

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO**

LUCAS LOPES PROFIRO

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE
PRESSÃO PARA UMA COLUNA DE DESTILAÇÃO ASTM D
2892**

VITÓRIA
2021

LUCAS LOPES PROFIRO

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE PRESSÃO PARA UMA COLUNA DE DESTILAÇÃO ASTM D 2892

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Lucas Lopes Profiro**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Mattedi

VITÓRIA
2021

LUCAS LOPES PROFIRO

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE PRESSÃO PARA UMA COLUNA DE DESTILAÇÃO ASTM D 2892

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Lucas Lopes Profiro**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em 04 de outubro de 2021.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Alessandro Mattedi
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr. André Ferreira
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador



Eng. João Paulo Favero
Eccouni Engenharia Elétrica
Examinador

Ao Nosso Senhor Jesus Cristo e sua Mãe Maria Santíssima.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, autor da vida e razão de minha existência.

Agradeço aos meus pais, Arilson e Eneir, que me criaram, incentivaram e deram a oportunidade de estudo. Agradeço ao meu irmão, Bruno, e meu primo, Rizzieri, por apontarem o caminho para a Engenharia Elétrica. Agradeço também à minha noiva e meus amigos, pois me motivaram e acreditaram que esse dia chegaria.

Agradeço também a todos os professores do curso de Engenharia Elétrica da UFES, especialmente ao meu orientador, Alessandro, por ter me acolhido, me orientado e incentivado para a realização do projeto.

Por fim, agradeço a todos que fizeram parte, de forma direta e indiretamente, de minha formação como engenheiro eletricitista.

RESUMO

Na indústria do petróleo, a destilação é um processo essencial, no qual se obtém conhecimento dos pontos de ebulição e frações do óleo cru. Com a finalidade de obter melhores resultados na destilação, o trabalho propõe a implementação de um controle em uma unidade de destilação ASTM D 2892, com foco no controle de pressão por uma bomba de vácuo e válvula *On/Off* e o desenvolvimento de uma IHM para operação. Essa unidade é uma planta de destilação de petróleo em batelada e consiste, basicamente, em um balão de petróleo cru, uma coluna fracionada, solenoide e condensador. A monografia consiste na apresentação e utilização do método ASTM D 2892, descrição da planta e toda a aparelhagem utilizada, fundamentação do controle de pressão, apresentação dos sensores e atuadores e, por fim, implementação do controle de pressão via PLC-SCADA, seus resultados e conclusão.

Palavras-chave: PLC-SCADA. ASTM D 2892. Petróleo.

ABSTRACT

In the petroleum industry, distillation is an essential process, in which one obtains knowledge of the boiling points and fractions of the crude oil. In order to obtain better results in distillation, this work proposes the implementation of a control in a ASTM D 2892 distillation unit, focusing on pressure control by a vacuum pump and *on/off* valve, and the development of an HMI for operation. This unit is a batch oil distillation plant and consists basically of a crude oil flask, a fractionating column, solenoid, and condenser. The monograph consists of the presentation and use of the ASTM D 2892 method, description of the plant and all the equipment used, rationale for the pressure control, presentation of the sensors and actuators, and finally, implementation of the pressure control PLC-SCADA, its results and conclusion.

Keywords: PLC-SCADA. ASTM D 2892. Oil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Unidade de destilação ASTM 2892.....	18
Figura 2: Gráfico da Curva PEV de uma amostra de petróleo.....	21
Figura 3 - Pressão de vapor.....	22
Figura 4 - Influência da pressão externa na pressão de vapor.....	23
Figura 5 - Diagrama de blocos de malha aberta.....	25
Figura 6 - Diagrama de blocos de malha fechada.....	26
Figura 7 - Planta real.....	27
Figura 8 - Bomba de vácuo DAA-V507-GD.....	29
Figura 9 - Válvula Solenoide.....	30
Figura 10 - Válvula aberta.....	30
Figura 11 - Válvula fechada.....	31
Figura 12 - Sensor Baratron 626B visto lateralmente.....	31
Figura 13 - Sensor Baratron 626B visto de cima.....	32
Figura 14 - Componentes do sensor de pressão.....	33
Figura 15 - Ajustes de zero, período e linearidade.....	33
Figura 16 - CPU NX3005 com inclusão dos cartões de E/S.....	35
Figura 17 - Representação do controle de pressão na planta.....	41
Figura 18 - Lógica de controle para controle da pressão.....	41
Figura 19 - Fluxograma para controle de pressão.....	43
Figura 20 - Tela Inicial MasterTool IEC XE.....	44
Figura 21 - Interface de programação MasterTool IEC XE.....	45
Figura 22 - Interface de simulação MasterTool IEC XE.....	46
Figura 23 - Esquemático de conexão dos equipamentos ao painel elétrico e PL.....	47
Figura 24 - Diagrama para controle de pressão.....	47
Figura 25 - Tela inicial IX Developer.....	48
Figura 26 - Gerenciamento de telas no IX Developer.....	49
Figura 27 - Marcações no IX Developer.....	50
Figura 28 - Segurança no IX Developer tela de grupos.....	51
Figura 29 - Segurança no IX Developer tela de usuários.....	51
Figura 30 - IHM - Tela principal.....	52
Figura 31 - IHM - Tela Log in.....	53
Figura 32 - IHM - Tela Manta Inferior.....	54

Figura 33 - IHM - Tela Manta superior.....	54
Figura 34 - IHM - Tela Manta coluna.....	55
Figura 35 - IHM - Tela Válvula MV5.....	55
Figura 36 - IHM - Tela válvula <i>On/Off</i> pressão.....	56
Figura 37 - IHM - Tela de alarme.....	56
Figura 38 - IHM - Tela configurações.....	57
Figura 39 - Supervisório - Controle de pressão para <i>set-pont</i> de 75mmHg.....	59
Figura 40 - Supervisório - Controle de pressão de 75mmHg para 25mmHg.....	60
Figura 41 - Foto da IHM com a planta em operação.....	61
Figura 42 - IHM - Pressão no tempo.....	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Quantidade (percentagem em massa) dos elementos que compõem o petróleo.....	19
Quadro 2 - Destilado e suas faixas de temperatura.....	20
Quadro 3 - Classificação do Petróleo baseada no °API.....	20

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AET	Atmospheric Equivalent Temperature
API	<i>American Petroleum Institute</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ASTM D 2892	<i>Standard Test Method for Distillation of Crude Petroleum</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
DOPOLAB	Laboratório de Desenvolvimento e Otimização de Processos Orgânicos
IHM	Interface Homem-Máquina
PEV	Ponto de Ebulição Verdadeiro
RTD	Resistance Temperature Detectors
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
ST	Struct Text
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Motivação.....	13
1.2 Sobre o Projeto.....	13
1.3 Justificativa.....	14
1.4 Objetivo.....	14
1.4.1 Objetivo Geral.....	14
1.4.2 Objetivos Específicos.....	15
1.5 Escopo.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 Petróleo.....	16
2.2 Método ASTM D 2892.....	16
2.3 Curva PEV.....	19
2.4 Pressão de vapor e Temperatura Equivalente Atmosférica.....	22
2.4.1 Pressão de vapor.....	22
2.4.2 Temperatura Equivalente Atmosférica.....	23
2.5 Conceitos de Controle.....	24
2.5.1 Definição e conceitos básicos.....	24
2.5.1.1 Processo.....	24
2.5.1.2 Variável controlada.....	24
2.5.1.3 Variável Manipulada.....	24
2.5.1.4 Atuador.....	24
2.5.1.5 Controlador.....	24
2.5.1.6 Planta.....	24
2.5.1.7 Sensor.....	24
2.5.1.8 Pertubação.....	25
2.5.2 Sistema de controle.....	25
2.5.2.1 Sistema de controle em malha aberta.....	25
2.5.2.2 Sistema de controle em malha fechada.....	25
3 DESCRIÇÃO DA UNIDADE E AUTOMAÇÃO DA PLANTA.....	27
3.1 Unidade de destilação ASTM D 2892.....	27

3.2 Atuadores.....	29
3.2.1 Bomba de vácuo.....	29
3.2.2 Válvula solenoide para controle pressão.....	29
3.3 Sensor de pressão.....	31
3.3.1 Eletrônica e calibração do sensor.....	32
3.4 Controlador Lógico Programável.....	34
3.4.1 NX3005.....	34
3.4.2 Módulos de entrada e saída.....	35
3.4.2.1 Entrada Digital – Módulo NJ1001.....	35
3.4.2.2 Entrada Analógica – Módulo NJ6000.....	36
3.4.2.3 Entrada Analógica de temperatura (RTD) – Módulo NJ6020.....	36
3.4.2.4 Saída Digital – Módulo NJ2001.....	37
3.4.2.5 Saída Analógica – Módulo NJ6100.....	37
3.5 Sistema SCADA.....	38
3.6 Norma IEC 61131-3.....	38
Linguagem Textual.....	38
Linguagem Gráfica.....	38
3.6.1 Texto Estruturado.....	39
4 IMPLEMENTAÇÃO DO CONTROLE DE PRESSÃO.....	40
4.1 Sistema de controle de pressão - Conceito.....	40
4.2 Implementação da lógica de controle.....	41
4.2.1 Algoritmo de controle.....	42
4.2.2 Programação do PLC.....	44
4.2.3 Conexão dos equipamentos.....	46
4.3 Desenvolvimento da IHM e controle operação.....	48
4.3.1 Software de desenvolvimento.....	48
4.4 Telas pra operação.....	51
4.5 Coleta e análise de resultados.....	58
4.5.1 Teste de controle de pressão fora do processo de destilação.....	58
4.5.2 Resultado de controle de pressão na planta no processo de destilação.....	60
5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Unidades de destilação de acordo com a norma ASTM D 2892 (2003) têm sido muito importantes para análise de petróleos, para o levantamento de curvas que relacionam faixas de temperaturas com faixas de volume ou massa (curvas de Pontos de Ebulição Verdadeiros - PEV). Essas informações são de suma importância para subsidiar tomadas de decisão de projeto, operação e manutenção dos processos de exploração, produção e refino de petróleo (Lopes et. al 2007). Por isso, trabalhos de pesquisa de caracterização de petróleo são de grande importância, tanto no âmbito industrial, como acadêmico. No entanto, em grande parte das situações, essas unidades são importadas a um custo bastante elevado. Por isso, tem havido algumas iniciativas de montagem de unidades nacionais e de baixo custo no Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Metodologias para Caracterização de Óleos Pesados – LABPETRO (MOTA; MALACARNE, 2009).

1.2 Sobre o Projeto

Este projeto, de certa forma, é uma continuação de projetos de automação e controle já realizados no LABPETRO (Cremasco, 2014; Bassani, 2014; Cypriano, 2015; Duarte, 2014; Guimarães, 2013); assim, esse projeto terá como base esses trabalhos, especialmente Guimarães (2013).

Os projetos passados foram realizados utilizando controladores da Rockwell programados em linguagem *Ladder* pelo *software RSLogix*. Nesse projeto, em particular, os controladores são de produção nacional, fabricados pela Altus Sistemas de Automação, e serão programados utilizando Texto Estruturado pelo softwares MasterTool e IX Developer.

O presente projeto discorrerá sobre a unidade de destilação, a norma que a rege, sobre a importância do controle de pressão para o desenvolvimento da curva PEV, o conceito e a implementação do controle de pressão e, a criação de uma interface homem-máquina para controle, monitoramento e operação da planta.

1.3 Justificativa

Este projeto procura desenvolver habilidades de desenvolvimento de projetos, que extrapolam a sala de aula, como a capacidade de montar um sistema de automação e controle dentro de uma abordagem industrial (IHM-PLC).

A necessidade de desenvolver um sistema de controle automático justifica o presente trabalho. Uma vez que o mesmo seja aplicado à uma planta de destilação de petróleo, não há impedimento para desenvolvimento de outros projetos.

Para a realização dos cortes de destilação, é necessário que o petróleo seja aquecido a temperaturas altíssimas, passando de 300°C. Por ser um óleo denso, viscoso, repleto de componentes químicos, é necessário temperaturas ainda mais elevadas, o que, por sua vez, danificaria o material, tornando assim, inviável a sua destilação.

Através do controle de pressão, mais especificamente, controle de vácuo, através da relação pressão/temperatura, relacionando à pressão de vapor, permite-se que o petróleo entre em ebulição em temperaturas menores, expandindo a capacidade do destilador. A pressão de vapor é uma medida de tendência de evaporação de um líquido, ou seja, quanto maior for a sua pressão de vapor mais volátil será o líquido e menor será a sua temperatura de ebulição.

Em estudos como o de Cypriano (2015), o controle de pressão foi realizado utilizando a válvula de controle, encontrando grandes desafios na vedação da planta. A distinção deste projeto está na implementação de um controlador lógico programável (CLP) que permite o controle automático de toda a planta, com foco principal no controle fino da pressão por uma válvula *On/Off* e o desenvolvimento de uma interface homem-máquina (IHM).

1.4 Objetivo

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é o estudo, a construção e implementação de um controle de pressão de uma unidade de destilação laboratorial ASTM D 2892 utilizando uma válvula solenoi-

de *On/Off* e o desenvolvimento de uma IHM. Tal unidade será aplicada para o estudo e pesquisa de petróleos no DOPOLAB, laboratório de química na Universidade Federal do Rio de Janeiro, provenientes da extração do pré-sal brasileiro pela Petrobras.

1.4.2 Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral pudesse ser atingido, alguns objetivos específicos precisaram ser alcançados. Dentre estes, destacam-se:

- Programar um computador industrial para controle de pressão;
- Desenvolver uma interface homem-máquina para operação da planta;
- Contribuir para o estudo das propriedades químicas no laboratório onde ocorrerá a implementação.

1.5 Escopo

O escopo deste trabalho consiste em controlar a pressão de uma planta de destilação ASTM D 2892, bem como desenvolver as ferramentas para a operação, gerenciamento e supervisão em uma IHM.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Petróleo

O petróleo é conhecido desde os primórdios das civilizações. Porém, só em 1859 que iniciou-se a perfuração de poços petrolíferos e, desde então, começou a ser explorado exponencialmente. De acordo com o relatório da *Statistical Review of World Energy* de 2021, o petróleo representa um terço do consumo de energia do mundo. A parcela supera qualquer categoria de energia. 88,4 milhões de barris foram consumidos por dia em 2010. Com isso, é inegável, que sua participação é essencial na vida de todas as pessoas e ainda estará presente por muito tempo (CYPRIANO, 2015).

Usado como fonte principal para indústria, aquecimento e transporte, o petróleo também pode ser utilizado para fornecer matéria-prima para diversos materiais, como, plásticos, polímeros, e muitos outros (MOTA, 2008).

O petróleo cru, extraído da natureza, não pode ser usado diretamente, pois possui uma grande quantidade de hidrocarbonetos e diferentes propriedades químicas. Para que seja possível a separação em outros subprodutos é necessário passar por um processo de destilação fracionada. Esse processo é realizado pelo fenômeno de equilíbrio líquido-vapor através de controle de temperatura e pressão (CALDAS, 2007).

Desde o começo da exploração do petróleo e início dos seus estudos, os cientistas desenvolveram normas para garantir uma destilação correta. O padrão de destilação que contempla esse projeto foi realizado pelo *American Society for Testing and Materials* (ASTM) através da norma *Standard Test Method for Distillation of Crude Petroleum* (ASTM D 2892), que descreve os procedimentos de destilação laboratorial para levantamento da curva de pontos de ebulição verdadeiro para petróleo cru (GUIMARÃES, 2013).

2.2 Método ASTM D 2892

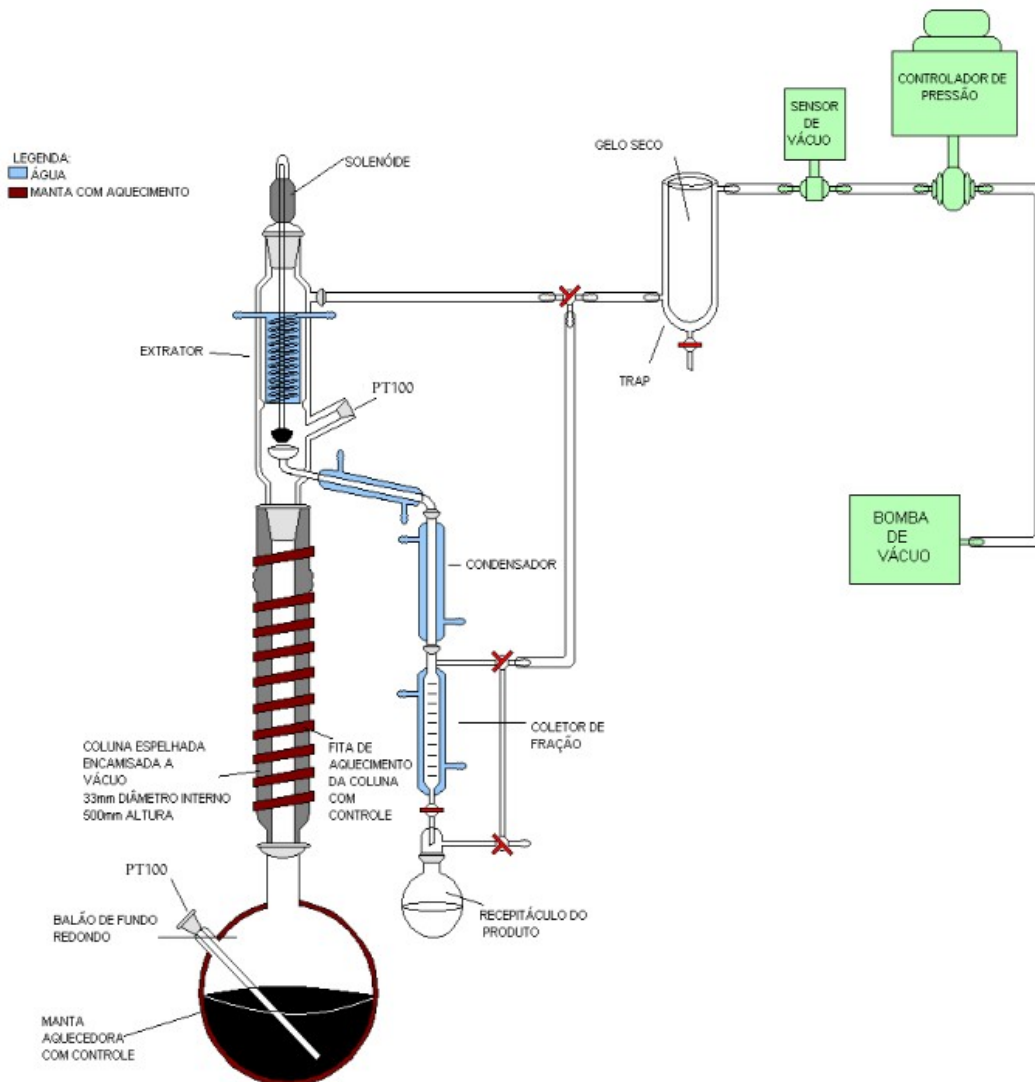
A norma ASTM D 2892 padroniza uma planta de destilação batelada. Ela é capaz de estimar o conteúdo das frações de vários intervalos de ebulição do petróleo cru. Essa estimativa é va-

liosa para a gerência de avaliação, tanto na produção como no refino nas empresas do ramo (CYPRIANO, 2015).

A destilação se inicia com extração de frações menos densas de petróleo e termina com extrações mais densas pelo aumento da temperatura de destilação (CREMASCO, 2014). Quando é necessário elevar muito a temperatura do petróleo, por exemplo, acima de 300°C, diminui-se a pressão interna da planta, para que evite o craqueamento do petróleo. O processo é submetido a baixas pressões e as temperaturas são convertidas em equivalentes atmosféricos em função da pressão (DUARTE, 2014).

A Figura 1 é uma representação de uma coluna de destilação ASTM D 2892. Nela é possível verificar todos os componentes básicos necessários para a confecção da planta, como, condensador, solenoide, frasco, manta da coluna, manta superior, manta inferior e balão.

Figura 1: Unidade de destilação ASTM 2892



Fonte: Mota (2008) .

Nota: Editada pelo autor.

De acordo com a norma ASTM D 2892 (2003), as regras mais importantes a serem seguidas quanto aos equipamentos utilizados para destilação são:

- Frasco de destilação (balão volumétrico) de 1 a 30 litros, sendo que este deve ser pelo menos 50% maior que o volume de petróleo utilizado. Caso o balão seja de vidro, não é recomendado utilizar acima de 10 litros.
- O sistema de aquecimento deve ser realizado por mantas elétricas, sendo que a manta inferior deve fornecer um terço de sua potência de aquecimento bem ao fundo do balão e o resto espalhado pelas laterais do mesmo.

- Recomenda-se que o aquecimento seja feito por um controlador proporcional, porém também pode ser feito manualmente com um autotransformador variável em cada circuito de aquecimento.
- Potência mínima da manta principal (inferior) deve ser de 0,125 W/mL.
- A parte de cima do balão deve ser coberta com uma manta elétrica para evitar perda de calor. Esta deve ser capaz de fornecer 0,25 W/cm² em tensão máxima.
- Condensador deve ser capaz de condensar essencialmente os compostos de C₄ e C₅ com uma temperatura de -20° C.
- A taxa de refluxo deve ser de 5:1 (relação de abertura e fechamento de solenoide para coleta do vapor condensado) para pressões de 760, 100 e 10 Torr e de 2:1 para 2 Torr.

2.3 Curva PEV

O petróleo é uma mista de centenas de hidrocarbonetos diferentes. De acordo com Mota (2008), a diferença entre os óleos em torno do mundo é a composição de hidrocarbonetos. O Quadro 1 tem como objetivo mostrar a composição dos elementos que variam no petróleo encontrado no globo terrestre.

Quadro 1 - Quantidade (percentagem em massa) dos elementos que compõem o petróleo

Elementos	Percentagem em massa (%)
Carbono (C)	83,0 – 87,0
Hidrogênio (H)	10,0 – 14,0
Nitrogênio (N)	0,1 – 2,0
Oxigênio (O)	0,05 – 1,5
Enxofre (S)	0,05 – 6,0
Metal (níquel, vanádio, cobre...)	< 0,1 (<1000 ppm)

Fonte: RIAZI (2005).

A destilação do petróleo não gera produtos puros, mas misturas de hidrocarbonetos que são chamadas de frações (MOTA, 2008). Pelo processo de destilação é possível construir a curva de Ponto de Ebulição Verdadeiro, conhecida como curva PEV. Através desta curva sabe-se a quantidade de destilado de petróleo para cada ponto de ebulição. O Quadro 2 prevê a utilidade do petróleo destilado para cada ponto de ebulição (LOPES, 2007).

Quadro 2 - Destilado e suas faixas de temperatura

Destilado	Hidrocarbonetos contidos	Faixa de temperatura (°C)
Gás	C ₂ - C ₄	-90 a 1
Gasolina	C ₄ - C ₁₁	-1 a 200
Nafta	C ₄ - C ₁₁	-1 a 205
Combustível de aviação	C ₉ - C ₁₄	150 – 255
Querosene	C ₁₁ - C ₁₄	205 - 255
Diesel	C ₁₁ - C ₁₆	205 - 290
Óleo Combustível Leve	C ₁₄ - C ₁₈	255 - 315
Óleo Combustível Pesado	C ₁₈ - C ₂₈	315 - 425
Graxa	C ₁₈ - C ₃₆	315 - 500
Óleo lubrificante	> C ₂₅	> 400
Óleo Combustível de vácuo	C ₂₈ - C ₅₅	425 - 600
Resíduo	> C ₅₅	> 600

Fonte: Riazi (2005).

A densidade é a relação entre a massa e o volume de uma determinada substância. A *American Petroleum Institute (API)* é uma escala para indicar a leveza do óleo e descrita pela equação (1) e pelo Quadro 3.

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{\rho} - 131,5 \quad (1)$$

Quadro 3 - Classificação do Petróleo baseada no °API.

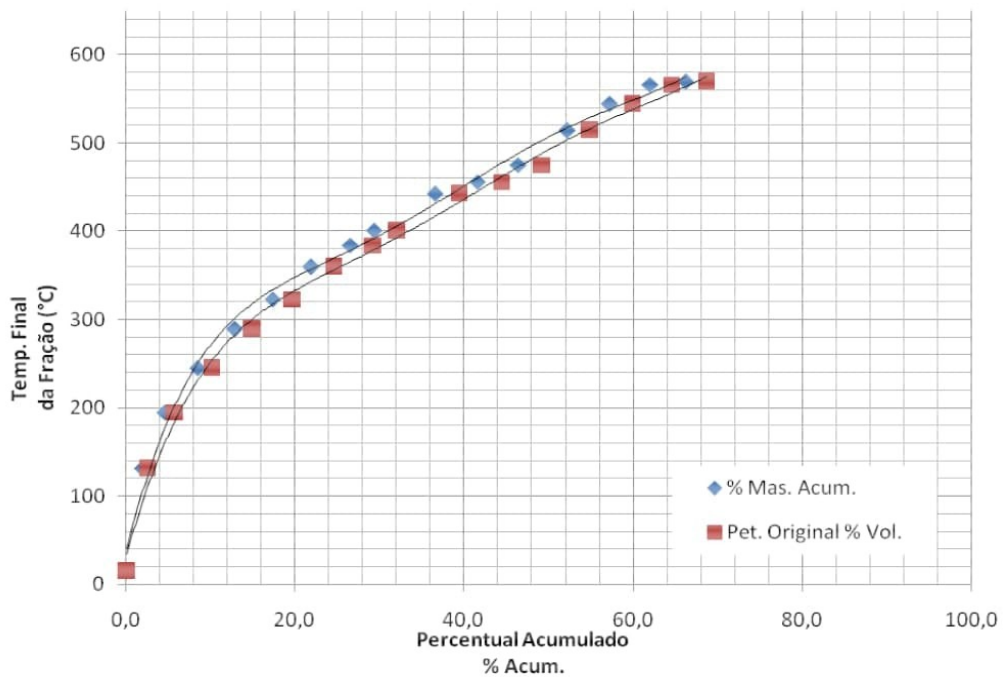
Classificação	°API	Densidade 20/40°C
Extra-Leve	> 40,0	< 0,821
Leve	40,0 – 33,0	0,821 – 0,857

Médio	33,0 - 27,0	0,857 – 0,889
Pesado	27,0 - 19,0	0,889 – 0,937
Extra-pesado	19,0 – 15,0	0,937 – 0,962
Asfáltico	< 5,0	> 0,962

Fonte: Guimarães (2004).

A curva PEV é o gráfico das temperaturas de destilação pela porcentagem em massa ou em volume do destilado retirado naquela faixa de temperatura. Com essa curva, analisa-se o rendimento e qual a qualidade do petróleo analisado (MOTA, 2008). A curva PEV pode ser observada na Figura 2.

Figura 2: Gráfico da Curva PEV de uma amostra de petróleo



Fonte: Mota (2008).

De acordo com Lopes (2007), a curva PEV tem grande contribuição para a ciência e tecnologia do petróleo e auxilia na classificação e correlação das propriedades dos produtos do petróleo.

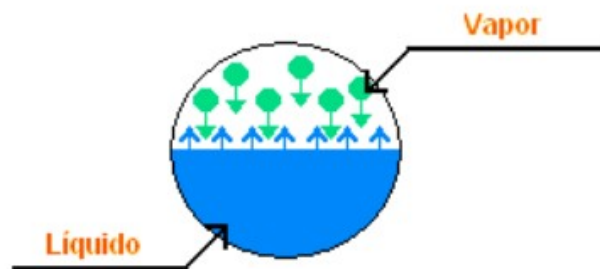
2.4 Pressão de vapor e Temperatura Equivalente Atmosférica

2.4.1 Pressão de vapor

A pressão de vapor é a pressão exercida por um vapor quando este está em equilíbrio com líquido que lhe deu origem. Para exemplificar, considere um recipiente fechado onde se coloca uma certa quantidade de água a temperatura ambiente. Ao aquecer o recipiente, as moléculas da superfície do líquido tenderão a evaporar, aumentando a pressão.

A Figura 3 representa o recipiente fechado com as transformações de estado ocorrendo em seu interior (MOTA, 2008).

Figura 3 - Pressão de vapor

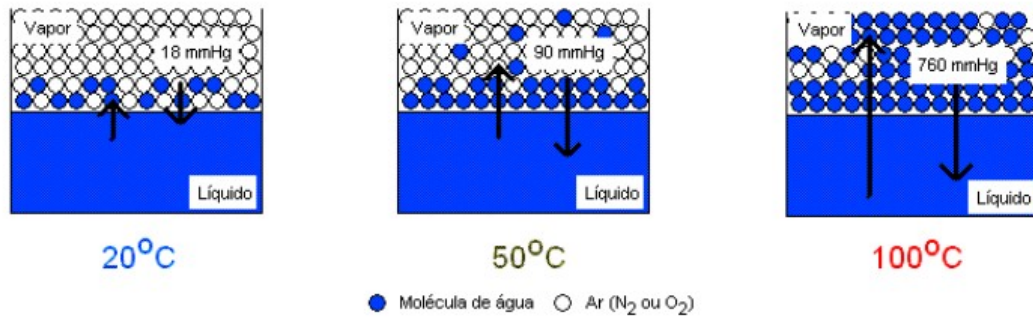


Fonte: Mota (2008).

Então, chega-se a lei fundamental da pressão de vapor, ou seja, a pressão máxima de vapor de um líquido depende somente da natureza do líquido e da temperatura (SILVESTRE, 2005).

Além da temperatura, a pressão externa tem contribuição para a vaporização de um líquido, quanto menor a pressão, mais fácil é a mudança do estado líquido para gasoso. A Figura 4 representa a água num recipiente com pressão de 18mmHg, 90mmHg e 760mmHg, junto ao vetor pressão de vapor.

Figura 4 - Influência da pressão externa na pressão de vapor.



Fonte: Mota (2008).

2.4.2 Temperatura Equivalente Atmosférica

A norma ASTM D 2892, no item A8, descreve a prática para conversão de temperaturas de vapor observadas à temperatura equivalente atmosférica (AET), onde diz que essa prática é para a conversão das temperaturas reais de destilação em pressões inferiores a 760mmHg.

$$AET = \frac{748,1 A}{[1/(T+273,15)] + 0,3861 A - 0,00051606} \quad (2)$$

onde AET = Temperatura Equivalente Atmosférica, °C

T= temperatura de vapor observada, em °C.

E A é definido por:

$$A = \frac{5,994295 - 0,972546 \log_{10}(P)}{2663,129 - 95,76 \log_{10}(P)} \quad (3)$$

Onde, P = pressão de operação, em mmHg, e ≥ 2 mmHg.

2.5 Conceitos de Controle

2.5.1 Definição e conceitos básicos

2.5.1.1 Processo

Processo é o sistema físico que se deseja controlar.

2.5.1.2 Variável controlada

Variável controlada, ou saída, é a variável do processo físico que deverá ser forçada a um valor fixo ou a seguir uma trajetória de referência. Uma pressão da unidade de destilação, por exemplo.

2.5.1.3 Variável Manipulada

Variável Manipulada é a variável que o controlador atua sobre a planta com o fim de forçar a variável controlada seguir o sinal de *set-point*. A abertura e fechamento da válvula *On/Off* para a atuação da bomba de vácuo no processo, por exemplo.

2.5.1.4 Atuador

Atuador é o dispositivo que recebe um sinal de controle atuando de forma física no processo, modificando sua entrada. Uma válvula solenoide *On/Off*, por exemplo.

2.5.1.5 Controlador

Controlador é o dispositivo que recebe o sinal de *set-point* e emite o sinal de controle para o atuador. Um PLC, por exemplo.

2.5.1.6 Planta

Planta é conjunto de itens de uma máquina. Uma planta de destilação de petróleo, por exemplo.

2.5.1.7 Sensor

Sensor é o equipamento que mede uma grandeza física do processo. Sensor de pressão, por exemplo.

2.5.1.8 Perturbação

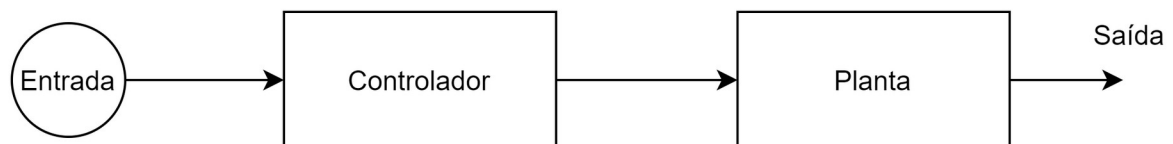
Perturbação é todo tipo de interferência externa que afeta a variável controlada. Vazamento de ar na unidade de destilação, por exemplo.

2.5.2 Sistema de controle

2.5.2.1 Sistema de controle em malha aberta

Um sistema de controle em malha aberta é um sistema em que a saída não é realimentada para o sistema de controle (GOLNARAGHI; KUO, 2012). A Figura 5 mostra o diagrama de blocos desse sistema.

Figura 5 - Diagrama de blocos de malha aberta

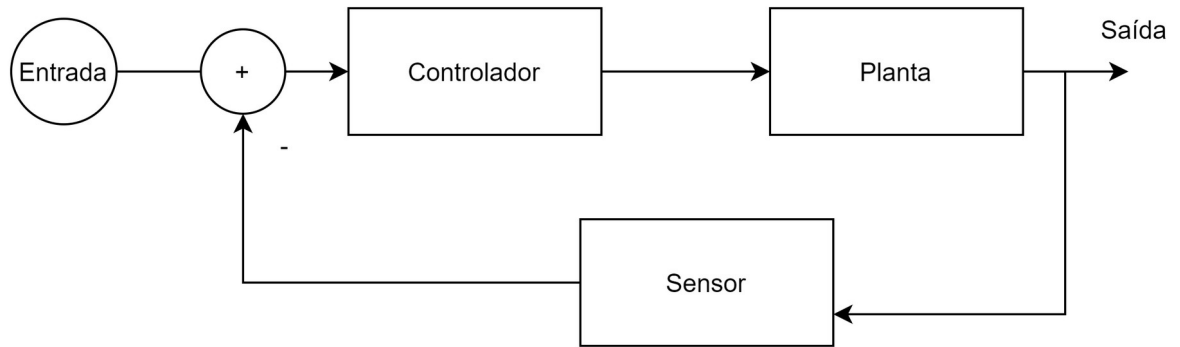


Fonte: Produção do próprio autor.

2.5.2.2 Sistema de controle em malha fechada

Já um sistema de controle em malha fechada ocorre a realimentação do sinal de saída para o sistema de controle. O erro é definido pela diferença entre o sinal de entrada (*set-point*) e sinal de realimentação, que normalmente é a variável controlada (GOLNARAGHI; KUO, 2012). A Figura 6 mostra o diagrama de blocos desse sistema.

Figura 6 - Diagrama de blocos de malha fechada



Fonte: Produção do próprio autor.

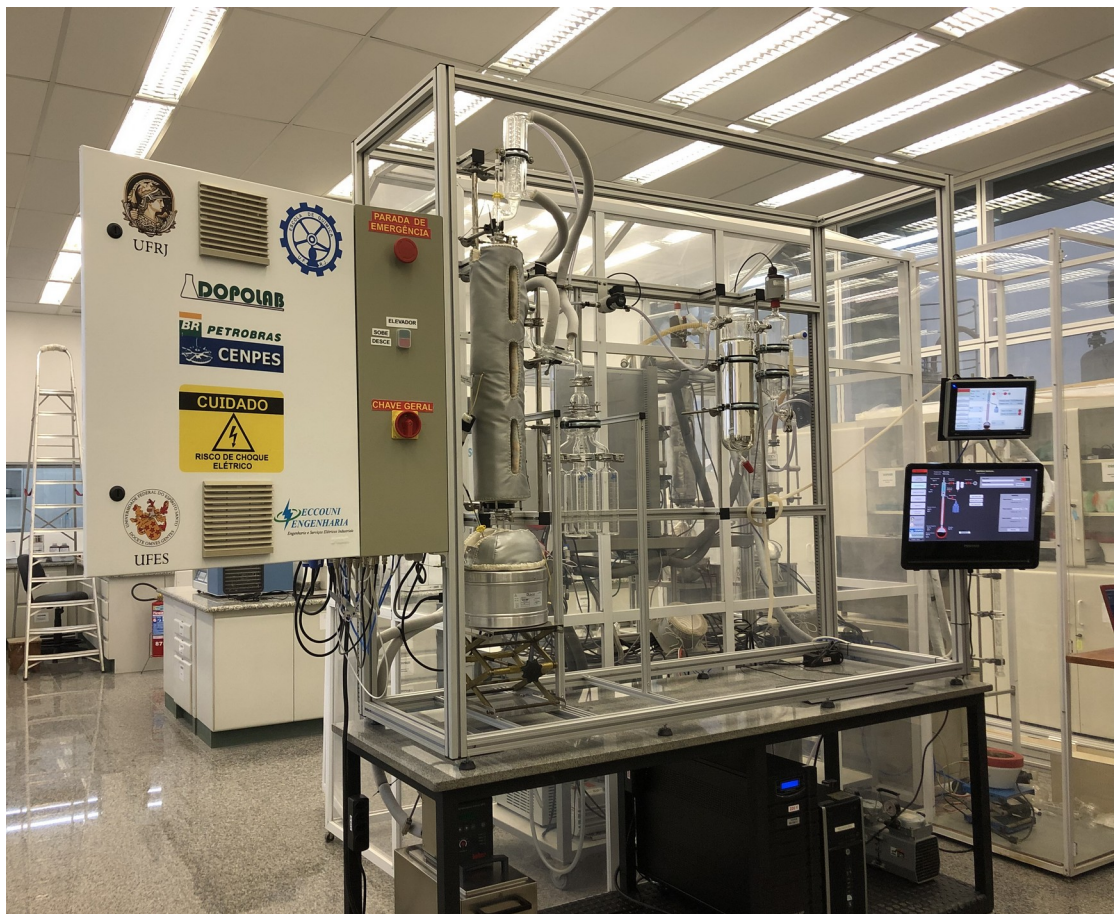
3 DESCRIÇÃO DA UNIDADE E AUTOMAÇÃO DA PLANTA

3.1 Unidade de destilação ASTM D 2892

A unidade de destilação pelo método ASTM D 2892 abrange procedimento para a destilação de petróleo bruto estabilizado até uma temperatura final de corte de 400°C AET e para qualquer mistura de petróleo, exceto gases de petróleo liquefeitos, naftas muito leves e frações com pontos de ebulição inicial acima de 400°C.

A Figura 7 é uma imagem real da planta, onde é possível verificar todos os equipamentos que foram descritos como essenciais no item 2.2, segundo o método ASTM D 2892 de 2003.

Figura 7 - Planta real



Fonte: Produção do próprio autor.

O processo de funcionamento conta basicamente com os seguintes componentes (GUIMARÃES, 2017; MOTA, 2008):

- Balão de destilação – é o frasco onde se concentra o óleo utilizado para destilação com capacidade de 2L. O mesmo possui um braço lateral que será usado para posicionar um PT100. Esse PT100 tem a capacidade de medir a temperatura do líquido e assim alimentar com dados o controlador.
- Sistema de aquecimento – Uma manta inferior e superior aquecem a uma taxa constante ou variada, de acordo com a programação, a fim de manter uma plena ebulição em todos os níveis de pressão.
- Coluna de Destilação – A coluna de destilação apresenta diâmetro interno de 25mm, confeccionada com recheio Propak, sendo encamisada para aguentar o vácuo. Como isolamento, a coluna é envolvida com uma manta de aquecimento confeccionada em tecido de vidro. Um PT100 é alocado por meio de um poço em vidro em um nível logo acima do divisor de refluxo.
- Extrator – Divisor de refluxo com condensador. Um divisor de refluxo está localizado acima da coluna e é capaz de dividir o condensado entre a coluna e a linha de extração.
- Coletor de fração – Esse aparelho permite coletar o destilado sem interrupção durante a retirada do produto do receptáculo. A planta pode estar em pressão atmosférica ou reduzida.
- Captadores frios (traps) – Captor resfriado por uma mistura de gelo seco e álcool, conectado em série a linha de ventilação do condensador do extrator, para a retirada dos gases condensáveis e proteção da bomba e sensor de vácuo
- Condensador – O condensador será colocado entre o extrator e o coletor de fração.
- Bomba de vácuo – Uma bomba de vácuo, bomba DAA-V507-GD com capacidade de 736,51mmHg e vazão de 3,32m³/h. Ela deve ser capaz de diminuir a pressão para até 25mmHg.
- Válvula Solenoide - Válvula de ação direta 2/2 a fim de controlar o vácuo na planta. Ela fica localizada entre a unidade de destilação e a bomba.
- Sensor de pressão – Sensor de vácuo para medição constante da pressão interna da unidade de destilação. Esse transmissor tem a função de alimentar o PLC para acionamento da válvula solenoide *On/Off* para controle de pressão.

3.2 Atuadores

3.2.1 Bomba de vácuo

Como o processo necessita de operar em pressão abaixo do nível do mar, 75mmHg, por exemplo, é essencial a bomba de vácuo atuando na unidade. Para isso, utilizou-se a bomba de vácuo DAA-V507-GD que pode ser observada na Figura 8.

Figura 8 - Bomba de vácuo DAA-V507-GD



Fonte: DAA-V507-GD

Essa é uma bomba de transferência de gás, que retira os gases da unidade de destilação e transfere para a atmosfera. A bomba é alimentada em 220V, 60Hz, com 0,5 Hp de potência e opera a 3000 rotações por minuto. Com a capacidade de 3,32m³/h (1,95 CFM), a bomba consegue chegar ao vácuo máximo de 736mmHg, ou seja, consegue chegar à pressão mínima de 23,48mmHg.

3.2.2 Válvula solenoide para controle pressão

Como a bomba de vácuo não pode ser ligada e desligada repetidas vezes em curto período de tempo, por aumentar o desgaste do equipamento, e pelo atraso na dinâmica, utilizou-se de uma válvula solenoide *On/Off* para controlar quando a bomba deve interferir na planta.

A válvula utilizada é da marca Gemü, empresa Alemã, modelo 52 6D 120 51 24 DC U. A mesma é de ação direta - não precisa de diferença de pressão para atuar; normalmente fechada, ou seja, quando desenergizada, está fechada, quando energizada, está aberta; configuração 2/2, - 2 portas e duas posições de atuação (aberto e fechado); tensão de atuação, 24V de tensão contínua e 6W de potência.

Além das configurações já citadas, a válvula possui proteção IP65, pesa 0,21kg, possui capacidade operação de 0 a 1125mmHg e, por fim, vazão de 0,60m³/h.

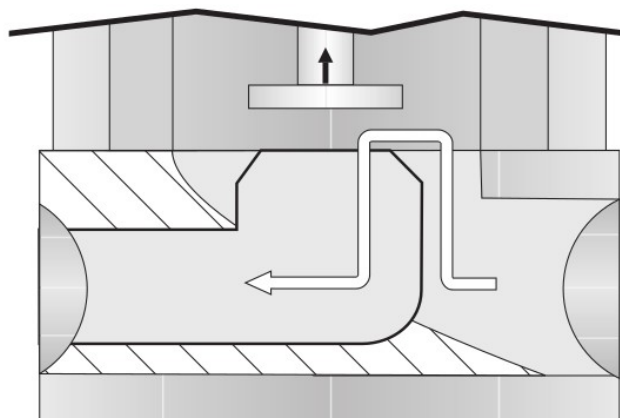
A Figura 9 mostra a válvula descrita, e as Figuras de número 10 e 11 mostram seu comportamento aberto e fechado, respectivamente.

Figura 9 - Válvula Solenoide



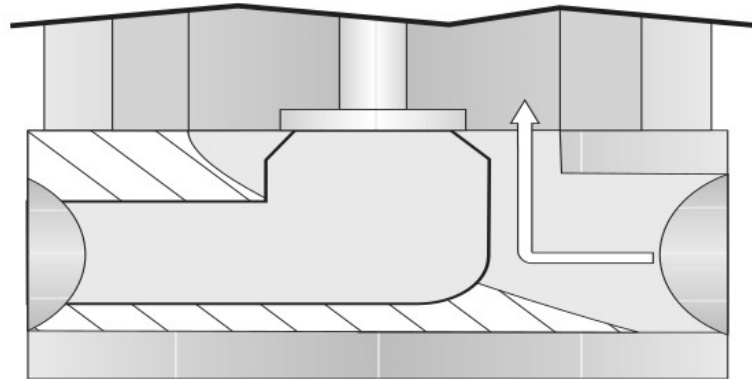
Fonte: GEMÜ 52

Figura 10 - Válvula aberta



Fonte: GEMÜ 52

Figura 11 - Válvula fechada



Fonte: GEMÜ 52

3.3 Sensor de pressão

O sensor é um equipamento essencial para uma malha de controle, é através da informação repassada por ele que o controlador irá enviar comando para acionamento dos atuadores.

Para o presente projeto, utilizou-se do sensor MKS *Baratron* 626B com entrada para alimentação 24VCC e saída entre 0 a 10VCC. Esse é um modelo baseado em capacitância de alto desempenho e sua tensão de saída é linear à pressão. A Figura 12 mostra o sensor visto lateralmente.

Figura 12 - Sensor Baratron 626B visto lateralmente.

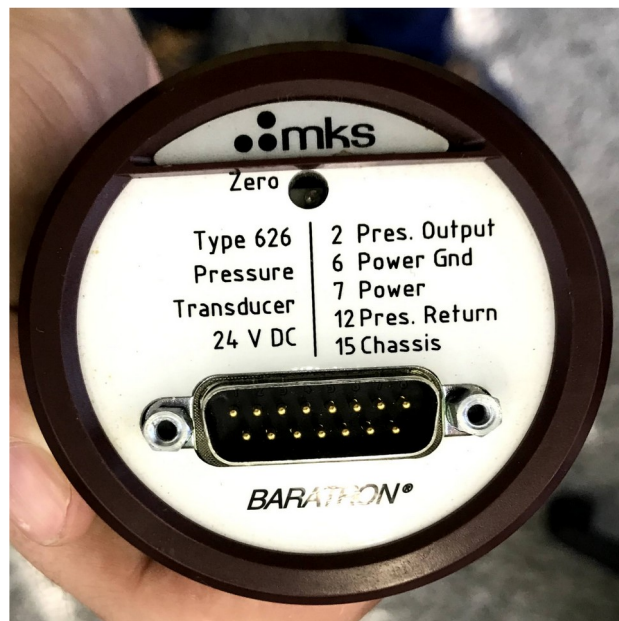


Fonte: Baratron 626B

Numa escala de 0 a 100mBar, a medida de vácuo é determinada medindo a mudança na capacitância entre o diafragma do sensor e um disco de eletrodo adjacente. Esse sensor fornece uma resposta muito rápida, abaixo de 20ms, baixa histerese, resolução de 0,001%, resistência à corrosão e dupla construção com paredes soldadas para a segurança do equipamento.

A Figura 13 mostra o sensor visto de cima.

Figura 13 - Sensor Baratron 626B visto de cima

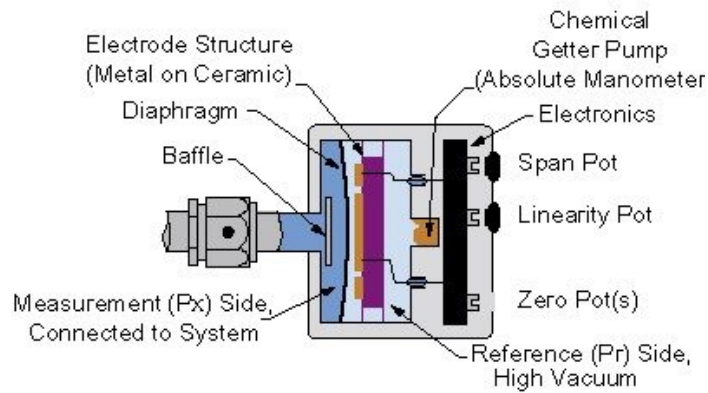


Fonte: Produção do próprio autor.

3.3.1 Eletrônica e calibração do sensor

O circuito de condicionamento de sinal é muito estável e produz uma saída de alto nível. A eletrônica consiste em um oscilador de onda senoidal de precisão que aciona o circuito de ponte. Um desequilíbrio na capacitância do eletrodo do sensor produz uma saída de diferença que é amplificada pelo *buffer*. O deslocamento, ganho e linearidade da saída são ajustados pelos potenciômetros de zero, amplitude e linearidade. A Figura 14 ilustra os componentes do sensor.

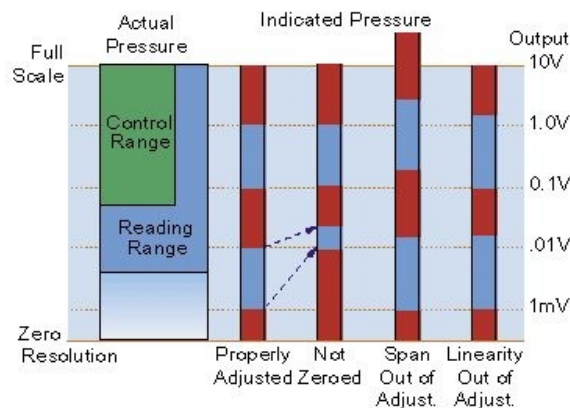
Figura 14 - Componentes do sensor de pressão



Fonte: MKS Instruments

Quando os componentes eletrônicos de um manômetro de capacitância estão devidamente ajustados, haverá uma correspondência direta entre a entrada de pressão e a saída de tensão. Se o zero estiver desajustado, um deslocamento será induzido em toda a faixa do instrumento. Se a amplitude estiver desajustada, a faixa geral será maior ou menor do que deveria. E por fim, se a linearidade estiver fora do ajuste, os pontos finais (zero e fundo de escala) podem estar corretos, mas as leituras intermediárias podem estar erradas. A Figura 15 mostra todas as situações descritas.

Figura 15 - Ajustes de zero, período e linearidade



Fonte: MKS Instruments

Vale ressaltar que, a amplitude e a linearidade são ajustadas de fábrica e permanecem estáveis por longos períodos. Esses ajustes só devem ser alterados por um laboratório de calibração acreditado pelo Inmetro. A zeragem deve ser feita na instalação e deve ser verificada regularmente. A frequência dependerá principalmente das condições ambientais, como mudanças na temperatura ambiente ou orientação física do instrumento.

3.4 Controlador Lógico Programável

O CLP é um sistema microprocessado que usa instruções guardas em memória para implementar funções de lógica, sequenciamento, tempo, contagem e controle aritmético. Diferente de computadores de escritórios, os CLPs são dotados de uma Unidade Central de Processamento (CPU) robusta em capacidade de processamento, segurança e confiabilidade. Os CLPs monitoram as variáveis de entrada e tomam decisões com base em um programa armazenado em sua memória.

3.4.1 NX3005

Para esse projeto, foi adquirido o controlador da série Nexto da Altus, NX3005, com capacidade de até 64 módulos de entrada e saída, comunicação Ethernet, interface de rede de campo, suporte ao protocolo MODBUS TCP, que será usado para comunicação do Supervisório e IHM.

Como a CPU NX3005 não possui entrada e saída integrada, foi necessária a inclusão do Bastidor NX9010, que possibilita a inclusão de 5 cartões de entrada e saída: entrada e saída digital, entrada e saída analógica e entrada analógica RTD, sendo a última usada para temperatura.

A Figura 16 tem-se a CPU com os cartões de entrada e saída conectadas.

Figura 16 - CPU NX3005 com inclusão dos cartões de E/S



Fonte: Produção do próprio autor.

3.4.2 Módulos de entrada e saída

3.4.2.1 Entrada Digital – Módulo NJ1001

O módulo NJ1001 oferece 16 entradas isoladas tipo fonte/*sink* para uso geral, são organizados e em quatro grupos independentes de entradas, além de fornecer um visor para indicação do estado das entradas.

Por se tratar de uma entrada digital, é necessário conhecer a tensão de entrada para nível lógico 1 e nível lógico 0. Nesse cartão em específico, a tensão de entrada especificada é de 24VCC, onde, de acordo com o manual disponibilizado pela Altus, entre 0 a 5VCC para nível lógico 0 e entre 15 a 30VCC, para nível lógico 1.

Esse cartão ainda possui um filtro de entrada digital, que é indicado em ambientes sujeitos à níveis de interferência eletromagnética superiores aos definidos na norma IEC 61131-2, porém, como não é o caso, não será usado.

Para acesso aos dados de entrada provenientes do cartão, são disponibilizados através de uma rede *PROFIBUS*, dois bytes, onde o byte 0 são as entradas dos canais 0 a 7 e byte 1 as entradas dos canais 10 a 17.

3.4.2.2 Entrada Analógica – Módulo NJ6000

O módulo NJ6000 oferece 8 entradas analógicas de tensão ou correntes e configuráveis individualmente. Suporte de tensão em diferentes escaladas, 0 a 10VCC, -5 a 5VCC e -10 a 10VCC. Para corrente, suporte em 0 a 20mA e 4 a 20mA.

Outras características importantes desse módulo são sua isolação entre as entradas, proteção contra surto de tensão e diagnóstico de valor abaixo e acima da faixa, que é muito importante na leitura do sensor de pressão.

Ao todo, o conector possui 20 terminais com guia para cabos, onde 16 pinos para polarização e 4 para aterramento. São configurados em 16 bits em complemento de dois, com resolução do conversor de 24bits, que na faixa de 0 a 10VCC oferece 159,8 μ V, com precisão de $\pm 0,1\%$. O tempo de varredura máxima de 6ms, suficientemente pequeno para garantir rapidez na leitura.

Por fim, os dados são acessados através de variáveis pré-organizadas no módulo, ocupam 2 bytes (WORD), e estão configuradas na forma padrão na faixa de 0 a 30000. Por exemplo, canal configurado com tensão de 0 a 10VCC, quando receber 5VCC, retornará 15000. Com isso, toda a lógica pode ser implementada utilizando a escala linear.

3.4.2.3 Entrada Analógica de temperatura (RTD) – Módulo NJ6020

O módulo NJ6020 oferece 8 entradas analógicas configuradas individualmente, que permitem a leitura de sensores de temperatura do tipo RTD (Resistance Temperature Detectors), suportando ampla variedade de sensores.

Apesar de ser compatível com vários sensores, esse módulo será utilizado em específico para leitura de sensor PT100, localizado na manta inferior, manta superior, no petróleo, na manta coluna e, por fim, no topo.

Semelhante ao módulo NJ6000, esse módulo possui 20 terminais com guia para cabos, onde 16 pinos para polarização e 4 para aterramento. Seu formato de dados e resolução de conversor são idênticos ao módulo citado, 16 bits e 24 bits, respectivamente. Precisão a 25°C na casa de 1°C, e precisão de 0 a 60°C na casa de 3°C, suficiente para a aplicação desse projeto.

3.4.2.4 Saída Digital – Módulo NJ2001

O módulo NJ2001 oferece 16 saídas isoladas para uso geral, são divididos em 2 grupos e suporta 1,5A por canal e 6A por grupo. Ao todo são 20 terminais, onde 4 são para alimentação do cartão, duas portas para cada grupo. A alimentação desse cartão deve ser feita em 24VCC.

Como esse cartão será usado para acionamento das válvulas, importantíssimas para controle de planta, seu tempo de chaveamento deve ser pequeno. 200 μ s e 500 μ s são necessários para a transição de desligado para ligado e ligado para desligado, respectivamente. Esse tempo é suficientemente pequeno para essa aplicação.

Os dados do processo são organizados em dois bytes, um para cada grupo. As variáveis de saída, semelhante à entrada digital, são descritas nos canais de 0 a 7 e 10 a 17. Toda a lógica de acionamento deve ser escrita nessas portas.

3.4.2.5 Saída Analógica – Módulo NJ6100

Por fim, o módulo de saída analógica NJ6100 oferece 4 saídas analógicas de tensão ou corrente e são configuráveis individualmente. Semelhante ao módulo de entrada analógica, possui suporte para escalas de tensão de -10 a 10VCC e 0 a 10VCC, além das escalas de corrente, 0 a 20mA e 4 a 20mA.

Como nos demais cartões, possui 20 terminais com guia para cabos. Para cada saída estão disponíveis 4 terminais, saída de tensão, saída de corrente, referência e blindagem. Dos quatro terminais restantes, dois são usados para alimentação do cartão em 24VCC e dois não são conectados.

Por ser uma saída com 24VCC, esse módulo possui proteção de inversão de polaridade e proteção contra surtos, o que oferece segurança para o sistema. 183,1 μ V de resolução para a faixa de saída de 0 a 10VCC, que será usada para esse projeto, com precisão de $\pm 0,1\%$.

Semelhante ao cartão de entrada analógica, esse módulo envia os valores pelo *PROFIBUS* de tipo inteiro, configurados na faixa de 0 a 30000. Por exemplo, caso queira-se enviar 12VCC para um determinado equipamento, escreve-se 15000 na variável de saída analógica.

3.5 Sistema SCADA

O sistema SCADA/PLC (*Supervisory Control and Data Acquisition*) consiste de um sistema IHM de supervisão, que se comunica com o PLC, monitorando e controlando o processo (CREMASCO 2014).

Para o presente projeto, utilizou-se de uma IHM da série X2 da Altus, modelo BASE-10-F2. Com tamanho de 10,1 polegadas, resolução de 800x480 pixels, 256MB de memória de aplicação e 128MB de memória RAM, a IHM possibilita ao operador, através de tela sensível ao toque, controle, operabilidade e segurança para a operação da planta.

3.6 Norma IEC 61131-3

A norma IEC 61131-3 é a norma que regulamenta a modalidade de programação dos CLP's. Nela está a definição das linguagens de programação. Elas podem ser divididas em Linguagem Textual e Linguagem Gráfica.

Linguagem Textual

- Lista de Instruções
- Texto Estruturado

Linguagem Gráfica

- Diagrama de Ladder
- Diagrama de Blocos Funcionais
- Sequenciamento Gráfico de Funções

3.6.1 Texto Estruturado

A linguagem de programação Texto Estruturado, ou em inglês, Struct Text (ST), é uma linguagem padronizada pela Norma IEC 61131-3. A norma define e esclarece a sintaxe, comandos, declarações de tipos de variáveis, funções e blocos de função. Essa linguagem pode ser classificada como linguagem de alto nível e se parece muito com as linguagens C, C++, Pascal e Basic.

Por ser muito próxima da linguagem C, utilizou-se a linguagem Texto Estruturado no projeto. A linguagem permite a implementação de todos os recursos disponíveis no PLC de forma fácil e prática, além de ser mais fácil de ser reutilizada por outras pessoas e desenvolvimento mútuo.

4 IMPLEMENTAÇÃO DO CONTROLE DE PRESSÃO

4.1 Sistema de controle de pressão - Conceito

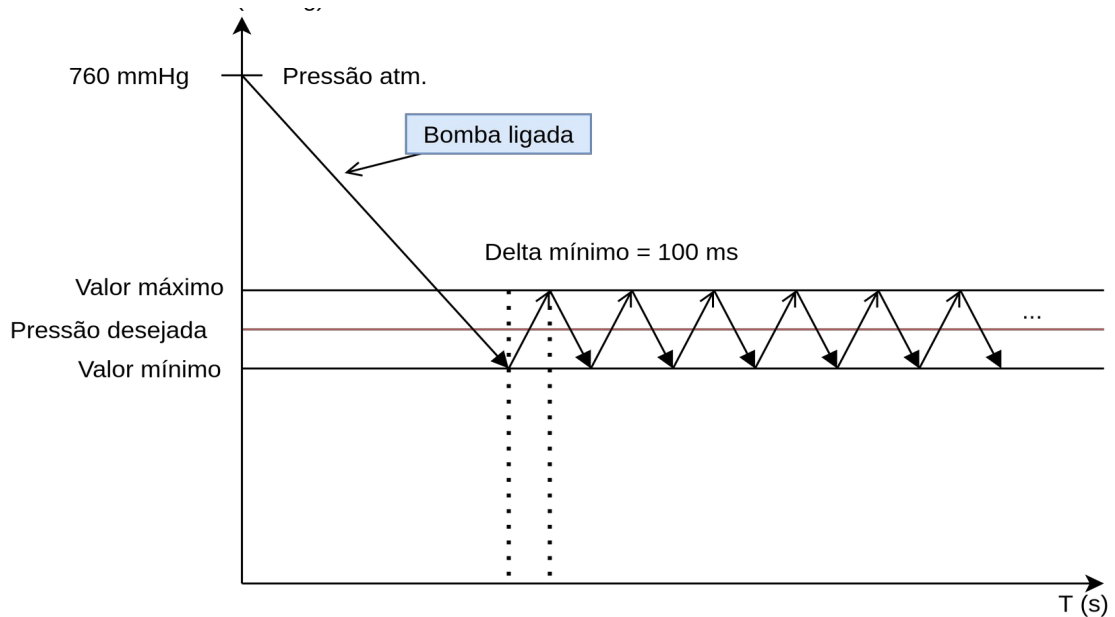
O sistema de controle de pressão funcionará basicamente com quatro equipamentos essenciais, a bomba de vácuo, a válvula solenoide para abrir e fechar o fluxo de ar, o sensor de pressão e o controlador. A bomba, o sensor e o controlador devem funcionar durante todo o processo, de forma ininterrupta, e a válvula solenoide *On/Off*, deve ser acionada de forma lógica.

Ao iniciar a operação do sistema, a bomba deve ser ligada para extrair o gás contido dentro da planta, que nesse caso é o ar, e lançar para a atmosfera. Considerando que a planta está a 760mmHg, que é a pressão atmosférica no nível do mar, a válvula solenoide deve ficar aberta até que o sensor acuse que a pressão atual da planta está menor que a pressão definida pelo operador. Esse limiar de pressão deve ser baixo, por volta de 1%, sendo possível de ser definido pelo operador.

A partir do momento que a pressão desejada for atingida, a lógica de controle, carregada no PLC, irá atuar: quando atingir o valor mínimo deve-se fechar a válvula, e quando atingir o valor máximo, deve-se abrir a válvula. O tempo de abertura e fechamento são independentes entre si, e dependem da vazão da bomba, do ângulo de abertura da válvula de controle tipo agulha, que está na boca da bomba, e da qualidade de vedação de todo o sistema.

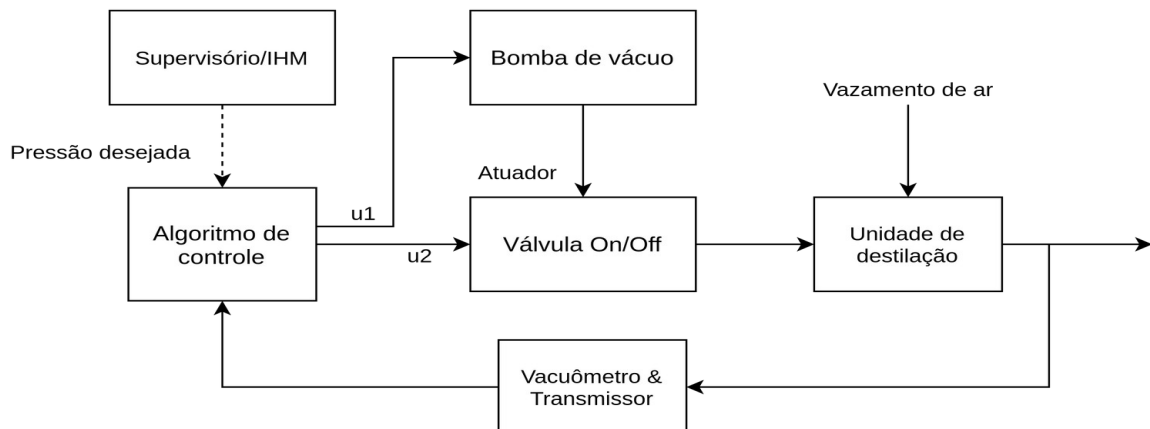
A Figura 17 representa o ciclo de controle e a Figura 18 mostra o diagrama de blocos para controle de pressão.

Figura 17 - Representação do controle de pressão na planta



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 18 - Lógica de controle para controle da pressão



Fonte: Produção do próprio autor.

4.2 Implementação da lógica de controle

A implementação do projeto se dará nas seguintes etapas:

1. Desenvolvimento do algoritmo de controle
2. Programação do PLC

3. Conexão dos equipamentos físicos

4.2.1 Algoritmo de controle

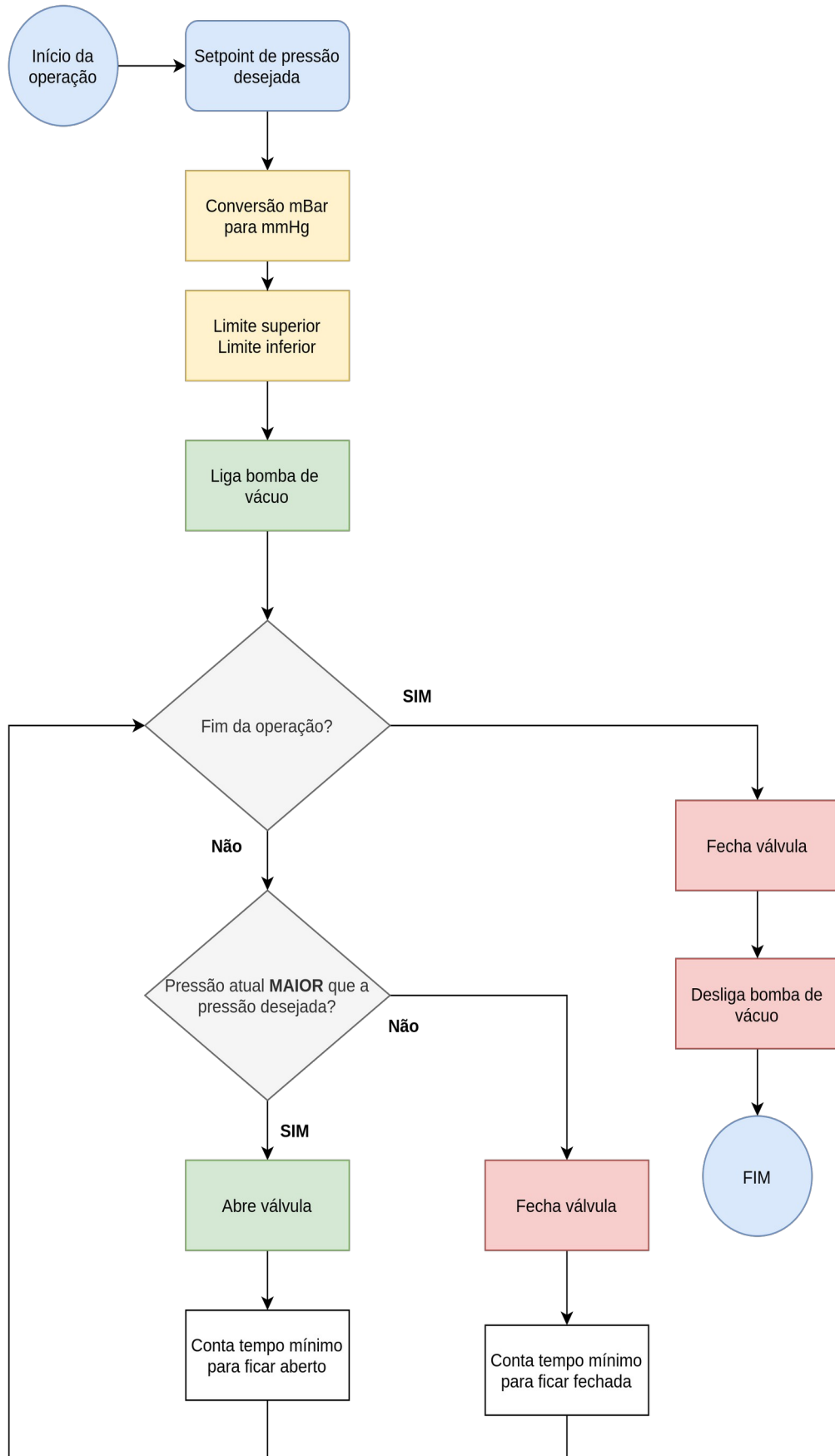
Para a implementação do controle como descrito no item 4.1, utilizou-se a linguagem de programação texto estruturado, como descrito anteriormente, seguindo basicamente o fluxograma na Figura 19.

Antes de iniciar a operação, o operador informa pela interface, seja ela o supervisório ou a IHM, a pressão desejada e a porcentagem de variações aceitáveis, geralmente 1%. A partir do momento que o operador iniciar a operação, o PLC lê e processa a pressão atual, compara com a pressão de *set-point*, e realiza o controle.

Como já explicado em itens anteriores, a válvula e o cartão possuem frequência máxima de chaveamento, e esse tempo deve ser levado em conta para a garantir um bom funcionamento dos equipamentos. No caso do módulo de saída digital, a frequência de chaveamento é de 250Hz. Já a válvula solenoide, apesar de o fabricante não informar, foi possível obter, por experimentação, cerca de 5Hz, ou seja, tempo máximo de 200ms. Com isso, foi necessário incluir na lógica um tempo mínimo para transição da válvula para evitar desgaste excessivo.

Durante todo o processo é verificado se a operação foi encerrada ou não. Caso seja, a válvula deverá fechar imediatamente e a bomba de vácuo deve ser desenergizada.

Figura 19 - Fluxograma para controle de pressão



Fonte: Produção do próprio autor.

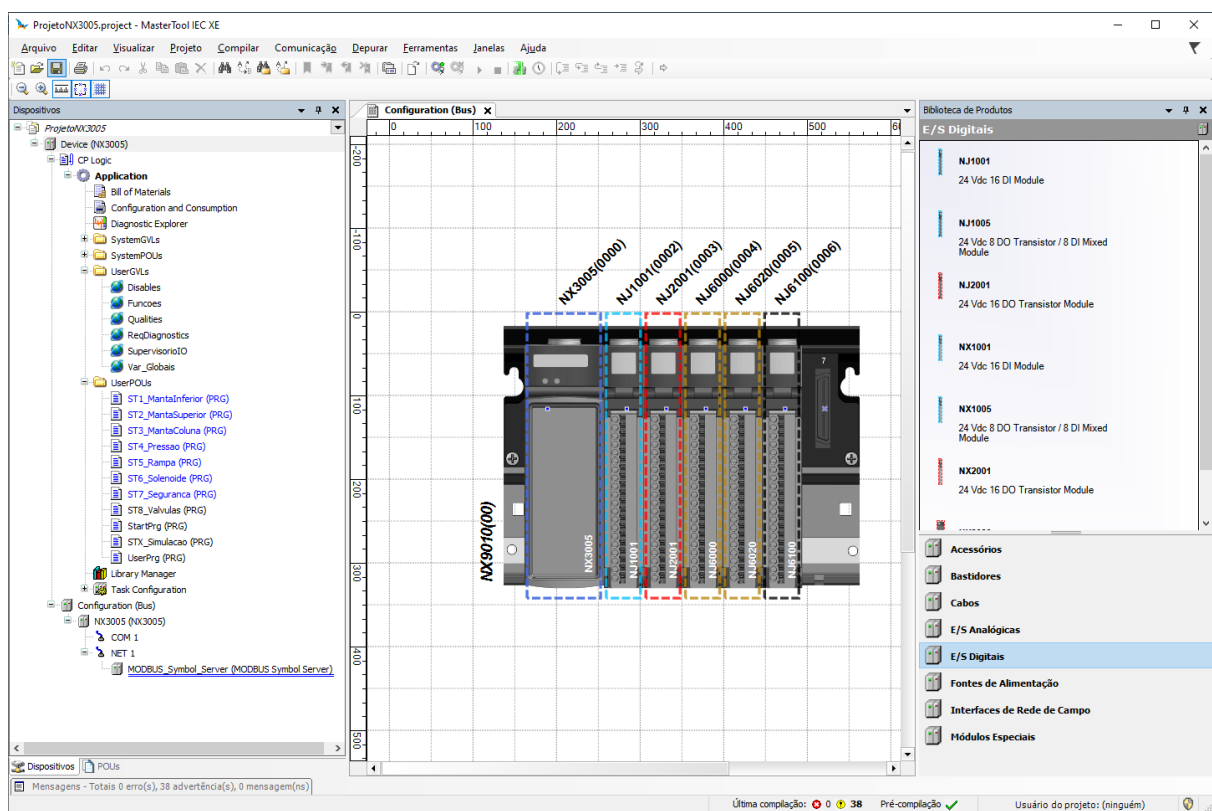
4.2.2 Programação do PLC

Como todo o projeto foi desenvolvido utilizando o PLC NX3005 da Altus, utilizou-se para programação a plataforma MasterTool IEC XE, versão 3.32.

O MasterTool é uma ferramenta completa para programação, depuração, configuração e simulação. O software é baseado no conceito de ferramenta integrada, provendo flexibilidade e facilidade de uso, permitindo aos usuários a programação em cinco linguagens definidas pela norma IEC 61131-3: Texto Estruturado, Sequenciamento Gráfico de Funções, Diagrama de Blocos Funcionais, Diagrama Ladder, Lista de Instruções.

Ao iniciar um projeto, é necessário que informe ao programa qual PLC será utilizado. Após a inclusão, o programador poderá inserir os cartões de entrada e saída, formando todo o componente. A Figura 20 mostra a tela inicial com o PLC inserido, seus cartões e seu layout.

Figura 20 - Tela Inicial MasterTool IEC XE

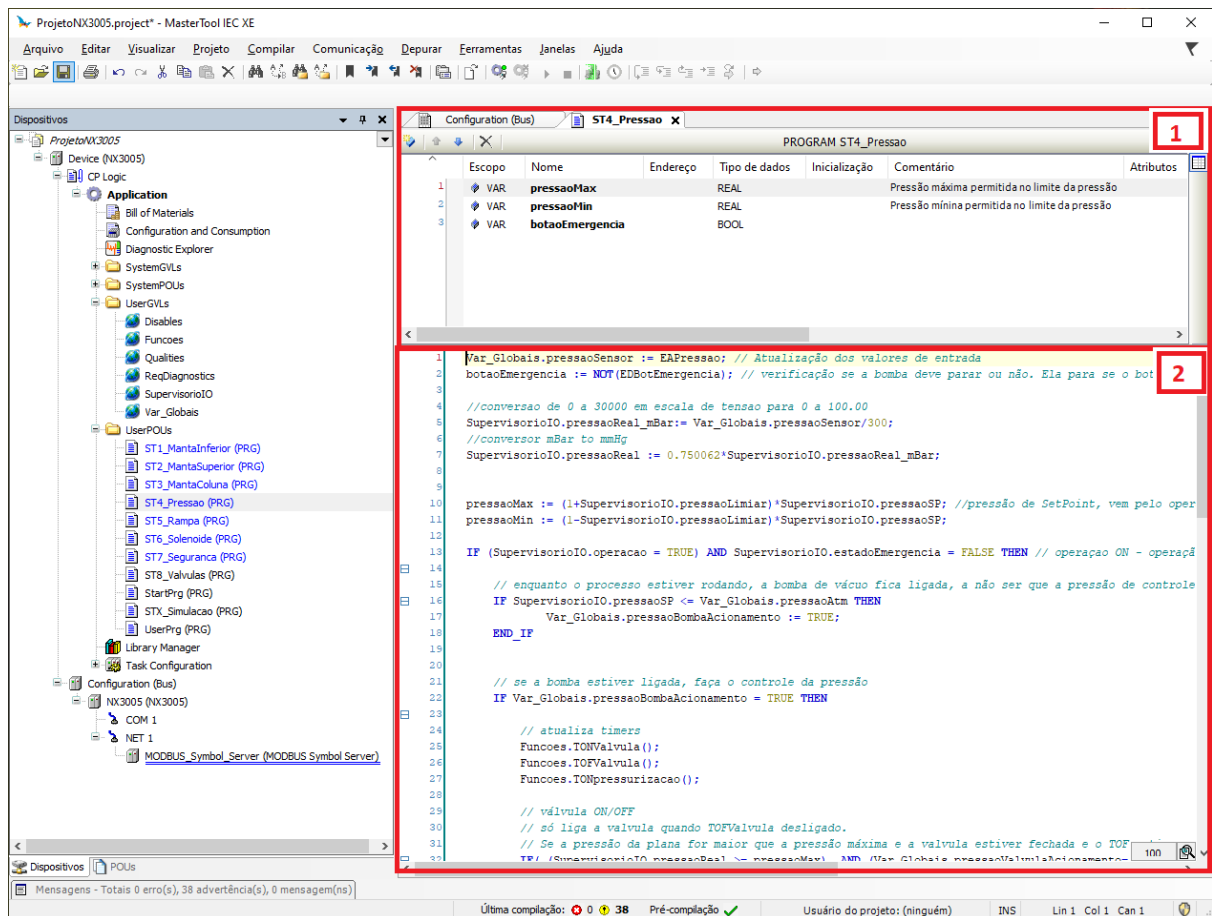


Fonte: Produção do próprio autor.

No meio, o PLC com seus módulos de entrada e saída; na direita, apresentam-se os cartões disponíveis para a CPU; e, no canto esquerdo, as funções utilizadas no projeto, as definições de variáveis e funções globais e, por fim a configuração de comunicação MODBUS.

A Figura 21 mostra a tela usada para programação do controle de pressão.

Figura 21 - Interface de programação MasterTool IEC XE

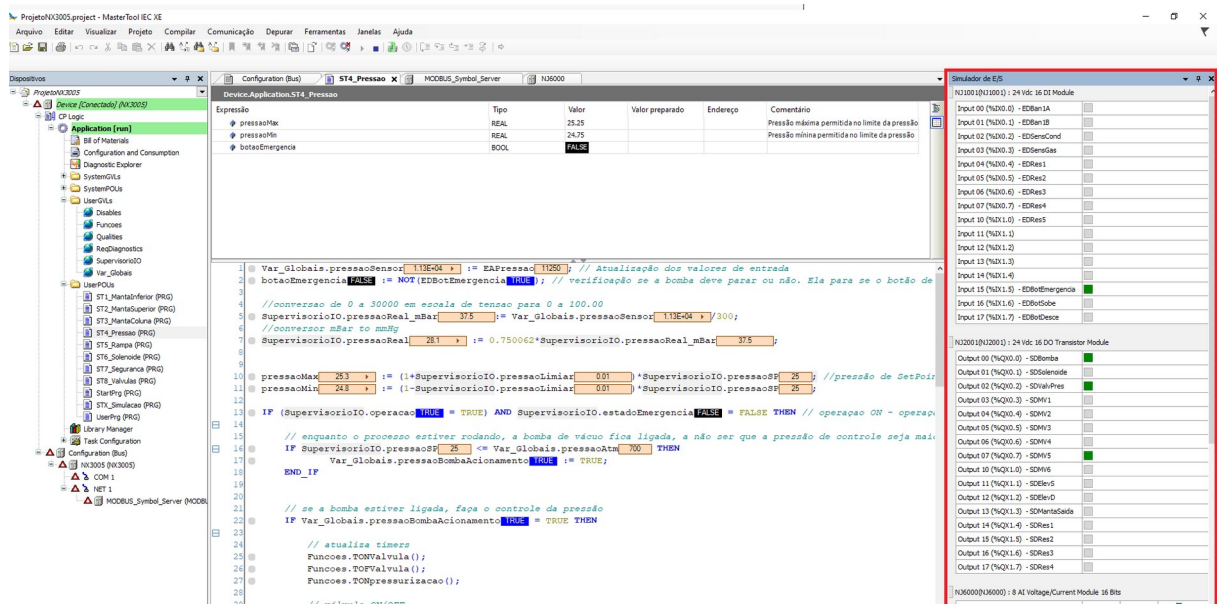


Fonte: Produção do próprio autor.

As variáveis usadas localmente estão em cima, marcadas pelo retângulo em vermelho de número 1, e o espaço para programação, que nesse caso, em Texto Estruturado, no retângulo 2.

Por ter sido o projeto desenvolvido fora do local de implementação, utilizou-se de simulações para verificar e depurar o código. O software conta com uma interface específica para simulação de entradas e saídas e pode ser vista na Figura 22.

Figura 22 - Interface de simulação MasterTool IEC XE



Fonte: Produção do próprio autor.

No canto direito da Figura 22, tem-se a aba que simula as entradas e saídas. Com essa interface de simulação, inserindo diferentes entradas para o sinal de pressão, verificou-se que a programação estava correta e pronta para implementação.

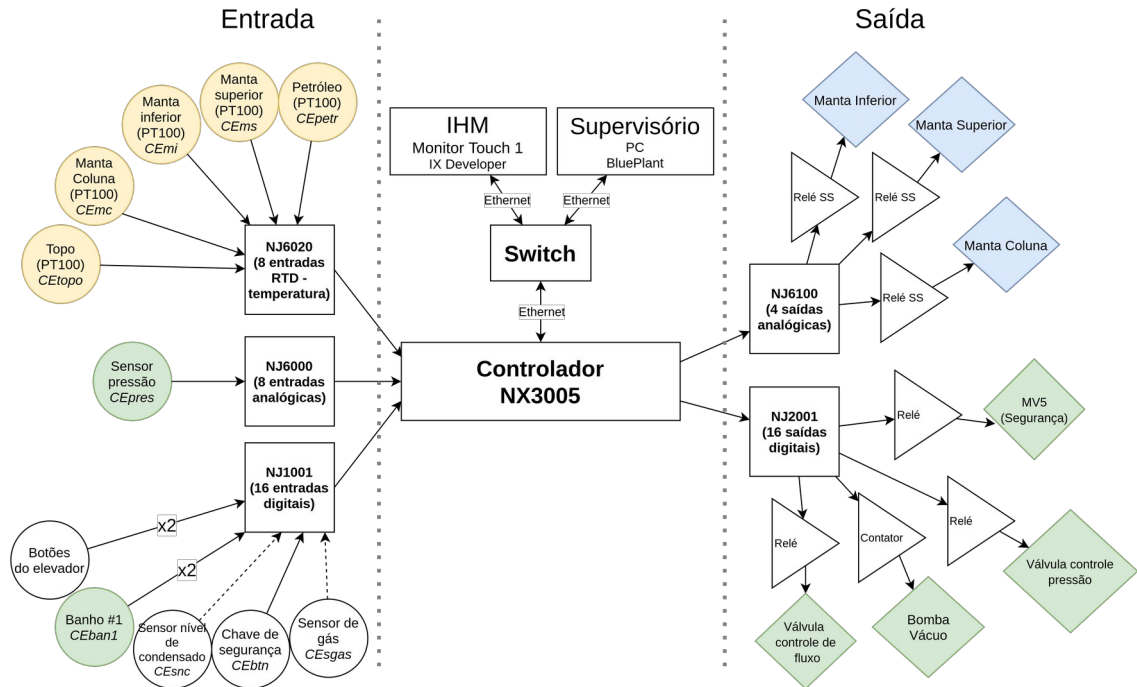
4.2.3 Conexão dos equipamentos

Depois de instalado o painel ao lado esquerdo da planta, realizou-se as conexões para alimentação dos sensores. Os dispositivos de segurança, como disjuntores, serão suprimidos do esquemático. A Figura 23 mostra o esquemático de conexão dos equipamentos ao painel elétrico e PLC.

As saídas digitais alimentam o relé e o contatador para acionamento da válvula *On/Off* e a bomba de vácuo, respectivamente.

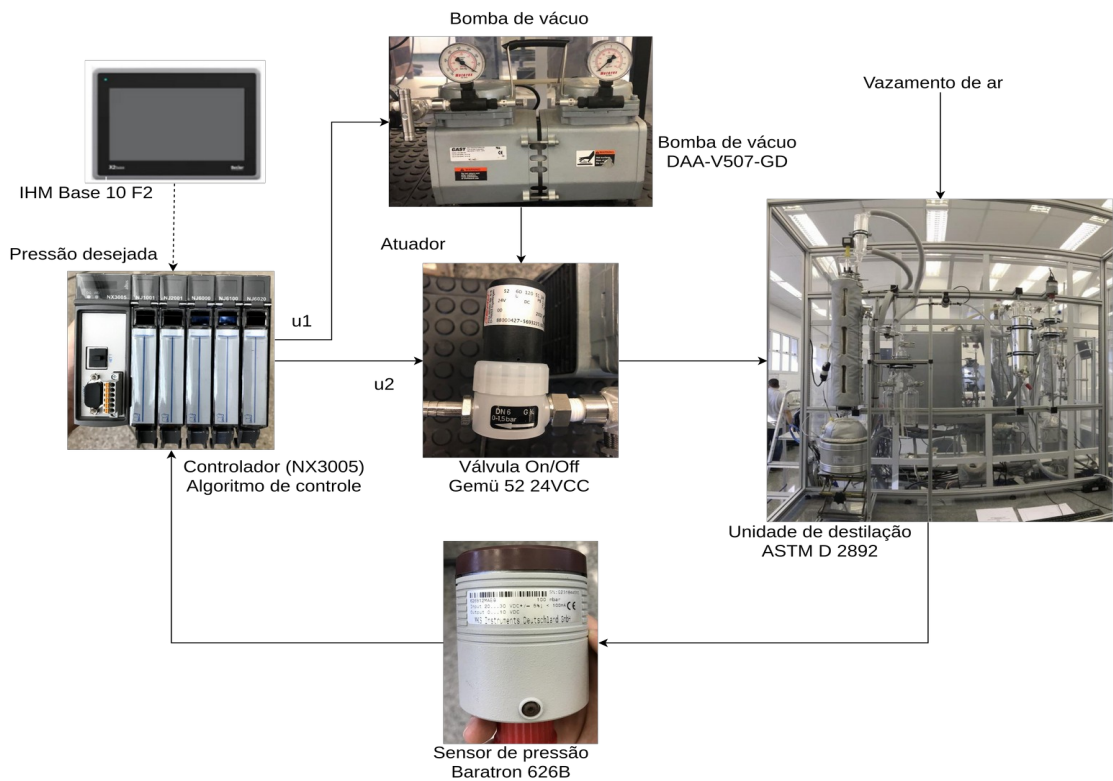
Pode-se então representar, na Figura 24, o sistema semelhante à Figura 18 com os equipamentos utilizados.

Figura 23 - Esquemático de conexão dos equipamentos ao painel elétrico e PL



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 24 - Diagrama para controle de pressão.



Fonte: Produção do próprio autor.

4.3 Desenvolvimento da IHM e controle operação

4.3.1 Software de desenvolvimento

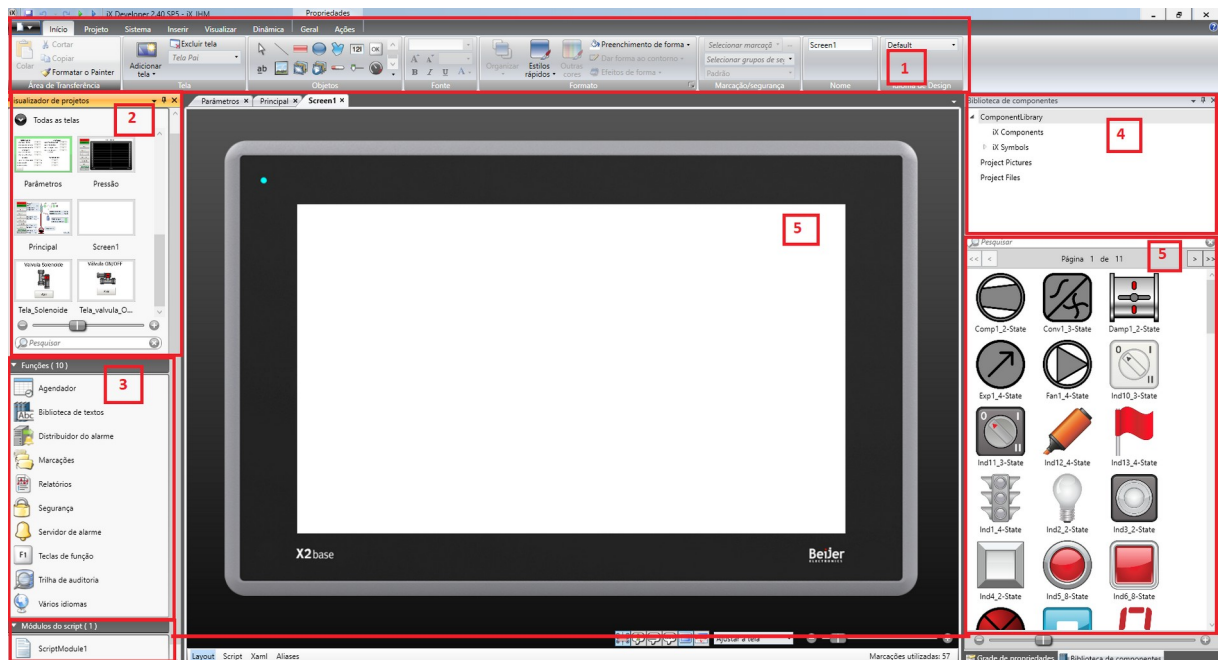
Para construção da IHM, utilizou-se o software, também da Altus, o IX Developer 2.40 SP5.

O software IX Developer é usado para configurar painéis IX e aplicações de controle de operação em PCs, incluindo aplicações para PLCs. O mesmo facilita a criação de aplicações em IHM lógicas, flexíveis e eficazes que fornecem a informação correta para os operadores.

O IX Developer possui como base uma programação em blocos. Cada objeto possui uma série de propriedades que dão a forma e as possibilidades para interação do operador.

Ao iniciar um projeto no software, o mesmo pede ao programador para inserir qual o modelo da IHM a ser programada. Ao inserir, é criado um projeto em branco onde a tela principal é a própria tela da IHM. A Figura 25 mostra como é um início de projeto no IX Developer.

Figura 25 - Tela inicial IX Developer

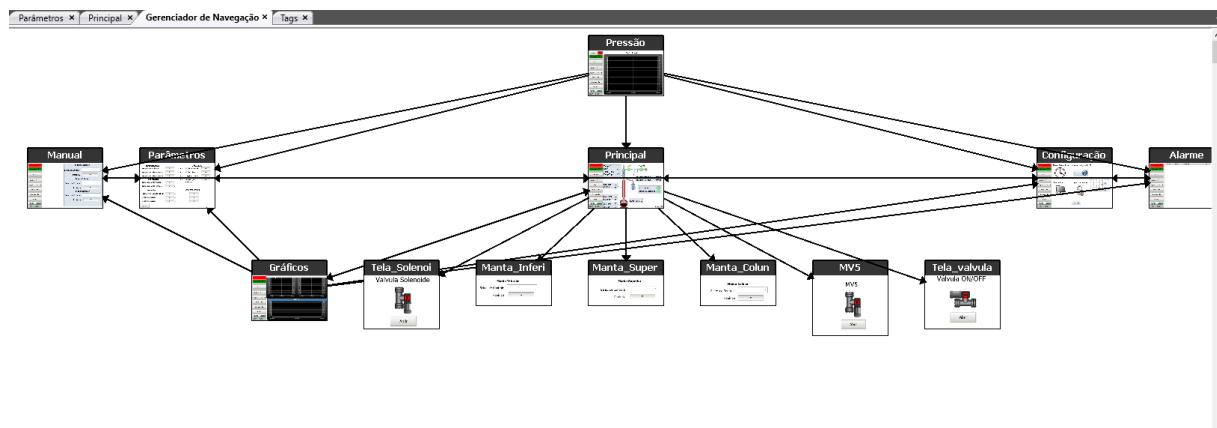


Fonte: Produção do próprio autor.

Na aba superior do programa, mostrado na Figura 25, fica localizado o menu básico, local onde é feito o *Download* para a IHM, modo de simulação, inclusão de objetos padrões não especiais; no retângulo 2, no canto superior esquerdo, fica localizada a visão geral das telas, e é nessa aba que controlam-se quantas telas foram criadas; embaixo do retângulo de número 2, tem-se uma aba dedicada as funções: função de agenda de tarefas, marcações, também conhecida como a TAGs, segurança, usado para limitação de páginas; no retângulo 4 e 5, estão os objetos padrões especiais que possuem animações; e, por fim, o retângulo 5, ambiente de edição de telas.

Com todo o sistema montado, o programa oferece uma tela de gerenciador de navegação, ambiente muito utilizado na construção, como na Figura 26, Essa tela permite verificar todas as possibilidades de transição entre as telas.

Figura 26 - Gerenciamento de telas no IX Developer



Fonte: Produção do próprio autor.

Para a comunicação entre o PLC e o supervisório, na aba de marcações, é possível configurar o nome das variáveis, seu tipo de dado e qual o endereço de comunicação. Ao todo utilizou-se 56 variáveis, entre variáveis do tipo BIT, INT16 e FLOAT.

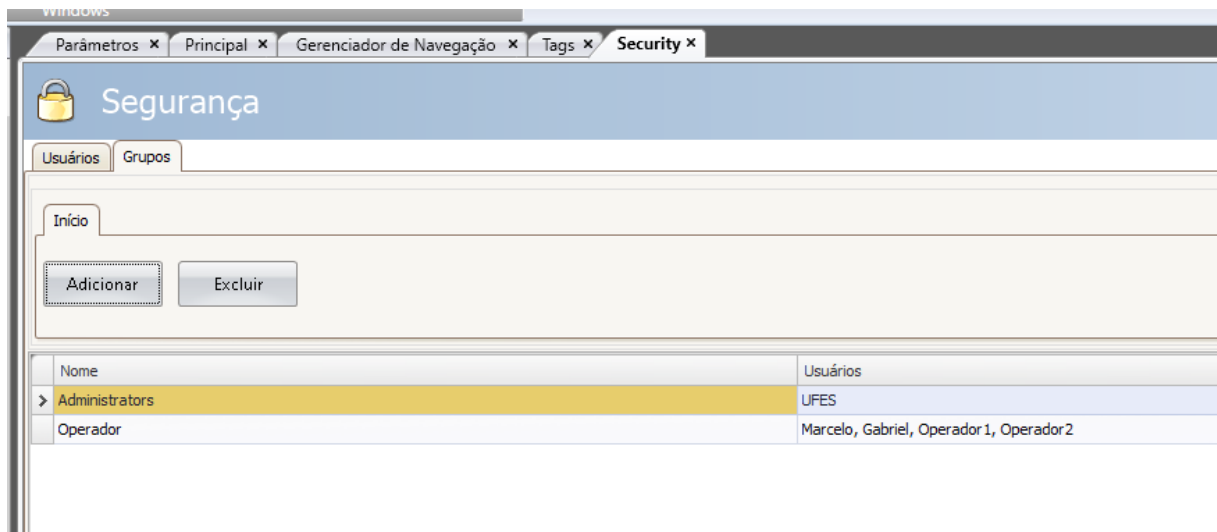
Figura 27 - Marcações no IX Developer

Marcação			Controladores	
Nome	Tipo de dados	Direitos de acesso	Tipo de dados	Controller 1
tempPetr	FLOAT	Read	FLOAT	300001
tempPetrMax	FLOAT	ReadWrite	FLOAT	400001
tempMantaMax	FLOAT	ReadWrite	FLOAT	400003
tempTopo	FLOAT	Read	FLOAT	300003
flagVaporTopo	BIT	ReadWrite	BIT	000011
mantaInfTemp	FLOAT	Read	FLOAT	300005
mantaInfPotenciaManual	INT 16	ReadWrite	INT 16	400005
mantaInfControlemodo	INT 16	ReadWrite	INT 16	400006
mantaInfSPFixo	FLOAT	ReadWrite	FLOAT	400007
mantaInfDeltaTemp	FLOAT	ReadWrite	FLOAT	400009
rampaTaxaTemp	FLOAT	ReadWrite	FLOAT	400011
mantaInf_P	FLOAT	ReadWrite	FLOAT	400013
mantaInf_I	FLOAT	ReadWrite	FLOAT	400015
mantaInf_D	FLOAT	ReadWrite	FLOAT	400017

Fonte: Produção do próprio autor.

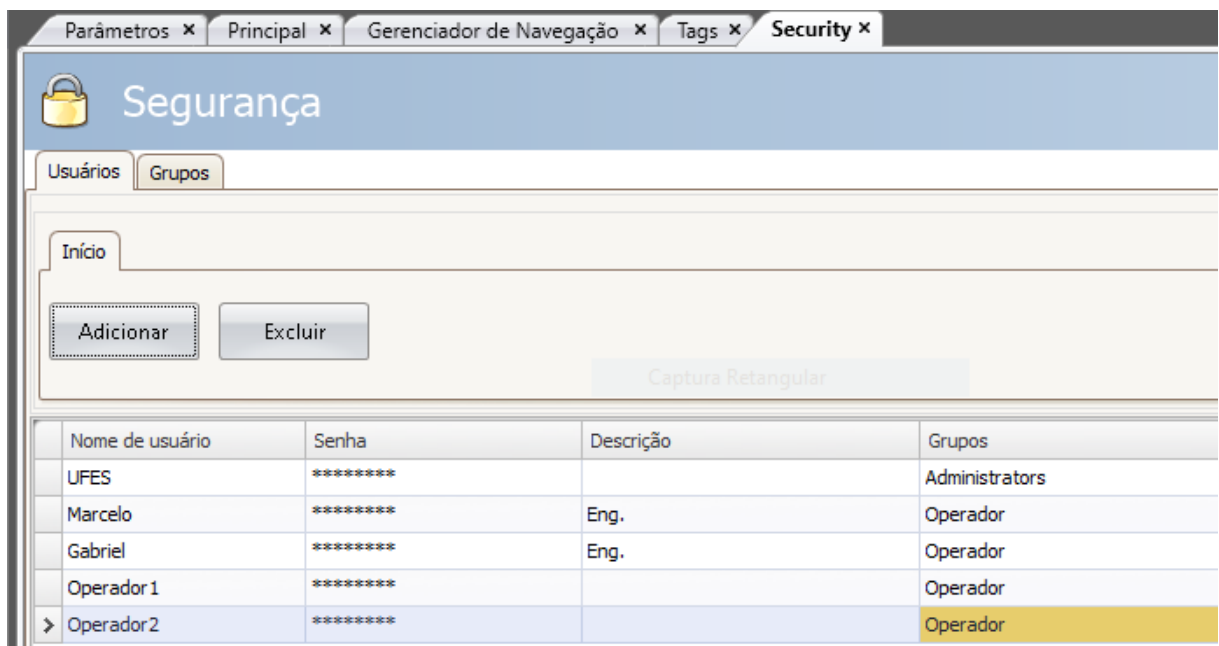
Por fim, como comentado, a aba de segurança permite restringir usuários que não possuem autorização para operar a planta. Através de uma aba específica são criados os usuários com seus respectivos nomes, sua descrição e o grupo ao qual pertence. O grupo correspondente ao operador, por exemplo, possui liberdade para operação da planta, porém, não possui para configuração de rede da IHM e afins. As figuras de numeração 28 e 29 mostram as telas de Segurança usadas no projeto, em que a Figura 28 mostra a tela de grupos e a Figura 29 a tela de usuários.

Figura 28 - Segurança no IX Developer tela de grupos



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 29 - Segurança no IX Developer tela de usuários



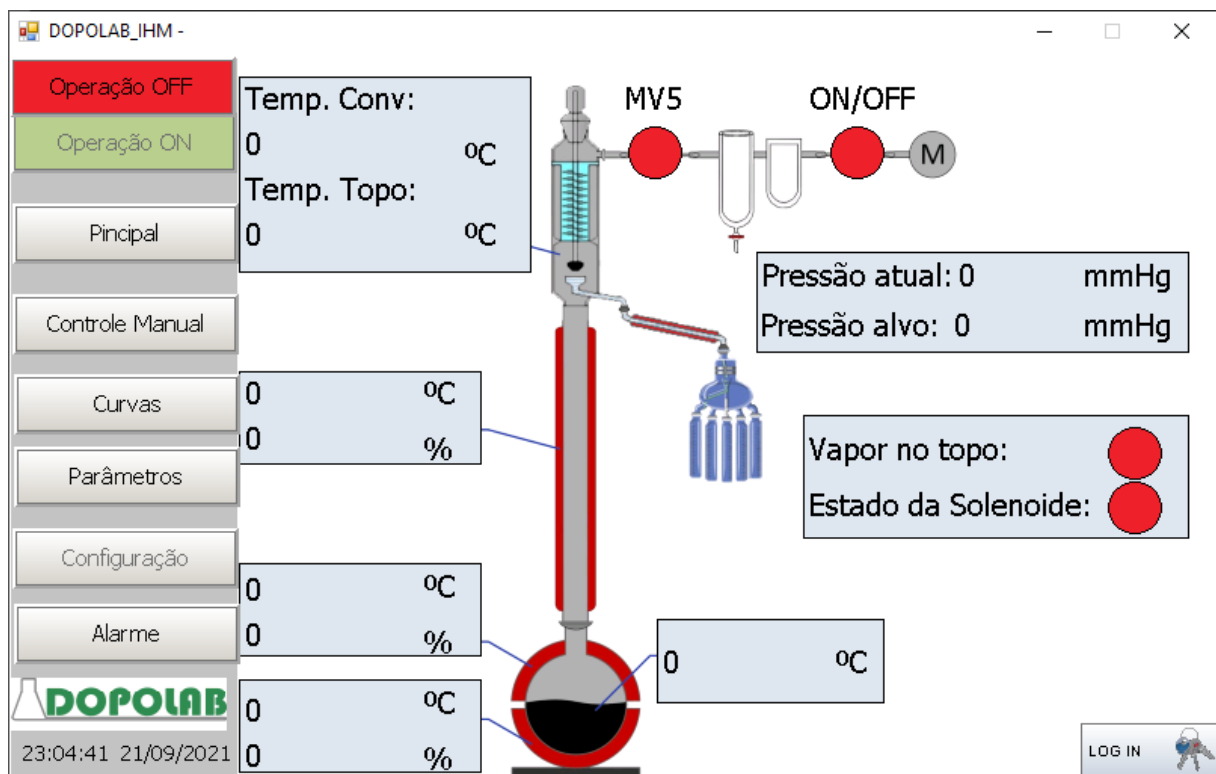
Fonte: Produção do próprio autor.

4.4 Telas pra operação

As telas finais podem ser obtidas pelo modo de simulação do Software IX Developer.

A Figura 30 mostra a tela inicial de operação. Nessa interface o operador tem acesso rápido a praticamente todas as informações da planta: temperatura e potência de acionamento das mantas; temperatura obtida no topo e convertida, como descrita no item 2.4.2, estado das válvulas Solenoide, MV5 e Válvula *On/Off* para controle de pressão; pressão atual na planta e pressão alvo. Além disso, é possível iniciar ou encerrar a operação, mudar para telas de Controle Manual, Curvas de pressão, mudança de parâmetros essenciais, visualização de alarmes e configurações da IHM.

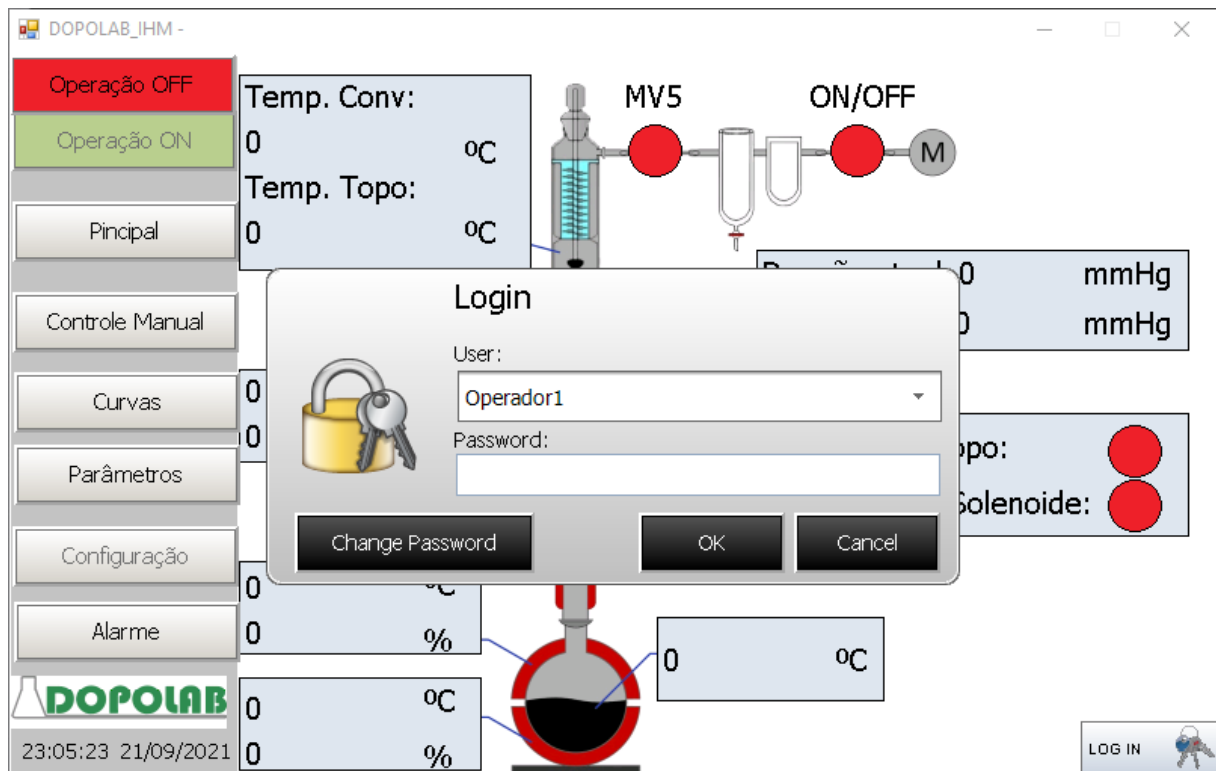
Figura 30 - IHM - Tela principal



Fonte: Produção do próprio autor.

Por segurança, apenas usuários qualificados podem operar e mudar parâmetros no sistema, por isso, clicando no botão “Log in”, no canto inferior direito da Figura 30, um *pop-up* aparecerá para liberar acesso ao operador, como na Figura 31.

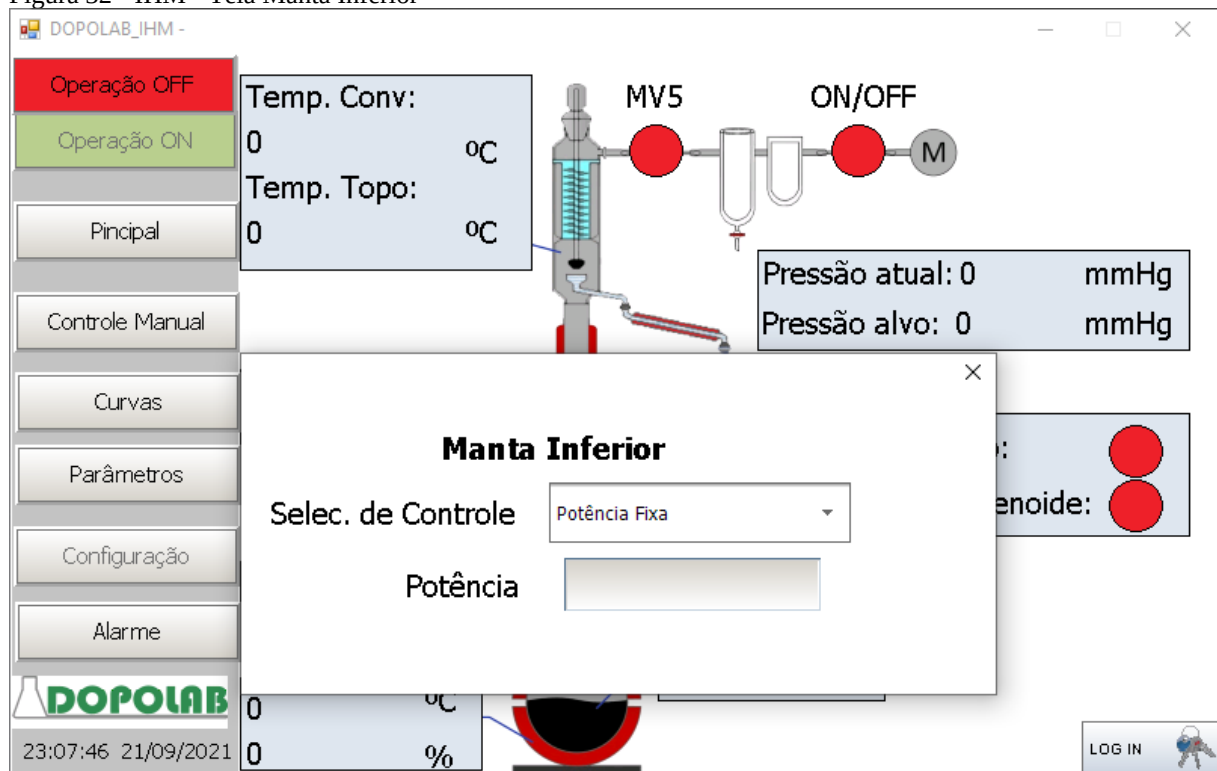
Figura 31 - IHM - Tela Log in



Fonte: Produção do próprio autor

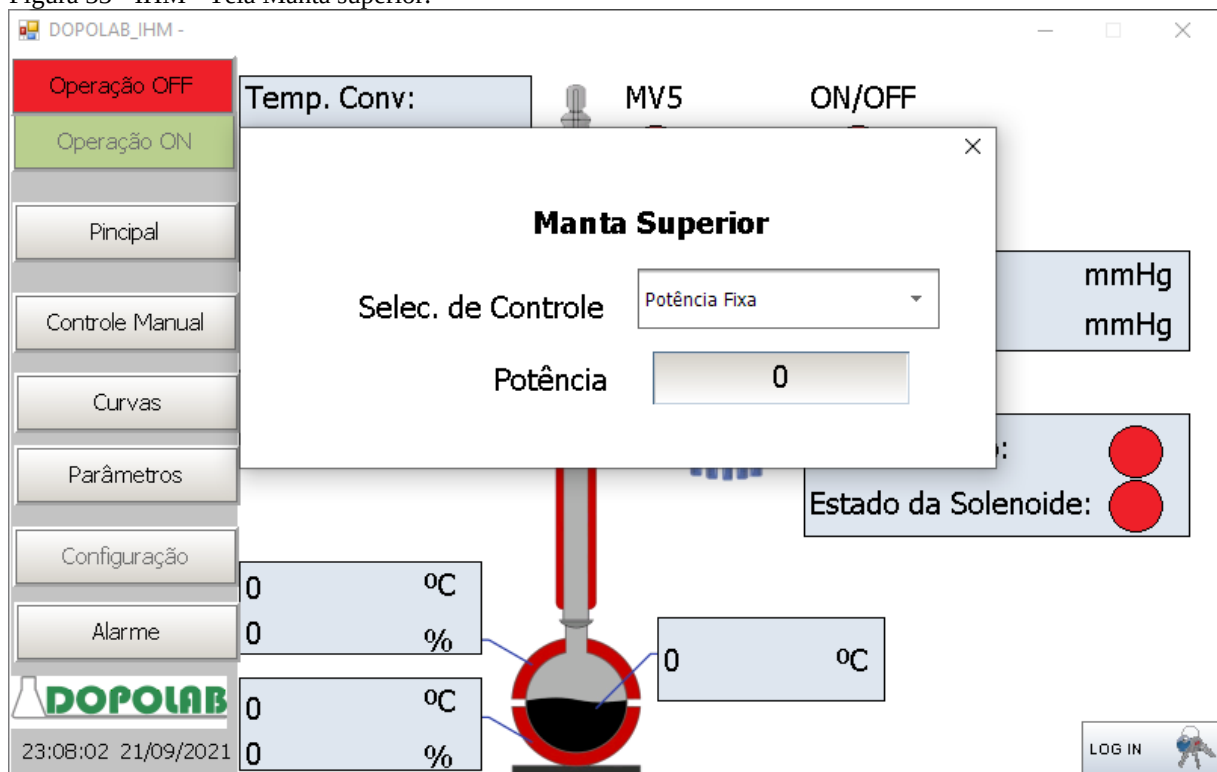
Clicando nos retângulos de cor azul das mantas inferior, superior e coluna, um *pop-up* de controle manual aparecerá. Pop-ups também aparecem ao clicar no círculo que representam as válvulas MV5, válvula Solenoide e válvula *On/Off* para pressão. Como nas figuras 32, 33, 34, 35, 36, 37 e 38.

Figura 32 - IHM - Tela Manta Inferior



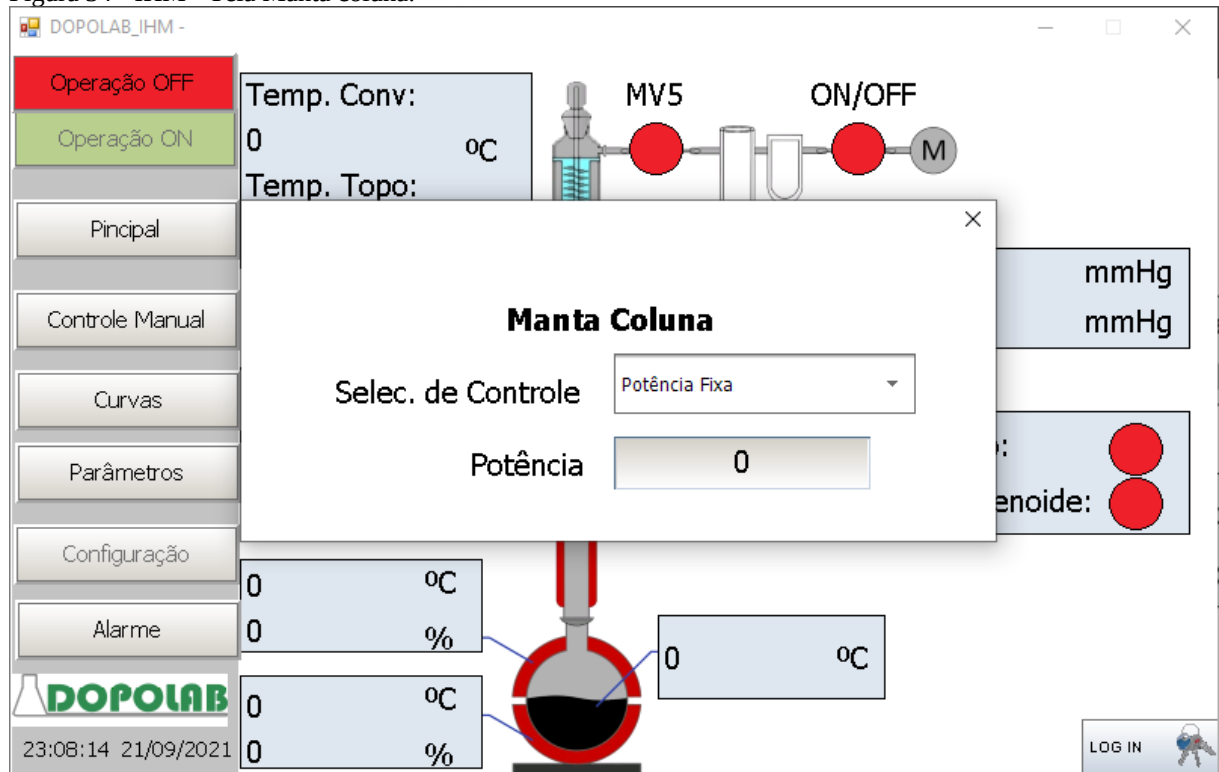
Fonte: Produção do próprio autor

Figura 33 - IHM - Tela Manta superior.



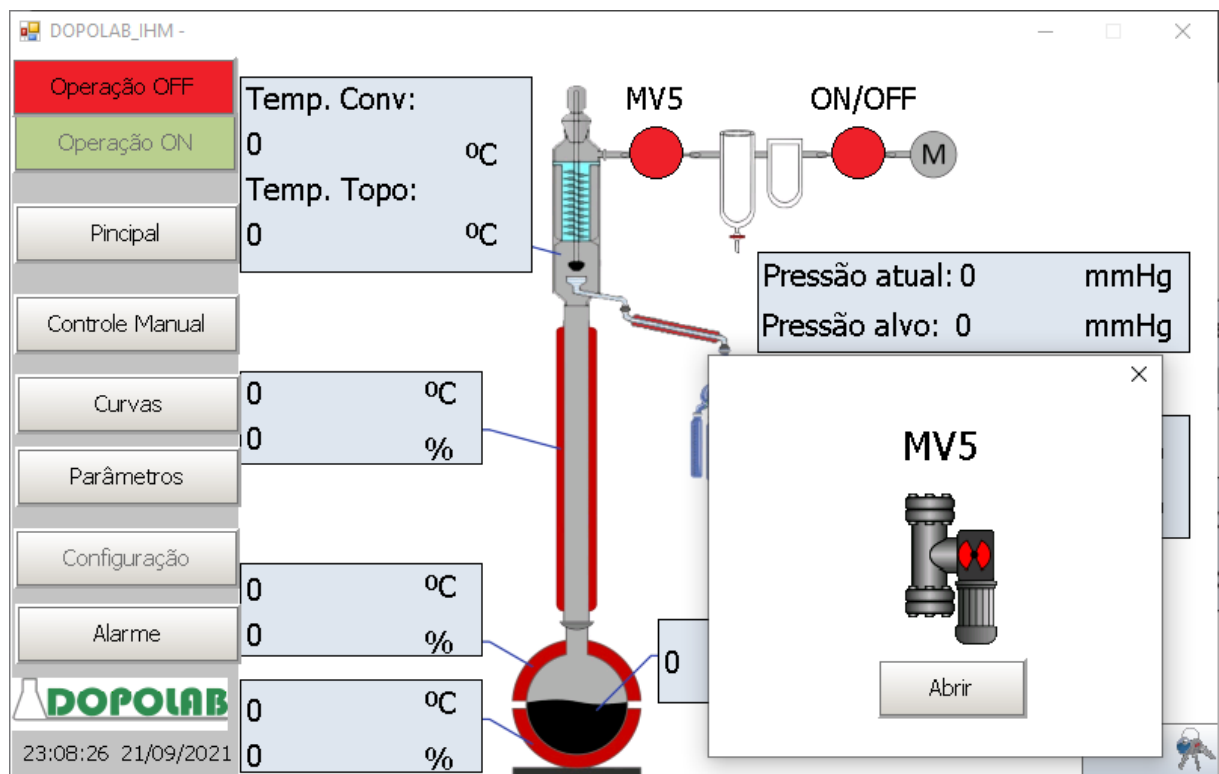
Fonte: Produção do próprio autor

Figura 34 - IHM - Tela Manta coluna.

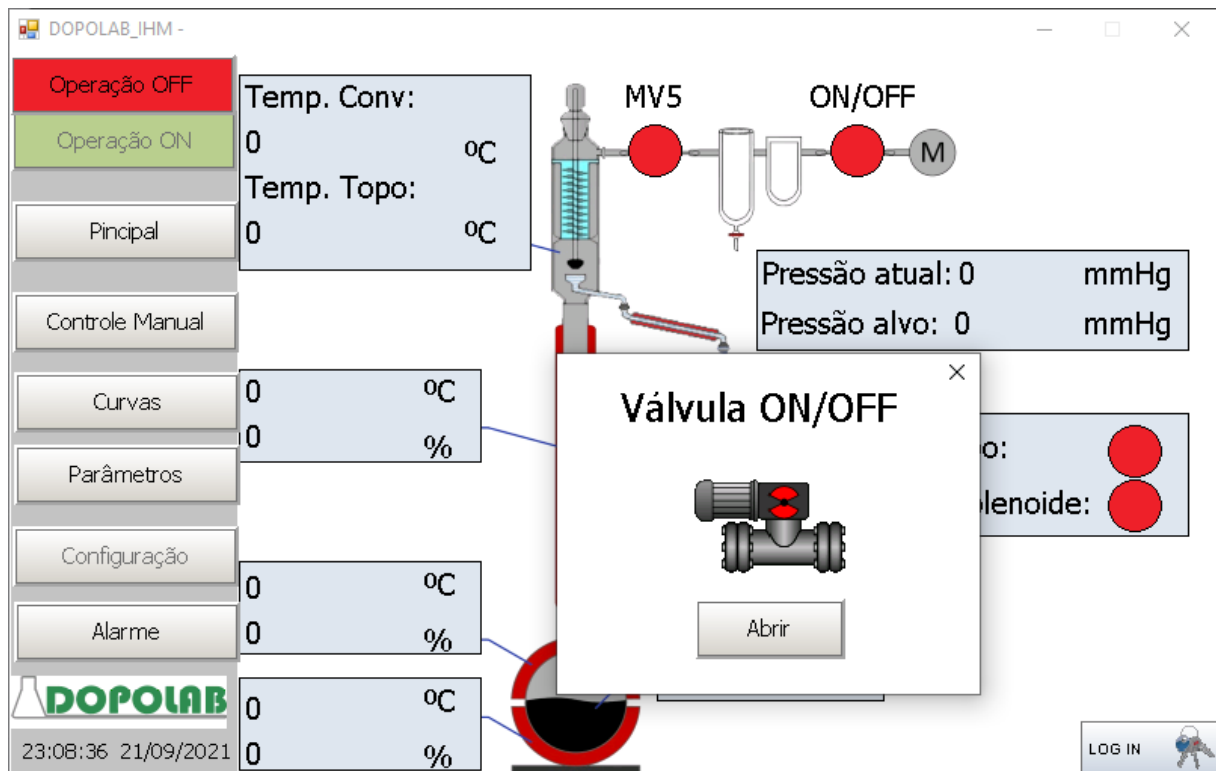


Fonte: Produção do próprio autor

Figura 35 - IHM - Tela Válvula MV5

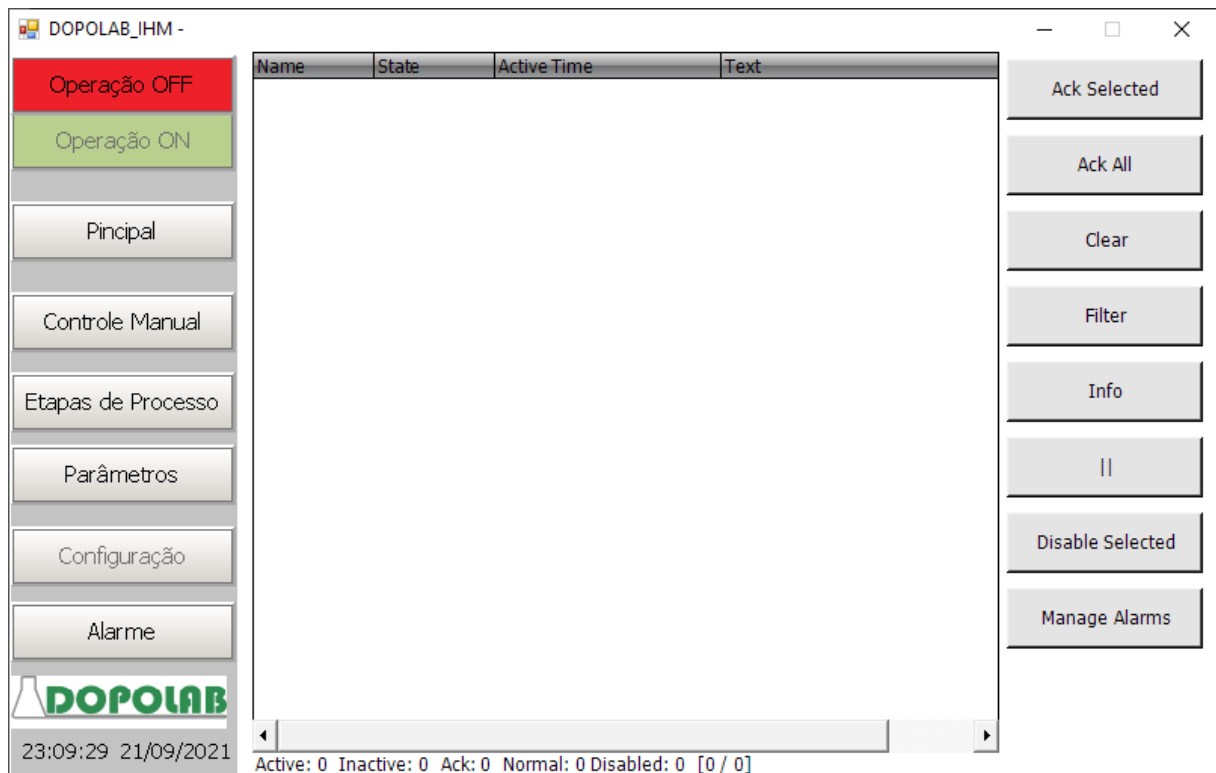


Fonte: Produção do próprio autor

Figura 36 - IHM - Tela válvula *On/Off* pressão

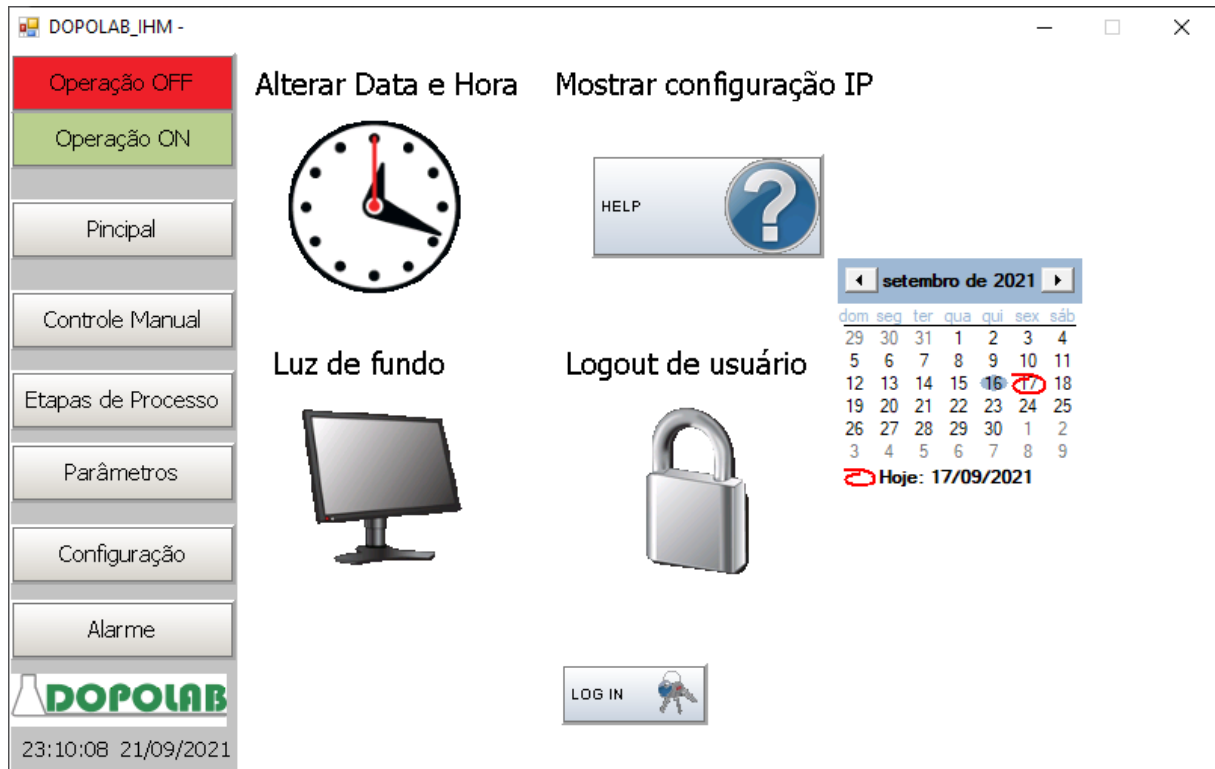
Fonte: Produção do próprio autor

Figura 37 - IHM - Tela de alarme



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 38 - IHM - Tela configurações.



Fonte: Produção do próprio autor

4.5 Coleta e análise de resultados

Como o projeto visa a implementação e controle de pressão de uma planta de destilação ASTM D 2892, primeiro realizou-se os testes apenas de controle de pressão, e depois realizou-se durante um processo de destilação, na própria planta, onde ocorrerá estudos e levantamentos de curvas PEV no laboratório DOPOLAB.

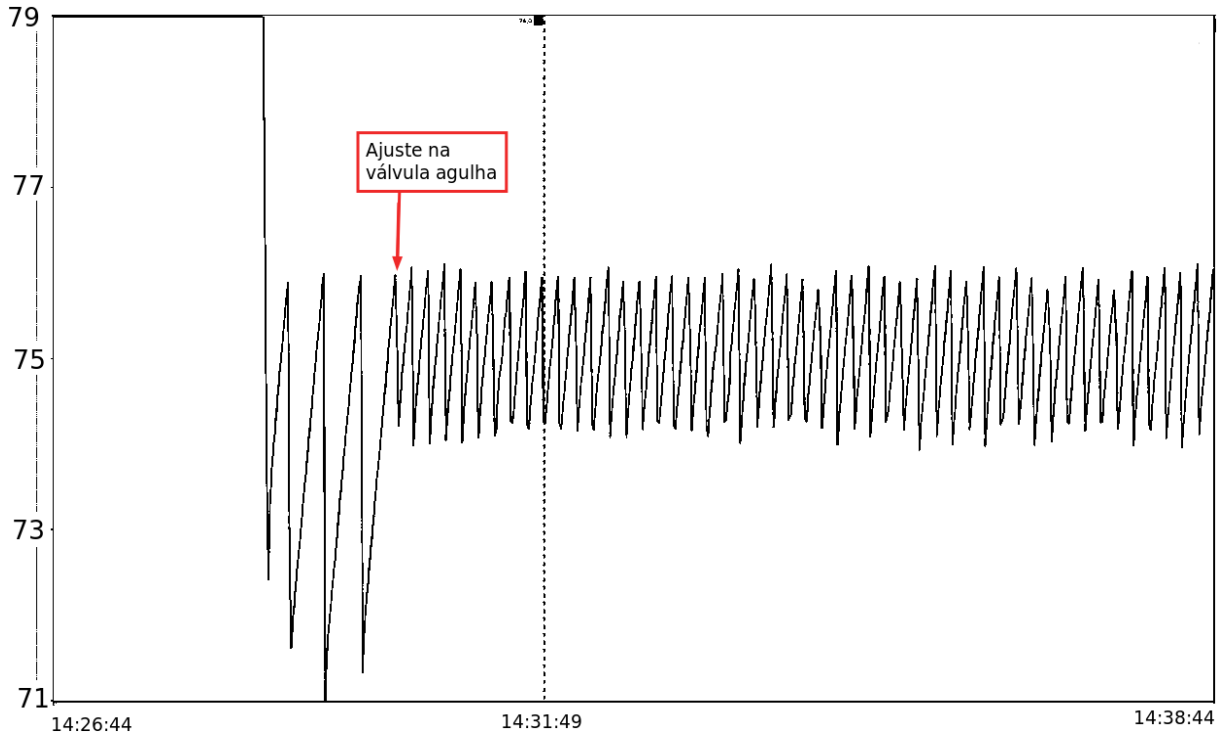
4.5.1 Teste de controle de pressão fora do processo de destilação

Iniciou-se a pressão de *set-point* de 75mmHg pela IHM e em seguida, a operação. O PLC, que está em modo de execução, acionará a bomba, abrirá a válvula *On/Off* e começará o estado de despressurização. Quando a pressão atingir o limiar de controle, o controlador enviará comando para a válvula *On/Off* para abrir e fechar.

Ao analisar a curva de pressão pela primeira vez na tela Supervisório, verificou-se que a pressão variava muito, mais de 4mmHg, o que, numa operação real, é inviável. Verificou-se então a frequência de chaveamento da válvula *On/Off*, porém, não era o problema.

Na Figura 39 verifica-se que o controle de fato é feito, porém sua variabilidade é maior que a desejada. Observou-se então que a bomba de vácuo possui uma válvula agulha de ajuste fino de vazão, que no primeiro momento, estava totalmente aberta. Ao regular a mesma para $\frac{1}{4}$, obteve-se menor variabilidade, ocasionando melhor precisão.

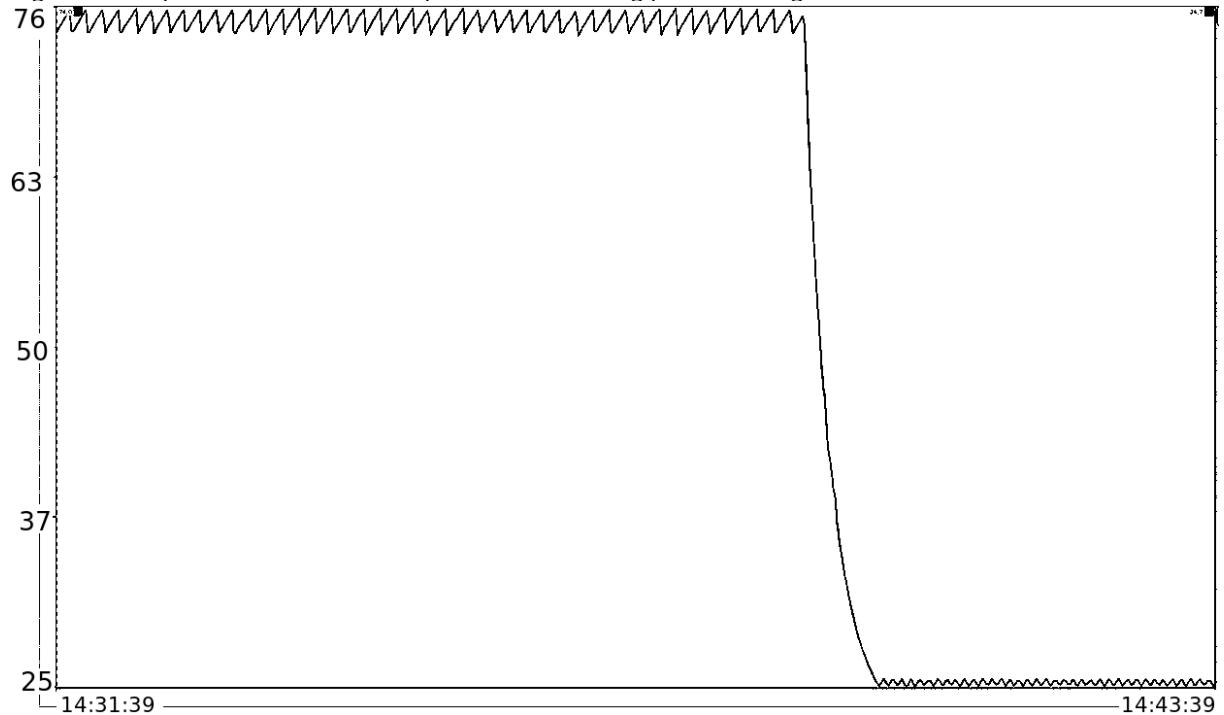
Figura 39 - Supervisório - Controle de pressão para *set-pont* de 75mmHg



Fonte: Produção do próprio autor.

Depois disso, testou-se para pressão de 25mmHg. A Figura 40 mostra o momento de mudança e a pressão estabilizada em 25mmHg.

Figura 40 - Supervisório - Controle de pressão de 75mmHg para 25mmHg



Fonte: ProduçãoProdução do próprio autor.

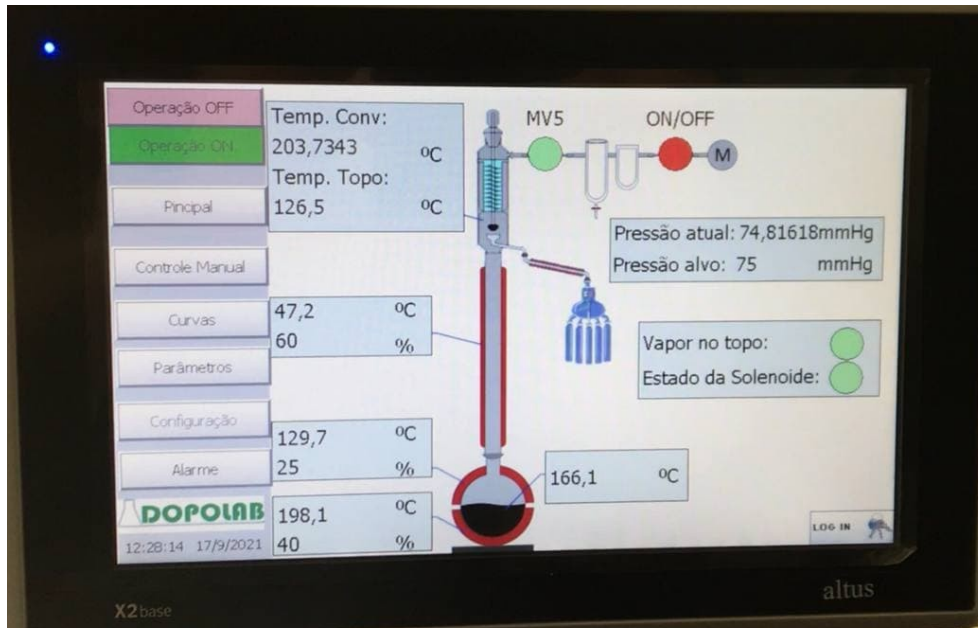
Observa-se que depois do período de despressurização, o sistema consegue controlar a pressão também em 25mmHg, dentro do limiar especificado.

4.5.2 Resultado de controle de pressão na planta no processo de destilação

Com os resultados obtidos e a validação do controle na planta, realizou-se o teste usando Condensado de Gás Natural à pressão de 75mmHg.

A Figura 41 é uma fotografia da IHM com a planta em operação. Nessa imagem observa-se que a pressão atual está em 74,8mmHg e a pressão alvo 75mmHg, ou seja, está ocorrendo o controle. Também é possível observar a Temperatura Equivalente Atmosférica, que está com o nome de Temp. Conv. (Temperatura de topo convertida); a situação das válvulas MV5, On/Off e Solenoide; além da temperatura do petróleo, da manta inferior, superior e coluna.

Figura 41 - Foto da IHM com a planta em operação



Fonte: Produção do próprio autor

A curva de pressão no tempo também pode ser observada na tela Curvas, na IHM. A Figura 42 mostra a variação da pressão no tempo, quando o sistema está controlado. O valor limiar está definido de 1%, ou seja, a pressão máxima e mínima permitida é de 75,75mmHg e 74,25mmHg, respectivamente.

Figura 42 - IHM - Pressão no tempo



Fonte: Produção do próprio autor.

Observa-se, na Figura 42, que a pressão atinge máxima de 75,9mmHg e mínima de 73,9mmHg, valor muito próximo do desejado, ou seja, com isso, obteve-se o sucesso do controle.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O objetivo desse trabalho, em resumo, foi a implementação de controle de pressão numa planta de destilação ASTM D 2892 utilizando válvula solenoide *On/Off*. Apresentou-se a planta instalada, a norma que a rege, os fundamentos necessários para o controle e, por fim, o controle e os resultados obtidos.

Utilizou-se um PLC Altus NX3005 para controle e monitoramento da planta, bem como uma IHM para gerenciamento e operação. Programou-se o PLC usando Texto Estruturado, que através de controle em malha fechada, envia sinal para o atuador agir no processo.

Os resultados foram todos satisfatórios, de fato foi possível a realização de controle utilizando uma válvula solenoide *On/Off* via PLC-IHM dentro do limiar especificado. Com isso, é possível trabalhar com pressões abaixo da atmosférica, evitando o craqueamento do petróleo e possibilitando a obtenção de cortes em temperaturas mais elevadas, estendendo assim a curva PEV. Os dados da curva PEV são utilizados principalmente para ajudar a definir o tipo de petróleo e quais seus similares no mercado (MOTA, 2008).

Como a bomba de vácuo, então instalada, possui capacidade máxima de 23mmHg, mesmo chegando a 20mmHg experimentalmente, para projetos futuros, recomenda-se a aquisição de bomba de vácuo que atinja pressões menores, como por exemplo, 1mmHg, para controle em 2mmHg.

Por fim, o controle de pressão também pode ser melhorado aumentando a capacidade de vedação da planta. Durante alguns testes, verificou-se o crescimento rápido de pressão quando a válvula estava fechada e, em outros, a bomba não conseguiu atingir a pressão mínima, pois havia falha na vedação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM Method D 2892-03a. **Standard Test Method for Distillation of Crude Petroleum; (15-Theoretical Plate Column)**, West Conshohocken, PA, USA: American Society for Testing and Materials, 2003.

BASSANI, R. V. G.; **Projeto de um Sistema de Acionamento de Manta Térmica para Automação de uma Coluna de Destilação Batelada**, 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

Baratron Capacitance Manometers: Baratron® Basics. **MKS Instruments**. Disponível em <https://www.mksinst.com/n/baratron-capacitance-manometers>. Acessado em cesso em 23 set. 2021.

CREMASCO, T. R.; **Automação de uma Coluna de Destilação Usando Acionamento PWM de Mantas Térmicas em um Micrologix 1100**, 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

CT11405. **Módulo 24 Vcd 16 SD Transistor NJ2001**. Disponível em: <https://www.altus.com.br/suporte/download/baixararquivo/AAAL/2>. Acesso em 23 set. 2021.

CT11406. **Módulo 4 SA Tensão/Corrente NJ6100**. Disponível em: <https://www.altus.com.br/suporte/download/baixararquivo/AAMC/2>. Acesso em 23 set. 2021.

CT114104. **UCPs NX3005**. Disponível em: <https://www.altus.com.br/suporte/download/baixararquivo/AwQAXw==/2>. Acesso em 23 set. 2021.

CT114306. **Módulo 24 Vdc 16 ED NJ1001**. Disponível em: <https://www.altus.com.br/suporte/download/baixararquivo/AwkE/2>. Acesso em 23 set. 2021.

CT114307. **Módulo 8 EA Tensão/Corrente NJ6000**. Disponível em: <https://www.altus.com.br/suporte/download/baixararquivo/AwgD/2>. Acesso em 23 set. 2021.

CT114309. **Módulo 8 EA Termopar NJ6010**. Disponível em: <https://www.altus.com.br/suporte/download/baixararquivo/AwgH/2>. Acesso em 23 set. 2021.

CT157800. **Terminais de Operação Série X2**. Disponível em: <https://www.altus.com.br/suporte/download/baixararquivo/BgEG/2>. Acesso em 23 set. 2021.

CYPRIANO, M. V. G.; **Implementação de Um Sistema de Automação e Controle de Temperaturas para uma Coluna de Destilação Batelada**, 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.

DUARTE, N. A. Jr.; **Automação dos Controles de Temperatura de uma Coluna de Destilação ASTM D 2892 Usando um PLC Micrologix 1100**, 2014. Trabalho de Conclusão de

Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

GAST, **Diaphragm Compressors and Vacuum Pumps**. Benton Harbor, Michigan. Disponível em: <https://www.rg-group.com/store/images/document/GAST/F11%20DVP.pdf#page=26>. Acesso em 23 set. 2021.

Gemü. **Gemü Electrically Operated Solenoid Valve**. Ingelfingen, Alemanha. Disponível em: https://www.gemu-group.com/en_EN/shop/document/Operating%20instructions-ba_52_gb.pdf/01ae8a8bcc915c2b0a3ca04a2ea6201d_2021.04.21.pdf. Acesso em 23 set. 2021.

GOLNARAGHI, F. M.; KUO, B. C. **Sistemas de Controle Automático**, 9 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

GUIMARÃES, B. S.; **Projeto de um Sistema de Controle em Arquitetura SCADA para uma Coluna de Destilação Batelada**, 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

GUIMARÃES, R. C. L. **Caracterização de Petróleo e Interpretação de Resultados**. 2004. Petrobras/CENPES/PDP/AP, Rio de Janeiro, RJ, 2004.

LOPES, M. S.; Winter, A.; Batistella, C. B., Filho, R. M., Maciel, M. R. W., Medina, L. L. **Curvas de Destilação Obtidas Pelo Processo de Destilação Molecular (PEV-Ponto De Ebulição Verdadeiro)**, 2007. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, 2007.

MKS Instruments. **MKS Baratron Type 622C/626C Absolute Pressure Transducers and 623B Absolute Pressure Transducer with Trippoint Relays**. Solon, OH, USA, 2013.

MALACARNE, M. M.; Mota, M. F. B.; de Castro, E. V. R.; dos Santos, R. B.; Medina, L. C. **Determinação do Número de Pratos Teóricos de uma Coluna de Destilação Contendo Recheio Metálico de Alta Eficiência**. 5o Congresso Brasileiro De Pesquisa e Desenvolvimento Em Petróleo E Gás, 2009, LABPETRO – Departamento de Química – Universidade Federal do Espírito Santo, CENPES/PDP/TPA – PETROBRAS.

MOTA, M. F. B; **Implantação de um Sistema de Destilação Atmosférica de Petróleos no LabPetro-UFES e Estudos Quimiométricos de Frações**, 2008. Dissertação (Mestrado em Química) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

MP399048. **Manual de Programação IEC 61131**. Disponível em: <https://www.altus.com.br/suporte/download/baixararquivo/BQEA/2>. Acesso em 23 set. 2021.

MT8500. **Manual de Utilização MasterTool IEC XE MT8500**. Disponível em: <https://www.altus.com.br/suporte/download/baixararquivo/BQED/2>. Acesso em 23 set. 2021.

RIAZI, M. R. **Characterization and Properties of Petroleum Fractions**. ASTM Stock Number: MNL50, First Edition, USA, Philadelphia, PA, 2005.

BP. **Statistical Review of World Energy 2021 70th edition.** Disponível em <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>. Acesso em 23 set. 2021.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por
ALESSANDRO MATTEDI - SIAPE 2444538
Departamento de Engenharia Elétrica - DEE/CT
Em 07/10/2021 às 16:59

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/283505?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por
ANDRE FERREIRA - SIAPE 1713400
Departamento de Engenharia Elétrica - DEE/CT
Em 08/10/2021 às 08:07

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/283967?tipoArquivo=O>