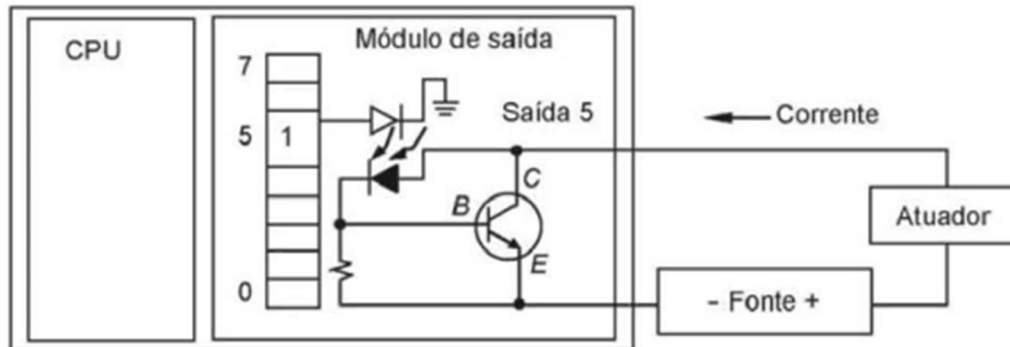
Conforme citam Moraes e Castrucci (2010), na saída a Triac o mecanismo de acionamento, como o próprio nome diz, é um Triac (estado sólido). Esta saída é utilizada nos módulos de corrente alternada. Possuem uma vida útil de aproximadamente um milhão de ciclos.

Figura 5 – Módulo de saída a Triac.



Fonte: Moraes e Castrucci (2010).

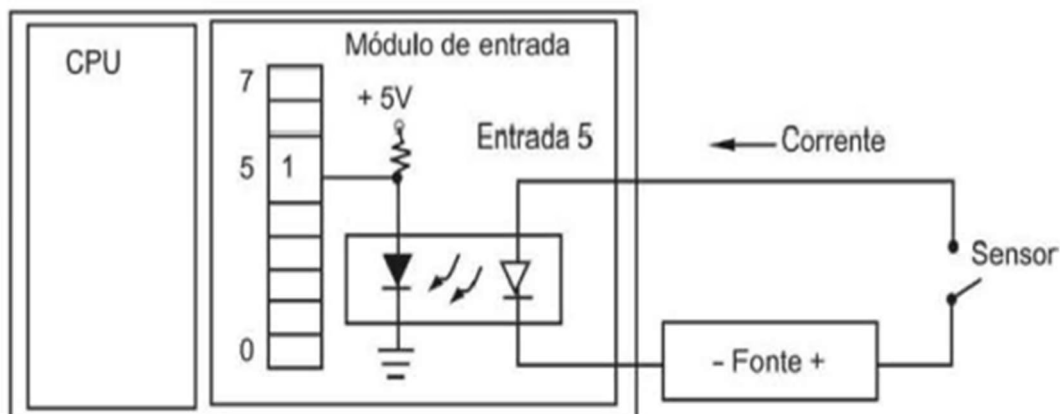
Figura 6 – Módulo de saída a transistor.



Fonte: Moraes e Castrucci (2010).

Para Moraes e Castrucci (2010), no módulo de saída a transistor, o mecanismo de acionamento é um transistor normal ou um transistor de efeito de campo (FET). Este tipo é utilizado com corrente contínua quando a corrente não ultrapassa 1A de carga. A vida útil é semelhante com a da saída a Triac, ficando por volta de um milhão de ciclos.

Figura 7 – Módulo de entrada Digital.



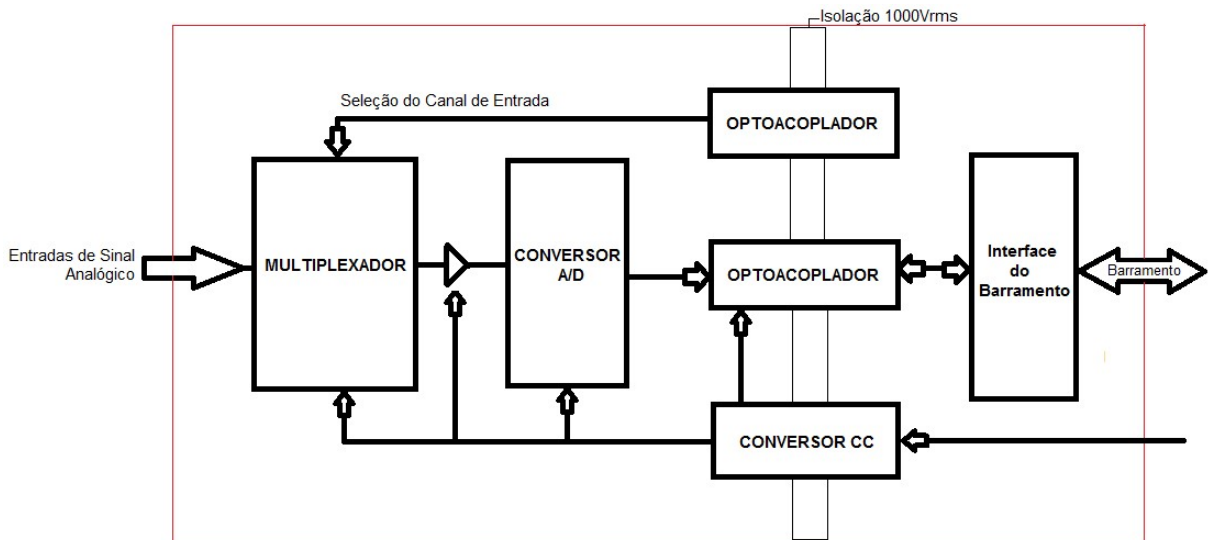
Fonte: Moraes e Castrucci (2010).

Como podemos ver na figura acima, e conforme citam Moraes e Castrucci (2010), os módulos de entradas digitais contêm opto-isoladores em cada um de seus canais. Quando um sensor atua, ou uma chave é acionada, por exemplo, um LED é acionado e sensibiliza o componente interno do módulo, fazendo circular corrente internamente ao circuito da entrada correspondente.

### 2.3.9 Módulos de Entrada e Saída Analógica (AI/AO's)

Nos módulos de entrada analógica (AI), um sinal analógico de tensão (0 à 5 Vcc) ou corrente (4 à 20mA), é convertido para um código digital por meio de um conversor analógico digital.

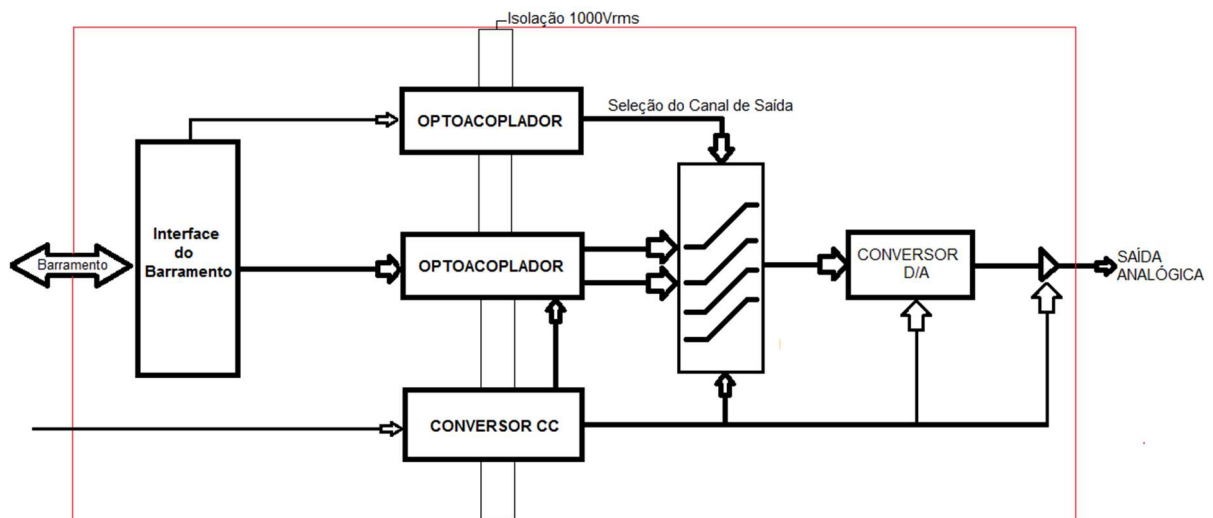
Figura 8 – Módulo de entrada Analógica.



Fonte: Adaptado de Moraes e Castrucci (2010).

A resolução do conversor varia e depende do controlador, mas geralmente operam na faixa de 8 a 32 bits e nos módulos de saída analógica (AO) é convertido um código numérico em um valor proporcional de tensão ou corrente para serem aplicados nos instrumentos de controle (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

Figura 9 – Módulo de saída Analógica.



Fonte: Adaptado de Moraes e Castrucci (2010).

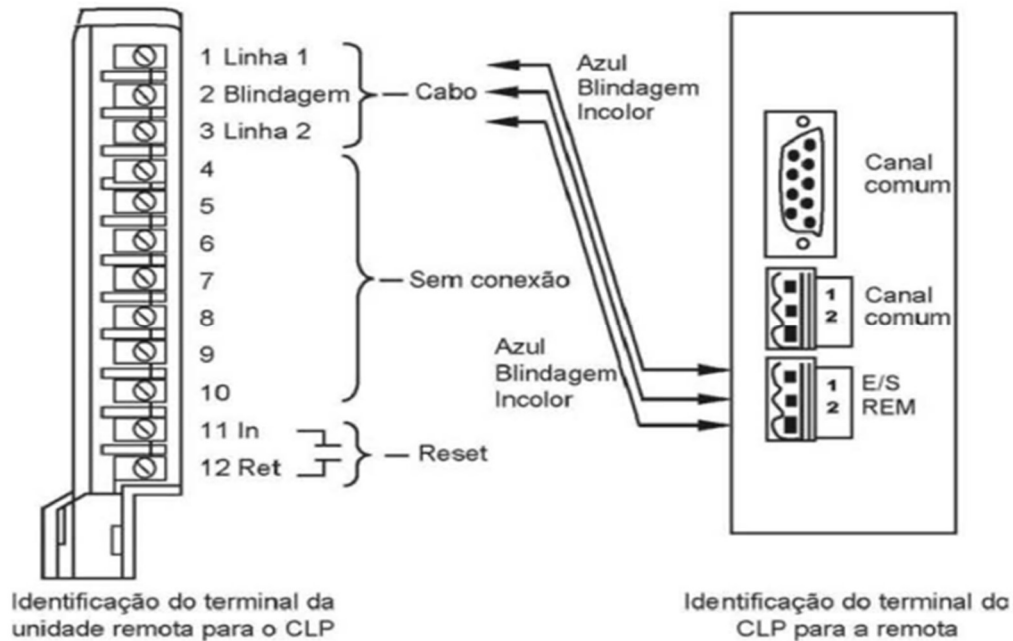
Ainda segundo Moraes e Castrucci (2010), da mesma forma que a entrada analógica, as saídas também operam com resolução entre 8 e 32 bits. No caso das saídas, dependendo de cada controlador existe um valor mínimo e máximo de impedância em que os canais podem estar ligados.

### 2.3.10 Terminais Remotos de Entrada e Saída

Às vezes torna-se difícil ou até mesmo inviável ligar todos os dispositivos periféricos (sensores, válvulas, etc.) na interface principal do CLP, devido às grandes distâncias e pela

múltipla passagem de fios por conduítes. Utilizam-se, então, os Terminais Remotos, ou Unidades Remotas, em comunicação com o CLP por meio de cabos. Cria-se assim o conceito de Rede de Remotas (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

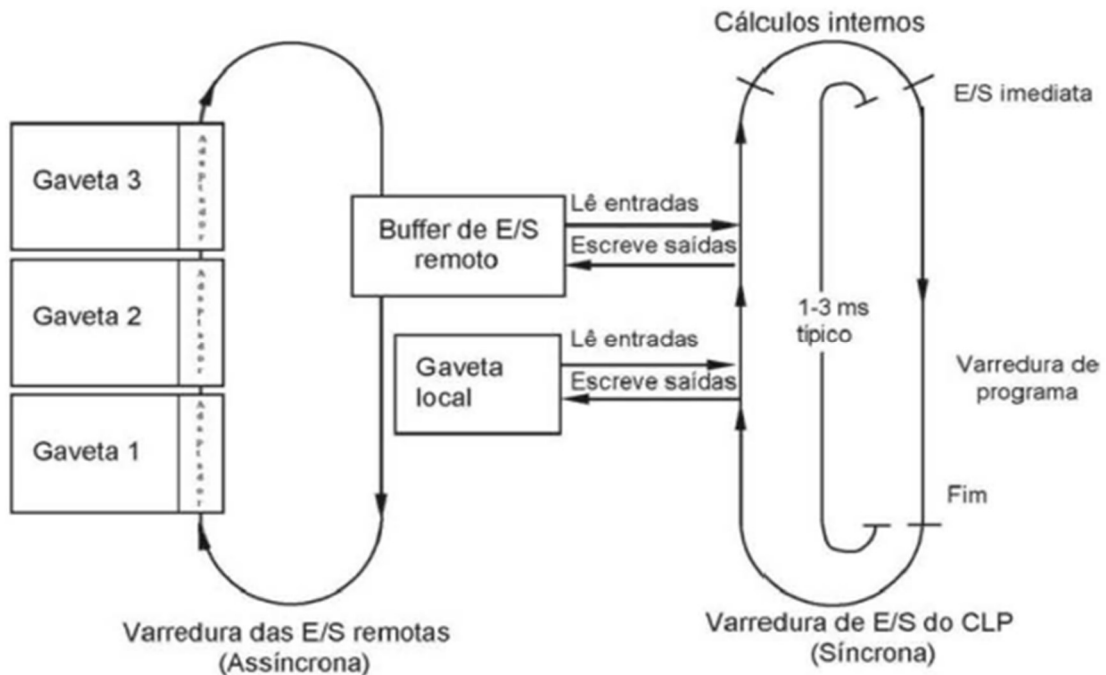
Figura 10 – Conectores dos terminais de E/S na unidade remota e no CLP.



Fonte: Moraes e Castrucci (2010).

Segundo Moraes e Castrucci (2010), o CLP faz a varredura dos dados de E/S no bastidor principal em sincronia com a varredura do programa, mas a varredura dos dados de E/S das remotas é feito de forma assíncrona.

Figura 11 – Transferência de dados de E/S no ciclo de processamento do CLP com remotas.



Fonte: Moraes e Castrucci (2010).

Podemos verificar por meio do diagrama de blocos apresentado na figura 11, conforme citam Moraes e Castrucci (2010), a varredura de dados de E/S nas remotas é feita entre os bastidores (gavetas) e após isso é feita a troca de informações com o *buffer* remoto para que, por fim, as informações cheguem no processador do CLP. Desta forma, quanto mais remotas, teórica e praticamente irá demorar mais tempo para que os dados de E/S remotas sejam processados.

### 2.3.11 Linguagem de Programação de Blocos de Função

A linguagem de programação de blocos permite uma rápida configuração de CLP's, devido ao fato dos fabricantes e desenvolvedores fornecerem os blocos padrões de sua autoria. Devido ao fato de ser uma linguagem de programação de alto nível, essa linguagem é bastante difundida no meio de engenheiros.

Segundo Moraes e Castrucci (2010), os blocos mais avançados permitem os seguintes programas:

- Operações numéricas;
- Deslocamento;
- Operações com sequências de bit's;
- Processamento de caracteres;
- Tempo;
- Operações de flip-flop, contador, temporizador e comunicação;

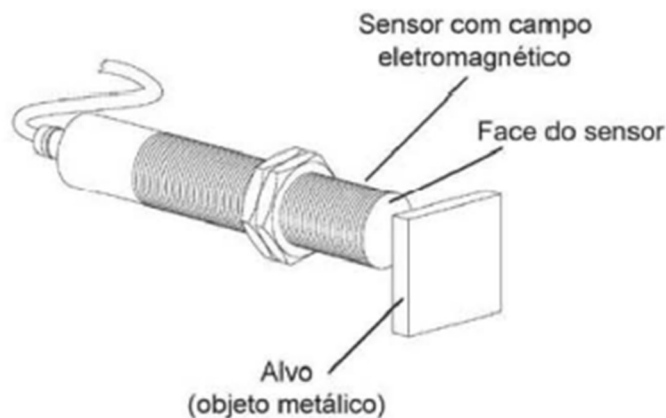
- Regras de controle dinâmico, como atraso, média, diferença, monitoração, PID, etc.

## 2.4 Sensores e Transmissores

### 2.4.1 Sensor Indutivo

Os sensores indutivos usam correntes induzidas por campos magnéticos com o objetivo de detectar objetos metálicos por perto. Os sensores indutivos utilizam uma bobina (indutância) para gerar um campo magnético. Se existe a presença de um objeto metálico perto do campo magnético do sensor uma corrente flui nesse objeto, devido à indução de correntes parasitas. Esta corrente resultante gera um novo campo magnético que se opõe ao campo magnético original. (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

Figura 12 – Sensor Indutivo.



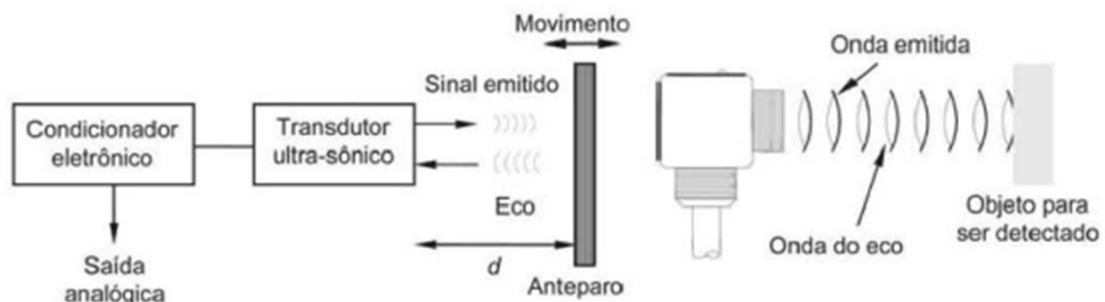
Fonte: Moraes e Castrucci (2010).

Estes sensores são muito utilizados na detecção constante de posição e movimento de objetos dinâmicos.

### 2.4.2 Sensores Ultrassônicos

Segundo Moraes e Castrucci (2010), o sensor ultrassônico utiliza-se de um circuito eletrônico para gerar um trem de pulsos em um transdutor piezoelétrico que gera um pulso de pressão acústica e se propaga pelo ar até atingir um alvo, após, parte do sinal retorna para o transdutor em forma de um eco, fazendo com que o intervalo de tempo que este eco demorou para retornar consiga determinar a distância em que o alvo se encontra.

Figura 13 – Sensor Ultrassônico.



Fonte: Adaptado de Moraes e Castrucci (2010).

Este sensor é bastante utilizado para medição de nível de líquidos e sólidos em processos de extração.

#### 2.4.3 Sensores de Temperatura Pt-100

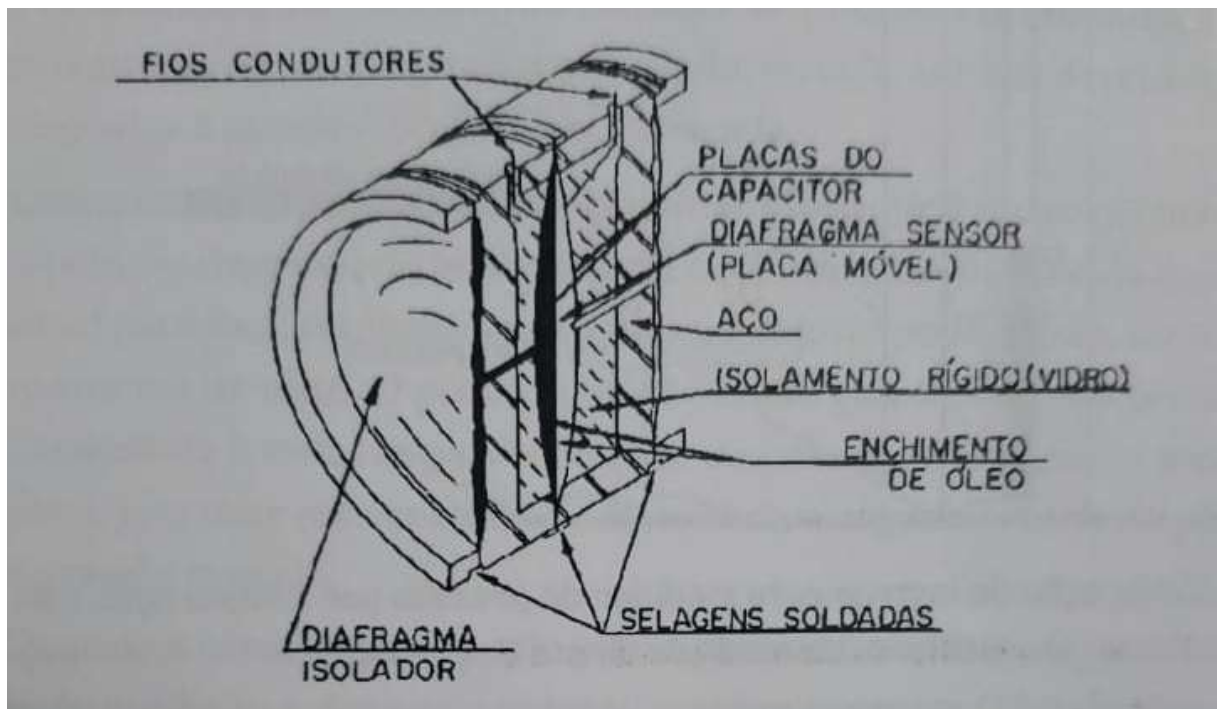
Assim chamado por possuir elemento de platina e resistência padronizada de  $100\Omega$  a  $0^\circ\text{C}$ , o Pt-100 é o termorresistor mais empregado em todo o mundo, devido à sua estabilidade, repetibilidade, precisão e ampla faixa de operação (BEGA, 2006).

Segundo Bega (2006), como qualquer termorresistor, o Pt-100 trabalha associado a circuitos que convertem a sua variação de resistência em leitura de temperatura e/ou sinal padronizado (4 à 20mA, HART, Field-Bus), além de garantir que a corrente no sensor seja suficientemente pequena para que seu autoaquecimento seja desprezível. Estes circuitos estão presentes em muitos transmissores de temperatura fornecidos por diversos fabricantes.

#### 2.4.4 Transmissores de Pressão Capacitivos

Segundo Bega (2006), estes instrumentos baseiam-se na medição da variação de capacitância que se introduz em um capacitor quando se desloca uma de suas placas em consequência da aplicação de uma pressão.

Figura 14 – Transmissor eletrônico de pressão do tipo capacitivo.



Fonte: Bega (2006).

A posição do diafragma sensor (placa móvel) é detectada pelas placas do capacitor colocadas nos dois lados do diafragma sensor. O valor da capacitância diferencial existente entre o diafragma sensor e as placas do capacitor é convertido eletronicamente, resultando no sinal de saída do transmissor (4 à 20mA), que é transmitido para um receptor eletrônico para fins de indicação, registro e/ou controle (BEGA, 2006).

Estes transmissores de pressão são amplamente utilizados nas indústrias de extração de óleo para a medição de pressão e também de nível.

#### 2.4.5 Transmissores de Vazão Vórtex

Os medidores de vazão existem em diversos tipos, cada qual indicado para uma determinada aplicação.

O princípio de funcionamento dos medidores de vazão do tipo vórtex é baseado na observação de um fenômeno físico que ocorre quando uma corrente fluida encontra um obstáculo de perfil não aerodinâmico: a partir de determinada velocidade, uma esteira é formada a jusante do objeto, pelo aparecimento de vórtices gerados (BEGA, 2006).

Segundo Bega (2006), os medidores vórtex medem a velocidade dos vórtices gerados quando o fluido atravessa o anteparo no interior do medidor, fazendo com que, a eletrônica do mesmo, por meio de sensores, faça a medição da velocidade e calculando por meio do número de Strouhal a razão entre velocidade, vazão e a dimensão do anteparo do medidor, sendo estes medidores bastante utilizados em medição de vazão em fluidos com velocidade elevada.

### 2.5 Software Supervisório

Segundo Moraes e Castrucci (2010), sistemas e softwares supervisórios são sistemas digitais de monitoramento e operação da planta que gerenciam variáveis de processo. Estas são atualizadas continuamente e podem ser guardadas em bancos de dados locais ou remotos para fins de registro histórico.

#### 2.5.1 História

Também chamados de Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD ou DCS, do inglês *Distributed Control System*), tiveram origem no final da década de 1970, na Divisão de Sistemas de Gerenciamento da Honeywell, fruto de um estudo sobre as rotinas de uso das salas de controle centralizado (FINKEL, 2010).

Segundo Finkel (2010), tornou-se quase universal o uso do *mouse* e/ou um *trackball* para comandos, em apoio ou substituição quase total das funções do teclado. Também foi avaliado que o uso de *touchscreen* não deu bons resultados, devido a pouca confiabilidade causada pela sujeira em vários ambientes e também por não poder ser operado com as luvas disponíveis aos operadores.

#### 2.5.2 Configuração

Segundo Finkel (2010), o SDCD foi desenvolvido para substituir os controladores analógicos de controle de processos e ao mesmo tempo permitir aos operadores uma melhor visualização da operação da planta, podendo controlá-la melhor. O SDCD constitui-se de três elementos básicos: a interface com o processo (CLP's), a Interface Homem-Máquina (IHM ou tela de computador), e a via de dados (*data highway*) que interliga as duas primeiras, podendo ser uma rede Ethernet.

Quanto à configuração do SDCD, há duas coisas totalmente diferentes que são chamadas de “configuração”. A configuração do *hardware* é uma lista do *hardware* necessário para atender a todas as malhas e funções de controle e aquisição de dados necessários, e sua instalação. A configuração do sistema é também o ato de se “programar” as variáveis, seus *tag's* e características de controle, aquisição e alarmes para cada uma delas (FINKEL, 2010).

Como analisam Moraes e Castrucci (2010), recomenda-se nove etapas no desenvolvimento dos sistemas supervisórios: entendimento do processo, variáveis do processo, planejamento da base de dados, planejamento de alarmes, planejamento da hierarquia de navegação entre telas, desenho de telas, gráficos de tendências, planejamento do sistema de segurança e seguir o padrão industrial de desenvolvimento.

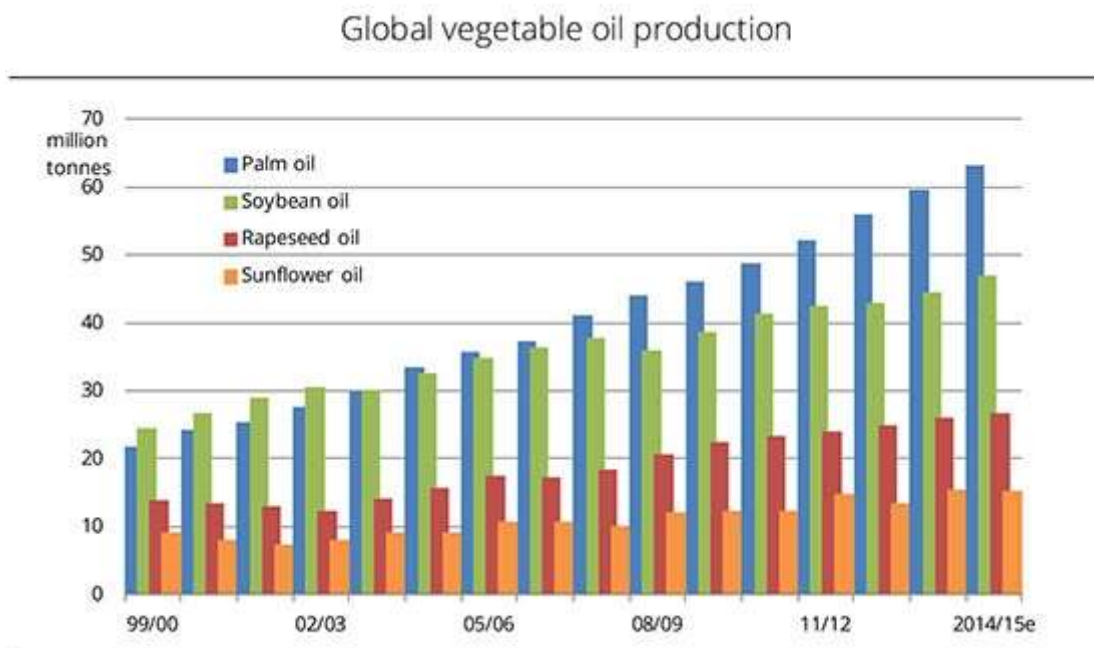
### 2.5.3 Telas de Operação

Ainda, segundo Finkel (2010), as telas de operação têm diversas funções, sendo divididas, comumente, em telas convencionais, telas de visão geral, telas de grupo, telas de malhas individuais, telas gráficas das variáveis no tempo, telas de alarmes, etc.

## 2.6 Mercado, Relevância do Óleo de Soja e Extração

### 2.6.1 Mercado

Figura 15 – Produção Global de Óleo Vegetal



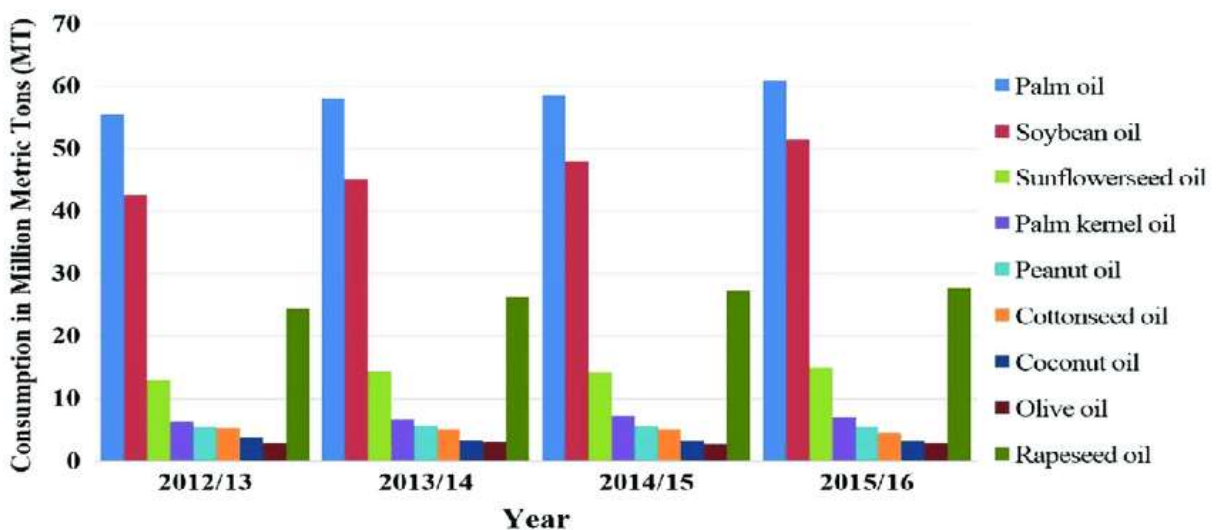
Fonte: Departamento Americano de Agricultura (2016).

Ao analisarmos a figura 15, do Departamento Americano de Agricultura (2016), podemos observar pelas barras verdes do gráfico que entre os anos de 2004 e 2005, o óleo de

soja foi ultrapassado pelo óleo de palma em termos de produção mundial, pois até então era o mais produzido, porém, a sua produção continuou crescendo até 2008, quando sofreu um leve declínio. A partir daí, a produção de óleo de soja continua crescendo até os últimos anos apontados no gráfico, vindo a ultrapassar a casa das cinquenta milhões de toneladas de óleo de soja produzidas por ano.

Na figura 16, podemos verificar o consumo de óleo de soja no decorrer dos anos 2012 até o ano de 2016:

Figura 16 – Consumo Global de Óleos Vegetais



Fonte: Taylor & Francis Group (2017).

Na figura 16, observamos o consumo global de óleos vegetais em milhões de toneladas, onde podemos verificar pelas barras rosas um crescimento contínuo do consumo do óleo de soja entre os anos de 2012 até 2016.

Segundo explana o Departamento Americano de Agricultura (2016), se levarmos em consideração a relação Oferta x Demanda, estaremos verificando e concluindo que nos últimos anos estamos consumindo cada vez mais óleo de soja, sendo assim, a necessidade por uma produção cada vez mais efetiva e de menor custo, torna-se cada vez mais relevante, pois a demanda acentuada por alimentos (em especial óleos vegetais) vem crescendo dia após dia.

Conforme cita o Departamento Americano de Agricultura (2020), atualmente, o preço da soja vive um acumulado nunca antes visto para um período de um ano, chegando a um aumento de mais de 70%, portanto, o preço do óleo de soja também apresenta uma variação bastante significativa, chegando a uma variação de até 100% nas prateleiras dos supermercados. Podemos definir que esta alta no preço é devido a demanda aquecida pelos derivados da soja, pois o consumo aumentou significativamente no ano de 2020 à medida em que os cidadãos estão ficando cada vez mais em casa, seja devido ao isolamento social ou a crescente da modalidade de trabalho em *home office* em tempos de pandemia mundial causada pelo coronavírus.

Segundo Nassar (2020), devido à constante valorização do dólar e desvalorização da moeda brasileira, o mercado de exportação da soja está aquecido, portanto, estamos cada vez mais nos dirigindo a uma dependência do mercado externo, principalmente da China, principal parceiro comercial do Brasil, que responde por mais de 70% das compras da nossa soja.

## 2.6.2 Propriedades do Óleo de Soja

Segundo Dorsa (2004), a soja possui de 18 à 20% de óleo, e cerca de 79% de farelo, com um teor protéico de aproximadamente 45%. O óleo de soja contém de 40 à 60% de tri-insaturados, 30 a 35% de di-insaturados e até 5% de mono-insaturados. A auto-oxidação dá ao óleo um sabor herbáceo, portanto não é um óleo indicado para frituras pois se oxida rapidamente em altas temperaturas.

Ainda, conforme Dorsa (2004), os parâmetros utilizados para a análise e classificação dos óleos vegetais, entre eles o óleo de soja, são: o conteúdo de ácidos graxos livres (elementos que causam cheiros e sabores indesejáveis), índice de cor (medidas entre o amarelo e o vermelho), o grau de oxidação (a quantidade de oxigênio absorvido), a quantidade de gomas (fosfatídeos que causam alteração na cor e gosto do óleo), materiais coloridos e pigmentos (clorofila em excesso, conseqüentemente altera a cor do óleo e causa oxidação) e as ceras (álcoois que em baixa temperatura causam a turbidez do óleo).

Tabela 1 – Fatores de Qualidade da Matéria Prima

FATORES:	AUMENTO DE:
Impurezas	Produtos de oxidação, clorofila
Grãos imaturos	Clorofila, ferro
Grãos avariados ou quebrados (carga, transporte, descarga)	Acidez, gomas não hidratáveis, produtos de oxidação
Estocagem (tempo, temperatura, umidade)	Acidez, gomas não hidratáveis, produtos de oxidação

Fonte: Dorsa (2004, p. 39)

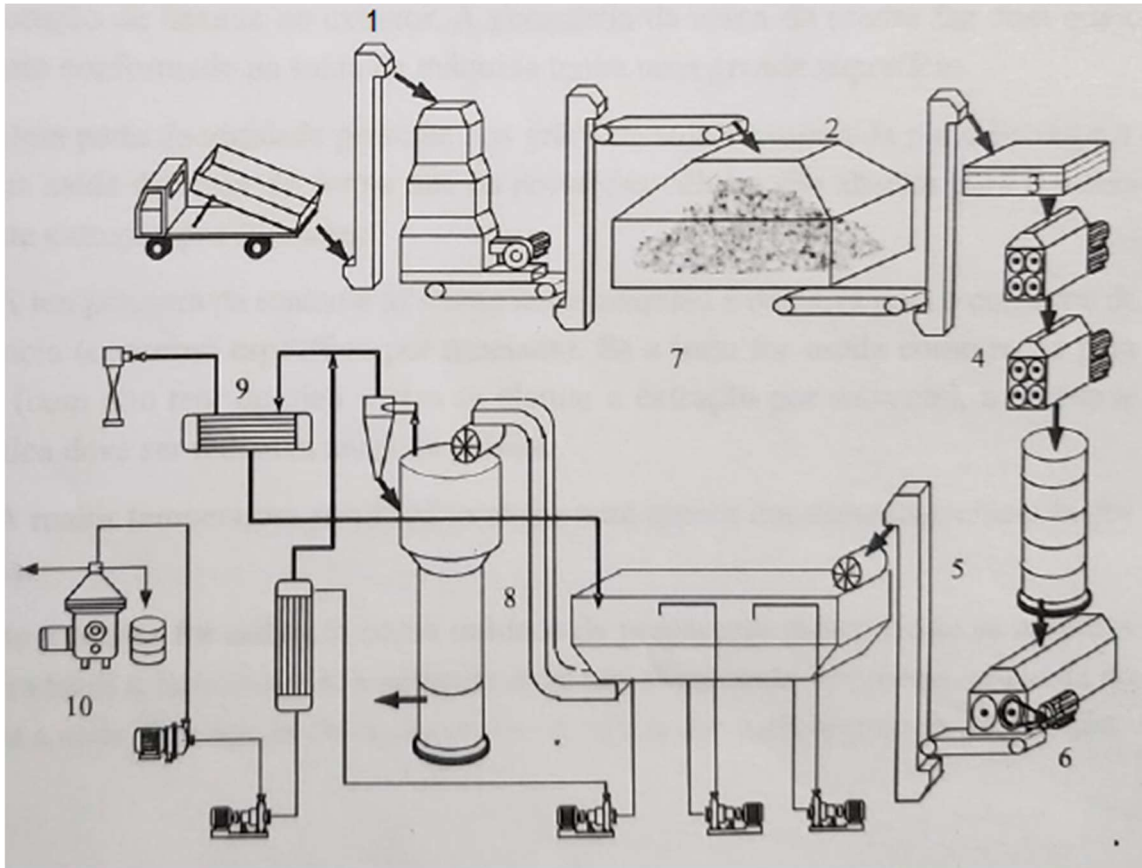
Os fatores apresentados na tabela 1 devem ser mitigados antes da matéria prima chegar ao Extrator, sendo assim, devem ser aplicadas técnicas e processos no setor de Preparação de Grãos de modo que não seja necessário um reprocesso do óleo gerado na Extração (DORSA, 2004).

## 2.6.3 Extração

Segundo Dorsa (2004), a extração por solvente consiste em cinco etapas: unidade extrator de óleo com solvente (extrator percolador), unidade de evaporação do solvente da miscela, dessolventizador do farelo, condensadores de hexano e unidades adicionais de filtração e degomagem.

Na figura 17 está sendo apresentado um fluxograma simplificado referente ao processo de Extração:

Figura 17 – Fluxograma simplificado do processo de extração.



Fonte: Dorsa (2004)

Segundo explana Dorsa (2004), a matéria prima, antes de entrar no processo de Extração, atravessa o setor chamado de Preparação de Grãos (que engloba os números 4, 5 e 6 da figura acima) que inicialmente realiza a limpeza dos grãos para que se obtenha um teor mínimo de impurezas (palha, vagem, partículas metálicas) determinado na especificação inicial de operação da planta.

Além da limpeza, o setor de Preparação de Grãos tem o papel de secar a soja (no número 5) para que seja feito o controle de umidade da matéria prima, que segundo Dorsa (2004), não pode ficar acima dos 13%, de modo que, se este ponto for extrapolado, acarretará em uma oxidação elevada do óleo na semente e posteriormente em uma degradação precoce e oxidação do óleo extraído.

A umidade é um dos pontos mais importantes a ser controlado no processo da Preparação de Grãos, pois esta é uma das principais características da matéria prima para que, com a mesma bem ajustada, a planta possa operar com a capacidade produtiva máxima (DORSA, 2004).

Conforme Dorsa (2004), após a secagem, o setor de Preparação de Grãos realiza a quebra dos grãos por meio de moinhos quebradores, fazendo com que os grãos se partam em aproximadamente 15 a 20 pedaços pequenos de soja. É neste ponto em que é retirada a casca

da soja (altamente proteica), por meio de aspiração utilizando ventiladores acionados por soft-starters.

Segundo Dorsa (2004), depois de ser quebrada, a soja é transportada até os laminadores (número 6), que irão transformar os pequenos pedaços de soja em finas lâminas, com aproximadamente 0,3 a 0,32mm de espessura por  $\frac{1}{2}$  cm<sup>2</sup> de área. Esta técnica é aplicada para que seja aumentada a área da matéria prima e a mesma possa ter um maior contato com o solvente na próxima etapa.

Na próxima etapa (número 7), encontra-se o Extrator Percolador, que usa do solvente hexano para extrair o óleo da soja laminada. A solução resultante chamamos de miscela, a mistura de hexano com óleo, a qual é enviada ao separador de solvente (número 9), a fim de extrair todo o solvente, deixando apenas o óleo bruto. O solvente separado é reutilizado no processo (DORSA, 2004).

Conforme Dorsa (2004), o farelo restante após o extrator é enviado ao dessolventizador (número 8), aonde por meio de injeção de vapor o solvente que está presente é evaporado para que o farelo possa ser estocado e posteriormente comercializado.

O óleo de soja bruto é misturado com água quente e encaminhado para uma centrífuga (número 10), onde são removidas as impurezas do óleo, dando origem ao óleo degomado e a duas fases de impurezas, a lecitina (mais espessa) e a goma (mais aquosa) (DORSA, 2004).

Para Dorsa (2004), para atingirmos a especificação das propriedades dos produtos resultantes do processo acima, devem ser monitorados, no extrator, a quantidade de solvente (hexano) dosado por hora, temperatura do hexano, vácuo do extrator, assim como o tempo de retenção da lâmina da soja dentro do extrator.

#### 2.6.3.1 Classificação da Área

A área aonde se encontra a Extração e o Extrator de Óleo é considerada uma Área Classificada devido a presença de gases do solvente Hexano.

Segundo Cohn e Bulgarelli (2006), área classificada é qualquer local onde possa existir combustível e oxigênio em proporções que permitam a formação de atmosfera explosiva, capaz de dar origem a um processo de combustão.

A IEC (*International Electrotechnical Commission*) é a principal organização global que prepara e publica normas internacionais para todos os equipamentos elétricos, eletrônicos e tecnologias correlatas. Estas normas servem de base para normalizações nacionais bem como referência na elaboração de contratos e propostas internacionais (COHN; BULGARELLI, 2006).

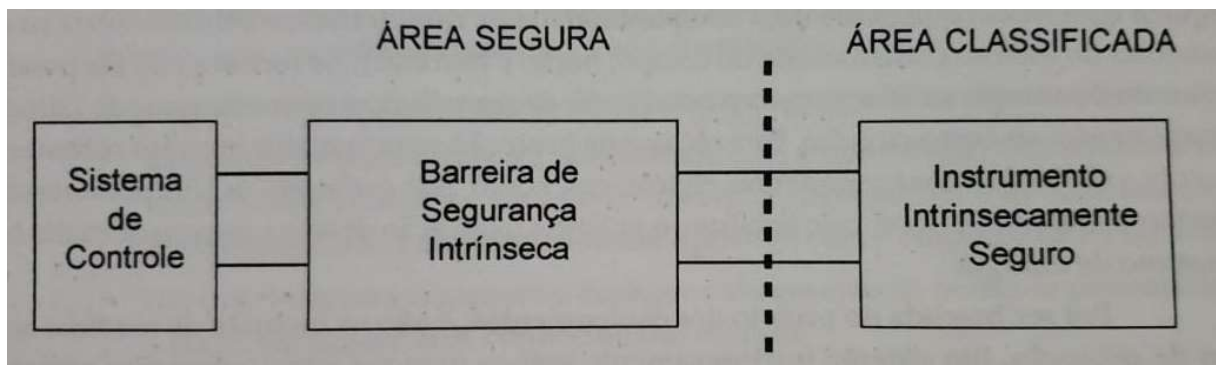
A NBR IEC 60079-25 foi elaborada pela ABNT e fala sobre “Segurança Intrínseca: Ex i – Sistemas Intrinsecamente Seguros”, a qual trata sobre a limitação de energia liberada para os equipamentos em áreas classificadas.

Um sistema intrinsecamente seguro pode ser definido como aquele que é incapaz de liberar energia, seja na forma elétrica ou térmica, suficiente para provocar a ignição de determinada mistura explosiva que possa se fazer presente. A impossibilidade de ignição deve ser mantida e garantida, mesmo em caso de falha do sistema (COHN; BULGARELLI, 2006).

Segundo Cohn e Bulgarelli (2006), o tipo de proteção intrinsecamente segura aplica-se à instrumentação a dois fios e para sinais do tipo 4 a 20mA e, além disso, os custos da instalação e manutenção são muitas vezes inferiores aos de outras técnicas de proteção. A limitação dessa técnica, baseada na limitação da energia, é o consumo e o armazenamento de energia do próprio instrumento.

A parte do circuito constituída pela fonte de alimentação, juntamente com os controladores digitais do processo, como supervisórios e CLP's, que não são intrinsecamente seguros, são instalados em áreas seguras (áreas não classificadas), como, por exemplo, no interior de uma Sala de Controle. A barreira de segurança intrínseca, inserida neste circuito, limita a energia que pode ser enviada à parte do circuito de campo, instalado na área classificada, constituído pelo instrumento transmissor de campo e pela fiação de interligação (COHN; BULGARELLI, 2006).

Figura 18 – Circuito intrinsecamente seguro.



Fonte: Cohn, Bugarelli (2006)

A figura 18 apresenta um circuito simplificado de uma instalação intrinsecamente segura, que é composta por um instrumento de campo certificado como intrinsecamente seguro, uma barreira de segurança intrínseca (componente ligado à fiação e ao instrumento, com ambos sendo certificados Ex i) e o sistema de controle.

#### 2.6.4 Impacto Econômico

O impacto econômico de uma planta de Extração de Óleo de soja está diretamente relacionado com o desenvolvimento socioeconômico da região e do aumento da qualidade de vida dos trabalhadores envolvidos, desde o seu projeto, até a construção e no decorrer da operação da mesma (DORSA, 2004).

Segundo Dorsa (2004), uma planta de extração com a capacidade de esmagamento de 2000 toneladas de soja por dia tem um custo de aproximadamente 15 dólares por tonelada e requer um alto investimento para a sua implantação, uma vez que requer que todo o

equipamento elétrico instalado seja a prova de explosão ou intrinsecamente seguro, devido aos vapores altamente explosivos provenientes do hexano.

A planta requer operadores treinados e um bom sistema de controle para minimizar o perigo do uso do solvente (hexano) e para garantir que os consumos e garantias necessários à operação econômica da planta e custo de produção sejam atingidos (DORSA, 2004).

A seguir, é apresentada uma tabela em que Dorsa analisa o custo da implantação de uma planta de Extração de Óleo de soja de 2000 toneladas por dia:

Tabela 2 – Custos da Planta

<b>Edificações e Instalações Auxiliares:</b>	10.000.000
<b>Instalações de Estocagem:</b>	15.000.000
<b>Equipamentos e Instalações</b>	
Equipamentos (custo CIF):	8.100.000
Fretes:	100.000
Montagem mecânica:	400.000
Instalações hidráulicas:	800.000
Instalações elétricas:	600.000
<b>Detalhamento do projeto</b>	
Fluxogramas e layout de equipamentos:	400.000
Especificações e desenhos eletromecânicos:	250.000
Comissionamento e treinamento:	150.000
Engenharia civil e gerenciamento da construção:	50.000
Gerenciamento do projeto:	150.000
<b>Custo total da Planta, exceto terreno (US\$):</b>	<b>36.000.000</b>
*Incluindo subestação elétrica, tratamento de água e efluentes, oficinas e laboratório.	

Fonte: Adaptado de Dorsa (2004, p. 55)

Podemos observar que o custo dos equipamentos apresenta uma parcela grande na planta de Extração analisada por Dorsa, que também afirma que “o custo do Extrator está aproximadamente em US\$700.000,00”.

### 2.6.5 Impacto Social

O impacto social causado por uma planta de Extração está diretamente ligado a empregabilidade local, devido a sua capacidade de operação contínua, da necessidade de manutenções periódicas nos seus equipamentos, da análise da qualidade dos produtos e da gestão estratégica da mesma. Por isso, na tabela abaixo, Dorsa nos apresenta a empregabilidade gerada pela planta considerando a operação contínua da mesma:

Tabela 3 – Empregabilidade da Planta

Operadores não especializados:	30
Operadores especializados:	6
Mecânicos e Eletricistas de Manutenção:	13
Técnicos de Controle de Qualidade:	3
Supervisores:	9
Gerente:	1
Superintendente:	1
<b>Total:</b>	<b>63</b>

Fonte: Adaptado de Dorsa (2004, p. 57)

Como podemos observar na tabela 3 abordada por Dorsa (2004), o impacto socioeconômico da planta de Extração mostra-se altamente relevante quanto ao desenvolvimento regional, pois apresenta uma adição de mais de sessenta empregos diretos à comunidade local, além dos empregos indiretos durante as etapas de projeto, instalação e *startup* da planta.

## 2.7 Teoria de Controle de Processos

Com o passar dos anos, pode-se observar a modernização dos processos de fabricação e manufatura, porém a maioria dos princípios fundamentais de medição e controle de processos se mantiveram intactos até os dias de hoje.

A evolução da eletrônica industrial determinou a introdução da instrumentação analógica eletrônica, diminuindo o tamanho dos componentes e a conseqüente simplificação das salas de controle. A miniaturização cada vez mais crescente, determinou a introdução dos microprocessadores, que constituem a base de construção da quase totalidade dos instrumentos e sistemas disponíveis no mercado de instrumentação e automação industrial (KOCH, 2006).

### 2.7.1 Objetivos do Controle de Processos

Controlar um processo industrial, significa, basicamente, manter os valores das variáveis de processo (PV) dentro de um faixa aceitável para sua operação conveniente, buscando manipular uma variável de controle (CV ou VC) para que o processo opere buscando o valor desejado para cada variável, denominado de *set-point* (SP).

Segundo Koch (2006), o controle de processos destina-se basicamente a: manter os processos em seus pontos operacionais mais eficientes e econômicos; prevenir condições instáveis no processo que podem pôr em risco pessoas e/ou equipamentos; exibir dados sobre o processo aos operadores da planta, para que se possa conservar o ritmo seguro e eficiente. E ainda, para que estes objetivos possam ser alcançados, envolvem-se: gerente da planta, que visa baixos custos, lucratividade e a imagem da companhia; engenharia de projetos, que procura conceber um projeto que resulte na produção eficiente, com baixo custo, e mínimas alterações de campo durante sua implantação; engenharia de processo, visa aumentar a produtividade dos

equipamentos de processo; operador da planta, que busca normalmente uma operação estável; manutenção, que espera sempre por uma instrumentação confiável e de fácil manutenção.

Para a realização de um controle eficiente, utilizam-se os conceitos básicos, associados a técnicas de controle por realimentação (*feedback*), que se constitui no recurso mais utilizado em controle de processos, complementado por técnicas avançadas, como controle por antecipação (*feedforward*), controle em cascata, controle de razão, controle seletivo e controle em faixa dividida (BEGA, 2003).

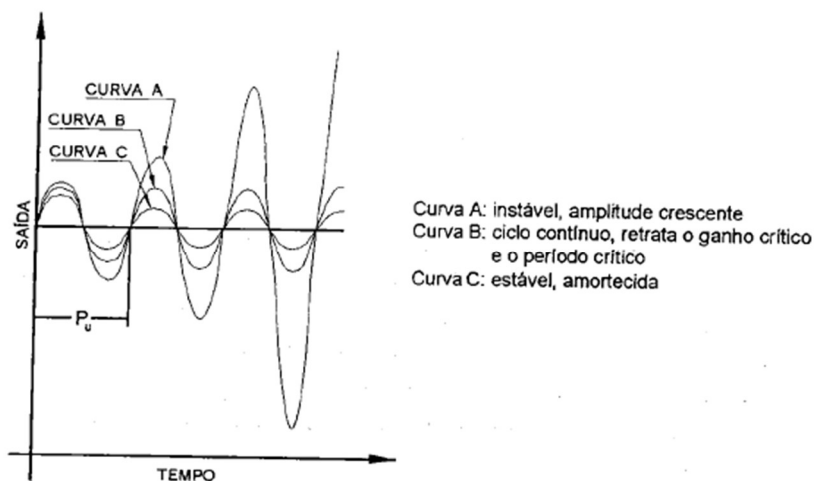
### 2.7.2 Sintonia dos Controladores PID's

A sintonia dos controladores foi realizada baseando-se na resposta do sistema em malha fechada, pelo método de Ziegler e Nichols. Este método consiste na determinação do ganho último ( $K_u$ ) e do período último ( $P_u$ ). O ganho último consiste no máximo valor de ganho proporcional que um controlador admite antes de tornar-se instável e o período obtido para este valor de ganho determinado é o período último.

Para a determinação do ganho e do período últimos, deve-se proceder da seguinte maneira, conforme Koch (2006):

- 1- Eliminar a ação Integral e a ação Derivativa do controlador;
- 2- Manter a malha fechada, ou seja, manter o controlador em Automático;
- 3- Ajusta-se o ganho do controlador e perturba-se o processo, observando a resposta do mesmo. O distúrbio pode ser feito, por exemplo, alterando-se o valor do SP e depois retornando-o ao valor principal.

Figura 63 – Respostas obtidas na determinação do ganho último.



Fonte: Koch (2006)

- Se a resposta não amortecer, como na curva A, o ganho proporcional do controlador ( $K_c$ ) é muito alto (ou a banda proporcional muito baixa), então deve-se reduzir o ganho e repetir o passo 3;

- Se a resposta do passo 3 amortecer como na curva C, o ganho é muito baixo (ou a banda proporcional muito alta), então repete-se o passo 3;

- Caso a resposta seja como a mostrada na curva B, ou seja, quando a oscilação for constante, os valores do ganho e do período últimos foram obtidos. Estes valores são, então, utilizados para calcular os ajustes do controlador. Ziegler e Nichols observaram que, no caso dos controladores proporcionais, o valor do ganho proporcional igual à metade do ganho último proporciona, em geral, uma taxa de amortecimento igual a  $\frac{1}{4}$ . Desta forma, para o controlador proporcional:

$$K_c = 0,5K_u.$$

Para controladores mais complexos, os seguintes valores são propostos por Koch:

Proporcional-Integral:

$$- K_c = 0,45K_u; \quad - \tau_i = P_u/1,2.$$

Proporcional-Derivativo:

$$- K_c = 0,6K_u; \quad - \tau_d = P_u/8.$$

Proporcional-Integral-Derivativo:

$$- K_c = 0,6K_u; \quad - \tau_i = P_u/2; \quad - \tau_d = P_u/8.$$

Um dos pontos mais críticos na hora de sintonizar os PID's está no momento de definir quais ações de controle se aplicam à cada controlador, para isso, foi utilizada uma tabela de referência sugerida por Koch (2006):

Tabela 8 – Sugestões de determinação de Controle

<b>Ação de Controle</b>	<b>Vazão e Pressão de Líquidos</b>	<b>Pressão de Gases</b>	<b>Nível de Líquidos</b>	<b>Temperatura e Pressão de Vapor</b>
Proporcional	Essencial	Essencial	Essencial	Essencial
Integral	Essencial	Não	Raramente	Importante
Derivativa	Não	Não	Não	Essencial

Fonte: Adaptado de Koch (2006, p. 473)

Desta forma, pode-se ajustar os ganhos dos controladores de uma maneira eficaz e de acordo com as especificações desejadas no início do projeto.

### 3 METODOLOGIA

Na metodologia, serão abordados os diversos procedimentos e métodos que foram utilizados no desenvolvimento do projeto, desde o entendimento do processo perante a interpretação do fluxograma P&ID, análise das variáveis que necessariamente deverão ser medidas, planejamento de uma base de dados (hardware, software e instrumentos necessários), a programação do CLP, o desenho das telas do supervisor, a necessidade e desenvolvimento de gráficos de histórico de operação e o planejamento dos intertravamentos de segurança da planta atendendo aos padrões industriais de desenvolvimento de sistemas de automação em áreas classificadas.

#### 3.1 Fluxograma P&ID e Análise das variáveis

Para realizarmos a correta interpretação do fluxograma de tubulação e instrumentação, devemos ter em mente os padrões de codificações e *tag's* adotados nas indústrias ao redor do planeta. Sendo assim, devemos mencionar a norma ISA S 5.1, de 1998, que padroniza a simbologia e classificação de equipamentos industriais e será adotada como base para a identificação dos instrumentos a serem utilizados no processo do Extrator de Óleo.

Figura 19 – Tabela referência norma ISA S 5.1.

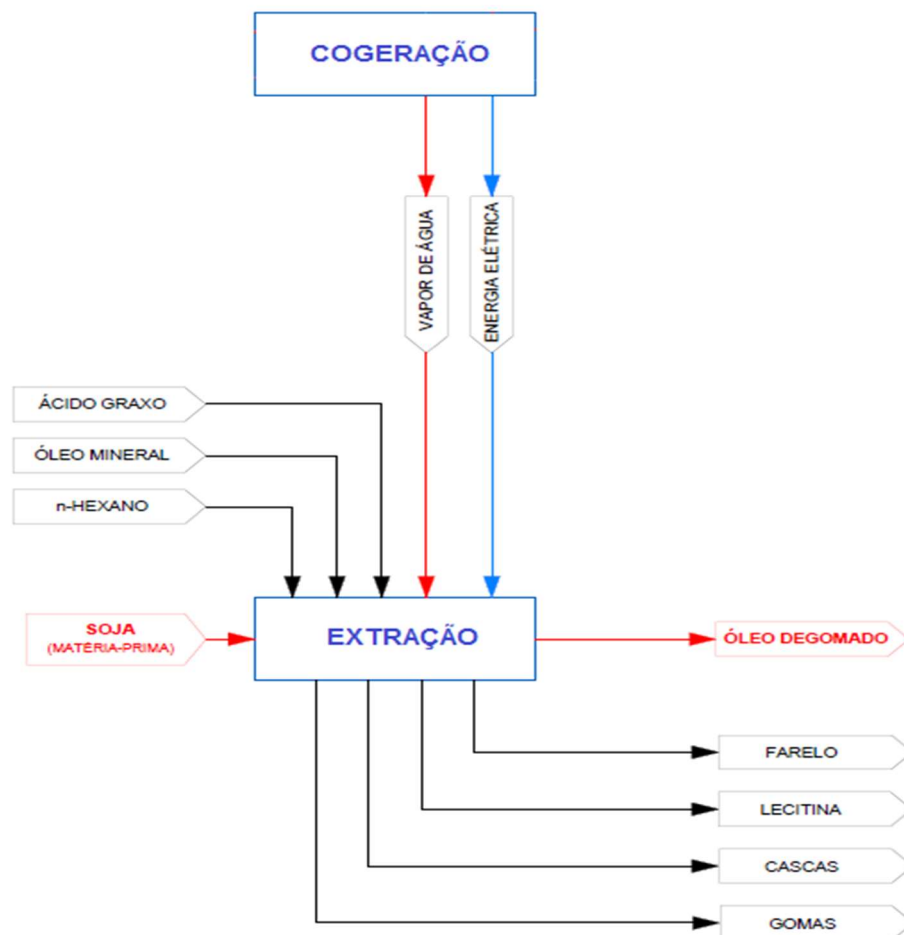
	Primeira Letra		Letras subsequentes		
	Variável medida ou inicial	Modificadora	Função de informação ou Passiva	Função Final	Modificadora
<b>A</b>	Analizador	-	Alarme	-	-
<b>B</b>	Chama de queimador	-	Indefinida	Indefinida	Indefinida
<b>C</b>	Condutividade elétrica	-	-	Controlador (12)	-
<b>D</b>	Densidade ou massa específica ( <i>Density</i> )	Diferencial	-	-	-
<b>E</b>	Tensão elétrica	-	Elemento primário	-	-
<b>F</b>	Vazão ( <i>Flow</i> )	Razão (fração)	-	-	-
<b>G</b>	Medida dimensional	-	Visor	-	-
<b>H</b>	Comando Manual ( <i>Hand</i> )	-	-	-	-
<b>I</b>	Corrente Elétrica	-	Indicador	-	-
<b>J</b>	Potência	Varredura ou seletor	-	-	-
<b>L</b>	Nível ( <i>Level</i> )	-	Lâmpada piloto	-	-
<b>M</b>	Umidade ( <i>Moisture</i> )	-	-	-	-
<b>N</b>	Indefinida	-	Indefinida	Indefinida	Indefinida
<b>O</b>	Indefinida	-	Orifício de restrição	-	-
<b>P</b>	Pressão ou Vácuo	-	Ponto de teste	-	-
<b>Q</b>	Quantidade ou Evento	Integrador ou totalizador	-	-	-
<b>R</b>	Radioatividade	-	Registrador ou Impressor	-	-
<b>S</b>	Velocidade ou freqüência ( <i>Speed</i> )	Segurança	-	Chave	-
<b>T</b>	Temperatura	-	-	Transmissor	-
<b>U</b>	Multivariável	-	Multifunção	Multifunção	Multifunção
<b>V</b>	Viscosidade	-	-	Válvula	-
<b>W</b>	Peso ou Força ( <i>weigh</i> )	-	Poço	-	-
<b>X</b>	Não classificada	-	Não classificada	Não classificada	Não classificada
<b>Y</b>	Indefinida	-	-	Relé ou computação	-
<b>Z</b>	Posição	-	-	Elemento final de controle não classificado	-

Fonte: Bega (2006)

Na figura acima é apresentada a tabela de referência da norma ISA pertinente, que foi utilizada para a adoção dos *tag's* dos instrumentos de medição e monitoramento.

Inicialmente, estaremos apresentando as etapas da produção em uma figura com um fluxograma de blocos simplificado referente ao processo da soja na planta de extração de óleo.

Figura 20 – Fluxograma de Blocos do processo da Soja.



Fonte: Elaborada pelo autor.

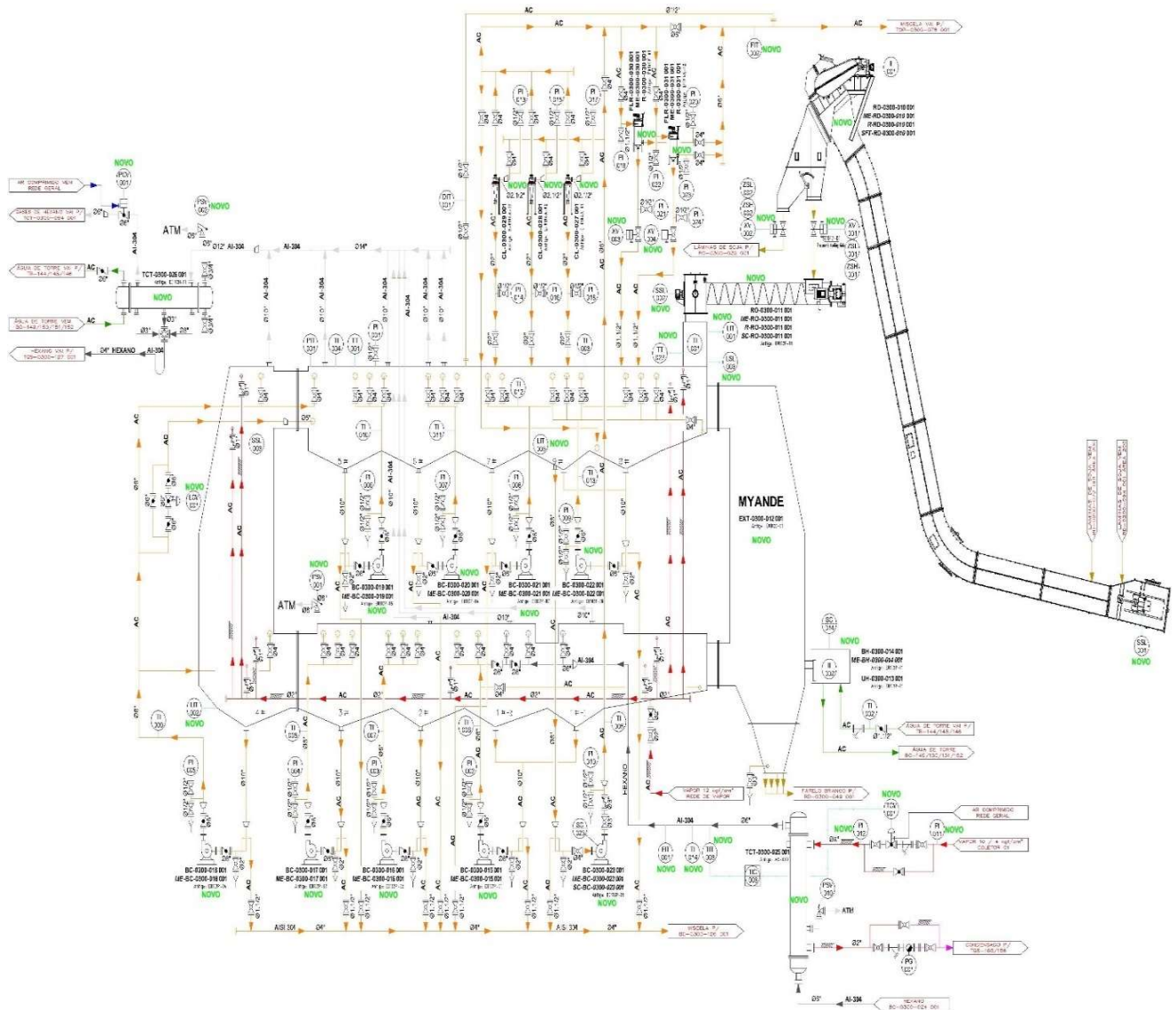
Na figura acima, podemos observar que a empresa estudada possui um sistema de cogeração de energia, a qual fornece energia elétrica e também os vapores de água necessários para o aquecimento da planta e geração de vácuo. A matéria prima do extrator, as lâminas de soja, provem do setor de Preparação de Grãos, após ser secada, quebrada e laminada, este último processo ocorrendo nos laminadores, cada um com capacidade máxima de 500 toneladas por dia cada. O ácido graxo é proveniente de um reprocesso, assim como o óleo mineral. O hexano (solvente) é descarregado dos caminhões e estocado em um tanque de armazenagem.

Após o processo, tem-se origem o óleo degomado que é estocado em um tanque de armazenagem. O farelo, que é tostado e secado no DTSR, a casca (proteína) é armazenada em um barracão, e a goma, que é enviada ao DTSR para adição no farelo e, por fim, a Lecitina, que

é secada em um secador centrífugo e posteriormente armazenada e vendida para indústrias alimentícias para fabricação de balas, chocolates e pães.

A seguir está o Fluxograma P&ID final do Extrator de Óleo:

Figura 21 – Fluxograma P&ID final do Extrator.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para ver a com mais detalhes, assim como as legendas do fluxograma, ver Anexo A.

Ao analisarmos o Fluxograma P&ID, verificamos que as lâminas de soja vêm do setor da Preparação de Grãos por meio do Redler transportador RD-0300-010, e passam pela válvula gaveta XV-001 para cair na rosca de alimentação RO-0300-011, que deposita as lâminas no interior do Extrator EXT-0300-012. A bomba Hidráulica BH-0300-014 acionada por inversor de frequência é responsável pela movimentação da corrente raspadora interna ao Extrator. No interior do EXT-0300-012 são feitos os banhos da massa pela mistura miscela/hexano por meio das bombas centrífugas BC-0300-015 até a BC-0300-022. A bomba centrífuga BC-0300-023 é responsável por retirar parte da massa líquida e enviá-la ao processo de evaporação. Após

percorrer os níveis superior e inferior do Extrator, as lâminas de soja, já em forma de farelo branco, são retiradas pelo Redler transportador RD-0300-049. Podemos verificar a necessidade de medição por transmissores de nível, pressão, vazão, densidade, temperatura e corrente elétrica, além disso, é necessário o monitoramento de movimento, por meio de sensores de velocidade baixa, e de nível de produto, por meio de chave de nível. Também verificamos a presença de válvulas proporcionais e três válvulas *ON/OFF*.

O Extrator percolador deste estudo tem capacidade produtiva de extração de óleo de 2000 toneladas de soja por dia e é fabricado pela chinesa Myande Group. Além disso, tem dimensões de 2777x557x1212cm (comprimento x largura x altura) e peso aproximado de 138 toneladas.

### 3.2 Base de Dados

#### 3.2.1 Hardware

Ao recebermos o fluxograma final do setor de projetos, foi primeiramente elaborado uma lista de variáveis a serem medidas por meio de instrumentos de medição e monitoramento, em especial os transmissores, pois demandam maior tempo no processo de aquisição (prazo de entrega mais elevado) e deve ser levantada a necessidade do hardware (CLP e barreiras intrínsecas) necessário para ser feita a integração dos transmissores com o supervisor.

Na sequência, foi elaborado uma lista de transmissores e também a necessidade de hardware de expansão do CLP para atender os novos equipamentos, sendo estas *IO's* necessárias para realizar a integração da instrumentação com o software. As tabelas abaixo foram elaboradas para fins de organização e planejamento:

Tabela 4 – Lista de *IO's* Instrumentação

Tag; Descrição	AI	AO	DI	DO
LIT-001; Transmissor Indicador de Nível	1			
PIT-001; Transmissor Indicador de Pressão	1			
FIT-001; Transmissor Indicador de Vazão	1			
DIT-001; Transmissor Indicador de Densidade	1			
TT-001; Transmissor de Temperatura	1			
LIT-002; Transmissor Indicador de Nível	1			
II-002; Indicador de Corrente	1			
FIT-002; Transmissor Indicador de Vazão	1			
TIT-003; Transmissor Indicador de Temperatura	1			
TIT-027; Transmissor Indicador de Temperatura	1			
SSL-002; Sensor de Velocidade Baixa			1	
SSL-003; Sensor de Velocidade Baixa			1	
LSL-003; Sensor de Nível Baixo			1	
XV-001; Válvula ON/OFF			2	1
XV-003; Válvula ON/OFF			2	1
XV-004; Válvula ON/OFF			2	1
TCV-001; Válvula de Controle de Temperatura		1		
PCV-001; Válvula de Controle de Pressão		1		
LCV-001; Válvula de Controle de Nível		1		
<b>Total:</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>3</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 5 – Lista de IO's Acionamentos

Tag; Descrição	AI	AO	DI	DO
RO-011; Rosca			1	1
BH-014; Bomba Hidráulica		1	1	1
BC-015; Bomba Centrífuga			1	1
BC-016; Bomba Centrífuga			1	1
BC-017; Bomba Centrífuga			1	1
BC-018; Bomba Centrífuga			1	1
BC-019; Bomba Centrífuga			1	1
BC-020; Bomba Centrífuga			1	1
BC-021; Bomba Centrífuga			1	1
BC-022; Bomba Centrífuga			1	1
BC-023; Bomba Centrífuga		1	1	1
FLR-030; Filtro de Limpeza Rotativo			1	1
FLR-031; Filtro de Limpeza Rotativo			1	1
<b>Total:</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>13</b>	<b>13</b>

Fonte: Elaborada pelo Autor

Podemos verificar a necessidade total de dez entradas analógicas para suprir a demanda de transmissores, cinco saídas analógicas para atender a ligação de três válvulas proporcionais e dois acionamentos por inversor de frequência, vinte e duas entradas digitais, sendo nove para instrumentação (três para sensores e seis para válvulas *ON/OFF*) e treze para acionamentos, e por fim, dezesseis saídas digitais, sendo três para instrumentação e treze para acionamentos.

### 3.3 Materiais Utilizados

Para realizarmos o projeto e implementação de um sistema automatizado, principalmente em indústrias de grande porte, é necessário utilizar dispositivos confiáveis e de qualidade. Para isso, nas próximas seções, serão descritos os principais equipamentos utilizados e suas características.

#### 3.3.1 Controlador

O CLP em que é feita a integração de toda a instrumentação da planta é um controlador lógico programável da fabricante Rockwell, modelo CompactLogix 1769-L33ER. Na figura 22, podemos vislumbrar o modelo de CLP utilizado.

Figura 22 – CLP CompactLogix 1769-L33ER.



Fonte: PLC Hardware (2021).

As principais características do CompactLogix L33ER são:

- Portas de rede Ethernet/IP incorporadas duplas com suporte à arquitetura de rede em anel;
- 2 Megabytes de memória do usuário;
- Suporte à trinta e duas tarefas de controle principais com mil programas cada na programação;
- Capacidade de dezesseis módulos de IO's locais ou até dezesseis módulos remotos;
- Integração à rede DeviceNet via módulo adaptador 1769-SDN;
- Conexão USB exclusiva para programação e atualização de firmware.

### 3.3.2 Cartões de IO

Em anexo ao controlador, está inserido um adaptador de rede DeviceNet Rockwell modelo 1769-SDN, à fim de comunicar o CLP com os módulos remotos. Desta forma, economiza-se conexões da arquitetura porquê conta-se apenas uma conexão de cada adaptador DeviceNet presente nas remotas, sendo possível conectar até 15 remotas com suporte de 64 cartões de IO's cada (total de 960 cartões), de modo que se a arquitetura fosse feita no bastidor local, poderíamos ter apenas 15 cartões (de modo que uma conexão se contabiliza para o CLP).

Nos bastidores remotos foi realizada a inserção dos seguintes cartões para realizar a expansão da arquitetura, de modo que seja ampliada para atender as listas de IO's elaboradas nas tabelas 4 e 5:

- Três cartões de quatro entradas analógicas de sinal 4 à 20mA da marca Wago, modelo 750-455, que trabalham com uma resolução de 12 bits, com escala de 0 para a entrada de 4mA até o máximo valor de 4095, representando uma entrada de 20mA.

- Dois cartões de quatro saídas analógicas 4 à 20mA da marca Wago, modelo 750-555, que trabalham com resolução de 15 bits, com o valor 0 escalonado para a saída de 4mA até o máximo valor de 32767, reproduzindo uma saída de 20mA.

- Três cartões de oito entradas digitais 24Vcc da marca Wago, modelo 750-430, ligados na configuração *sink*, necessários para o monitoramento de estado dos motores, válvulas ON/OFF e sensores digitais.

- Dois cartões de oito saídas digitais 24Vcc da marca Wago, modelo 750-530, ligados na configuração *source*, necessários para o acionamento de motores e válvulas ON/OFF.

A comunicação das remotas com o CLP (bastidor local) é feita por meio de três adaptadores DeviceNet da marca Wago, modelo 750-306.

### 3.3.3 Barreiras Intrínsecas

A seguir, foi feito o levantamento das barreiras intrínsecas necessárias para atender a ligação dos transmissores, sendo necessárias para a adequação da instalação para que a mesma se torne intrinsecamente segura, no padrão internacional Ex i, de forma que a energia liberada à campo não seja capaz de provocar arco elétrico, seja ele causado por curto-circuito ou qualquer outra falha que possa vir a acarretar a ignição de uma mistura explosiva que pode ocorrer na atmosfera devido aos gases do hexano.

As barreiras intrínsecas que foram utilizadas são barreiras ativas, com isolamento galvânico, que além de permitirem o processamento dos sinais, analógicos 4 à 20mA e digitais 24Vcc, também alimentam os circuitos na saída, fornecendo a tensão necessária para a ligação dos transmissores. As quantidades, especificações e configurações das barreiras intrínsecas utilizadas estão apresentadas a seguir:

- Cinco unidades de barreiras de entrada analógica duplo canal da marca Pepperl Fuchs modelo KFD2-STC4-Ex2, necessárias para atender a ligação dos nove transmissores. A figura 23 demonstra a barreira (23.1) e também o esquemático de ligação (23.2) utilizado para ligar os transmissores na mesma:

Figura 23 – Barreira de Entrada Analógica.



Figura 23.1

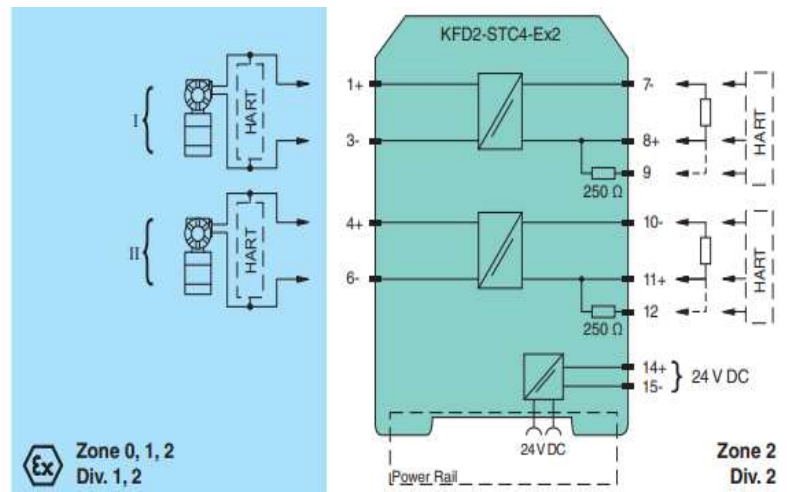


Figura 23.2

Fonte: Elaborada pelo autor.

A barreira acima fornece a possibilidade de ligação de dois transmissores de campo de ligação à dois fios com sinal 4 à 20mA dentro da zona de atmosfera explosiva por meio de dois canais, o primeiro nos terminais 1 (+) e 3 (-) e o segundo nos terminais 4 (+) e 6 (-), replicando os seus respectivos sinais para o cartão de entrada analógica, por meio dos terminais 7 (-) e 8 (+) para o primeiro canal, e dos terminais 10 (-) e 11 (+), para o segundo canal. A alimentação das barreiras é feita por uma segunda barreira Pepperl Fuchs modelo KFD2-EB2 que se utiliza de um trilho de alimentação e fixação (semelhante a um trilho DIN) instalado na parte inferior da mesma para alimentar as barreiras instaladas no trilho, fazendo com que a arquitetura final seja de aparência de um *rack* de barreiras.

- Duas unidades de barreiras de saída analógica duplo canal da marca Pepperl Fuchs modelo KFD2-SCD2-Ex2.LK, utilizadas para atender a demanda de três válvulas proporcionais. A figura 24 demonstra a barreira (24.1) e o esquema de ligação (24.2):

Figura 24 – Barreira de Saída Analógica.



Figura 24.1

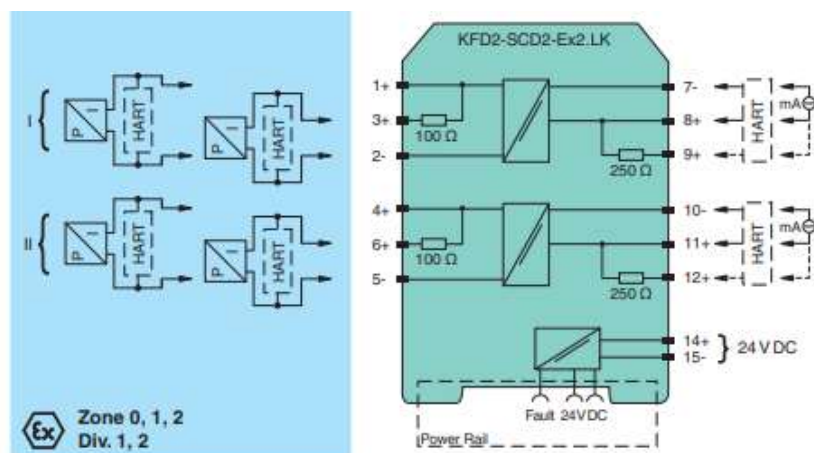


Figura 24.2

Fonte: Elaborada pelo autor.

As barreiras de saída analógica acima são alimentadas da mesma forma que as barreiras de entrada analógica, por meio do trilho de alimentação e fixação. O primeiro canal, utilizado para a primeira válvula proporcional sem protocolo HART, é ligado nos terminais 1 (+) e 2 (-), enquanto que a segunda válvula, no segundo canal, é ligada nos terminais 4 (+) e 5 (-). Ao contrário da barreira de entrada analógica, esta barreira recebe o sinal 4 à 20mA do cartão de saída analógica do CLP, por meio de dois canais, o primeiro é ligado nos terminais 7 (-) e 8 (+), e o segundo nos terminais 10 (-) e 11 (+).

- Cinco unidades de barreiras de entrada digital duplo canal da marca Pepperl Fuchs modelo KFD2-SOT2-Ex2, necessárias para atender a demanda de ligação dos sensores de posição de três válvulas ON/OFF e três sensores digitais. A figura 25 demonstra a barreira (25.1) e a ligação da mesma (25.2):

Figura 25 – Barreira de Entrada Digital.



Figura 25.1

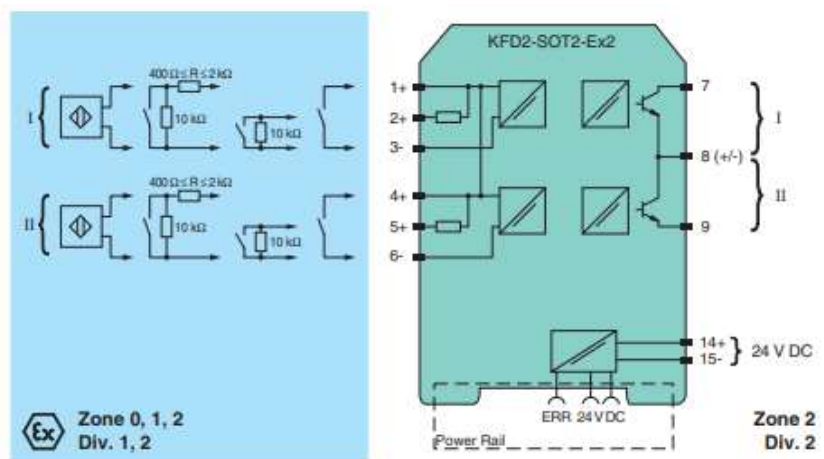


Figura 25.2

Fonte: Elaborada pelo autor.

A barreira acima é utilizada para a ligação de dois sinais digitais, sejam eles de contato seco ou de sinal NAMUR. Da mesma forma que as barreiras de entrada e saída analógica, as barreiras de entrada digital são alimentadas pelo trilho de alimentação e fixação. A ligação dos sensores de posição das válvulas ON/OFF (contato seco/*micro-switches*) são feitas por meio dos terminais 1 (+) e 3 (-) ou 4 (+) e 6 (-) e dos demais sensores são feitos pelos terminais 2 (+) e 3 (-) ou 5 (+) e 6 (-). É necessário a ligação de um condutor com tensão de referência, neste caso +24Vcc, no terminal 8 da barreira, pois quando a mesma identifica a alteração no estado do canal de entrada (previamente configurado por meio de switches), altera seu estado lógico, fazendo com que a tensão de +24Vcc seja enviada ao cartão de entrada digital do CLP.

- Três unidades de barreiras de saída digital canal simples da marca Pepperl Fuchs modelo KFD2-SL2-Ex1.LK, utilizadas para atender a ligação dos solenoides de três válvulas ON/OFF. A figura 26 demonstra a barreira (26.1) e a sua respectiva ligação (26.2):

Figura 26 – Barreira de Saída Digital.



Figura 26.1

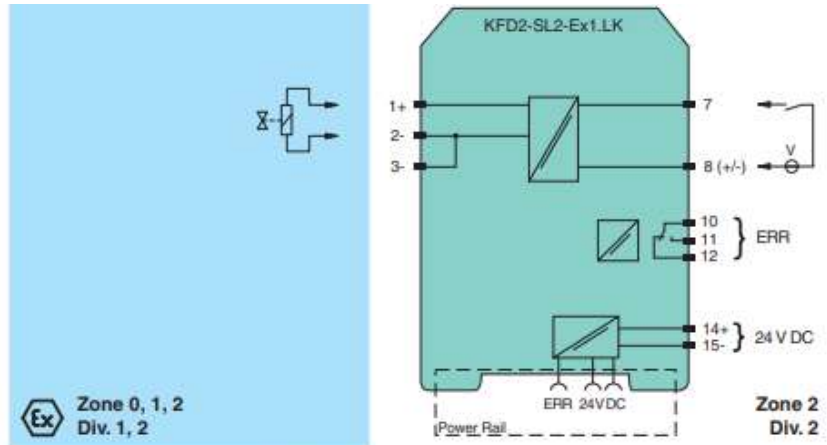


Figura 26.2

Fonte: Elaborada pelo autor.

A barreira de saída digital, que diferente das demais possui apenas um canal, foi utilizada para a ligação de três solenoides. Da mesma forma que as demais barreiras, a alimentação desta também é feita por meio do trilho de alimentação e fixação. A ligação dos solenoides é realizada nos terminais 1 (+) e 2 (-). A barreira detecta a alteração do estado lógico existente (previamente configurado por meio de switches) entre os terminais 7 e 8, e faz com que o canal de saída da mesma seja acionado. Como esta é uma barreira de saída, a comutação do sinal é feita a partir do cartão de saída digital do CLP, que quando atua, faz com que o canal de saída da barreira seja acionado.

### 3.3.4 Instrumentação

Para a instrumentação digital, os transmissores, foi elaborada uma tabela com os *tag's* dos instrumentos, especificando princípio de medição e suas demais características.

Figura 27 – Tabela de características dos Instrumentos.

TAG	NOME DO INSTRUMENTO	PRINCÍPIO DE MEDIÇÃO	FABRICANTE	MODELO	RANGE	EXATIDÃO	RESOLUÇÃO	FAIXA DE TRABALHO	UNIDADE
<b>Transmissor Indicador de Pressão</b>									
PIT-0300-001	Transmissor Indicador de Pressão	Medição de Pressão com Sensor Capacitivo	ENDRESS HAUSER	CERABAR M PMP51	-1000 à 1000	±0,05% F.E.	0,01	-50 à 50	mmH2O
<b>Transmissor de Temperatura</b>									
TT-0300-001	Transmissor de Temperatura	Sensor de Temperatura Pt-100	ROSEMOUNT	PT100_385 4 FIOS	0 à 200	±0,1 % V.M	0,01	50 à 80	°C
TT-0300-027	Transmissor de Temperatura	Sensor de Temperatura Pt-100	E+H	TR88-PG1E1X2LA000	0 à 150	±0,1 % V.M	0,01	35...80	°C
TT-0300-003	Transmissor de Temperatura	Sensor de Temperatura Pt-100	E+H	TR88-PG1E1X2LA000	0 à 200	±0,1% V.M	0,01	75...120	°C
<b>Transmissor de Nível</b>									
LIT-0300-001	Transmissor Indicador de Nível	Sensor de Nível Ultrassônico	VEGA	VEGAPULS PS69	0 à 3,05	± 0,1 % F.E	0,01	0,7 à 1,4	m
LIT-0300-002	Transmissor Indicador de Nível	Medição de Nível com Sensor de Pressão Capacitivo	ENDRESS HAUSER	DELTABAR S PMD75	0 à 700	± 0,1 % F.E	0,01	350 à 550	mmH2O
LIT-0300-003	Transmissor Indicador de Nível	Medição de Nível com Sensor de Pressão Capacitivo	ENDRESS HAUSER	DELTABAR S PMD75	0 à 850	± 0,1 % F.E	0,01	450 à 650	mmH2O
<b>Transmissor Indicador de Vazão</b>									
FIT-0300-001	Transmissor Indicador de Vazão	Medidor de Vazão Vórtex	ENDRESS HAUSER	PROWIRL 200	0 à 200	± 0,25% F.E.	0,01	60 à 120	m³/h
FIT-0300-002	Transmissor Indicador de Vazão	Medidor de Vazão Vórtex	ENDRESS HAUSER	PROWIRL 200	0 à 150	± 0,25% F.E.	0,01	60 à 120	m³/h
<b>Indicador de Corrente</b>									
I-0300-002	Indicador de Corrente	Saída Analógica do Inversor de Frequência	WEG	CFW-11	0 à 70	± 1% F.E.	0,01	15 à 35	A

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na tabela da figura 27, foi elaborada uma lista das características principais dos transmissores que foram utilizados na automação do Extrator, entre elas o princípio de medição, fabricante, modelo, o range de medição, a exatidão do instrumento, onde % F.E. refere-se à exatidão em relação ao fundo de escala e % V.M. refere-se à exatidão em relação ao valor medido, faixa de trabalho prevista em projeto e a unidade de medição de cada instrumento.

É importante citar que todos os transmissores possuem como sinal de comunicação o sinal de corrente contínua 4 à 20mA à dois fios e alimentação 24Vcc, com suporte ao protocolo HART, e no caso do indicador de corrente II-0300-002, foi utilizada a saída analógica de corrente 4 à 20mA do drive de acionamento (um inversor WEG modelo CFW-11) da bomba hidráulica BH-0300-014 para ser feita a medição e monitoramento da corrente da mesma.

### 3.4 Levantamento Econômico

Quando nos deparamos com projetos de automação, é bastante comum ser requerido, por parte da direção das empresas, levantamentos prévios de valores, para que se tenha uma noção de quanto capital será necessário investir em determinada área do projeto, pois nos dias atuais a variação de preços acontece frequentemente. Assim sendo, foi elaborada uma tabela de levantamento econômico, com os valores atualizados do primeiro semestre do ano de 2021, de todos os equipamentos que foram necessários para atender ao projeto de automação do Extrator, desde os cartões de IO's, barreiras intrínsecas, transmissores e acessórios.

Tabela 6 – Levantamento Econômico do Projeto de Automação.

ITEM	PÇS	VALOR	TOTAL
<b>Cartões de IO:</b>			
Cartão de Entrada Analógica WAGO 750-455 4 à 20mA	3	R\$ 2.142,59	R\$ 6.427,77
Cartão de Saída Analógica WAGO 750-555 4 à 20mA	2	R\$ 2.088,52	R\$ 4.177,04
Cartão de Entrada Digital 750-430 24Vcc Wago	3	R\$ 1.008,65	R\$ 3.025,95
Cartão de Saída Digital 750-530 24Vcc Wago	2	R\$ 682,89	R\$ 1.365,78
<b>Barreiras Intrínsecas:</b>			
Barreira de Entrada Analógica Duplo Canal KFD2-STC4-Ex-2	5	R\$ 2.237,00	R\$ 11.185,00
Barreira de Saída Analógica Duplo Canal KFD2-SCD2-Ex-2.LK	2	R\$ 2.310,00	R\$ 4.620,00
Barreira de Entrada Digital Duplo Canal KFD2-SOT2-Ex2	5	R\$ 1.068,00	R\$ 5.340,00
Barreira de Saída Digital Simples Canal KFD2-SL2-Ex1.LK	3	R\$ 1.237,00	R\$ 3.711,00
<b>Transmissores:</b>			
Transmissor de Pressão	1	R\$ 4.075,47	R\$ 4.075,47
Transmissor de Temperatura	3	R\$ 4.913,17	R\$ 14.739,51
Transmissor de Nível Ultrassônico	1	R\$ 23.548,88	R\$ 23.548,88
Transmissor de Nível por Pressão	2	R\$ 3.790,19	R\$ 7.580,38
Transmissor de Vazão Vórtex	2	R\$ 13.621,26	R\$ 27.242,52
<b>Acessórios:</b>			
Poço de Proteção para Transmissor de Temperatura	3	R\$ 272,90	R\$ 818,70
<b>TOTAL:</b>			<b>R\$ 117.039,30</b>

Fonte: Elaborada pelo Autor

### 3.5 Programação do CLP

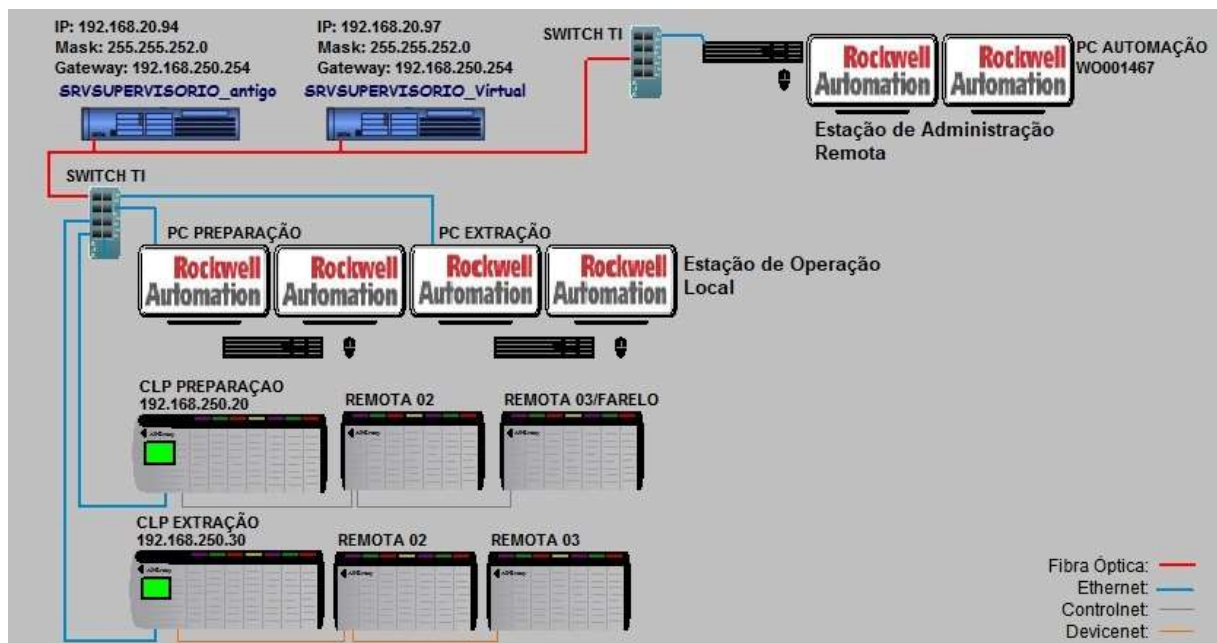
A programação do CLP CompactLogix 1769-L33ER foi feita no ambiente PlantPAX (máquina virtual baseada em Windows), da fabricante Rockwell Automation, designado pela mesma como um Controlador de Processo e Automação, que o criou com a finalidade de padronizar a programação dos controladores por ela fabricada, de modo que a programação e configuração seja semelhante nas plantas e processos ao redor do planeta.

O PlantPAX engloba todos os softwares utilizados na programação do controlador, como o BOOTP/DHCP, utilizado para configurar o IP do controlador, o RS Linx Classic, utilizado para a montagem da arquitetura de rede dos controladores de automação e também para fazer o *link* do controlador com o editor da interface do supervisor, além do software Studio 5000 Logix Designer, utilizado para a programação em si das rotinas do CLP.

Por meio do software Rockwell BOOTP-DHCP é feita a configuração do IP do CLP, que neste caso é utilizado o endereço da rede Ethernet/IP 192.168.250.30, inserido na rede e servidor de automação da empresa. A seguir, é utilizado o software RS Linx Classic para a confirmação e identificação do controlador na arquitetura de rede, de modo que é necessário a correta especificação de qual controlador presente queremos entrar *online* e programar.

A seguir, na figura 28, podemos verificar a arquitetura de rede do servidor de Automação da empresa:

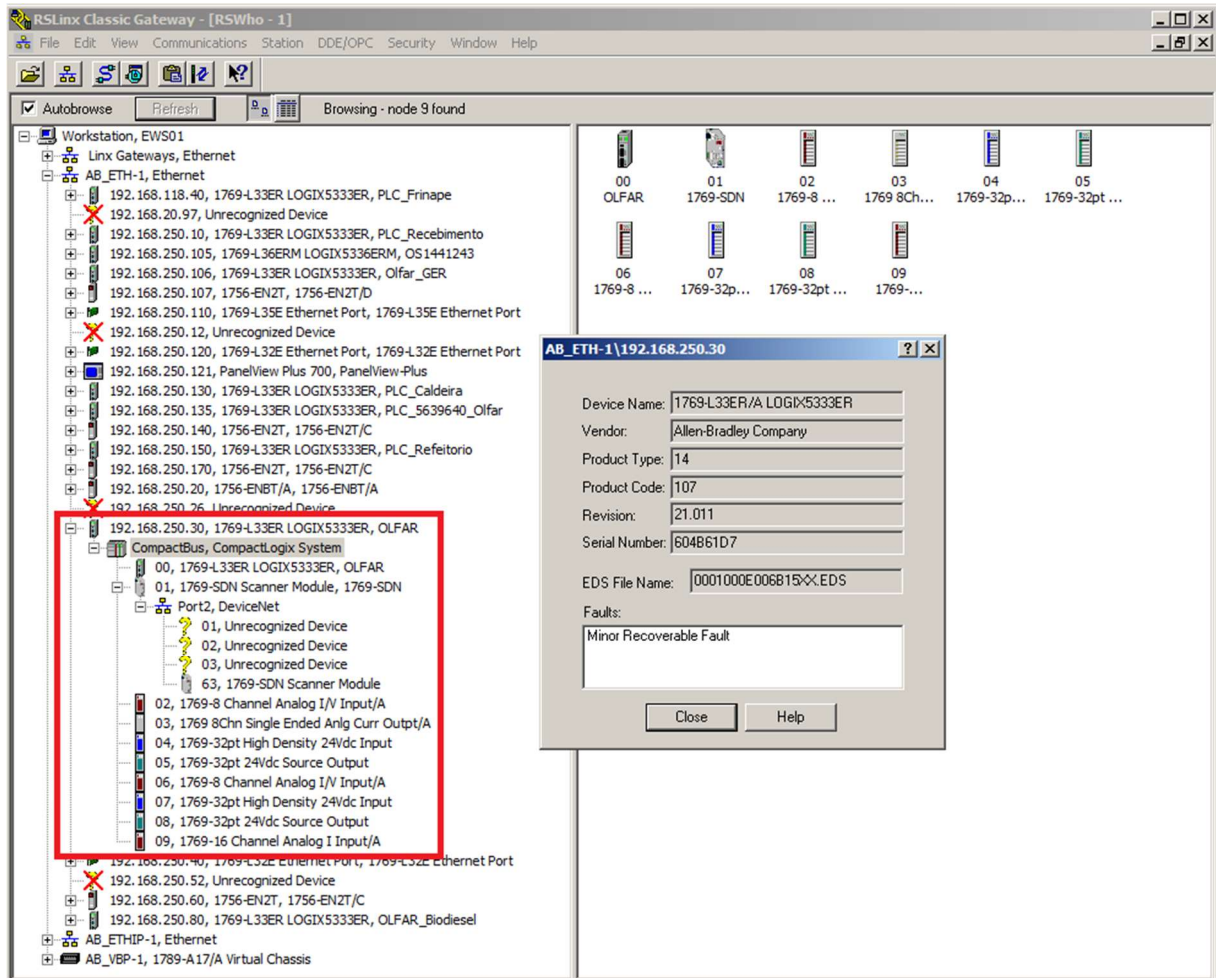
Figura 28 – Arquitetura de rede do servidor de Automação.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Podemos verificar, na figura 29, por meio do software RS Linx Classic, o CLP na arquitetura da rede de CLP's do servidor da empresa. Após isto, podemos fazer o *download* de um novo programa para o CLP ou criar as novas rotinas *online* sem a necessidade de interrupção do funcionamento do controlador e consequentemente a parada da operação da planta.

Figura 29 – Identificação do CLP na arquitetura da rede de CLP's no servidor.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Atualmente, podemos programar as rotinas dos CLP's Rockwell em quatro linguagens distintas de programação: Diagrama Ladder, *Sequential Function Chart* (Sequenciamento Gráfico de Funções - SFC), o Texto Estruturado e, finalmente, o *Function Block Diagram* (Diagrama de Blocos de Funções - FBD).

A programação do CLP foi realizada no software Studio 5000 Logix Designer e, para que possamos programar em nossa linguagem preferida, deve-se informar o fabricante, no momento da aquisição do CLP, em quais linguagens de programação desejamos trabalhar, para que o *firmware* do controlador venha com a versão correta e tenha as linguagens solicitadas liberadas.

Para a programação das rotinas da automação proposta no presente estudo, foi utilizada, em sua grande maioria, a linguagem de Diagrama de Blocos de Funções (FBD), que possui amplo suporte e desenvolvimento avançado frente às demais. Os blocos de função utilizados são disponibilizados pela fabricante do controlador, e as lógicas de programação que foram desenvolvidas, assim como a demonstração das mesmas encontram-se disponíveis no apêndice A.

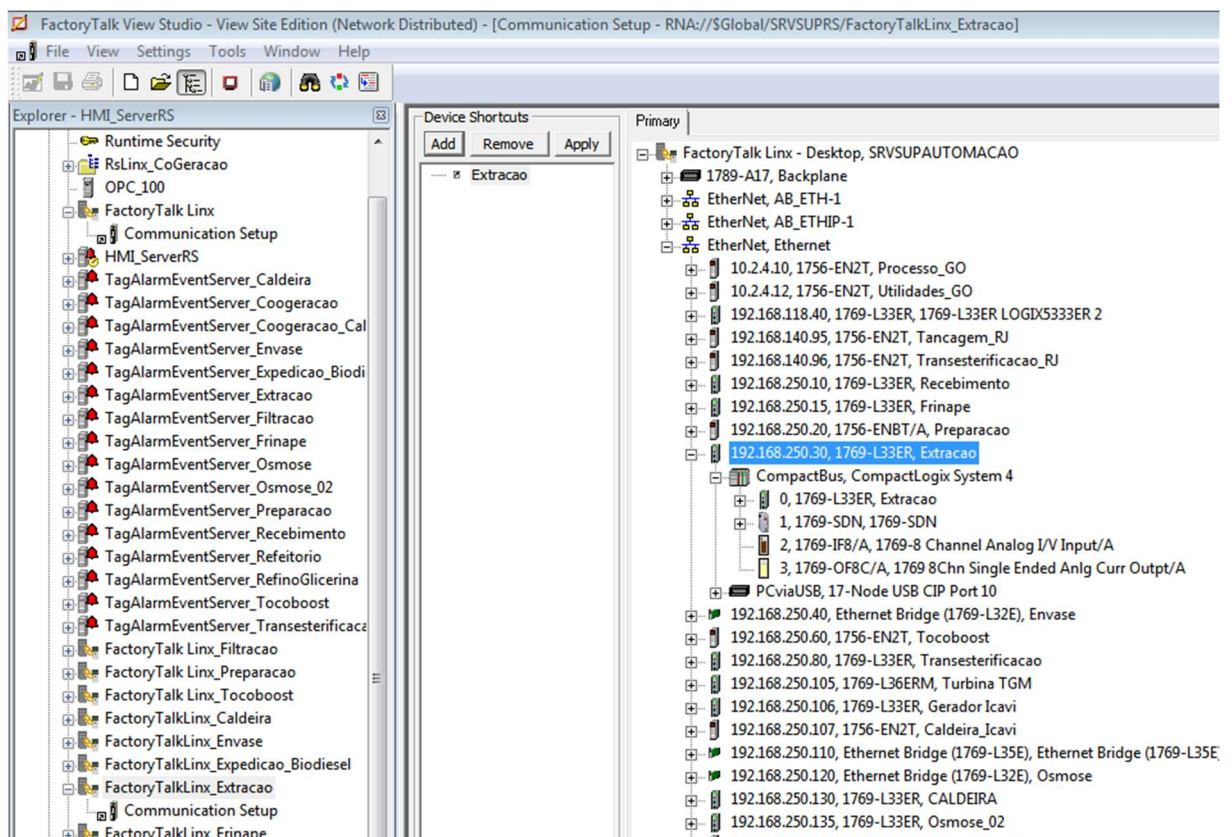
### 3.6 Telas do Supervisório

Para atender aos requisitos do projeto de automação proposto e apresentar em uma IHM (tela do computador) os dados de processo e operação, é necessário desenvolver o fluxograma da figura 21 de uma forma que seja intuitivo aos operadores, que o processo seja funcional e automático, além de ser seguro quanto da sua operação automática. Para isto, foi desenvolvida uma tela específica do Extrator dentro do supervisório da planta de Extração.

O software escolhido para o desenvolvimento da tela de operação do Extrator é o FactoryTalk View Studio, da fabricante Rockwell Automation, que possui bibliotecas gráficas de processo pré-configuradas com animações, *faceplates*, objetos globais e padrões desenvolvidos para operarem em conjunto com os blocos de funções dos CLP's Rockwell.

É no software FactoryTalk View Studio que devemos fazer a configuração de um “indicador” para o CLP desejado. Este “indicador” tem como meio de campo o software RS Linx, que faz a comunicação do FactoryTalk View Studio com o programa do CLP e suas *tag's* configuradas no software Studio 5000 Logix Designer. A seguir, na figura 30, é mostrado o local no software onde é feita a configuração da comunicação do FactoryTalk View Studio com o Studio 5000 Logix Designer por meio do RS Linx.

Figura 30 – Comunicação CLP x Supervisório por meio do RS Linx.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após o desenvolvimento das telas, é necessário executar a tarefa criada com o auxílio do software Rockwell FactoryTalk View SE Client (Site Edition), utilizado para rodar o software supervisório em computadores.

### **3.7 Desenvolvimento e Aplicação dos Blocos de Controle PID**

A aplicação dos controles PID's é feita por meio dos blocos de função FBD's nomeados como "Controle\_PID" e são fornecidos pela fabricante Rockwell Automation e podem ser baixados no site da mesma para a utilização destes em seus CLP's. Os mesmos se encontram disponíveis para visualização no *Apêndice A.1 – Blocos de Função*.

Os controles PID's foram aplicados em quatro pontos do processo: controle de nível de lâminas de soja (LIC-0300-001), controle de nível de hexano (LIC-0300-002), controle de nível de miscela (LIC-0300-003) e controle da pressão interna do Extrator (PIC-0300-001) e a apresentação de seus resultados encontram-se no item 4.5 e nos seus sub-itens.

### **3.8 Desenvolvimento do Histórico de Alarmes**

Para o desenvolvimento do histórico de alarmes foi utilizado o software FactoryTalk View Studio. Este histórico de alarmes encontra-se instalado no supervisório para quando ocorrer algum valor anormal de variáveis do processo, registrar a hora e também o valor da variável no instante em que ocorreu a falha. A apresentação do mesmo encontra-se no item 4.6.

### **3.9 Desenvolvimento da Relação Hexano x Soja**

Este ponto do projeto envolveu diretamente as funções específicas do FactoryTalk View Studio, pois foi necessário o uso de uma nova função disponível na biblioteca do mesmo, a função "Numeric Display Properties" e o seu desenvolvimento, assim como a apresentação do resultado desta relação encontra-se no item 4.7.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo tem por objetivo descrever os resultados obtidos a partir dos procedimentos adotados durante o desenvolvimento do estudo e dos procedimentos metodológicos que foram abordados. A primeira seção foi utilizada para caracterizar as telas de operação que foram desenvolvidas para o Sistema Supervisório e descrever as suas aplicações. A segunda seção foi utilizada para explicar todo o hardware: a montagem e programação do CLP, montagem das barreiras intrínsecas e a configuração dos transmissores. Na terceira e última seção desse capítulo, foram realizados testes de funcionamento em simulação utilizando uma bancada de treinamento e uma estação de administração e, por fim, testes de funcionamento e operação da automação do Extrator.

Para a realização dessas três etapas, é preciso, primeiramente, ter conosco que foram convertidos os valores lidos pelos cartões de entrada analógica do CLP, com 12 bits de informação, utilizando-se de proporção direta, em unidades de engenharia. Esta conversão é feita internamente, no bloco de entrada analógica do CLP com posterior configuração dentro dos *faceplates*.

Para fins de organização, foi desenvolvida uma tabela, com os valores dos *ranges* dos instrumentos a ser lido pelo supervisório em unidades de engenharia.

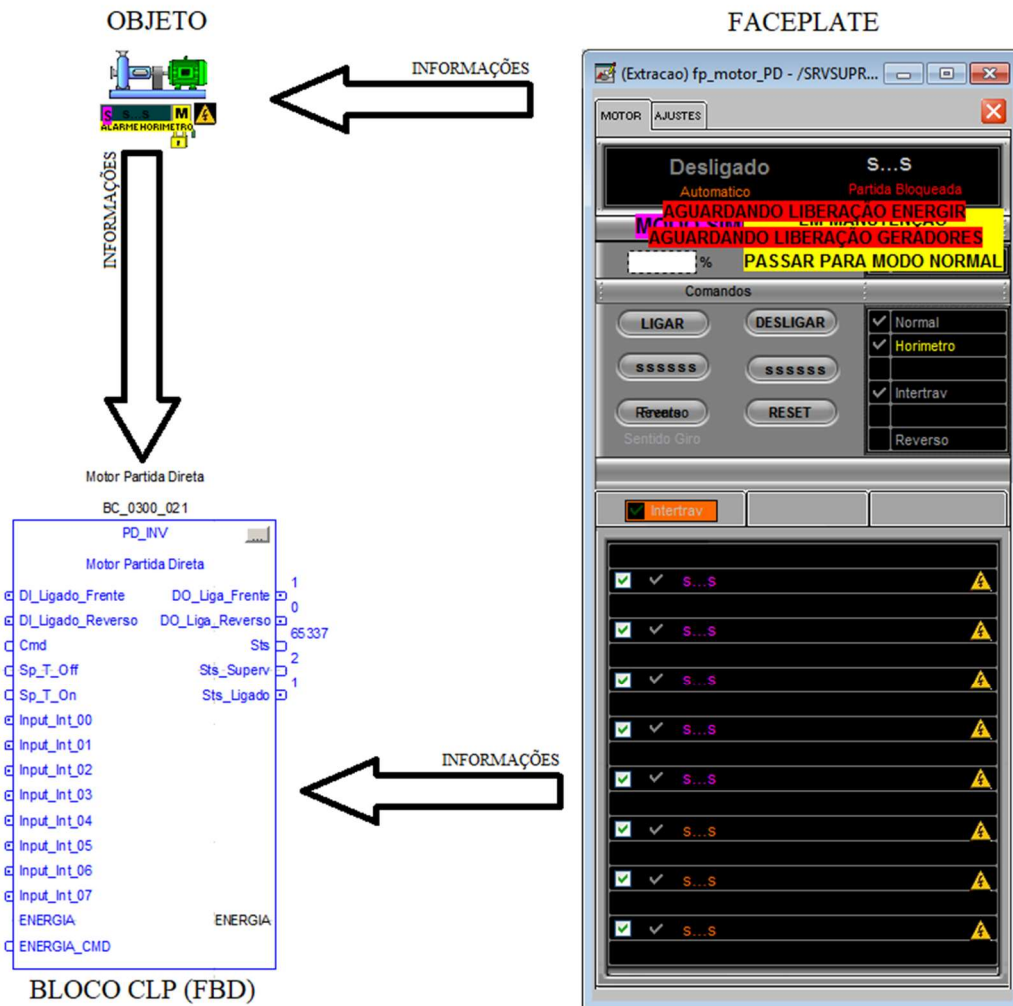
Tabela 7 – Conversão valores de entrada analógica em unidades de engenharia.

TAG:	ENTRADA MÍNIMA (4mA)	ENTRADA MÁXIMA (20mA)	UNIDADE DE ENGENHARIA MÍNIMA	UNIDADE DE ENGENHARIA MÁXIMA	UNIDADE
FIT-0300-001	0	4095	0	200	m <sup>3</sup>
LIT-0300-001	0	4095	0	100	%
PIT-0300-001	0	4095	-50	50	mmH <sub>2</sub> O
TT-0300-001	0	4095	0	200	°C
FIT-0300-002	0	4095	0	150	m <sup>3</sup>
II-0300-002	0	4095	0	70	A
LIT-0300-002	0	4095	0	100	%
LIT-0300-003	0	4095	0	100	%
TT-0300-003	0	4095	0	200	°C
TT-0300-027	0	4095	0	150	°C

Fonte: Elaborada pelo Autor

Na figura abaixo está sendo feita uma contextualização do conjunto *faceplate*, objeto e bloco do CLP (FBD), onde as setas indicam o fluxo de informações que são distribuídas partindo de dentro do software supervisório, informações estas que são lançadas por meio de comandos dos operadores, para operação da planta, ou por meio de configurações feitas pela equipe de engenharia responsável. Estas configurações tem de ser feitas em todos os blocos para o seu correto funcionamento.

Figura 31 – Conjunto *faceplate*, objeto e bloco – *faceplate* motor.



Fonte: Elaborada pelo autor.

## 4.1 Telas do Supervisório

As telas do supervisório, para fins de literatura e melhor organização, foram divididas em duas categorias: telas de operação e telas gráficas.

Nas próximas seções serão explanadas o desenvolvimento das mesmas e as suas respectivas funções perante à acessibilidade, funcionalidade e operabilidade da planta.

### 4.1.1 Telas de Operação

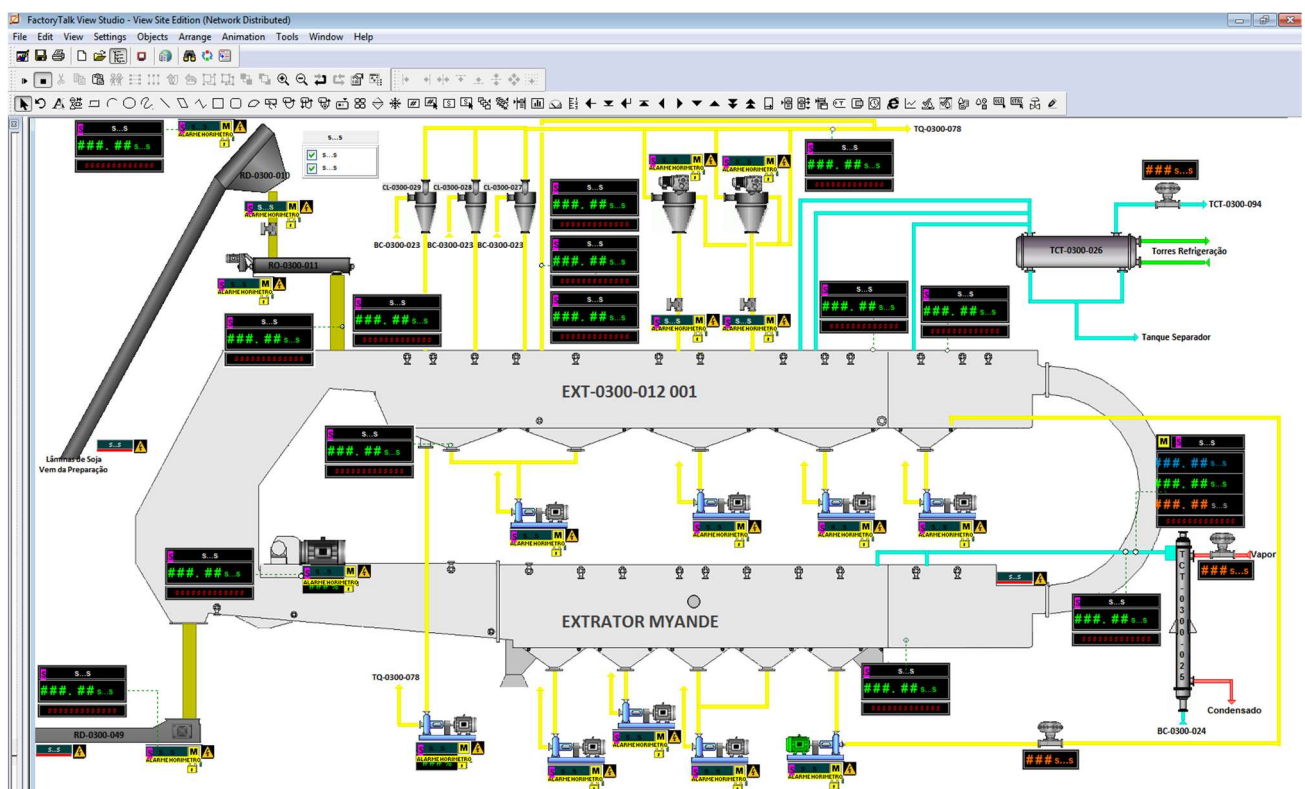
As telas de operação são utilizadas tanto para a operação da planta pelos operadores quanto para a configuração dos equipamentos e testes por parte da equipe técnica de engenharia. As telas de operação que foram desenvolvidas estão sendo explicitadas e caracterizadas nas próximas sessões.

#### 4.1.1.1 Tela Principal

Na tela de operação principal, encontra-se o nosso Extrator EXT-0300-012. É nesta tela que o operador faz a identificação de um apanhado geral do controle do processo, pois ela apresenta as informações mais relevantes a ele, como o funcionamento das máquinas e motores, valores das grandezas de medição e estado de sensores e válvulas.

Na figura abaixo, está sendo apresentada a tela principal de operação, durante o seu desenvolvimento no software FactoryTalk View Studio, onde está sendo mostrado o Extrator, o esboço inicial da organização dos objetos de motores, de transmissores e dos demais equipamentos presentes no fluxograma. Esta tela foi feita baseando-se no fluxograma P&ID da figura 21.

Figura 32 – Tela de operação principal em desenvolvimento.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A figura 32 também está presente no anexo A para visualização com mais detalhes.

Os objetos utilizados na tela de operação principal estão presentes na biblioteca do FactoryTalk View Studio e são de extrema valia para nosso projeto, pois além de possuírem as principais informações de interesse dos operadores, tornam o processo de desenvolvimento das telas muito mais rápido e intuitivo frente aos demais sistemas SDCD's disponíveis no mercado.

Uma função importante do FactoryTalk View Studio que foi utilizada para o desenvolvimento desta tela, foi a possibilidade de importar imagens no formato .png para dentro do projeto. Esta função vem colaborar com a maior exclusividade e autoria da arte da tela, pois permitiu a criação de um fundo com uma imagem do Extrator, que é de desenvolvimento próprio, enquanto que os demais equipamentos estão presentes na biblioteca do Studio.

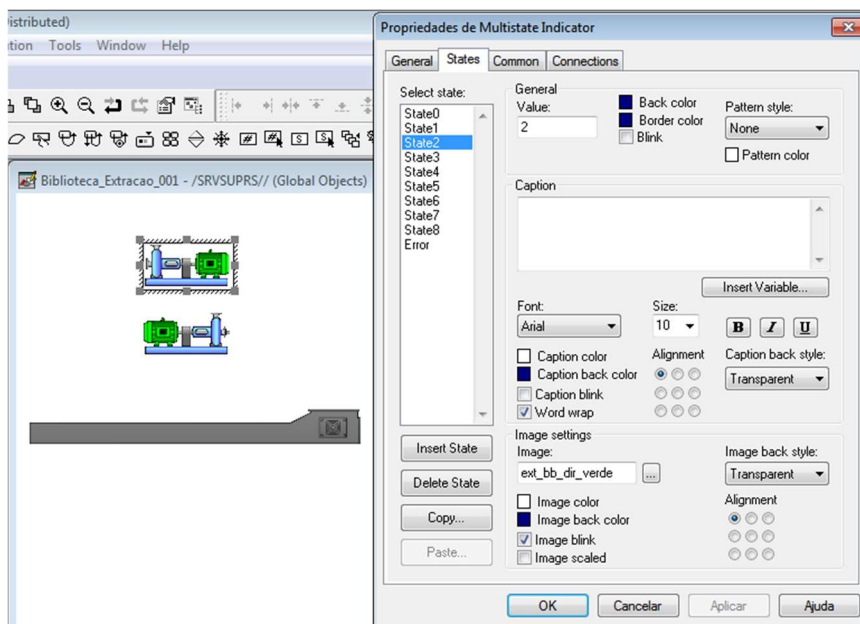
#### 4.1.1.2 Faceplates

São nos *faceplates* onde são tomadas grande maioria das ações de controle, tanto na parte operacional, quanto na parte da engenharia das máquinas.

Nos *faceplates* de blocos de motores, os operadores ligam, desligam, bloqueiam, alteram o modo de operação (automático/manual) e alteram a velocidade (em caso de acionamento com inversor de frequência), e a equipe de engenharia, por meio da aba “AJUSTES”, faz a configuração dos parâmetros de retorno de ligado, tempo de horímetro e tempo de acionamento, além de ser configurado a presença de intertravamentos e ser possível a realização de testes em simulação. O *faceplate* utilizado para o bloco de motor está presente na figura 31.

Além destas funções, o objeto atrelado ao *faceplate* e ao bloco possui animação, apresentando variação de cinco cores na sua cor atual, a depender do modo de operação: cinza para desligado, verde para ligado, laranja para intertravado, amarelo para manutenção e vermelho para falha (em caso de desarme ou não ligar na partida). Esta animação é feita por meio da configuração “Multistate Indicator” do Studio, atrelada a um *flag* específico interno do bloco, conforme mostra a figura a seguir:

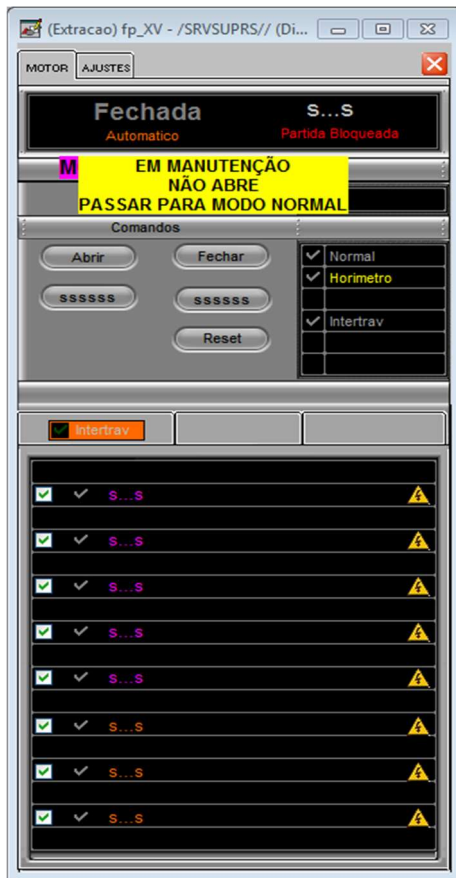
Figura 33 – Indicador Multiestado.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Nos *faceplates* das válvulas ON/OFF, são feitas as mesmas ações dos motores. Na figura abaixo está sendo exposto o *faceplate* utilizado para as válvulas ON/OFF.

Figura 34 – *Faceplate* bloco de válvula ON/OFF.



Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.1.2 Telas Gráficas

As telas gráficas, que também são *faceplates*, possuem grande importância para o controle da planta, pois permitem aos operadores a rápida identificação de tendências e comportamentos (anormais ou não) das variáveis no decorrer da operação. As telas gráficas que foram utilizadas são de três tipos: entrada digital, usadas no monitoramento de sensores digitais, sensores de velocidade baixa, usadas exclusivamente para os sensores de mesmo nome, e as analógicas, utilizadas para registrar as medições dos transmissores no decorrer do tempo.

As telas gráficas possuem na sua aba principal os valores das variáveis que são interessantes que sejam exibidas aos operadores, como o valor da PV (variável de processo) e o gráfico de tendência. Assim como as telas de operação, as telas gráficas possuem abas de configuração, que são utilizadas para serem ajustados os valores do *range* do transmissor, valor de escala do sinal 4 à 20mA (neste caso, o valor 0 a 4095) além dos valores de alarmes (Baixo-Baixo, Baixo, Alto e Alto-Alto) e também ser possível deixar um transmissor em modo de simulação (que foi utilizado para os testes). É importante citar que as abas de ajustes, assim como o modo de simulação, só são liberadas perante um acesso de Administrador no sistema supervisor, este sendo acessado somente pela equipe de engenharia ou gerência da planta. A figura a seguir está apresentado os *faceplates* utilizados nas telas gráficas de nosso projeto:

Figura 35 – Faceplates Entrada Analógica, Digital e Sensor de velocidade Baixa.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os gráficos que são gerados são armazenados no servidor virtual, configurados para armazenarem os gráficos do dia atual mais os dois dias anteriores. Esta configuração é feita no FactoryTalk View Studio, e depende diretamente da necessidade da operação da planta, assim como a necessidade de consultar os gráficos toda segunda-feira, sendo que desta forma é possível analisar os gráficos de operação dos fins de semana.

## 4.2 Hardware

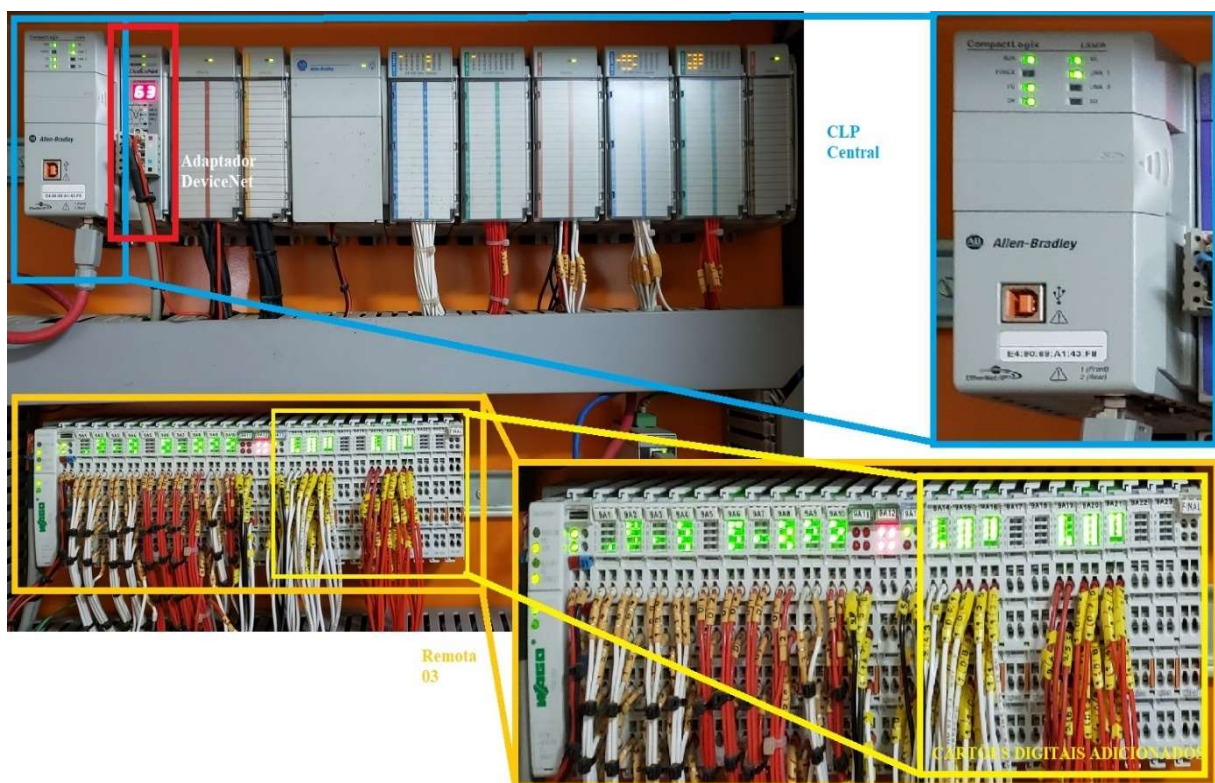
Nesta seção, será abordado a instalação dos cartões de ampliação do CLP, montagem das barreiras intrínsecas e configuração dos transmissores de campo.

### 4.2.1 Ampliação do CLP

A ampliação do CLP foi feita com base nas tabelas 4 e 5, sendo adicionados os cartões de IO's digitais na Remota DeviceNet número 2 e os cartões de IO's analógicas na Remota número 3 presentes na figura 28 (arquitetura de rede). Foram utilizadas algumas entradas disponíveis no bastidor local do CLP devido à melhor organização da montagem da fiação e aproveitamento de IO's disponíveis.

A seguir, estão sendo apresentados os cartões de IO's digitais que foram adicionados à Remota 02 do CLP para suprir as necessidades de ligação dos acionamentos de motores requeridos pelo projeto:

Figura 36 – CLP central, Remota 02 e Cartões Digitais.



Fonte: Elaborada pelo autor.

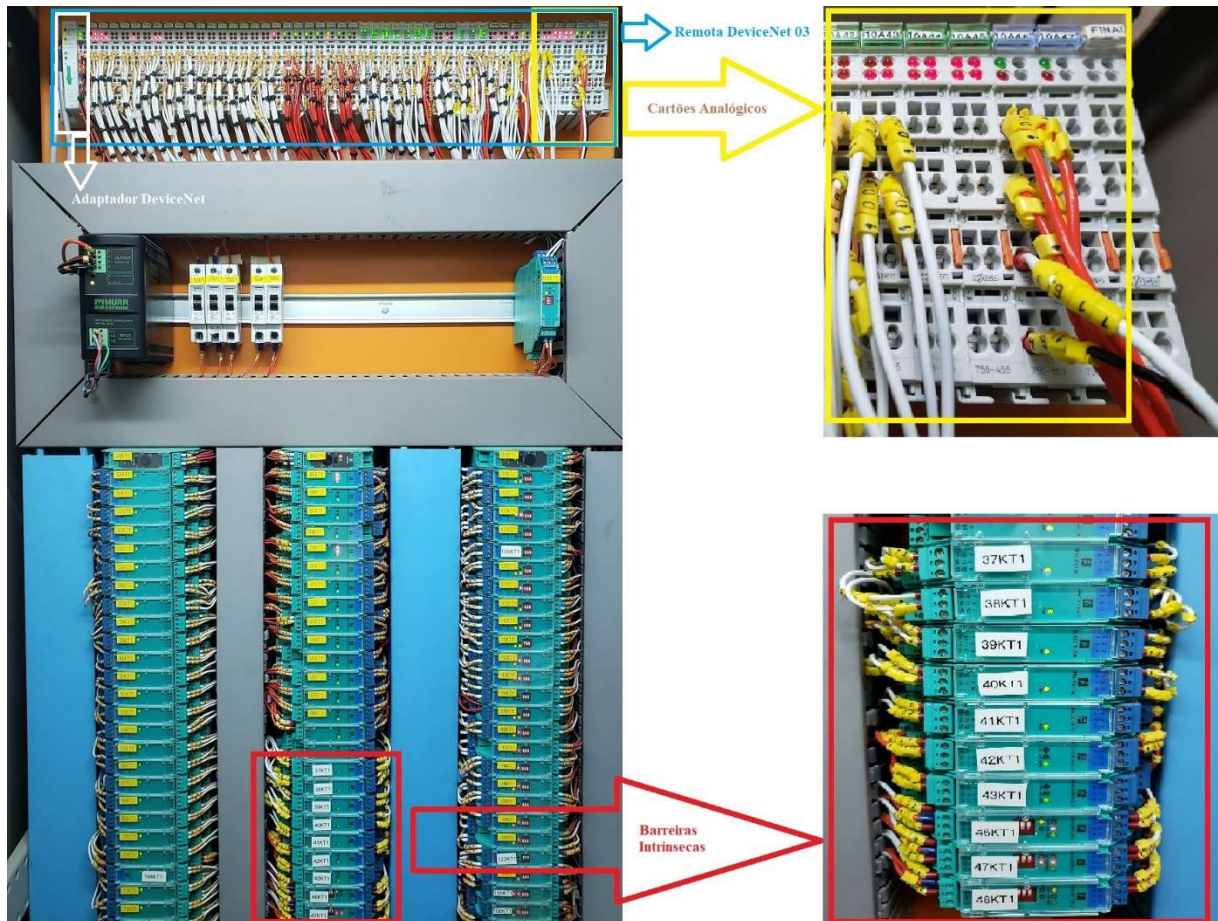
### 4.2.2 Montagem das Barreiras Intrínsecas

A montagem das barreiras intrínsecas foi realizada em um trilho de barreiras existente que realiza a alimentação das mesmas por meio do trilho já instalado e de uma barreira de

alimentação Pepperl Fuchs modelo KFD2-EB2, desta forma, foi economizado o valor de uma barreira de alimentação.

A figura a seguir mostra o lado do PCA (Painel de Controle e Automação) onde estão sendo expostas as barreiras intrínsecas que foram adicionadas aos trilhos existentes e também estão expostos os cartões analógicos que foram adicionados na Remota 03:

Figura 37 – Remota 03, Cartões Analógicos e Barreiras Intrínsecas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.2.3 Configuração dos Transmissores

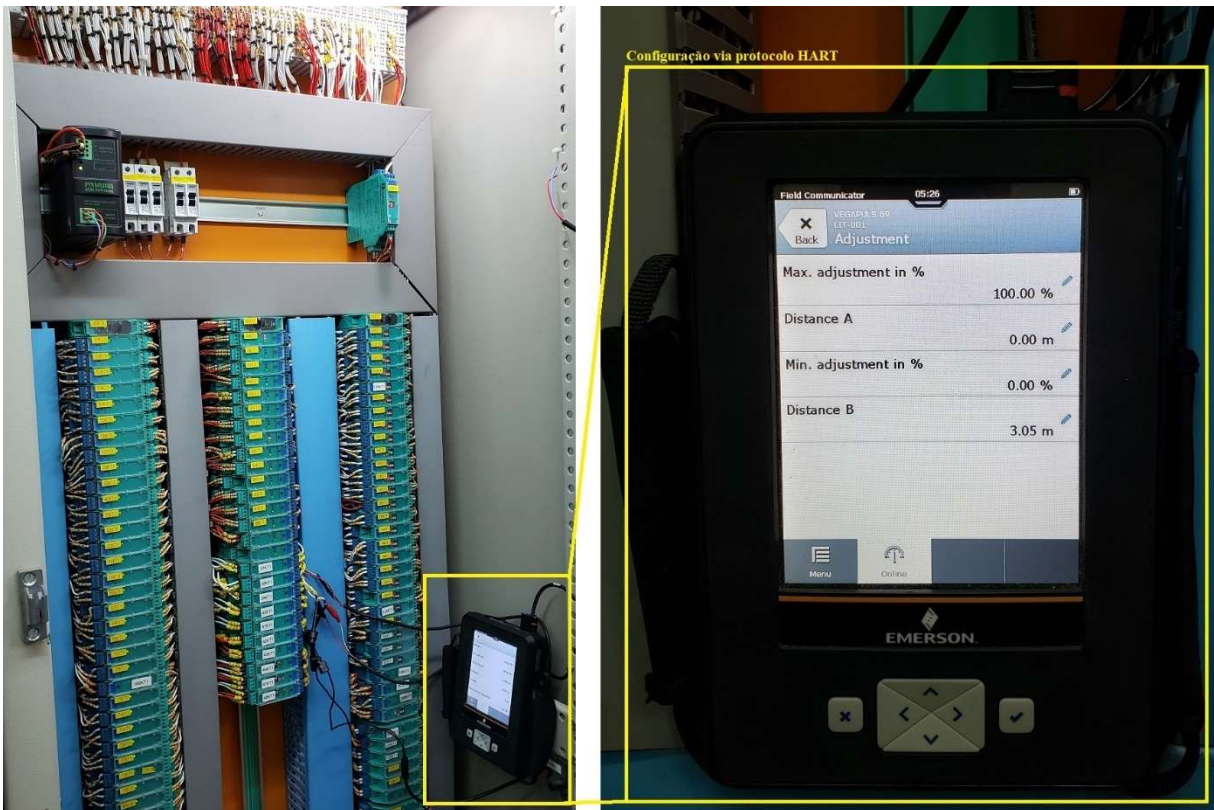
A configuração dos transmissores pode ser feita basicamente de duas formas: localmente no display (nos casos em que este existe) dos transmissores, ou posteriormente a sua instalação, remotamente por meio de um comunicador via protocolo HART.

Acessando remotamente os transmissores via protocolo HART temos diversas vantagens, como maior agilidade devido a estarmos configurando diversos transmissores a partir de um só local (no CCM, em frente ao PCA), maior segurança pois não estamos expostos a fatores externos presentes na obra de ampliação da planta e riscos devido a operação da mesma, e acesso a uma maior quantidade de parâmetros de configuração dos transmissores se compararmos com o acesso no display.

Para realizar a configuração dos transmissores, foi optado pela forma de configuração remota via protocolo HART. Isto só foi possível devido aos transmissores possuírem suporte a este protocolo de comunicação. Para esta configuração, foi utilizado um comunicador HART da fabricante Emerson, modelo AMS T-rex.

Na figura a seguir, está sendo apresentado o processo de configuração dos transmissores de forma remota via protocolo HART:

Figura 38 – Configuração dos transmissores via configurador HART.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na figura 38, podemos observar a configuração do transmissor de Nível LIT-001 (abreviação do LIT-0300-001), aonde foi configurado a medição do mesmo de 0 à 100% (4 à 20mA) na distância de 0 à 3,05m (distância medida do ponto de fixação do transmissor ao nível mínimo das lâminas de soja).

É importante salientar que, por requisito do protocolo HART, foi necessário a inserção de um cabo com uma resistência de  $250\Omega$  entre o comunicador e o *loop* Transmissor x CLP. Também é de importante relevância que devemos conectar o comunicador AMS T-rex de forma *sink*, pois o modelo utilizado não possui fonte de alimentação integrada para a alimentação do transmissor de campo, sendo então esta alimentação feita por meio das barreiras intrínsecas.

### 4.3 Testes

Os testes foram divididos em duas etapas: testes *offline* e testes *online*. No primeiro, foram realizados testes de simulação em uma bancada de treinamento, e no segundo, foi carregado o programa final para o CLP da Extração e realizados testes de funcionamento.

#### 4.3.1 Testes *Offline*

Também chamado por muitos engenheiros de Teste de Aceitação Final, o teste *offline* é uma importante etapa para que seja realizado um *startup* seguro e eficiente da planta.

Para a realização dos testes *offline* foi utilizada, primeiramente, uma bancada de automação fornecida pela fabricante Rockwell Automation. Esta bancada conta com um controlador CompactLogix 1769-L30ER, que foi utilizado para as simulações preliminares e validação dos procedimentos metodológicos com relação ao controlador do projeto, o CompactLogix 1769-L33ER.

A maleta disponibiliza, além do controlador: botoeiras ligadas nas entradas digitais, que foram utilizadas para simular sensores e retorno de ligado dos motores; led's ligados nas saídas digitais, que foram utilizados para simular acionamento de motores e solenoides; potenciômetros ligados nas entradas analógicas, que foram utilizados para gerar sinais analógicos de transmissores; e miliamperímetros ligados nas saídas analógicas, utilizado para simular a abertura de uma válvula proporcional ou simular a modulação de um inversor de frequência.

Além da maleta, também foi utilizado um notebook no qual foram realizados os testes preliminares com o intuito de serem validados os procedimentos adotados até aqui, para aí sim, partir para os testes *offline* de forma remota via Estação de Administração. Também foram feitos ajustes necessários na programação antes de ser feito o *download* do programa para o CLP da Extração. Na figura abaixo, está sendo mostrada a bancada de automação e o notebook que foram utilizados durante o processo de validação dos procedimentos:

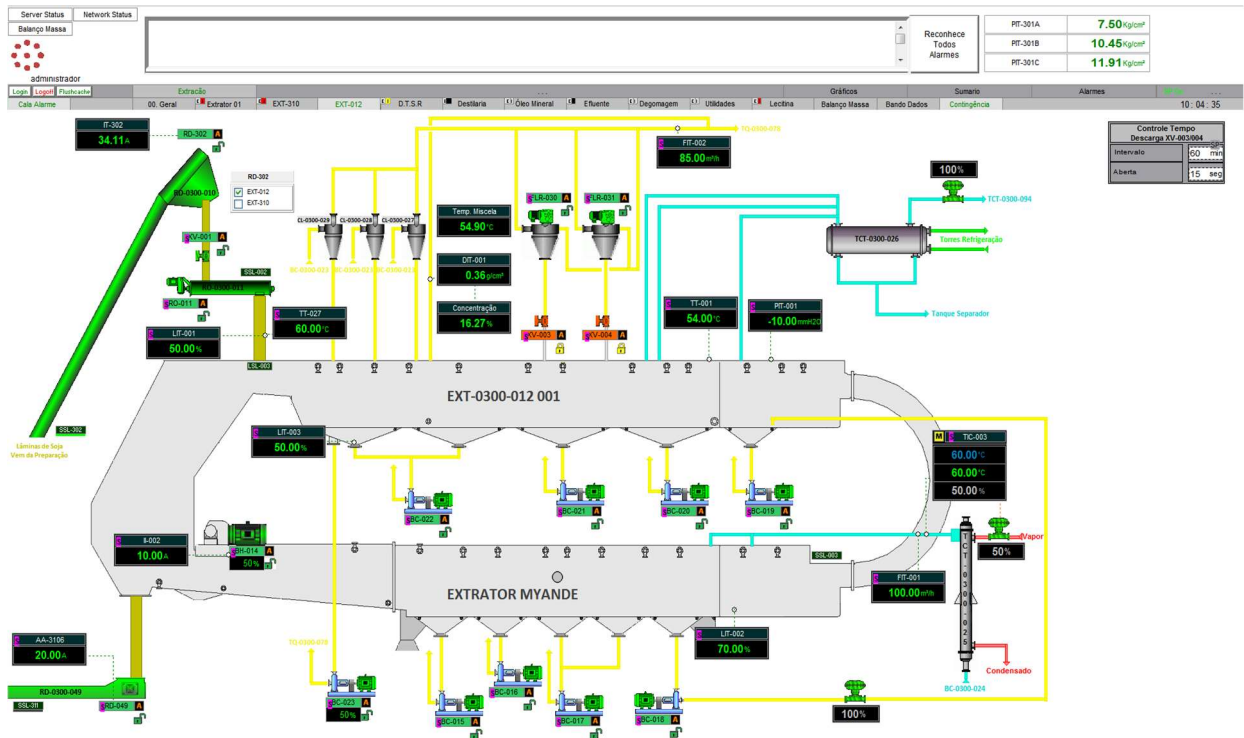
Figura 39 – Bancada de Automação e Notebook.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A seguir, é apresentada a tela final, durante o processo de testes em simulação do funcionamento do Extrator:

Figura 40 –Extrator em Testes de Simulação.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para a realização dos testes foi preciso, primeiramente, fazer o processo de *download* para o CLP do programa gerado por meio do software Studio 5000 Logix Designer. Para o teste em simulação, é utilizado a função interna de “Modo Simulação” dos blocos de função do CLP. Desta forma, foi possível testar os intertravamentos, animações, simular valores das variáveis e após isso realizar eventuais ajustes que foram necessários na tela.

A partir da figura 40, foram realizados os testes em simulação e foi feito um vídeo para ser observado com mais detalhes que pode ser acessado por meio do Anexo A.1, no vídeo nomeado como “Testes\_Simulacao”.

Partindo-se dos resultados obtidos por meio dos testes de simulação, foram validados os procedimentos metodológicos que foram adotados com relação à configuração dos cartões de IO’s, programação do CLP e desenvolvimento do Software Supervisório. Desta forma, foi possível partir com segurança para a próxima etapa do projeto, os testes *online* de operação da planta.

#### 4.3.2 Testes *Online*

Após terem sido realizados os testes de simulação *offline* da automação, foi possível dar, com a segurança necessária, o próximo passo no projeto, os testes de operação *online*, que também são chamados de Teste de Aceitação em Campo.

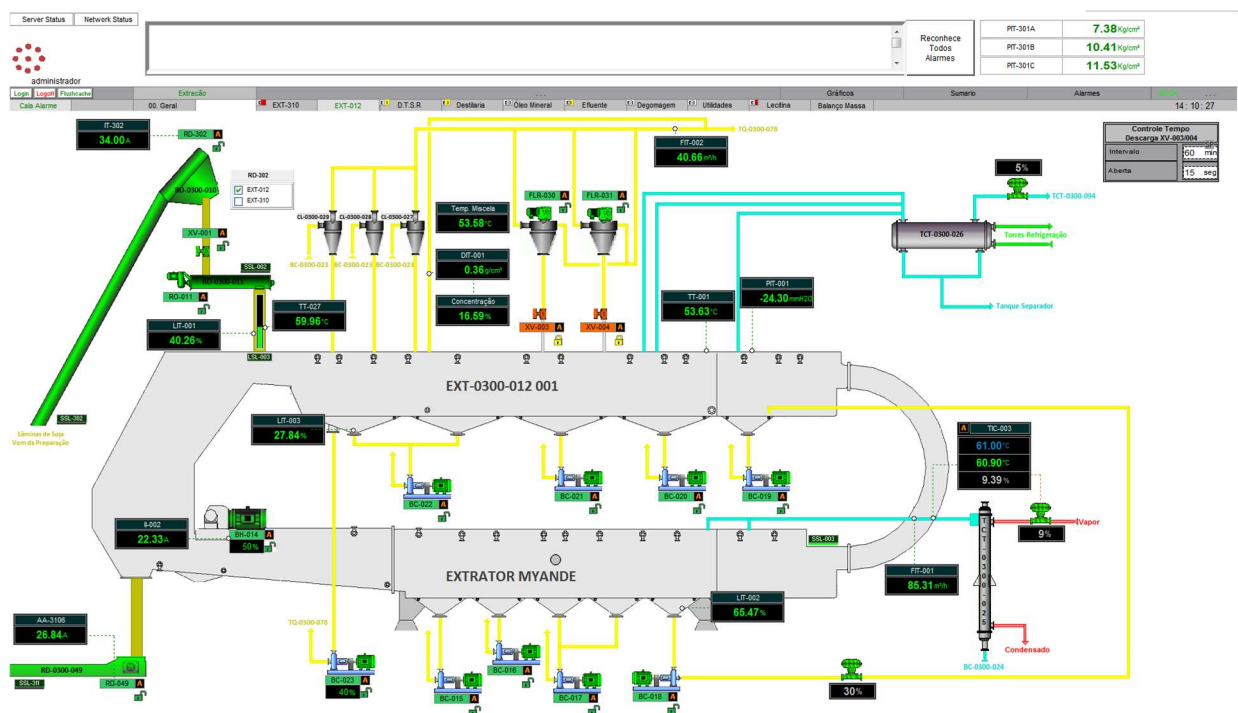
Na primeira etapa dos testes *online*, foram testados os acionamentos dos motores, um a um, em conjunto com um eletricista, para confirmar o seu pleno funcionamento, assim como ser conferido o sentido de giro dos equipamentos e serem testados os sinais de retorno de ligado dos motores. Desta forma, podemos ter certeza de que, quando for necessário o acionamento automático dos motores, teremos o pleno funcionamento das máquinas. Caso não tenhamos os motores principais (rosca de alimentação de massa, bomba hidráulica do Extrator, bomba principal de solvente e redler de descarga) funcionando perfeitamente, o processo é interrompido, sendo imediatamente cessada a alimentação de massa na válvula gaveta XV-0300-001 e parando a produção.

Na segunda etapa, são testados os transmissores, após terem sido feitas as suas configurações, por meio do método de comparação direta entre a sua medição local e o valor apresentado no supervisório. Desta forma, podemos garantir o pleno funcionamento do conjunto transmissor/supervisório, visto que os transmissores vêm de fábrica com um certificado de calibração que atesta a sua medição dentro dos padrões de exatidão solicitados. Após esta etapa, podemos validar a arquitetura da instrumentação digital do nosso SDCD e liberar a mesma para operação.

Após as duas etapas anteriores, foi feito o procedimento de *startup* (partida) do processo da automação do Extrator. Para visualização de maiores detalhes, foi feito um vídeo para ser observado este processo, que pode ser encontrado no Anexo A.1, no vídeo nomeado como “Testes\_Startup”.

A seguir, é apresentada, na figura 41, a tela final do Extrator, após os testes *online* e os testes de *startup* terem sido concluídos e após serem feitos alguns ajustes finais.

Figura 41 – Extrator em Operação/Tela Final.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Por meio do menu de telas superior, o operador do supervísório seleciona a tela do “EXT-012” e faz a operação inicial, selecionando valores de abertura de válvulas proporcionais e velocidade dos inversores com base na experiência prévia e na quantidade de laminadores que foram ligados no setor de Preparação de Grãos (mais ou menos lâminas), seguindo sempre um padrão operacional pré-estabelecido pela gerência da planta.

Na figura 41, é apresentado o processo funcionando de maneira contínua. Desta forma, podemos validar o projeto da automação e liberá-lo para as equipes de operação darem continuidade no processo de produção.

#### 4.4 Estações de Trabalho

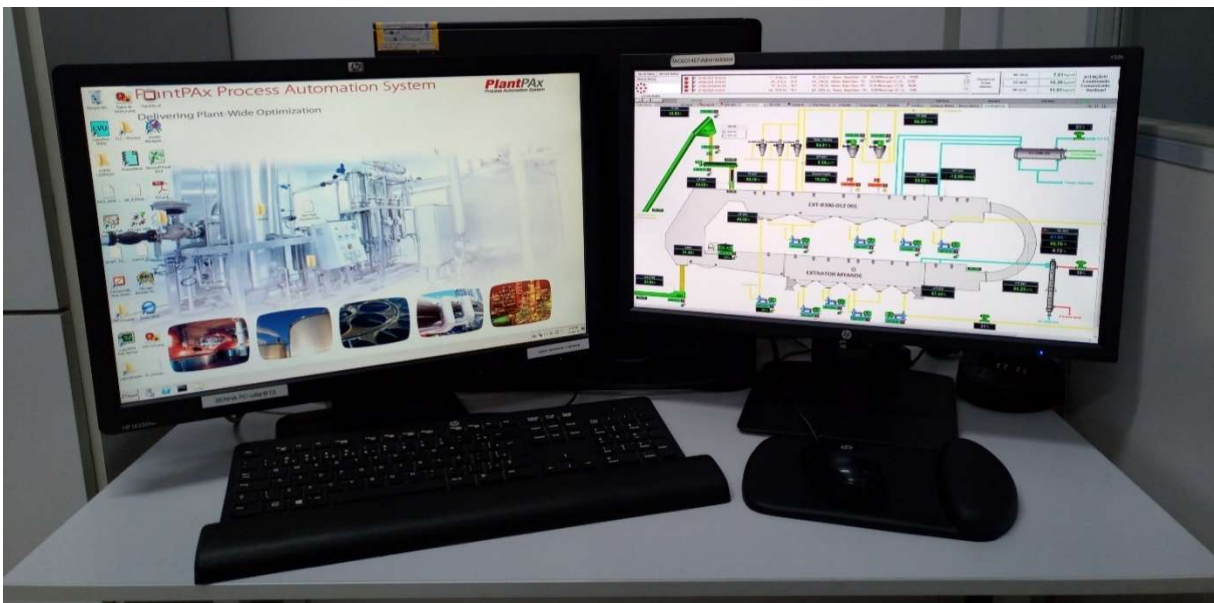
As estações de trabalho são divididas, basicamente, em duas: uma estação de administração remota e uma estação de operação local.

##### 4.4.1 Estação de Administração Remota

A estação de administração remota é utilizada exclusivamente pela equipe de engenharia, e foi necessária para realizar o desenvolvimento da programação do CLP (por meio do software Studio 5000 Logix Designer, no ambiente PlantPAX) e do *layout* do supervísório (por meio do software FactoryTalk View Studio) do Extrator, além de terem sido feitos os testes *online* e os testes de *startup* do processo. É nesta estação de administração onde são feitas, por parte da equipe de engenharia, as configurações de alarmes e gráficos, e as configurações dos valores de range (do supervísório) dos transmissores.

A seguir, na figura 42, são apresentadas as telas da estação de administração remota que foram descritas acima, com uma tela sendo usada para o PlantPAX e outra para visualizar a tela do Extrator:

Figura 42 – Estação de Administração Remota.



Fonte: Elaborada pelo autor.

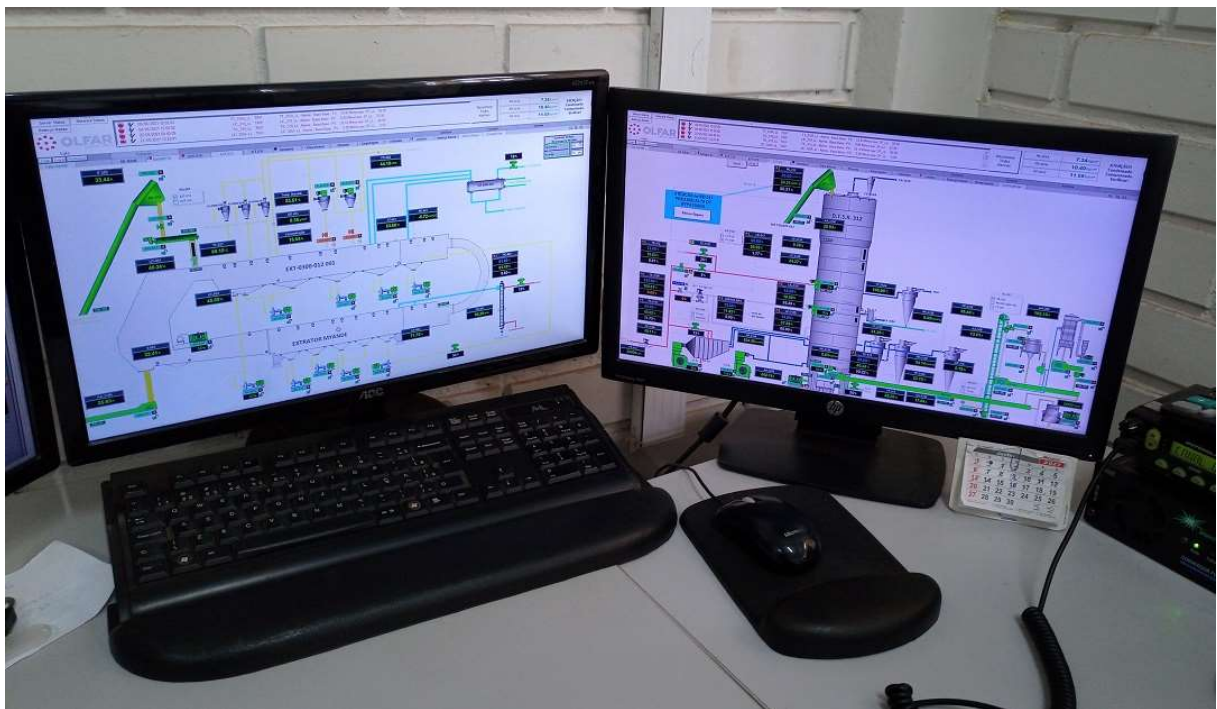
#### 4.4.2 Estação de Operação Local

A estação de operação local, que se encontra na sala supervisório local da planta de Extração, em frente ao EXT-012, é utilizada pela equipe de operação da planta, mais precisamente pelos operadores de supervisório, para realizar a operação e supervisão do processo de produção do Extrator. Os monitores do computador fazem o papel de IHM, e são de importância fundamental para o pleno funcionamento e supervisão do processo produtivo.

A visualização do supervisório por parte dos operadores é feita por meio do software Rockwell FactoryTalk View SE Client (Site Edition), utilizado para rodar o software supervisório no computador local da estação de operação. Por meio deste software os operadores do supervisório realizam a partida e a parada da planta, assim como os controles e monitoramento das variáveis de medição.

A seguir, na figura 43, são apresentadas as telas da estação de operação local que foram descritas acima, ambas exibindo telas de operação (à esquerda, o EXT-012):

Figura 43 – Estação de Operação Local.



Fonte: Elaborada pelo autor.

## 4.5 Aplicação dos Controles PID's

### 4.5.1 Controle de Nível de Lâminas de Soja: LIC-0300-001

Para o controle de nível de lâminas de soja, o LIC-0300-001, foi utilizado um bloco de controle PID (mandando um sinal de saída analógica de corrente 4 à 20mA) para controlar a velocidade do inversor de frequência (por meio da entrada analógica 4 à 20mA do inversor) da bomba hidráulica do Extrator, a BH-0300-014. Desta forma foi possível aplicar a sintonia da malha de controle de modo que o nível (PV) seja controlado por meio da velocidade (CV) da bomba hidráulica, fazendo com que a variável de processo se aproxime cada vez mais do *set-point* (SP) desejado. Neste caso, temos um controle de ação inversa, aonde o motor acelera para baixar o nível e desacelera para aumentar o nível de massa na moega do Extrator.

A seguir, na figura 44, está sendo mostrado o nível LIT-0300-001 (apenas indicação), anteriormente à aplicação do controle PID, durante o procedimento de partida da planta:

Figura 44 – Nível de Lâminas durante partida antes do PID.

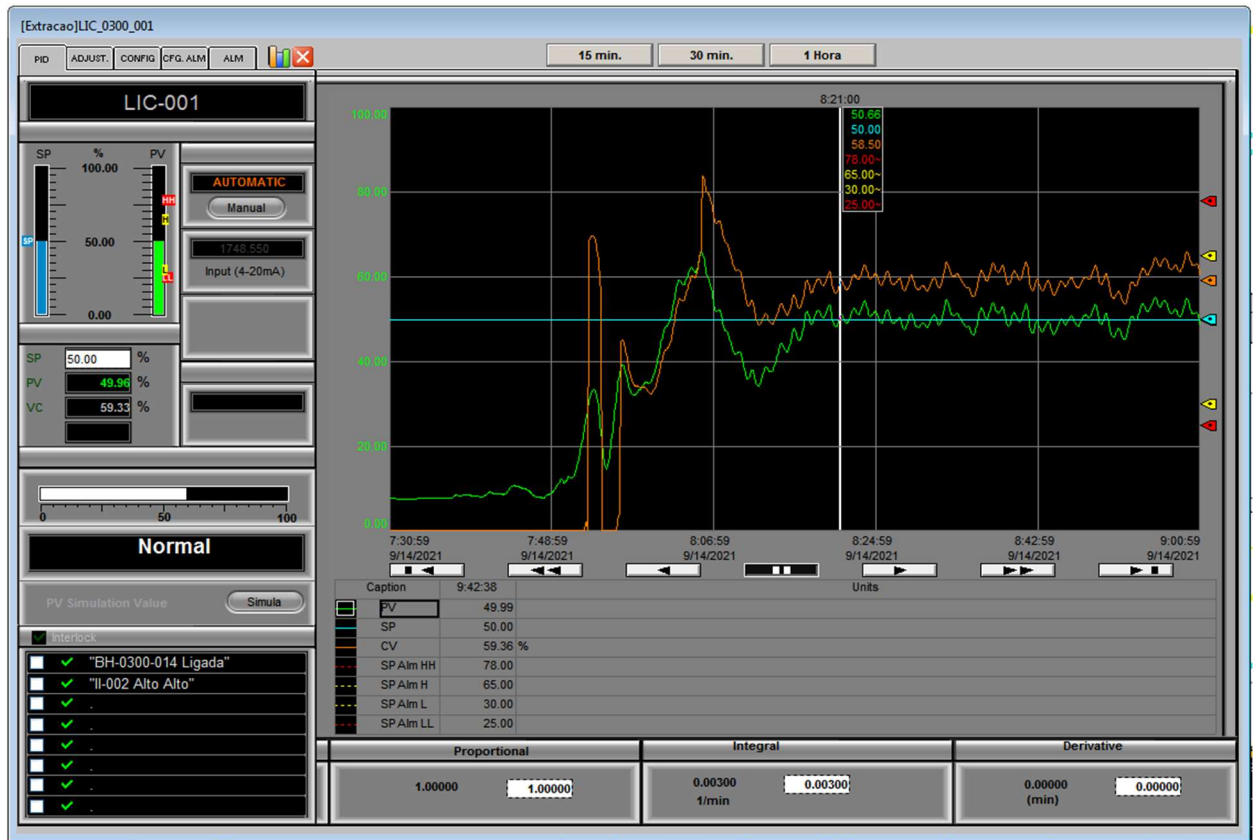


Fonte: Elaborada pelo autor.

Podemos observar, na figura 44, o gráfico gerado no processo da partida da planta, além disso, pode-se analisar que o tempo decorrido do *startup* do processo produtivo (~19:00) até a estabilização (~20:50) do nível de lâminas de soja no Extrator foi de aproximadamente uma hora e cinquenta minutos.

A seguir, na figura 45, está sendo exibido o gráfico do nível LIC-0300-001, após a aplicação do controle PID, durante o procedimento de partida da planta:

Figura 45 – Nível de Lâminas durante partida após o PID.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na figura 45, podemos verificar que o tempo decorrido do início da partida da planta (~07:49) até a estabilização (~08:21) do nível de lâminas de soja no Extrator foi de aproximadamente trinta e dois minutos.

Levando-se em conta o tempo necessário para a estabilização do nível de soja e a consequente estabilização no funcionamento do Extrator, temos uma diferença de setenta e oito minutos entre a partida da planta realizada antes e depois da aplicação do controlador PID neste ponto do processo produtivo.

Para a sintonia do controlador PID LIC-001, foi utilizado o método apresentado no item 2.7.2, e como podemos ver, o resultado da ação de controle nos traz um controlador PI, podendo desta forma ser tratado como um controlador Proporcional Integral de resposta subamortecida, pois a curva da variável de processo apresenta um decaimento exponencial e também uma oscilação senoidal.

A seguir, na figura 46, pode-se observar gráfico do nível LIC-0300-001 após a sintonia final do PID, durante um período de doze horas de operação ininterrupta do Extrator em modo automático.

Figura 46 – Operação do LIC-001 durante doze horas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

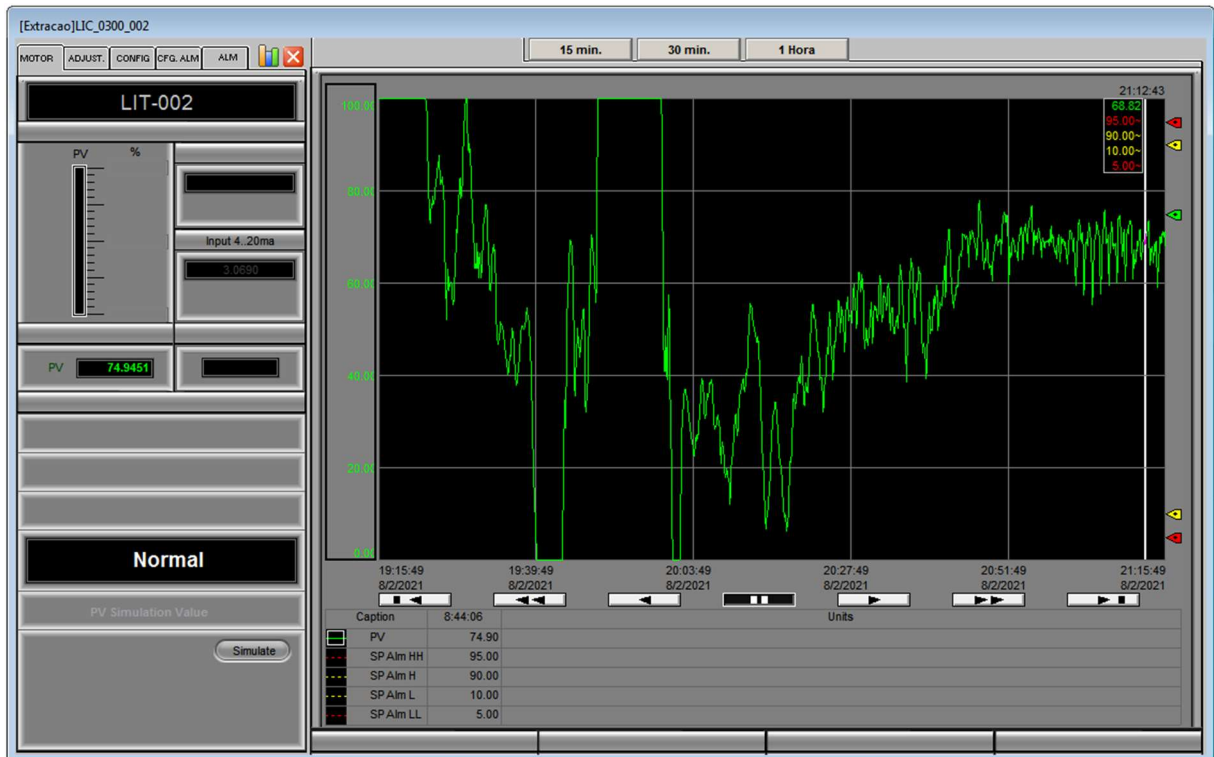
Por meio do gráfico apresentado na figura 46 pode-se atestar a confiabilidade final da sintonia da malha de controle PID aplicada ao nível de lâminas de soja na alimentação do Extrator EXT-012.

#### 4.5.2 Controle de Nível de Hexano: LIC-0300-002

Para o controle do nível de hexano, o LIC-0300-002, também foi utilizado um bloco de controle PID para controlar uma saída analógica, porém, o sinal de corrente, após passar por uma barreira intrínseca, é enviado diretamente para uma válvula de controle proporcional, que converte o sinal de corrente em pressão de ar-comprimado proporcionalmente ao sinal de entrada (no  $IxP$ ). Sendo assim, por meio da válvula de controle (CV), é possível manipular a vazão de hexano que passa pela tubulação, controlando, desta forma, o nível de hexano (PV) no segundo estágio do Extrator, para que este se aproxime cada vez mais do valor do *set-point* (SP). Aqui temos um exemplo de controle de ação direta, onde a válvula aumenta sua abertura para que se aumente o nível de líquido no equipamento.

A seguir, na figura 47, está sendo mostrado o nível LIT-002 (apenas indicação), anteriormente à aplicação do controle PID, durante o procedimento de partida da planta:

Figura 47 – Nível de Hexano durante partida antes do PID.

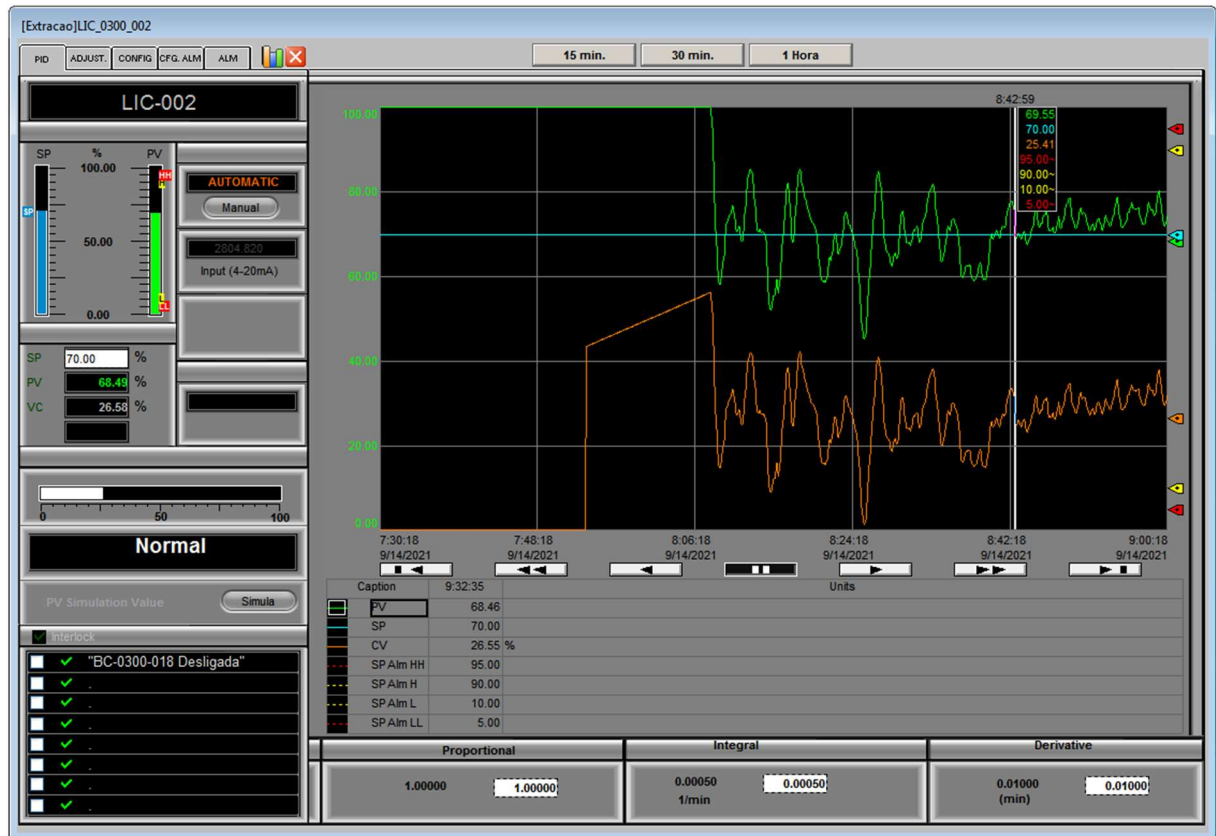


Fonte: Elaborada pelo autor.

Na figura 47, podemos observar o gráfico gerado no processo da partida da planta, além disso, pode-se analisar que o tempo decorrido do *startup* do processo produtivo (~19:00) até a estabilização (~21:10) do nível de hexano no Extrator foi de aproximadamente duas horas e dez minutos.

A seguir, na figura 48, está sendo exibido o gráfico do nível LIC-0300-002, após a aplicação do controle PID, durante o procedimento de partida da planta:

Figura 48 – Nível de Hexano durante partida após o PID.



Fonte: Elaborada pelo autor.

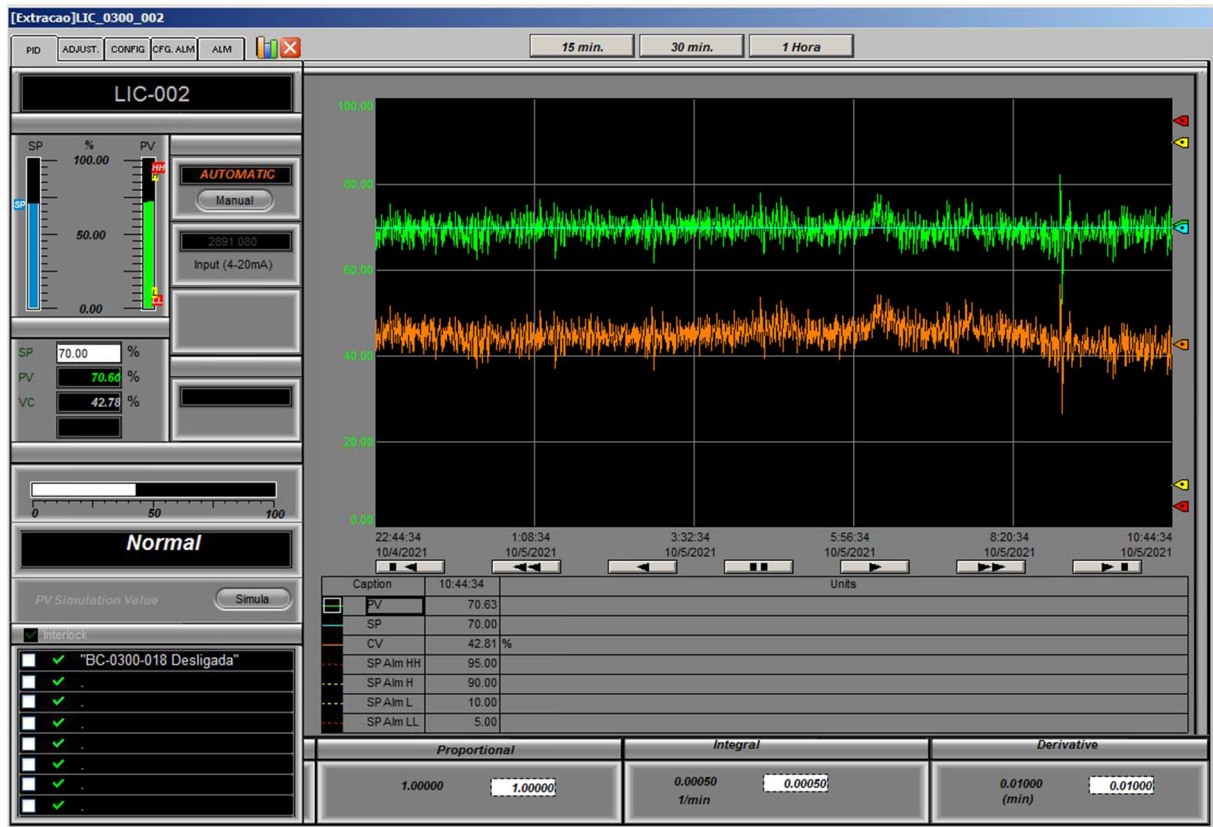
Na figura 48, podemos verificar que o tempo decorrido do início da partida da planta (~07:49) até a estabilização (~08:42) do nível de hexano no Extrator foi de aproximadamente cinquenta e três minutos.

Levando-se em consideração o tempo necessário para a estabilização do nível de hexano e a consequente estabilização no funcionamento dos banhos de massa líquida no Extrator, temos uma diferença de sessenta e sete minutos entre a partida da planta realizada antes e depois da aplicação deste controlador PID.

Para a sintonia do controlador PID LIC-002, foi utilizado o método apresentado no item 2.7.2, e como podemos ver, o resultado da ação de controle nos traz um controlador PID, podendo desta forma ser tratado como um controlador Proporcional Integral Derivativo de resposta subamortecida, pois, como no caso do LIC-002, a curva da variável de processo apresenta um decaimento exponencial e também uma oscilação senoidal.

A seguir, na figura 49, pode-se observar o gráfico do nível LIC-002 após a sintonia final do PID, durante um período de doze horas de operação ininterrupta do Extrator.

Figura 49 – Operação do LIC-002 durante doze horas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Por meio do gráfico apresentado na figura 49 podemos destacar a confiabilidade final obtida por meio da implantação e sintonia da malha de controle PID aplicada ao nível de hexano no interior do segundo estágio do Extrator EXT-012.

#### 4.5.3 Controle de Nível de Miscela: LIC-0300-003

Para controlar o nível de miscela no primeiro estágio do Extrator, foi aplicado o controle LIC-0300-003, por meio de um bloco de controle PID atuando em uma saída analógica 4 à 20mA, modulando a velocidade do inversor de frequência da bomba BC-0300-023. Desta forma, é manipulada a velocidade do motor (CV), fazendo com que mais ou menos líquido seja retirado do primeiro estágio do Extrator, por consequência, controla-se o nível de líquido (PV) presente no equipamento. Neste caso, temos a aplicação de um controle de ação reversa, pois a bomba centrífuga deve acelerar o motor para abaixar e desacelerar para elevar o nível de líquido no interior do Extrator.

A seguir, na figura 50, está sendo mostrado o nível LIT-0300-003 (apenas indicação), anteriormente à aplicação do controle PID, durante o processo de partida da planta:

Figura 50 – Nível de Miscela durante partida antes do PID.

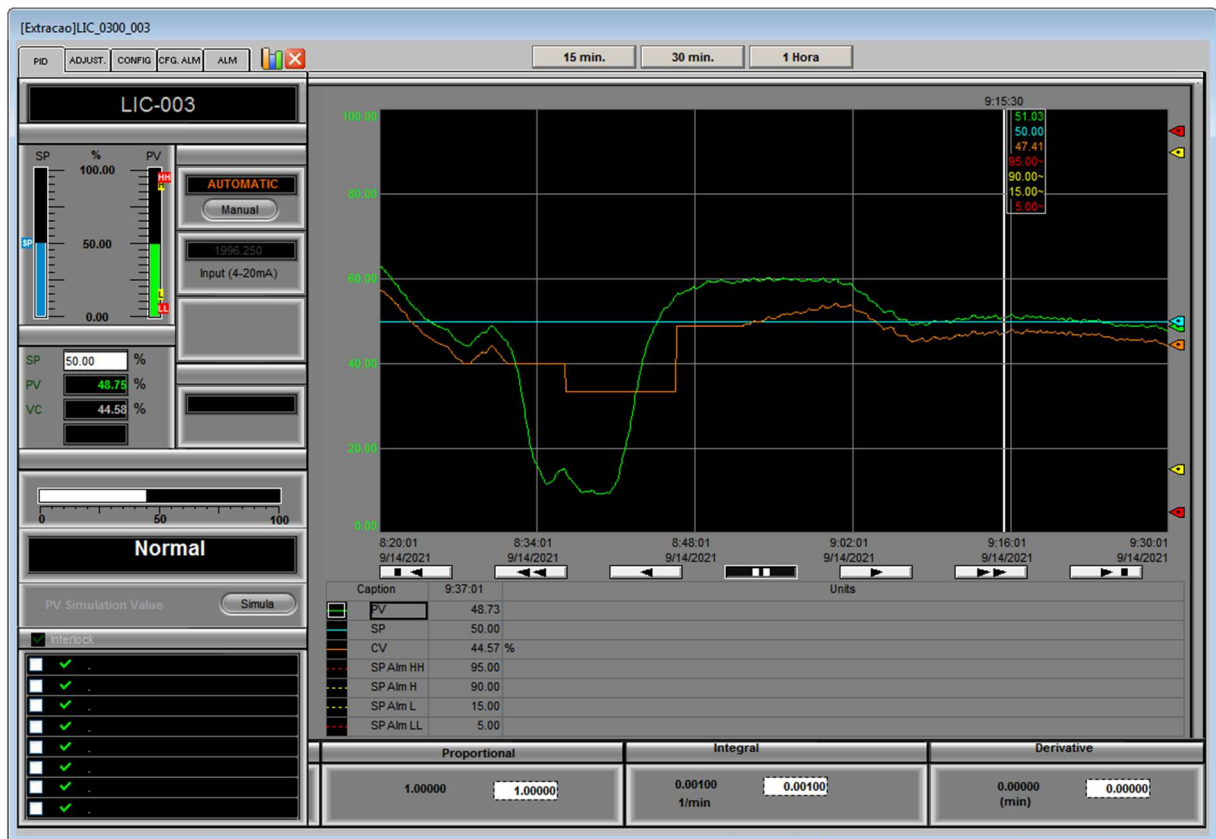


Fonte: Elaborada pelo autor.

Na figura 50, podemos observar o gráfico gerado no processo da partida da planta, além disso, pode-se analisar que o tempo decorrido do *startup* do processo produtivo (~00:00) até a estabilização (~1:45) do nível de miscela no Extrator foi de aproximadamente uma hora e quarenta e cinco minutos.

A seguir, na figura 51, está sendo exibido o gráfico do nível LIC-0300-003, após a aplicação do controle PID, durante o procedimento de partida da planta:

Figura 51 – Nível de Miscela durante partida após o PID.



Fonte: Elaborada pelo autor.

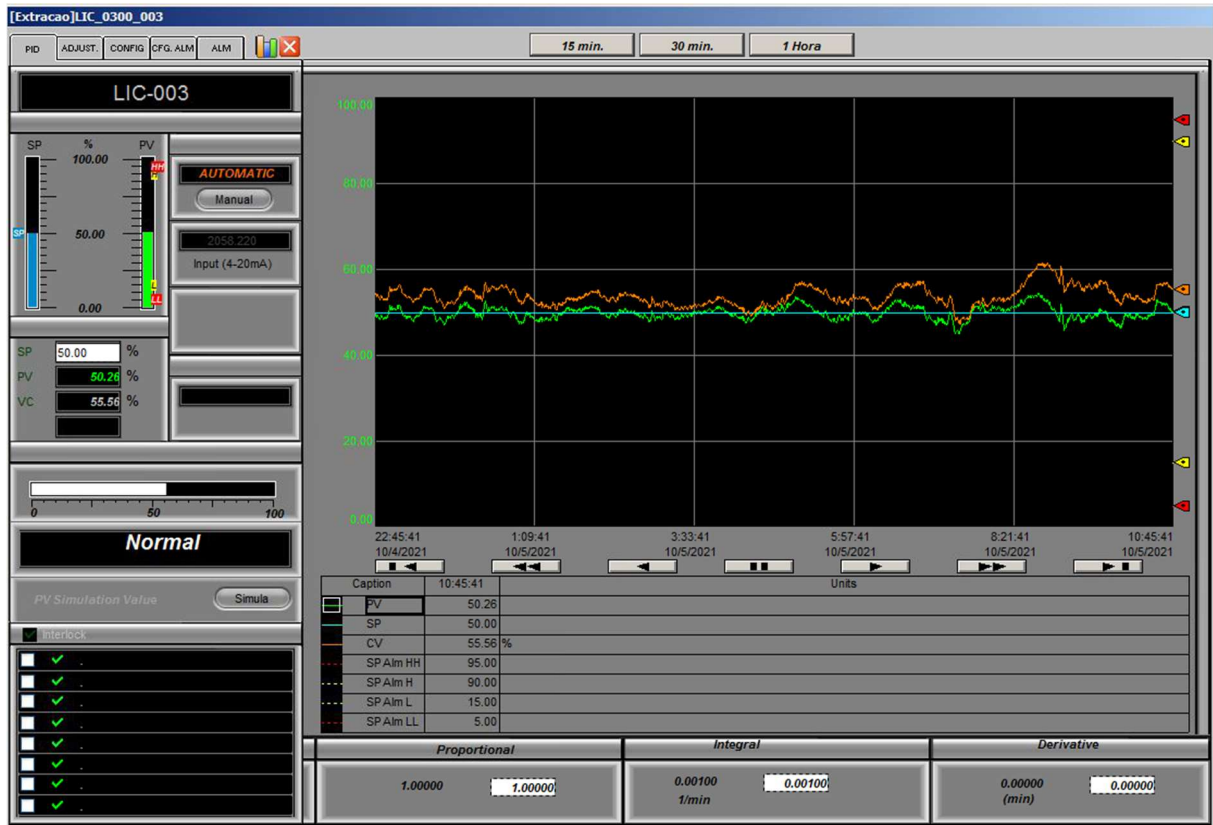
Na figura 51, podemos verificar que o tempo decorrido do início da partida da planta (~08:20) até a estabilização (~09:15) do nível de miscela no Extrator foi de aproximadamente cinquenta e cinco minutos.

Levando-se em conta o tempo necessário para a estabilização do nível de miscela e a consequente estabilização no funcionamento da máquina, temos uma diferença de cinquenta minutos entre a partida da planta realizada antes e depois da aplicação deste controle PID.

Para a sintonia do controlador PID LIC-003, foi utilizado o método apresentado no item 2.7.2, e como podemos ver, o resultado da ação de controle nos traz um controlador PI, podendo desta forma ser tratado como um controlador Proporcional Integral de resposta superamortecida, pois apresenta a curva da variável de processo com uma rápida acomodação.

A seguir, na figura 52, podemos observar o gráfico do nível LIC-0300-003 após a sintonia final do PID, durante um período de doze horas de operação ininterrupta do Extrator.

Figura 52 – Operação do LIC-003 durante doze horas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Por meio do gráfico apresentado na figura 52 podemos verificar a confiabilidade obtida por meio da implantação e sintonia da malha de controle PID aplicada ao nível de miscela no interior do primeiro estágio do Extrator EXT-012.

#### 4.5.4 Controle de Pressão e Vácuo: PIC-0300-001

Também foi necessário realizar o controle da pressão interna no Extrator, e para isso, foi aplicado o controle PIC-0300-001, onde o mesmo atua em uma saída analógica 4 à 20mA que, após passar por uma barreira intrínseca, é direcionado à campo para uma válvula de controle proporcional, abrindo uma válvula (CV) borboleta proporcionalmente até que o *set-point* (SP) de pressão (PV) negativa (neste caso, vácuo) seja atingido. Este controle possui ação reversa, pois para diminuir a pressão (aumentar o vácuo) na atmosfera interna do Extrator, deve-se aumentar a abertura da válvula de controle de pressão.

A seguir, na figura 53, está sendo mostrada a pressão PIT-0300-001 (apenas indicação), anteriormente à aplicação do controle PID, durante o processo de partida da planta:

Figura 53 – Pressão Interna do Extrator durante partida antes do PID.

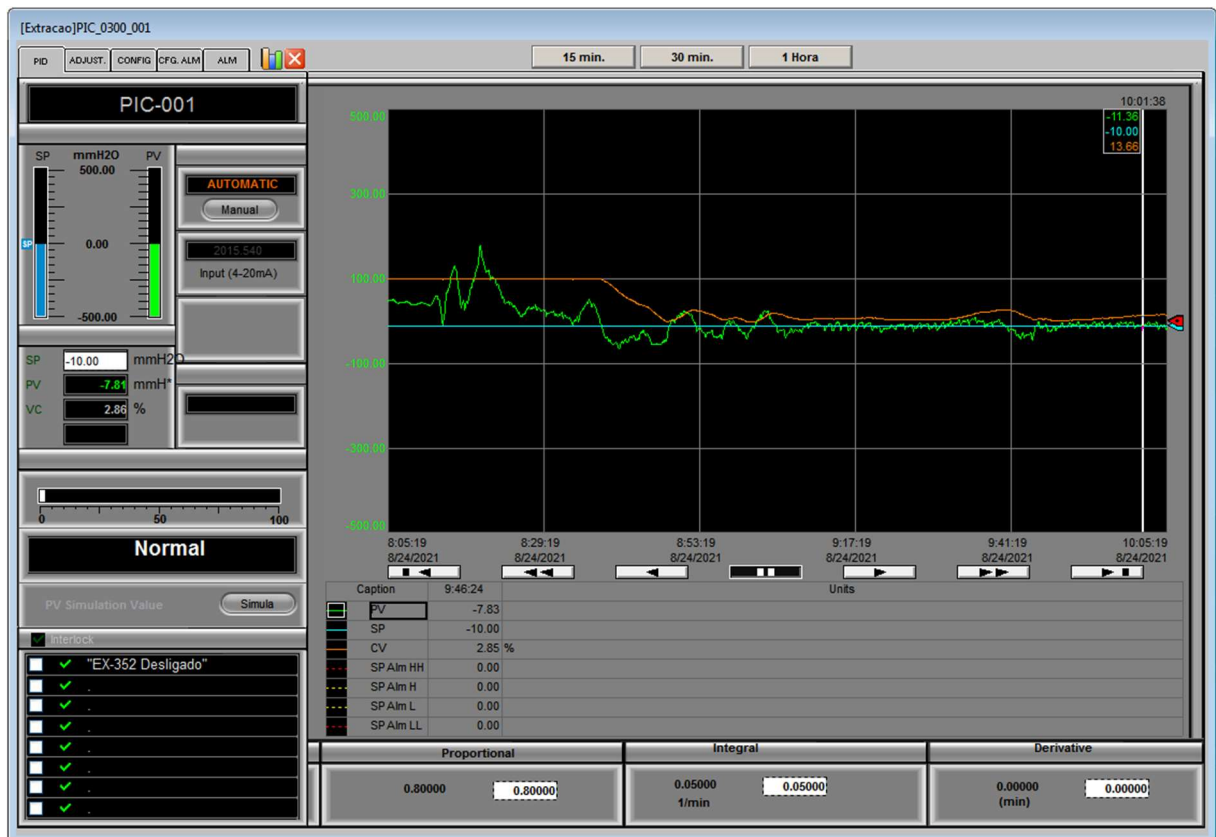


Fonte: Elaborada pelo autor.

Na figura 53, podemos verificar o gráfico gerado no processo da partida da planta, além disso, pode-se analisar que o tempo decorrido do *startup* do processo produtivo (~19:15) até a estabilização (~21:12) do vácuo interno no Extrator foi de aproximadamente duas horas.

A seguir, na figura 54, está sendo exibido o gráfico do controle de pressão PIC-0300-001, após a aplicação do controle PID, durante o procedimento de partida da planta:

Figura 54 – Pressão Interna durante partida após o PID.



Fonte: Elaborada pelo autor.

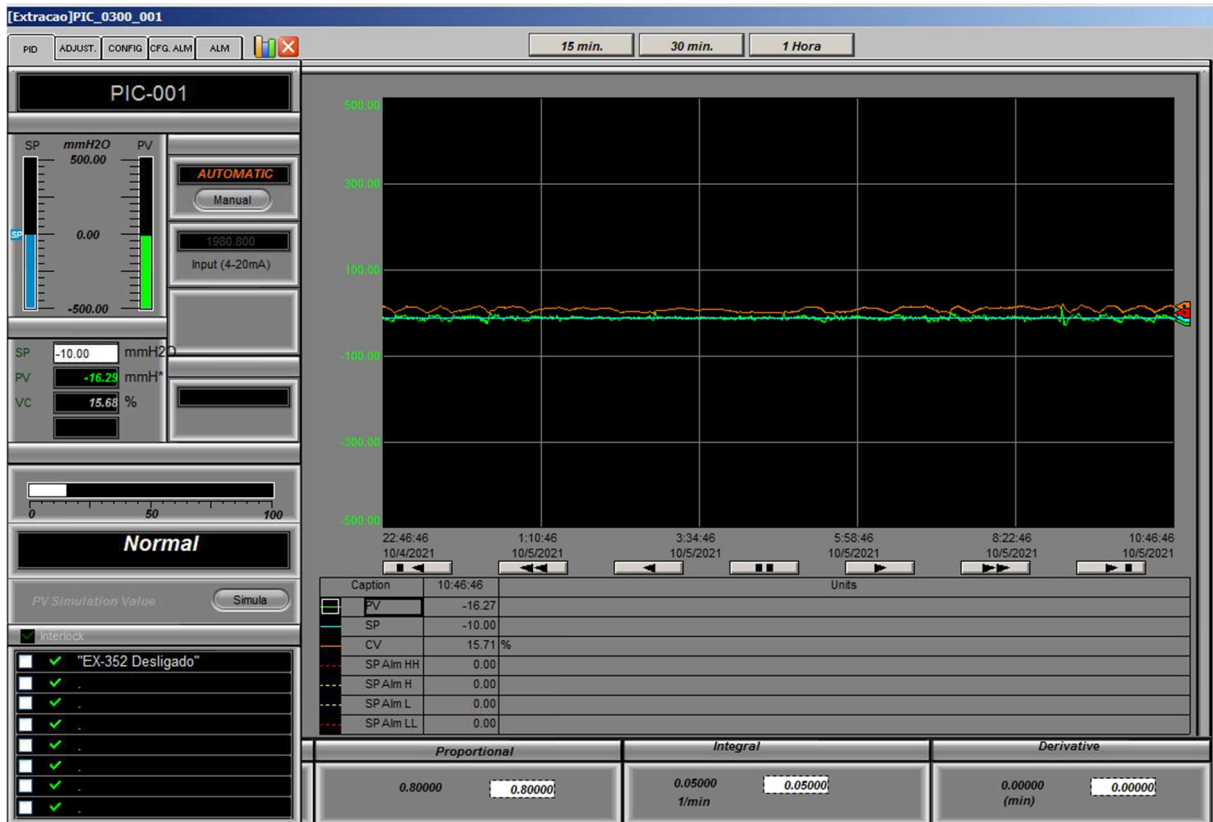
Na figura 54, podemos verificar que o tempo decorrido do início da partida da planta (~08:05) até a estabilização (~09:15) do vácuo interno no Extrator foi de aproximadamente setenta minutos.

Levando-se em consideração o tempo necessário para a estabilização da pressão interna e a consequente estabilização no vácuo do Extrator, temos uma diferença de cinquenta minutos entre a partida da planta realizada antes e depois da aplicação deste controlador PID.

Para a sintonia do controlador PID PIC-001, também foi utilizado o método apresentado no item 2.7.2, e como podemos ver, o resultado da ação de controle nos traz um controlador PI, podendo desta forma ser tratado como um controlador Proporcional Integral de resposta subamortecida, pois assim como nos dois primeiros casos a curva da variável de processo apresenta um decaimento exponencial e também uma oscilação senoidal.

A seguir, na figura 55, pode-se observar gráfico da pressão PIC-0300-001 após a sintonia final do PID, durante um período de doze horas de operação ininterrupta do Extrator.

Figura 55 – Operação do PIC-001 durante doze horas.



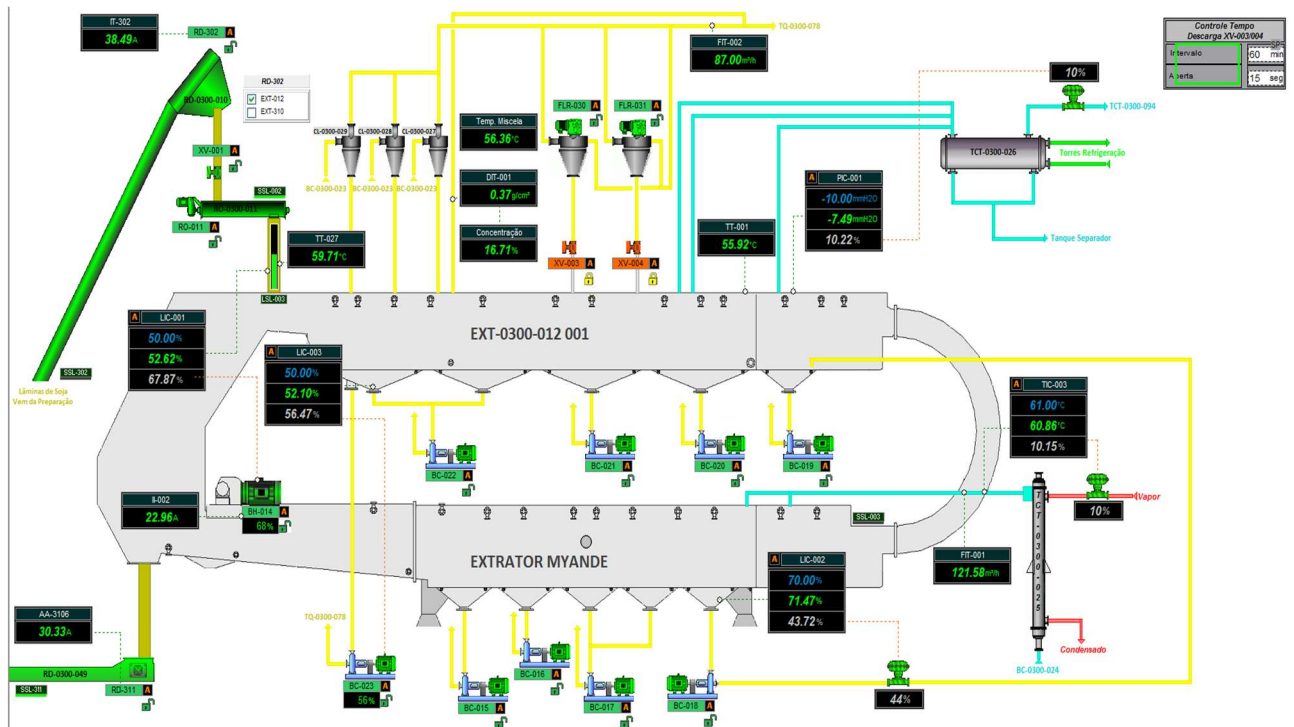
Fonte: Elaborada pelo autor.

Por meio do gráfico apresentado na figura 55 podemos destacar a confiabilidade final obtida por meio da implantação e sintonia da malha de controle PID aplicada ao vácuo interno do Extrator EXT-012.

#### 4.5.5 Tela Final do Extrator

A seguir, na figura 56, está sendo apresentada a tela final do Extrator após a implantação dos controles PID's:

Figura 56 – Tela Final do Extrator após PID's implementados.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na figura 56 podemos verificar os quatro controles PID's operando em automático no processo produtivo, assim como os demais equipamentos envolvidos na automação e controle do Extrator.

## 4.6 Histórico de Alarmes

A seguir, na figura 57, podemos visualizar a tela do histórico de alarmes desenvolvido e observar a lista de alarmes presentes no momento do registro da figura:

Figura 57 – Tela do Histórico de Alarmes.

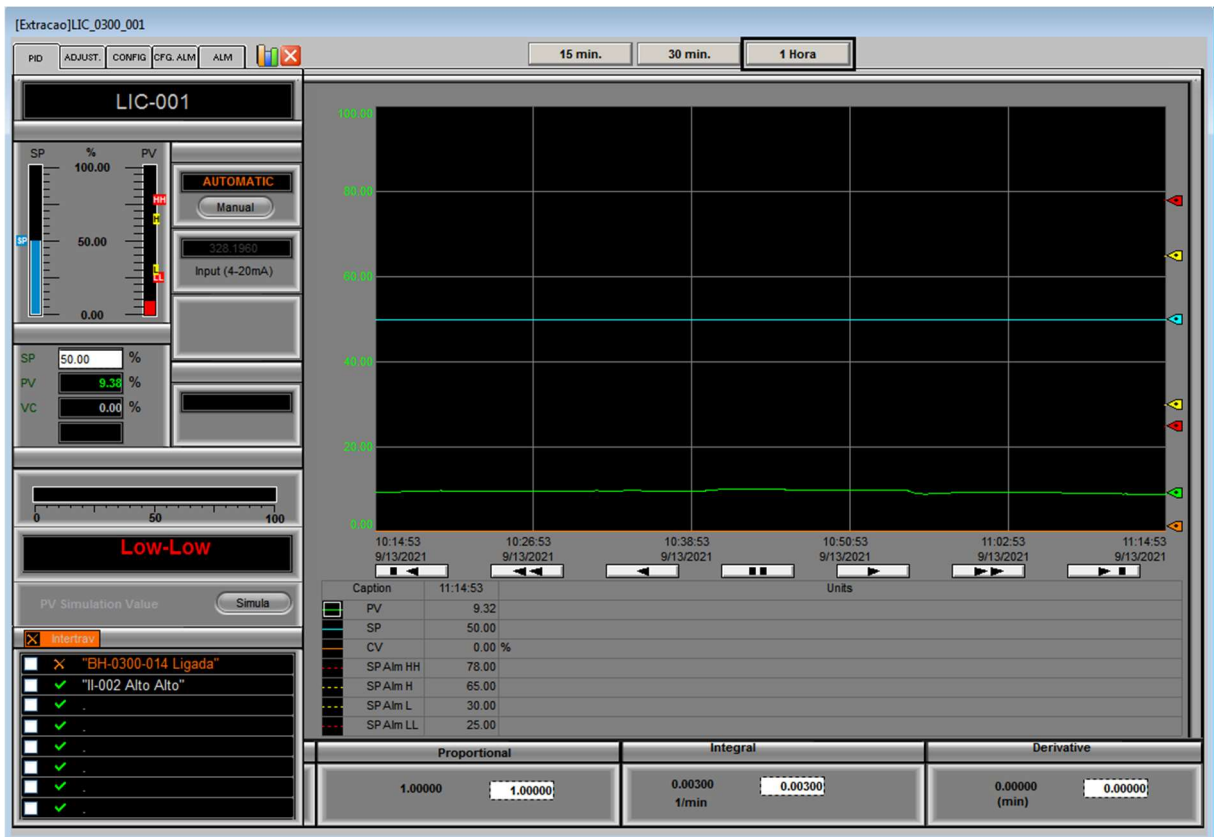
Severity	Event Time	Alarm Name	Condition Name	Message
800	13/09/2021 07:05:51	LIC_0300_001_LL TRIP	LIC_0300_001_LL - Alarme - Baixo-Baixo - PV: 21.17 Menor que: SP_LL: 25.00	
500	13/09/2021 07:05:43	LIC_0300_001_LL TRIP	LIC_0300_001_LL - Alarme - Baixo - PV: 25.76 Menor que: SP_LL: 30.00	
500	13/09/2021 07:05:23	LIC_0300_001_LL TRIP	LIC_0300_001_LL - Alarme - Baixo - PV: 34.48 Menor que: SP_LL: 30.00	
800	13/09/2021 07:05:19	LIC_0300_001_LL TRIP	LIC_0300_001_LL - Alarme - Baixo-Baixo - PV: 31.51 Menor que: SP_LL: 25.00	
800	13/09/2021 07:03:43	LIC_0300_001_LL TRIP	LIC_0300_001_LL - Alarme - Baixo-Baixo - PV: 21.50 Menor que: SP_LL: 25.00	
500	13/09/2021 07:03:37	LIC_0300_001_LL TRIP	LIC_0300_001_LL - Alarme - Baixo - PV: 24.93 Menor que: SP_LL: 30.00	
500	13/09/2021 07:01:09	LIC_0300_001_LL TRIP	LIC_0300_001_LL - Alarme - Baixo - PV: 34.66 Menor que: SP_LL: 30.00	
500	13/09/2021 07:01:03	LIC_0300_001_LL TRIP	LIC_0300_001_LL - Alarme - Baixo-Baixo - PV: 30.38 Menor que: SP_LL: 25.00	
800	13/09/2021 06:29:57	LSL_305 TRIP	LSL_305 - Chave de Nivel Baixo	
800	13/09/2021 06:29:55	LSL_305 TRIP	LSL_305 - Chave de Nivel Baixo	
800	13/09/2021 06:28:23	LSL_305 TRIP	LSL_305 - Chave de Nivel Baixo	
800	13/09/2021 06:28:21	LSL_305 TRIP	LSL_305 - Chave de Nivel Baixo	
800	13/09/2021 05:44:39	LSL_305 TRIP	LSL_305 - Chave de Nivel Baixo	
800	13/09/2021 05:44:37	LSL_305 TRIP	LSL_305 - Chave de Nivel Baixo	
500	13/09/2021 05:24:34	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 79.95 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:24:28	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 80.05 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:24:06	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 79.95 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:24:04	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 80.05 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:23:46	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 79.95 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:23:36	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 80.05 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:22:02	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 79.95 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:22:00	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 79.95 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:21:42	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 79.95 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:21:36	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 80.05 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:21:32	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 79.95 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:21:13	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 80.05 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:21:13	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 80.05 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:21:09	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 80.05 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:20:41	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 80.05 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:20:38	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 80.05 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:20:26	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 79.95 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:20:14	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 79.95 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:20:12	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 79.95 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:20:10	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 79.95 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:19:58	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 80.05 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:19:54	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 80.05 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:19:48	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 79.95 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:18:52	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 80.05 Menor que: SP_LL: 80.00	
500	13/09/2021 05:18:50	TIC_349_L TRIP	TIC_349_L - Alarme - Baixo - PV: 79.95 Menor que: SP_LL: 80.00	
800	13/09/2021 04:59:06	LSL_305 TRIP	LSL_305 - Chave de Nivel Baixo	
800	13/09/2021 04:59:04	LSL_305 TRIP	LSL_305 - Chave de Nivel Baixo	
800	13/09/2021 04:24:20	LSL_305 TRIP	LSL_305 - Chave de Nivel Baixo	
800	13/09/2021 04:24:18	LSL_305 TRIP	LSL_305 - Chave de Nivel Baixo	
800	13/09/2021 03:46:16	LSL_305 TRIP	LSL_305 - Chave de Nivel Baixo	

Fonte: Elaborada pelo autor.

Podemos verificar, na figura 57, um alarme destacado referente ao LIC-0300-001 (nível de lâminas de soja do EXT-012) em *trip* para um valor abaixo do alarme Baixo-Baixo definido em 25%, portanto, a condição de *trip* é apresentada no histórico de alarmes assim como o horário desde que este alarme persiste. Também é exibida esta condição no menu superior de alarmes, para facilitar a visualização deste alarme por parte do operador do supervísório, pois desta forma, independentemente de qual tela o operador esteja visualizando no momento, o alarme será facilmente identificado por meio desta aba de alarmes.

A seguir, na figura 58, pode ser visto o gráfico do LIC-0300-001 em condição de *trip* no momento registrado:

Figura 58 – LIC-0300-001 em *trip* Baixo-Baixo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

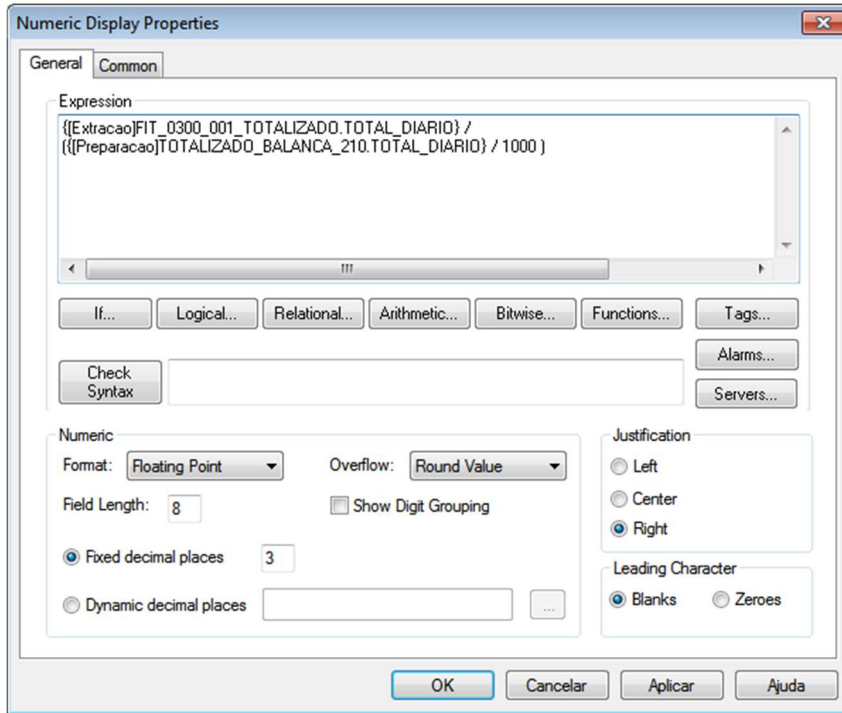
A figura 58 foi elaborada em um momento de parada da fábrica para uma manutenção, portanto, o valor da PV, neste caso o nível de lâminas de soja, está com este valor de *trip* propositalmente para a elaboração desta figura. Raramente haverá uma queda tão baixa assim do nível em condição normal de operação devido ao intertravamento realizado na BH-0300-014 que irá se desligar quando o nível entrar em *trip* Baixo-Baixo, evitando assim a chamada “quebra de selo” da massa do Extrator, condição esta que evita que gases provenientes da evaporação do hexano retornem para o setor da Preparação de Grãos.

#### 4.7 Relação Hexano x Soja

A relação hexano x soja da planta foi realizada por solicitação do fabricante do Extrator e da gerência da planta, pois mostra um indicador de que o consumo de hexano está dentro de uma faixa aceitável para operação do equipamento.

Foi realizado a relação diária de hexano x soja da planta ( $\text{m}^3/\text{ton}$ ), conforme a figura 59 a seguir:

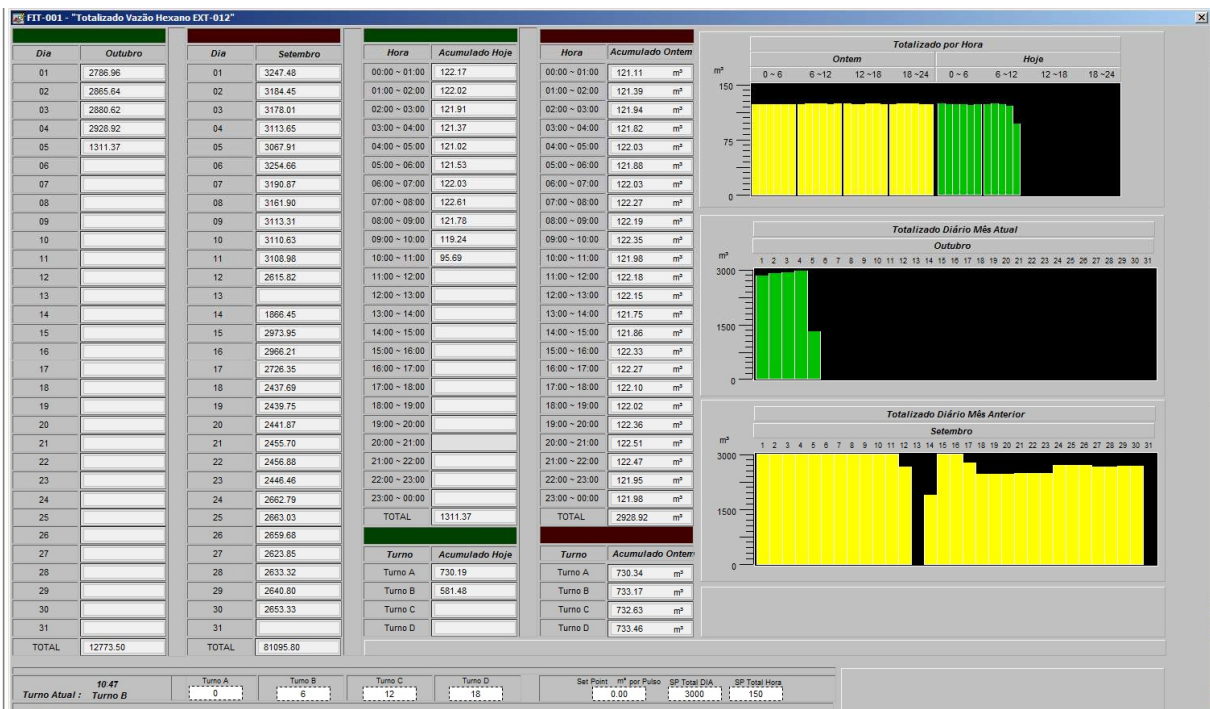
Figura 59 – Desenvolvimento da relação Hexano x Soja da Planta.



Fonte: Elaborada pelo autor.

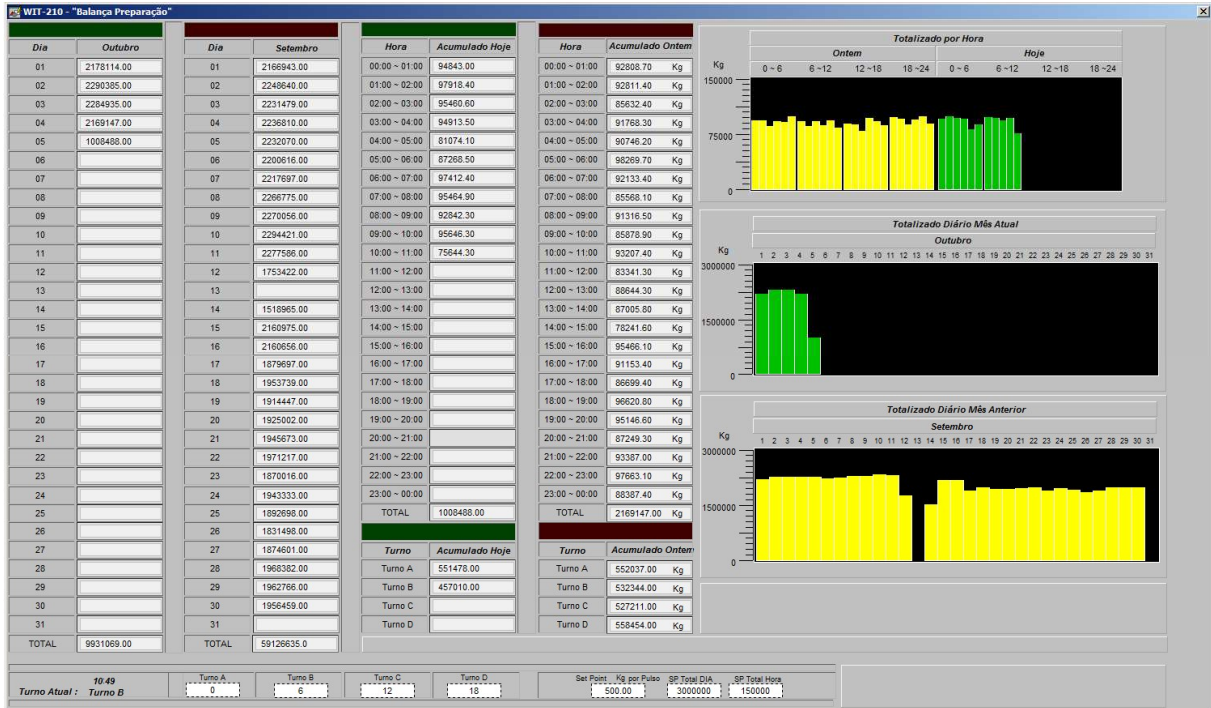
As variáveis utilizadas na expressão acima são o resultado de um bloco de controle de totalizado, também presente no Apêndice A.1, utilizado para a contabilização do balanço de massa de variáveis mássicas e volumétricas da planta que se encontram a seguir:

Figura 60 – Totalizador hexano FIT-0300-001.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 61 – Totalizador Soja balança WIT-210 da Preparação de Grãos.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após isto, é exibido o resultado da expressão da figura 59 em um display numérico no supervisor, assim como os *faceplates* dos blocos totalizados, conforme apresentado na figura 62 abaixo:

Figura 62 – Faceplates Totalizadores e Relação Diária.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na figura acima, podemos visualizar, à esquerda, o *faceplate* do totalizador volumétrico (em m<sup>3</sup>) do hexano utilizado no processo, ao centro, o *faceplate* do totalizador mássico (em kg) da balança de pesagem de soja do setor da Preparação de Grãos, e à esquerda, o resultado da expressão desenvolvida na figura 59.

Ao dividirmos o valor do acumulado diário em m<sup>3</sup> de hexano, pelo valor em toneladas do acumulado de soja, obtemos a Relação Diária Hexano/Soja da planta de Extração, sendo

esta função extremamente importante para controle gerencial e produtivo da planta, pois conforme o fabricante do Extrator, este valor deve permanecer dentro dos limites 1,25 e 1,45 metros cúbicos de hexano por tonelada de soja. Esta é, também, segundo o fabricante, a função de transferência da máquina.

## 5 CONCLUSÃO

O presente estudo propôs o desenvolvimento e aplicação de um projeto de automação de um Extrator de Óleo de Soja com capacidade de extração de duas mil toneladas por dia visando a sua operação automática. Baseando-se nos conceitos de automação, software supervisor, CLP's e controles PID's, foi desenvolvida toda a automação e integração do hardware necessário para que fosse possível concretizar este projeto.

Conforme apresentado nos resultados, pelas informações adquiridas oriundas do processo e das variáveis medidas, foi possível observar e gerar gráficos no tempo que são exibidos nas telas das estações de administração e de operação. Estes gráficos são de extrema importância e podem ser utilizados tanto na identificação de problemas, quanto nas tomadas de decisões referentes à operação da planta.

A automação do processo mostrou-se capaz de trabalhar continuamente e realizar o *startup* e a parada dos motores de forma automática. Essa propriedade torna o projeto da automação confiável e seguro para que os operadores possam realizar suas rotinas de forma tranquila sem que tenham que se preocupar com condições especiais existentes, condições essas que são controladas por meio dos intertravamentos desenvolvidos no processo da programação do CLP e definições dos pontos de alarme das variáveis medidas.

Durante a aplicação dos controladores PID's, foi observado uma melhoria na estabilidade do processo operacional como um todo, pois desta forma foram obtidos ganhos tanto na operação e produção, quanto na otimização de tempo por parte das rotinas operacionais. Foi observado pela gerência da planta que os operadores passaram a poder dedicar mais tempo às rotinas manuais, como coleta de dados em planilhas e a limpeza de ambientes, sendo assim, a otimização de tempo e de mão de obra, principalmente no *start-up* da planta, foi levantada como o principal ganho da aplicação destes controladores.

Se levarmos em conta o tempo dispensado para uma partida de processo segura feita anteriormente à aplicação dos controles PID's e compararmos com a situação final do processo automatizado, podemos perceber que, em média, o processo de *start-up* da planta teve uma melhora de tempo de, em média, uma hora. Sendo assim, podemos definir que a partida da planta e a sua estabilização das variáveis do processo ficaram, em média, uma hora mais rápidas. Além disso, também foi salientado pela gerência da produção que a confiança no processo automático se elevou muito após a aplicação dos controladores PID's, uma vez que não é mais necessário nenhum tipo de operação dos equipamentos de forma manual, garantindo, desta forma, alta confiabilidade e robustez no processo de automatização e operação do Extrator.

Assim sendo, podemos concluir que a totalidade dos objetivos iniciais do projeto da automação foram alcançados de maneira satisfatória, devido à alta confiabilidade adquirida no sistema e capacidade de operação automática, ininterrupta e segura do Extrator de Óleo.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. C. **The British Industrial Revolution in global Perspective: How commerce created the Industrial Revolution and modern economy growth.** Working paper Nuffield College. University of Oxford, 2006.
- ERICKSON, D. **Practical Handbook of Soybean Processing and Utilization.** AOCS Press & United Soybean Board, 1995.
- PARK, J & MACKAY, S. **Practical data acquisition for instrumentation and control systems.** Newnes Publications, 2003.
- RASMUSSEN, C. B.; RITCHIE, E. Variable speed brushless dc motor drive for household refrigerator compressor. In: **Proc. Eighth Int Electrical Machines and Drives Conf. (Conf. Publ. No. 444).** 1997. p. 128–132.
- SCHWAB, K. **Industry 4.0: The Fourth Industrial Revolution.** Geneva: World Economic Forum, 2016.
- GIANNETTI DA FONSECA, Eduardo. **Globalização, transição econômica e infraestrutura no Brasil.** Texto preparado para o Seminário “Competitividade na infraestrutura para o Século XXI”, promovido pelo Instituto de Engenharia, São Paulo, realizado em 24/09/96, reproduzido em *Ideias Liberais*, Ano IV, N° 62, 1996.
- LAMB, F. **Automação Industrial na Prática.** 1ª ed. Porto Alegre: Ed. AMGH, 2015.
- MORAES, C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial.** 2ª ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2010.
- CAPELLI, A. **Automação Industrial: Controle e Movimento de Processos.** 3ª ed. São Paulo: Ed. ÉRICA, 2013.
- PETRUZELLA F. D. **Controladores Lógicos Programáveis.** 4ª ed. Porto Alegre: Ed. AMGH, 2014.
- DORSA, R. **Tecnologia de Óleos Vegetais.** Campinas: Gráfica Ideal, 2004.
- BEGA, E. A.; DELMÉE, G. J.; COHN, P. E.; BULGARELLI, R.; KOCH, R.; FINKEL, V. S.; **Instrumentação Industrial.** Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2006.
- BEGA, E. A.; **Instrumentação e Controle Aplicado a Caldeiras.** Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003.
- FILHO, N. S.; **Instrumentação para Automatização em Caldeira.** São Paulo: Editora Acadêmica, 1988.
- MOLLENKAMP, R. A.; **Controle Automático de Processos.** São Paulo: EBRAS - Editora Brasileira, 1988.
- LIPTÁK, B. G. & VENCZEL, K.; **Instrument Engineer’s Handbook – Process Control.** Chilton Book Company, Radnor Pennsylvania, 1985.

ANDREW, W. G.; **Applied Instrumentation in the Process Industries.** Gulf Publishing Co.; Houston, 1974.

COUGHANOWR & KOPPEL. **Process Systems Analysis and Control.** International Student Edition, McGraw-Hill Book Co., 1965.

## **APÊNDICE A – Lógica da Programação em FBD da automação**

### **A.1 Blocos de Função**

Os blocos de função que foram utilizados, tanto para os cartões de IO's quanto para instrumentação e motores, são fornecidos pela fabricante Allen-Bradley/Rockwell Automation e estão disponíveis em seu site (ab.com) para serem baixados gratuitamente. Na pasta do Google Drive a seguir, está disponibilizada a programação gerada dentro de nosso CLP após a inserção destes blocos de função:

<https://www.encurtador.com.br/nuvOY>

### **A.2 Instrumentação**

A programação da Instrumentação da planta utilizando-se da lógica de blocos de função, assim como suas respectivas Entradas e Saídas utilizadas para integração dos Instrumentos e do CLP estão disponíveis para consulta na pasta do Google Drive a seguir:

<https://www.encurtador.com.br/ekln2>

### **A.3 Motores**

Para a programação dos blocos de função dos motores, também foram utilizados FBD's disponibilizados pela fabricante. Na pasta do Google Drive a seguir, foram disponibilizados os documentos gerados a partir da programação dos blocos dos motores, juntamente com as entradas e saídas utilizadas nos acionamentos dos mesmos, assim como estão expostos os intertravamentos que foram definidos juntamente com a gerência da área de Extração.

<https://www.encurtador.com.br/mxQW7>

## **ANEXO A – Materiais e documentos**

Os materiais e documentos aqui apresentados são de autoria e propriedade intelectual do autor deste projeto, servindo apenas para consulta de apoio na interpretação do mesmo, sendo proibida e vedada a sua reprodução e divulgação sem a expressa autorização.

### **A.1 Pasta no Google Drive**

<https://www.encurtador.com.br/fly37>