



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

ANDRÉ QUEIROZ MOTA DE SOUSA

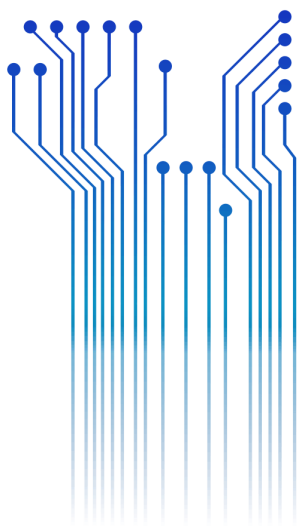


Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

RELATÓRIO DE ESTÁGIO
AUTOMAÇÃO DE UMA PLANTA PILOTO DE TROCA DE CALOR



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2017

ANDRÉ QUEIROZ MOTA DE SOUSA

AUTOMAÇÃO DE UMA PLANTA PILOTO DE TROCA DE CALOR

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido
à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Instrumentação Eletrônica e Controle

Orientador:

Professor Rafael Bezerra Correia Lima, D. Sc.

Campina Grande
2017

ANDRÉ QUEIROZ MOTA DE SOUSA

AUTOMAÇÃO DE UMA PLANTA PILOTO DE TROCA DE CALOR

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido
à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Instrumentação e Controle

Aprovado em 06 / 09 / 2017

Professor Avaliador

Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Rafael Bezerra Correia Lima, D. Sc.

Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos motivos de minha existência, minha família. Sem eles, nunca teria conseguido estar onde estou.

Também agradeço aos amigos que fiz e que me suportaram durante todos os infinitos 7 anos de graduação, que está chegando ao fim, e aos amigos que fiz nos Ciências Sem Fronteiras.

A ajuda e apoio de toda a equipe da Universidade Federal de Campina Grande e da Universidade de Derby durante esses anos foi fundamental.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

RESUMO

Este relatório descreve as atividades realizadas durante o estágio supervisionado realizado no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle durante 25 de maio a 21 de julho de 2017 onde foram desenvolvidas atividades relativas a atuação de uma planta piloto capaz de realizar a troca de calor entre dois fluidos distintos a partir de um trocador de calor casco e tubos. O relatório inicia enunciando o princípio do trocador de calor casco e tubos e o protocolo de comunicações utilizados. Em seguida, a planta piloto é descrita segundo seus aspectos funcionais. A sessão seguinte descreve as atividades desenvolvidas. Por último, tem-se a conclusão relativa ao trabalho realizado.

Palavras-chave: Trocador de calor casco e tubos, CLP.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Prédio do Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle	14
Figura 2 - Trocador de calor do tipo Casco-Tubos	17
Figura 3 - Planta piloto	18
Figura 4 - Ciclo Quente da Planta	19
Figura 5 - Ciclo Frio da Planta	20
Figura 6 - Fluxo de Informações dos Processos	21
Figura 7 - Interface do gateway da Emerson	22
Figura 8 - Planta Antes da Reforma	23
Figura 9 - Planta Real após Reforma	24
Figura 10 - Posicionamento do novo Inversor (à direita)	24
Figura 11 - Tags do CLP com as Devidas Informações	25
Figura 12 - Verso das tags	25
Figura 13 - RSLogix 5000	26
Figura 14 - Fluxograma da rotina Ladder	27
Figura 15 - Tela com as tags do CLP no RSLogix	28
Figura 16 - Posicionamento do sensor de nível	29
Figura 17 - Interface anterior	30
Figura 18 - Interface Gráfica	30
Figura 19 - Interface de teste da IHM	31
Figura 20 - Interface do IHM para a rotina de emergência ativada	31
Figura 21 - Malha de Nível LIC-01	32
Figura 22 - Malha de Nível LIC-02	33
Figura 23 - Malha de Nível LIC-02	33
Figura 24 - Malha de Temperatura TIC-01	34
Figura 25 - Malha de Temperatura TIC-02	34
Figura 26 - Malha de Temperatura TIC-02	35
Figura 27 - Rotina Principal	38
Figura 28 - Sub-rotina de Aquecimento	39
Figura 29 - Sub-rotina de Controle (Parte 1)	40
Figura 30 - Sub-rotina de Controle (Parte 2)	41
Figura 31 - Sub-rotina de emergência	42
Figura 32 - Sub-rotina de normatização	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis medidas	20
Tabela 2 - Variáveis manipuladas	20

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLP	Controlador Lógico Programável
HART	Highway Addressable Remote Transducer
h	Hora
l	Litros
LIEC	Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle
mm	Milímetro
OPC	Open Platform Communications
V	Volts

SUMÁRIO

1	Introdução.....	14
1.1	Objetivos do Estágio.....	14
1.2	LIEC.....	14
2	Embasamento Teórico.....	16
2.1	Trocador de Calor Cascos e Tubos.....	16
2.2	Protocolos de Comunicação.....	17
3	Ferramentas e Processos.....	18
3.1	Planta Piloto.....	18
3.2	Processos.....	19
3.3	Aquisição e Atuação.....	21
4	Atividades Desenvolvidas.....	23
4.1	Reforma da Planta.....	23
4.2	Etiquetagem.....	25
4.3	Programação do CLP.....	26
4.4	Interface de Controle.....	29
4.5	Identificação das Malhas.....	32
4.5.1	Malha de Nível LIC-01.....	32
4.5.2	Malha de Nível LIC-02.....	33
4.5.3	Malha de Vazão FIC-01.....	33
4.5.4	Malha de Temperatura TIC-01.....	34
4.5.5	Malha de Temperatura TIC-02.....	34
4.5.6	Malha de Temperatura TIC-03.....	35
4.6	Supervisão de um trabalho.....	35
5	Conclusão.....	36
	Referências.....	37
	APÊNDICE A – Programação do CLP.....	38

1 INTRODUÇÃO

Os trocadores de calor do tipo casco e tubos são geralmente utilizados em processos térmicos, quando há existe a necessidade de esquentar ou resfriar fluidos que circulam na instalação hidráulica. Diante da necessidade de controlar a temperatura de um certo fluido, têm-se a escolha que melhor se aplica do tipo de trocador a ser usado.

Além do padrão de comunicação OPC, a planta em estudo conta com sensores que utilizam ao WirelessHART para a transmissão dos dados lidos. Essa tecnologia herda todas as funcionalidades do protocolo HART (Highway Addressable Remote Transducer) e a mesma confiabilidade na comunicação.

1.1 OBJETIVOS DO ESTÁGIO

O estágio foi realizado visando os seguintes objetivos:

- Familiarização com a planta didática;
- Revisão e documentação do código do CLP;
- Implementação de rotinas de proteção;
- Definição das principais malhas de controle.
- Implementação das rotinas de controles.

1.2 LIEC

O estágio supervisionado foi realizado no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle, localizado nas delimitações do campus I da Universidade Federal de Campina Grande. O laboratório possui plantas didáticas voltadas à familiarização dos estudantes quanto às tecnologias e instrumentação que possam estar presentes em indústrias dos mais diversos setores. O prédio do laboratório aparece na Figura 1.

Figura 1 - Prédio do Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle



Fonte: Página do LIEC na Web¹

¹ Disponível em: <<http://liec.ufcg.edu.br/>>. Acesso em: 12 Agosto 2017.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

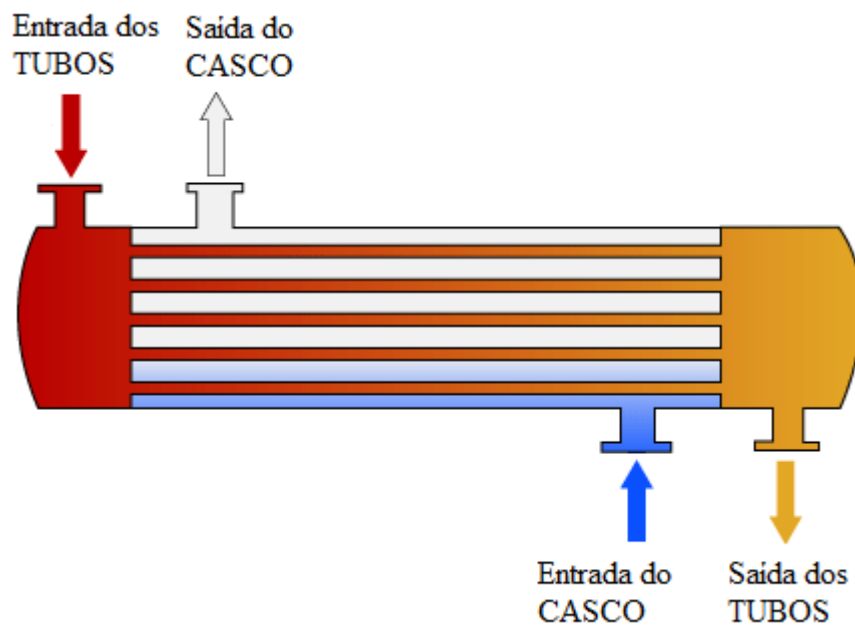
2.1 TROCADOR DE CALOR CASCOS E TUBOS

Trocadores de calor são estruturas mecânicas cuja finalidade é transferir calor de um fluido para outro de forma eficiente. Geralmente os fluidos não se misturam, sendo separados por uma parede sólida. Esses dispositivos são utilizados em inúmeras aplicações, tanto industriais como residenciais, por exemplo, condicionadores de ar, radiadores automotivos, termoelétricas, plantas químicas, refinarias de petróleo, indústrias alimentícias, etc.

Trocadores de calor casco e tubos apresentam-se como os instrumentos mais utilizados pela indústria quando objetiva-se realizar o aquecimento de um determinado fluido sem expor este ao contato direto com o fogo. Dentre as vantagens que expõem a preferência desta tecnologia de trocadores de calor em detrimento a outras, estão a flexibilidade nas dimensões de aplicação, robustez mecânica que suporta estresses na fabricação ou transporte, e facilidade quanto manutenção.

O princípio de funcionamento do trocador de calor casco e tubos pode ser observado na Figura 2. Nele existem duas entradas e duas saídas, com dois compartimentos. A transferência de energia térmica ocorre a partir do atrito do fluxo turbulento, gerado por meio dos defletores instalados no interior do casco, com o feixe de tubos que atravessa toda a sua extensão.

Figura 2 - Trocador de calor do tipo Casco-Tubos



Fonte: (LIMA, BARROSO e BARROS, 2014)

2.2 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

É utilizado o padrão de comunicação WirelessHART para o sistema de aquisição de dados. Tal tecnologia oferece um protocolo wireless robusto destinado a todo tipo de aplicações em medição, controle de processos e gerenciamento de ativos. Baseado no comprovado e conhecido protocolo de comunicação HART, o WirelessHART possibilita aos usuários um acesso rápido e fácil aos benefícios da tecnologia sem fio, sem perder a compatibilidade com dispositivos, ferramentas e sistemas HART existentes.

Com o intuito de padronizar os protocolos e diminuir a dependência de drives proprietários, utilizou-se o protocolo de comunicação OPC entre os equipamentos de controle e aquisição de dados.

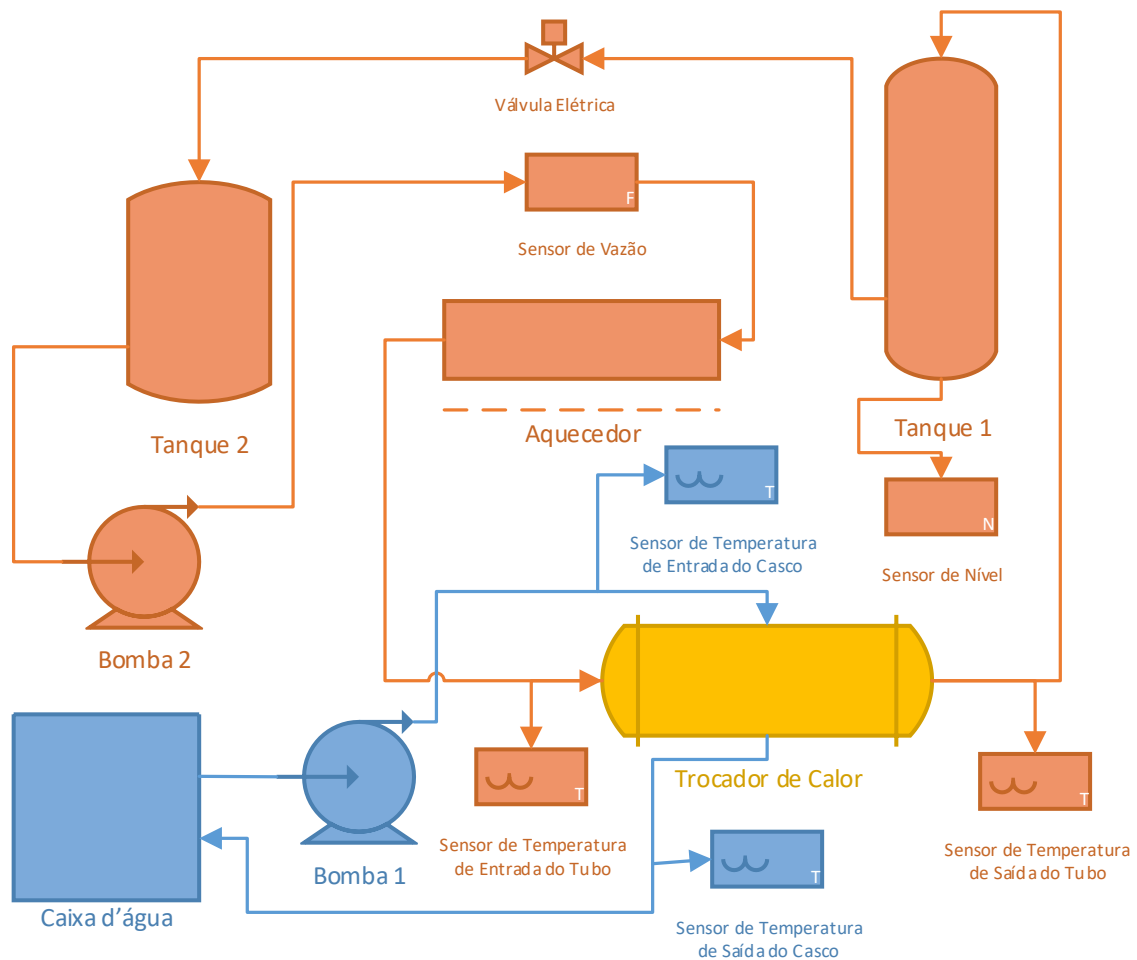
3 FERRAMENTAS E PROCESSOS

Esta seção mostrará e detalhará a planta do trocador de calor em estudo.

3.1 PLANTA PILOTO

A planta didática combina uma série de situações industriais nas quais são necessárias a aplicação de técnicas de identificação e controle. Estão presentes malhas de vazão, nível e temperatura, esquematizadas conforme a Figura 1. O controle é realizado a partir de um CLP 1769 Compact Logicx da Allen Bradley.

Figura 3 - Planta piloto



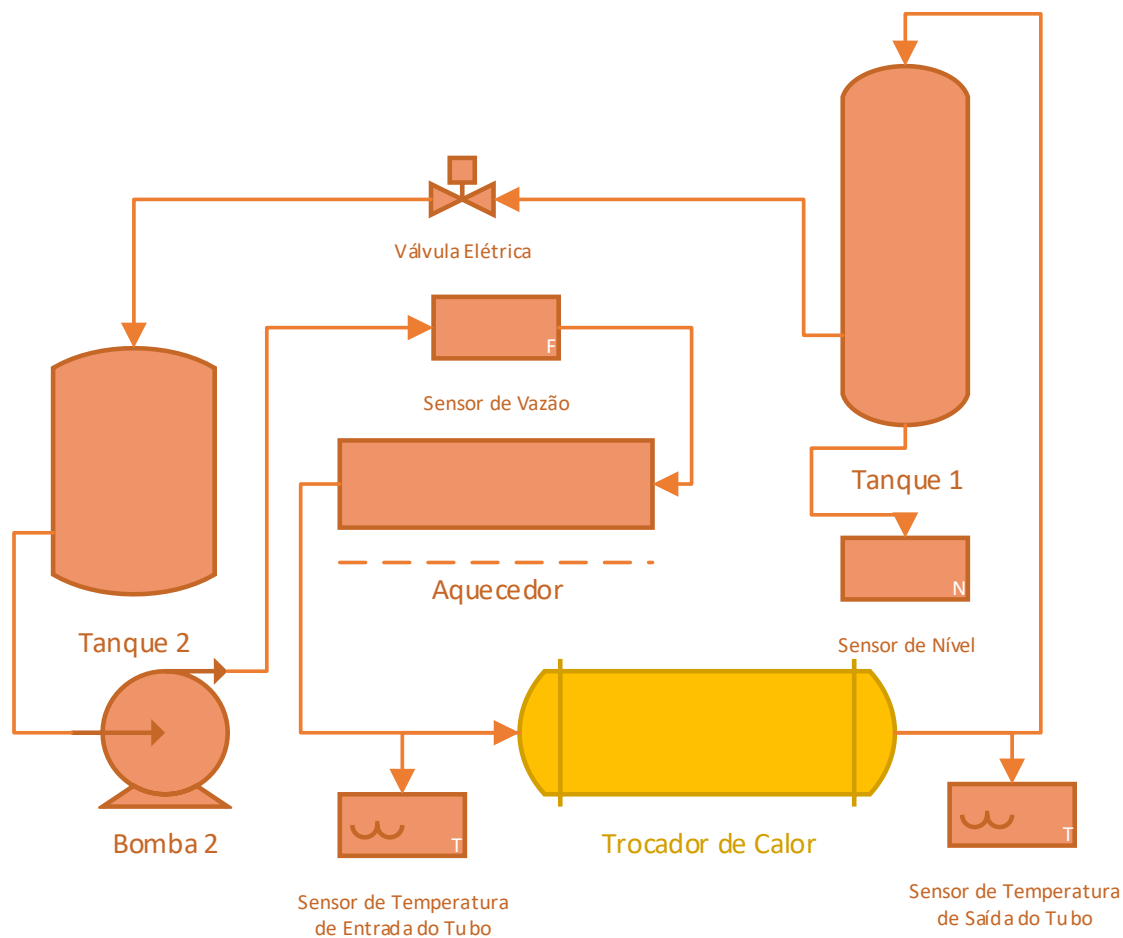
Fonte: o próprio autor.

3.2 PROCESSOS

A planta pode ser dividida em dois ciclos quanto a sua temperatura. Para que fosse melhor visualizado, o ciclo quente está representado em vermelho e, o ciclo frio, em azul. O objetivo principal do sistema de controle da planta é controlar a temperatura do fluido na saída dos tubos. Por simplicidade, todos os fluidos da planta são água.

O circuito quente, Figura 4, inicia-se no tanque quente, a água é então bombeada por um aquecedor, é parcialmente resfriada no trocador de calor, passa por um tanque de nível e retorna para o tanque quente.

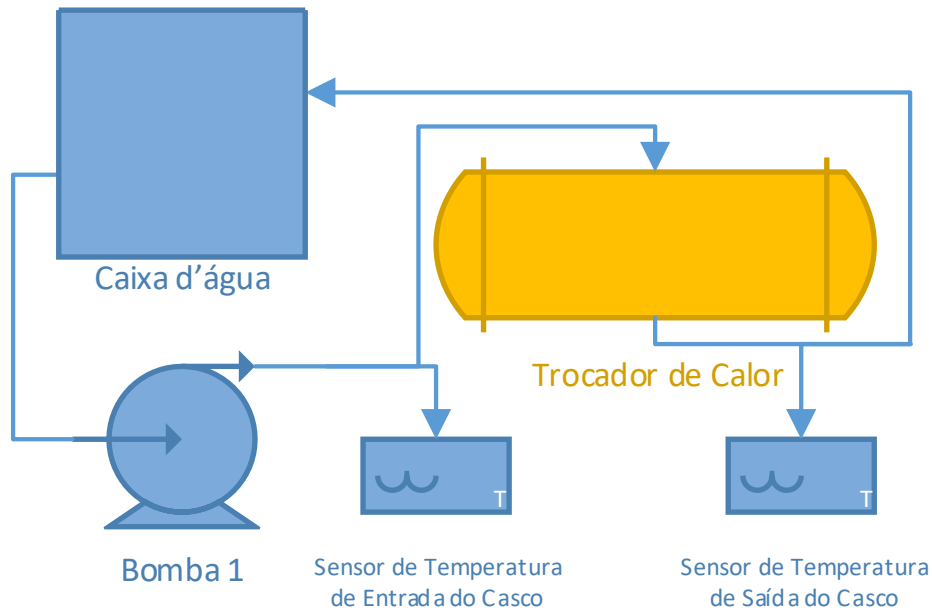
Figura 4 - Ciclo Quente da Planta



Fonte: o próprio autor.

O circuito frio, Figura 5, por sua vez inicia-se no tanque frio, a água é aquecida no trocador e depois volta para a caixa d'água.

Figura 5 - Ciclo Frio da Planta



Fonte: o próprio autor.

As variáveis medidas estão expostas na Tabela 1, as manipuladas, na Fonte: o próprio autor.

Tabela 2.

Tabela 1 - Variáveis medidas

Variável	Unidade
Vazão do líquido	Litros/hora
Nível do líquido	mm
Temp. entrada dos tubos	°C
Temp. saída dos tubos	°C
Temp. entrada do casco	°C
Temp. saída do casco	°C

Fonte: o próprio autor.

Tabela 2 - Variáveis manipuladas

Variável	Unidade
----------	---------

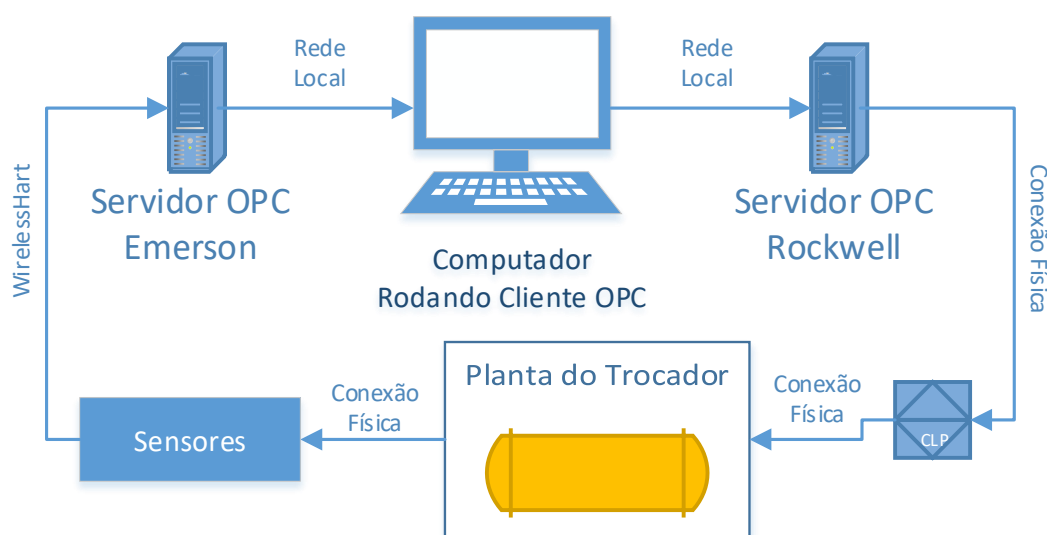
Frequência da Bomba 1	Hz
Frequência da Bomba 2	Hz
Ciclo de trabalho do PWM da resistência	Volts
Abertura da válvula	%

Fonte: o próprio autor

3.3 AQUISIÇÃO E ATUAÇÃO

O fluxo de informação entre a rotina de controle e os sensores e atuadores é evidenciado a partir da Figura 6. Os valores das variáveis são lidos pelos sensores WirelessHART e enviados ao gateway, sendo então disponibilizados pelo servidor OPC da Emerson. Para que o CLP receba esses valores e realize o controle da planta é necessário que um cliente OPC leia os dados disponíveis no servidor OPC da Emerson (gateway) e escreva no servidor OPC da Rockwell (CLP). Com os dados obtidos, a rotina de controle é executada e o programa se comunica com o CLP, o qual irá interagir com os atuadores para cumprir com a estratégia de controle especificada.

Figura 6 - Fluxo de Informações dos Processos



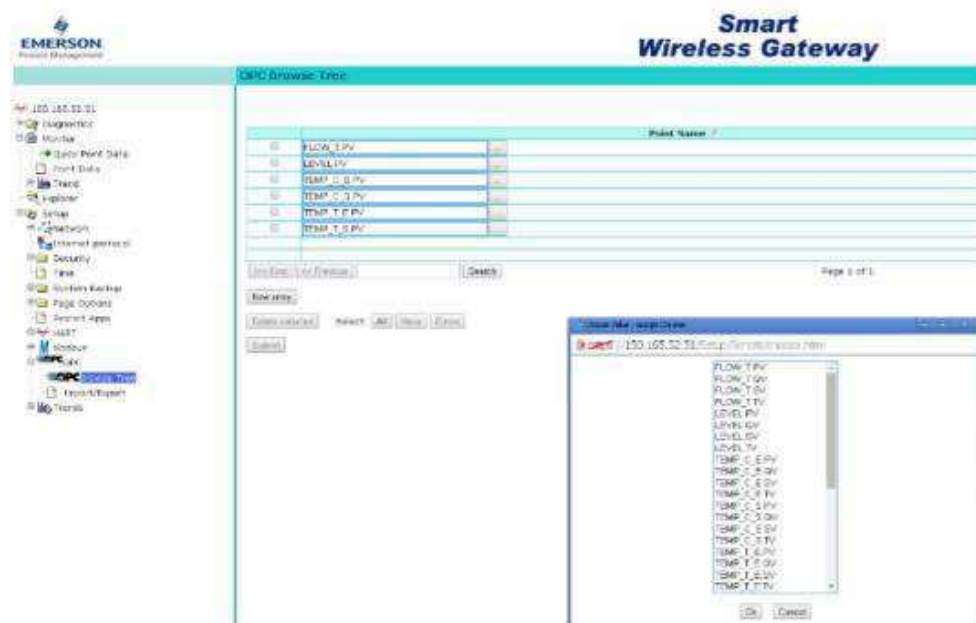
Fonte: o próprio autor.

Assim como em outros protocolos de comunicação, o WirelessHart também disponibiliza um gerenciador de rede capaz de fornecer uma visão global do processo ao usuário, além de proporcionar mais segurança e eficiência na transmissão de dados.

Através do gerenciador de rede AMS, também da Emerson, foi possível configurar o gateway, disponibilizando-o através do IP 150.165.52.51.

O gateway ofereceu uma interface gráfica (Figura8) para visualização e gerenciamento dos dispositivos da rede WirelessHART acessada a partir do endereço de IP especificado. Também é possível escolher as variáveis do servidor OPC que se deseja monitorar. A Figura 7 evidencia a visualização da interface via browser.

Figura 7 - Interface do Gateway da Emerson



Fonte: (FALCÃO, 2017)

4 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

4.1 REFORMA DA PLANTA

Durante as primeiras semanas de estágio, a planta abordada estava passando por processo de reforma. Uma das atividades desenvolvidas foi auxiliar na reforma. Na Figura 8 temos a planta antes da reforma.

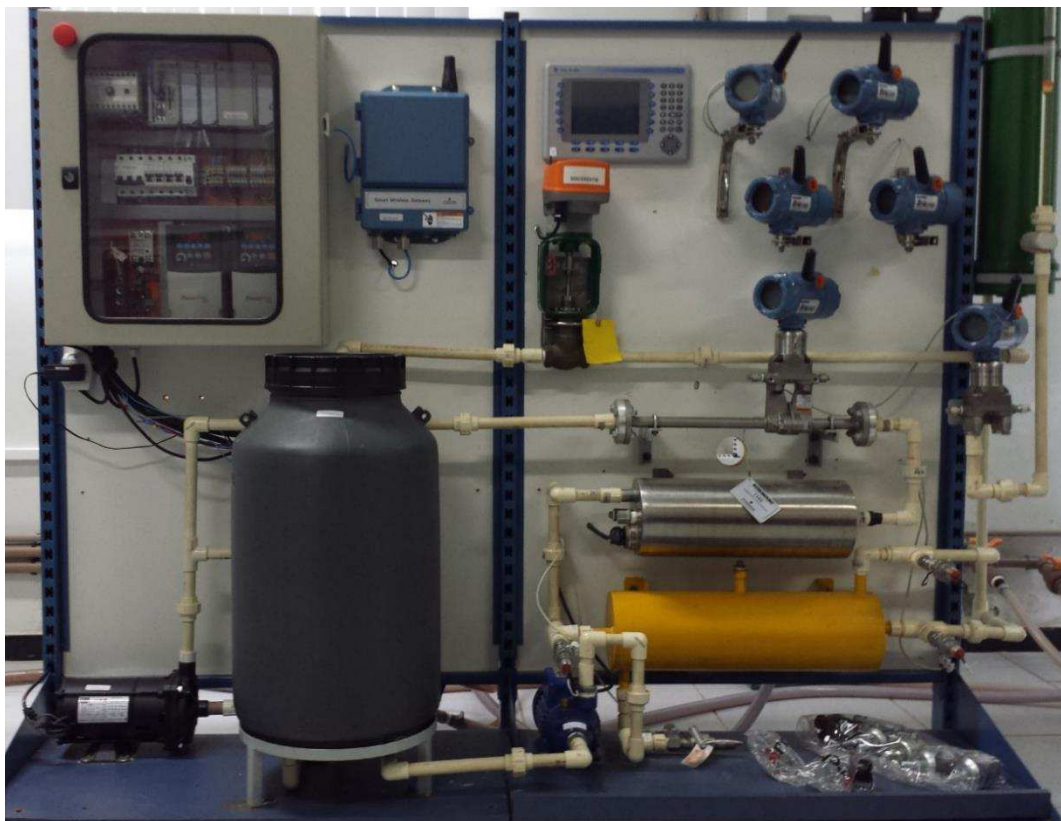
Figura 8 - Planta Antes da Reforma



Fonte: o próprio autor.

Na Figura 9, o estado da planta após a reforma.

Figura 9 - Planta Real após Reforma



Fonte: o próprio autor.

Como pode ser visto, houve a adição de uma bomba para o ciclo quente e remoção da que estava previamente instalada no interior do Tanque 2 (em cinza). Com isso, foi necessária a instalação de um outro inversor, como pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 - Posicionamento do novo Inversor (à direita)

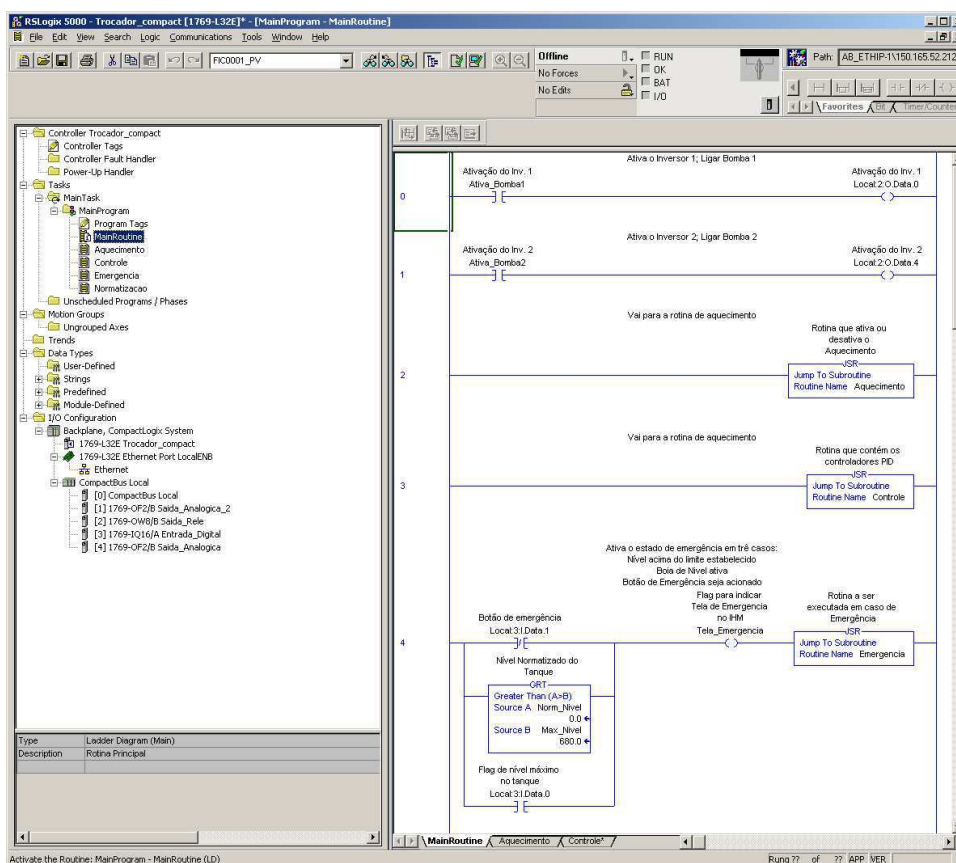


Fonte: o próprio autor.

4.3 PROGRAMAÇÃO DO CLP

Um programa em Ladder utilizando o RSLogix 5000 da Rockwell, Figura 13, foi criado para o funcionamento correto da planta. Este leva em consideração o aquecimento e os possíveis problemas que poderiam acontecer, tomando a medida necessária de desligamento dos motores e abertura da válvula.

Figura 13 – Interface do RSLogix 5000



Fonte: o próprio autor.

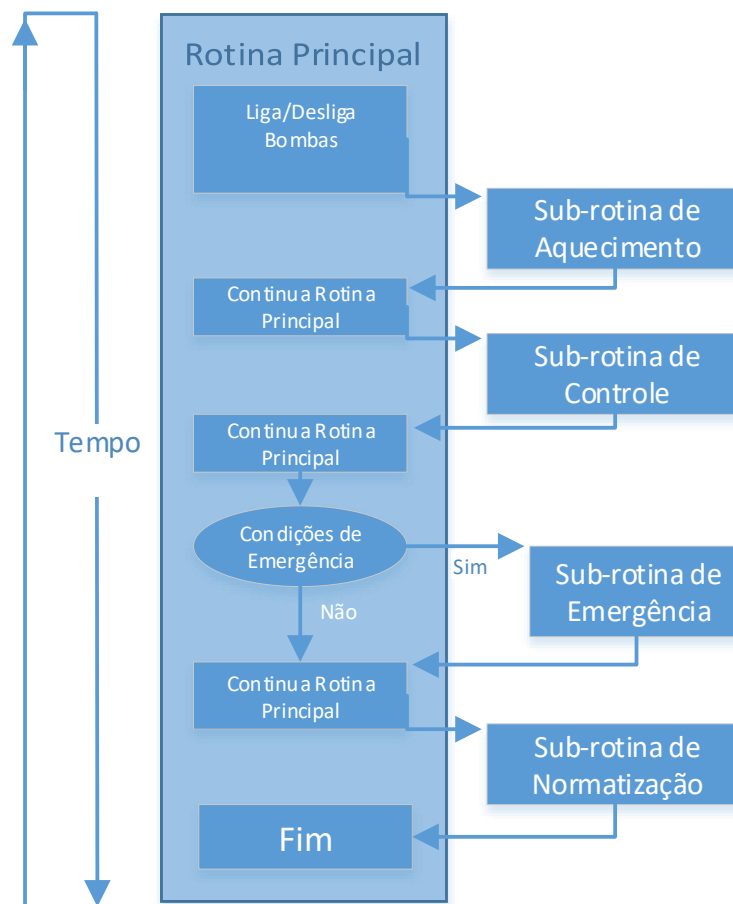
Com o intuito de organizar visualmente o programa para melhor entendimento, algumas sub-rotinas foram criadas. Além da rotina principal, temos as seguintes sub-rotinas:

- **Aquecimento:** esta define as condições para que o PWM da resistência tenha um valor de ciclo de trabalho maior do que zero, ativando o aquecimento. Para que isso aconteça, a temperatura de entrada do casco deve ser menor que 60°C, a vazão maior que 10 l/h, e a Bomba 2 ativada.

- Controle: esta rotina agrupa o controle de todas as malhas citadas no estudo da planta, no último tópico desta seção.
- Emergência: esta rotina é ativada quando algumas condições forem atingidas. São elas: botão de emergência apertado; nível do tanque estiver maior que o estabelecido pelo operador; boia do tanque ativa indicador de nível máximo.
- Normatização: esta rotina ajusta valores de entrada e saída para facilitar o controle e o entendimento da situação pelo operador. O subtópico seguinte trará disso.

A Figura 14 mostra o funcionamento das rotinas em Ladder.

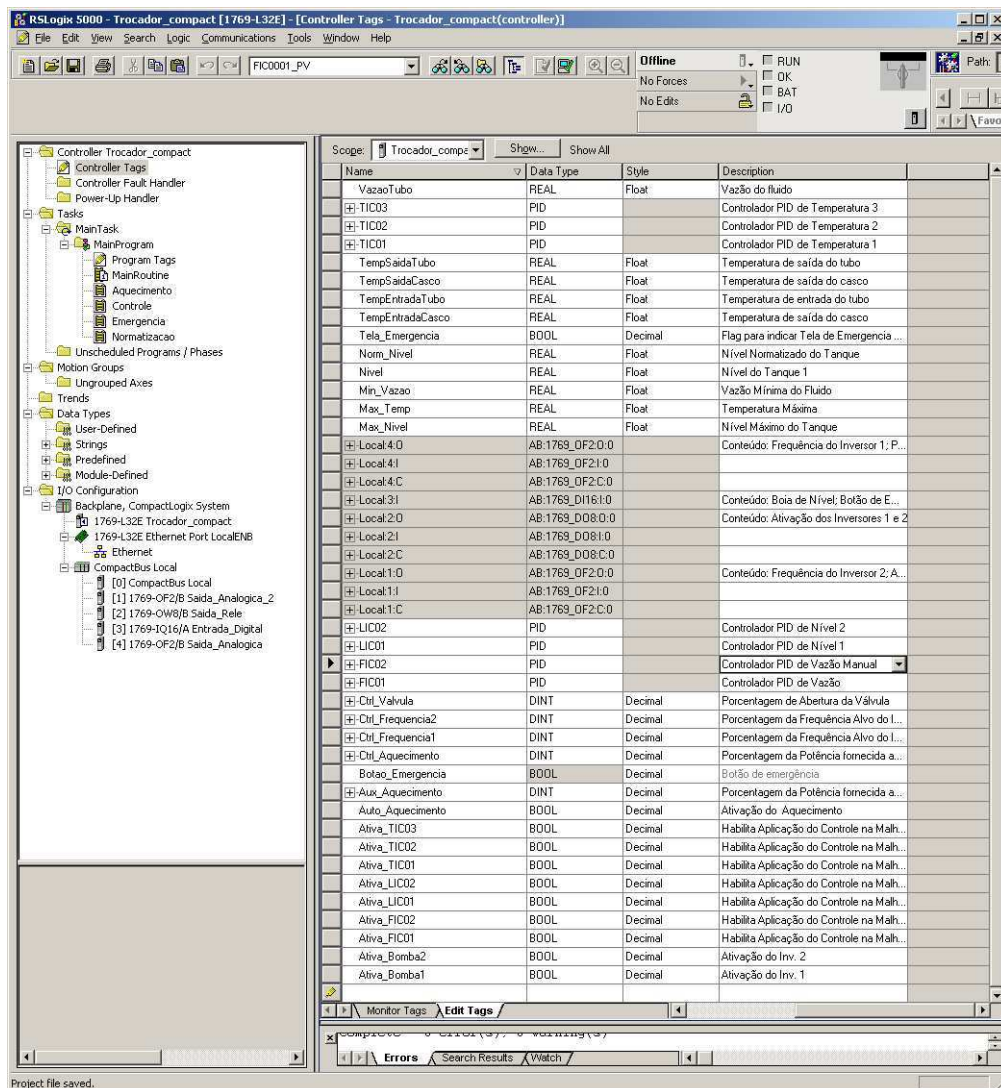
Figura 14 - Fluxograma da rotina Ladder



Fonte: o próprio autor.

A interface do programa utilizado sendo exibida com a tela que lista as tags do programa aparece na Figura 15. O código completo em Ladder se encontra no Apêndice A.

Figura 15 - Tela com as tags do CLP no RSLogix



Fonte: o próprio autor.

4.3.1 NORMALIZAÇÃO DOS VALORES LIDOS E ESCRITOS

Como feito na indústria, os valores dos atuadores foram ajustados de tal forma que o operador deve escolher um valor de 0 a 100 para ativar as bombas ou abrir a válvula (neste caso, 0% é fechada). A Tabela 3 mostra qual a relação dos valores escritos com os valores reais definidos pelo CLP e os valores físicos nos atuadores.

Tabela 3 - Relação da Normalização

Variável	Valores escritos	Valores reais	Valores físicos
Abertura da válvula	0 – 100 (%)	0 - 10.000	Fechada - Aberta
PWM da resistência	0 – 100 (%)	0 - 10.000	3 - 9 V

Frequência da Bomba 1	0 – 100 (%)	0 - 10.000	0 - 60 Hz
Frequência da Bomba 2	0 – 100 (%)	2.500 - 10.000	15 – 60 Hz

Como pode ser visto acima, a frequência da Bomba 2 foi definida para trabalhar a partir de 15 Hz. Teste foram feitos e foi percebido que até 15 Hz, a bomba não consegue vencer a coluna do líquido necessária para alimentar o Tanque 1. Logo, esta medida foi considerada como um novo zero.

Para o valor de entrada ajustado, temos o nível, que recebe um decréscimo de 411 pelo fato do posicionamento do sensor, que proporciona uma leitura de até 411 com o tanque vazio. Isto acontece porque o sensor se encontra 411 milímetros abaixo da altura do piso do tanque, podendo ser visto na Figura 16.

Figura 16 - Posicionamento do sensor de nível



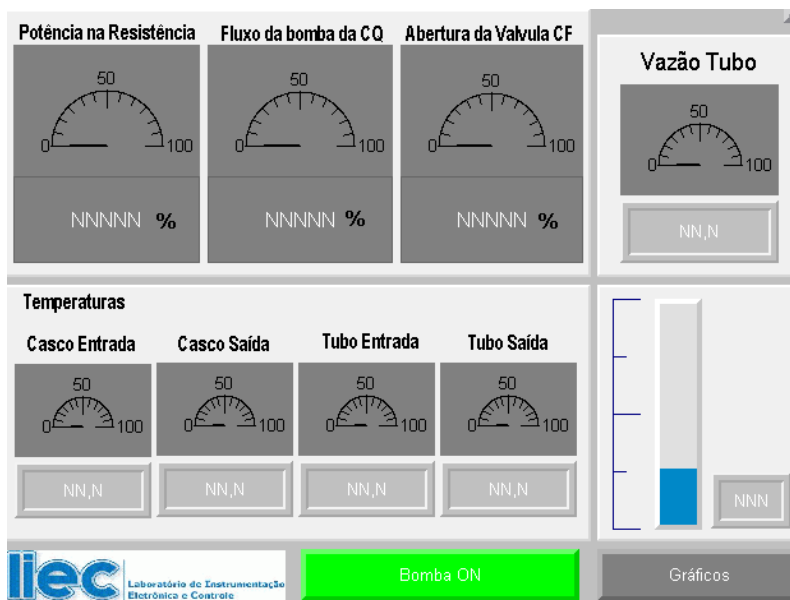
Fonte: o próprio autor.

4.4 INTERFACE DE CONTROLE

Conectado ao CLP, existe um dispositivo IMH da Allen-Bradley modelo PanelView Plus 700 que pode ser usado como um supervisor para a planta. Já existia

uma interface gráfica feita para ser usada com o trocador de calor abordado, Figura 17, mas como houve uma reforma, foi necessária uma modificação no programa para que tudo pudesse ser controlado.

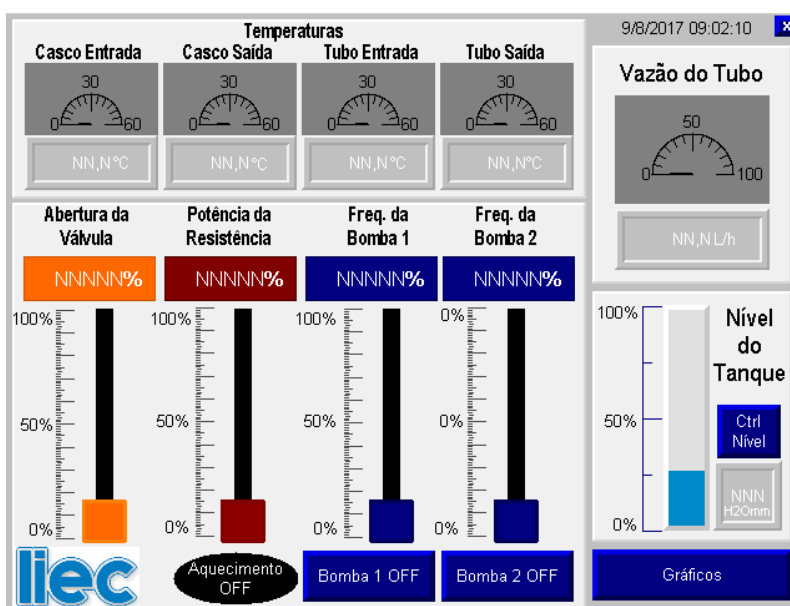
Figura 17 - Interface anterior



Fonte: o próprio autor.

Como pode ser visto na Figura 18, é possível controlar a frequência de apenas uma bomba, igualmente ligar. Outras alterações foram feitas além do acréscimo do controle de uma nova bomba, a Bomba 2.

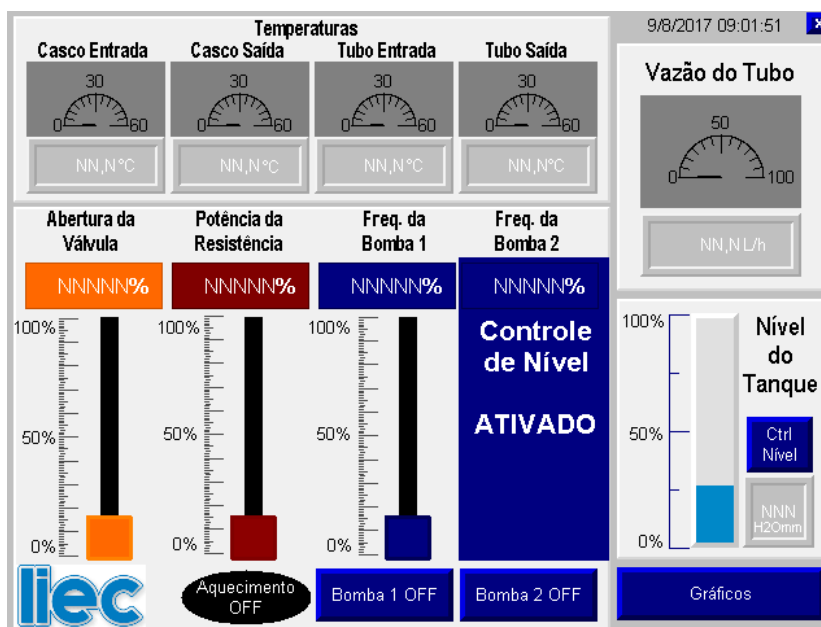
Figura 18 – Interface refeita



Fonte: o próprio autor.

Também foram adicionados sliders para controle mais rápido dos parâmetros que se referem à frequência das bombas, abertura da válvula e potência do aquecimento. Agora é possível ver se o aquecimento está ativo ou não. Um botão para controle de nível foi colocado para testes de interface. A Figura 19 retrata isso.

Figura 19 - Interface de teste da IHM



Fonte: o próprio autor.

Por último, na Figura 20, temos uma demonstração do aviso da ativação da rotina emergencial, que é ativada nas mesmas condições citadas no tópico anterior.

Figura 20 - Interface do IHM para a rotina de emergência ativada



Fonte: o próprio autor.

Uma tela para gráficos de temperatura já existia. Nenhuma modificação foi feita na mesma.

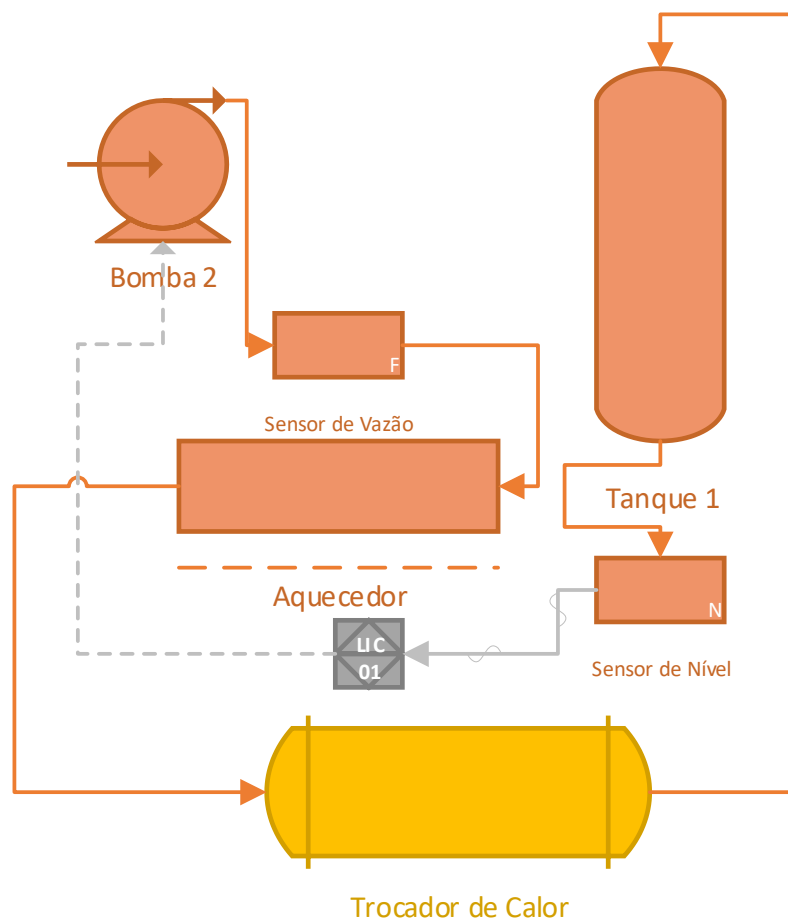
4.5 IDENTIFICAÇÃO DAS MALHAS

Várias malhas podem ser extraídas da planta em estudo. A seguir, algumas das principais delas.

4.5.1 MALHA DE NÍVEL LIC-01

A malha de nível LIC-01 tem como variável de processo o nível do Tanque 1 e a frequência da Bomba 2 como variável manipulada. Isso é mostrado na Figura 21.

Figura 21 - Malha de Nível LIC-01

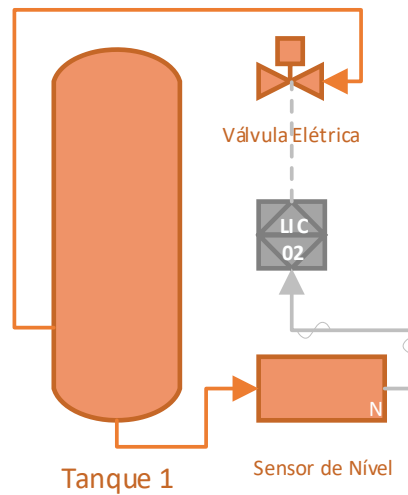


Fonte: o próprio autor.

4.5.2 MALHA DE NÍVEL LIC-02

A malha de nível LIC-02 é composta pelo nível do Tanque 1 como variável de processo e pela abertura da válvula como variável manipulada. É exatamente isto que é mostrado na Figura 22.

Figura 22 - Malha de Nível LIC-02

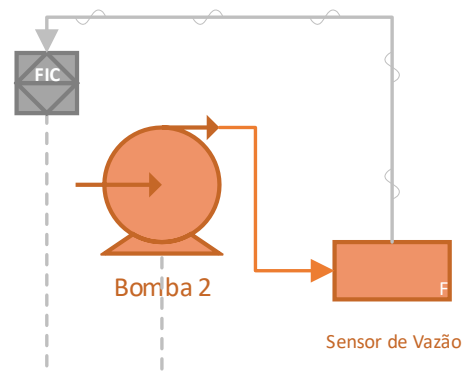


Fonte: o próprio autor.

4.5.3 MALHA DE VAZÃO FIC-01

Como pode ser visto na Figura 23, a malha FIC-01 de vazão tem como variável do processo a vazão do líquido, enquanto a variável manipulada é a frequência da Bomba 2.

Figura 23 - Malha de Nível LIC-02

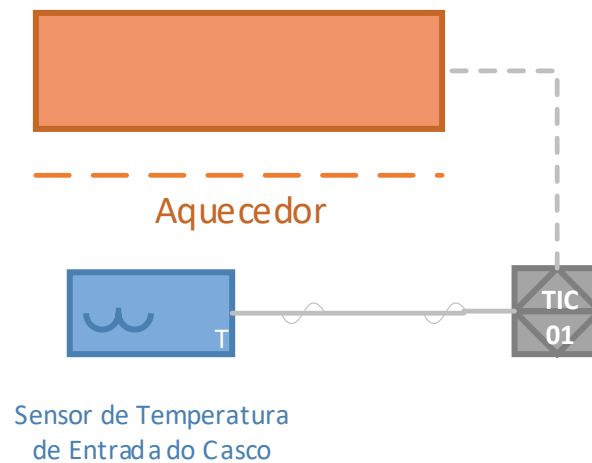


Fonte: o próprio autor.

4.5.4 MALHA DE TEMPERATURA TIC-01

A malha TIC-01 controla o ciclo de trabalho do PWM da Resistência do Aquecedor analisando a temperatura de entrada do Casco. Esta malha está representada em diagrama de blocos na Figura 24.

Figura 24 - Malha de Temperatura TIC-01

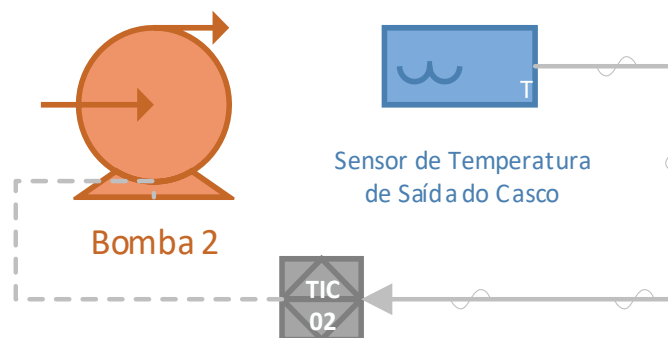


Fonte: o próprio autor.

4.5.5 MALHA DE TEMPERATURA TIC-02

A malha de temperatura TIC-02 define a frequência da Bomba 2 a partir da temperatura de saída do casco, como mostrado no diagrama da Figura 25.

Figura 25 - Malha de Temperatura TIC-02

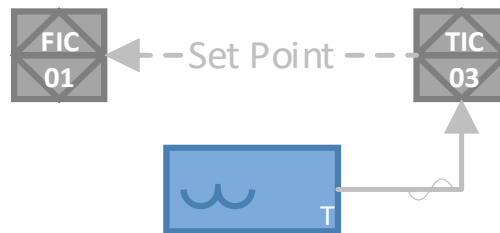


Fonte: o próprio autor.

4.5.6 MALHA DE TEMPERATURA TIC-03

Diferente das outras malhas, esta, Figura 26, inclui a atuação de um controlador no Set Point de outro controlador. A variável de processo é a temperatura de saída do Casco, enquanto a variável manipulada é o Set Point da malha FIC-01 de vazão.

Figura 26 - Malha de Temperatura TIC-02



Sensor de Temperatura
de Saída do Casco

Fonte: o próprio autor.

4.6 SUPERVISÃO DE UM TRABALHO

Como foram vistas mais malhas no tópico, é possível notar que não seria possível colocar um botão de controle para cada malha na tela principal por questão de espaço. Logo, uma tela exclusivamente para acionamento dos controles foi desenvolvida pelos alunos de um grupo da turma da disciplina Sistemas de Automação Industrial.

Também houve supervisão para auxiliar os alunos desse mesmo grupo a recriar algumas das rotinas e situações na planta.

5 CONCLUSÃO

Como o estágio foi realizado em um modelo reduzido de uma planta industrial, foi possível ter conhecimento e passar por problemas parecidos aos que se passam na indústria. Além disto, o uso de um CLP aplicado a um modelo funcional acrescentou muito ao conhecimento que pode ser utilizado no mercado de trabalho futuramente.

Utilizar equipamentos e tecnologias que já são ou serão prática na indústria conseguiu enriquecer bastante o estágio. Principalmente quando se fala de CLP e WirelessHART aplicados a um processo de trocador de calor, que é bastante utilizado.

Por causa do tempo disponível para o estágio e o cronograma previamente estabelecido, não foi possível realizar mais atividades, mas nota-se que este estágio possibilitará uma realização mais prática e rápida de futuras atividades, como o design de um supervisório completos e padronizado e aplicação de controladores das malhas mencionadas.

REFERÊNCIAS

ASSIS, A. S. P. D. **Modelagem e Controle de Uma Planta Piloto Térmica do Tipo Casco-Tubos Utilizando a Tecnologia Wirelesshart**. Campina Grande. 2015.

COMPACTLOGIX 1769 Controllers. Disponível em: <<http://ab.rockwellautomation.com/Programmable-Controllers/CompactLogix-1769-Controllers>>. Acesso em: 10 Agosto 2017.

FALCÃO, E. V. **Relatório de Estágio Supervisionado**. Campina Grande. 2017.

HART | Fieldcomm Group. Disponível em: <<https://www.fieldcommgroup.org/technologies/hart>>. Acesso em: 20 Agosto 2017.

LIEC. Disponível em: <<http://liec.ufcg.edu.br/>>. Acesso em: 12 Agosto 2017.

LIMA, R. B. C.; BARROSO, H. C.; BARROS, P. R. **Desenvolvimento de Uma Planta Piloto Térmica com Rede WirelessHart Para Uso em Ensino e Pesquisa**. Juiz de Fora, MG. 2014.

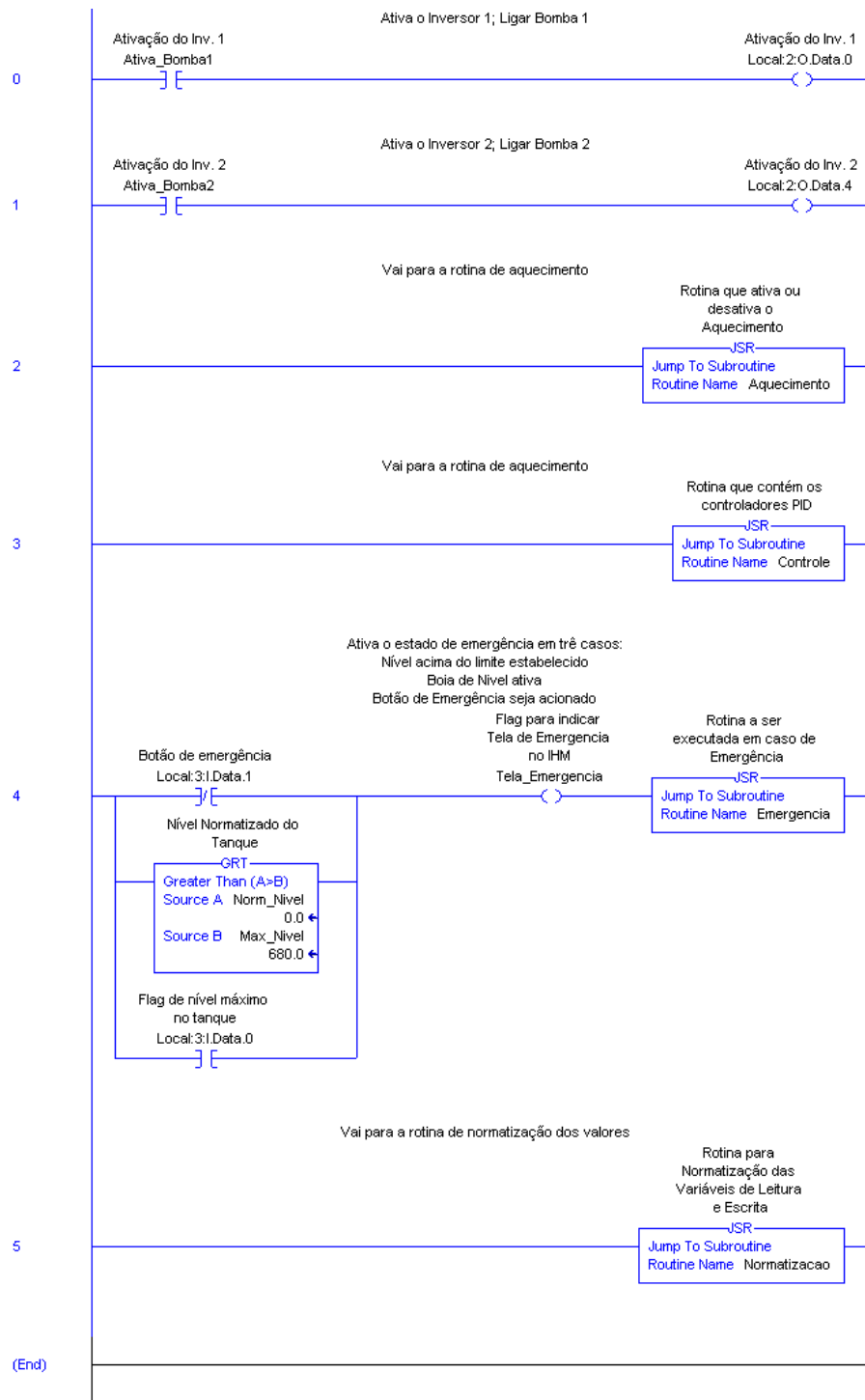
MUKHERJEE, R. **Practical Thermal Design of Shell-and-Tube Heat Exchangers**. New Delhi, India: Begell House, 2004.

WHAT is OPC? - OPC Foundation. Disponível em: <<https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>>. Acesso em: 18 Agosto 2017.

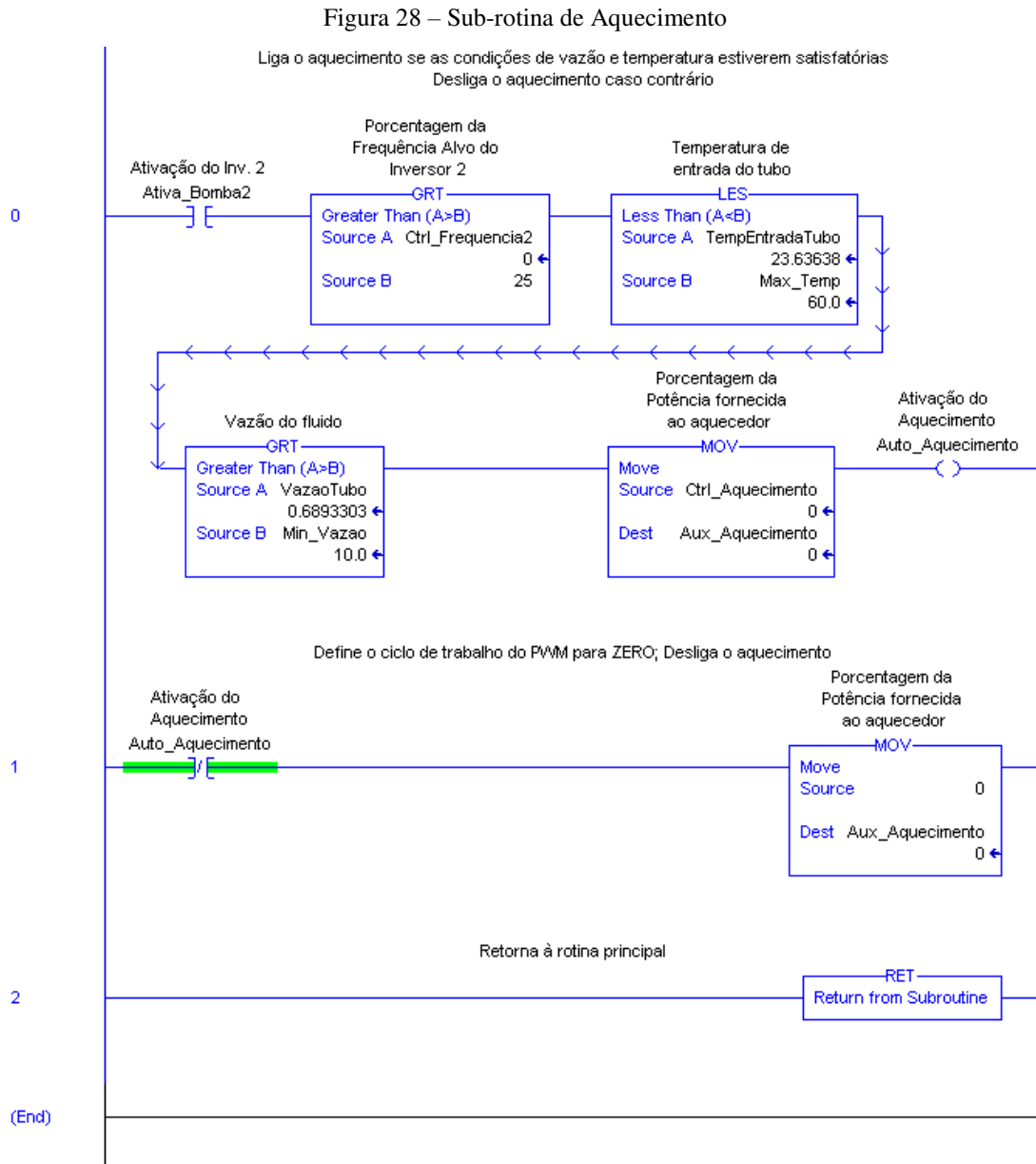
APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO DO CLP

A seguir, o código em Ladder utilizado para a programação do CLP para o funcionamento esperado da planta. A rotina principal está na Figura 27.

Figura 27 - Rotina Principal



A sub-rotina de aquecimento é mostrada na Figura 28.



Na Figura 29, a sub-rotina de controle, com continuação na Figura 30.

Figura 29 - Sub-rotina de Controle (Parte 1)

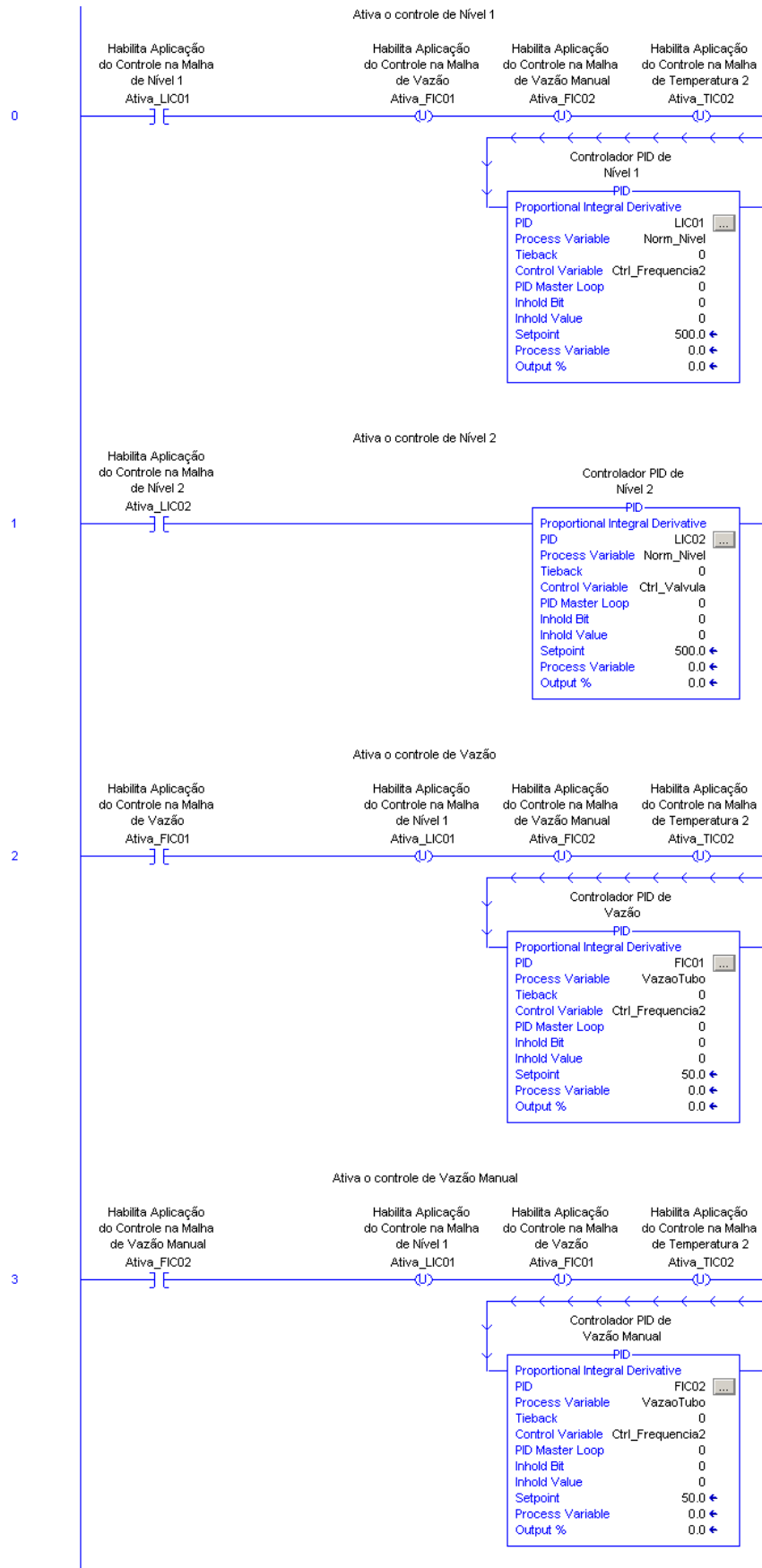
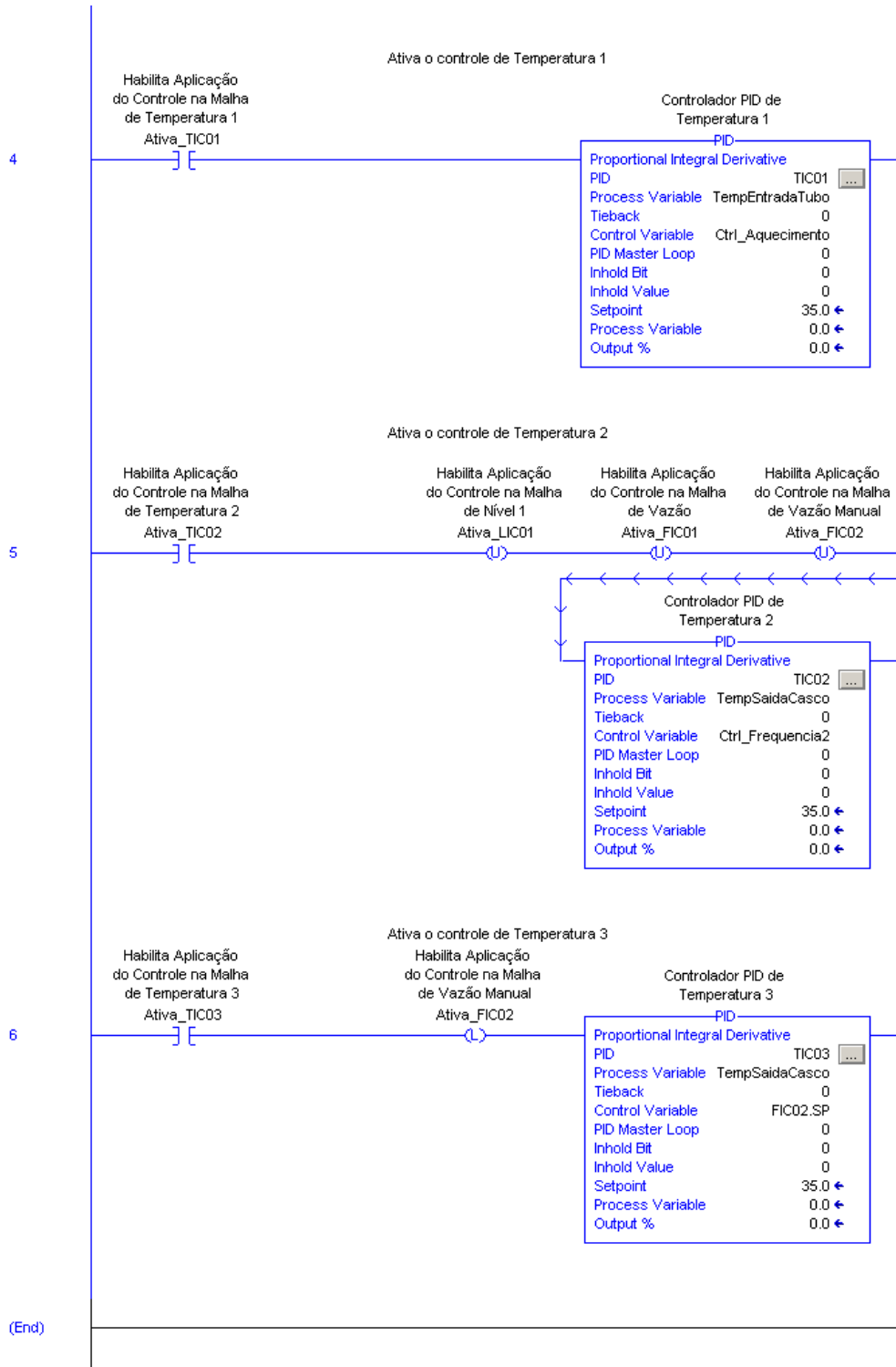
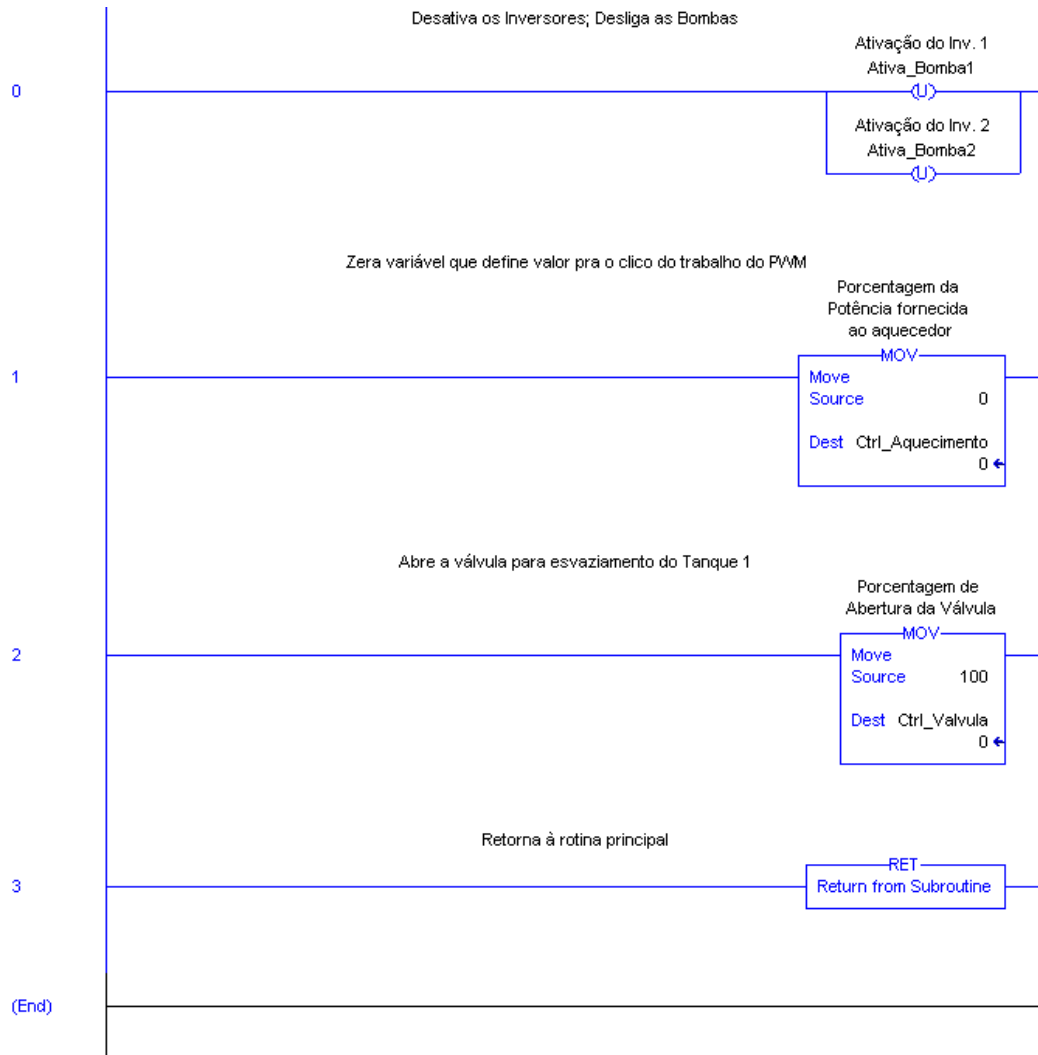


Figura 30 - Sub-rotina de Controle (Parte 2)



A sub-rotina emergencial está exposta na Figura 31.

Figura 31 - Sub-rotina de emergência



Por fim, temos a rotina de normalização na Figura 32.

Figura 32 - Sub-rotina de normalização

