



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MARCÉU OLIVEIRA ADISSI

**SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS E CONTROLE
DE PARÂMETROS FÍSICOS EM UMA
PLATAFORMA DE DETECÇÃO DE INCRUSTAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPINA GRANDE

2009

MARCÉU OLIVEIRA ADISSI

**SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS E CONTROLE
DE PARÂMETROS FÍSICOS EM UMA
PLATAFORMA DE DETECÇÃO DE INCRUSTAÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso submetida à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande como
parte dos requisitos necessários para obtenção da
graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador:
Prof. José Sérgio da Rocha Neto

CAMPINA GRANDE
22/04/2008 à 27/11/2009

Agradecimentos

Eu tenho a agradecer primeiramente aos meus pais por terem me ensinado a viver, por toda a motivação passada e pela incansável ajuda diária. Eles são responsáveis diretamente por todas minhas conquistas.

Ao meu orientador José Sérgio da Rocha Neto pela atenção prestada sempre que necessário e por ter me proporcionado a oportunidade de realizar esse trabalho no Laboratório de Instrumentação e Controle.

Enfim, agradeço a todos aqueles amigos e colegas que de forma direta ou indireta contribuíram com este trabalho.

Resumo

Esse trabalho teve por objetivo desenvolver um sistema capaz de determinar e detectar o fenômeno da incrustação, que é um significativo problema de qualquer sistema de transporte de fluidos através de dutos. Para o cumprimento dos objetivos propostos foi montado, sobre uma plataforma com tubulação, um sistema de aquisição de dados e controle de temperatura, taxa de fluxo e pressão. Além da instalação física da plataforma de testes, foi preciso desenvolver um uma interface de comunicação entre os sensores, o CLP e o computador com a interface do usuário. Os resultados conseguidos foram satisfatórios, pois a proposta do projeto de monitoramento e controle foi realizada. O projeto abre uma perspectiva de melhoramentos nas conclusões e mais precisão nos testes realizados na plataforma. O sistema ainda poderá ser aprimorado com novas implementações de controle automático.

Lista de Figuras

Figura 1 - Diagrama da plataforma com seus equipamentos	14
Figura 2 - Foto da plataforma	15
Figura 3 - Diagrama da plataforma	16
Figura 4 - Malha de corrente.....	17
Figura 5 - Plataforma com sensor e atuadores de temperatura	18
Figura 6 - O sensor LM35.....	19
Figura 7 - Reservatório e módulo de controle.....	20
Figura 8 - Malha de refrigeração dentro do reservatório	20
Figura 9 - Resistências de aquecimento	20
Figura 10 – Diagrama da plataforma com o sensor de vazão e válvula manual.....	21
Figura 11 - Representação das aletas	21
Figura 12 - Transmissor de vazão	22
Figura 13 - Diagrama da plataforma com o sensor de pressão	23
Figura 14 - Monômetro Ashcroft D1005S.....	24
Figura 15 – Módulos do CLP.....	26
Figura 16 - Módulos de comunicações	27
Figura 17 – (a) Carcaça do modulo com a CPU; (b) O sistema básico do CLP S7-200	28
Figure 18 - O CLP S7-200 com módulos instalados na plataforma	29
Figura 19 - Ciclo do diagrama Ladder	30
Figura 20 - Interfaces entre os equipamentos	32
Figura 21 - Diagrama de conexão do transmissor de vazão	32
Figura 22 - Diagrama de conexão do sensor de temperatura.....	33
Figura 23 - Diagrama de conexão do sensor de pressão	33
Figura 24 - Janela principal do programa em LADDER	35
Figura 25 - Subrotinas de leitura de (a) Pressão; (b) Temperatura e (c) Vazão.....	36
Figura 26 - Interface Homem – Máquina.....	36
Figura 27 - Diagrama de Blocos resumido	38
Figura 28 – Quadro da temperatura na interface.....	39
Figura 29 - Programa em blocos das comparações do controle da temperatura.....	39
Figura 30 – Quadro da vazão na interface	40
Figura 31 – Quadro da pressão na interface.....	41

Sumário

Capítulo 1 - Introdução	7
1.1. Justificativas.....	7
1.2. Objetivos.....	8
1.2.1. Objetivo geral.....	8
1.2.2. Objetivos específicos	8
1.3. Estrutura do relatório	8
Capítulo 2 - O processo de incrustação.....	9
2.1. Aspectos gerais	10
2.2. Intervenientes físicos no fenômeno da incrustação	12
Capítulo 3 - Descrição do sistema.....	14
3.1. Plataforma de detecção de incrustação	16
3.2. Sensores e atuadores	17
3.2.1. O Padrão 4-20mA	17
3.2.2. Temperatura	18
3.2.3. Vazão	21
3.2.4. Pressão	23
3.3. O Controlador Lógico Programável	25
3.3.1. Siemens SIMATEC S7-200.....	27
3.3.2. Linguagem LADDER	29
3.4. Microcomputador com a interface do usuário	31
3.4.1. A programação gráfica LabView.....	31
Capítulo 4 - Dos sensores ao usuário.....	32
4.1. Comunicação dos sensores	32
4.2. Programação do CLP	34
4.3. Interface Homem-Máquina e Programação no LabView	36
4.3.1. Diagrama de Blocos no LabView	37
4.3.2. Monitoramento e controle da temperatura.....	39
4.3.3. Monitoramento e controle da vazão.....	40
4.3.4. Monitoramento e controle da pressão	41
Capítulo 5 - Conclusão.....	42
Referências Bibliográficas.....	43

Capítulo 1 - Introdução

Devido a sérios problemas reais encontrados por sistemas de transporte de fluidos, surge a necessidade de compreensão do processo e detecção da incrustação sem a necessidade de abertura dos tubos. Esse assunto atrai interesse de vários setores industriais, como por exemplo, o setor petrolífero.

O projeto foi proposto e desenvolvido no Laboratório de Instrumentação e Controle (LIEC) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Neste laboratório para a realização do projeto de detecção de incrustação com sensores inteligentes foi montada uma plataforma de testes.

A fim de melhorar os resultados dos seus testes, o pesquisador responsável pelo projeto, propôs a instalação de sensores, CLP e computador para realizar o monitoramento e controle da temperatura, pressão e taxa de fluxo da plataforma.

Antes de iniciar o relatório propriamente dito serão apresentadas as justificativas da realização, os objetivos do projeto e a estrutura do trabalho.

1.1. Justificativas

A formação de incrustação é um significativo problema de qualquer sistema de transporte de fluidos através de tubos, pois ocorre o aumento da pressão interna, com isso mais gasto de energia e possibilidades de rompimento nos canos.

Prever a formação de incrustação é uma necessidade de muitos sistemas com tubos. Mas para isso, as várias condições operacionais no sistema em incrustação (pressões, temperaturas, composições do material, taxas de fluxo e muitos outros fatores) devem ser entendidas e quantificadas.

Para realizar os testes de detecção de incrustação sem a abertura da tubulação, é necessário monitorar e controlar os parâmetros físicos da temperatura, pressão e taxa de fluxo, para a garantia de que os testes realizados em diferentes momentos estejam em mesmas condições.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Desenvolver um sistema capaz de monitorar e controlar a temperatura, a taxa de fluxo e a pressão em uma plataforma de detecção de incrustação.

1.2.2. Objetivos específicos

- Estudar as propriedades do CLP Siemens SIMATEC S7-200.
- Especificar os sensores de temperatura, vazão e pressão.
- Estudar o Padrão 4-20mA.
- Condicionar os sinais dos sensores.
- Instalar a comunicação dos sensores com o CLP.
- Instalar a comunicação do CLP com o microcomputador.
- Programar o CLP para a leitura, a escrita e o processamento das informações.
- Desenvolver as interfaces do usuário com o sistema (LabView).
- Realizar testes de validação.

1.3. Estrutura do relatório

Este trabalho de conclusão de curso estrutura-se em três grandes partes. A primeira apresenta o processo de incrustação e suas características (Capítulo 2). A segunda apresenta o sistema montado da plataforma com todos os componentes de controle (Capítulo 3). A terceira parte trata do trabalho realizado na prática: as interfaces e condicionamento dos sinais dos sensores ao usuário, passando pelo CLP e computador (Capítulo 4). E por último, são apresentadas as conclusões.

Capítulo 2 - O processo de incrustação

Tubos são condutos fechados, destinados principalmente ao transporte de fluidos. Chama-se de “tubulação” um conjunto de tubos, válvulas e seus diversos acessórios. As válvulas são dispositivos destinados a estabelecer, controlar e interromper o fluxo em uma tubulação e por isso devem merecer um maior cuidado na sua especificação, escolha e localização [1].

A necessidade da existência dos tubos decorre principalmente do fato do ponto de geração ou de armazenagem dos fluidos estarem, em geral, distante do seu ponto de utilização [3].

Ao transportar fluidos por tubulações, acumulam-se com o passar do tempo, materiais indesejados na parede interna dessas tubulações, caracterizando o fenômeno chamado incrustação. Esse fenômeno tornou-se uma das maiores incertezas associadas com a operação e manutenção das tubulações e, conseqüentemente, de vários equipamentos industriais.

A incrustação causa a diminuição do diâmetro interno da tubulação, aumento da pressão interna, aumento do consumo de energia, podendo provocar fissuras na tubulação e elevar o custo de manutenção [3]. Em tubulações metálicas, pode ocorrer o rompimento da estrutura em função da oxidação oriunda de reações químicas [7].

A limpeza dos dutos incrustados, realizada com o objetivo de remover as camadas acumuladas na superfície interna da tubulação e os agentes químicos, demanda tempo e significa custo com manutenção. A necessidade de uma detecção rápida da incrustação é de fundamental importância para evitar que problemas maiores aconteçam e também que as manutenções preditivas sejam realizadas no tempo certo, para reduzir os gastos, já que a limpeza dos dutos é efetuada através de manutenções regulares sem o conhecimento da localização da incrustação [6].

2.1. Aspectos gerais

A incrustação origina-se de vários fatores dentre os quais se podem destacar:

- **Sedimentação:** Este processo é provocado pela ação da força de gravidade sobre as partículas suspensas no meio líquido.
- **Cristalização** ou **solidificação:** Hidrocarbonetos de origem parafínica quando resfriados tendem a depositar cristais no interior da tubulação. Para que a cristalização inicie é necessário um grau de supersaturação na solução antes que a precipitação ocorra.
- **Efeito da solubilidade:** O petróleo apresenta em sua constituição uma mistura de vários componentes dispersos. O que o torna estável é o equilíbrio de solubilidade entre todos estes componentes. Uma mudança neste equilíbrio pode causar a precipitação de um ou mais componentes levando a formação da incrustação.
- **Agregação** ou **floculação:** Na composição do petróleo, moléculas de asfaltene estão presentes. A diminuição da polaridade no meio do óleo causa a agregação e a flocculação destes componentes.
- **Efeito coloidal:** Este efeito é resultado da combinação de asfaltenes flocculados e das resinas presentes no óleo.
- **Reações químicas:** Este processo geralmente conduz à incrustação por corrosão e por polimerização.
- **Crescimento biológico:** Este processo pode ser descrito como o crescimento de micro e macro-organismos (bactérias, fungos ou algas) aeróbios e anaeróbios, na superfície interna da tubulação. As bactérias fixam-se na parede interna do tubo devido ao fato de que o material na superfície passa a ser uma fonte de nutrientes.

A falta de informação sobre o mecanismo de incrustação impede o desenvolvimento de passos preventivos que precisam ser levados em conta na fase do projeto dos sistemas com fluxo de fluido [6].

Três fatores podem ser considerados no desenvolvimento de mitigação e prevenção da incrustação:

- A resistência de fluxo devido à incrustação é um valor que varia com o tempo.
- A capacidade para caracterizar as condições do início do processo de incrustação.
- A monitoração do sistema baseado nas variáveis e mecanismos do processo de incrustação. [7]

Os materiais de deposição propensos à incrustação podem ser controlados usando várias técnicas de tratamento químico e mecânico:

- Mudanças no fluxo do fluido transportado;
- Eliminação de materiais incompatíveis com o fluxo;
- Variação da queda de pressão na instalação;
- Minimização da mistura de fluxos incompatíveis durante processos de transferência. [8]

Numa modelagem apropriada, que considere as principais causas e mecanismos de incrustação, poderá prever a natureza da incrustação em cada caso e desenvolver técnicas de mitigação para combater este processo.

Como as incrustações são formadas predominantemente devido à separação de uma fase sólida ou condensada de um fluido (gás ou líquido), seus mecanismos e forças motrizes são totalmente diferentes e muitas vezes únicos. Geralmente, os problemas de incrustação são consequência da combinação de vários movimentos e reações de fase. Para resolver estes problemas, ou seja, para modelá-los e predizê-los com precisão, é necessário entender os seus mecanismos claramente e as naturezas interativas dos fenômenos envolvidos [6].

O próximo passo na modelagem da incrustação em processos industriais, sobre a qual é necessário ter informações, são as fases existentes no processo de incrustação, a saber:

1. A necessidade do conhecimento sobre os **processos** tais como a micro-estrutura, a composição química, a porosidade, a permeabilidade, as dimensões, a razão superfície/volume e qualquer outra informação que pode caracterizar o início do processo de incrustação.
2. A **migração** (ou difusão) do material incrustante para o local onde a incrustação ocorre
3. A **nucleação** (iniciação) do local incrustado.

4. A fase de **ataque** é uma função das propriedades interfaciais do material incrustante na superfície onde a incrustação ocorre.
5. O fenômeno de **crescimento** e sua taxa devem ser estudados para poder prever em quanto tempo ocorrerá o bloqueio completo da tubulação para certo material incrustante. Esta fase é uma função da natureza do material incrustante, de outros componentes presentes no sistema e outras variáveis como temperatura, taxa e composição do fluxo.
6. Os fenômenos de **erosão**, envelhecimento e endurecimento devem ser estudados, pois o fato de algumas incrustações parecerem ser regeneráveis inicialmente, e não em tempos posteriores, é indicativo dos fenômenos de envelhecimento e endurecimento. [7]

Com todas as fases anteriores de incrustação bem compreendidas e modeladas, um sistema de previsão da incrustação pode ser desenvolvido. A dificuldade de modelar a incrustação se dá pelo fato deste processo não ocorrer de forma contínua, além de ser formado por diferentes tipos de substâncias que podem estar presentes em um determinado local e não estar presentes em outro local do duto [8].

2.2. Intervenientes físicos no fenômeno da incrustação

O processo de incrustação nas tubulações é função de diversos fatores: natureza do material incrustante, componentes presentes no sistema, temperatura, pressão e a taxa de fluxo no interior dos tubos, entre outros.

A fim de prever em quanto tempo ocorrerá certa quantidade de incrustação na tubulação para determinado material incrustante, devem ser estudadas as várias condições operacionais no sistema em incrustação (pressões, temperaturas, composições, taxas de fluxo e suas variações), diversos fatores devem ser entendidos e quantificados [8].

Os fatores físico-químicos que afetam a formação da incrustação, muitas vezes agem de formas diferentes ou até mesmo de formas contrárias. Isso ocorre por que depende dos produtos do sistema, qual a fase que se encontra a incrustação, quais as condições do ambiente e ainda outras variáveis que podem interferir na compreensão do caso.

Na tentativa de definir as proporções da influência da temperatura, taxa de fluxo e pressão no processo, pode-se especificar uma situação. Por exemplo, considerando a plataforma em estudo, com mistura de soluto sólido em solvente líquido no interior da tubulação e uma incrustação na fase de crescimento originada do efeito da solubilidade; pode-se estimar que a temperatura, a taxa de fluxo e a pressão influenciariam da seguinte forma:

- **Temperatura:** Em geral, a solubilidade da maioria das substâncias sólidas e líquidas em um solvente líquido aumenta com o aumento da temperatura. Logo, com a redução da temperatura o processo de incrustação nas tubulações é acelerado, da mesma forma, com o aumento da temperatura o processo ocorre mais lentamente [9].
- **Taxa de fluxo e agitação:** A quantidade de produto que passa no interior da tubulação influencia diretamente na quantidade de material que pode vir a ser incrustado. A agitação dentro dos tubos altera o local e a quantidade de incrustação que é formada.
- **Pressão:** A pressão, em geral, não influencia na formação da incrustação no caso considerado. Porém a incrustação pode causar aumento da pressão interna, aumento do consumo de energia e pode provocar fissuras na tubulação.

Considerar a influência dos parâmetros físicos na formação da incrustação é importante. Porém, a justificativa mais importante para o monitoramento e controle desses parâmetros é garantir que os testes realizados, em diferentes momentos, estejam nas mesmas condições.

Os testes na plataforma são realizados em condições ambientais diferenciadas, por diferentes pessoas e de diferentes formas. Muitas vezes, a fim de comparar os resultados, é desejado manter algumas condições dos testes semelhantes, dessa forma os erros nas medidas causados por esses fatores externos seriam reduzidos.

Capítulo 3 - Descrição do sistema

Foi montada no Laboratório de Instrumentação e Controle (LIEC) da UFCG em 2005, uma plataforma com tubulação. Tinha como objetivo fazer circular um fluido no interior de tubos para a realização dos testes para detecção de incrustação. Com o avanço das pesquisas, foram necessários e acrescentados certos sensores de temperatura, vazão e pressão e atuadores de temperatura e vazão.

Em busca de reduzir a margem de erros dos resultados, foi decidido inserir um sistema de automação. Para isso, foi instalado um microcomputador e um CLP S7-200 da Siemens para se comunicarem com os sensores e atuadores da plataforma.

O sistema completo é composto pela plataforma (reservatório, tubulação, válvula e bomba centrífuga), pelos sensores e atuadores, pelo CLP S7-200 e pelo microcomputador.

Na Figura 1, encontra-se o diagrama da plataforma e dos equipamentos de forma simplificada. As principais partes da plataforma são apresentadas nos tópicos posteriores.

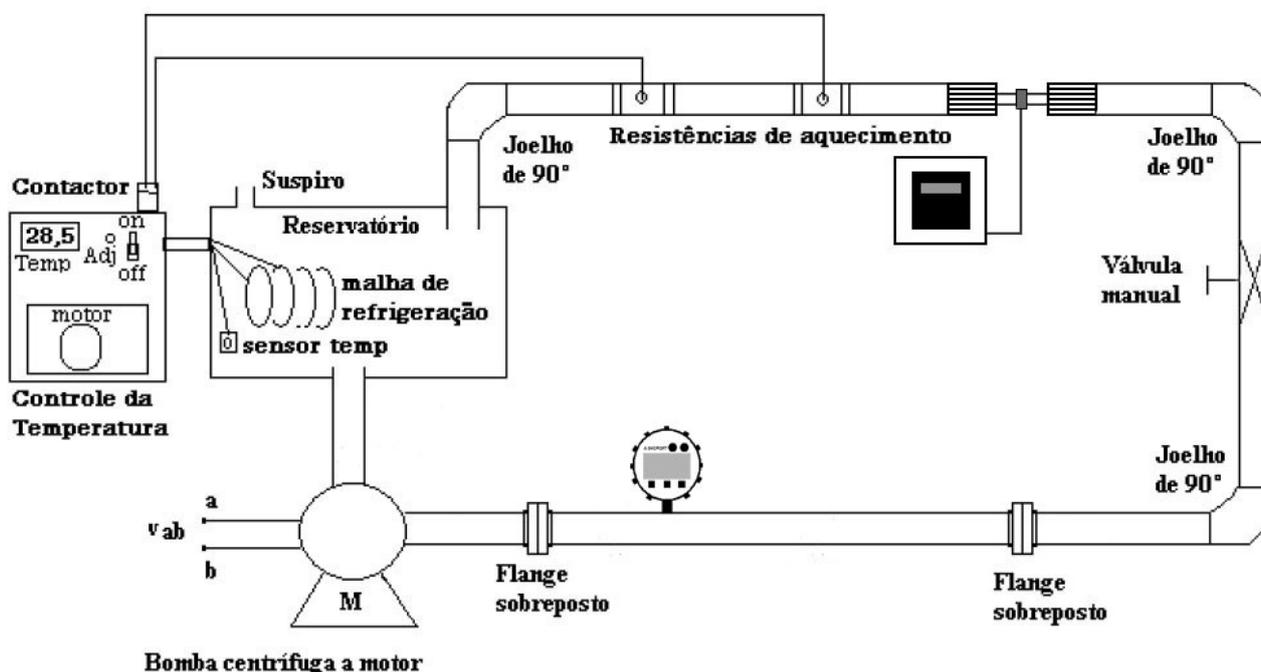


Figura 1 - Diagrama da plataforma com seus equipamentos

Na Figura 2, uma fotografia da plataforma com todos os equipamentos instalados.

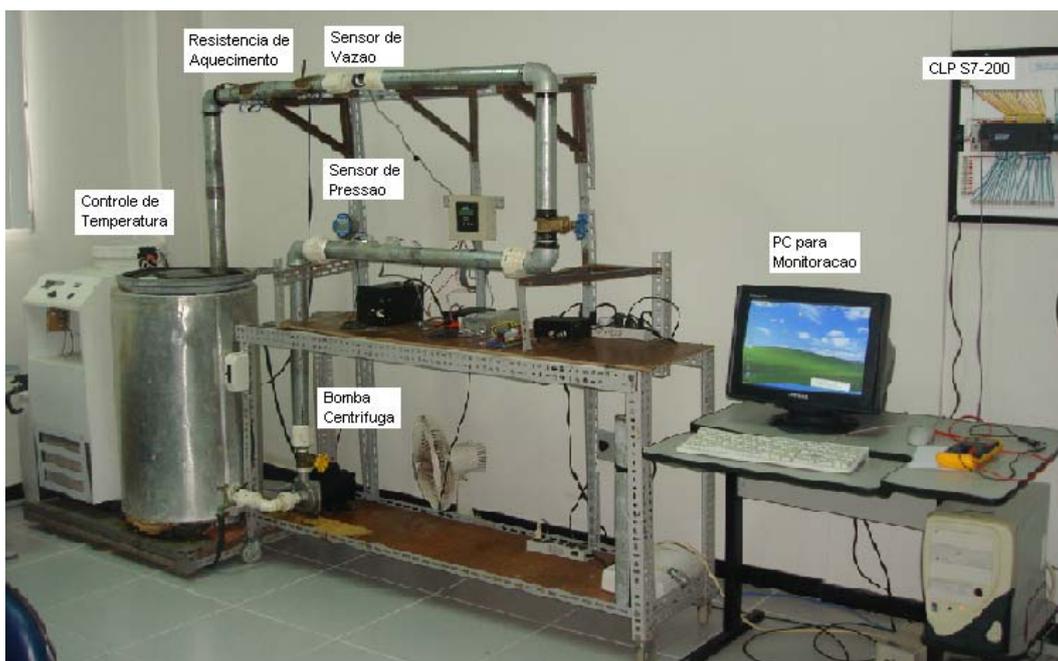


Figura 2 - Foto da plataforma

A fim de melhorar a organização e facilitar a apresentação, o sistema foi dividido em quatro partes:

- Plataforma de detecção de incrustação
- Sensores e atuadores
 - Vazão
 - Pressão
 - Temperatura
- Controlador Lógico Programável
- Computador e interface do usuário

3.1. Plataforma de detecção de incrustação

A plataforma é composta por: um reservatório, onde as substâncias para os ensaios são colocadas, tubulações de ferro galvanizado com partes removíveis, uma válvula para controle do fluxo e uma bomba centrífuga a motor.

Na Figura 3 encontra-se o diagrama da plataforma da tubulação com os seus componentes.

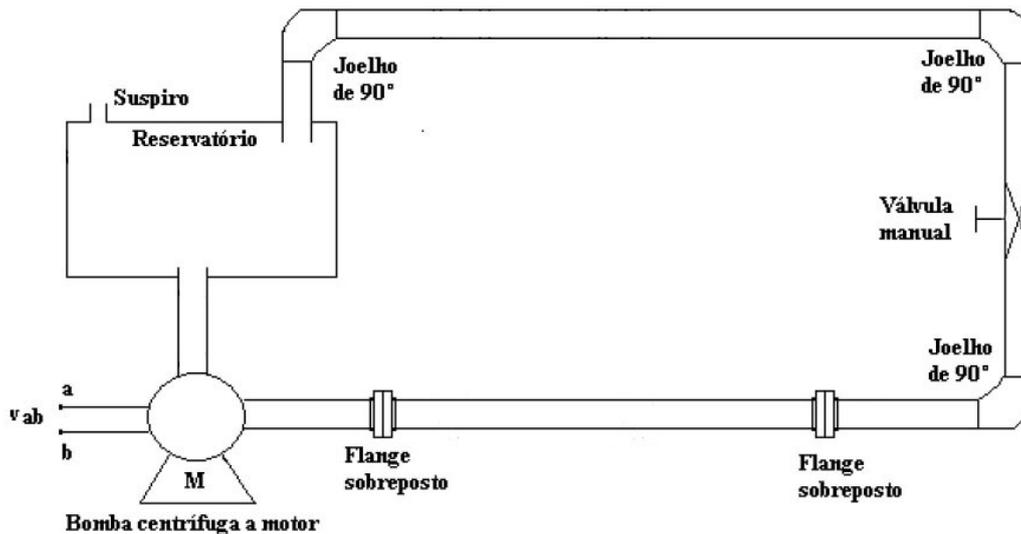


Figura 3 - Diagrama da plataforma

A plataforma de teste para os métodos de incrustação foi montada de forma que houvesse maior mobilidade no seu deslocamento e manutenção. Foi utilizada uma bancada móvel com espaço suficiente para apoiar os equipamentos elétricos dos testes.

Para criar a incrustação com o passar do fluido nas tubulações, foram utilizadas substâncias adequadas. No reservatório com 100 litros de água destilada foram colocados os seguintes compostos:

- Hidróxido de Cálcio (Ca(OH)_2) = 130 mg=l para 100 litros: 24,05 g
- Sulfato de Magnésio (MgSO_4) = 20 mg=l para 100 litros: 9,9 g
- Cloreto de Sódio (NaCl) para 15000 ppm utilizar 2,472 kg
- Sulfato de Bário (BaSO_4) = 100 mg=l para 100 litros: 16,99 g

Para aumentar a incrustação basta aumentar as quantidades das substâncias [10].

3.2. Sensores e atuadores

A fim de monitorar as reais condições de temperatura, pressão e vazão no interior dos tubos da plataforma, foram instalados sensores para medição e aquisição dos dados e determinados atuadores para o controle.

Os três sensores enviam os valores das medições para o Controlador Lógico Programável utilizando o padrão de comunicação de 4-20mA.

3.2.1. O Padrão 4-20mA

É um padrão de comunicação analógico que faz uso de um sinal de corrente na faixa de 4mA a 20mA. Podendo ser caracterizado pela malha de corrente utilizada para a interconexão dos dispositivos de campo, ver Figura 4.

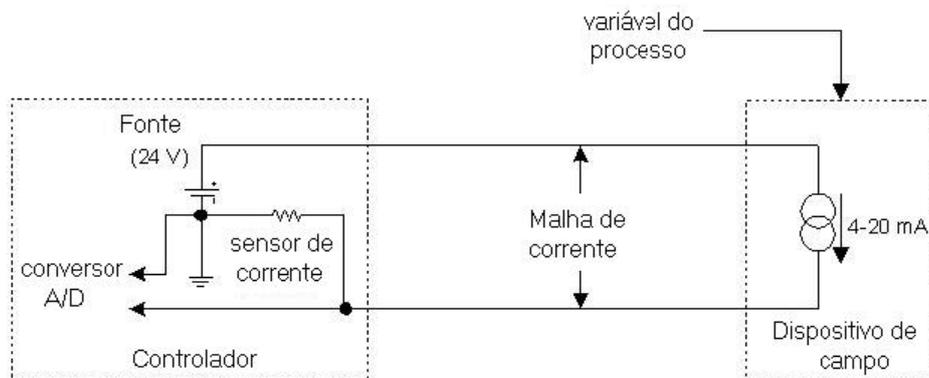


Figura 4 - Malha de corrente

Nesta configuração, por exemplo, os dispositivos são interconectados com a fonte e o dispositivo de controle, onde se tem: de um lado o conversor A/D, utilizado para decodificar a informação que trafega na malha através da corrente que circula pela mesma; na outra extremidade encontra-se o dispositivo sensor ou atuador que deverá controlar a corrente (sensor) ou fazer uso do seu valor para ajustar seus parâmetros (atuador) [11].

A utilização de padrões de corrente tornou-se mais atraente do que o de tensão, embora um pouco mais complicado de entender, tal padrão trouxe algumas vantagens.

Sobre o sinal de 4-20mA podem ser listadas as seguintes características:

- Os primeiros 4mA do sinal de 4-20mA são utilizados para a alimentação do dispositivo sensor/atuador. A porção de sinal, correspondente aos sinais de controle é referido principalmente aos 16mA restante do sinal.

- Cada dispositivo possui uma faixa de operação, pode-se afirmar que tipicamente os dispositivos projetos para as redes de 4-20mA fazem uso dessa faixa para a transmissão da informação de forma linear.
- Imunidade ao ruído. Como a transmissão através da passagem de corrente por um par de fios, campos magnéticos que atingirem o cabo, induzirão correntes de mesma intensidade com sentidos opostos.
- Transmissão em longas distâncias sobre o condutor padrão. Isso acontece devido ao princípio utilizado no padrão que é de manter uma fonte de corrente alimentando o circuito, respeitada a lei de Ohm, o tamanho do cabo tem pouca influência na transmissão do sinal.
- Resistência de malha auto-ajustável.

3.2.2. Temperatura

A temperatura influencia diretamente na formação da incrustação. É importante poder variar a temperatura não somente para controlar o incrustamento, mas também para garantir as mesmas condições de temperatura nos testes realizados.

Na Figura 5 encontra-se representado no diagrama da plataforma o sistema de monitoramento e controle da temperatura: o reservatório com a malha de refrigeração, o módulo controlador, o par de resistências e o sensor de temperatura,

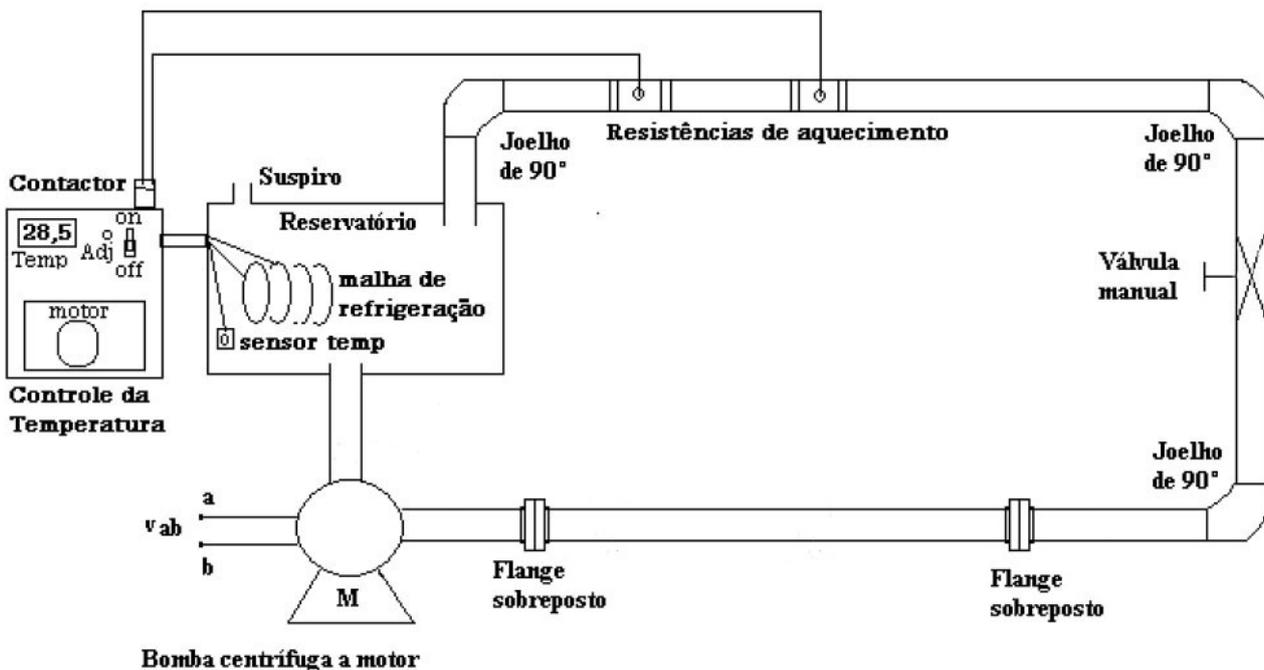


Figura 5 - Plataforma com sensor e atuadores de temperatura

do reservatório. O uso das resistências de aquecimento é para aumentar a temperatura com o objetivo de reduzir a incrustação nas tubulações. Com isso pode-se acompanhar o aumento ou redução da incrustação nas tubulações utilizando esse sistema [6].

Uma foto do reservatório e do módulo de controle da temperatura encontra-se na Figura 7.



Figura 7 - Reservatório e módulo de controle

Na Figura 8 é possível ver os detalhes da malha de refrigeração localizada dentro do reservatório. Esta malha é utilizada para reduzir a temperatura das substâncias sob testes e é controlada pelo módulo controlador ao seu lado.



Figura 8 - Malha de refrigeração dentro do reservatório

Uma foto das resistências de aquecimento encontra-se na Figura 9.



Figura 9 - Resistências de aquecimento

3.2.3. Vazão

A quantidade de fluido que passa no interior da tubulação influencia diretamente na quantidade de incrustação formada. Para realizar as medições de vazão foi instalado um sensor com um transmissor da medida e painel de visualização na plataforma.

As posições dos equipamentos de vazão podem ser vistos na Figura 10.

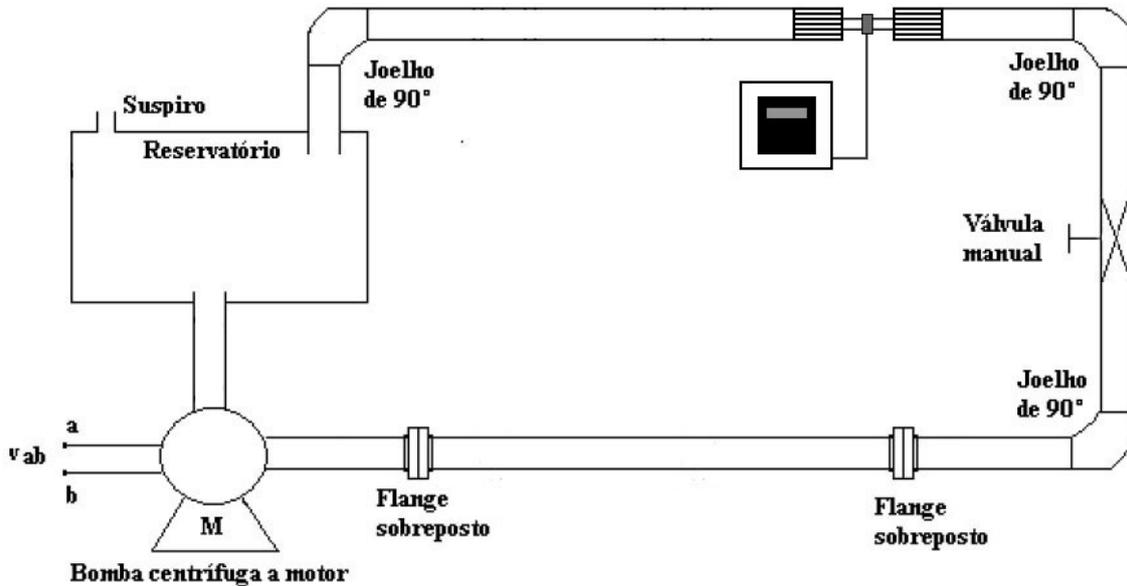


Figura 10 – Diagrama da plataforma com o sensor de vazão e válvula manual

3.2.3.1. O Transmissor de vazão

O medidor é constituído basicamente por uma hélice montada axialmente na tubulação. Ao passar o fluido no interior dos tubos, a hélice gira a uma velocidade determinada pela taxa de fluxo e pelo ângulo das pás. Sensores de efeito Hall são montados fora da trajetória do fluido para detectar o momento de passagem das aletas (Figura 11).

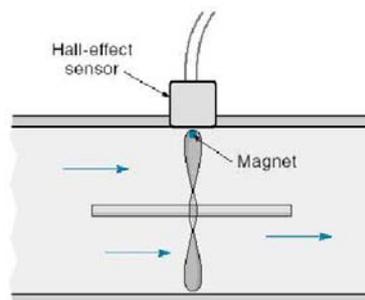


Figura 11 - Representação das aletas

As pás da hélice, que contém um ímã permanente nas pontas, ao se aproximar sensor de efeito Hall, induzem uma tensão alternada dos terminais do mesmo [14]. A frequência dos pulsos gerados desta maneira é proporcional à velocidade do fluido e a vazão pode ser determinada pela quantidade de pulsos em determinado tempo.

O transmissor de vazão utilizado possui duas principais partes, o sensor que se encontra no interior do cano e a caixa transmissora. Esta última recebe as medições do sensor, realiza o condicionamento do sinal, exibe o valor em diferentes unidades no painel e envia em forma de corrente de 4-20mA.

Foi utilizado um transmissor de vazão da marca *Signet* modelo *8550-1* (Figura 12) com características:

- Alimentação: 12 a 24 VCC $\pm 10\%$, regulado
- Corrente máx. de alimentação: 61 mA
- Variação do sensor: 0,5 a 1500Hz
- Saída de corrente: 4 a 20 mA, isolada, ajustável e reversível
- Taxa de atualização: 100 ms
- Exatidão: $\pm 0,03$ mA [15].



Figura 12 - Transmissor de vazão

3.2.3.2. Válvula manual

Foi discutida a possibilidade de instalação de uma válvula automática para o controle da vazão, porém seu custo seria muito alto. A solução manual se mostrou simples, satisfatória e não prejudicou os resultados do trabalho.

Ao fechar ou abrir a válvula manual, a taxa de fluxo no interior dos tubos é diretamente afetada. A pressão também pode ser controlada através da válvula manual.

3.2.4. Pressão

Para evitar pressões com valores elevados, foi colocado o sensor de pressão para realizar o monitoramento e que possíveis transtornos, como a fissura nos tubos, não ocorram.

Não se optou pela instalação de um controle direto para a pressão. Porém, pode-se controlar aumentando ou diminuindo a vazão interna nos tubos com a válvula.

Na Figura 13 encontra-se o diagrama da plataforma com o sensor de pressão.

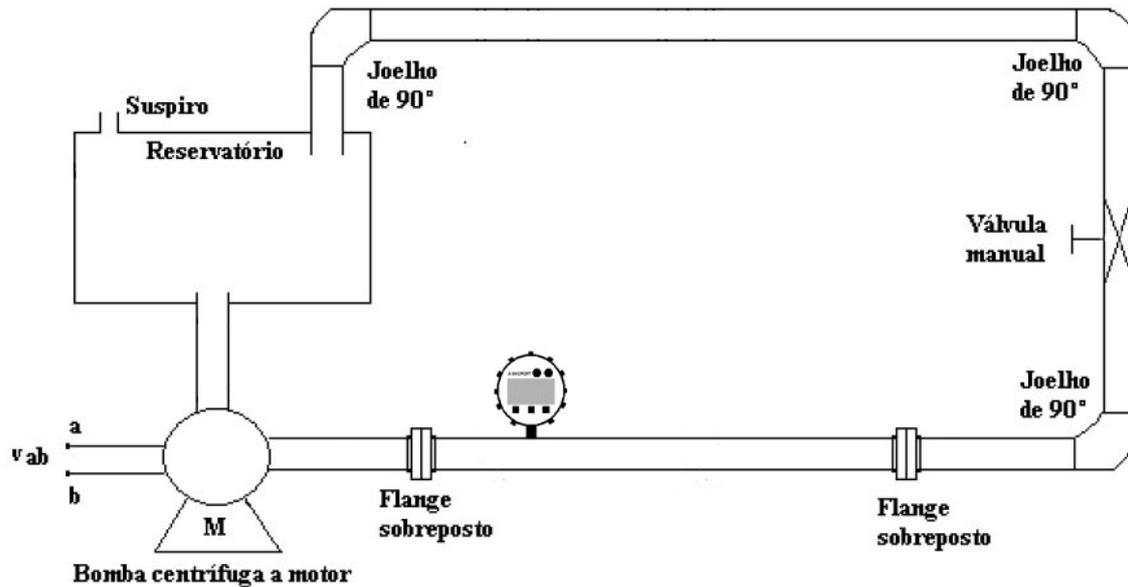


Figura 13 - Diagrama da plataforma com o sensor de pressão

3.2.4.1. O sensor de pressão

O sensor de pressão utilizado é um dispositivo que mede a deformação elástica sofrida pelos sólidos quando estes são submetidos ao esforço de tração ou compressão. São na realidade fitas metálicas fixadas adequadamente nas faces de um corpo a ser submetido a esforços de tração ou compressão que afetam sua seção transversal e seu comprimento.

Essas fitas são interligadas em um circuito tipo ponte de *wheatstone* ajustada e balanceada para condição inicial e que ao ter os valores de resistência da fita mudada com a pressão, sofre desbalanceamento proporcional à variação desta pressão. São utilizadas na confecção destas fitas extensiométricas, metais que possuem baixo coeficiente de temperatura para que exista uma relação linear entre resistência e tensão numa faixa mais ampla [16].

O monômetro utilizado na plataforma é da marca *Ashcroft* modelo *D1005PS* com características (Figura 14):

- Tipo do sensor: *Gauge*
- Material: Diafragma em aço inoxidável 17-4 PH e soquete em aço inoxidável 316.
- Precisão: <0,5%
- Tempo de aquisição: 10 leituras por segundo
- Interface: Visor LCD
- Unidades de exibição: psi, mmHg, mBar, Pol Hg, ft H2O, MPa, KPa, kgf/cm² e Bar.
- Alimentação: 3 pilhas AAA
- Sinal de saída em corrente: 4-20mA. [17]



Figura 14 - Monômetro Ashcroft D1005S

3.3. O Controlador Lógico Programável

Controlador Lógico Programável (CLP) segundo a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) é um equipamento eletrônico digital com hardware e software compatíveis com aplicações industriais. Segundo a NEMA (National Electrical Manufacturers Association), é um aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para armazenar internamente instruções e para implementar funções específicas, tais como lógica, seqüenciamento, temporização, contagem e aritmética, controlando, por meio de módulos de entradas e saídas, vários tipos de máquinas ou processos.

Vantagens do uso de controladores lógicos programáveis:

- Ocupam menor espaço;
- Requerem menor potência elétrica;
- Podem ser reutilizados;
- São programáveis, permitindo alterar os parâmetros de controle;
- Apresentam maior confiabilidade;
- Manutenção mais fácil e rápida;
- Oferecem maior flexibilidade;
- Apresentam interface de comunicação com outro CLP e computadores de controle;
- Permitem maior rapidez na elaboração do projeto do sistema. [18]

São utilizados para controlar tarefas que necessitam de desempenho de computadores industriais, mas com uma maior robustez. Estes controladores são multifuncionais, incluindo funções discretas, analógicas e de controle de movimento. O CLP possui uma memória para programas e dados do processo em execução, uma vez que o processo precisa ser modificado, simplesmente podem-se modificar as instruções contidas no programa gravado na memória do CLP [19].

Um CLP é composto por módulos especializados: processador, memória, módulos de entrada e saída com interfaces, dispositivos de comunicação, rack, etc. A Figura 15 mostra o esquema básico de um CLP.

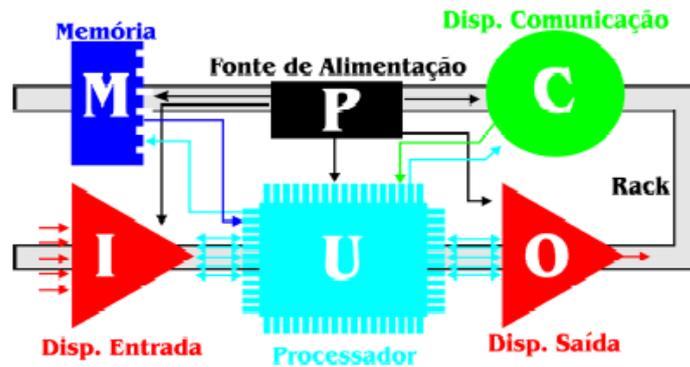


Figura 15 – Módulos do CLP

As funções dos módulos são:

- **Processador:** É responsável por ler e interpretar todas as instruções do programa gravado na memória. Coordena os processos de comunicação externa realizadas pelos módulos de comunicação, bem como comunicação entre os módulos presos ao rack.
- **Fonte de Alimentação:** Os módulos do CLP são alimentados por baixa tensão em corrente contínua, essa tensão não fornecida por concessionárias de energia elétrica, para isso utiliza-se esse módulo para converter a tensão fornecida (110 ou 220Vac) na tensão requisitada pelos módulos.
- **Memória:** Local onde são gravados os programas e as variáveis em execução, a memória tem duas áreas reservadas para os estados das entradas e das saídas, chamadas de Matriz de Entradas e Matriz de Saídas, a cada ciclo de execução do programa essas áreas são lidas e se necessário atualizadas.
- **Entradas e Saídas:** São as portas por onde o CLP pode se comunicar com o meio exterior, pelas entradas o controlador pode ler os estados do processo que está sendo controlado e pelas saídas pode através de atuadores controlar o processo de acordo com as instruções contidas no programa em execução. Uma característica bastante interessante do CLP é de possuir as entradas e saídas já acopladas à interface isoladora, de forma que se pode normalmente ligar dispositivos diretamente às entradas sem a necessidade do desenvolvimento de interfaces, ou seja, motores podem ser diretamente ligados às saídas e sensores podem ser diretamente ligados às entradas. As entradas e saídas do CLP podem ser do tipo Analógico ou Digital.

- **Módulos de comunicação** (Figura 16): Um CLP pode se comunicar com outros CLPs formando uma rede complexa de controle, essa rede pode conter vários dispositivos não apenas CLP. Esses dispositivos podem se comunicar utilizando diferentes protocolos, para isso são utilizados conversores de protocolos. Alguns protocolos de comunicação são: *Profinet, DeviceNet, Ethernet, ASI*.

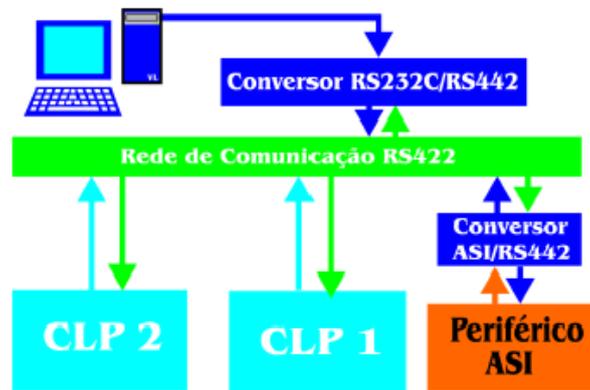


Figura 16 - Módulos de comunicações

- **Rack:** É um apoio onde são encaixados todos os módulos. Ao encaixar os módulos os mesmos devem se conectar entre si. [19]

3.3.1. Siemens SIMATEC S7-200

O Controlador Lógico Programável escolhido para se comunicar com os sensores, realizar o processamento e enviar os dados para o computador foi o modelo S7-200 da marca *Siemens*.

A série S7-200 é uma linha de controladores lógicos micro-programáveis (Micro CLP) que pode controlar uma variedade de aplicações em automação. O design compacto, expansibilidade, baixo custo e um extenso conjunto de instruções fazem do controlador uma boa solução para o controle de pequenas aplicações [20].

Na Figura 17a, encontra-se a descrição das principais partes da carcaça do modulo com a CPU. Pode-se observar na Figura 17b o sistema básico S7-200: um módulo com a CPU, um cabo de comunicação PC/PPI com o microcomputador e o software de programação STEP 7-Micro/WIN 32.

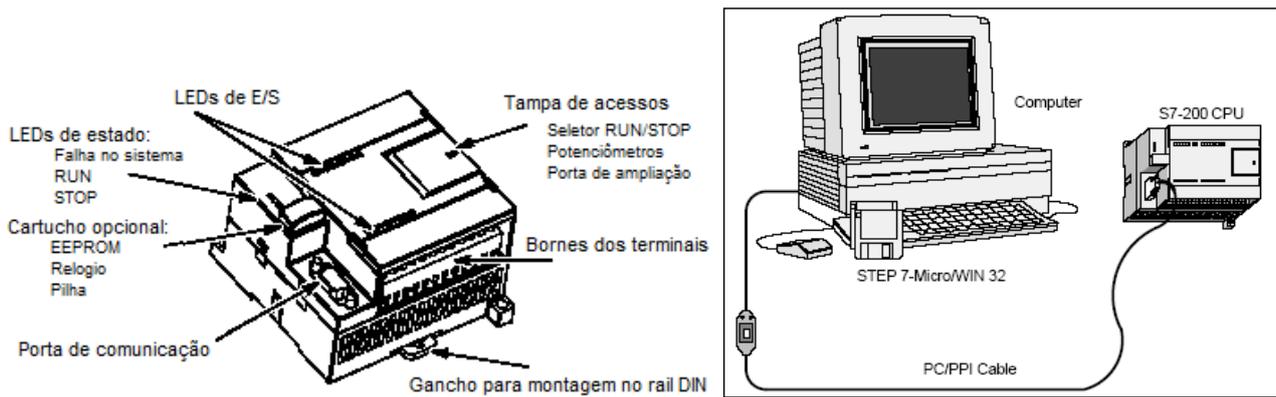


Figura 17 – (a) Carcaça do módulo com a CPU; (b) O sistema básico do CLP S7-200

Um S7-200 Micro CLP consiste de uma CPU S7-200, sozinha ou com um conjunto de módulos de expansão adicionais, que combina uma unidade de processamento (CPU), tensão de alimentação e pontos de I/O discretos em um compacto dispositivo *stand-alone*, que apresenta as seguintes características: 44

- A CPU executa o programa e armazena os dados para controle de um processo;
- As entradas e saídas digitais controlam o sistema: as entradas monitoram os sinais dos dispositivos de campo (tal como sensores e chaves) e as saídas controlam bombas, motores ou outros dispositivos do processo;
- A fonte de alimentação fornece energia para a CPU e para qualquer módulo conectado;
- As portas de comunicação permitem conectar a CPU a um dispositivo de programação ou outros dispositivos;
- LEDs fornecem informação visual sobre o estado da CPU (RUN ou STOP), o atual estado de I/O local e se foi detectada uma falta no sistema;
- Pontos adicionais de I/O podem ser acrescentados à CPU (com exceção da CPU 221) e também comunicações de alto desempenho através de módulos de expansão;
- Algumas CPUs possuem um relógio em tempo-real embutido e outras têm um cartucho opcional com o relógio;
- Um cartucho serial EEPROM opcional fornece um meio de armazenar programas da CPU e transferir programas de uma CPU para outra;
- Um cartucho de bateria opcional fornece um tempo de retenção maior dos dados na memória RAM. [21]

A família S7-200 possui quatro tipos de CPU, que possuem um conjunto de características específicas com o objetivo de se projetar uma solução de automação de custo efetivo. Para cada tipo de CPU há um número máximo de módulos de expansão. A CPU 221 não permite expansão. A CPU 222 permite um máximo de 2 módulos e as CPUs 224 e 226 permitem ambas um máximo de 7 [20].

O CLP *Siemens S7-200* instalado na plataforma possui a CPU 226, os módulos de entrada analógica EM231, EM232 e EM235 e o módulo de comunicação ASI CP243-2 (Figure 18).



Figure 18 - O CLP S7-200 com módulos instalados na plataforma

3.3.2. Linguagem LADDER

A linguagem LADDER é usada para programar Controladores Lógicos Programáveis. Diferente das linguagens de programação comuns, LADDER é uma linguagem gráfica. Essencialmente representando redes de conexões de relés, temporizadores, contadores, comutadores, sinais de relógio, linhas de comunicação, operações de comparação, cálculos de valores para variáveis, operações de conversão, etc [22] **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Toda a programação do controlador foi realizada no editor *STEP 7-Micro/WIN 32 Ladder Logic* que é fornecido pela *Siemens* para ser utilizado especificamente com o CLP SIMATEC S7.

Basicamente, os programas permitem que a CPU emule o fluxo de corrente elétrica de uma fonte de tensão através de uma série de condições lógicas de entrada que terminam habilitando condições lógicas de saída. Usualmente a lógica é separada em partes de fácil compreensão chamadas *networks*. O programa é executado uma *network*

por vez, da esquerda para direita e do topo para a base, como prescreve o programa. Quando a CPU chega ao final é reiniciado um novo ciclo, como ilustrado na Figura 19 [19].

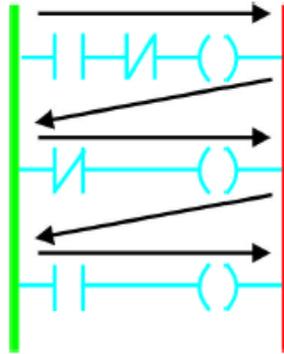


Figura 19 - Ciclo do diagrama Ladder

Podem-se citar algumas características:

- As linhas verticais dos diagramas representam as *power rails*.
- Cada *network* define uma única operação do processo.
- Cada *network* é iniciado com uma ou um conjunto de entradas, e termina em uma saída.
- Uma entrada pode ativar várias saídas.
- Um mesmo dispositivo pode aparecer em várias *networks*.
- Entradas e saídas são todas identificadas por seu endereço, esse endereçamento é particular do CLP e cada fabricante tem seus próprios métodos.

Os protocolos para a comunicação do CLP com outros equipamentos são: *PPI protocol*, *MPI protocol*, *Profibus Protocol* e *User-Defined Protocols (Freeport)*. Na comunicação do CLP com o microcomputador foi utilizado o protocolo *FreePort*, pois este oferece uma maior flexibilidade no envio de dados e na utilização do LabView como interface de controle [14].

3.4. Microcomputador com a interface do usuário

Foi instalado um microcomputador para se comunicar com o CLP e para exibir a interface com o usuário. O microcomputador é do tipo desktop com o sistema operacional Windows XP.

A comunicação com o CLP foi estabelecida através da porta serial RS232 com o cabo PPI/PC, a interface do usuário e o processamento das informações foram desenvolvidos no *LabView*.

3.4.1. A programação gráfica LabView

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) é a linguagem de programação gráfica, denominada G, que tende a dominar a área de testes e medidas (laboratórios, automação, entrada/saídas de dados, etc.). Os principais campos de aplicação são a realização de medições e a automação.

A programação é feita de acordo com o modelo de fluxo de dados, o que oferece a esta linguagem vantagens para a aquisição e tratamento de dados.

Os programas em LabView são chamados de instrumentos virtuais ou, simplesmente, VIs. São compostos pelo painel frontal, que contém a interface, e pelo diagrama de blocos, que contém o código gráfico do programa. O programa não é processado por um interpretador, mas sim compilado. Deste modo o seu desempenho é comparável à exibida pelas linguagens de programação de alto nível.

Capítulo 4 - Dos sensores ao usuário

Os sensores transformam uma grandeza física em um sinal elétrico. Esse sinal é submetido a um condicionamento e é enviado ao CLP em um padrão de comunicação conhecido. O controlador recebe o sinal analógico, passa pelo conversor A/D e envia os dados ao microcomputador com o cabo PPI/PC através da porta serial RS232. Com os dados recebidos, o microcomputador executa o processamento e exibe, através da interface do usuário, os valores das grandezas medidas. (Figura 20)

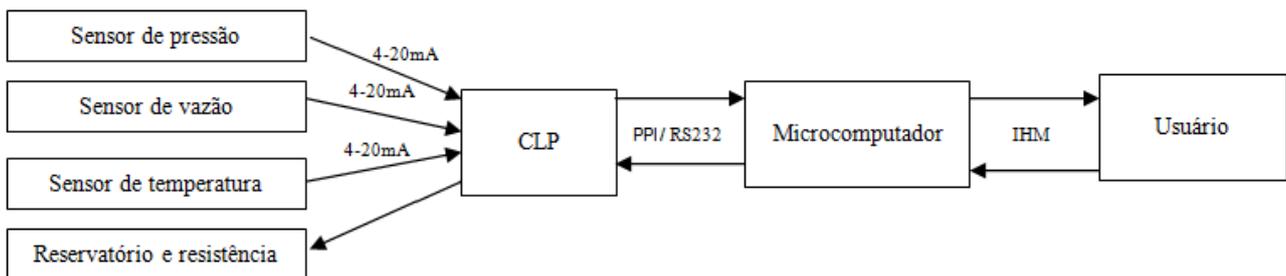


Figura 20 - Interfaces entre os equipamentos

O sistema, além de exibir ao usuário as medições, permite determinados controles através da interface. Esse pode ser feito de forma manual pelo usuário ou automático pelo próprio sistema.

4.1. Comunicação dos sensores

Os sensores se comunicam com o CLP através do padrão de comunicação 4-20mA, anteriormente apresentado. A forma como cada sensor foi conectado ao CLP e à fonte de alimentação é diferente, pois cada um possui um funcionamento específico.

O transmissor de **vazão** possui quatro fios, dois foram conectados à fonte de alimentação em 20VCC e, os outros dois fios enviam a saída variável de corrente ao CLP. O esquema de conexão foi ilustrado na Figura 21.

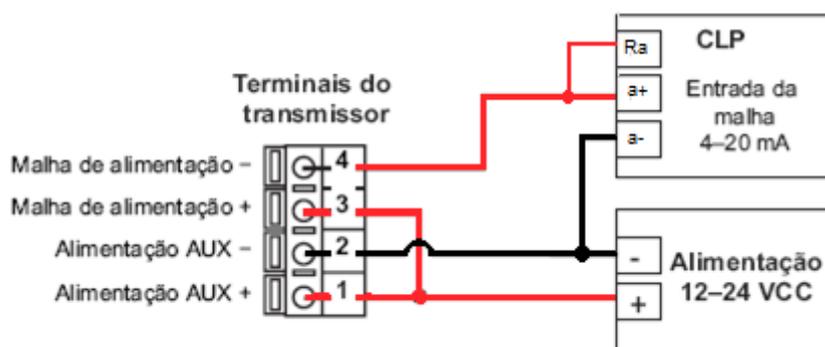


Figura 21 - Diagrama de conexão do transmissor de vazão

O sensor de temperatura LM35 possui três fios: o terra, a alimentação e o terminal do valor de saída em forma de tensão. Os três fios são conectados diretamente em um primeiro circuito eletrônico, este tem a função de alimentar o sensor e realizar o primeiro condicionamento do sinal recebido, transformando em um sinal de tensão variável de 0 a 10V. Este sinal é passado por um segundo circuito eletrônico com função de converter tensão em corrente, ou seja, ao variar a tensão de entrada o conversor varia a corrente de saída de 4 a 20mA (Figura 22). Essa corrente é enviada ao CLP, que após uma conversão analógica/digital envia a palavra ao microcomputador, assim a medida de temperatura é conhecida pelo usuário.

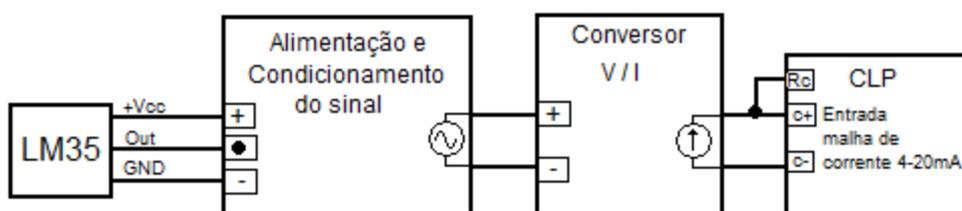


Figura 22 - Diagrama de conexão do sensor de temperatura

O sensor de pressão possui dois fios que foram conectados em série, formando uma única malha de corrente com os três equipamentos (Figura 23): a fonte de alimentação de 20VCC, o sensor de pressão e o CLP.

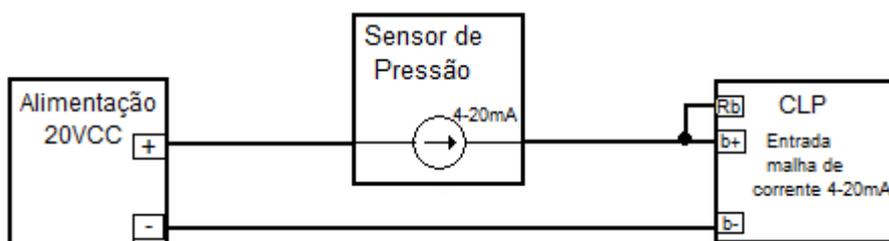


Figura 23 - Diagrama de conexão do sensor de pressão

4.2. Programação do CLP

Foi desenvolvido o programa em linguagem LADDER para a programação do CLP. Na concepção do programa, foram consideradas as suas funções necessárias:

- **Leitura:** O sinal analógico de 4-20mA é recebido pela entrada analógica do CLP e é passado pelo conversor A/D com 12 bits. Em pequenos intervalos de tempo, a medida é realizada e é definido o seu valor na escala de 0 a 32752.
- **Tratamento:** As palavras recebidas devem ser unidas para formação de uma palavra com 12 caracteres.
- **Envio:** Deve ser enviada a palavra através do cabo PPI/PC para a porta de comunicação série do computador.

Para realizar a comunicação com o computador, foi escolhido trabalhar no modo *Freeport*, que aceita protocolo definido pelo usuário. Na configuração desse modo 2 espaços de memória com 8 bits são reservados: o SMB30 quando se utiliza a porta 0 e o SMB130 quando se utiliza a porta 1. Cada bit terá seu valor de acordo com as características do protocolo desejado [20].

Com estes bits se configura diversas características da comunicação serial, as descrições estão no Quadro 1.

Port 0	Port 1	Description
Format of SMB30	Format of SMB130	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;"> <small>MSB</small> 7 </div> <div style="display: flex; align-items: center; gap: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">p</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">p</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">d</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">b</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">b</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">b</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">m</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">m</div> </div> <div style="text-align: center; margin-left: 10px;"> <small>LSB</small> 0 </div> </div> Freeport mode control byte
SM30.6 and SM30.7	SM130.6 and SM130.7	pp: Parity select 00 = no parity 01 = even parity 10 = no parity 11 = odd parity
SM30.5	SM130.5	d: Data bits per character 0 = 8 bits per character 1 = 7 bits per character
SM30.2 to SM30.4	SM130.2 to SM130.4	bbb: Freeport Baud rate 000 = 38,400 baud 001 = 19,200 baud 010 = 9,600 baud 011 = 4,800 baud 100 = 2,400 baud 101 = 1,200 baud 110 = 600 baud 111 = 300 baud
SM30.0 and SM30.1	SM130.0 and SM130.1	mm: Protocol selection 00 = Point-to-Point Interface protocol (PPI/slave mode) 01 = Freeport protocol 10 = PPI/master mode 11 = Reserved (defaults to PPI/slave mode)
Note: One stop bit is generated for all configurations.		

Quadro 1 – Configuração modo *Freeport*

A configuração para o protocolo de comunicação utilizada foi: não fazer uso de paridade, utilizar 8 bits por caractere e se comunicar com uma taxa de 9600 baud. Para isso, foi atribuído ao SMB30 o valor 00001001.

O programa em LADDER é de fácil construção e compreensão. A seguir, foram descritas as funções de cada *network* do programa realizado e representado na Figura 24 (programa principal) e na Figura 25 (subrotinas).

- **Network 1 e 2:** Configuração da comunicação modo *Freeport* (9 em hexadecimal);
- **Network 3:** Define o tempo entre as medições;
- **Network 4:** Chama subrotina de leitura da vazão;
- **Network 5:** Chama subrotina de leitura da pressão;
- **Network 6:** Chama subrotina de leitura da temperatura;
- **Network 7 e 8:** Envia o dado armazenado pela porta 0;
- **Subrotinas Network 1:** Lê e armazena o valor das entradas analógicas;
- **Subrotinas Network 2:** Transforma o dado de HEXA para ASCII.

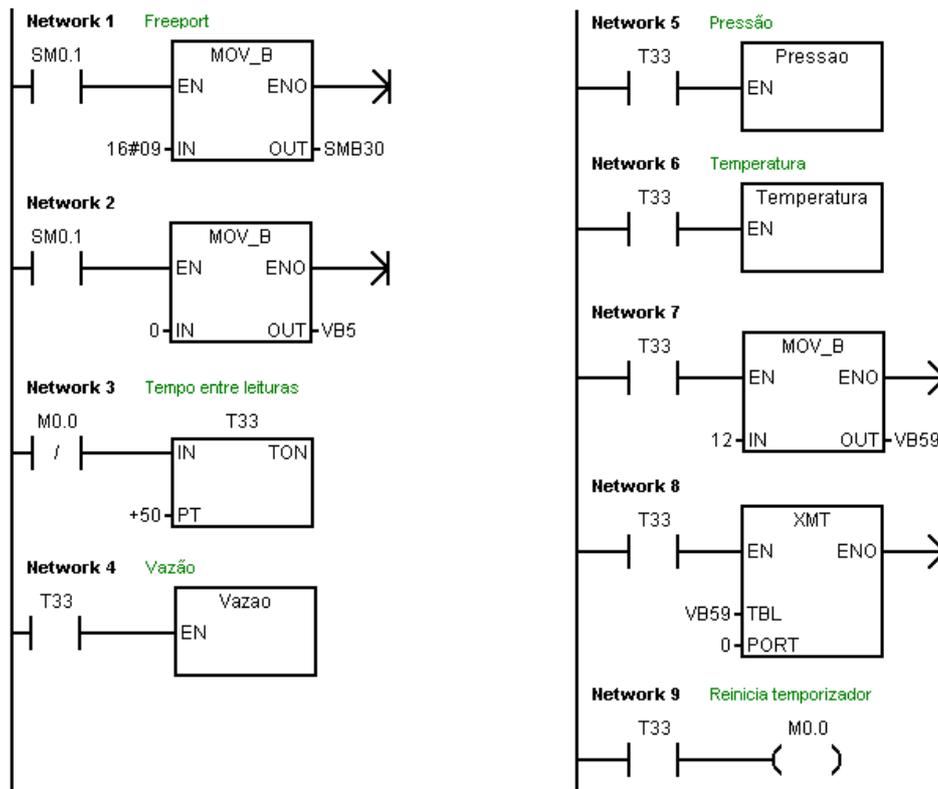


Figura 24 - Janela principal do programa em LADDER

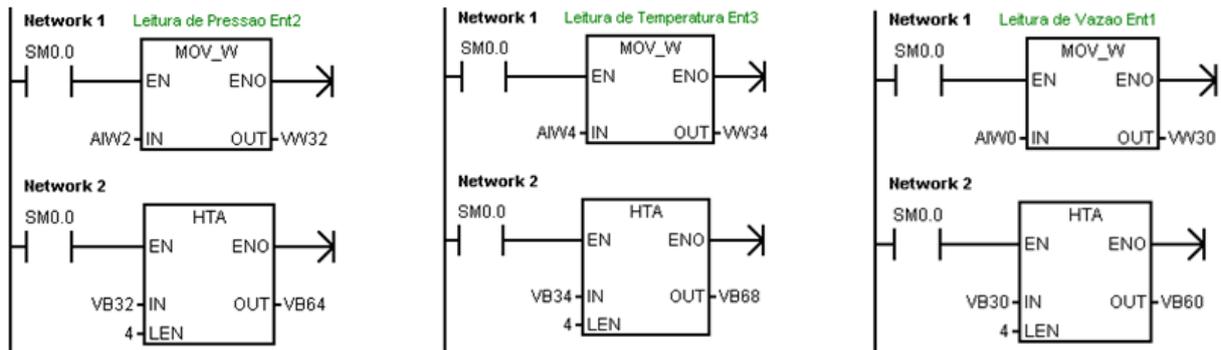


Figura 25 - Subrotinas de leitura de (a) Pressão; (b) Temperatura e (c) Vazão

4.3. Interface Homem-Máquina e Programação no LabView

Para definição da interface, foram levadas em consideração a facilidade de uso, a organização e a possibilidade de realizar as funções desejadas pelo projeto.

Foi desenvolvida uma única interface para exibição de todas as grandezas medidas e as possibilidades de controle (Figura 26).

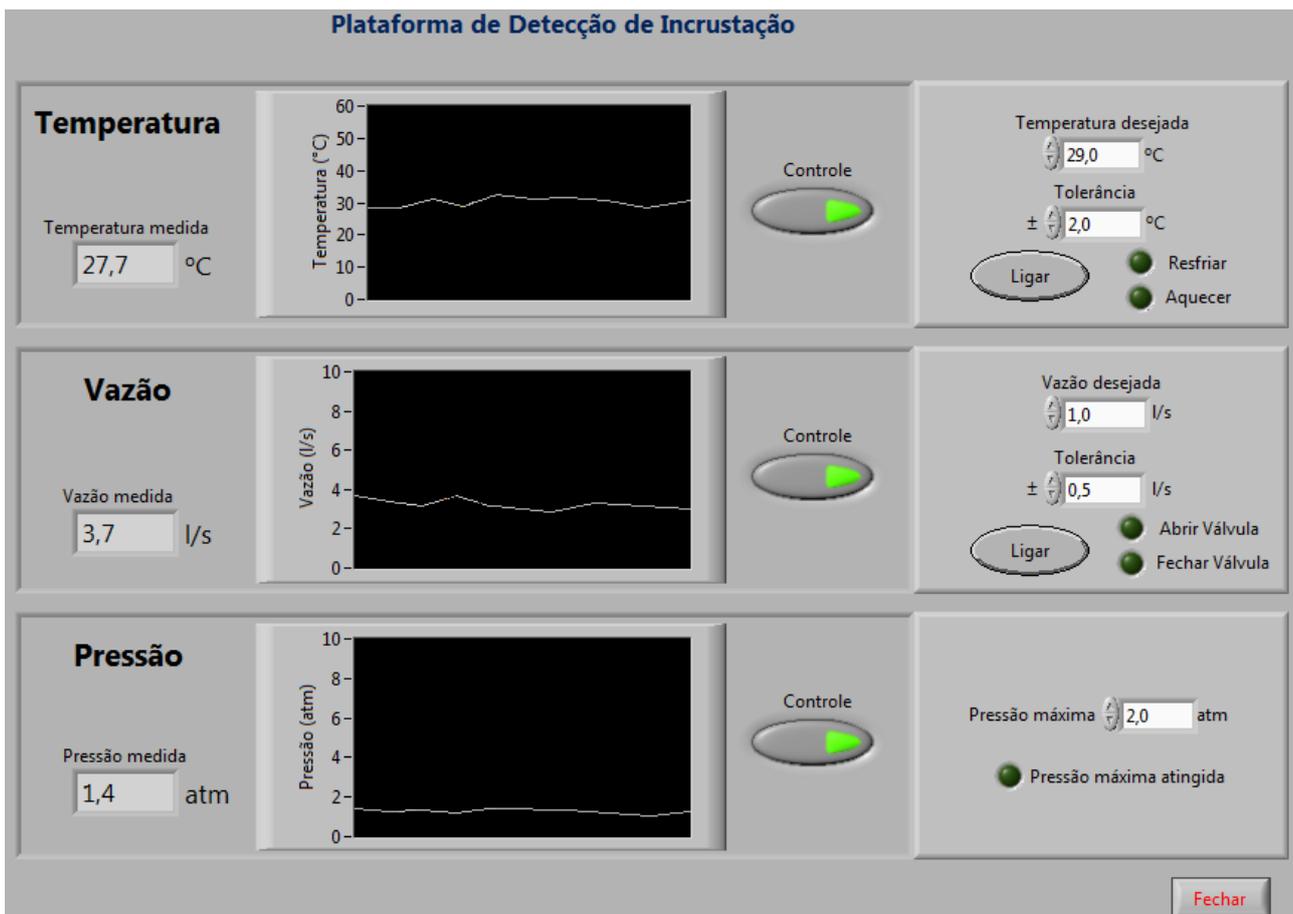


Figura 26 - Interface Homem – Máquina

Estão contidos na interface 3 quadros principais, um para cada grandeza física. Em cada quadro, tem-se a esquerda o monitoramento e a direita o controle específico. As medições realizadas são exibidas por números em uma caixa de texto e em um gráfico com o histórico dos últimos valores.

Com o botão Controle pressionado, torna-se visível o quadro correspondente à direita e habilitam-se as possibilidades de controle. As funções de controle das grandezas são distintas, dependendo das possibilidades dos atuadores e das necessidades da bancada. Esses controles específicos são apresentados nos tópicos posteriores.

4.3.1. Diagrama de Blocos no LabView

Enquanto no Painel Frontal está a aparência do programa com seus componentes, no Diagrama de Blocos encontram-se suas funções, as transferências e processamentos dos dados, ou seja, encontra-se o código fonte do programa realizado. A linguagem de programação G é realizada com a ligação de linhas por onde passam os dados de um componente para outro.

Na Figura 27 encontra-se o Diagrama de Blocos resumido realizado. Para melhor compreensão, o programa foi dividido em cinco partes:

1. **Recepção dos dados:** Nesta etapa inicial os dados do CLP são recebidos através da porta serial RS232 do computador.
2. **Divisão da palavra:** Os dados são recebidos em uma palavra com 12 algarismos, nesta etapa ela é dividida em 3 palavras iguais.
3. **Tratamento dos dados:** O dado recebido desconhecido com 4 algarismos é transformado em um número conhecido e com unidade. A relação do valor de entrada e de saída é linear e determinado a partir dos extremos da palavra recebida. Sendo X1, X2 e X3 as palavras recebidas, as fórmulas utilizadas são:

- Vazão: $[LPM] = \frac{19 \cdot X1}{12800} - 9,5$.

- Temperatura: $[^{\circ}C] = \frac{3 \cdot X2}{1280} - 15$

- Pressão: $[atm] = \frac{X3}{12240} - \frac{5}{8}$

4. **Exibição das medições:** Estão contidos nessa parte, a caixa de texto e o gráfico para exibição dos valores finais das medições realizadas para o usuário.
5. **Controle:** Os valores escolhidos pelo usuário são recebidos, realizadas as comparações com as medições e a saída para o controle é exibida pelas lâmpadas.

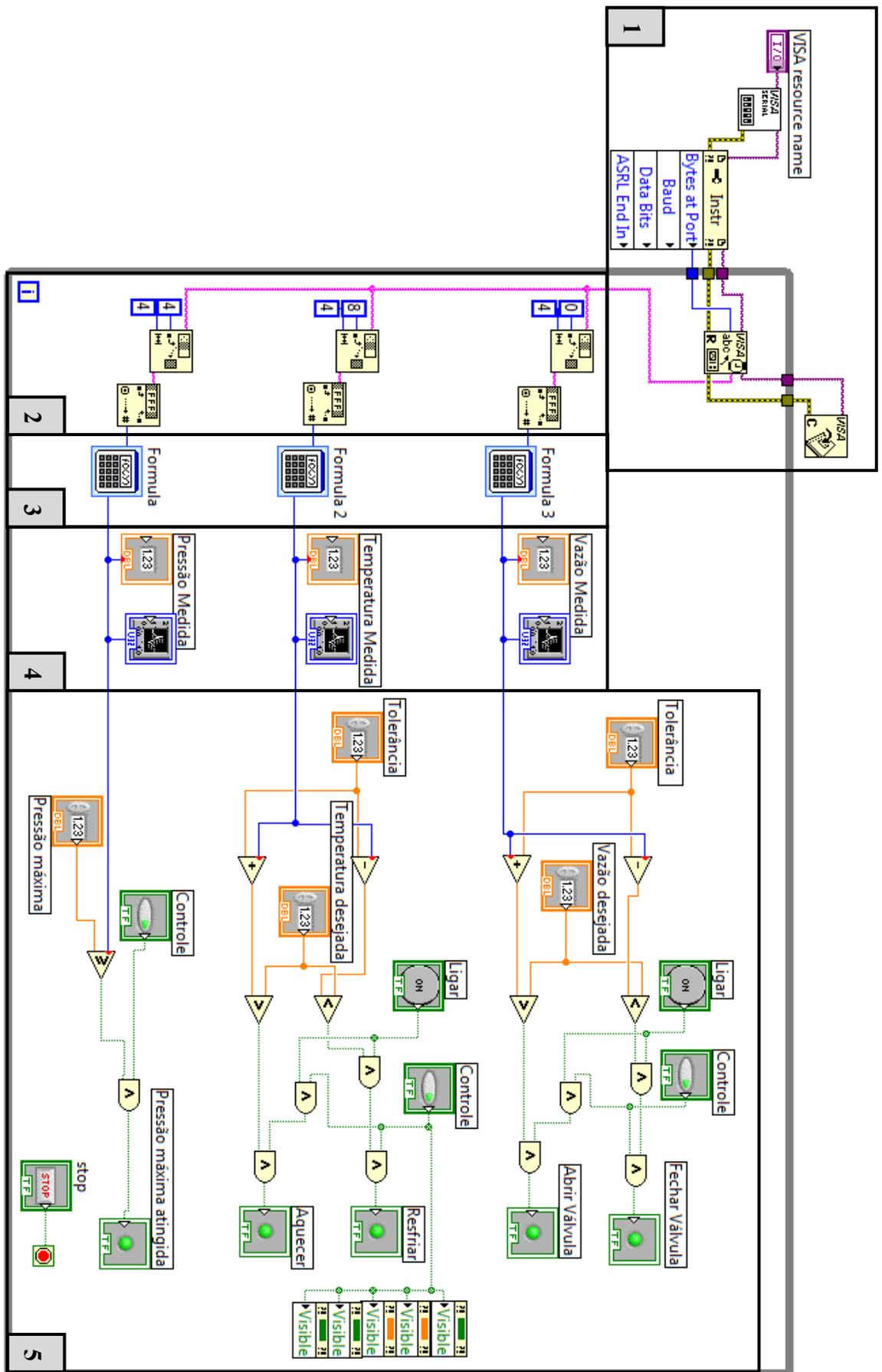


Figura 27 - Diagrama de Blocos resumido

4.3.2. Monitoramento e controle da temperatura

Na interface, a temperatura é exibida em graus Celsius (°C) na caixa de texto e no gráfico (Figura 28).



Figura 28 – Quadro da temperatura na interface

Para realizar o controle, deve-se pressionar o botão *Controle*, inserir a *Temperatura desejada*, a máxima *Tolerância* e pressionar o botão *Ligar*. São três os possíveis resultados:

- Se a *Temperatura medida* da bancada for maior que a *Temperatura desejada* mais a *Tolerância*, a função de resfriamento é ativada, acendendo a lâmpada *Resfriar* e ativando a serpentina do reservatório.
- Se a *Temperatura medida* da bancada for menor que a *Temperatura desejada* menos a *Tolerância*, a função de aquecimento é ativada, acendendo a lâmpada *Aquecer* e ativando a resistência.
- Se a *Temperatura medida* da bancada estiver no intervalo da *Temperatura desejada* menos, e mais, a *Tolerância*, nada é ativado.

Na Figura 29 encontra-se uma parte do programa realizado no diagrama de blocos do LabView, correspondente ao controle de temperatura já discutido anteriormente..

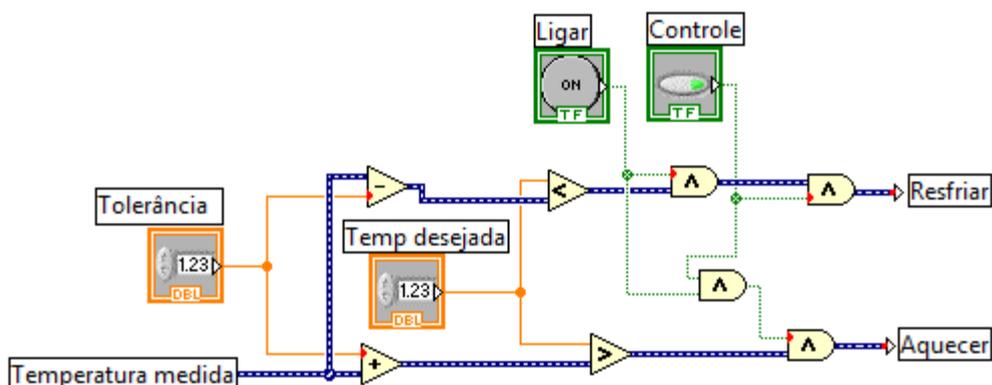


Figura 29 - Programa em blocos das comparações do controle da temperatura

A medida de temperatura realizada pelo LM35 é submetida a diversas alterações com circuitos eletrônicos até chegar ao destino, que é o computador. Devido a isso, o sinal está sujeito a interferências e foi detectada a recepção de valores errôneos. Para solucionar este problema, foi implementado no LabView um filtro com cálculo da média e exclusão de valores extremos.

4.3.3. Monitoramento e controle da vazão

A vazão é exibida em LPM no gráfico e na caixa de texto (Figura 30).



Figura 30 – Quadro da vazão na interface

Após realizar os cálculos para o controle da vazão, semelhantes ao apresentado na Figura 29 para temperatura, a interface acende uma das lâmpadas para informar ao usuário o momento de abrir ou fechar a válvula.

Como a válvula instalada na tubulação é manual e não automática, o controle será feito com atuação manual, mas com o auxílio do computador.

Para o monitoramento da vazão nas tubulações, os valores recebidos das medições pelo computador são estáveis e precisos. Dessa forma, satisfaz as necessidades do projeto.

Automatizar o controle da vazão nas tubulações é a solução perfeita, porém a decisão, por economia de custos, de manter a válvula manual não causa prejuízo aos resultados do trabalho. Com a indicação das lâmpadas na interface para auxiliar o usuário, este último é capaz de realizar com facilidade e precisão necessária a tarefa de abrir ou fechar a válvula. Vale ressaltar, que uma vez ajustada a vazão com o valor desejado, dificilmente esta sairá do valor aplicado.

Caso seja possível instalar uma válvula automática no futuro, o controle realizado pelo computador já se encontra terminado. Porém, falta para isso, o desenvolvimento das interfaces entre a futura válvula automática e o computador.

4.3.4. Monitoramento e controle da pressão

A vazão é exibida em litro/segundo no gráfico e na caixa de texto (Figura 31).

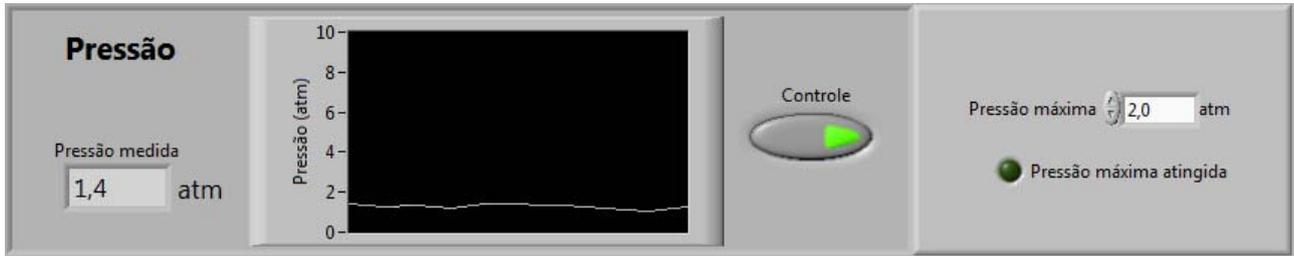


Figura 31 – Quadro da pressão na interface

Não há um atuador na plataforma, nem manual nem automático, exclusivo para controlar a pressão. Porém, o operador, sabendo da necessidade de reduzir a pressão pode tomar providências como fechar a válvula para diminuir a quantidade de fluido nos tubos ou desligar toda a plataforma caso julgue necessário.

Valores de pressão acima do limite podem ser arriscados, pois assim, existe o risco de rompimento do tubo ou de outras partes da tubulação. É importante que o operador seja avisado caso a pressão atinja valores acima do previsto. Para isso, uma lâmpada acende na interface quando a *Pressão Medida* é maior que a *Pressão máxima* desejada.

Capítulo 5 - Conclusão

O projeto do sistema de monitoramento e controle de temperatura, taxa de fluxo e vazão pôde ser concluído com êxito. Pode-se sintetizar o desenvolvimento pelas etapas:

- Estudo das necessidades e demandas;
- Estudo do processo de incrustação;
- Estudo da plataforma de detecção de incrustação montada;
- Estudo do funcionamento dos sensores;
- Estudo do funcionamento do CLP;
- Ligação dos fios e condicionamento dos sinais dos sensores;
- Ligação e configuração da comunicação do CLP com o computador;
- Desenvolvimento da programação do CLP;
- Desenvolvimento das interfaces do usuário no computador;
- Programação das funções de monitoramento e controle no LabView;
- Realização dos testes de validade.

Com o projeto realizado, tem-se um monitoramento preciso e constante das condições da plataforma, assim o momento dos testes pode ser caracterizado quantitativamente.

Além do monitoramento, o sistema é capaz de realizar as comparações dos valores desejados e medidos, e com isso, decidir a necessidade de atuação física nos parâmetros do sistema. A atuação é realizada de forma manual ou automática pelo próprio sistema.

Com todo esse suporte desenvolvido, o sistema da plataforma é capaz, por exemplo, de determinar a formação de incrustação em função da variação de algum parâmetro físico. Outra funcionalidade importante para o sistema é garantir que a temperatura, pressão e taxa de fluxo estejam em certo valor desejado.

O sistema admite melhoramentos, principalmente nos controles automáticos. Pode-se pensar na possibilidade de instalação de uma válvula automática e um controle a partir do computador sobre ela. A partir dos controles possíveis, podem ser implementados, via software, sistemas de controle mais eficientes, como PD, PI ou PID, para o alcance dos valores desejados.

Referências Bibliográficas

- [1] TELLES, Pedro Carlos da Silva. **Tubulações Industriais**. Rio de Janeiro: LTC, 1979.
- [2] SOUZA, Ângelo Menezes de. **Estudo para Caracterização de Quasicristal (AlCuFe) visando Aplicação na Indústria do Petróleo**. Aracaju: Universidade Tiradentes, 2009.
- [3] SIGWALT, R.; NEGRÃO, C.; TONIN, P. **Influência do Escoamento no Processo de Incrustação**. Paraná: Departamento Acadêmico de Mecânica, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Seminário de Ciência e Tecnologia, 2002.
- [4] BRANCO, V.; MANSOORI, G.; XAVIER L. et al. **Asphaltene Flocculation and Collapse from Petroleum Fluids**. Journal of Petroleum Science and Engineering. Elsevier, 2001.
- [5] LOHR, K.; ROSE, J. **Ultrasonic Guided Wave and Acoustic Impact Methods for Pipe Fouling Detection**. Journal of food engineering. Elsevier Science, 2002.
- [6] DA SILVA, Jaidilson Jó. **Desenvolvimento de uma plataforma para detecção de incrustação em dutos**. Campina Grande: UFCG, Departamento de Engenharia Elétrica, 2005.
- [7] MANSOORI, G. **Deposition and Fouling of Heavy Organic Oils and Other Compounds**. 9th International Conference on Properties and Phase Equilibrium for Product and Process Design. Kurashiki, Okayama, Japan, 2001
- [8] MANSOORI, G. **Physicochemical Basis of Arterial Blockage/Fouling Prediction and Prevention**. Chicago, USA: University of Illinois at Chicago, 2001.
- [9] BUENO W.; Leone F. et al. **Química Geral: Fatores que Afetam a Solubilidade das Substâncias**. São Paulo: McGraw-Hill, 1978.
- [10] BRASILEIRO, I. **Tecnologia Eletroquímica Aplicada na Degradação de Poluentes da Indústria de Petróleo**. Campina Grande: UFCG, 2005. Tese (Doutorado).
- [11] SCAICO, A. **Padrão 4-20mA**. Setembro 2000.

- [12]BRUSAMARELLO, Valner. **Sensor de temperatura LM35**. Caixias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, Curso superior de tecnologia em Automação Industrial, 2003.
- [13]National Semiconductor. **LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors**. EUA, novembro 2000.
- [14]FERREIRA, Fábio da Silva. **Projeto e Montagem de uma Plataforma para Medições da Incrustação com o Teste do Martelo**. Campina Grande: UFCG, Departamento de Engenharia Elétrica, 2007.
- [15]George Fischer Signet Inc. **Manual do Transmissor de vazão Signet 8550-1**. EUA, 2002.
- [16]CAVACO, Marco Antonio Martins. **Medições de Grandezas Mecânicas: Pressão**. Santa Catarina: UFSC, LabMetro, 2006
- [17]ASHCROFT®, **Manual General Purpose Digital Gauge Type D1005PS**. USA: Stratford, 2007.
- [18]SILVEIRA, Camilo. **Descrição e Controle de um Sistema Industrial Hidráulico**. Campina Grande: UFCG, 2008.
- [19]Bolton, W. **Programmable Logic Controllers**. Quarta edição. Amsterdam, 2006.
- [20]Siemens. **System Manual: SIMATIC S7-200 Programmable Controller**. Nuernberg: Segunda edição, março de 2000.
- [21]Barbosa, Halisson. **Estudo de rede de sensores/atuadores inteligentes com a interface ASI**. Campina Grande: UFCG, 2006.
- [22]Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) do Espírito Santo. **Ferramentas e Materiais para Instalação da Instrumentação**. Espírito Santo: 1999.