

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

**JEAN MICHEL BRONDANI**

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DA AUTOMAÇÃO DE UM SISTEMA DE  
BOMBEAMENTO DE ÁGUA QUENTE PARA UMA PLANTA FRIGORÍFICA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ERECHIM - RS  
2020**

**JEAN MICHEL BRONDANI**

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DA AUTOMAÇÃO DE UM SISTEMA DE  
BOMBEAMENTO DE ÁGUA QUENTE PARA UMA PLANTA FRIGORÍFICA**

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

**Orientador:** Prof. Fernando Luís Tartari Peres

**ERECHIM - RS**

**2020**

**JEAN MICHEL BRONDANI**

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DA AUTOMAÇÃO DE UM SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA QUENTE PARA UMA PLANTA FRIGORÍFICA**

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

Erechim, 10 de dezembro de 2020.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Esp. Fernando Luís Tartari Peres (Orientador)  
URI Erechim

---

Prof. Me. Adilson Luis Stankiewicz (Examinador)  
URI Erechim

---

Prof. Me. Sérgio Bordignon (Examinador)  
URI Erechim

## **AGRADECIMENTOS**

À toda minha família, em especial a minha mãe Marlei e meu pai Carlos que me ensinaram a ter fé em Deus, sempre me apoiando nas minhas decisões e me ensinando ao longo da vida a nunca desistir dos meus sonhos.

À minha namorada Giseli que sempre me incentivou a seguir em frente e suportou a minha ausência durante todo o curso de Engenharia Elétrica.

Ao meu Professor orientador Fernando Luís Tartari Peres que me auxiliou durante este trabalho sanando dúvidas e tendo disponibilidade em me atender.

À todos os professores e funcionários da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Câmpus de Erechim que fizeram parte da minha formação.

À todos os meus amigos, colegas de faculdade e de trabalho.

*"As pessoas sempre tem medo das mudanças. Tinham medo da eletricidade quando foi inventada."*

(Bill Gates)

## RESUMO

O presente trabalho demonstra o estudo e desenvolvimento da automação de um sistema de bombeamento de água quente para uma planta frigorífica. O trabalho consiste em uma fundamentação teórica sobre automação e os dispositivos utilizados neste sistema. Na sequência foi efetuado a realização do acompanhamento do sistema de bombeamento de água, para reunir dados utilizados na execução da automação. Para a aplicação da automação neste sistema foram utilizados, controlador lógico programável, *IHM*, *soft-starters*, sensores e transdutores, todos estes dispositivos são compatíveis e tem a capacidade de comunicar-se em um único sistema. Em seguida foi definido as variáveis do processo a serem controladas através de um acompanhamento do sistema e desenvolvido um fluxograma para ser implementado no CLP TPW04, onde foi criado a lógica de programação em ladder e desenvolvido uma interface na *IHM*. As simulações computacionais e a programação foram desenvolvidas no *software* TPW-PCLINK e no *software EasyBuild Pro*. Foi desenvolvido um sistema supervisório capaz de verificar o sistema de bombeamento de água em tempo real com histórico de alarmes e gráficos de temperatura e pressão. Por fim foi montado uma bancada com os dispositivos selecionados para realizar as simulações físicas do sistema e comprovar seu funcionamento. Como âmbito geral a automação se mostrou satisfatória estando mais próximo de uma implementação real.

**Palavras-chave:** Automação. Sistema de bombeamento de água. Controlador lógico programável.

## ABSTRACT

This work demonstrates the study and development of the automation of a hot water pumping system for a refrigeration plant. The work consists of a theoretical foundation on automation and the devices used in this system. Afterwards, the monitoring of the water coiling system was carried out, to gather data used in the execution of the automation. For the application of automation in this system, a programmable logic controller, textit HMI, textit soft-starters, sensors and transducers were used, all of these devices are compatible and have the ability to communicate in a single system. Then the process variables to be controlled through a system monitoring were defined and a flowchart was developed to be implemented in the CLP TPW04, where the ladder programming logic was created and an interface was created in the textit HMI. Computer simulations and programming were developed in textit software TPW-PCLINK and in textit software textit EasyBulde Pro. A supervisory system was developed capable of verifying the water pumping system in real time with a history of alarms and temperature and pressure graphs. Finally, a bench was set up with the selected devices to perform the physical simulations of the system and prove its operation. As a general scope, automation proved to be satisfactory, being closer to a real implementation.

**Keywords:** Automation. Water pumping system. Programmable logical controller.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Pirâmide de automação.....	15
Figura 2 – Etapas da automação.....	16
Figura 3 – Esquema dos tipos de máquinas de fluxo.....	17
Figura 4 – Carcaça e elementos funcionais das turbobombas.....	18
Figura 5 – Tipos de rotores centrífugos.....	19
Figura 6 – Representação do circuito aberto e fechado.....	20
Figura 7 – Trocador de calor convencional.....	20
Figura 8 – Trocador de calor paralelo e contracorrente.....	21
Figura 9 – Corpo e atuador de uma válvula de controle proporcional com atuador pneumático.....	22
Figura 10 – Ilustração das funções básicas na linguagem <i>Ladder</i> .....	25
Figura 11 – Diagrama de blocos das etapas para a elaboração do estudo.....	29
Figura 12 – Sistema de bombeamento de água quente.....	31
Figura 13 – Máquinas de fluxo do sistema.....	32
Figura 14 – Válvula de Controle Proporcional.....	33
Figura 15 – Trocador de calor do tipo casco e tubos.....	34
Figura 16 – Controlador Lógico Programável TPW04.....	38
Figura 17 – Módulo de expansão analógico TPW04-4RD.....	39
Figura 18 – Módulo de expansão analógico TPW04-3MA.....	39
Figura 19 – <i>Soft-Starter</i> PSR25-600-70.....	40
Figura 20 – Transdutor de Pressão Danfoss MBS 1700.....	41
Figura 21 – IHM WEG 8071IP.....	41
Figura 22 – Plataforma virtual TPW-PCLINK.....	43
Figura 23 – <i>Software EasyBuilder Pro</i> .....	44
Figura 24 – Tela Inicial do Sistema Supervisório.....	45
Figura 25 – Teste turbobomba 1.....	46
Figura 26 – Teste turbobomba 2.....	47
Figura 27 – Teste turbobomba 3.....	47
Figura 28 – Teste turbobomba 4.....	48
Figura 29 – Gráfico de temperatura da água.....	49
Figura 30 – Gráfico de pressão da água.....	50
Figura 31 – Tela do Histórico de Alarmes.....	51
Figura 32 – Tela de aviso de falhas.....	52
Figura 33 – Bancada de testes.....	53
Figura A.1 – Continuação do Fluxograma do programa em CLP.....	60
Figura A.2 – Continuação do Fluxograma do programa em CLP.....	61
Figura A.3 – Continuação do Fluxograma do programa em CLP.....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Planilha de Acompanhamento.....	34
Tabela 2 – Lista das entradas digitais e analógicas.....	36
Tabela 3 – Lista das saídas digitais.....	37
Tabela 4 – <i>Setpoint</i> de pressão das turbobombas.....	50
Tabela 5 – Cotação dos preços dos equipamentos.....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASME	Tubular Exchange Manufactures Association
bar	Unidade de medida de pressão
BITS	Dígito Binário
By-pass	Caminho alternativo
CLP	Controlador Lógico Programável
CNC	Comando Numérico Computadorizado
E/S	Entrada e Saída
FP	Fator de Potência
IHM	Interface Homem Máquina
L/h	Litros por hora
mca	Metro de Coluna de água
on/off	Ligado e Desligado
rpm	Rotações por minuto
setpoint	Valor de referência desejado
Vca	Tensão corrente alternada
Vcc	Tensão corrente contínua

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>1.1 Objetivos</b> .....	13
1.1.1 Objetivo Geral .....	13
1.1.2 Objetivos Específicos .....	13
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	14
<b>2.1 Automação industrial</b> .....	14
2.1.1 Pirâmide da automação industrial .....	14
2.1.2 Projeto de automação .....	15
<b>2.2 Máquinas de fluxo</b> .....	17
2.2.1 Turbobombas .....	18
<b>2.3 Trocador de Calor</b> .....	20
<b>2.4 Válvulas de Controle Proporcional</b> .....	22
<b>2.5 Controladores Lógicos Programáveis (CLP)</b> .....	23
<b>2.6 Soft-Starter</b> .....	26
<b>2.7 Sensor de Temperatura</b> .....	26
<b>2.8 Transdutor de Pressão</b> .....	27
<b>2.9 Sistemas Supervisório</b> .....	28
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	29
<b>3.1 Sistema de bombeamento de água para o processo de higienização</b> .....	29
3.1.1 Descrição do funcionamento do sistema .....	30
3.1.2 Dados técnicos do sistema .....	32
3.1.3 Acompanhamento do sistema em funcionamento .....	34
<b>3.2 Automação do sistema</b> .....	35
<b>3.3 Dispositivos selecionados para a automação</b> .....	37
3.3.1 CLP .....	37
3.3.2 Soft-Starter .....	40
3.3.3 Transdutor de Pressão .....	40
3.3.4 IHM .....	41
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	43
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	54
<b>5.1 Sugestão para trabalhos futuras</b> .....	54
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	56

<b>APÊNDICES</b> .....	<b>59</b>
------------------------	-----------

## 1 INTRODUÇÃO

Com a grande gama de produtos oferecidos no mercado o consumidor está cada vez mais atento e crítico em adquirir produtos de melhor qualidade e menor preço e as empresas estão em uma corrida contra o tempo, devido a grande concorrência mercantil que impõe baratear seu produto sem reduzir sua qualidade e sem aumentar seus custos. Quando uma indústria por exemplo frigorífica oferta seu mix de produtos no mercado ela precisa equilibrar ao máximo ao preço da concorrência sem que tenha prejuízo, para isso ela precisa ter uma margem de lucro em cima desses produtos, dessa forma quanto mais eficiente for seu processo de fabricação reduzindo os custos, maior será a margem de lucro. Pensando nisso é abordada a automação industrial, melhorando processos industriais e deixando-os mais eficientes e com menor custos operacionais.

Conforme Capelli (2013, p. 9), “Não importa o modelo político-econômico de uma nação, porque uma “lei ” é comum em todo o planeta: não existe riqueza sem produção. Somente através de sistemas produtivos eficientes conseguimos aumentar o poder de compra e aquecer a economia.”

A automação industrial é fortemente aplicada em processos sequenciais e sua aplicação serve para poupar o trabalhador reduzindo o esforço repetitivo em algumas atividades existentes dentro da indústria, bem como evitar possíveis erros humanos durante a operação.

A utilização das pessoas em tarefas repetitivas e que não exijam raciocínio e poder de decisão é o mesmo que construir uma usina para acender uma simples lâmpada, os seres humanos devem ser aproveitados em trabalhos que demandem processos analíticos e cognitivos e é aí que entra a automação industrial (CAPELLI, 2013).

O estudo desta monografia propõe a automação de um sistema de bombeamento de água quente utilizado para a higienização interna de toda a planta frigorífica, possibilitando um controle totalmente automático e independente, onde as variáveis do processo são controladas por um CLP. O controle da temperatura é feito por duas válvulas proporcionais que são controladas analogicamente pelo CLP e o controle de pressão da água é feita por um sensor do tipo transdutor de pressão que envia o sinal analógico para o CLP, onde é comandado as partidas das quatro máquinas de fluxo.

## **1.1 Objetivos**

### 1.1.1 Objetivo Geral

Estudar e projetar a automação de um sistema de bombeamento de água quente para uma planta frigorífica.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Revisão bibliográfica sobre automação em sistemas de bombeamento de água.
- Selecionar os dispositivos para utilizar na automação.
- Construção e programação do sistema supervisorio utilizando ferramenta computacional.
- Implementação do projeto em bancada.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados conceitos de autores em relação à automação industrial, CLP, máquinas de fluxo, inversores de frequência, *soft starter* e sensores, que serão abordados no decorrer deste trabalho.

### 2.1 Automação industrial

O termo automação foi criado por volta de 1940 por um engenheiro da Ford Motor Company, o qual descreveu que diversos sistemas automáticos substituem o esforço e a inteligência humana. Naquela época os dispositivos eram eletromecânicos e as sequências lógicas simples como ligar e desligar motores e atuadores eram feitas por meio de relés, temporizadores intertravados, botões e sensores. A intervenção humana ocorria em apenas algumas tomadas de decisões (LAMB, 2015).

Para Silveira e Santos (1998) a automação industrial são técnicas de controle introduzidas em um processo conectando ao aumento de produtividade, tendo como fator dominante a melhora da qualidade de vida pelo poder de aquisição adquirido pela sociedade. A automação é um conjunto de técnicas que constroem sistemas ativos capazes de trabalhar com uma ótima eficiência usando informações recebidas do meio sobre o qual atuam. Com base nessas informações o sistema calcula a ação corretiva apropriada para a execução da tarefa, esta é uma característica de um sistema de malha fechada ou sistema de realimentação, onde se mantém uma relação entre entrada/saída, corrigindo valores desejados.

#### 2.1.1 Pirâmide da automação industrial

A automação industrial exige a realização de muitas funções e a pirâmide de automação mostra os diferentes níveis encontrados em uma planta industrial (MORAES e CASTRUCCI, 2010).

Segundo Capelli (2013) a pirâmide estabelece os níveis do processo produtivo, desde sua base até o topo e está dividida em 6 níveis, conforme descritos abaixo:

Nível 0: Este nível corresponde aos equipamentos mais próximos ao produto, como sensores, botões, atuadores, entre outros. Importante ressaltar que o número de informações é pequeno quando comparado a outros níveis, em contrapartida a velocidade do processamento é alta.

Nível 1: Equipamentos de processo. Um exemplo claro são os controladores lógicos programáveis (CLP) que atuam diretamente na fabricação.

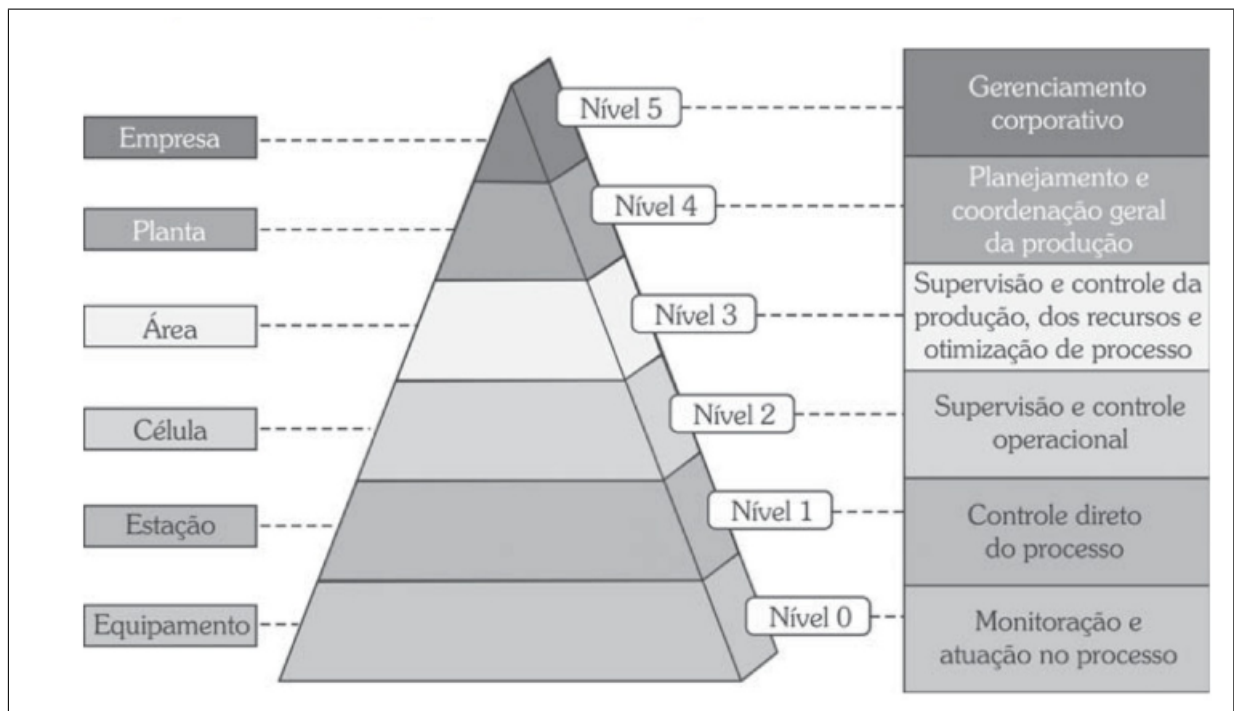
Nível 2: No lugar de um controle processual, temos um operacional. É formado pelos CLPs, CNCs e outros controladores, formando uma micro cadeia produtiva.

Nível 3: Neste nível inicia a supervisão, o controle de recursos e a otimização do processo. Existe uma grande interatividade com o operador por meio de interface homem máquina gráfica (IHM).

Nível 4: Controle geral de todo o processo produtivo. Geralmente constituído por uma rede de computadores que controla toda a planta.

Nível 5: Gestão estratégica da empresa. Aplicativos destinados ao controle corporativo, acompanhando desde a entrada de material até a gestão de recursos.

Figura 1 – Pirâmide de automação



Fonte: CAPELLI (2013)

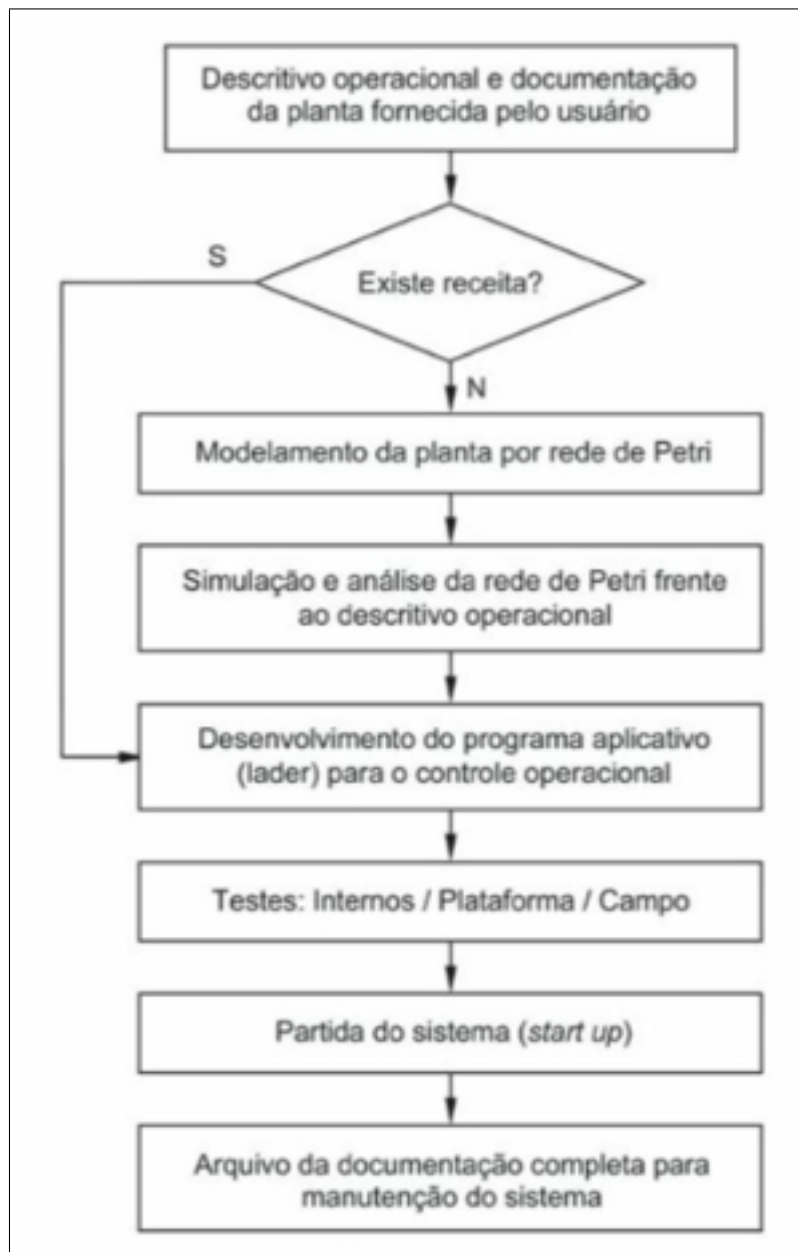
### 2.1.2 Projeto de automação

De acordo com Moraes e Castrucci (2010) em um projeto de automação existem duas maneiras diferentes para fazer seu desenvolvimento. Na primeira o usuário organiza todas as ações que deseja automatizar no processo e define o que irá acontecer em cada condição. Na

segunda o usuário define o resultado final, cabendo ao engenheiro de projeto escolher toda a lógica das ações.

O diagrama da figura 2 descreve as etapas para implementação da automação nas duas maneiras de desenvolvimento.

Figura 2 – Etapas da automação



Fonte: MORAES e CASTRUCCI (2010)

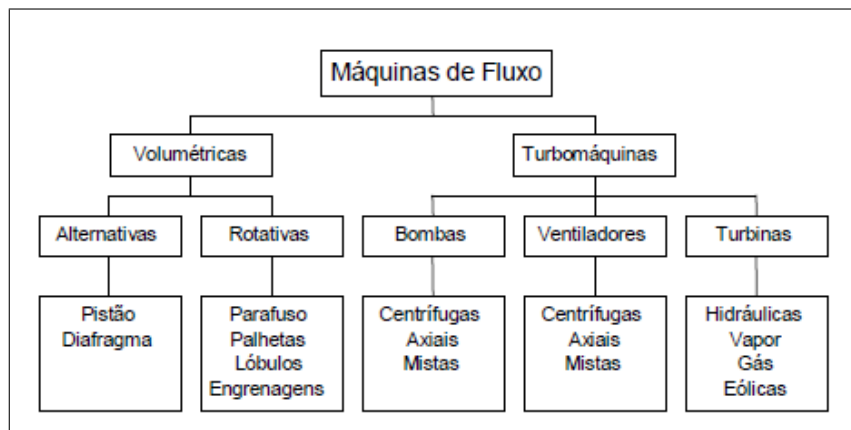
## 2.2 Máquinas de fluxo

Na antiguidade o homem primitivo transportava água em baldes ou conchas e graças a sua evolução esse processo foi mecanizado durante o passar do tempo. As primeiras máquinas de fluxo desenvolvidas foram rodas de conchas e bombas de parafuso para elevação da água. Mais tarde foram desenvolvidos os moinhos para extrair a energia do vento, entretanto a baixa densidade de potência do vento limitava a produção de poucas centenas de quilowatts. Com o desenvolvimento das rodas de água foi possível extrair milhares de quilowatts em um único local (FOX; PRITCHARD; MCDONALD, 2011).

Segundo Fox, Mcdonald, Pritchard (2011) máquina de fluxo é um dispositivo que realiza trabalho sobre um fluido ou extrai trabalho de um fluido. As máquinas que adicionam energia a um fluido, realizando trabalho sobre o mesmo, são denominadas bombas. Atualmente as máquinas de fluxo estão cada vez mais presentes no nosso dia a dia, como exemplo ao utilizarmos água pressurizada em uma torneira, ou ao usar o secador de cabelo e até mesmo quando dirigimos um carro, no qual a máquina de fluxo está inserida no sistema de lubrificação, refrigeração e direção.

Para Alé (2010) às máquinas de fluxo são utilizadas para adicionar ou retirar energia de um fluido e são divididas em dinâmicas (turbomáquinas) ou volumétricas, conforme esquema da figura 3. Nas dinâmicas o aumento da pressão do fluido é contínua e podem ser classificadas em bombas, ventiladores e turbinas e também segundo a trajetória percorrida pelo fluido ao passar pelo rotor, podendo este rotor ser radial, axial ou misto. Já nas volumétricas o aumento da pressão se produz reduzindo o volume do fluido confinado na câmara de compressão e elas podem ser de dois tipos, as alternativas com descarga intermitente do fluido, ou rotativas com descarga contínua do fluido.

Figura 3 – Esquema dos tipos de máquinas de fluxo



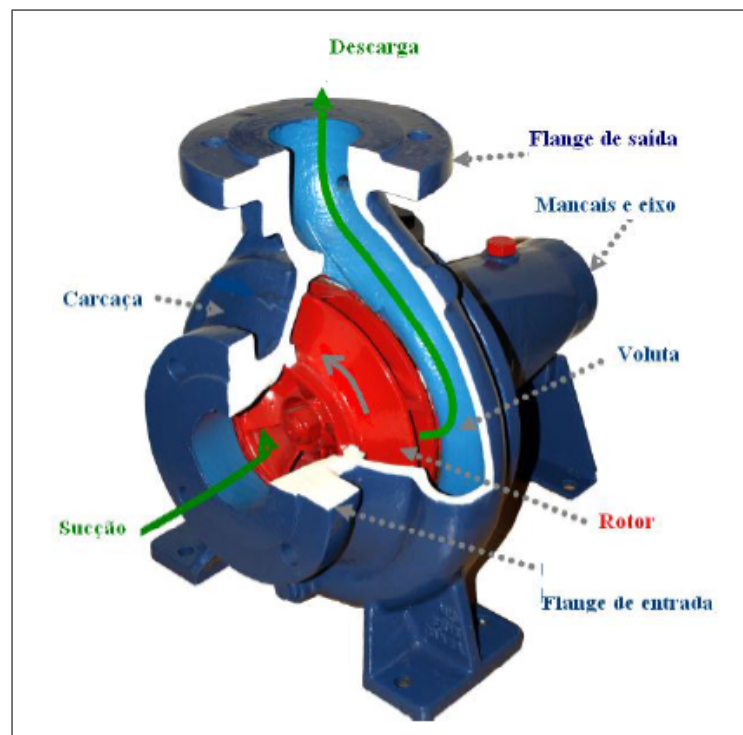
Fonte: Alé (2010)

### 2.2.1 Turbobombas

Este tipo de bomba é caracterizado por apresentar um rotor que comunica aceleração à massa líquida, transformando energia mecânica em energia cinética. A aceleração não possui a mesma direção e sentido do movimento do líquido como nas outras bombas de deslocamento positivo (ROCHA et al., 2012).

Segundo Gomes; De Carvalho (2012) as turbobombas se caracterizam pela presença de um elemento girante dotado de pás, chamado rotor e movido por alguma fonte de potência através do seu eixo. Esse conjunto é montado dentro de uma carcaça como ilustra a figura 4.

Figura 4 – Carcaça e elementos funcionais das turbobombas



Fonte: GOMES e DE CARVALHO (2012)

Nestas máquinas o fluido é aspirado pela boca de entrada até atingir o rotor chamado de impulsor ou impelidor. O rotor é formado por uma fileira de pás, lâminas, álabes, sendo envolvido por um corpo denominado voluta ou coletor em caracol. O coletor em caracol transforma a energia cinética adquirida pelo fluido ao passar pelo rotor em energia de pressão. O fluido sai da bomba pela boca de recalque ou de descarga (ALÉ, 2010).

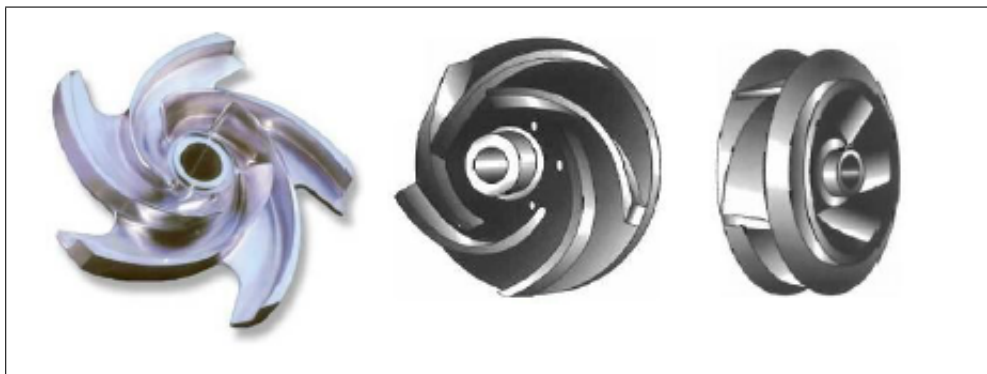
O rotor é o órgão onde se dá a transferência de energia para o fluido. Quando o fluido passa através de suas pás o líquido recebe uma quantidade de movimento e ocorre o aumento de sua energia cinética. Os rotores são classificados conforme o trajeto do fluido, podendo ser

radiais, axiais e mistos (GOMES; DE CARVALHO, 2012).

O rotor radial é encontrado em bombas centrífugas, o rotor axial em bombas axiais e o rotor misto é encontrado em bombas hélico-centrífugas. O rotor pode ser de simples aspiração ou de aspiração dupla o qual permite o aumento da vazão fornecida, já para aumento de pressão se tem as bombas centrífugas de vários estágios (ALÉ, 2010).

As bombas centrífugas são amplamente utilizadas na indústria de processo químico. Apresentam capacidade de 0,5 m<sup>3</sup>/h até 20.000 m<sup>3</sup>/h e trabalham com alturas manométricas entre 1,5 e 5000 mca. Podem trabalhar com água limpa, do mar, condensados, óleos com pressões de até 160 mca e temperatura de até 140°C. Trabalhando com água podem ser utilizadas com até 300°C e pressões de até 250 mca, dependendo do material utilizado na fabricação da carcaça e do rotor. Os rotores das bombas centrífugas podem ser abertos, semiabertos e fechados, conforme a figura 5 (ALÉ, 2010).

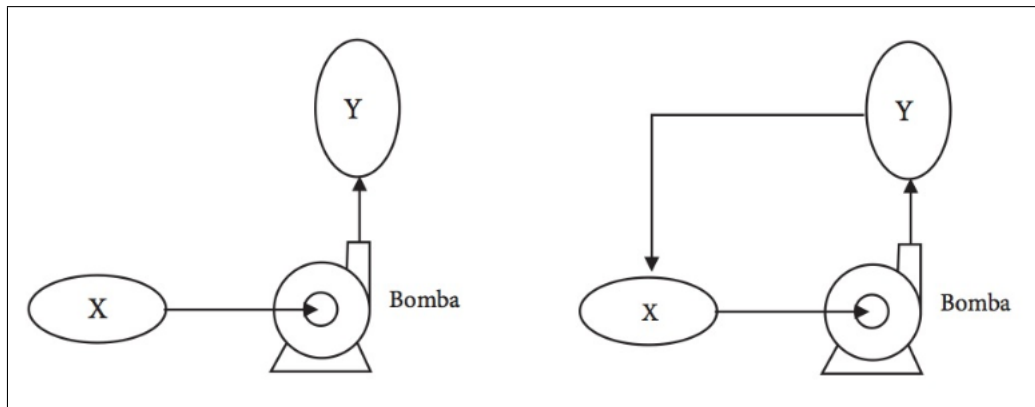
Figura 5 – Tipos de rotores centrífugos



Fonte: Adaptado de GOMES e DE CARVALHO (2012)

Para Filho (2015) os métodos de instalações das turbobombas podem ser divididas em dois grupos, circuito aberto e circuito fechado. Nas instalações definidas como circuito aberto a função da bomba é transferir o fluido de um ponto X para um ponto Y. Na maioria das vezes esses pontos são reservatórios ou tanques. Em algumas aplicações do tipo circuito aberto nem sempre o objetivo é transferir o fluido do ponto X ao Y, como por exemplo a criação de um jato de água no ponto Y para combate a incêndios, para uma simples irrigação e até mesmo para algum processo de higienização. Nas instalações em circuito fechado a função da bomba é fazer o fluido circular do ponto X para o ponto Y e novamente de volta para o ponto X. A figura 6 mostra esses dois conceitos de instalação.

Figura 6 – Representação do circuito aberto e fechado



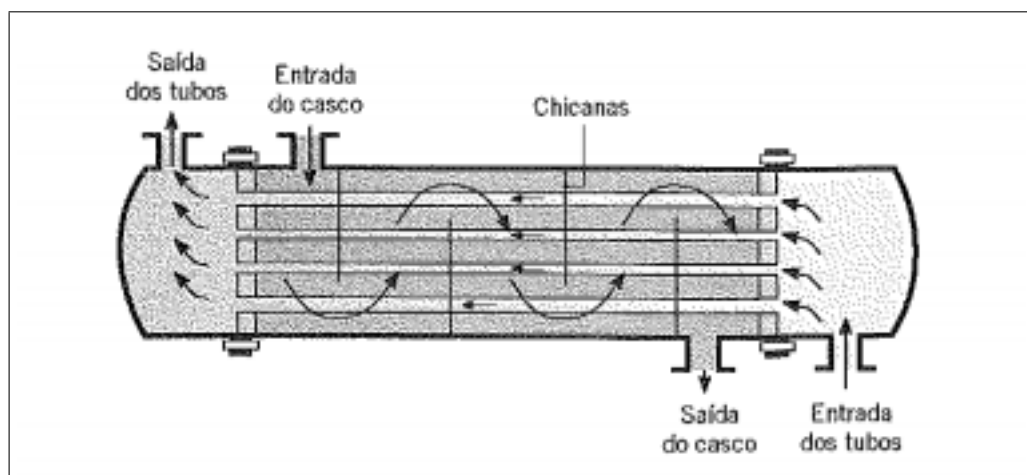
Fonte: FILHO (2015)

Uma aplicação simples de circuito fechado por exemplo é o processo de filtração de uma piscina, onde a água da piscina ponto X é bombeada para o filtro de areia ponto Y, e após ser filtrada a água volta para a piscina no ponto X. O mesmo ocorre quando é feita a recirculação da água da piscina para dissolver os produtos químicos após o tratamento da água (FILHO, 2015).

### 2.3 Trocador de Calor

O método de troca de calor entre dois fluidos que se encontram em diferentes temperaturas e separados por uma massa sólida verifica-se em muitas aplicações na área da engenharia. Os equipamentos utilizados para realização desta troca são denominados trocadores de calor. A figura 7 ilustra o diagrama funcional de um trocador de calor convencional (INCROPERA et al., 2008).

Figura 7 – Trocador de calor convencional



Fonte: INCROPERA (2008)

Nos equipamentos de troca térmica, o fluido quente fornece calor e o fluido frio é o que recebe calor de forma que não havendo mudança de fases ambos se resfriaram (ROCHA et al., 2012).

Trocadores de calor desempenham um importante papel nas mais diversas áreas do conhecimento, pesquisa científica e aplicações tecnológicas. Na indústria são aplicados para aquecer ou resfriar fluidos para usos variados. Neste tipo de processo os fluidos estão separados por uma parede geralmente metálica (ROCHA et al., 2012).

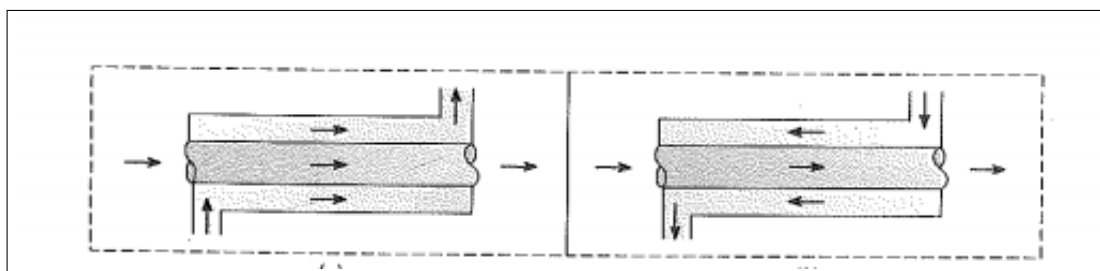
Para Birck (2015), os trocadores de calor geralmente são constituídos de materiais metálicos, devido apresentar um alto coeficiente de condutividade térmica para que a transferência de calor seja efetiva de um meio para outro.

Os trocadores de calor são encontrados na indústria sob formas de equipamentos tais como, aquecedores, caldeira recuperadora, condensador, gerador de vapor, permutadores, refervedores, refrigerador e vaporizador. A escolha da aplicação e o tipo requer um estudo térmico para determinar se a unidade padrão de tamanho e geometria especificados pode preencher as exigências, tais como, aquecimento ou resfriamento de um dado fluido, a vida útil do equipamento, a facilidade de limpeza, espaço, além de estar em conformidade com os requisitos dos códigos de segurança da ASME - *Tubular Exchange Manufactures Association* (ROCHA et al., 2012).

Nesses equipamentos algumas características passam a determinar o seu funcionamento e são elas: a diferença de temperatura e a entrada e saída dos fluidos. A diferença de temperatura entre os fluidos é o que leva a troca térmica, já que pelas leis da termodinâmica, a energia tende a ser transferida do fluido mais quente para o mais frio (ROCHA et al., 2012).

Para Incropera et al. (2008) existem dois tipos de ação para entrada e saída dos fluidos: paralelo e contracorrente. Em paralelo, como mostra a figura 8 os fluidos quente e frio entram pela mesma extremidade e na apresentação contracorrente os fluidos entram por extremidades opostas.

Figura 8 – Trocador de calor paralelo e contracorrente



Fonte: INCROPERA (2008)

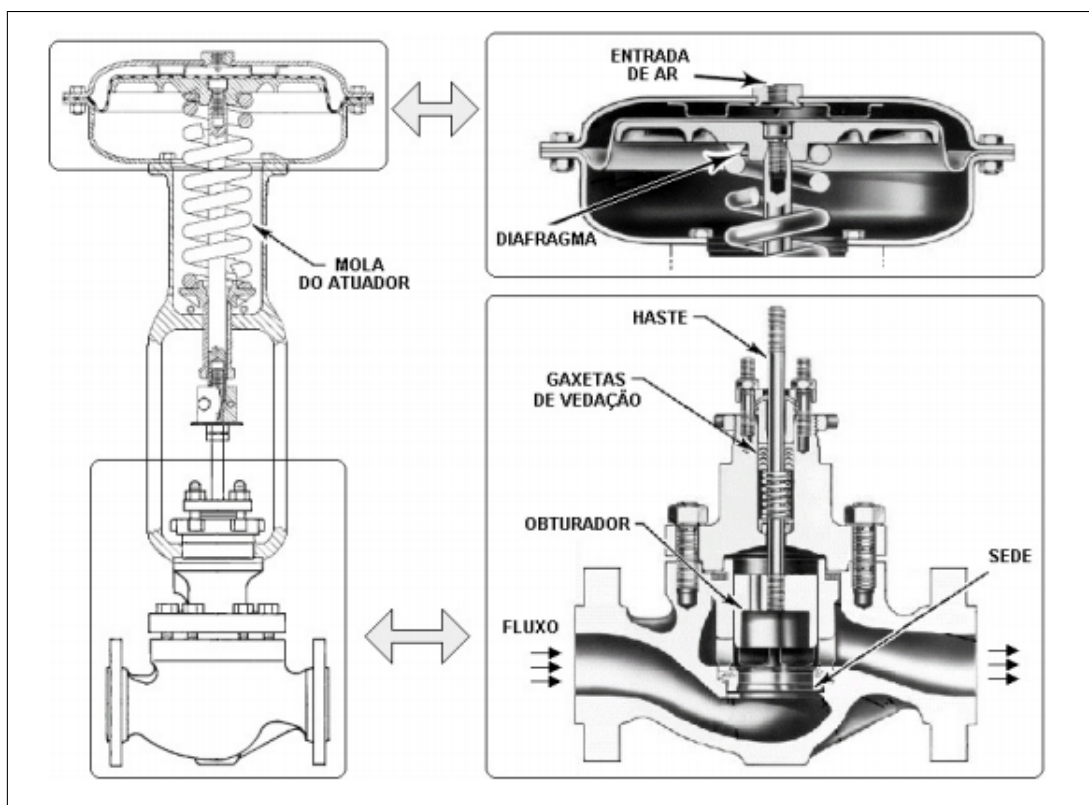
## 2.4 Válvulas de Controle Proporcional

As válvulas direcionais proporcionais surgiram no período entre a válvula simples comandada por solenóide convencional e as servoválvulas, que eram a única opção quando demandava de atuações precisas no posicionamento e controle de velocidade. As servoválvulas em sua maioria apontam baixo índice de tolerância à contaminação e alto custo, levando a ser aplicadas apenas em situações específicas que necessitam de alto desempenho, como na tecnologia militar e aeroespacial (DO CARMO, 2003).

Válvula de controle é planejada e construída para operar modulando de modo contínuo e confiável com um mínimo de histerese e atrito no engastamento da haste. A vedação total é apenas uma opção extra (RIBEIRO, 2003).

As válvulas de controle são compostas principalmente pelo corpo e atuador. A figura 9 ilustra o corpo onde abriga a sede da válvula. A vazão do fluido é modificada de acordo com a posição de um obturador em relação à sede da válvula. Em especial estas válvulas de controle são dispositivos capazes de alterar a restrição à passagem de um fluido em resposta a um sinal de comando. (ROMANO, 2010).

Figura 9 – Corpo e atuador de uma válvula de controle proporcional com atuador pneumático



Fonte: ROMANO (2010)

Segundo Ribeiro (2003), uma válvula de controle precisa compreender as seguintes funções:

- Conter o fluido do processo, sustentando todos os rigores das condições de operação. O fluido do processo passa dentro da válvula, então ela deve conter características mecânicas e químicas para resistir a pressão, temperatura, erosão, corrosão, sujeira e contaminantes do fluido.
- Replicar ao sinal de atuação do controlador. O sinal modelo é aplicado ao atuador da válvula, que o converte em uma força que movimenta a haste, cuja parte inferior está o obturador, que varia a área de passagem do fluido pela válvula.
- Diversificar a área de passagem do fluido manipulado. A válvula de controle manipula a vazão do meio de controle, pela modificação da abertura, para cumprir as demandas do processo.
- Absorver a queda variável da pressão da linha, para neutralizar as variações de pressão. A válvula durante o processo é o único equipamento capaz de abastecer ou absorver uma queda de pressão controlável. Válvulas direcionais proporcionais são consideradas uma peça multifuncional e podem ser interpretadas como um elo de ligação entre a unidade de potência, atuadores e controles eletrônicos (DO CARMO, 2003).

## **2.5 Controladores Lógicos Programáveis (CLP)**

O Controlador Lógico Programável (CLP) foi criado pela indústria automobilística Norte-Americana para suprir a demanda já existente na indústria. A primeira aparição ocorreu em 1968, na Hydronic Division da General Motors, em decorrência da tribulação em mudar a lógica de controle de painéis de comando a cada mudança na linha de montagem, já que estas mudanças acarretam em altos gastos (FRANCHI; CAMARGO, 2009).

O controlador lógico programável pode ser definido como um computador industrial capaz de armazenar instruções para implementação de funções específicas de controle, sequências lógicas, temporização e contagem. Também realiza operações de lógicas aritméticas e comunicação em rede, sendo utilizado em sistemas automatizados (GEORGINI, 2007).

Para Petruzella (2014) o CLP é projetado para arranjos de diversas entradas e saídas, faixas de temperatura e imunidade ao ruído elétrico, sendo resistente a vibrações e impacto. Estes controladores reduziram muito a fiação utilizada nos circuitos de controle a relé, além de

possuírem uma facilidade de programação e instalação, controle de alta velocidade e verificação de defeitos e testes.

Para FRANCHI; CAMARGO (2009), qualquer planta industrial faz uso de controladores, desde o nível mais simples, como um motor elétrico de um ventilador para regular a temperatura, até um grau mais alto, controlando a planta de um reator nuclear. No mercado existem tamanhos e complexidades variadas, onde são divididos em 3 partes: transdutor (sensor), o controlador e o atuador.

- Transdutor: dispositivo que converte uma situação física do sensor em um sinal elétrico através das entradas do CLP, para ser utilizado no mesmo.
- Controlador: faz uso de um programa de controle para calcular os estados das suas saídas. Os sinais elétricos das saídas são convertidos através dos atuadores. Alguns atuadores geram movimentos, como válvulas, motores, bombas, já outros utilizam energia pneumática ou elétrica. O operador pode interagir com o controlador por meio dos parâmetros de controle e alguns controladores podem mostrar o estado do processo em uma tela ou em um *display*.
- Atuador: sua função é converter o sinal elétrico originado no CLP em uma condição física, normalmente ligando ou desligando algum dispositivo. Um exemplo claro é o controle de acionamento de um motor através do CLP, onde a saída do CLP vai ligar ou desligar a bobina do contator que o comanda.

O CLP pode receber ou enviar informações através de sinais definidos como, digitais ou analógicos. Os sinais digitais são os que apresentam a função de indicar qualquer acontecimento no processo, através de sinais definidos como ligados ou desligados. Como exemplos, um relé de sobrecarga atuado, sensores ou chaves fim de curso, botões para indicar que o operador deseja executar alguma função, termostatos, pressostatos, dentre outros. As entradas podem receber tensões de diversos valores e características conforme a especificação de cada fabricante. O padrão mais encontrado é para sinais de 24 Volts em corrente contínua ou 110 Volts em corrente alternada (SOUSA, 2004).

As saídas digitais são muito utilizadas devido sua simplicidade e podem assumir duas situações, acionada e desacionada. Quando está acionada, se comporta como uma chave fechada, energizando o dispositivo atuador. Ao estar desacionada, se comporta como uma chave aberta, desenergizando o dispositivo atuador (ZANCAN, 2011). Estas saídas possuem limitação de corrente de operação, utilizando elementos como, relés para o acionamento de cargas menores, como bobinas eletromagnéticas de acionamento de válvulas pneumáticas ou hidráulicas, ou

cargas de baixo consumo, como lâmpadas-piloto e sirenes ligadas diretamente à saída (SOUSA, 2004).

No que se refere aos sinais analógicos de entradas, estes ao serem recebidos pelo CLP, são convertidos em números binários e diferem-se quanto a sua precisão, indicado pelo número de BITS compostos pelo valor obtido. No mercado brasileiro encontram-se CLPs com entradas ou saídas analógicas com resolução de 8, 10, 12 ou 16 BITS. Quanto maior o número de BITS de resolução, maior será a precisão e custo do aparelho (SOUSA, 2004).

Segundo Zancan, (2011) as saídas analógicas do CLP são utilizadas em processos que exijam um controle mais preciso, modulando o funcionamento dos atuadores conforme as necessidades. Os sinais elétricos das saídas analógicas podem ser de tensão ou corrente, sendo os valores mais utilizados de 0 a 10 Vcc e 4 mA a 20 mA. Os atuadores recebem sinais elétricos variáveis das saídas analógicas definido a intensidade de sua atuação no processo.

Para Sturaro (2009) a linguagem *Ladder* na programação dos Controladores Lógico Programáveis (CLPs) foi a primeira que surgiu, devido sua funcionalidade em imitar os antigos diagramas elétricos, utilizados pelos Técnicos e Engenheiros da época. O objetivo foi em evitar uma quebra de paradigmas, ocasionando assim uma melhor aceitação do produto no mercado. Na figura 10 estão ilustradas algumas funções básicas utilizadas na linguagem *Ladder*.

Figura 10 – Ilustração das funções básicas na linguagem *Ladder*

INSTRUÇÃO	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA
Contato NA	--   --
Contato NF	-- /  --
Contato sensível a borda de subida	-- ↑  --
Contato sensível até a borda de descida	-- ↓  --
Bobina	--( )--
Bobina negada	--(/)--
Bobina de SET	--( S )--
Bobina de RESET	--( R )--

Fonte: RODRIGUES (2017)

Para Petruzella (2013), os diagramas *ladder* são de fácil interpretação e frequentemente usados na análise do funcionamento de um circuito. A maioria dos CLPs usa o conceito do diagrama *ladder* como base para a linguagem de sua programação. Um diagrama *ladder* trás informações que permitem o acompanhamento da sequência de operação do circuito. Essa característica é importante na análise de defeito, já que mostra de forma simples o efeito que a abertura ou o fechamento dos contatos tem nos outros dispositivos do circuito.

## 2.6 *Soft-Starter*

De acordo com Nascimento (2013), *soft-starter* é um equipamento eletrônico utilizado para partir o motor suavemente, em outras palavras, aceleração dentro de uma rampa programada, com controle da tensão e corrente aplicadas ao motor. O pico de corrente na partida com *soft-starter* deixa de ser um problema.

No mercado existem diversos modelos de *soft-starter*, alguns com instalação simples, em série no controle da carga, e outros com terminais de controle que possibilitam a conexão com outros sistemas de automação. O profissional da área deve conhecer a existência desses modelos e sempre buscar se atualizar com relação aos novos produtos, já que os avanços tecnológicos na área de eletrônica de potência são constantes (NASCIMENTO, 2013).

Segundo Franchi (2013), quando em funcionamento a alimentação do motor é feita por aumento progressivo da tensão, permitindo assim, uma partida sem golpes e com o pico de corrente reduzido. Isso é obtido por intermédio de um conversor com tiristores em antiparalelo, montados de dois a dois em cada fase da rede. A subida progressiva da tensão pode ser controlada pela rampa de aceleração ou dependente do valor da corrente de limitação, ou ainda, ligada a esses dois parâmetros.

A *soft-starter* assegura um controle das características de funcionamento, principalmente durante os períodos de partida e de parada; proteção térmica do motor e do controlador; proteção mecânica da máquina movimentada por supressão dos golpes e redução da corrente de partida (FRANCHI, 2013).

Nascimento (2013), destaca a importância de estar atento ao sistema de proteção do motor contra curto-circuito e sobrecarga, quando utilizados *soft-starters*. Geralmente após a partida com *soft-starter*, o sistema entra em *by-pass*, o que significa que o *soft-starter* será desativado após a partida e o relé interno ou contator externo assume o acionamento do motor. Sendo assim, existe uma necessidade de prever a proteção contra sobrecarga no motor em regime permanente. Recomendações detalhadas são encontradas no manual do equipamento.

## 2.7 Sensor de Temperatura

Conforme relata Soloman (2012), um dos parâmetros mais importantes a serem controlados é a temperatura, já que afeta diretamente as propriedades dos materiais e conseqüentemente a qualidade do produto. Nos últimos tempos vários sensores de temperatura foram desenvolvidos, entre estes os sensores práticos de temperatura, os quais já estão disponíveis comercialmente e

são classificados em dois grupos: sensores de baixa temperatura, com um intervalo de 100 a +400°C e sensores de alta temperatura com um intervalo de 500 a 2000°C.

Para medições de temperatura na indústria os modelos mais utilizados são, termopares e termorresistências. Para Thomazini, Albuquerque (2011), os sensores de temperatura do tipo termoresistência, baseiam-se na variação da resistência elétrica do elemento condutor em função da temperatura. O sensor consiste em uma resistência em forma de fio de platina (Pt) de grande pureza, níquel ou cobre, encapsulada em um bulbo de cerâmica ou vidro.

Estes sensores são muito empregados na indústria, em decorrência da estabilidade mecânica e térmica, resistência a contaminação, baixo índice de desvio pelo envelhecimento e tempo de uso. As termoresistências mais utilizadas são Pt-100, Pt-1000, Ni-100 e Ni-1000. A que melhor representa a grande maioria das aplicações na indústria é a de platina (Pt-100), devido à grande estabilidade e precisão. Tem sua curva padronizada conforme a norma DIN - IEC 751 - 1985 e possui como característica uma resistência de 100 ôhms a 0°C (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

## **2.8 Transdutor de Pressão**

Para Rosa; Müller; Barra (2010), os sensores mecânicos são dispositivos que efetuam dinamicamente a transdução de uma tensão de compressão em sinal elétrico. Este sinal elétrico é enviado e armazenado em um equipamento de monitoramento. Estes dispositivos tem uma condutividade elétrica que são dependentes das condições de teste como temperatura e força de compressão.

No mercado existe uma gama de transdutores de pressão, com diferentes métodos de detecção. Os mais encontrados são os sensores ou transdutores de pressão elétricos (GARCIA, 2006).

De acordo com Thomazini, Albuquerque (2011), a maior parte dos sensores de pressão que são produzidos mundialmente são fabricados com a tecnologia microeletrônica do silício ou micromachining. O funcionamento de grande parte dos sensores baseia-se em dois princípios, o piezorresistivo e o capacitivo.

O piezorresistivo utiliza características particulares dos resistores, formado sobre uma lâmina sutil de silício (diafragma). Estes resistores sofrem a ação de deformação mecânica, alterando o valor da resistência (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

O capacitivo é bem menos utilizado que o piezorresistivo. É composto de uma base e um diafragma que quando se submete o sensor a uma pressão, o diafragma se aproxima da

base, variando a capacitância. Quando se estabelece uma referência é possível medir a pressão submetida ao sensor. Dependendo dos materiais utilizados para a construção do transdutor, como a cerâmica, pode-se proporcionar características mecânicas como elasticidade, estabilidade térmica e alta resistência, deixando mais estável e aumentando a vida útil do sensor (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

## 2.9 Sistemas Supervisório

Para Capelli (2013), é vital a supervisão de um processo produtivo para que aumente a competitividade da indústria. Reduzir horas de máquinas paradas, aumentar a qualidade e a segurança, aperfeiçoar a manufatura, tendem a ter um aumento da produtividade.

Sistemas de supervisão e aquisição de dados ou, SCADA, são *softwares* que controlam e monitoram processos por meio de CLP's, módulos de entradas e saídas, drives e servidores, podendo controlar todo o processo industrial ou somente partes dele (CAPELLI, 2013).

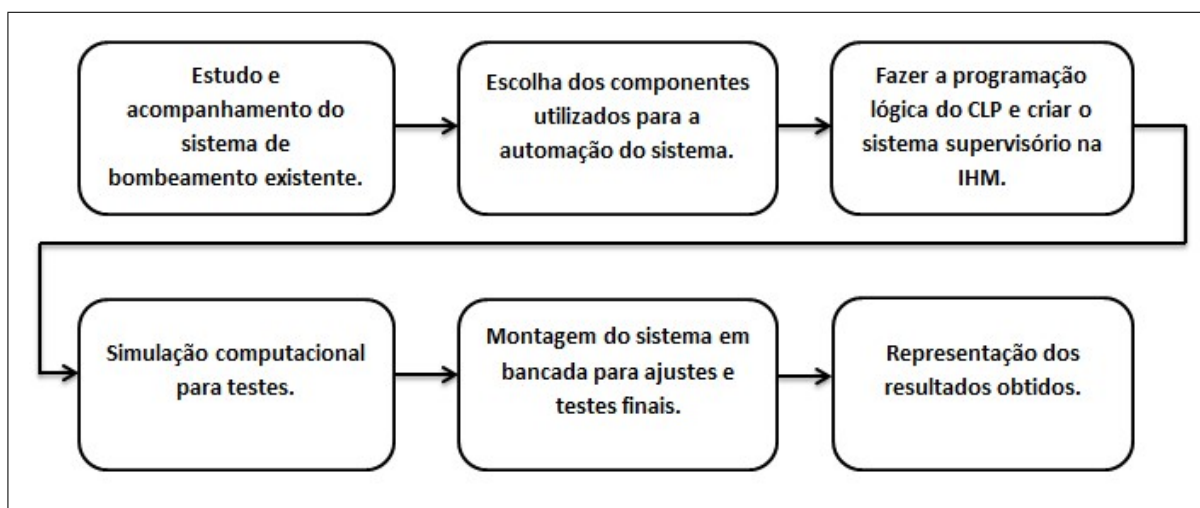
Uma das principais finalidades de um sistema SCADA é fazer a coleta de dados periodicamente, podendo arquivar e compartilhar os dados conforme a necessidade. Como exemplo pode-se utilizar os valores de pressão de vários pontos registrados periodicamente em uma escala de tempo, podendo ser em minutos ou horas, ou ainda ser registrado quando a pressão excede um limite de alarme definido (LAMB, 2015).

O monitoramento das variáveis do processo produtivo como por exemplo pressão, temperatura, vazão e pH permitem níveis ideais de trabalho. Caso os níveis saiam da faixa ideal os alarmes entram em funcionamento, e o operador pode interferir rapidamente por meio de uma IHM garantindo a qualidade do produto. Um único operador pode executar mais tarefas ao mesmo tempo com uma menor margem de erro, o que requer menor quantidade de pessoas, reduzindo o custo operacional (CAPELLI, 2013).

### 3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho foi baseada no diagrama de blocos da figura 11. Primeiramente foi feito o acompanhamento diário e o levantamento de dados do sistema de bombeamento de água existente, nesta etapa também foi verificado as variáveis a serem controladas e os dados técnicos dos equipamentos que compõem o sistema. Após, foi definido os dispositivos capazes de suprir as necessidades requeridas para a automação completa do sistema de bombeamento. Em seguida foi criado um diagrama de blocos detalhado do funcionamento do sistema. Na sequência foi feito a programação no CLP simulando cada etapa do programa, após foi criado o sistema supervisorio utilizando a *IHM*, feito simulações e testes de comunicação entre os equipamentos e montado o sistema em bancada.

Figura 11 – Diagrama de blocos das etapas para a elaboração do estudo



Fonte: O autor (2020)

#### 3.1 Sistema de bombeamento de água para o processo de higienização

Em uma indústria frigorífica quando se processa a matéria prima ocorre a perda de gordura animal e sangue, esses rejeitos se depositam nas superfícies das máquinas, paredes, pisos e tetos. Esses rejeitos são considerados contaminantes e devem ser retirados das superfícies a cada intervalo de almoço e troca de turno. Durante o intervalo de troca de turno e almoço é feito o processo de higienização de cada setor individualmente, lavando todas as superfícies de máquinas e equipamentos, incluindo teto, parede e piso.

A higienização interna da planta precisa ser eficiente para evitar contaminações no

produto e deve ser executada o mais rápido possível, devido os intervalos serem curtos. Durante esse processo não é possível utilizar a esfrega devido ao curto espaço de tempo, entretanto é utilizado esguichos que lançam jatos de água para remover toda a sujeira. Estes jatos de água são provenientes do sistema de bombeamento de água instalado na sala de máquinas que fica a 50 metros de distância dos primeiros esguichos. Este sistema é composto por 4 bombas centrífugas que bombeiam a água quente em uma tubulação de 3 polegadas a uma pressão e temperatura definidas pelos *setpoint* do sistema. Essa água pressurizada percorre toda a extensão das tubulações da planta até os 54 esguichos distribuídos dentro da indústria. O jato de água deve ser forte o suficiente para deixar as superfícies limpas, bem como a temperatura da água deve ser quente o suficiente para esterilizar as superfícies e eliminar os rejeitos.

O sistema de bombeamento é totalmente manual deixando margens para erros humanos que ocorrem com frequência durante o processo. Muitas vezes ocorre perda de pressão nos esguichos devido o operador acabar esquecendo de ligar as bombas. Outras vezes a água não chega quente o suficiente na ponta do esguicho, devido o sistema de controle de temperatura não ser muito preciso, ocasionando assim um atraso no processo de higienização.

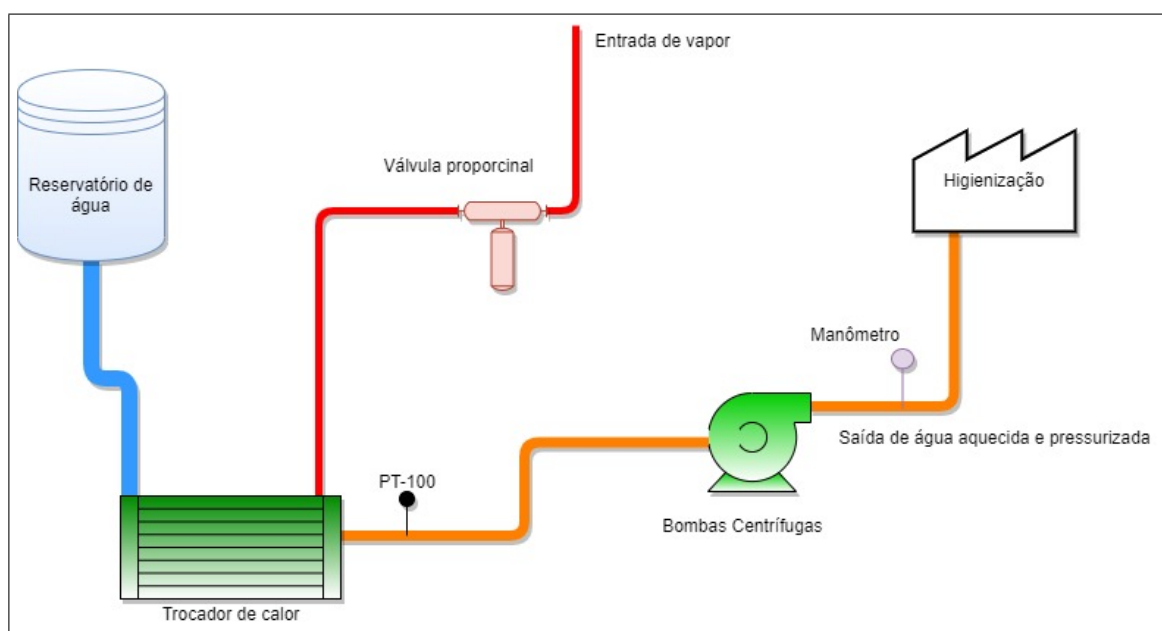
Esses atrasos que ocorrem durante o processo sejam eles por falha humana ou por falha do equipamento acarretam em perdas de produção. Se considerarmos um atraso de 30 minutos de produção devido a perda de pressão nos esguichos a empresa deixa de processar no setor de abate cerca de 10 toneladas de carne. Sendo assim, a ideia inicial desse projeto de automatizar o sistema é para evitar essa perda de produção e também dar uma condição de operação melhor para operador, pois o mesmo operador é responsável por operar toda a sala de máquinas onde inclui compressores de amônia e todo o sistema de ar comprimido.

### 3.1.1 Descrição do funcionamento do sistema

O sistema de bombeamento de água que está instalado na planta e em funcionamento é antigo e totalmente manual. Ele é constituído por 4 turbobombas centrífugas que succionam a água do trocador de calor por meio de uma tubulação e bombeiam a água já aquecida por outra tubulação de 3 polegadas para o interior do frigorífico como mostra a figura 12. O aquecimento da água é feito por duas válvulas de controle proporcional que controlam a entrada de vapor no trocador de calor conforme a leitura de temperatura do sensor PT-100, instalado na tubulação de saída do trocador de calor. Sendo que uma das válvulas é a reserva do sistema. As válvulas estão sendo controladas por dois controladores de temperatura que estão trabalhando com sistema *on/off*. Os motores das bombas são acionados por quatro partidas estrela-triângulo.

Este sistema é controlado por um operador que tem horários pré-definidos para ligar as bombas conforme o horário de higienização de cada setor do frigorífico. Conforme se inicia o processo de higienização o operador liga a primeira e a segunda bomba e verifica o manômetro instalado na tubulação de saída das bombas.

Figura 12 – Sistema de bombeamento de água quente



Fonte: O autor (2020)

Se a pressão diminuir o operador liga mais uma bomba e se a pressão sobe excessivamente o operador desliga uma bomba. Esse processo é feito geralmente logo no início da higienização, o operador fica acompanhando até a pressão se estabilizar. Quando o processo de higienização termina o operador desliga as bombas uma a uma e verifica no manômetro se há necessidade de deixar uma bomba ligada para suprir o consumo de algum esguicho aberto, desta maneira é que o operador controla a pressão da água na tubulação.

Muitas vezes o consumo de água aumenta rapidamente e o operador não percebe devido estar operando outras máquinas, então os higienizadores percebem que a pressão no esguicho diminui e entram em contato via telefone para a sala de máquinas, solicitando a partida de mais uma bomba. Algumas vezes o processo de higienização encerra antes do horário previsto e as bombas ficam trabalhando com os esguichos fechados, acarretando assim o desgaste excessivo das bombas e o consumo desnecessário de energia elétrica.

### 3.1.2 Dados técnicos do sistema

O sistema é composto por 4 máquinas de fluxo, sendo que as bombas são do tipo centrífugas modelo Megabloc 32-200 do fabricante KSB. As bombas são de simples estágio com sucção na horizontal e descarga na vertical. O diâmetro do flange de recalque é de 32 mm e o diâmetro do rotor é de 200 mm. Suporta temperaturas de operação de até 90 °C e rotação de até 3500 rpm. As pressões máximas de trabalho na sucção é de 3 bar e na descarga é de 13 bar. A altura manométrica máxima é de aproximadamente 87 metros e a vazão máxima é de aproximadamente 45 m<sup>3</sup>/h.

Os motores que formam o conjunto são de indução trifásicos, modelo W22 Plus de 12,5 cv, carcaça 132 M, tensão de trabalho 380/600 V, frequência de 60 Hz e FP = 0,89. São de 2 pólos, 3515 rpm, categoria N e fator de serviço 1.15 do fabricante WEG.

Figura 13 – Máquinas de fluxo do sistema



Fonte: O autor (2020)

A temperatura da água é controlada por duas válvulas de controle proporcional que estão conectadas ao trocador de calor. As válvulas são do fabricante Spirax Sarco em aço carbono modelo KE 43 com obturador DN 65 e flange PN 16. Suportam temperaturas de 250°C e

pressões de 40 bar . O curso de trabalho da haste é de 30 mm. O atuador pneumático é da série 5333 de ação reversa, com curso de 30 mm e range da mola de 2 a 4 bar. A máxima pressão de trabalho é de 6 bar e a temperatura de trabalho é de -20 a 110 °C.

O controle do atuador é feito por um posicionador pneumático modelo EP5 com sinal de entrada de 4-20 mA e impedância de entrada de 200 ohms. A tensão máxima de trabalho é 30 volts, o consumo máximo é 0,8 W e os limites de temperatura de trabalho são de -15 a 65 °C. Seu grau de proteção é IP 54 e a pressão de trabalho é de 1.4 a 6 bar.

Figura 14 – Válvula de Controle Proporcional



Fonte: O autor (2020)

O trocador de calor é do tipo casco e tubos, construído em tubo de aço carbono com costura longitudinal. Seu feixe é tubular em cobre, com 188 tubos. É apropriado para troca de calor entre líquido e vapor. O trocador é do fabricante Apema, modelo TST - 125.8. Possui área de troca de  $6,37 \text{ m}^2$  . As conexões das tubulações são de 2 polegadas. A vazão mínima é de 13.540 L/h e a vazão máxima é de 33.840 L/h.

Figura 15 – Trocador de calor do tipo casco e tubos



Fonte: O autor (2020)

### 3.1.3 Acompanhamento do sistema em funcionamento

Durante o estudo e o levantamento dos dados técnicos do sistema de bombeamento, foi feito em paralelo uma planilha de acompanhamento de falhas, que ficou com os operadores da sala de máquinas. Esta planilha tem como ideia principal verificar as piores condições de trabalho para o sistema, como por exemplo a menor ou a maior temperatura e pressão registradas, bem como os horários mais críticos de funcionamento.

O operador verifica e anota a temperatura da água mostrada nos controladores e também a pressão mostrada no manômetro, bem como o dia e horário. Também foi deixado um campo da planilha para que o operador descrevesse brevemente a suposta causa que impactou nas piores condições de leitura dos dados do sistema.

Tabela 1 – Planilha de Acompanhamento

<b>Data</b>	<b>Hora</b>	<b>Pressão (bar)</b>	<b>Temp. (°C)</b>	<b>Reclamação</b>	<b>Ação tomada</b>
07/04/20	17:35	10	54,9	Pressão baixa	Lig. bomba 3
13/04/20	09:41	9,7	56,8	Pressão baixa	Lig. bomba 3
14/04/20	12:23	10,5	55,8	Pressão baixa	Lig. bomba 4
23/04/20	21:15	13	49,5		Deslg. bomba 3 e 4
07/05/20	18:02	10	56,8	Pressão baixa	Manut. bomba 3
01/06/20	12:14	9,5	51,5	Pressão baixa	Lig. bomba 3 e 4

Fonte: O autor 2020

Observando os dados coletados na tabela, é perceptível ver que por mais que se tenha variação de temperatura na água, ela ainda está dentro do requerido que é entre 42 e 60°C segundo informações retiradas do controle de qualidade. Desta maneira a tabela indica que as reclamações frequentes são de pouca pressão no esguicho.

Duas observações são importantes nesta tabela. A primeira é que no dia 23/04 o campo reclamação está em branco pois o operador percebeu que as bombas estavam ligadas após o fim do processo de higienização devido o mesmo ter sido encerrado antes do horário previsto, então a pressão atingiu 13 bar, sendo necessário desligar as bombas. A segunda observação é que no dia 07/05 a reclamação de baixa pressão foi devido a quebra da bomba 3. Também se faz necessário observar que no mês de maio houve menos reclamações de perda de pressão, mesmo tendo uma bomba a menos no sistema, pois três setores da fábrica estavam em férias coletivas, então o consumo de água foi reduzido nos processos de higienização dos setores.

Baseado no acompanhamento do sistema e nas reclamações, foram definidos os valores das variáveis a serem controladas, sendo elas a pressão e a temperatura. A pressão de trabalho utilizada será de 10,5 a 13 bar e a temperatura de trabalho será de 50 a 54 °C.

### **3.2 Automação do sistema**

O sistema de bombeamento de água quente foi totalmente automatizado para operar de forma independente, funcionando sempre o mais próximo possível dos *setpoint* definidos. A função do operador é habilitar o sistema e ficar atento a *IHM* se caso apresentar algum alarme. O sistema trabalha em cima de duas principais variáveis que é a pressão e a temperatura da água. A pressão da água é controlada pelas 4 bombas centrífugas, que são ligadas e desligadas conforme a necessidade pelo CLP a partir das saídas digitais que são controladas por uma entrada analógica, onde está conectada um transdutor de pressão analógico que indica a pressão em tempo real.

A temperatura da água está sendo verificada por um sensor de temperatura do tipo termorresistência, este sensor emite sinais para a entrada do CLP, onde também é feita comparações de temperatura pelos *setpoint* definidos no programa. Conforme ocorre a variação de temperatura o CLP faz a modulação da válvula de controle proporcional por uma saída analógica.

Quando o operador habilita o sistema os sensores coletam os dados de pressão e temperatura e enviam para o CLP. Após o sistema estar em plena condição de trabalho e sem alarmes o CLP faz comparações de pressão para ligar as bombas, por exemplo, se a pressão for maior que 13 bar todas as turbobombas ficam desligadas aguardando a confirmação do CLP. Assim que

os esguichos dentro da fábrica são abertos a pressão na tubulação diminui, conseqüentemente o transdutor de pressão instalado na tubulação de saída das bombas percebe a queda de pressão e comunica o CLP que a pressão diminuiu. Então o CLP aciona a primeira turbobomba, e se a pressão continuar diminuindo a segunda turbobomba é ligada, assim ocorre sucessivamente até a quarta turbobomba, e da mesma maneira quando a pressão na tubulação aumenta as turbobombas são desligadas em cascata conforme a variação de pressão.

O controle de temperatura funciona por comparação entre leitura e *setpoint* definido no CLP, da mesma maneira que o controle de pressão. Assim que a temperatura da água diminuir o CLP verifica essa condição pelo sensor de temperatura que esta fixo na tubulação de saída do trocador de calor e envia um sinal analógico para a válvula de controle proporcional abrir e mandar mais vapor para o trocador de calor. Da mesma forma quando a temperatura aumenta a válvula de controle proporcional vai fechando gradativamente, esta modulação é feita em tempo real pela saída analógica do CLP.

O Sistema também conta com um supervisor que indica qualquer falha que possa ocorrer durante o processo, como por exemplo temperatura baixa, ou falha em uma das bombas. Para melhor entendimento das etapas e das tomadas de decisões, o fluxograma do programa está disposto no apêndice A. Na tabela 2 é possível visualizar as entradas utilizadas no CLP.

Tabela 2 – Lista das entradas digitais e analógicas

<b>Entradas</b>	<b>Descrição do Sinal</b>	<b>Tipo do sinal</b>
M63	Pulso da <i>IHM</i> que liga o sistema	Digital
M64	Pulso da <i>IHM</i> que desliga o sistema	Digital
X000	Sinal de confirmação que a bomba 1 ligou	Digital
X001	Sensor de nível baixo de água ligou	Digital
X002	Sinal de confirmação que a bomba 2 ligou	Digital
X003	Sinal de confirmação que a bomba 3 ligou	Digital
X004	Sinal de confirmação que a bomba 4 ligou	Digital
AI01	Pressão real na tubulação de saída	Analógico
AI02	Temperatura real na tubulação de saída	Analógico

Fonte: O autor (2020)

Na tabela 3 está listado as saídas digitais para o acionamento das bombas e também as saídas de alarmes, utilizadas como sinalização para as possíveis falhas apresentadas durante o processo.

Tabela 3 – Lista das saídas digitais

Saídas	Descrição do Sinal	Tipo do sinal
Y014	Habilita o funcionamento da bomba 1	Digital
Y001	Habilita o funcionamento da bomba 2	Digital
Y002	Habilita o funcionamento da bomba 3	Digital
Y003	Habilita o funcionamento da bomba 4	Digital
Y004	Alarme de pressão baixa	Digital
Y005	Falha na bomba 1	Digital
Y006	Falha na bomba 2	Digital
Y007	Falha na bomba 3	Digital
Y010	Falha na bomba 4	Digital
Y011	Alarme de temperatura baixa	Digital

Fonte: O autor 2020

### 3.3 Dispositivos selecionados para a automação

Durante o estudo e acompanhamento do funcionamento do sistema foram selecionados os dispositivos a serem utilizados nesta automação, buscando sempre utilizar ao máximo os dispositivos que já estão em operação no sistema, para baratear o custo de uma possível instalação e melhoria do sistema. Como neste trabalho não foram instalados os dispositivos no sistema real de bombeamento de água, os sinais dos sensores foram simulados por variações de sinais analógicos e digitais nas entradas do CLP.

Os principais dispositivos para esta automação são abordados dentro deste capítulo, sem levar em consideração os dispositivos mais simples como blocos de contatos, contadores, botoeiras, dispositivos de proteção de sobrecarga e curto circuito.

#### 3.3.1 CLP

O CLP escolhido para esta automação foi o TPW04-340BR-D do fabricante WEG. A escolha deste CLP foi devido a fácil disponibilidade para testes, pois a empresa frigorífica onde foi realizado este estudo possui este dispositivo em estoque. Também foi escolhido pois atende todos os requisitos necessários para realizar a automação deste sistema. A figura 16 apresenta o CLP escolhido

Este CLP possui saídas a relé, 40 pontos de E/S originais, sendo elas 24 pontos de entradas digitais e 16 pontos de saídas digitais, que podem ser expandidos até 384 pontos

utilizando uma fonte de alimentação externa. Suporta expansão de entradas analógicas com até 56 canais e para as saídas analógicas até 8 canais. Possui comunicação RS485, PG, USB, RTC embutido além de PWM, chave RUN/STOP e memória flash. Também conta com alimentação e entradas em 24 Vcc e saídas que podem ser utilizadas em 30Vcc/2A e 250Vca/2A.

O *software* utilizado para a programação no CLP é o TPW-PCLINK versão 1.11, disponível no site da WEG gratuitamente. A linguagem de programação escolhida foi a *Ladder*.

Figura 16 – Controlador Lógico Programável TPW04



Fonte: Manual do TPW04

Para o controle de temperatura foi necessário utilizar o módulo de expansão analógico TPW04-4RD do fabricante WEG, possui 4 canais de entrada PT-100 de 12-bits, conforme mostra a figura 17. Este módulo serve para fazer a leitura do sensor de temperatura do tipo termoresistência PT-100. Seguindo as principais especificações do módulo, a faixa de temperatura da entrada é de -100 a 600 °C (60 a 313) e alimentação 24 Vcc.

Também foi necessário utilizar um segundo módulo de expansão analógico TPW04-3MA do fabricante WEG para fazer a leitura do transdutor de pressão e para controlar a válvula de controle proporcional. Este módulo pode trabalhar com as entradas e saídas analógicas controladas por corrente e por tensão, sendo de 0 a 10 V, quanto de 4 a 20 mA ou 0 a 20 mA. A alimentação deste módulo é em 24 Vcc. A figura 18 demonstra o módulo analógico.

Figura 17 – Módulo de expansão analógico TPW04-4RD



Fonte: Manual do TPW04

Figura 18 – Módulo de expansão analógico TPW04-3MA



Fonte: Manual do TPW04

### 3.3.2 *Soft-Starter*

O *soft-Starter* escolhido foi o PSR25-600-70 do fabricante ABB. O modelo escolhido tem tensão operacional de até 400 Vca, potência de 11 kW e corrente nominal de trabalho de 25 A, sendo capaz de suprir a necessidade de partida dos motores de 12,5 cv acoplados nas turbobombas. Sua principal característica é a rampa de aceleração na partida que pode ser configurada de 1 a 20 segundos, há também a possibilidade de utilizar a parada em rampa que pode ser configurada de 0 a 20 segundos. Este modo de parada conta com a redução de 2% da tensão para cada segundo aumentado de rampa de parada. O modelo conta também com um ajuste de tensão de partida que pode variar de 40 a 70% da tensão na partida.

Figura 19 – *Soft-Starter* PSR25-600-70



Fonte: Manual da *soft-starter*  
ABB

### 3.3.3 Transdutor de Pressão

O transdutor de pressão utilizado será o MBS 1700 do fabricante DANFOSS, o qual possui corpo em aço inoxidável impedindo a oxidação. A escala de pressão é de 0 a 16 bar e o sinal analógico de saída é de 4-20 mA. Pode ser imerso a uma temperatura ambiente de até 85 °C e suporta uma temperatura do fluido de até 120 °C. Sua tensão de alimentação é de 9 a 32 Vcc.

Figura 20 – Transdutor de Pressão Danfoss MBS 1700



Fonte: Manual do transdutor Danfoss MBS 1700

### 3.3.4 IHM

Para a montagem do sistema supervisório foi utilizado a *IHM* modelo MT8071IP do fabricante WEG. A escolha deste componente foi devido a compatibilidade do equipamento com o *CLP* escolhido para executar o projeto de automação. Possui tela de 7 polegadas com *touch screen* resistivo e resolução de 800 x 480 *pixels*.

Figura 21 – IHM WEG 8071IP



Fonte: Manual da IHM WEG 8071IP

A comunicação pode ser feita por RS232/RS485 ou ainda via *Ethernet*. A alimentação

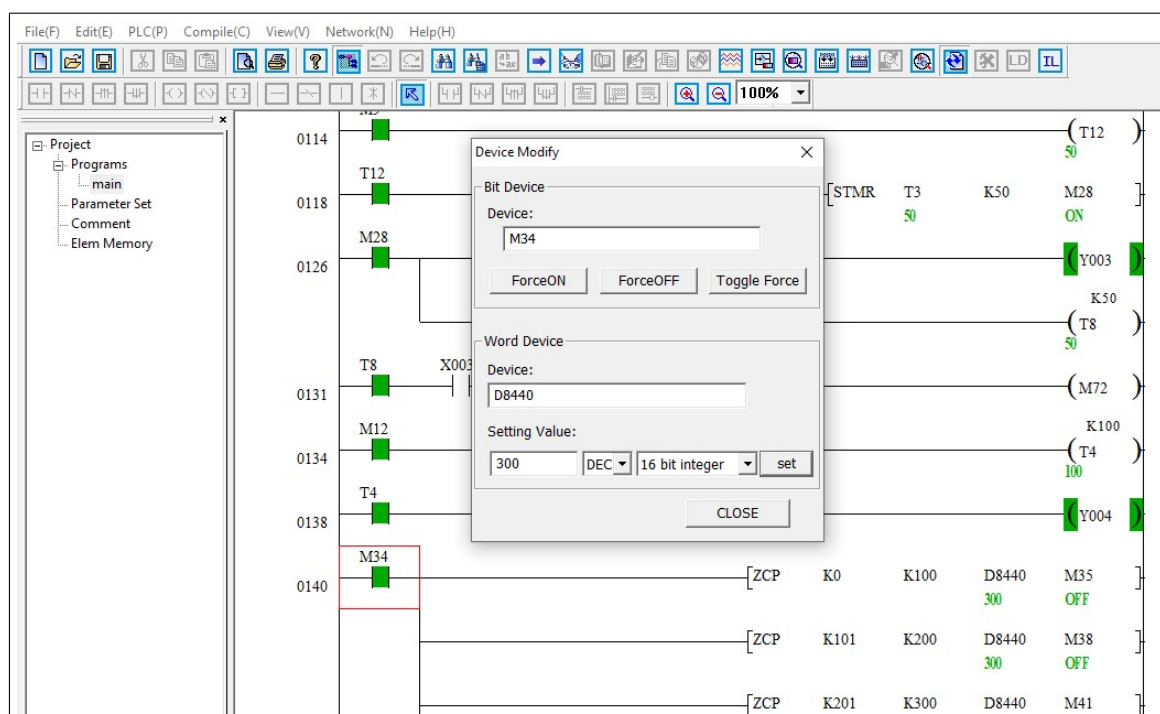
é 24Vcc e suporta temperaturas de trabalho de 0 à 50 C°. O *software* utilizado para o desenvolvimento do programa é o *EasyBuilder Pro* versão 6.03.02 disponível gratuitamente pelo fabricante.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta fase foi descrito os resultados obtidos durante o desenvolvimento do trabalho conforme disposto na metodologia, bem como as simulações computacionais feitas no processo de automação e a montagem da bancada experimental para testes.

A plataforma utilizada para a construção do programa em linguagem *ladder* no CLP foi o *software* TPW-PCLINK. Esta plataforma possibilita simular computacionalmente cada linha de programação criada durante o projeto. A plataforma permite forçar o funcionamento das entradas e saídas digitais, analógicas, temporizadores, contadores, comparadores e ainda comunicar ao CLP para verificar fisicamente em tempo real como as entradas e saídas estão se comportando. Esta flexibilidade do *software* facilitou muito a correção de erros que ocorreram durante este processo de programação. Na figura 22 é possível visualizar como funciona a simulação.

Figura 22 – Plataforma virtual TPW-PCLINK



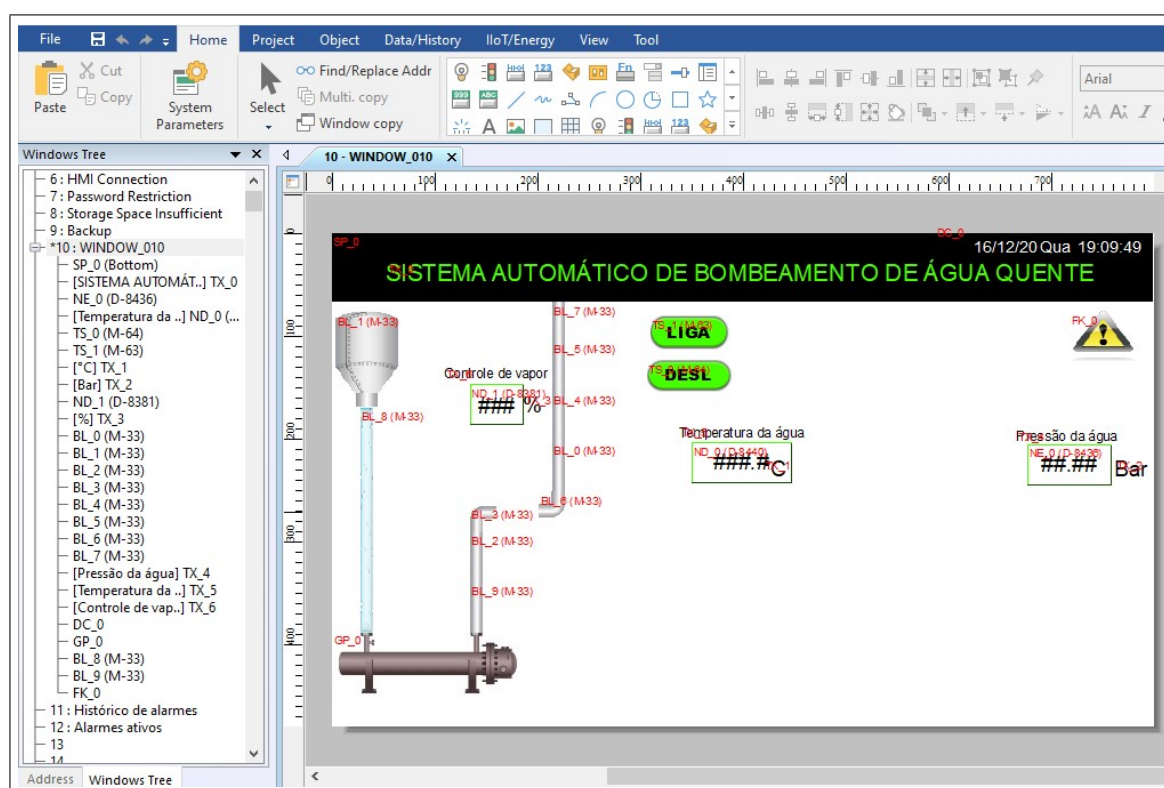
Fonte: O autor (2020)

Os blocos que são apresentados em verde sinalizam que o seu estado lógico está em funcionamento. As entradas analógicas foram configuradas e endereçadas para que o CLP consiga se comunicar com os módulos de expansão analógicos. O controle de pressão da água foi feito utilizando comparadores alocados dentro do *software*, onde o programa compara os valores dos *setpoint* definidos de (0-2000) que correspondem a leitura da entrada analógica

do transdutor de pressão de 4-20mA. O controle de temperatura também foi feito baseado em comparadores, onde o sensor PT-100 pode ler temperaturas entre  $-100^{\circ}\text{C}$  e  $600^{\circ}\text{C}$  que correspondem a valores de *setpoint* de (60-313). Os temporizadores e os *setpoint* utilizados no programa foram configurados para testes, podendo ser alterados facilmente caso haja uma possível aplicação.

A lógica de programação foi feita com base no fluxograma do Apêndice A e no acompanhamento do sistema de bombeamento de água em funcionamento. A programação da *IHM* foi criada a partir do *software EasyBuilder Pro* mostrado na figura 23.

Figura 23 – *Software EasyBuilder Pro*



Fonte: O autor (2020)

O *software* se mostrou bem completo na questão de utilidades para sistemas supervisórios. O *software* dispõe diversas ferramentas que tem possibilidade de simulações tanto *online* quanto *offline*, que facilitou muito os testes conforme o programa ia sendo criado.

Com o intuito de facilitar a operação da planta e identificar falhas foi criado um sistema supervisório que pudesse operar e se autoverificar em tempo real de forma independente. A única intervenção humana possível será habilitar o funcionamento do sistema ou intervir caso algum erro seja apresentado na *IHM*.

A programação da *IHM* foi feita de maneira bem intuitiva para que qualquer operador

com o mínimo de conhecimento do sistema de bombeamento de água pudesse operá-la de maneira fácil. A figura 24 apresenta a tela inicial do sistema supervisor, onde é possível ligar, desligar o sistema e visualizar qual é a pressão e a temperatura em tempo real. Nesta tela foi desenvolvido toda a estrutura real da planta. É possível identificar o trocador de calor, a válvula de controle proporcional, o reservatório de água e as quatro turbobombas. As alterações de temperatura da água são lidas pelo sensor PT-100 que envia as informações para o *CLP*. O *CLP* controla a porcentagem de abertura da válvula de controle proporcional conforme os *setpoint* definidos no programa.

O sistema ficará pressurizado e em espera. Caso haja queda de pressão na tubulação, as turbobombas irão entrar em operação em cascata conforme os *setpoint* definidos no Apêndice A. Baseado nesta lógica de funcionamento foram feitas simulações no sistema para verificar a confiabilidade do programa.

Na figura 24, o sistema está ligado e pronto para operar. Como a pressão está a cima de 13 bar as bombas estão desligadas aguardando uma possível queda de pressão para entrar em operação. Vale lembrar que essas simulações de pressão e temperatura foram feitas computacionalmente.

Figura 24 – Tela Inicial do Sistema Supervisor



Fonte: O autor (2020)

Na figura 25 o sistema está trabalhando com uma pressão de água na tubulação de 12,48 bar, baseado nas setas de indicação, é possível visualizar que a bomba 1 entrou em operação

conforme o *setpoint* definido no programa. Simulando uma temperatura de 49,1°C é possível visualizar que a válvula de controle proporcional opera com 62% da sua capacidade.

Figura 25 – Teste turbobomba 1



Fonte: O autor (2020)

Simulando um consumo maior de água, a pressão na tubulação diminui. Quando a pressão reduz abaixo de 12 bar a segunda turbobomba entra em operação. A figura 26 indica que a bomba 2 entrou em operação, pois a pressão real na tubulação é de 11,63 bar. Com o aumento do consumo de água a temperatura diminuiu para 41,5°C, nesta faixa de temperatura a válvula proporcional atinge o seu *setpoint* máximo dando 100% de passagem de vapor.

Aumentando um pouco mais o consumo de água a pressão reduz a 10,92 bar conforme indica a figura 27. A bomba 3 entra em operação devido seu *setpoint* de pressão ser de 11 bar. A temperatura da água ultrapassa seu limite máximo definido de 60 °C fechando totalmente o atuador da válvula de controle proporcional.

Figura 26 – Teste turbobomba 2



Fonte: O autor (2020)

Figura 27 – Teste turbobomba 3

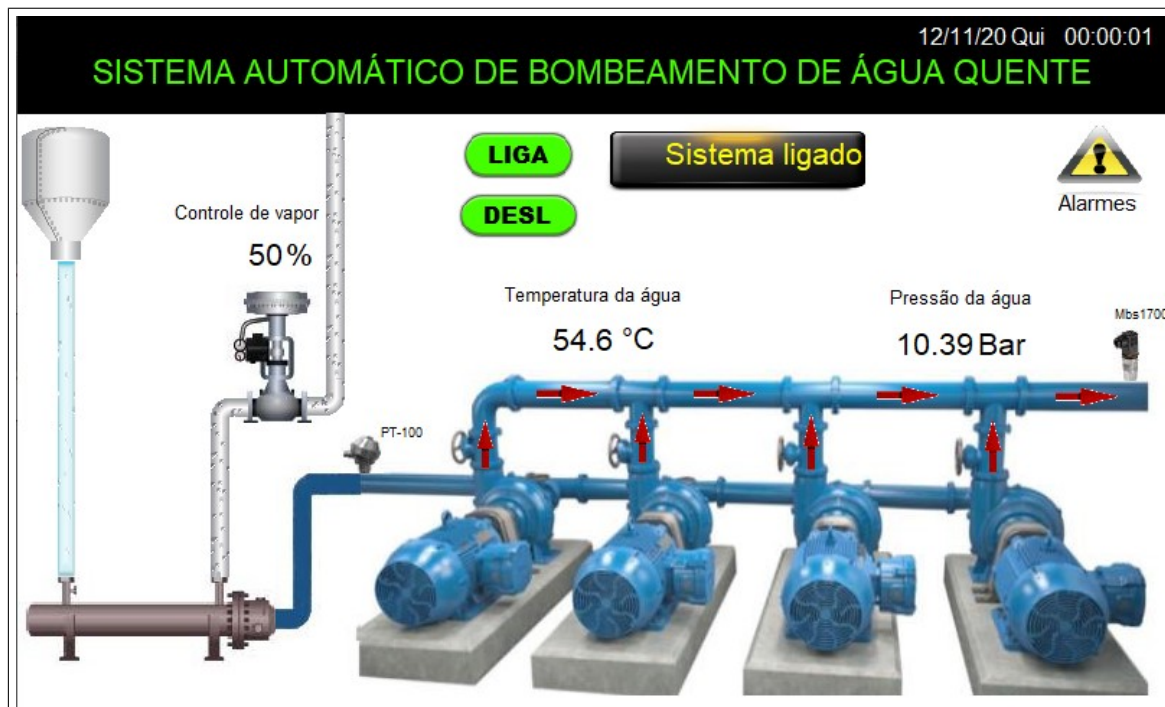


Fonte: O autor (2020)

Na figura 28 foi simulado o consumo máximo de água da planta frigorífica, reduzindo a pressão para menos de 10,5 bar na tubulação. Desta forma a bomba 4 entra em operação mantendo a pressão em 10,39 bar. A temperatura da água de 54,6 °C indica que a válvula

proporcional está operando com 50% de sua capacidade.

Figura 28 – Teste turbobomba 4



Fonte: O autor (2020)

O sistema possui gráficos de temperatura e pressão em tempo real. Esses gráficos facilitam a identificação de falhas durante o processo de higienização, já que a *IHM* tem a capacidade de armazenar os dados por mais de 24 horas.

A figura 29 apresenta o gráfico de temperatura da água em relação ao tempo. A escala definida no gráfico foi de 0 a 100°C para facilitar a visualização. É possível identificar neste modelo de gráfico por exemplo quedas bruscas de temperatura que podem ocorrer durante o processo. Se ocorrer algum evento durante o processo de higienização, basta clicar no ponto exato em que ocorreu o evento no gráfico e identificar o dia, a hora e o segundo ocorrido, apresentado pelo relógio em azul no canto superior esquerdo da tela mostrado na figura 29. As variações de temperatura exibidas no gráfico foram feitas utilizando um potenciômetro de alta precisão conectado no módulo analógico TPW04-4RD simulando um sensor de temperatura tipo PT-100.

Figura 29 – Gráfico de temperatura da água



Fonte: O autor (2020)

A figura 30 apresenta o gráfico de pressão da água em função do tempo. As turbobombas irão trabalhar entre 10,5 e 13 bar no sistema real. Na montagem da bancada de testes foi utilizado uma turbobomba com capacidade de pressão de trabalho 5 bar. Para uma melhor visualização do gráfico foi definido uma escala de 0 a 8 bar.

Durante a simulação da figura 30 foi simulado variações no consumo da água utilizando um registro na tubulação de saída da turbobomba da figura 33. O intuito do registro é simular os 54 esguichos que estão distribuídos dentro da fábrica. A leitura de pressão é feita por um transdutor de pressão que está conectado entre a turbobomba e o registro. Quanto mais fechado estiver o registro de saída da turbobomba maior será a pressão naquele ponto e quanto mais aberto estiver o registro menor será a pressão no mesmo ponto.

Figura 30 – Gráfico de pressão da água



Fonte: O autor (2020)

Os *setpoint* de pressão foram definidos conforme a capacidade da bomba utilizada em bancada. Para identificar se o programa está acionando as bombas em cascata, foi fixado lâmpadas na bancada para indicar as bombas 2, 3 e 4 mostrado na figura 33. Os *setpoint* definidos para acionar as bombas estão indicados na tabela 4.

Tabela 4 – *Setpoint* de pressão das turbobombas

Pressão (Bar)	Descrição	Saídas do CLP
3,2	Aciona a bomba 1	Y014
2,4	Aciona a bomba 2	Y001
1,5	Aciona a bomba 3	Y002
0,8	Aciona a bomba 4	Y003
0,4	Alarme de pressão baixa	Y004

Fonte: O autor (2020)

O sistema supervisão conta com uma tela de histórico de alarmes. Todo e qualquer evento que ocorrer no sistema ficará registrado na tela da figura 31. Esta tela registra o momento

exato em que ocorre algum defeito no sistema. É possível visualizar qual foi o alarme, data, e a hora em que ocorreu o evento. Na figura 31 foram inseridas duas cores para identificar os alarmes. A cor azul significa que o alarme já foi inibido. A cor vermelha significa que o alarme ainda está ativo.

Figura 31 – Tela do Histórico de Alarmes

HISTÓRICO DE ALARMES		
20/11/20	14:54:26	Nível baixo de água
20/11/20	14:56:36	Pressão baixa
20/11/20	15:02:56	Falha na bomba 3
20/11/20	15:17:11	Falha na bomba 4
20/11/20	15:18:37	Pressão baixa
20/11/20	15:18:38	Pressão baixa
20/11/20	15:31:44	Nível baixo de água
20/11/20	15:32:21	Falha na bomba 4

Voltar      Alarmes ativos

Fonte: O autor (2020)

Para facilitar a identificação de algum evento de alarme foi criado um ícone de aviso na tela inicial. O ícone representado pela figura 32 foi programado para ficar cintilando, chamando assim a atenção do operador.

O alarme de pressão baixa apresentado na figura 32 é temporizado pois duas situações podem ocorrer. A primeira situação que pode ocorrer é uma queda brusca de pressão na tubulação, devido ao consumo muito grande de água no instante em que se inicia a higienização de mais de um setor da fábrica. Dada esta situação o alarme não entrará em exibição, desde que o sistema reestabeleça a pressão na tubulação dentro de 1 minuto que seria o tempo suficiente para o sistema acionar todas as bombas e a pressão se estabelecer na tubulação. A segunda situação é quando a pressão não se estabelece dentro do tempo programado o sistema apresenta o alarme de pressão baixa. Se o alarme não desaparecer automaticamente e a pressão não aumentar, significa que a tubulação está rompida em alguma local ou existe vazamento de água em algum ponto da tubulação.

Figura 32 – Tela de aviso de falhas



Fonte: O autor (2020)

Após ter sido concluído todas as simulações computacionais necessárias para confirmar a confiabilidade do sistema supervisório, foi construído uma bancada experimental disposta na figura 33. A bancada é composta pelos seguintes componentes: uma *IHM* WEG 8071ip, um *CLP* WEG TPW04, um módulo de expansão analógica 3MA, um módulo de expansão analógica 4RD, um *soft starter* ABB, um disjuntor monofásico de 10A para a proteção da fonte, um disjuntor trifásico de 16A para proteção do motor da bomba, uma Turbobomba periférica FAMAC de 0,9 cv, um transdutor de pressão DANFOSS Mbs 1700, uma fonte chaveada 24Vcc, um registro tipo globo para ajustar a vazão da água, uma válvula de retenção para evitar o retorno da água pela bomba, uma caixa da água de 30 litros, tubulações de PVC de 1 polegada, duas chaves on/off utilizadas para simulação de falhas e três lâmpadas que simulam a bomba 2, 3 e 4.

A bancada se tornou muito útil para realização dos ajustes finos na programação do sistema supervisório. A bancada proporcionou facilidade para simular todos os eventos de alarmes programados e verificar como o sistema reagia trabalhando como uma planta real.

A tabela 5 indica a cotação de preços dos equipamentos principais para automatizar o sistema de bombeamento de água existente.

Figura 33 – Bancada de testes



Fonte: O autor (2020)

Tabela 5 – Cotação dos preços dos equipamentos

<b>Equipamento</b>	<b>Preço</b>	<b>Data da cotação</b>
<i>IHM</i>	R\$ = 1.800,00	15/10/2020
<i>CLP TPW04</i>	R\$ = 3.769,99	15/10/2020
Expansão 4RD	R\$ = 2.614,00	29/10/2020
Expansão 3MA	R\$ = 2.355,49	29/10/2020
<i>Soft Starter ABB</i>	R\$ = 1.699,99	20/11/2020
Transdutor Danfoss	R\$ = 1.200,00	03/11/2020

Fonte: O autor (2020)

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho propôs um estudo e implementação em bancada sobre um sistema de bombeamento de água quente para uma planta frigorífica. A implementação da automação industrial se torna cada vez mais utilizado para melhorias de processos industriais, visando reduzir erros humanos e paradas de produção que influenciam diretamente no custo operacional da planta.

Baseado nos dados coletados no sistema de bombeamento de água existente, foi possível identificar quais eram as variáveis a serem controladas e quais eram os principais defeitos que ocorriam durante o processo. Após a verificação dos dados foram definidos os materiais e os métodos utilizados para que o sistema operasse totalmente automático e livre da ação humana. A automação possibilitou fazer o controle das variáveis de pressão e temperatura. Dessa forma o sistema se auto ajusta buscando sempre trabalhar o mais próximo possível dos *setpoints* que foram definidos no *CLP*.

O *CLP* processa as informações que recebe dos sensores analógicos e digitais e decide qual a ação irá tomar. O sistema supervisorio apresenta em tempo real na *IHM* os gráficos de temperatura e pressão. Qualquer evento que ocorrer durante o processo de higienização fica gravado no histórico de falhas, disponível para os operadores acessar a qualquer momento, facilitando a identificação de defeitos e agilizando o trabalho da equipe de manutenção.

A bancada experimental se mostrou muito competente nos testes, deixando claro a confiabilidade do sistema supervisorio e da automação como um todo. Os dispositivos utilizados na automação foram escolhidos para terem similaridade de comunicação, facilitando a implementação em bancada. O trabalho proposto se mostrou oportuno para uma aplicação real, pois atendeu a todas as condições impostas em simulações computacionais e testes em bancada, podendo melhorar a condição operacional e prevenindo possíveis erros humanos nas tomadas de decisões.

### 5.1 Sugestão para trabalhos futuras

Como sugestão de continuação do trabalho, existe a possibilidade de inserir um controle de vazão de água para trabalhar em paralelo com o controle de pressão. Outro ponto que poderia ser implementado seria a aplicação de inversores de frequência para modular a velocidade das turbobombas, deixando assim o sistema ainda mais estável. Outra sugestão seria inserir um segundo sensor de temperatura na tubulação de entrada de água do sistema, para se ter um

controle de temperatura mais preciso. Por fim, poderia ser feito um controle no reservatório de água para alertar o nível de água, e inserir um sensor para confirmar a existência de vapor no sistema.

## REFERÊNCIAS

- ALÉ, J. A. **Sistemas Fluidomecânicos - Sistema de bombeamento**. Porto Alegre: PUCRS - FENG, 2010.
- BIRCK, C. **Estudo do Controle de Vazão de Bombas de Água para Redução de Custos de Processo Industrial**. Trabalho de conclusão de curso - Curso Superior de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.
- CAPELLI, A. **Automação Industrial: Controle e Movimento de Processos**. 3ª ed. São Paulo: Ed. Érica, 2013.
- DO CARMO, P. F. **Proposta de Modelo para Descrição da Vazão em Válvulas Direcionais Proporcionais, com Efeito de Vazamento**. 2003, 134f. Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica. Florianópolis, 2003.
- FILHO, G. F. **Bombas, Ventiladores e Compressores**. 1ª ed. São Paulo: Ed. Érica, 2015.
- FOX, R. W; PRITCHARD, P. J; MCDONALD, A. T. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2011.
- FRANCHI, C. M. **Acionamentos Elétricos**. 4ª ed. Sao Paulo: Ed. Erica, 2013.
- FRANCHI, C. M; CAMARGO, V .L. A. **Controladores Lógicos Programáveis: Sistemas Discretos**. 2ª ed. São Paulo: Ed. Érica, 2009.
- GARCIA, V. **Sensor de pressão microeletrônico baseado no efeito piezomos**. 2006, 120f. Dissertação de Mestrado submetida à Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Campinas, 2006.
- GEORGINI, M. **Automação aplicada: Descrição e Implementação de Sistemas Sequenciais com PLCs**. 9ª ed. São Paulo: Ed. Érica, 2007.

GOMES, H. P.; DE CARVALHO, P. S. O. **Manual de sistemas de bombeamento: Eficiência Energética**. 1ª ed. João Pessoa: Ed. Universitária, 2012. INCROPERA, F. P. et al.

Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. 6ª ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2008.

LAMB, F. **Automação Industrial na Prática**. 1ª ed. Porto Alegre: Ed. AMGH, 2015.

SOLOMAN, S. **Sensores e sistemas de controle na indústria**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2012.

MORAES, C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2010.

NASCIMENTO, G. **Comandos Eletricos - Teoria e Atividades**. 1º ed. Sao Paulo: Ed. Erica, 2013.

PETRUZELLA, F. D. **Motores eletricos e acionamentos**. 1º ed. Porto Alegre: Ed, AMGH, 2013.

PETRUZELLA, F. D. **Controladores lógicos programáveis**. 4º ed. Porto Alegre: Ed, AMGH, 2014.

RIBEIRO, M. A. **Válvulas de Controle e Segurança**. 5ª ed. Salvador: [s.n], 2003.

RODRIGUES, E.P. **Estudo e desenvolvimento de sistema de automação de uma linha de farinha de vísceras de subproduto frigorífico**. 2017. 97f. Trabalho de conclusão de curso – Engenharia Elétrica, Universidade Regional Integrada. Erechim, 2017

ROCHA, S. A. et al. **Operador de Processos Químicos Industriais**. Instituto Federal do Paraná. Ed. IFPR, 2012.

ROMANO, R. A. **Identificação de Processos Não-Lineares e Quantificação de Atrito em Válvulas de Controle**. 2010. 160f. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Engenharia. São Paulo, 2010.

ROSA, S. B. D.; MÜLLER, D.; BARRA, G. M. D. O. **Obtenção de sensor de pressão à base**

**de poli(etileno-co-acetato de vinila) com polipirrol ou polianilina.** *Exacta*, vol. 8, núm. 1, 2010, p. 27-34. Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2010.

SILVEIRA, P. R.; SANTOS, W. E. **Automação e Controle Discreto.** 9ª ed. São Paulo: Ed. Érica, 1998.

SOUSA, M. A. D. B. **Estudo Comparativo entre a Aplicação de Sistemas Dedicados e a Utilização de Controladores Lógico-Programáveis na Automação de Sistemas Prediais.** 2004. 143f. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Mestre em Engenharia. São Paulo, 2004.

STURARO, A. Z. **Automação de Bombas Dosadoras com Auxílio de Controlador Lógico Programável.** 2009. 58f. Monografia apresentada à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade São Francisco Campinas. São Paulo, 2009.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. D. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações.** 8ª ed. São Paulo: Ed. Erica, 2011.

ZANCAN, M. D. **Controladores Programáveis.** 3ª ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria: Colégio Técnico Industrial, 2010, 54f.

**APÊNDICE A – Fluxograma da automação de um sistema de bombeamento de água quente.**

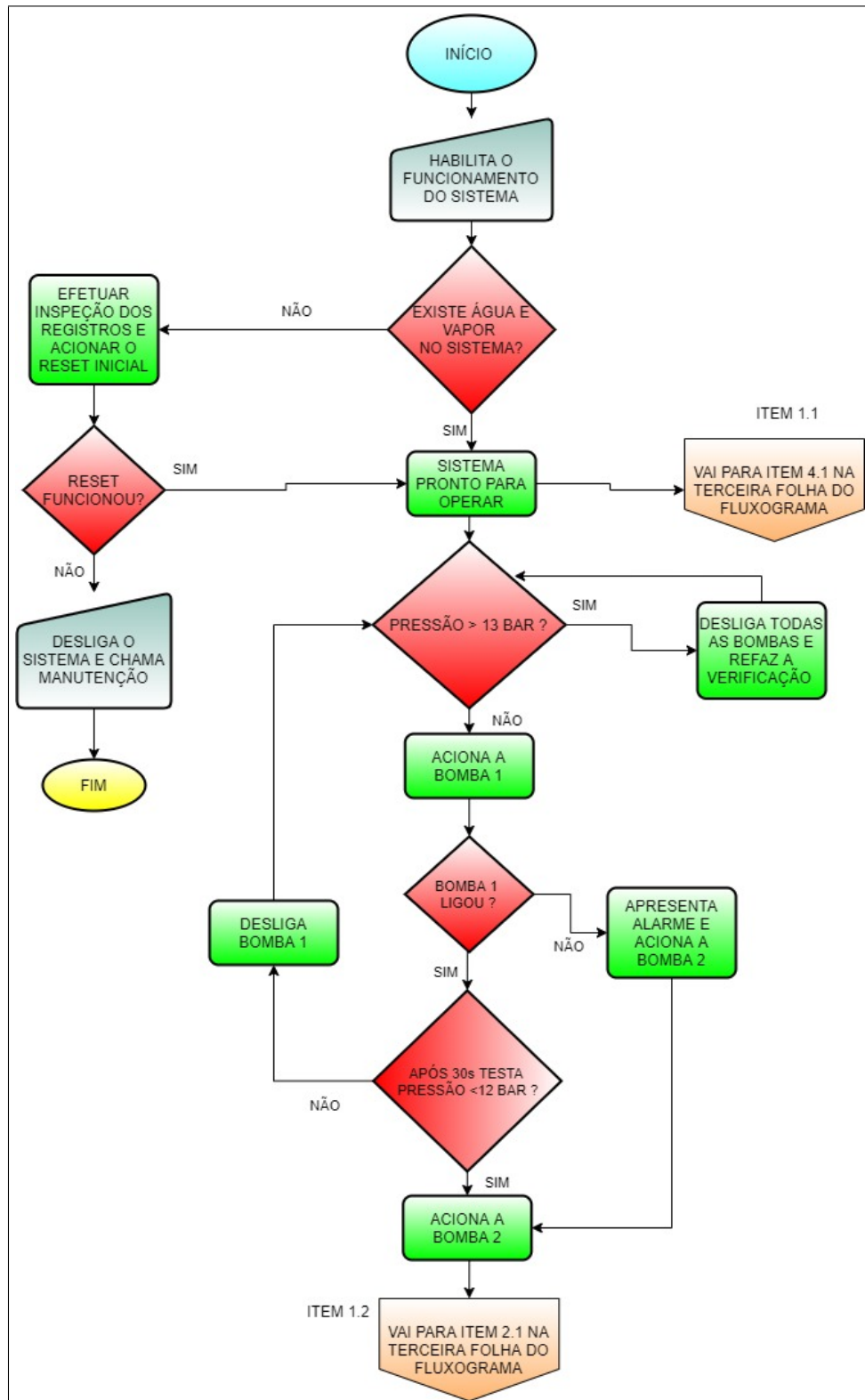


Figura A.1 – Continuação do Fluxograma do programa em CLP.

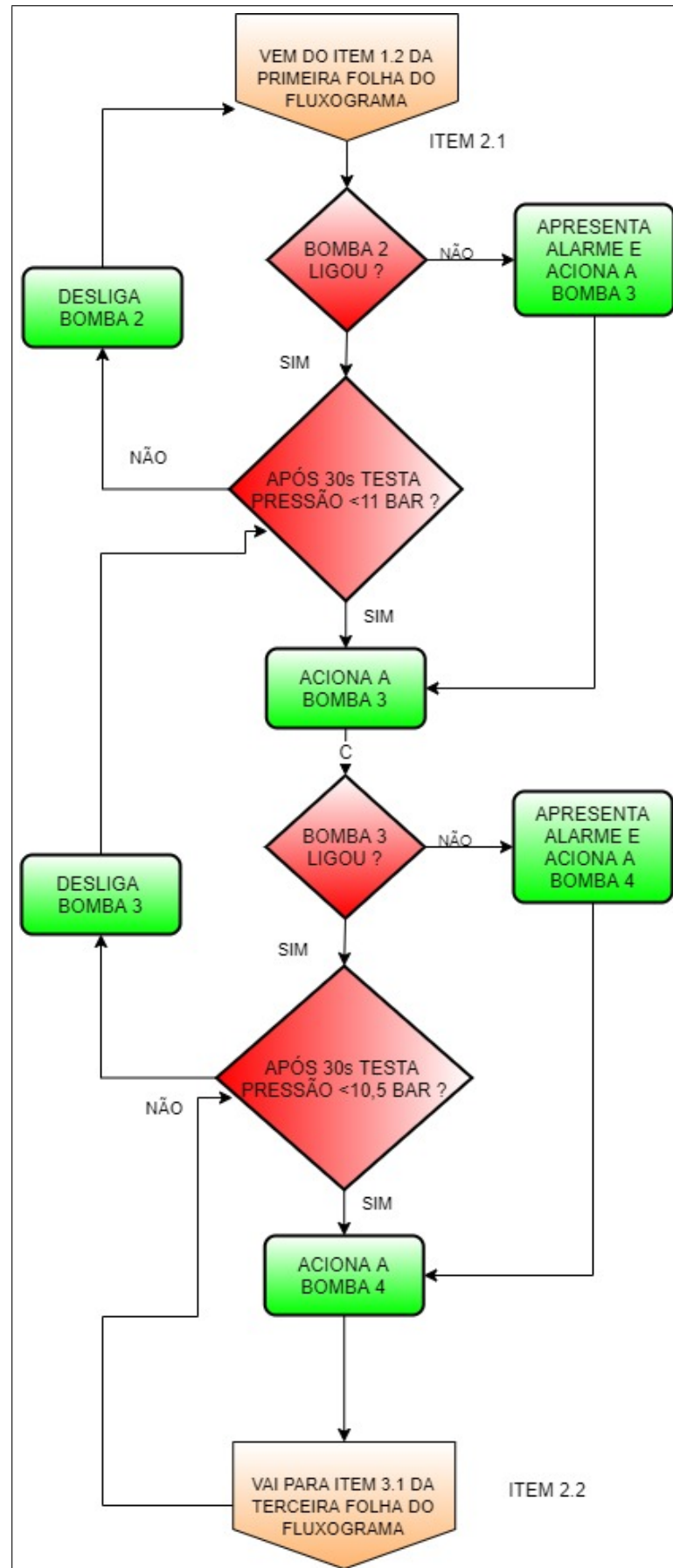


Figura A.2 – Continuação do Fluxograma do programa em CLP.

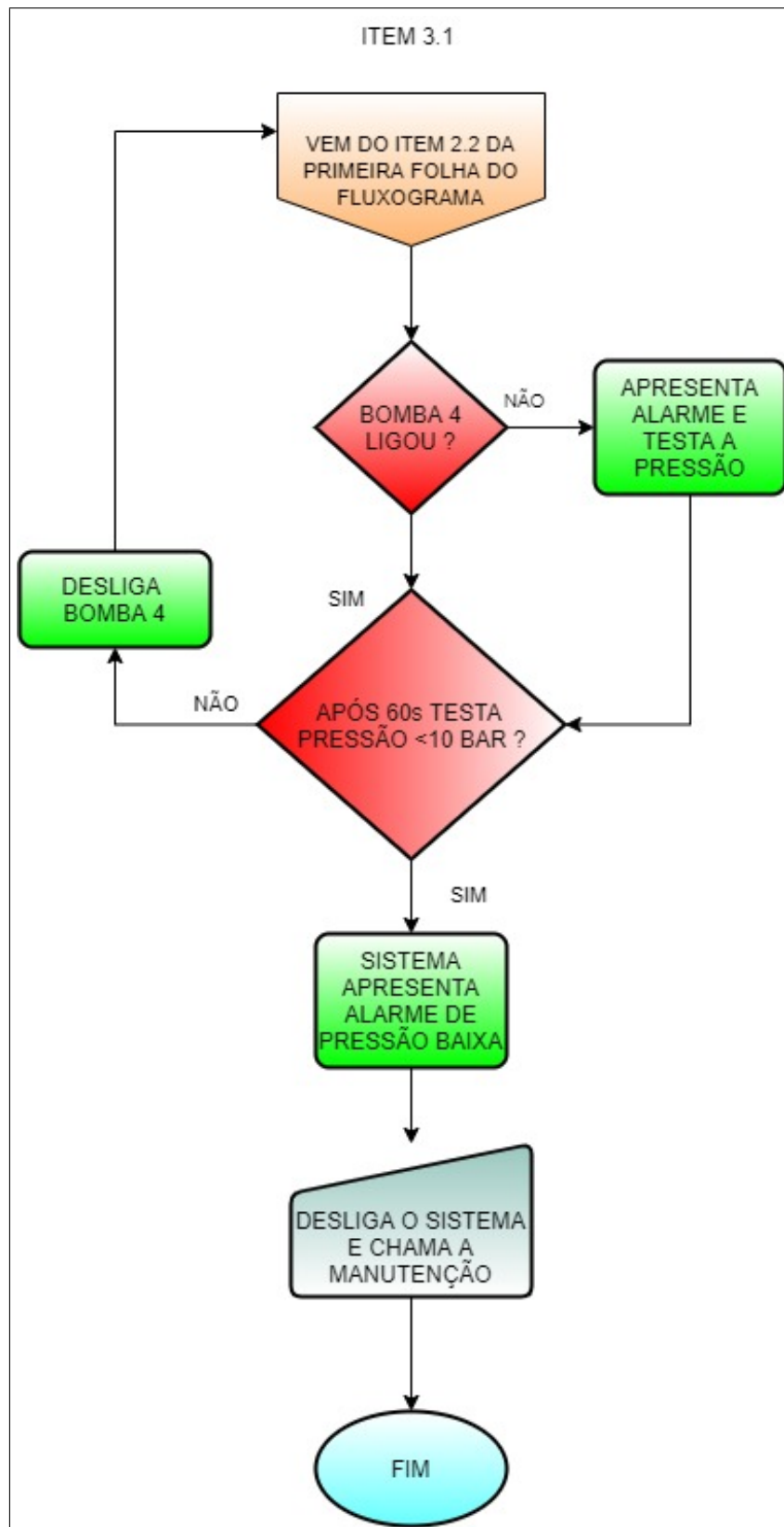
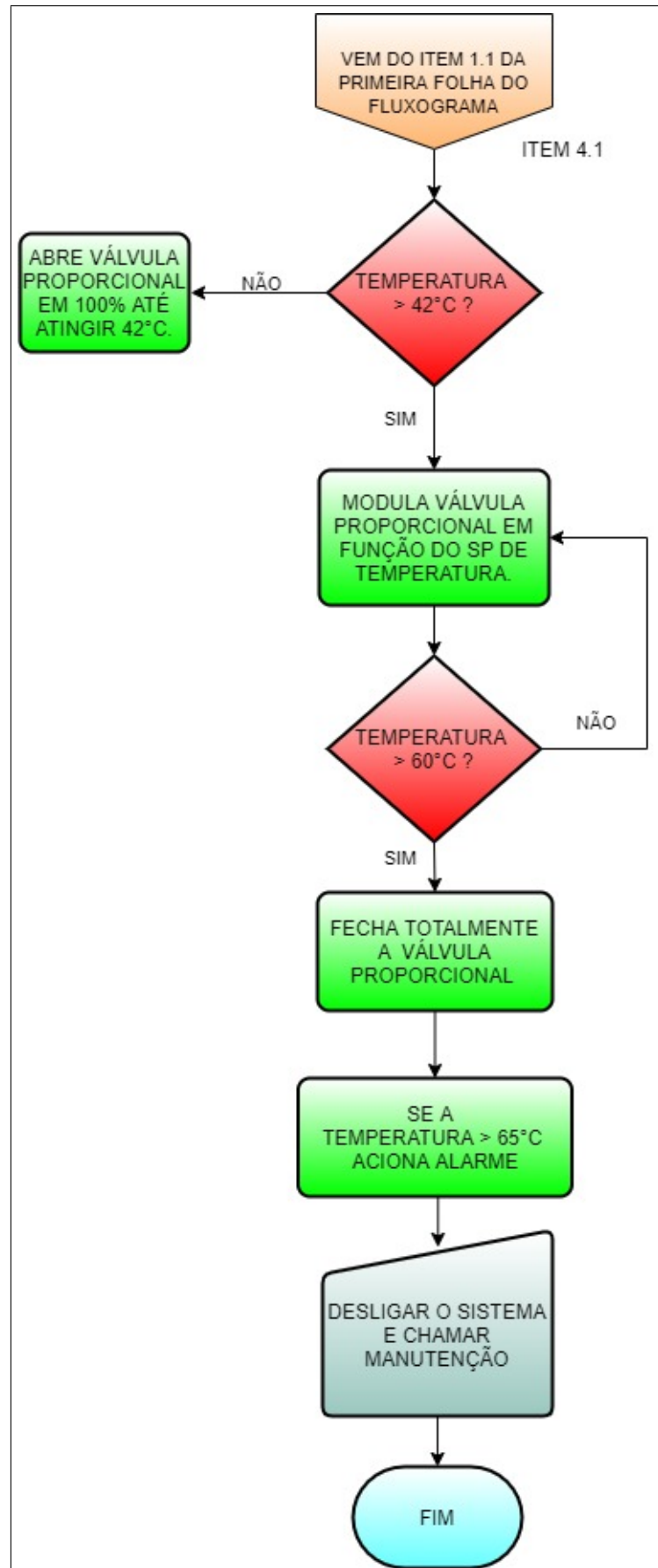


Figura A.3 – Continuação do Fluxograma do programa em CLP.





## APÊNDICE B – Lógica de programação em *Ladder* do sistema

