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

THAYRON RIBEIRO CREMASCO

# SISTEMA DE AUTOMAÇÃO SCADA/PLC DE BAIXO CUSTO PARA UMA COLUNA DE DESTILAÇÃO ASTM D 2892

VITÓRIA – ES
DEZEMBRO/2014

THAYRON RIBEIRO CREMASCO

# SISTEMA DE AUTOMAÇÃO SCADA/PLC DE BAIXO CUSTO PARA UMA COLUNA DE DESTILAÇÃO ASTM D 2892

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Thayron Ribeiro Cremasco**, apresentada 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 – ES

DEZEMBRO/2014

THAYRON RIBEIRO CREMASCO

**SISTEMA DE AUTOMAÇÃO SCADA/PLC DE BAIXO CUSTO PARA UMA COLUNA DE DESTILAÇÃO ASTM D 2892**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Thayron Ribeiro Cremasco**, 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 17 de Dezembro de 2014.

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

_____

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

_____

**Prof. Dr. José Leandro Félix Salles**
**Universidade Federal do Espírito Santo**
**Examinador**

_____

**Prof. Dr. José Denti Filho**
**Universidade Federal do Espírito Santo**
**Examinador**

À minha família, minha namorada e meu orientador.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pelo apoio em todos os momentos. Ao meu irmão por sempre me inspirar. À minha namorada pelo incentivo. Ao meu orientador pela paciência e colaboração. Aos meus colegas pelo auxílio nas horas difíceis.

# RESUMO

Este projeto é referente ao sistema de automação SCADA/PLC de uma coluna de destilação batelada de petróleo ASTM D 2892. A monografia consiste primeiramente no estudo de viabilidade da automação de uma coluna de destilação batelada de petróleo usando acionamento PWM das mantas térmicas em um PLC, mostrando detalhadamente como seria feita a implementação deste controle e seus benefícios assim como seus prejuízos comparados ao sistema implementado atualmente no Laboratório de Serviços (LabServ) do Departamento de Química/ UFES. Também é implementada a integração do sistema de pressão ao PLC, fazendo o monitoramento da pressão na coluna de destilação e selecionando os *set points* de pressão via supervisório. Por fim, é desenvolvido um estudo preliminar do sistema de gerenciamentos de alarmes no supervisório. Para realização deste trabalho utilizou-se o PLC MicroLogix 1100 e também o software supervisório FactoryTalk Site Edition.

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relé de estado sólido para ângulo de fase AFC-1 ..... 14

Figura 2 - Sistema ASTM D 2892 UFES ..... 17

Figura 3 - Curva PEV ..... 19

Figura 4 - PLC da Rockwell Automation ..... 20

Figura 5 - Três diferentes sianis PWM ..... 21

Figura 6 - Planta da Coluna de destilação ..... 22

Figura 7 - Painel com o PLC e conexões ..... 24

Figura 8 - Esquema de ligação do relé de estado sólido AFC-1 ..... 26

Figura 9 - Interface RsLogix Micro Starter Lite ..... 27

Figura 10 - Diagrama de instrumentação do processo ..... 28

Figura 11 - Fluxograma da lógica de controle da manta da coluna ..... 29

Figura 12 - RsLinx Gateway ..... 30

Figura 13 - Tela de processo ..... 31

Figura 14 - Curva de temperatura ..... 32

Figura 15 - Curva de potência ..... 33

Figura 16 - Parâmetros do processo ..... 34

Figura 17 - Exemplo do *Logbook* ..... 35

Figura 18 - Variação da potência com o *duty cycle* ..... 40

Figura 19 - Representação de um TRIAC ..... 41

Figura 20 - Esquema do circuito integrado MOC3021M ..... 41

Figura 21 – Circuito para o acionamento do TRIAC ..... 42

Figura 22 - Resposta ao sinal de controle utilizando o módulo CR-1 ..... 43

Figura 23 - Resposta ao sinal de controle utilizando o circuito proposto neste trabalho ..... 43

Figura 24 - Controlador de pressão MKS Type 651C ..... 45

Figura 25 - Traseira do controlador de pressão MKS 651C ..... 46

Figura 26 - Conexão entre o PLC e controlador de pressão ..... 48

Figura 27 - Circuito divisor de tensão ..... 49

Figura 28 - Circuito de entrada digital do controlador de pressão ..... 50

Figura 29 - Primeira parte controle de pressão no Ladder ..... 51

Figura 30 - Segunda parte do controle de pressão no Ladder ..... 52

Figura 31 - Esquema de truncamento ..... 53

Figura 32 - Terceira parte do controle de pressão no Ladder ..... 53

Figura 33 - Mensagem para a seleção de 2, 10 ou 100 Torr ..... 54

Figura 34 - Mensagem para a seleção de 1 atm ..... 54

Figura 35 - Tela de processo evidenciando a pressão monitorada e selecionada ..... 55

Figura 36 - Graduação dos níveis de alarme para manta da coluna ..... 59

Figura 37 - Graduação dos níveis de alarme para a manta inferior ..... 60

Figura 38 - Tela de alarmes ..... 63

Figura 39 - Tela de alarmes com filtro de alarmes urgentes ..... 64

# LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Módulos de expansão MicroLogix 1100 ..... 25

Quadro 2 - Especificação técnicas AFC-1..... 26

Quadro 3 - Exemplo do *Datalog*..... 35

Quadro 4 - Exemplo da potência e tensão eficaz variando *duty cycle* ..... 39

Quadro 5 - Comparação de preços do controle de potência atual e o proposto utilizando PWM ..... 44

Quadro 6 - Pinos de entrada e saída do conector do controlador de pressão (continuação a seguir)..... 47

Quadro 7 - Pinos de entrada e saída do conector do controlador de pressão (continuação) .. 48

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Utilidade do petróleo para cada ponto de ebulição ..... 18

Tabela 2 - Tabela de entradas de saídas do MicroLogix 1100 1763-L16 AWA..... 24

Tabela 3 - Número de operações da saída relé de um MicroLogix 1100..... 36

Tabela 4 - Tabela de entradas de saídas da família MicroLogix 1100..... 37

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---|---|
| **UFES** | *Universidade Federal do Espírito Santo* |
| **LCI** | *Laboratório de Controle Inteligente* |
| **PWM** | *Pulse Width Modulation* |
| **ASTM** | *American Society for Testing and Materials* |
| **PLC** | *Controlador Lógico Programável* |
| **PEV** | *Ponto de Ebulição Verdadeiro* |
| **SCADA** | *Supervisory Control and Data Acquisition* |
| **TRIAC** | *Triode for Alternating Current* |
| **MOC** | *Optoacoplador de Isolamento* |
| **PID** | *Proportional Integrative Derivative* |

# SUMÁRIO

**1 INTRODUÇÃO ..... 13**

1.1 Apresentação ..... 13

1.2 Justificativa ..... 14

1.2.1 Justificativa do controle PWM ..... 14

1.2.2 Justificativa do monitoramento de pressão ..... 15

1.2.3 Justificativa da gestão de alarmes ..... 15

1.3 Objetivos ..... 15

**2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA ..... 17**

2.1 Norma ASTM D 2892 ..... 17

2.2 Teoria Controlador Lógico Programável ..... 19

2.3 Teoria PWM ..... 20

2.4 Sistema de alarmes ..... 21

**3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA ..... 22**

3.1 Coluna de destilação ..... 22

3.2 Sistema SCADA ..... 23

3.2.1 Controlador Lógico Programável ..... 23

3.2.2 Supervisório ..... 30

**4 ESTUDO DA VIABILIDADE DO ACIONAMENTO PWM ..... 36**

4.1 Aquisição do PLC ..... 36

4.2 Estudo da potência ..... 38

4.3 Estrutura ..... 40

4.4 Ladder ..... 43

4.5 Benefícios ..... 44

**5 MONITORAMENTO DA PRESSÃO ..... 45**

5.1 Controle de pressão ..... 45

5.2 Comunicação do PLC com o controlador de pressão ..... 46

5.3 Ladder ..... 51

5.4 Supervisório ..... 54

**6 ESTUDO PRELIMINAR DO GERENCIAMENTO DE ALARMES ..... 56**

6.1 Alarmes no supervisório ..... 56

6.2 ConFiguração dos alarmes ..... 57

6.3 Tela de alarmes no supervisório ..... 62

**7 CONCLUSÃO ..... 65**

**BIBLIOGRAFIA ..... 66**

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Apresentação

O petróleo é constituído por uma mistura de compostos químicos orgânicos (hidrocarbonetos) que são normalmente separados em frações de acordo com suas faixas de ebulição. Ele tem origem a partir da matéria orgânica depositada junto ao sedimento. A interação de fatores como matéria orgânica, sedimento e condições termoquímicas apropriadas é essencial para o início da cadeia de processos que leva à formação do petróleo (THOMAS, 2001).

A destilação é o processo de separação no fenômeno de equilíbrio liquido-vapor de misturas. O petróleo deve passar por algumas etapas de destilação feitas em uma coluna de destilação antes de resultar em produtos úteis ao homem como gasolina, óleo diesel, querosene entre outros (CALDAS, 2007).

No trabalho desenvolvido por GUIMARÃES (2013) e DUARTE (2014), foi implantado o controle das temperaturas em uma coluna de destilação em batelada normatizada por ASTM D 2892, que está instalada no Laboratório de Serviços (LABSERV) do Departamento de Química / UFES.

Este projeto irá abordar primeiramente, diferente do apresentado por DUARTE (2014), um estudo de viabilidade do controle PWM utilizando o PLC MicroLogix 1100 para o acionamento de mantas térmicas de uma coluna de destilação em batelada, localizada no Laboratório de Destilação do LabPetro / UFES.

Posteriormente, será apresentado o trabalho desenvolvido para o monitoramento da pressão na coluna de destilação, além da comunicação do PLC MicroLogix 1100 com o controlador de pressão MKS Type 651C.

Por fim, esta monografia também faz um estudo preliminar realizado no software supervisório FactoryTalk Site Edition™ para a gestão de alarmes e eventos, decorrentes do processo de operação de destilação da coluna ASTM D 2892.

## 1.2 Justificativa

A automatização de uma coluna de destilação contribui para um processo mais eficiente e seguro, permitindo ao supervisor se dedicar a realização de análises (DUARTE, 2014).

### 1.2.1 Justificativa do controle PWM

No projeto de DUARTE (2014), o acionamento das mantas térmicas da coluna de destilação é feito através do dispositivo AFC-1, mostrado na Figura 1, que recebe um sinal de 4 a 20 mA enviado pelo PLC e faz o controle de disparo do TRIAC para controlar a potência enviada para a manta térmica. A relação funcional deste dispositivo é enviar a potência mínima para a manta ao receber 4 mA do PLC e enviar a potência máxima ao receber 20 mA, ou seja, uma variação linear.

Figura 1 - Relé de estado sólido para ângulo de fase AFC-1

Fonte: http://www.contemp.com.br

No trabalho apresentado por BASSANI (2014), o acionamento das mantas térmicas foi realizado por meio de um microcontrolador Arduino, em que o mesmo recebe sinais de controle do PLC e de um circuito opto acoplado de potência que dispara o TRIAC para controlar a potência enviada. Porém este sistema de acionamento microcontrolado não foi utilizado, pois ainda necessita de mais testes para haver a garantia de robustez e confiabilidade.

Para este projeto, foi feito um estudo da viabilidade do acionamento PWM das mantas térmicas utilizando o PLC MicroLogix 1100 sem a necessidade do dispositivo AFC-1, mantendo a robustez e a confiabilidade.

### 1.2.2 Justificativa do monitoramento de pressão

O processo de destilação deve ser realizado em diferentes níveis de pressão e para isso existe um controlador de pressão MKS type 651C, que utiliza uma bomba de vácuo acoplada a coluna, para regular a pressão da mesma em diferentes valores (100, 10 e 2 Torr). Esse controlador funciona de forma paralela ao sistema de automação de temperaturas implementado. Os ajustes dos *set points* são ajustados através da seleção de botões na interface do controlador MKS.

Neste projeto, o monitoramento da pressão e seleção da pressão foram integrados ao sistema SCADA desenvolvido por GUIMARÃES (2013), proporcionando assim o registro dos dados de pressão no DataLog, bem como maior comodidade à operação do processo.

### 1.2.3 Justificativa da gestão de alarmes

O programa utilizado no controle supervisório, o FactoryTalk Site Edition™, apresenta ferramentas de gestão de alarmes e eventos, que ainda não foram utilizadas no sistema de automação realizado nos trabalhos anteriores (Guimarães 2013, Duarte 2014). Isto possibilita monitoramento e operacao do processo mais seguros.

## 1.3 Objetivos

Dentro do contexto do sistema de automação SCADA / PLC para a coluna de destilação ASTM D 2892, o objetivo geral deste trabalho é realizar um estudo da viabilidade da implementação do acionamento PWM para as mantas térmicas, implementar a integração do controlador de pressão ao sistema supervisório e desenvolver um estudo preliminar dos sistemas de gerenciamento de alarmes e eventos no sistema supervisório.

Os objetivos específicos são:

- Entender o processo de destilação de análise de petróleo bruto segundo a Norma ASTM D 2892.
- Realizar um estudo de viabilidade da automação da coluna usando o acionamento PWM.

- Desenvolver a comunicação do controlador de pressão com o PLC, para obter as escolhas dos *set points* de pressão através do PLC.
- Realizar um estudo preliminar da gestão de alarmes e eventos no processo de destilação.
- Programar códigos Ladder da automação da coluna para adequar-se as alterações feitas.
- Adaptar o código supervisório para novas demandas dos operadores da coluna.

# 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta o embasamento teórico deste trabalho, aprofundando os conhecimentos em tópicos como a coluna de destilação, o controlador lógico programável, PWM e o sistema de alarmes.

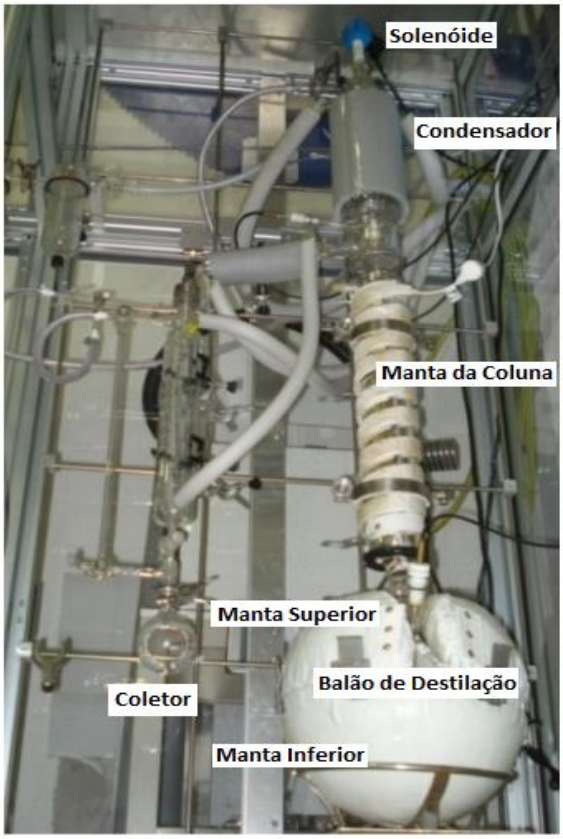
## 2.1 Norma ASTM D 2892

A destilação se inicia com a extração das frações menos densas do petróleo até a extração das frações mais densas com o aumento da temperatura de destilação.

Nos casos de necessidade do aumento de temperatura, evitando 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 2 mostra a coluna de destilação utilizada no LabPetro.

Figura 2 - Sistema ASTM D 2892 UFES




Fonte: MOTA, 2008.

A partir da 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. A partir de uma tabela é possível prever a utilidade do petróleo destilado para cada ponto de ebulição (LOPES, 2007).

Pode ser visto na tabela 1 a utilidade do petróleo para cada ponto de ebulição.

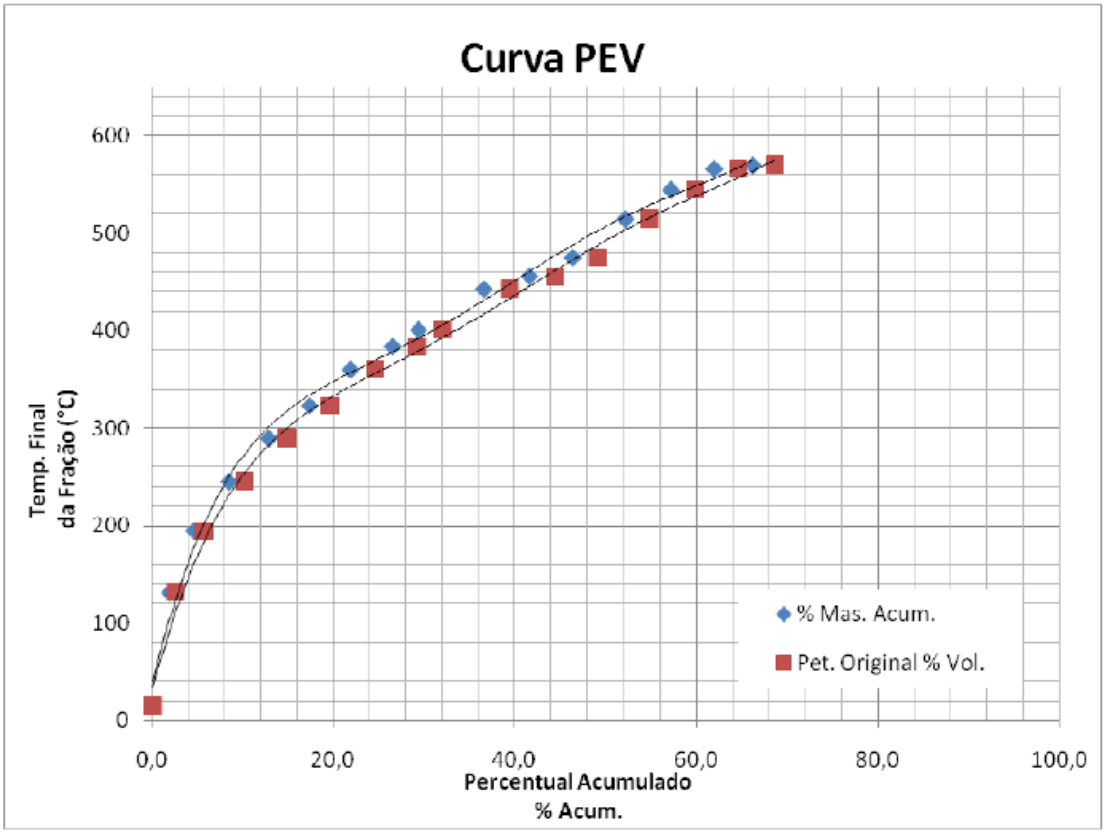
Tabela 1 - Utilidade do petróleo para cada ponto de ebulição

| *Destilado* | *Hidrocarbonetos contidos* | *Faixa de Temperatura (°C)* | *(°F)* |
|---|---|---|---|
| Gás | $C_2$-$C_4$ | -90 a 1 | -130 a 30 |
| Gasolina | $C_4$-$C_{11}$ | -1 a 200 | 30-390 |
| Nafta | $C_4$-$C_{11}$ | -1 a 205 | 30-400 |
| Combustível de Aviação | $C_9$-$C_{14}$ | 150-255 | 300-490 |
| Querosene | $C_{11}$-$C_{14}$ | 205-255 | 400-490 |
| Diesel | $C_{11}$-$C_{16}$ | 205-290 | 400-550 |
| Óleo Combustível Leve | $C_{14}$-$C_{18}$ | 255-315 | 490-600 |
| Óleo Combustível Pesado | $C_{18}$-$C_{28}$ | 315-425 | 600-800 |
| Graxa | $C_{18}$-$C_{36}$ | 315-500 | 600-930 |
| Óleo lubrificante | $>C_{25}$ | >400 | >750 |
| Óleo Combustível de vácuo | $C_{28}$-$C_{55}$ | 425-600 | 800-1100 |
| Resíduo | $>C_{55}$ | >600 | >1100 |

Fonte: MOTA, 2008.

Um exemplo de curva PEV pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 - Curva PEV




Fonte: MOTA, 2008.

Nesta curva, pode-se ver o percentual acumulado do petróleo destilado de acordo com sua temperatura de destilação e pode-se concluir que quanto menos inclinada verticalmente a curva, mais petróleo será destilado nesta faixa de temperatura.

## 2.2 Teoria Controlador Lógico Programável

Os PLCs foram desenvolvidos no final dos anos 1960 para dar lugar aos relés eletromagnéticos, principalmente na indústria automobilística. Hoje em dia, os PLCs estão muito difundidos nas áreas de controle de processos e automação industrial (MACKAY, 2004).

Um PLC é controlado por um processador central programado utilizando a lógica Ladder ou outro tipo de lógica, para desempenhar sua função de controle. Os PLCs modernos incluem

módulos de entradas e saídas analógicas e digitais, além de sofisticada capacidade de programação (MACKAY, 2004).

O Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados, conhecido como sistema SCADA, utiliza um software para monitorar e supervisionar as variáveis do sistema de controle conectados a uma estação mestre via sistema de comunicação (MACKAY, 2004).

A Figura 4 mostra um PLC da Rockwell Automation.

Figura 4 - PLC da Rockwell Automation

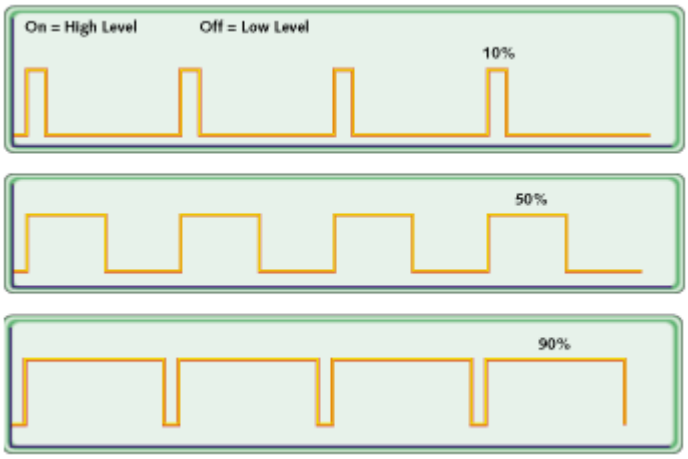
Fonte: Rockwell Automation.

## 2.3 Teoria PWM

A Modulação de Largura de Pulso, também conhecido como PWM é utilizado em uma variedade de aplicações. Neste projeto será utilizado para fazer o controle de potência. A ideia do PWM baseia-se em um interruptor, que se for aberto não há corrente e a potência entregue é zero. Se o interruptor ficar fechado são enviados a tensão total e a potência máxima. Quando há a abertura e o fechamento extremamente rápido do interruptor pode-se controlar a potência entregue à carga. Isso ocorre devido ao *duty cycle*, ou seja, período ativo (BARR, 2001).

A Figura 5 apresenta curvas com três diferentes sinais PWM.

Figura 5 - Três diferentes sianis PWM




Fonte: BARR, 2001.

Na Figura pode-se ver três diferentes *duty cycles*, primeiro caso com 10%, segundo com 50% e o terceiro com 90%, ou seja, estes irão entregar à carga respectivamente 10%, 50% e 90% da potência total.

## 2.4 Sistema de alarmes

O objetivo fundamental do alarme é alertar o operador aos desvios das condições normais de funcionamento. O objetivo final é através da intervenção do operador, em resposta à condição de alarme, possa evitar ou minimizar adversidades no processo.

Podem ocorrer problemas no sistema de alarmes, tais como alarmes mal concebidos (ponto de alarme criado indevidamente) ou aviso ineficaz e mensagens de alarmes pouco claras.

É importante desenvolver uma boa gestão de alarmes, ou seja, atribuir pontos de disparo dos alarmes e suas prioridades, além de mensagens claras.

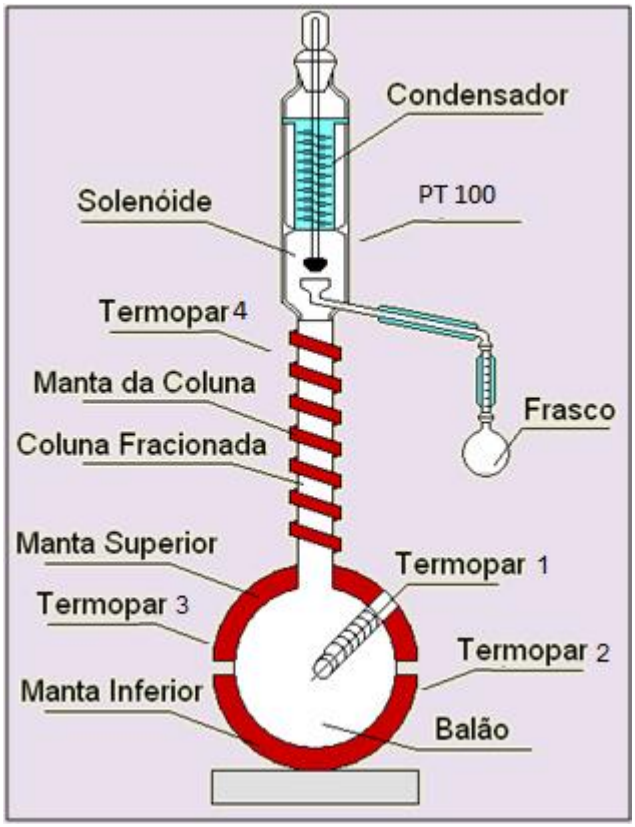
# 3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Este capítulo se divide na explicação da coluna de destilação e do sistema SCADA/PLC, mostrando detalhadamente como é feita a automação do processo de destilação.

## 3.1 Coluna de destilação

A Figura 6 mostra a coluna de destilação objeto do estudo e nela podem-se ver: um balão de fundo para armazenar o petróleo a ser destilado no processo, as mantas térmicas que fazem o aquecimento do petróleo, os termopares para o sensoriamento da temperatura nas três mantas e no petróleo no balão, o solenoide para controlar a taxa de refluxo na coluna, um condensador, um frasco para armazenar as frações destiladas e um PT-100 para o sensoriamento da temperatura do vapor no topo da coluna.

Figura 6 - Planta da Coluna de destilação




Fonte: Autoria própria.

Os sinais de medição dos sensores de temperatura dos termopares e do PT-100 são enviados respectivamente para os cartões de termopares e de PT-100 do PLC, que fazem o processamento do controle PID para a regulação da potência enviada às mantas.

Todas as três mantas térmicas mostradas na Figura 6 operam em 220 V, sendo que a manta inferior possui potência igual a 750 W, a manta superior igual a 245 W e a manta da coluna igual a 200 W (DUARTE, 2014).

O aquecimento é feito visando manter plena ebulição em taxa constante em todos os níveis de pressão. Para isso é utilizada a manta de aquecimento inferior que aquece diretamente o petróleo. A manta superior tem a função de evitar perdas de calor da superfície superior e contribuir com o aquecimento homogêneo. Já a manta da coluna, é uma fita que envolve a coluna, com o propósito de evitar perdas térmicas (DUARTE, 2014).

O controle liga-desliga do solenoide possibilita a regulação da taxa de refluxo na coluna, fazendo com o que ocorra o equilíbrio líquido-vapor em cada um dos pratos da coluna (KIN, 1980).

## 3.2 Sistema SCADA

O sistema SCADA/PLC (*Supervisory Control and Data Acquisition*) consiste de um sistema IHM (*interface Homem-Maquina*) de supervisão, que se comunica com o PLC (monitoramento e controle do processo). A percepção e atuação do usuário é facilitada pela interface gráfica.

### 3.2.1 Controlador Lógico Programável

O painel montado no LabPetro para o processo de destilação de petróleo contendo o PLC e suas conexões pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 - Painel com o PLC e conexões

Fonte: Autoria própria.

O PLC utilizado é o MicroLogix 1100 1763-L16 AWA, da rockwell automation. As portas de entrada e saída deste PLC podem ser vistas na tabela 2.

Tabela 2 - Tabela de entradas de saídas do MicroLogix 1100 1763-L16 AWA

| Controller Family | | Inputs | | Outputs | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Quantity | Type | Quantity | Type |
| MicroLogix 1100 Controllers | 1763-L16AWA | 10 | 120V ac | 6 | relay |
| | | 2 | 0~10V dc analog | | |

Fonte: Rockwell Automation.

Neste PLC, como pode ser visto na tabela 2, são embutidas dez entradas digitais de 120 Volts CA, duas entradas analógicas de 0 a 10 Volts (10 bits) CC e seis saídas relés.

Destas portas de entradas e saídas embutidas no PLC, é utilizada apenas uma saída relé para fazer o controle liga-desliga do solenoide.

O PLC MicroLogix 1100 aceita até quatro cartões de expansão, porém neste trabalho são necessários apenas três cartões de expansão, mostrados no quadro 1.

Quadro 1 – Módulos de expansão MicroLogix 1100

| Código | Descrição |
|---|---|
| 1762IR4 | Módulo com 4 entradas analógicas para termo resistência (do tipo RTD). |
| 1762IT4 | Módulo de Expansão Analógica com 4 Entradas Termopar. |
| 1762OF4 | Módulo de saída analógica com 4 saídas 0-10 VCC ou 4 A 20 mA. |

Fonte: Macrotec.

O módulo 1762IR4 aceita quatro entradas analógicas para termo resistência, porém é utilizada apenas uma entrada para o PT-100 que mede a temperatura no topo da coluna de destilação.

O módulo 1762IT4 aceita quatro entradas analógicas para termopar, onde as quatro entradas são utilizadas para as temperaturas do petróleo e das três mantas (superior, inferior e coluna).

Estes dois módulos, o 1762IR4 e o 1762IT4, fazem o tratamento de sinais (compensação, linearização, filtragem, amplificação, conversão A/D) provenientes dos sensores PT-100 e termopares, respectivamente. Além disso, estes módulos devem ser definidos como *upscale* para circuito aberto, ou seja, se ocorrer alguma falha e o circuito de medição ficar em aberto. Esta lógica simula a medição em seu valor máximo de escala, evitando que altas potências sejam enviadas às mantas térmicas danificando-as.

Já o módulo 1762OF4 têm quatro saídas 0-10 Volts CC ou 4 a 20 mA. No sistema implantado são utilizadas três saídas de 4 a 20 mA, que são enviadas cada um relé de estado sólido linear por ângulo de fase (AFC-1, especificações no quadro 2). Este circuito realiza o acionamento por disparo de ângulo em uma função de 4 a 20 mA para 0 a 100% da tensão. Porém, uma linearização é realizada no programa do controlador (em Ladder) para que relação seja linear com relação à potência (de 4-20mA para 0 a 100% de potência), conforme realizado por BASSANI, 2014.

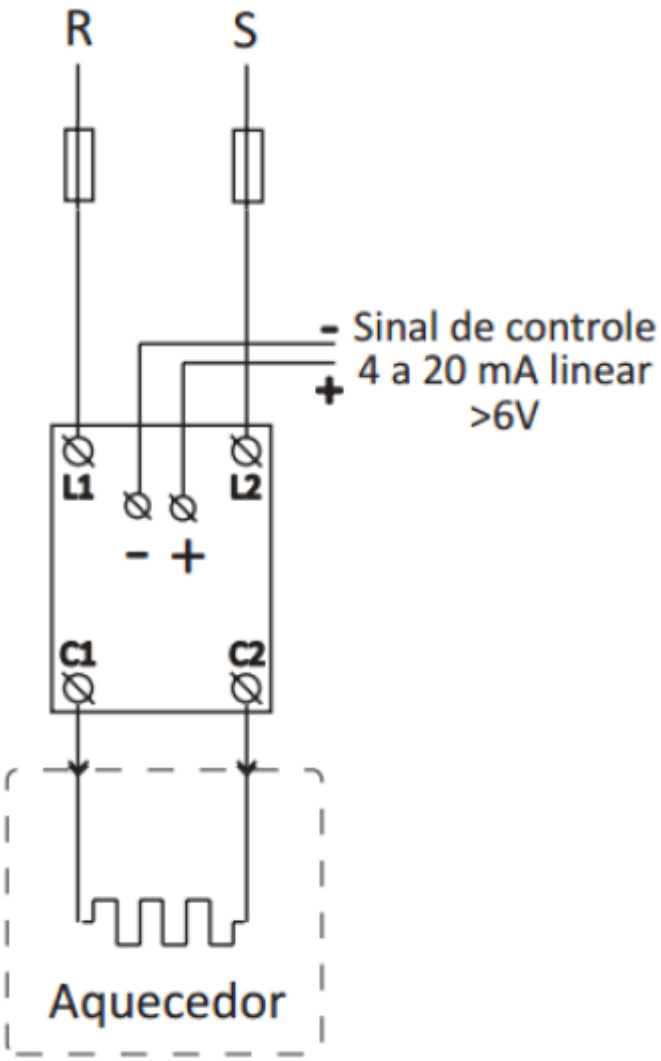
Quadro 2 - Especificação técnicas AFC-1

| Relés de Estado Sólido | |
|---|---|
| Isolação entre Entrada e Saída | 1000Vrms |
| Sinal de Controle | 4 a 20mA (6Vcc mínimo) |
| Tipo de Controle | Ângulo de Fase |
| Tensão | 110 a 480Vac |
| Corrente | 40A |
| Sinalização com Led | Alimentação, Operação, Excesso de Temperatura |
| Frequência | 50/60Hz |
| Isolação (Entrada/Saída) | 1500Vac |
| Ambiente de Operação | Até 70ºC |

Fonte: http://www.contemp.com.br

A Figura 8 mostra o esquema de ligação do relé de estado sólido AFC-1:

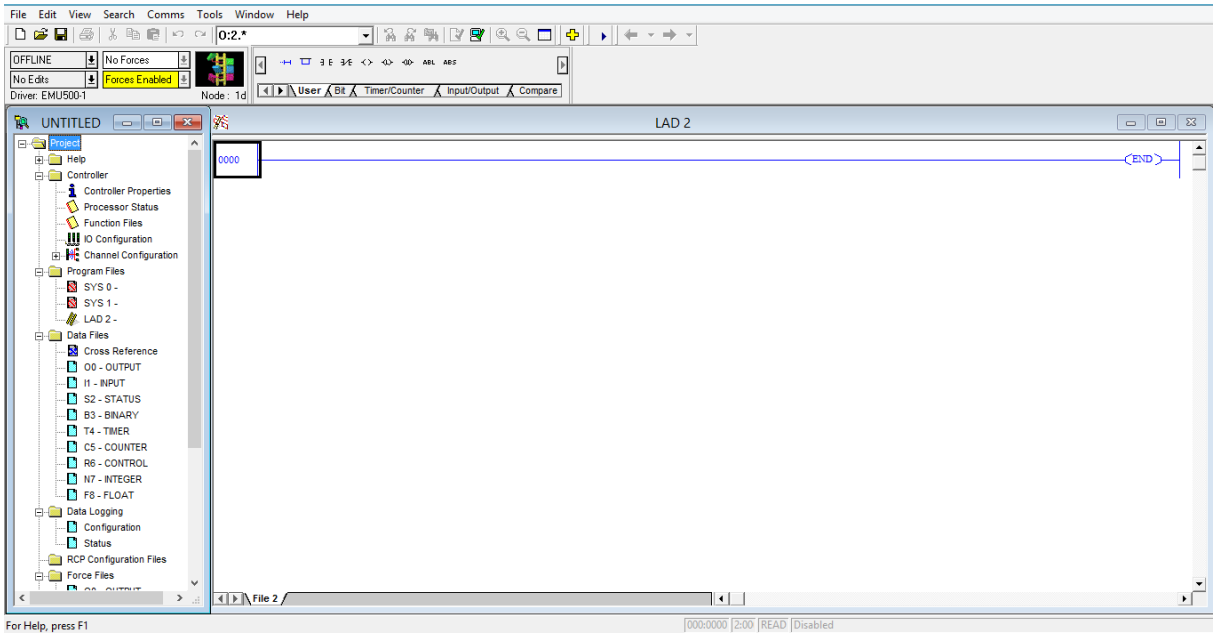
Figura 8 - Esquema de ligação do relé de estado sólido AFC-1




Fonte: http://www.contemp.com.br

O software utilizado para programar o PLC foi o RsLogix Micro Starter Lite, este é um software livre fornecido pela Rockwell Automation, baseado na lógica Ladder de programação. A Figura 9 mostra a interface deste software.

Figura 9 - Interface RsLogix Micro Starter Lite




Fonte: Rockwell Automation.

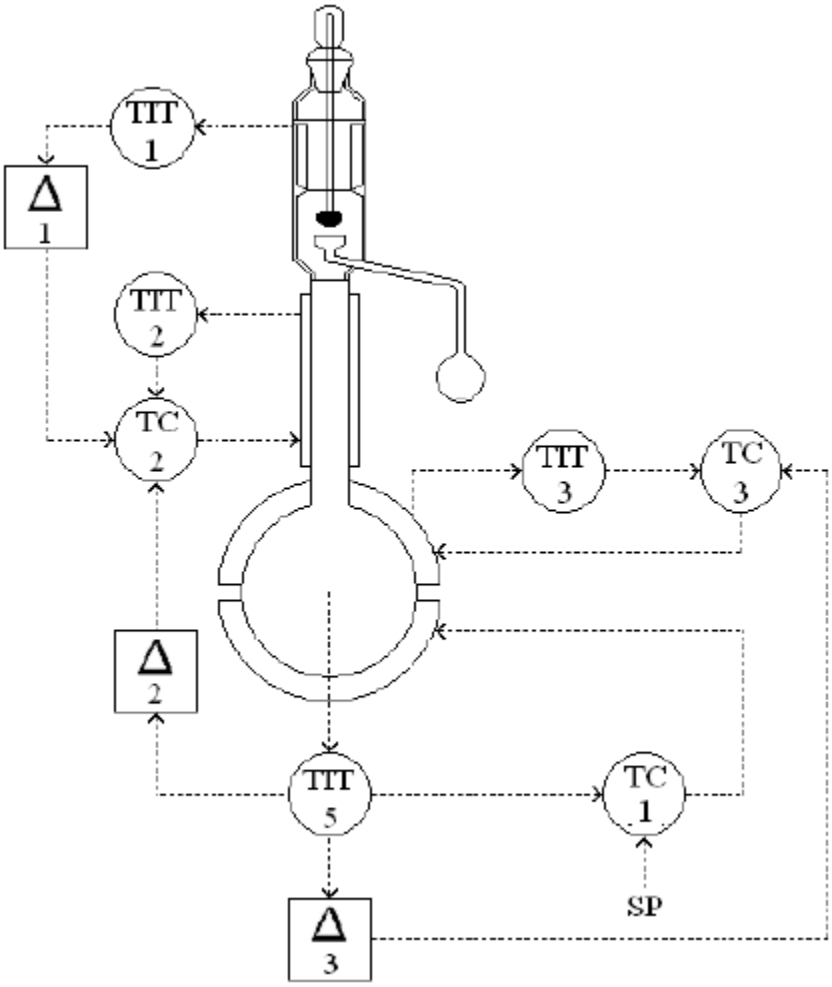
No Ladder foram desenvolvidas as lógicas do topo convertido e os controles do solenoide, da temperatura do petróleo, da manta superior e da manta da coluna.

A lógica de topo convertido, converte a temperatura do topo da coluna de destilação em relação à pressão definida pelo operador, podendo ser de 760, 100, 10 ou 2 Torr.

A lógica do solenoide implementa um contador que define o tempo que a solenoide ficará aberta e o tempo que ficará fechada.

O diagrama de instrumentação do processo, que mostra a lógica de controle das temperaturas, é exibido na Figura 10.

Figura 10 - Diagrama de instrumentação do processo



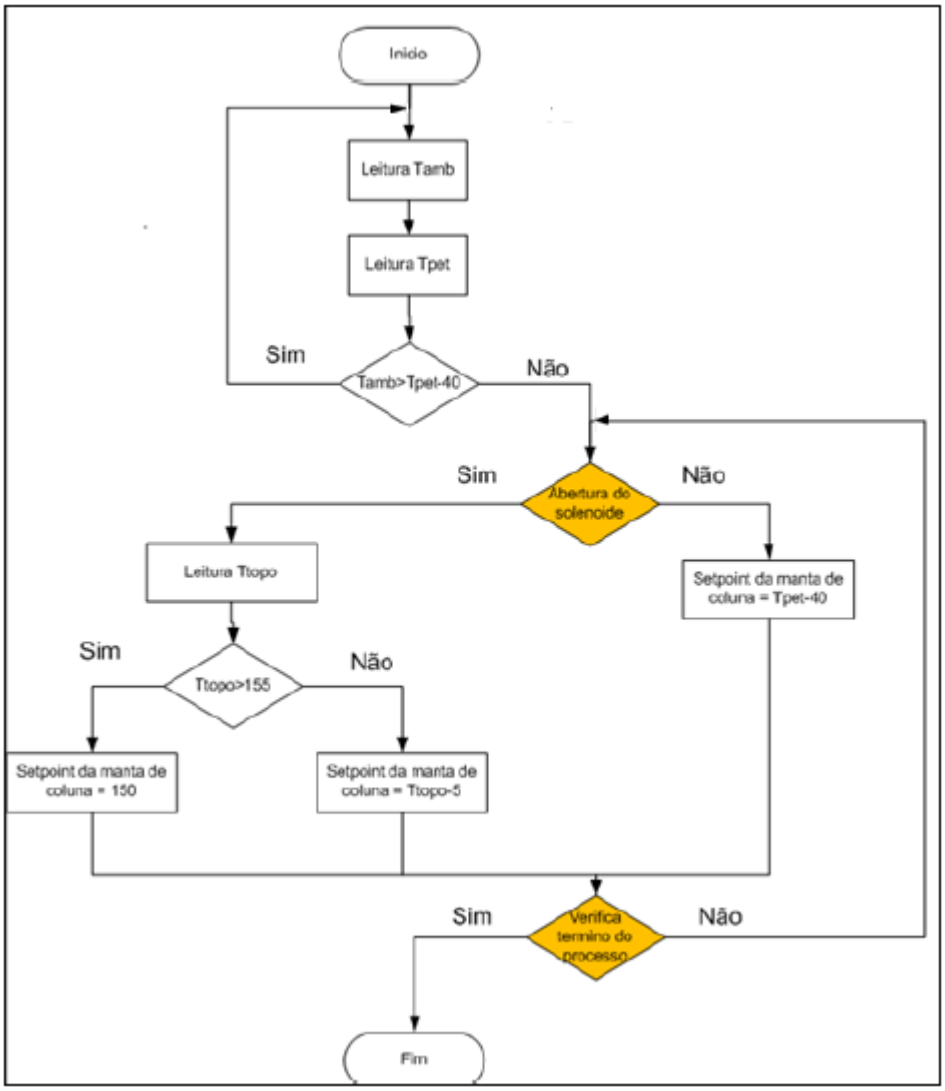

Fonte: DUARTE, 2014.

O controle da temperatura é feito diretamente pela diferença de *set point* da temperatura do petróleo, que é uma rampa com inclinação definida pelo operador, e a medida de temperatura do petróleo.

O controle da manta superior é uma malha simples, onde o *set point* é a diferença entre a temperatura do petróleo e um valor fornecido pelo operador (normalmente 20ºC). A principal função da manta superior é manter o aquecimento gerado no balão, por isso o seu *set point* é determinado desta forma. Cabe ressaltar que não existe um sistema de arrefecimento do processo, por isso o *set point* mínimo é sempre definido pela temperatura ambiente.

A Figura 11 mostra um fluxograma da lógica de determinação do *set point* do controle da temperatura da manta da coluna:

Figura 11 - Fluxograma da lógica de controle da manta da coluna




Fonte: DUARTE, 2014.

Esse *set point* é determinado em duas diferentes situações: a primeira é antes do vapor chegar ao topo, em que o seu valor é dado pela diferença entre a temperatura do petróleo e um valor fornecido pela operação (normalmente igual a 40ºC). A segunda situação é quando o vapor chega ao topo, nesse caso o seu *set point* é determinado pela diferença da temperatura do topo e de um outro valor fornecido pela operação (normalmente igual a 5 ºC), com valor máximo de 150 ºC.

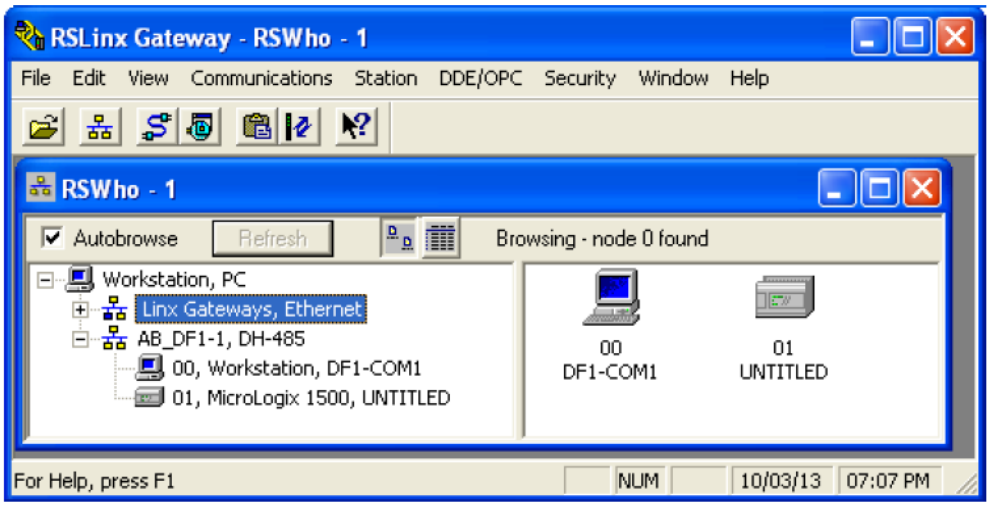
Até o momento foram realizados alguns testes preliminares de sintonia dos controladores PID das temperaturas, com ajustes apenas do ganho proporcional, mas novos testes devem ser realizados em breve utilizando modelos baseados em dados e simulação computacional.

### 3.2.2 Supervisório

O controle supervisório é feito pelo software FactoryTalk Site Edition, da Rockwell Automation. Este é um software pago, cuja licença foi adquirida pelo LabPetro.

A comunicação entre o PLC e o software supervisório é realizada via ethernet através do driver RSLinx interno ao software supervisório. Como mostra a Figura 12.

Figura 12 - RsLinx Gateway

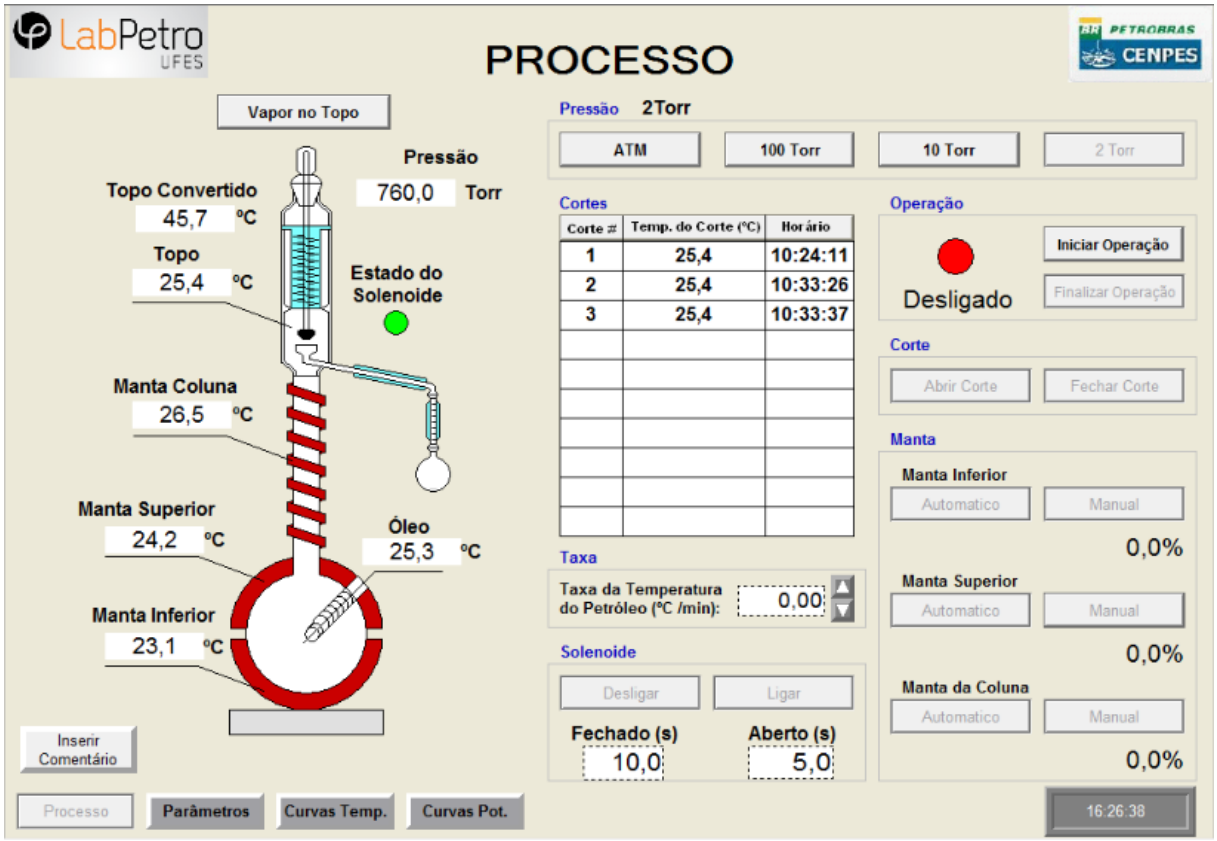



Fonte: Rockwell Automation.

O sistema supervisório é composto de quatro telas para a interação homem máquina. Uma tela de processos, uma para curva de tendência das temperaturas, uma para curva de tendência das potências e uma para definição de parâmetros do processo.

A tela de processos pode ser vista na Figura 13

Figura 13 - Tela de processo



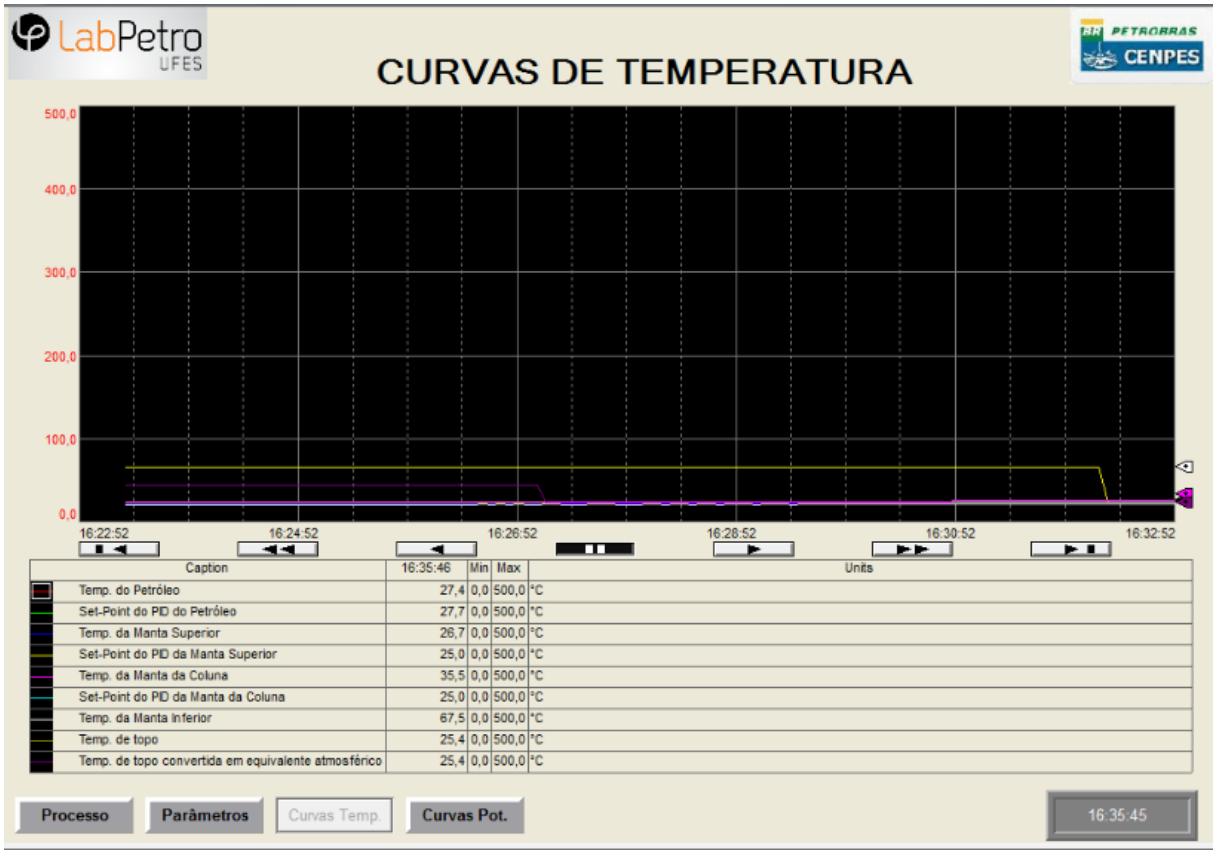

Fonte: Autoria própria.

Nesta tela, o operador define a pressão da coluna de destilação, monitora todas as temperaturas do processo e também o estado do solenoide, define a taxa de aquecimento do petróleo em ºC/min e também a taxa de abertura e fechamento do solenoide, além de acompanhar a temperatura e o horário dos cortes.

O operador ainda tem a possibilidade de fazer o controle manual da potência enviada às mantas, se julgar necessário.

A Figura 14 mostra a tela das curvas de tendência das temperaturas.

Figura 14 - Curva de temperatura

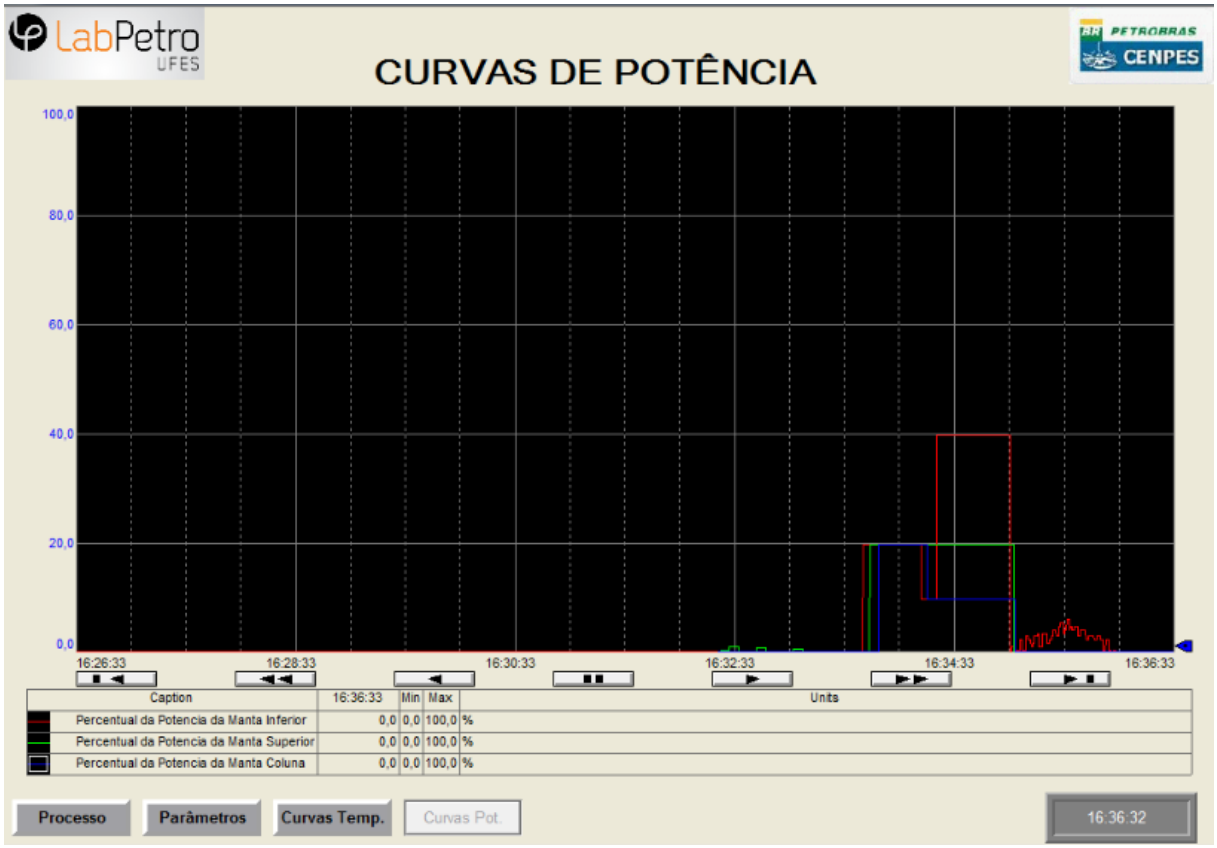



Fonte: Autoria própria.

É possível monitorar em tempo real todas as temperaturas e os *set points* dos processos. A tela mostra as tendências nos últimos dez minutos, porém os dados ficam armazenados. O operador pode pausar o desenvolvimento das curvas, voltar para visualizar valores antigos, entre outras funcionalidades.

A Figura 15 mostra a tela das curvas de tendência das potências.

Figura 15 - Curva de potência




Fonte: Autoria própria.

É possível monitorar em tempo real a porcentagem de potência enviada às mantas inferior, superior e da coluna. Esta tela, assim como a tela da curva das temperaturas, mostra as tendências nos últimos dez minutos da potência, porém os dados ficam armazenados. O operador pode pausar o desenvolvimento das curvas, voltar para visualizar valores antigos, entre outras funcionalidades.

A Figura 16 mostra a tela de parâmetros de processo.

Figura 16 - Parâmetros do processo

Fonte: Autoria própria.

Nesta tela o operador define a temperatura ambiente, os parâmetros de controle das mantas superior e da coluna, e também as temperaturas máximas da manta da coluna, do balão e do petróleo.

O *Logbook* é um arquivo gerado no formato (.txt) que possui informações importantes do processo. Este arquivo contém dados como: nome do operador, data e horário do início da operação e pressão selecionada (DUARTE, 2014). Além disso, é possível observar as informações relativas em cada corte, contendo o gradiente de temperatura e temperaturas importantes no processo. Ainda é possível ver as notas adicionadas pelo operador durante a destilação.

A Figura 17 mostra um exemplo deste *Logbook*.

Figura 17 - Exemplo do *Logbook*

Teste 30-10 - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

```
Destilação ASTM D 2892
----------------------------------

Operador: Marcos
Data:     30/10/2014
Horário:  09:28:46
Pressão:  ATM

Cortes:
Hora     | Frasco | Gradiente |   T. Set. Fundo   | T. Set. Coluna |   T. Fundo   |   T. Coluna | T. Topo
09:29:15 |   01   |     4     |        26         |       25       |     24,3     |      23,3   |   22,4

Notas:
-Isso é um teste
-Será que funcionou?


----------------------------------
```

Fonte: Autoria própria.

O *Datalog* coleta e armazena, a cada cinco segundos, os valores das *tags* do processo em um banco de dados, neste caso é utilizado o Excel (com licença adquirida pelo LabPetro).

Dessa maneira, o operador tem acesso ao histórico do processo de destilação sem precisar de acessar o supervisório para isto.

O quadro 3 mostra um exemplo deste *Datalog*.

Quadro 3 - Exemplo do *Datalog*

| Dia | Hora | Gradiente | Temp. Óle | Temp. Ma | Temp. Ma | Temp. Ma | Temp. Top | Temp. Top | Pressão | Set Point | Set Point | Set Point | Set Point | Potência | Potência | Potência | Manta Coluna |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12/04/2014 | 10:11:12 AM | 0 | 28,2 | 27,7 | 26,9 | 27,1 | 25,3 | 25,3 | 0 | 21,974 | 25 | 25 | 28 | 0 | 0 | 0 | |
| 12/04/2014 | 10:11:18 AM | 0 | 28 | 28,6 | 26,5 | 28 | 25,3 | 25,3 | 0 | 21,974 | 25 | 25 | 28 | 0 | 0 | 0 | |
| 12/04/2014 | 10:11:23 AM | 0 | 28,4 | 27,2 | 26,5 | 26,6 | 25,3 | 25,3 | 0 | 21,974 | 25 | 25 | 28 | 0 | 0 | 0 | |
| 12/04/2014 | 10:11:28 AM | 1 | 28,3 | 27,9 | 25,5 | 27,2 | 25,3 | 25,3 | 0 | 21,974 | 25 | 25 | 28,04499 | 0 | 0 | 0 | |
| 12/04/2014 | 10:11:33 AM | 1 | 28,5 | 27,1 | 26,1 | 26,4 | 25,3 | 25,3 | 0 | 21,974 | 25 | 25 | 28,11997 | 0 | 0 | 0 | |
| 12/04/2014 | 10:11:38 AM | 1 | 28,1 | 28,3 | 25,6 | 27,6 | 25,3 | 25,3 | 0 | 21,974 | 25 | 25 | 28,19829 | 0 | 0 | 0 | |
| 12/04/2014 | 10:11:43 AM | 1 | 28,5 | 27,2 | 25,7 | 26,5 | 25,3 | 25,3 | 0 | 21,974 | 25 | 25 | 28,2766 | 0 | 0 | 0 | |
| 12/04/2014 | 10:11:48 AM | 1 | 28,1 | 28,7 | 26,1 | 28 | 25,3 | 25,3 | 0 | 21,974 | 25 | 25 | 28,34991 | 0 | 0 | 0 | |
| 12/04/2014 | 10:11:53 AM | 1 | 28,3 | 27,9 | 25,6 | 27,1 | 25,3 | 25,3 | 0 | 21,974 | 25 | 25 | 28,4249 | 0 | 0 | 0 | |
| 12/04/2014 | 10:11:59 AM | 1 | 28 | 28,7 | 26,2 | 28 | 25,3 | 25,3 | 0 | 21,974 | 25 | 25 | 28,49988 | 0 | 0 | 0 | |
| 12/04/2014 | 10:12:04 AM | 1 | 28,1 | 28,5 | 26,7 | 27,9 | 25,3 | 25,3 | 0 | 21,974 | 25 | 25 | 28,58153 | 0 | 0 | 0 | |
| 12/04/2014 | 10:12:09 AM | 1 | 28,4 | 27,5 | 25,9 | 26,8 | 25,3 | 25,3 | 0 | 21,974 | 25 | 25 | 28,65817 | 0 | 0 | 0 | |
| 12/04/2014 | 10:12:14 AM | 1 | 28,2 | 28,2 | 25,6 | 27,4 | 25,3 | 25,3 | 0 | 21,974 | 25 | 25 | 28,73482 | 0 | 0 | 0 | |
| 12/04/2014 | 10:12:19 AM | 1 | 28,6 | 27,4 | 26,4 | 26,5 | 25,3 | 25,3 | 0 | 21,974 | 25 | 25 | 28,81147 | 0 | 0 | 0 | |
| 12/04/2014 | 10:12:24 AM | 1 | 28,5 | 27,9 | 25,7 | 26,9 | 25,3 | 25,3 | 0 | 21,974 | 25 | 25 | 28,88812 | 0 | 0 | 0 | |
| 12/04/2014 | 10:12:29 AM | 1 | 28,1 | 28,9 | 26,2 | 27,9 | 25,3 | 25,3 | 0 | 21,974 | 25 | 25 | 28,96976 | 0 | 0 | 0 | |
| 12/04/2014 | 10:12:34 AM | 1 | 28,4 | 27,7 | 26,3 | 26,5 | 25,3 | 25,3 | 0 | 21,974 | 25 | 25 | 29,04141 | 0 | 0 | 0 | |
| 12/04/2014 | 10:12:40 AM | 1 | 28,5 | 28,2 | 26,2 | 26,8 | 25,3 | 25,3 | 0 | 21,974 | 25 | 25 | 29,12473 | 0 | 0 | 0 | |
| 12/04/2014 | 10:12:45 AM | 1 | 28,3 | 29 | 25,6 | 27,2 | 25,3 | 25,3 | 0 | 21,974 | 25 | 25 | 29,20137 | 0 | 0 | 0 | |
| 12/04/2014 | 10:12:50 AM | 1 | 28,6 | 28,5 | 26,3 | 26,4 | 25,3 | 25,3 | 0 | 21,974 | 25 | 25 | 29,27802 | 0 | 0 | 0 | |
| 12/04/2014 | 10:12:55 AM | 1 | 28,4 | 29,6 | 25,6 | 27,2 | 25,3 | 25,3 | 0 | 21,974 | 25 | 25 | 29,35467 | 0 | 0 | 0 | |
| 12/04/2014 | 10:13:00 AM | 1 | 28,4 | 29,3 | 26,1 | 26,4 | 25,3 | 25,3 | 0 | 21,974 | 25 | 25 | 29,42965 | 0 | 0 | 0 | |

Destilação 1 | Plan1

Fonte: Autoria própria.

# 4 ESTUDO DA VIABILIDADE DO ACIONAMENTO PWM

Neste capítulo é feito um estudo de viabilidade da implementacao do acionamento PWM das mantas térmicas utilizando um PLC.

## 4.1 Aquisição do PLC

Primeiramente, é necessário adquirir um PLC com porta de saída digital FET, para suportar um grande número de chaveamentos em um curto período de tempo e assim possibilitar o uso do PWM.

O tempo de vida útil do relé é muito menor que o FET, portanto não se deve utilizar as saídas relés que se encontram no PLC. (o que é utilizado no atual processo de destilação).

A tabela 3 mostra o número de operações da saída relé do PLC MicroLogix 1100.

Tabela 3 - Número de operações da saída relé de um MicroLogix 1100

| **Relay Outputs** | |
|---|---|
| Relay life - Electrical | For Hazardous Locations Applications (Class I, Division 2, Groups A, B, C, D):<br>150 x $10^3$ operations min. (at 3 A, 30V DC);<br>370 x $10^3$ operations min. (at 3 A, 250V AC);<br><br>For Ordinary (Non-Hazardous) Locations only:<br>50 x $10^3$ operations min. (at 5 A, 30V DC);<br>170 x $10^3$ operations min. (at 5 A, 250V AC); |

Fonte: Rockwell Automation.

A tabela 4 mostra as características das quatro diferentes categorias de PLCs da família MicroLogix 1100.

Tabela 4 - Tabela de entradas de saídas da família MicroLogix 1100

| Controller Family | | Inputs | | Outputs | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Quantity | Type | Quantity | Type |
| MicroLogix 1100 Controllers | 1763-L16BWA | 10 | 24V dc discrete | 6 | relay |
| | | 2 | 0~10V dc analog | | |
| | 1763-L16AWA | 10 | 120V ac | 6 | relay |
| | | 2 | 0~10V dc analog | | |
| | 1763-L16BBB | 10 | 24V dc | 2 | relay |
| | | 2 | 0~10V dc analog | 2 | 24V dc FET |
| | | | | 2 | high-speed 24V dc FET |
| | 1763-L16DWD | 10 | 12/24Vdc | 6 | relay |
| | | 2 | 0~10V dc analog | | |

Fonte: Rockwell Automation.

O controlador MicroLogix 1100 1763-L16BBB é o único dentre estes PLCs, que tem as características desejadas para desenvolver este controle PWM, pois este apresenta duas portas de saída digital FET de alta velocidade, duas portas de saída digital FET e duas saídas de relé.

A tensão de alimentação deste PLC é de 24 Vcc, ou seja, não pode ser conectado diretamente à rede, sendo necessária a utilização de uma fonte com a tensão descrita.

A abertura e o fechamento do relé dura em torno de 10 milissegundos, mas pode variar dependendo do *scan time*.

A abertura do chaveamento FET dura 0,1 milissegundo e o fechamento 1,0 milissegundo. Já no FET de alta velocidade quando operado em alta velocidade, a abertura dura 6 microssegundos e o fechamento 18 microssegundos.

As conexões definidas para este PLC MicroLogix 1100 1763-L16BBB são definidas a seguir:

Os dois FET´s de alta velocidades são usados um para o controle de temperatura da manta inferior e o outro para temperatura da manta da coluna.

Um dos FET's de operação normal é usado para o controle de temperatura da manta superior.

## 4.2 Estudo da potência

A estrutura do controle PWM das mantas inferior, superior e da coluna, envia um sinal de controle que permite a passagem de alguns períodos da senoide da rede elétrica de 220 Volts para a manta térmica, e em sequência bloqueia a passagem de outros períodos, definindo assim uma taxa de *duty cycle*.

Desta maneira se o *duty cycle* for 100 %, todos os ciclos da senoide da rede são liberados e enviados para as mantas, obtendo a potência máxima. Se o *duty cycle* for de 0 %, todos os ciclos da rede são bloqueados, obtendo zero de potência. Já se o duty cycle for de 50 %, metade dos ciclos da rede elétrica tem sua passagem liberada e a outra metade dos ciclos é bloqueada, obtendo assim 50 % da potência máxima.

A definição de tensão eficaz, é mostrada na equação 1.

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T [f(t)]^2\, dt} \qquad (1)$$

Considerando T o período definido para o PWM, onde este período representa um determinado número de períodos da senoide da rede elétrica.

A função "f(t)" é definida na equação 2, sendo "Vp" o valor de pico da tensão da rede elétrica, "w" a velocidade angular da onda de tensão e "$k$" um número natural qualquer.

$$f(t) = \begin{cases} 0 & ; k\pi < t \leq Ton \\ V_p sen(\omega t) & ; Ton < t \leq Toff \end{cases} \qquad (2)$$

Pode-se perceber pela equação 2 que a passagem da tensão da rede elétrica é bloqueada até o acionamento da saída digital, que então libera a passagem da tensão da rede, até o momento que a saída digital bloqueia novamente a passagem.

Portanto o cálculo da tensão eficaz para este caso é mostrado na equação 3.

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\left(\int_{0}^{Ton} 0^2\, dt + \int_{Ton}^{Toff} \left[V_p sen(\omega t)\right]^2 dt\right)} \qquad (3)$$

Para resolver a equação acima, deve-se definir o período de *duty cycle*, conforme mostrado na equação 4.

$$Duty\ Cycle = \frac{Ton}{Ton + Toff} \qquad (4)$$

Portanto, calculado o valor "Vrms" e sabendo o valor de resistência da manta térmica, "Rm", é possível calcular a potência entregue a manta, conforme mostra a equação 5.

$$P(duty\ cycle) = \frac{{V_{RMS}}^2}{R_m} \qquad (5)$$

O valor de potência e tensão eficaz varia de acordo com o *duty cycle* definido.

Exemplificando, para o período de 5 segundos do PWM, ou seja, 300 ciclos da senoide da rede elétrica; e também, utilizando como exemplo a manta inferior, cuja a potência máxima é 750 W, é mostrado no quadro 4 o valor de tensão eficaz e de potência, variando de *duty cicle*.

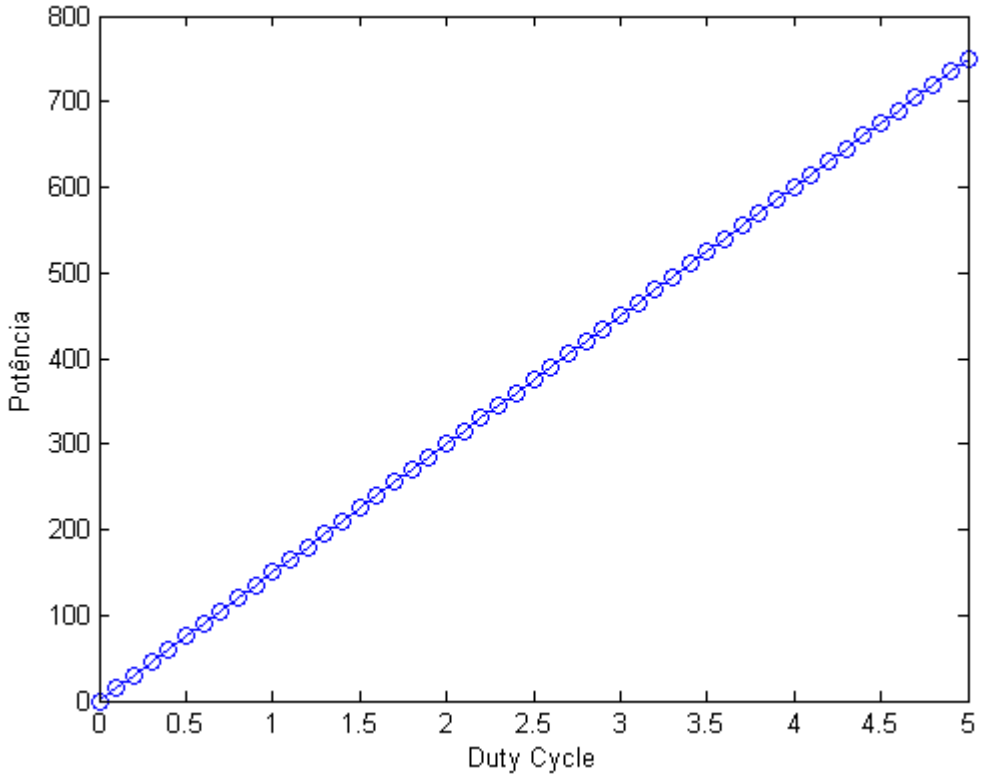
Quadro 4 - Exemplo da potência e tensão eficaz variando *duty cycle*

| *Duty Cycle* | Vrms (V) | Potência (W) |
|---|---|---|
| 5 seg (100%) | 220 (100%) | 750 (100%) |
| 2,5 seg (50%) | 155,6 (70,7%) | 375 (50%) |
| 1,25 seg(25%) | 110 (50%) | 187,5 (25%) |
| 1 seg (20%) | 98,4 (44,7%) | 150 (20%) |

Fonte: Autoria própria.

Pelo quadro 4 é possível perceber que a porcentagem de duty cycle é similar a porcentagem da potência, ou seja, a variação de ambos é linear, como pode ser visto na Figura 18.

Figura 18 - Variação da potência com o *duty cycle*




Fonte: Autoria própria.

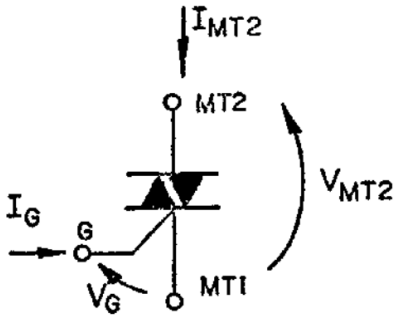
### 4.3 Estrutura

Para implementar essa lógica de controle de cada manta térmica foi utilizado um circuito similar ao apresentado por BASSANI (2014). É utilizada a saída digital FET de 24 V cc do PLC, um circuito integrado MOC3021M e um TRIAC.

O TRIAC é um tiristor bidirecional capaz de bloquear ou permitir a passagem de corrente em dois sentidos. O acionamento do TRIAC é feito com aplicação de uma corrente positiva no *gate*. O TRIAC conduz até a inversão de polaridade.

A representação do TRIAC pode ser vista na Figura 19.

Figura 19 - Representação de um TRIAC



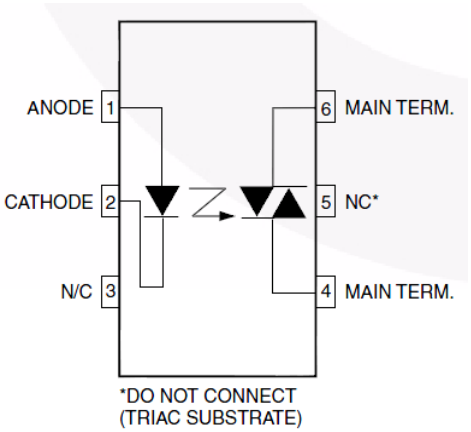

Fonte: TINOCO, 2006.

Nesta aplicação é implementada uma lógica para que o TRIAC seja submetido a uma corrente positiva durante um número de períodos determinado da senoide da rede elétrica, e posteriormente bloqueie outro número de períodos, fazendo assim o controle PWM.

O MOC3021M é um driver de TRIAC opticamente isolado, o qual contém um diodo emissor infravermelho e um elemento comutador bilateral de silício que funciona similarmente a um TRIAC.

A Figura 20 mostra a representação do circuito integrado MOC3021M.

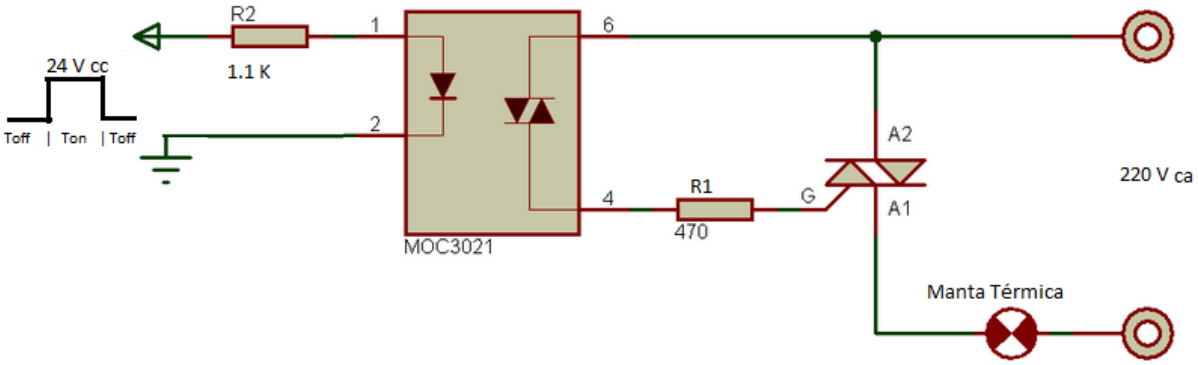
Figura 20 - Esquema do circuito integrado MOC3021M




Fonte: FAIRCHLD.

O circuito para o acionamento do TRIAC pode ser visto na Figura 21.

Figura 21 – Circuito para o acionamento do TRIAC




Fonte: Autoria própria.

Quando a saída do FET é ativada, é enviado 24 V cc, que passa por um resistor, limitando a corrente que entra no MOC3021M. Essa corrente aciona o LED que é detectado pelo fotodetector, permitindo a condução de corrente pelos terminais 4 e 6. Portanto, é enviada uma corrente de *gate* no TRIAC, liberando a passagem da corrente da rede elétrica pelos terminais do TRIAC, alimentando eletricamente a manta térmica.

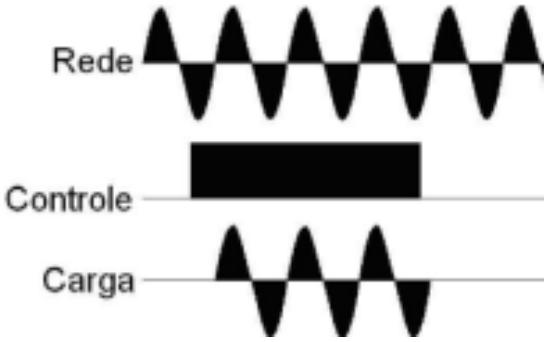
A saída digital FET funciona como o sinal de controle, portanto a duração desta porta ativa determina a quantidade de períodos da senoide enviada à manta. Este sinal de controle define o *duty cycle*, ou seja, a porcentagem de potência enviada à manta em relação à potência máxima.

O TRIAC é projetado para permitir a condução de corrente por seus terminais em ambos os sentidos bastando haver corrente no gate.

Há um módulo comercializado de controle PWM, chamado de CR-1, que utiliza estes mesmos conceitos apresentados, porém o sinal de controle neste módulo é de 3 a 32 Volts cc, sendo inviável o acoplamento deste módulo ao PLC.

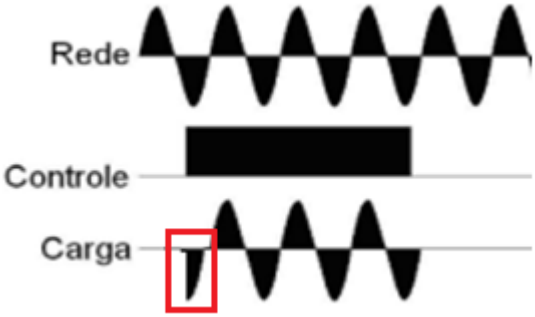
Este módulo apresenta um detector de zeros, diferentemente do circuito proposto neste trabalho. Um exemplo da resposta ao sinal de controle utilizando o módulo CR-1 é mostrado na Figura 22. A Figura 22 pode ser confrontada com a Figura 23 que mostra a resposta utilizando o circuito proposto neste trabalho.

Figura 22 - Resposta ao sinal de controle utilizando o módulo CR-1




Fonte: http://www.contemp.com.br

Figura 23 - Resposta ao sinal de controle utilizando o circuito proposto neste trabalho




Fonte: http://www.contemp.com.br

Como não é utilizado o detector de zeros, o primeiro disparo do TRIAC provavelmente será no meio da senoide, porém o erro da potência desejada é desprezível, uma vez que será feita uma condução durante vários períodos da senoide.

## 4.4 Ladder

No ambiente de programação Ladder é definido quantos períodos da senoide da rede elétrica formarão um ciclo do PWM. Sabendo que o controlador PID que compara a temperatura do *set point* com a temperatura medida, tem um tempo de atualização de 5 segundos, isso equivale a aproximadamente 300 períodos da senoide, portanto o limite máximo do ciclo do PWM é 300 períodos da senoide.

É implementado um contador que irá definir a taxa que a saída digital estará ativada ou desativada dentro do ciclo do PWM, ou seja, o *duty cycle*.

## 4.5 Benefícios

Há uma grande economia nos gastos utilizando a lógica de controle com o PLC MicroLogix 1100 1763-L16BBB apresentada neste trabalho quando comparada à atual, pois não é necessário a compra do cartão de expansão 1762OF4 (quatro saídas analógicas de 4 a 20 mA) e também não é necessária a compra dos três AFC-1. Estes citados seriam substituídos pelas saídas digitas FET embutidas no PLC e o circuito com o MOC3021M e TRIAC.

O quadro 5 mostra a economia utilizando esta lógica de controle descrita neste capítulo.

Quadro 5 - Comparação de preços do controle de potência atual e o proposto utilizando PWM

| Equipamento | Preço | Atualmente | Controle PWM |
|---|---|---|---|
| Módulo de expansão 1762OF4 | R$ 1.000 | 1 | - |
| Relé de estado sólido AFC-1 | R$ 292 | 3 | - |
| Fonte de 24 V | R$ 40 | - | 1 |
| MOC 3021M | R$ 2,50 | - | 3 |
| Triac | R$ 3,50 | - | 3 |
| | Preço Total | R$ 1.876 | R$ 58 |
| | Economia Utilizando controle PWM | - | R$ 1.818 |

Fonte: Autoria própria.

# 5 MONITORAMENTO DA PRESSÃO

Neste capítulo é mostrado como é feito o controle de pressão, o desenvolvimento da comunicação do PLC MicroLogix 1100 com o controlador de pressão MKS Type 651C, tendo como objetivo de controlar e monitorar a pressão através do supervisório. Além disso, também são apresentadas as lógicas estabelecidas no Ladder e no supervisório.

## 5.1 Controle de pressão

O controle de pressão da coluna de destilação é feito através do controlador de pressão MKS Type 651C, mostrado na Figura 24.

Figura 24 - Controlador de pressão MKS Type 651C

Fonte: Autoria própria.

No lado direito, estão os cinco botões com valores de *set point* pré-estabelecidos pelo usuário, distribuídos da letra A até a letra E. Neste controlador de pressão o *set point* A equivale a 100 Torr, o *set point* B equivale a 10 Torr e o *set point* C equivale a 2 Torr. Caso o operador queira que a pressão na coluna destilação seja 760 Torr (atmosférica), o controlador de pressão deve ser desligado.

No centro há um display que mostra a pressão atual do processo.

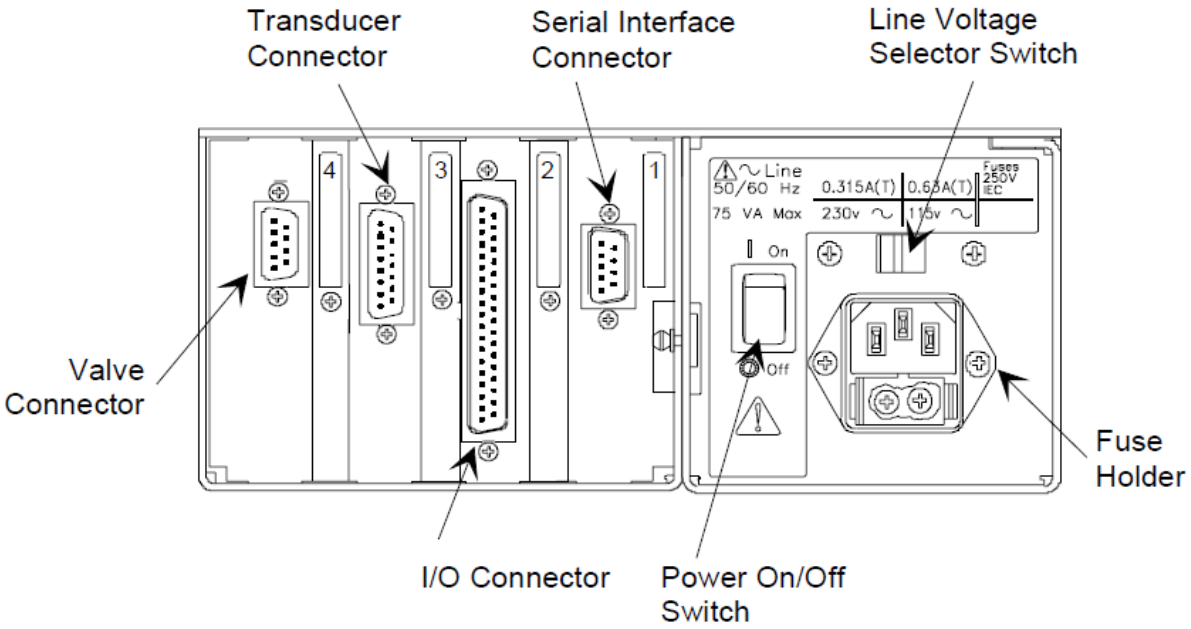
No lado esquerdo há uma chave que define o controle local ou remoto. No controle local, o usuário utiliza os botões para escolher os *set points* desejados, além de outras funções. Já no controle remoto, o controle é feito através de sinais elétricos recebidos pelo controlador.

## 5.2 Comunicação do PLC com o controlador de pressão

A conexão do controlador de pressão com o PLC é feita através da parte traseira do controlador de pressão.

A parte traseira do controlador de pressão pode ser visto na Figura 25.

Figura 25 - Traseira do controlador de pressão MKS 651C




Fonte: MKS.

O conector da válvula e o transdutor são conectados diretamente à coluna de destilação, para fazer o controle de pressão.

O conector de interface serial, que apresenta a interface RS-232, não é utilizada neste trabalho.

Neste projeto é proposto a utilização do conector de entrada e saída com 37 pinos, este é o conector que faz o controle digital e analógico. A função de cada pino é mostrada nos quadros 6 e 7.

Quadro 6 - Pinos de entrada e saída do conector do controlador de pressão (continuação a seguir)

| Pin Number | Function |
|---|---|
| 1 | PLO relay #1 - NC contact |
| 2 | PLO relay #1 - NO contact |
| 3 | PLO relay #2 - NC contact |
| 4 | Digital ground |
| 5 | Learn system (low) |
| 6 | Hold *both* pin 6 and pin 11 low to select analog set point with position control |
| 7 | Softstart (low) |
| 8 | Close valve (low) |
| 9 | Reserved |
| 10 | Analog set point ÷ 10 |
| 11 | Hold *only* pin 11 low to select analog set point with pressure control<br>Hold *both* pin 6 and pin 11 low to select analog set point with position control |
| 12 | Select set point E (low) |
| 13 | Select set point D (low) |
| 14 | Select set point C (low) |
| 15 | Select set point B (low) |
| 16 | Select set point A (low) |
| 17 | Reserved |
| 18 | Reserved |
| 19 | Valve open status (hi = open) |
| 20 | PLO relay 1 - common contact |
| 21 | PLO relay 2 - common contact |
| 22 | PLO relay 2 - NO contact |
| 23 | Valve closed status (hi = closed) |
| 24 | Reserved |

Fonte: MKS.

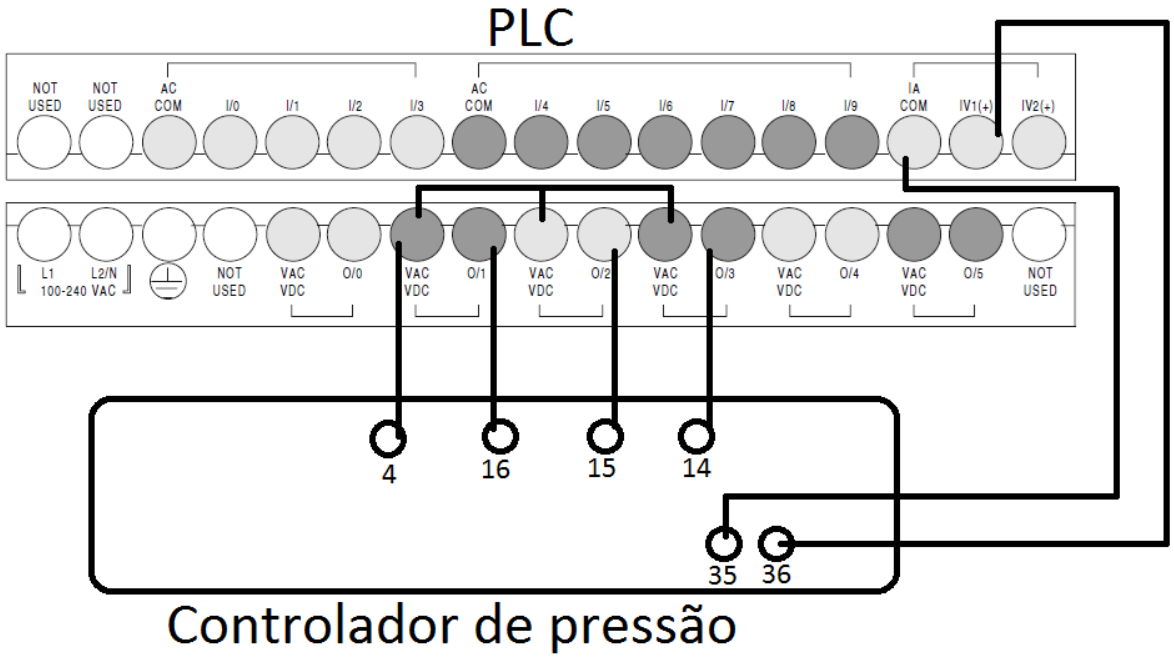
Quadro 7 - Pinos de entrada e saída do conector do controlador de pressão (continuação)

| Pin Number | Function |
|---|---|
| 25 | Remote zero (low) |
| 26 | Stop valve (low) |
| 27 | Open valve (low) |
| 28 | PLO #2 status (low = out of limit) |
| 29 | PLO #1 status (low = out of limit) |
| 30 | +15V Output |
| 31 | -15V Output |
| 32 | Power ground |
| 33 | + Set point input |
| 34 | - Set point input |
| 35 | Analog ground |
| 36 | Pressure output voltage |
| 37 | Position output voltage |

Fonte: MKS.

O esquema de ligações entre o controlador de pressão e o PLC é mostrado na Figura 26.

Figura 26 - Conexão entre o PLC e controlador de pressão



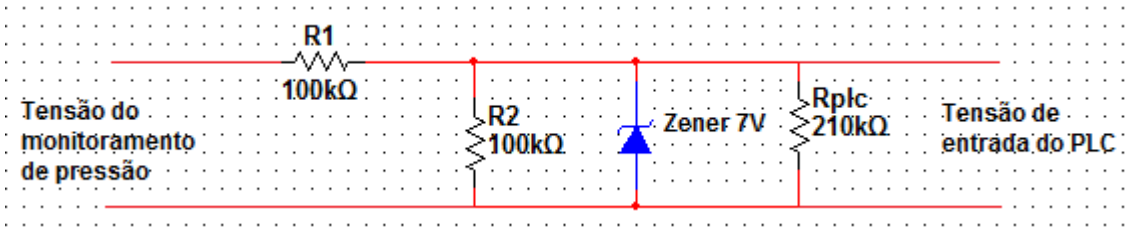

Fonte: Autoria prorpia.

O pino 36 é utilizado para fazer o monitoramento da pressão na coluna de destilação. Este pino é a saída analógica de tensão referente a pressão. Por se tratar de saída analógica, é utilizado o pino 35, terra analógico, como referência.

O sinal de tensão utilizado para o monitoramento de pressão varia na faixa de 0 a 10 Volts, que equivale de maneira linear 0 a 100 Torr, por exemplo, 10 Volts equivalem a 100 Torr e 5 Volts equivale a 50 Torr. Quando o controlador de pressão é desligado, mas permanece conectado na rede elétrica, o sinal de tensão do monitoramento de pressão é de aproximadamente 13,6 Volts.

Este sinal do monitoramento de pressão é conectado a uma das duas entradas analógicas do PLC, que recebem sinais de tensão de 0 a 10 Volts, com sobretensão máxima de 10,5 Volts. Portanto quando o controlador de pressão for desligado e estiver conectado à rede elétrica, ele irá causar danos ao PLC. Para resolver este problema pode-se utilizar o divisor de tensão mostrado na Figura 27.

Figura 27 - Circuito divisor de tensão




Fonte: Autoria própria.

O circuito leva em conta a impedância de 210kΩ na entrada analógica do PLC.

O diodo Zener de 7 Volts dá maior segurança à entrada do PLC, pois ajuda a impedir que a tensão ultrapasse os 10,5 Volts.

A equação 6, mostra como é calculado este divisor de tensão, já a equação 7 mostra a tensão de entrada do circuito (tensão do monitoramento de pressão) em relação a tensão de saída do circuito (tensão que entra no PLC).

$$Vent.plc = \frac{((100k + 100k)//210k)}{100k + ((100k + 100k)//210k)} Vmonit.pressão \qquad (6)$$

$$Vent.plc = 0{,}506\ Vmonit.pressão \qquad (7)$$

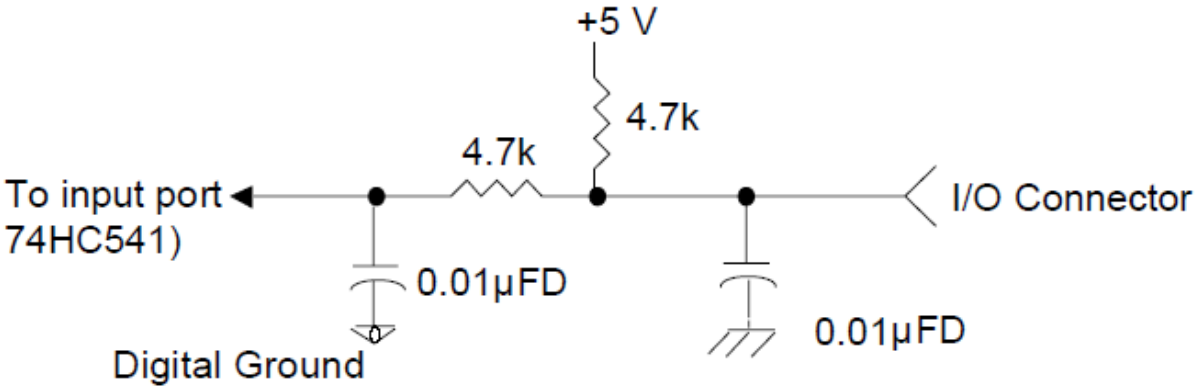
Na teoria o fator multiplicativo deveria ser 0,506, porém testes realizados mostraram que o fator multiplicativo é 0,48. Isto ocorre por um pequeno erro na calibração do controlador de pressão e também um pequeno erro no valor de resistência nominal no resistor.

Voltando ao esquema de ligação mostrado na Figura 26, os pinos 16, 15 e 14 são utilizados para selecionar as pressões de 100, 10 e 2 Torr, respectivamente. Se dois ou mais desses pinos forem selecionados, estes respeitam a prioridade do pino 16, 15 e 14 nesta ordem, ou seja, se os três pinos forem selecionados, o pino 16 irá atuar e os outros não.

Estes são pinos de entradas digitais, portanto a referência é o pino 4, terra digital.

O circuito de entrada digital é mostrado na Figura 28.

Figura 28 - Circuito de entrada digital do controlador de pressão




Fonte: MKS.

Os pinos ficam em *high*, com 5 Volts, a faixa de *high* é de 2,4 a 5 Volts e a faixa de *low* é de 0 a 0,8 Volts.

Para selecionar o pino, deve-se colocar *low* neste pino, por isso cada pino de *set point* é colocado em uma porta relé, ocupando três das seis portas relés do PLC, no outro ponto dos relés é conectado o pino 4, terra digital.

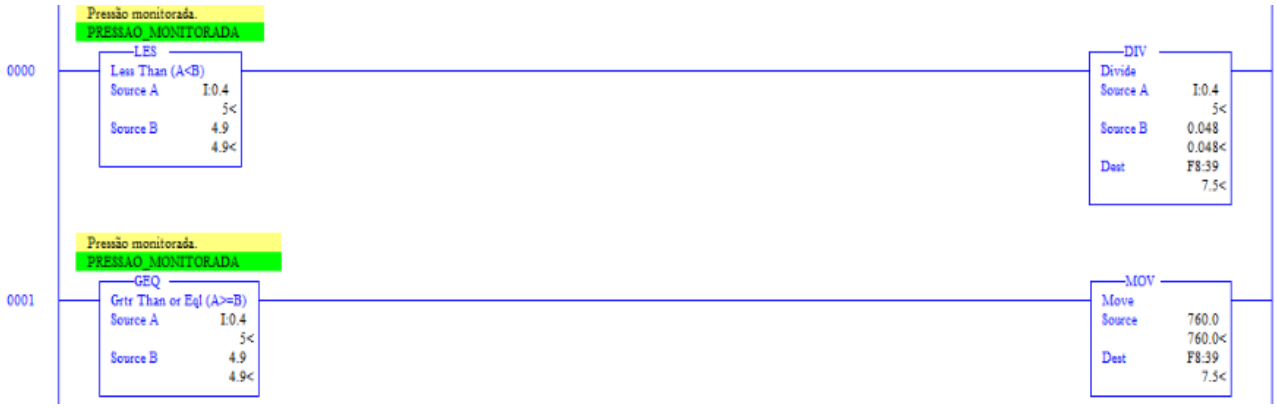
Dessa forma, quando o usuário selecionar uma das pressões, um dos três relés conduz e fecha o circuito, colocando o terra digital na entrada de um dos pinos de *set point*. Portanto, o pino fica em *low* e consequentemente é feita a seleção deste pino.

## 5.3 Ladder

No Ladder, foi desenvolvida uma sub-rotina específica para o controle de pressão.

Nas duas primeiras linhas do código, é feito o ajuste da tensão de entrada do monitoramento de pressão na coluna de destilação, conforme é mostrado na Figura 29.

Figura 29 - Primeira parte controle de pressão no Ladder




Fonte: Autoria própria.

Na primeira linha é observado se o controlador de pressão está ligado, lembrando que a tensão máxima de entrada é 4,8 Volts, equivalente ao máximo de pressão que são 100 Torr, portanto se a tensão for menor que 4,9 Volts, o controlador de pressão é considerado ligado e é feito o ajuste do fator multiplicativo.

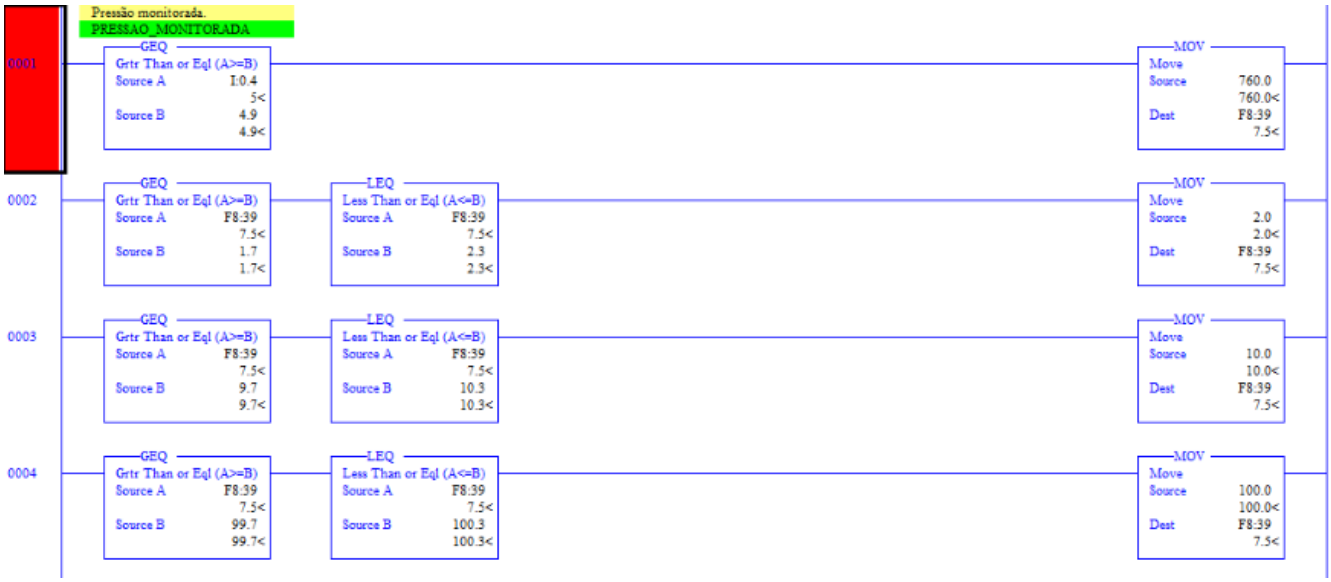
Ao se considerar o circuito ligado, é feita na primeira linha do Ladder a divisão do valor de entrada por 0,048 (ajuste para que a faixa trabalhada seja de 0 a 100 Torr). Por exemplo, se o controlador de pressão está enviando 100 Torr para a coluna de destilação, a sua saída analógica de tensão será de 10 Volts, após passar pelo circuito divisor de tensão, a seu valor será de 4,8 Volts, com a lógica do ladder, dividindo este valor por 0,048 este valor Voltará a ser 100, equivalendo aos 100 Torr.

Na segunda linha é verificado se o controlador de pressão está desligado. Se o controlador de pressão estiver desligado porém conectado à rede elétrica, ele envia aproximadamente 13,6

Volts, portanto após passar pelo circuito divisor de tensão, sua tensão fica acima de 4,9 Volts, e é colocado o valor de 760 na lógica do Ladder, este valor significa 760 mmHg que é equivalente a 1 atm.

Na segunda parte do código é feito o truncamento do valor de pressão monitorada, conforme é visto na Figura 30.

Figura 30 - Segunda parte do controle de pressão no Ladder




Fonte: Autoria própria.

A entrada analógica de tensão do PLC MicroLogix 1100, é convertida para um sinal de digital com resolução de 10 bits, ou seja, 1024 discretizações na faixa de 0 a 10 Volts.

O valor máximo de tensão trabalhado neste projeto é 4,8 Volts, equivalentes aos 100 Torr. Portanto, para a faixa de 0 a 4,8 Volts, ou 0 a 100 Torr, existem 492 discretizações. Isso significa que a cada intervalo da discretização adicionado ou subtraído 0,203 Torr.

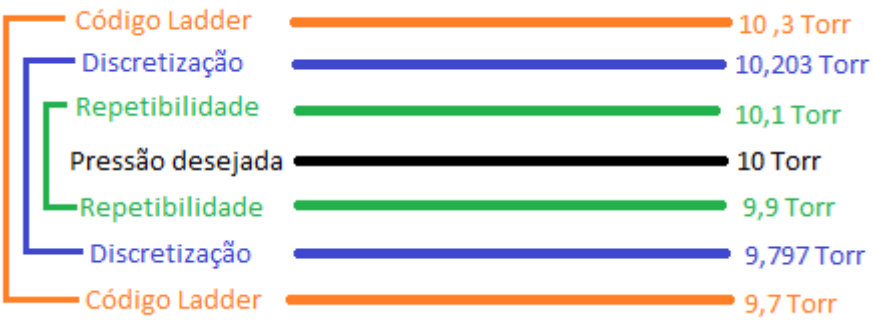
Como a repetibilidade do controlador de pressão é ± 0,1 % do fundo de escala, como o fundo de escala é 100 Torr, a repetibilidade é ± 0,1 Torr. Portanto se o controlador de pressão estiver calibrado, o máximo de desvio deve ser o valor de repetibilidade.

Como o intervalo de discretização de 0,203 Torr, é maior que a a repetibilidade de ±0,1 Torr, é feito o truncamento para um intervalo de discretização posterior e anterior ao seu valor requerido.

É utilizado no código para o truncamento, o valor de ±0,3 Torr, para garantir o intervalo de discretização acima e abaixo deste intervalo de discretização.

Na Figura 31 é mostrado o esquemático do truncamento para o exemplo de 10 Torr.

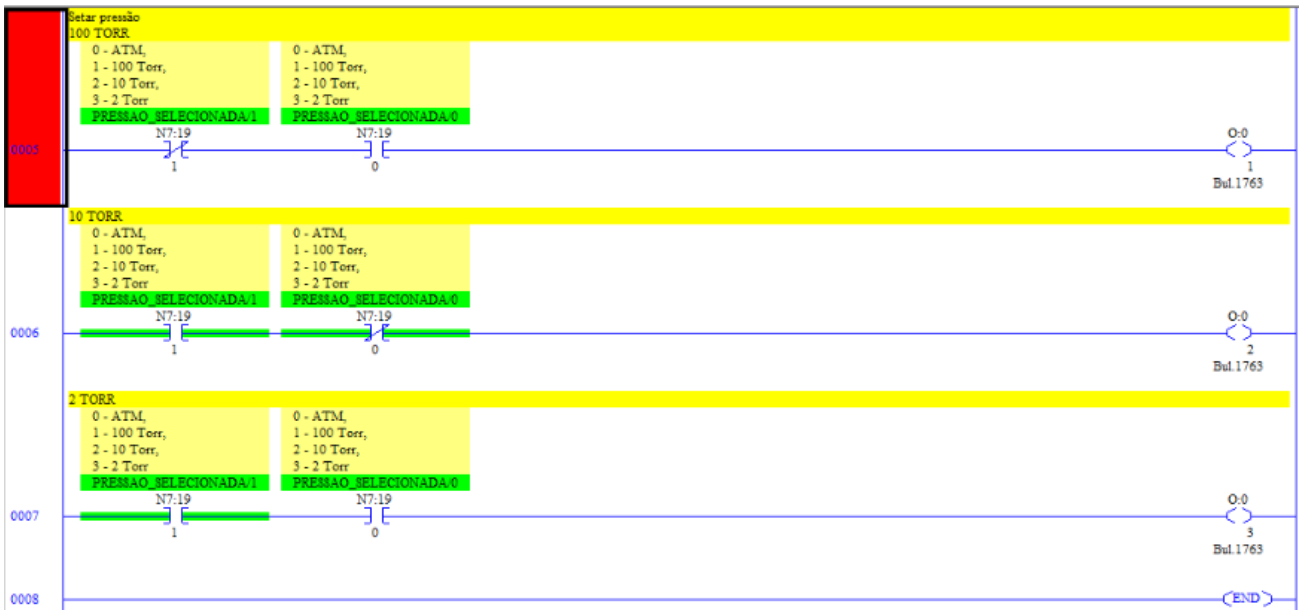
Figura 31 - Esquema de truncamento




Fonte: Autoria própria.

Na terceira e última parte do código de pressão, é feita a seleção de pressão pelo operador, como é mostrado na Figura 32.

Figura 32 - Terceira parte do controle de pressão no Ladder



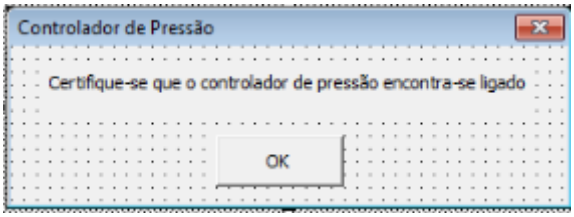

Fonte: Autoria própria.

O operador seleciona a pressão no supervisório e envia o sinal para o Ladder, que tem uma lógica binária com dois bits, para ativar um dos três relés, selecionando o *set point* desejado no controlador de pressão.

## 5.4 Supervisório

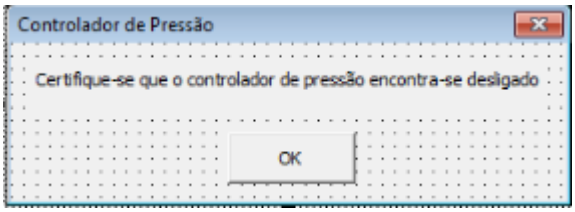
No supervisório foram desenvolvidos avisos que são mostrados ao operador quando, o operador seleciona uma das pressões, como é mostrado nas Figuras 33 e 34.

Figura 33 - Mensagem para a seleção de 2, 10 ou 100 Torr




Fonte: Autoria própria.

Figura 34 - Mensagem para a seleção de 1 atm



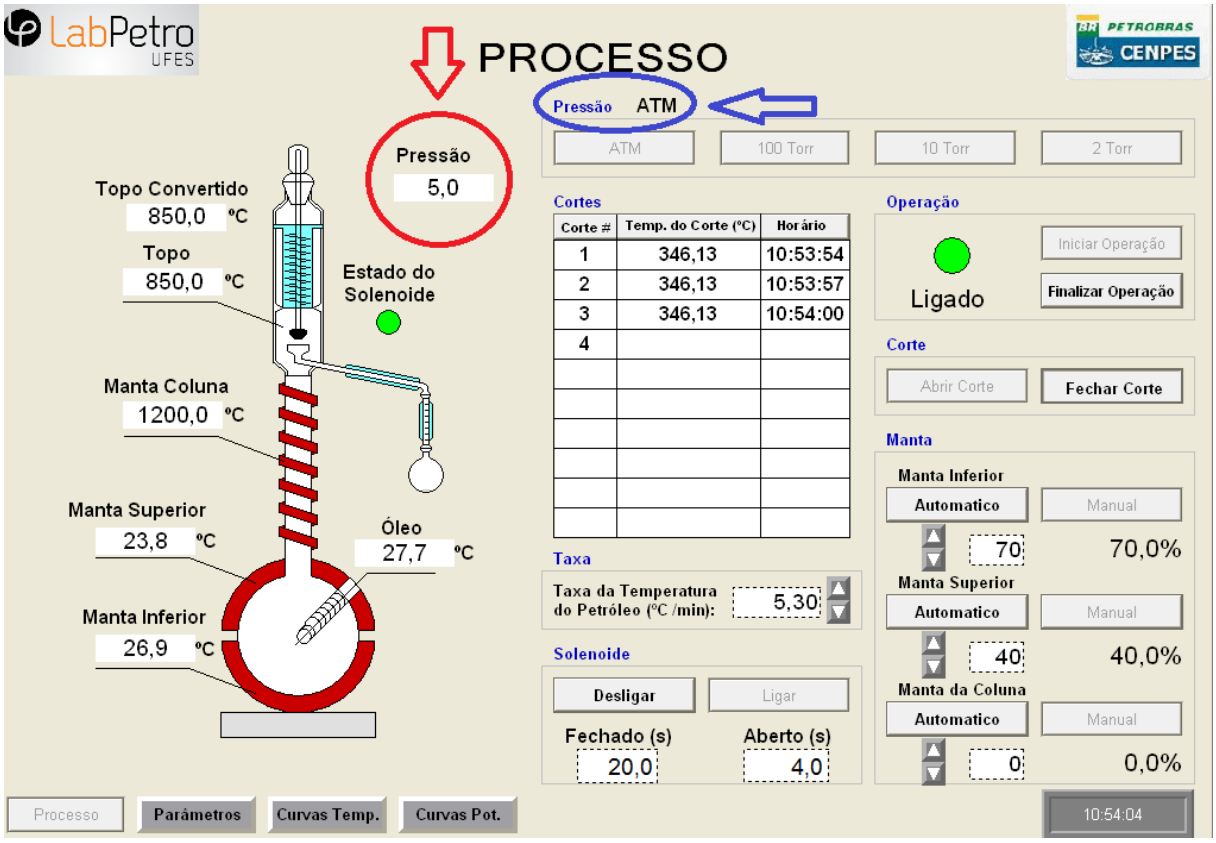

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 33 está o aviso mostrado quando é selecionado o botão para a pressão de 2 Torr, 10 Torr ou 100 Torr. O operador deve certificar-se de que o controlador de pressão está ligado, pois quando o botão é selecionado, será enviado um sinal ao controlador para o *set point* selecionado. Porém, se o controlador estiver desligado a pressão continuará na pressão ambiente, em 1 atm.

Na Figura 34 está o aviso mostrado quando é selecionado o botão para a pressão de 1 atm. O operador deve certificar-se de que o controlador de pressão está desligado, pois quando está ligado a pressão atinge 100 Torr no máximo, sendo 1 atm equivalente a 760 Torr. Portanto para atingir a pressão de 1 atm, o controlador de pressão deve estar desligado.

Na Figura 35, é possível ver o valor da pressão selecionada no círculo azul e o valor da pressão monitorada na coluna de pressão no círculo vermelho.

Figura 35 - Tela de processo evidenciando a pressão monitorada e selecionada




Fonte: Autoria própria.

É desejável que o valor da pressão selecionada seja o mesmo da pressão monitorada para iniciar a operação de destilação.

# 6 ESTUDO PRELIMINAR DO GERENCIAMENTO DE ALARMES

O gerenciamento de alarmes e eventos é feito no software supervisório, o FactoryTalk Site Edition, criado para o operador monitorar melhor algumas *tags* que necessitam de maior atenção, evitando danos e problemas no processo de destilação.

Um alarme ocorre quando alguma *tag* não está em seu valor aceitável, pré-definido pelo usuário.

Este capítulo mostra os estudos sobre o alarme, a conFiguração dos alarmes para o processo de destilação e também como é feito o monitoramento destes alarmes no supervisório durante a operação.

## 6.1 Alarmes no supervisório

Primeiramente, é necessário adicionar um *Server* de alarmes e eventos para adicionar alarmes ao programa supervisório.

Após adicionado o *Server*, é feita a conFiguração dos alarmes. Os alarmes podem ser do tipo digital, nível ou desvio:

- O alarme digital define a condição que avalia uma *tag*. A condição de disparo compara o valor da *tag* com zero ou um.
- O alarme de nível define múltiplas condições que avaliam uma *tag*. Cada nível possui um limiar, uma severidade e uma mensagem de alarme.
- O alarme de desvio define uma condição que avalia uma *tag*. A condição de disparo compara o valor da *tag* contra o desvio a partir de um valor alvo.

Existem quatro tipos de telas em que os alarmes são mostrados e o operador pode interagir em tempo real. As telas são chamadas de *Alarm and Event Banner*, *Alarm and Event Summary*, *Alarm Status Explorer* e *Alarm and Event Log Viewer*:

- O *Alarm and Event Banner* mostra o alarme mais recente, com maior severidade, fazendo com o operador volte a sua atenção para esse alarme.

- O *Alarm and Event Summary* mostra todos os alarmes do sistema, pode ser conFigurado para determinar como e qual informação é mostrada.
- O *Alarm Status Explorer* mostra todos os alarmes do sistema e se estão desabilitados, suprimidos ou em alarme.
- O *Alarm and Event Log Viewer* mostra as mudanças de estado dos alarmes.

Os alarmes têm a faixa de severidade de 1 a 1000, para indicar diferentes níveis de importância, onde 1 é o de menor severidade e 1000 o de maior severidade.

As prioridades dos alarmes são mapeadas em quatro faixas de prioridade, baixa, média, alta e urgente. O padrão de severidade para mapeamento de prioridade:

- 1 até 250 é de prioridade baixa.
- 251 até 500 é de prioridade média.
- 501 até 750 é de prioridade alta.
- 751 até 1000 é prioridade urgente.

Os alarmes apresentam uma mensagem associada para melhor entendimento do operador.

Se um alarme é visível na tela de alarmes, o operador pode reconhecer esse alarme. Reconhecer o alarme não corrige a condição de causa do alarme, mas indica que o operador está consciente do alarme.

Os alarmes podem ser conFigurados para reconhecimento requerido ou não, dependendo do objetivo do projeto. Caso o alarme seja conFigurado para reconhecimento não requerido, este alarme está sempre no estado reconhecido.

Na conFiguração dos alarmes podem ser adicionados até quatro variáveis, assim o operador tem informações adicionais sobre as outras variáveis no momento em que um alarme é causado.

## 6.2 ConFiguração dos alarmes

Neste trabalho foram conFigurados sete alarmes que serão descritos a seguir. A taxa de atualização dos valores das variáveis foi conFigurada para 5 segundos.

O primeiro alarme é o alarme da bateria. Este alarme indica quando a bateria do PLC está baixa. As suas características são vistas a seguir:

- Alarme digital, quando a bateria do PLC está normal o valor da *tag* é 0, porém quando a bateria está baixa a variável se torna 1.
- Severidade de 900, ou seja, é um alarme de prioridade alta.
- Requer reconhecimento do operador.
- Duração mínima da condição de disparo para entrar em alarme: 0 segundos.
- Mensagem associada: A bateria do PLC está acabando.

O segundo alarme é o alarme de fervura do petróleo. Este alarme indica se a temperatura do petróleo ultrapassou 310ºC, podendo ocorrer o craqueamento. As características dos alarmes são mostradas a seguir:

- Alarme digital, quando não há fervura o status permanece em 0, quando há fervura o status muda para 1.
- Severidade 1000, ou seja é o alarme de prioridade mais alta possível, pois esta situação causa danos em todo o processo.
- Requer reconhecimento do operador.
- Mensagem associada: O petróleo está em fervura.
- Duração mínima da condição de disparo para entrar em alarme: 0 segundos.

O terceiro alarme é o alarme de desvio de pressão. Este alarme indica se a pressão selecionada pelo operador é a mesma pressão encontrada na coluna de destilação. O alarme entra em condição de disparo quando a diferença é maior que 1 Torr.

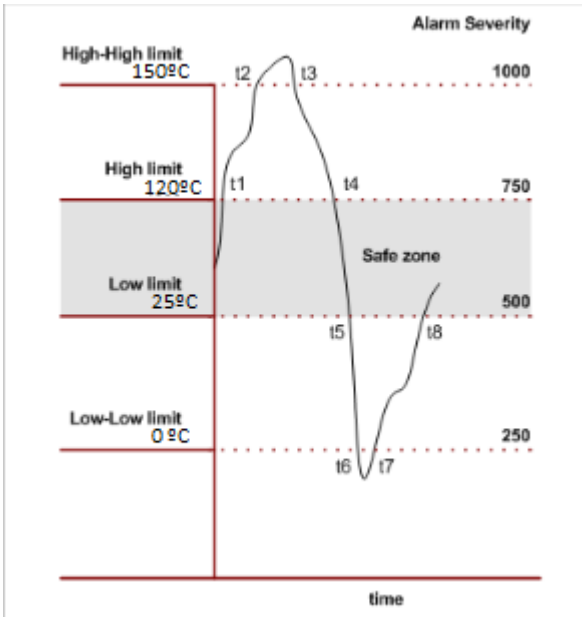
As outras características deste alarme são vistas a seguir:

- Severidade 800, ou seja é um alarme de prioridade alta, porém com menor prioridade que os dois alarmes apresentados anteriormente.
- Requer reconhecimento do operador.
- Mensagem associada: A pressão na coluna está diferente da pressão selecionada.
- Duração mínima da condição de disparo para entrar em alarme: 0 segundos.

O quarto alarme é o alarme da temperatura da manta da coluna. Este alarme indica qual a temperatura da manta da coluna e qual sua condição. Nele estão associadas as *tags* da temperatura da manta inferior, superior e temperatura do petróleo, para o operador ter as informações das outras temperaturas.

A Figura 36, mostra como é feita a graduação dos níveis do alarme.

Figura 36 - Graduação dos níveis de alarme para manta da coluna




Fonte: Autoria própria.

As outras características deste alarme são vistas a seguir:

- Severidade:
    - High High = 1000.
    - High = 750.
    - Low = 500
    - Low Low = 250
- Requer reconhecimento do operador.
- Mensagem associada:
    - High High = A temperatura passou do limite.
    - High = A temperatura está próxima ao limite (acima de 80%).

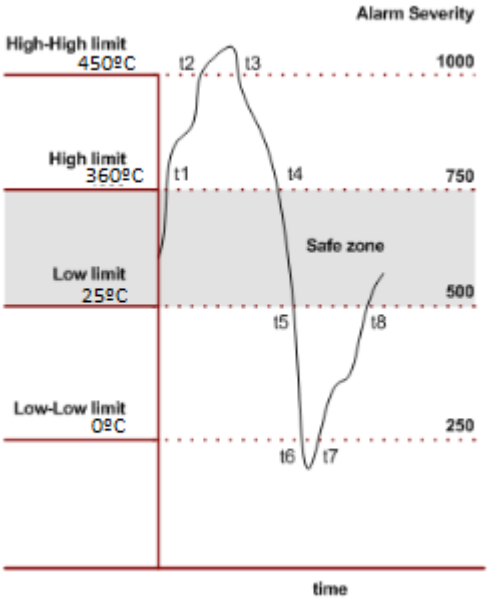
- Low = A temperatura está ok.
- A temperatura está abaixo da temperatura ambiente.

- Duração mínima da condição de disparo para entrar em alarme: 0 segundos.

O quinto alarme é o alarme da temperatura da manta inferior. Este alarme indica qual a temperatura da manta inferior e qual sua condição. Nele estão associadas as *tags* da temperatura da manta da coluna, superior e temperatura do petróleo, para o operador ter as informações das outras temperaturas.

A Figura 37, mostra como é feita a graduação dos níveis do alarme.

Figura 37 - Graduação dos níveis de alarme para a manta inferior




Fonte: Autoria própria.

As outras características deste alarme são vistas a seguir:

- Severidade:
  - High High = 1000.
  - High = 750.
  - Low = 500
  - Low Low = 250
- Requer reconhecimento do operador.

- Mensagem associada:
    - High High = A temperatura passou do limite.
    - High = A temperatura está próxima ao limite (acima de 80%).
    - Low = A temperatura está ok.
    - Low Low = A temperatura está abaixo da temperatura ambiente.
- Duração mínima da condição de disparo para entrar em alarme: 0 segundos.

O sexto alarme é o alarme da temperatura da manta superior. Este alarme indica qual a temperatura da manta superior e qual sua condição. Nele estão associadas as *tags* da temperatura da manta da coluna, inferior e temperatura do petróleo, para o operador ter as informações das outras temperaturas.

A Figura 37, mostra como é feita a graduação dos níveis do alarme, é o mesmo mostrado para o alarme da manta inferior.

As outras características deste alarme são vistas a seguir:

- Severidade:
    - High High = 1000.
    - High = 750.
    - Low = 500
    - Low Low = 250
- Requer reconhecimento do operador.
- Mensagem associada:
    - High High = A temperatura passou do limite.
    - High = A temperatura está próxima ao limite (acima de 80%).
    - Low = A temperatura está ok.
    - Low Low = A temperatura está abaixo da temperatura ambiente.
- Duração mínima da condição de disparo para entrar em alarme: 0 segundos.

O sétimo alarme é o alarme da temperatura do petróleo. Este alarme indica qual a temperatura do petróleo e qual sua condição. Nele estão associadas as *tags* da temperatura da manta da coluna, inferior e superior, para o operador ter as informações das outras temperaturas.

A Figura 37, mostra como é feita a graduação dos níveis do alarme, é o mesmo mostrado para o alarme da manta inferior, porém com a temperatura máxima de 310º.

As outras características deste alarme são vistas a seguir:

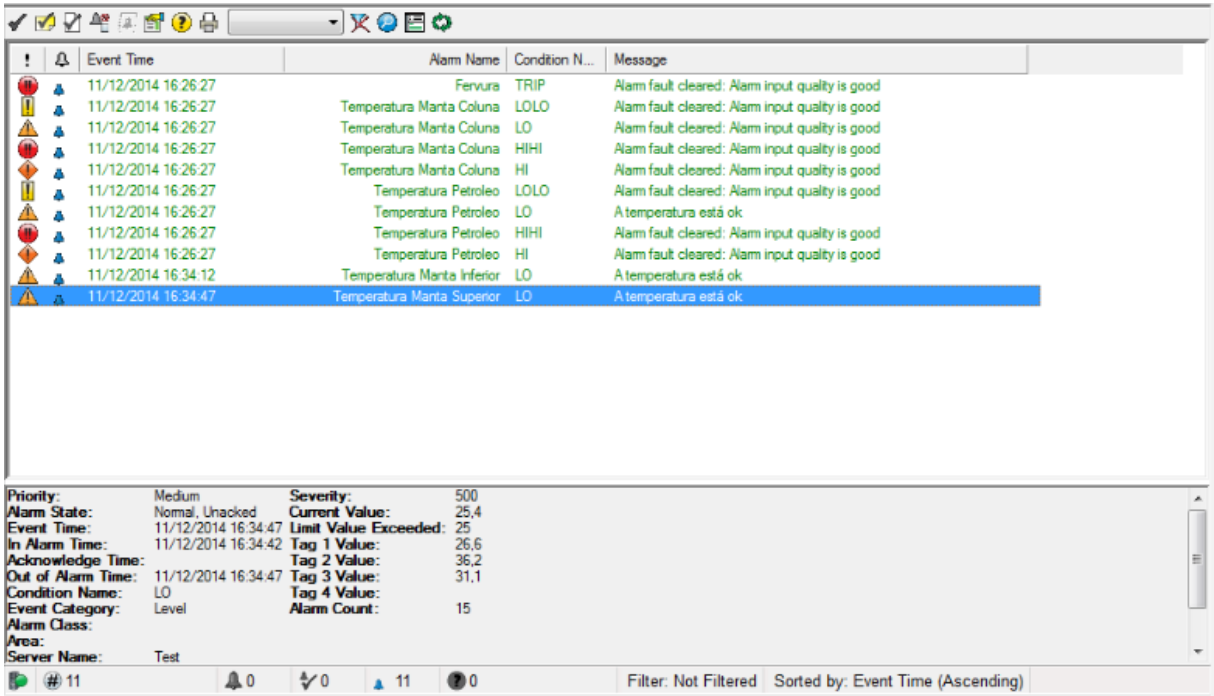
- Severidade:
    - High High = 1000.
    - High = 750.
    - Low = 500
    - Low Low = 250
- Requer reconhecimento do operador.
- Mensagem associada:
    - High High = A temperatura passou do limite.
    - High = A temperatura está próxima ao limite (acima de 80%).
    - Low = A temperatura está ok.
    - Low Low = A temperatura está abaixo da temperatura ambiente.
- Duração mínima da condição de disparo para entrar em alarme: 0 segundos.

### 6.3 Tela de alarmes no supervisório

Foram feitos testes em uma tela de alarmes, do tipo *Alarm and Event Summary*, na versão Studio do FactoryTalk Site Edition onde são mostrados os alarmes do sistema. O operador pode interagir com a tela, fazendo o reconhecimento dos alarmes, observando as informações contidas no alarme ou também atualizando a tela de alarmes.

A tela de alarmes testada é mostrada na Figura 38.

Figura 38 - Tela de alarmes




Fonte: Autoria própria.

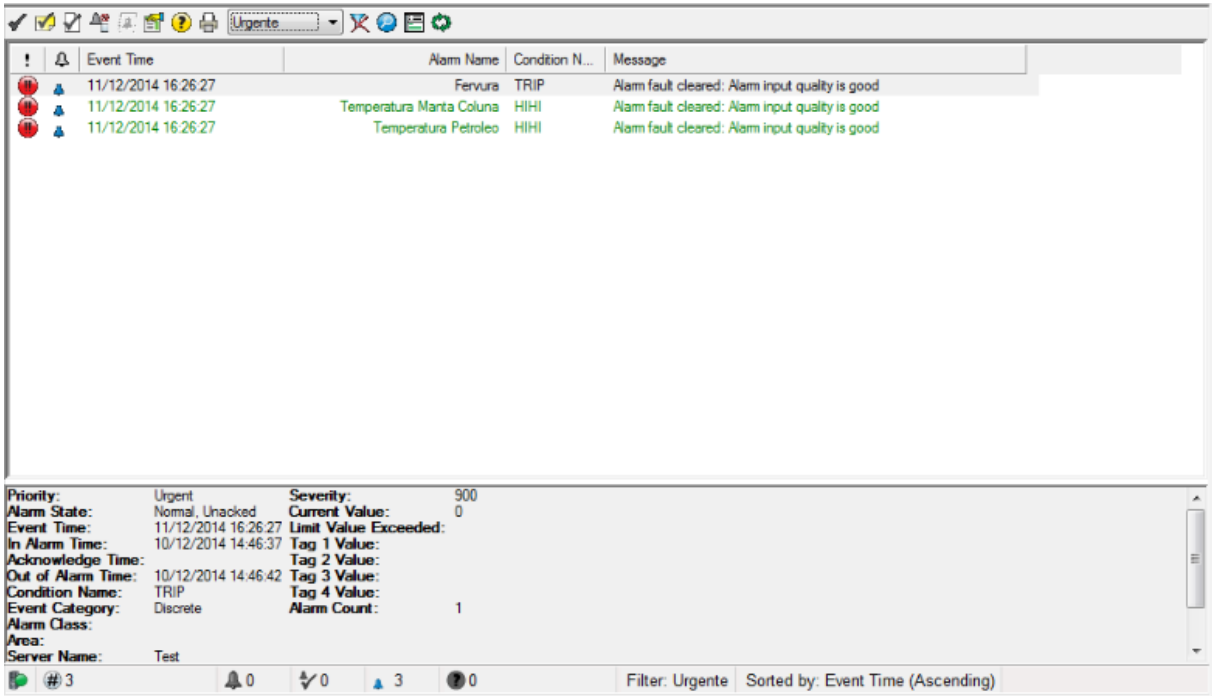
Nos testes, observou-se que os alarmes de alta severidade ou as transições dos estados dos alarmes são mostrados nesta tela.

Da esquerda para a direita a primeira coluna indica a severidade do alarme, a segunda indica o reconhecimento do alarme, a terceira, o horário do evento, a quarta indica a condição do alarme e a última mostra a mensagem do alarme. Na parte inferior são mostrados os dados mais detalhados do alarme selecionado.

Foi desenvolvido um filtro para mostrar apenas os alarmes de alta severidade, onde usuário pode selecionar esse filtro para ficar atento apenas aos alarmes mais importantes.

A tela de alarmes utilizada pode ser vista na Figura 39.

Figura 39 - Tela de alarmes com filtro de alarmes urgentes




Fonte: Autoria própria.

# 7 CONCLUSÃO

Nesse trabalho mostrou-se a viabilidade da utilização do PLC MicroLogix 1100 no controle PWM da potência enviada à manta térmica da coluna de destilação. Concluiu-se que esta lógica de controle apresentada neste trabalho é mais econômica que a utilizada atualmente, porém apesar de ter menor custo, é menos robusta e tem menor precisão no controle de potência.

Um outro ponto a se considerar, ainda no controle PWM, são as saídas digitais embutidas no PLC. Atualmente são utilizadas quatro dessas saídas relé, uma para o controle de abertura e fechamento do solenoide e os outros três para a escolha do *set point* da pressão. No controle PWM há seis saídas digitais, sendo quatro FET´s e dois relés. Três dessas saídas FET´s seriam utilizadas no controle PWM das mantas térmicas e um relé para o controle, sobrando assim uma saída relé e um FET para fazer a seleção dos três *set points* de pressão. Uma solução seria substituir a saída FET por um relé no controle da manta superior, utilizando um maior período de PWM, consequentemente maior tempo entre os chaveamentos, isso se justifica pela dinâmica mais lenta da manta superior. Sobrando dois FET para fazer o chaveamento uma lógica binária, de dois bits, através de um circuito externo.

Outra solução seria utilizar a saída RS-232 do controlador de pressão diretamente no computador, para assim obter dados da pressão e enviar comandos a este controlador.

O desenvolvimento do trabalho de monitoramento e seleção da pressão, consegue comunicar o PLC ao controlador de pressão, dessa maneira o usuário consegue receber e enviar dados a este controlador, monitorar a pressão atual na coluna de destilação e selecionar o *set point* de pressão, utilizando pelo próprio supervisório. Portanto, o usuário terá maior comodidade para a seleção de pressão, sem ter que se deslocar até o controlador de pressão, além de monitorar os dados de pressão continuamente na tela de processos e no *DataLog*.

A implementação dos alarmes dá maior segurança ao processo de destilação, uma vez que o alarme irá atrair a atenção do usuário caso alguma etapa do processo ofereça riscos. Futuramente, aconselha-se estudos mais aprofundados e a implementação dos alarmes no processo de destilação.

# BIBLIOGRAFIA

Thomas, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. Editora Interciência, 1ª Ed, Rio de Janeiro, RJ, 2001.

CALDAS, Jorge N.; Lacerda, Antônio I. de; Veloso, Eduardo; Paschoal, Luiz C.M. **Internos de Torres, Pratos e Recheios.** Editora Interciência, 2ª Ed, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

GUIMARÃES, B. S.; **Projeto de um Sistema de Controle em Arquitetura SCADA para uma Coluna de Destilação Batelada,** Departamento Engenharia Elétrica UFES, 2013.

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

BASSANI, R. V. G.; **Projeto de um Sistema de Acionamento de Manta Térmica para Automação de uma Coluna de Destilação Batelada**, Departamento Engenharia Elétrica UFES, 2014.

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)**, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, CENPES/PETROBRAS, 2007.

MOTA, M. F. B; **Implantação de um Sistema de Destilação Atmosférica de Petróleos no LabPetro-UFES e Estudos Quimiométricos de Frações,** LABPETRO Departamento de Química – Universidade Federal do Espírito Santo, CENPES/PDP/TPA – PETROBRAS, 2008.

MACKAY, S.; Wright, E.; Reynders, D.; Park, J. **Pratical Industrial Data Networks: Design, Installation and Troubleshooting**. Editora Elsevier, 1ª Ed, Burlington, MA, 2004.

BARR, M. **Introduction to Pulse Width Modulation**. 2001. Disponível em: < http://www.embedded.com/electronics-blogs/beginner-s-corner/4023833/Introduction-to-Pulse-Width-Modulation>. Acesso em: 30 mar. 2014.

TINOCO, A. F.; **DIAC E TRIAC**. 2006. Disponível em: < http://www.ele.ita.br/~atinoco/graduacao/ele_59/Lab8_triac_v1p1.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2014.

KING, C. J. **Separation Processes**, Second Edition. McGraw-Hill, Inc., 1980, Chapters 4-6.