

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

Rodrigo Rocha Amorim

**Relatório de Estágio supervisionado de
atividades desenvolvidas no laboratório de
automação e controle da Universidade
Federal da Paraíba**

CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

João Pessoa, 2019

CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

Relatório de Estágio supervisionado de atividades desenvolvidas no laboratório de automação e controle da Universidade Federal da Paraíba, aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Dr. Ademar Virgolino da Silva Netto
Orientador

Dr. Carlos Alberto de Souza Filho
Supervisor

Dr. Alexandro José Virgínio dos Santos.
Avaliador

LISTA DE FIGURAS

1	Senso de vazão <i>YF-S401</i>	10
2	Sensor de Pressão <i>MPX5010-DP</i>	11
3	Gráfico da relação entre a tensão de saída e a pressão diferencial	12
4	Sistema de controle em malha fechada	13
5	Resposta do processo em malha aberta	14
6	Planta utilizada para o projeto	16
7	Condicionamento do Sensor de Vazão para utilização no CLP	17
8	Função do contador - CLP	18
9	Função de Aquisição do sinal de vazão - CLP	19
10	Gráfico referente a estímulo dos degraus na variável de processo	20
11	Curva tangente da resposta ao degrau	21
12	Bloco de controlador PID - CLP	22
13	Bloco de <i>Unscale</i> PID - CLP	23
14	Tela destinada ao sistema de vazão - IHM	23
15	Tela destinada ao sistema de vazão - Supervisório	24
16	Bloco de inicialização das variáveis do controlador - CLP	25
17	Bloco de conversão do valor do nível - CLP	26
18	Gráfico do nível em relação ao tempo	28
19	Bloco de função PID para controle do nível - CLP	29
20	Tela destinada ao sistema de nível - Supervisório	30
21	Tela destinada ao sistema de nível - Supervisório	30
22	Tela destinada ao sistema aos ajustes dos controladores.	31
23	Controle do sistema de vazão - CLP	32
24	Controle do sistema de vazão - Supevisório	33
25	Controle do sistema de vazão - Supevisório	33

LISTA DE TABELAS

1	Especificações do sensor <i>YF-S401</i>	11
2	Especificações do sensor <i>MPX5010-DP</i>	12

Sumário

1	Introdução	8
2	Referencial Teórico	9
2.1	Controlador Lógico Programável	9
2.1.1	IHM - Interface Homem Máquina	9
2.1.2	Supervisório	9
2.2	Sensores	10
2.2.1	Sensor de Vazão	10
2.2.2	Sensor de Pressão	11
2.3	Sistema de Controle	12
2.3.1	Sintonia de Controladores	14
3	Descrição e implementação do trabalho	16
4	Resultados	32
5	Conclusão	34
	REFERÊNCIAS	34

1 Introdução

A utilização de controladores programáveis na indústria se tornou bastante popular, devido a facilidade do monitoramento das máquinas e processos, como também no acionamento automático dos processos. O CLP (controlador lógico programável) é um exemplo, já que é, ainda hoje, bastante utilizado no setor industrial.

Em um ambiente industrial, se vê comum a utilização de diversos sensores e atuadores para realizar as leituras e acionamento dos mesmos de forma a automatizar as tarefas nesse tipo de ambiente.

No setor industrial é imprescindível a garantia de estabilidade nas diversas plantas existente nesse setor, sendo garantidas, a partir da utilização de técnicas de sintonia para o controle dessas plantas. Existe várias técnicas na literatura para obtenção da estabilidade, dependendo muito das necessidades da aplicação.

O laboratório de automação e controle (LAC) é um laboratório destinado ao curso de engenharia elétrica da universidade federal da paraíba (UFPB) frequentemente utilizado nas disciplinas da ênfase de controle, automação e eletrônica, como instrumentação industrial, sistemas de aquisição de dados, informática industrial, automação industrial. Composto por plantas didáticas para realização do controle, bancadas com sensores e atuadores dos mais diversos e os CLPs para realizar a integração entre sensores e atuadores. O estágio realizado é uma disciplina obrigatória para a conclusão do curso de engenharia elétrica, com uma carga horária de 180 horas e com a finalidade de preparar melhor o aluno para o mercado de trabalho.

O estágio realizado no laboratório de automação e controle (LAC) na Universidade federal da paraíba (UFPB) de supervisão do professor Carlos Alberto de Souza Filho ocorreu no período de 21 de fevereiro de 2019 até o dia 19 de abril de 2019 das 09h às 17h. Onde o trabalho realizado, consistiu em aplicar técnicas de sintonia para o controle de uma mini planta contendo sensores de fluxo e pressão para realizar o controle da vazão e do nível nessa planta utilizando um controlador lógico programável para executar cada etapa desse trabalho.

2 Referencial Teórico

Nesse capítulo foram introduzidos os conceitos básicos para a utilização do Controlador Lógico Programável (CLP), os sensores, e por fim os conceitos de controle, para a determinação dos controladores das plantas.

2.1 Controlador Lógico Programável

O CLP - controlador lógico programável é um equipamento que se assemelha a um computador, onde é possível programar o software para controlar e monitorar variáveis tanto de entradas como de saídas de acordo com os parâmetros enviados pelo mesmo. O CLP é composto de entradas e saídas, analógicas e digitais, podendo assim, ter aplicações em diversos sistemas, principalmente, em processos automáticos de acionamentos e monitoramento de máquinas e processos.

O programa desenvolvido para um CLP é totalmente personalizável, podendo ser programado tanto em linguagens gráficas, como o diagrama de *ladder*, como também em linguagens textuais. Neste projeto foi utilizado a programação em *ladder*, que consiste na programação onde as suas funções lógicas são geralmente representada através de contatos e bobinas, se assemelhando a um esquema de acionamentos elétricos.

2.1.1 IHM - Interface Homem Máquina

A IHM é o meio utilizado pelo operador para visualizar informações do processo ou realizar operações na planta. Essa interface é bastante importante no âmbito industrial, já que facilita a interação entre o operador e a máquina. A IHM pode ser definida como um hardware industrial composto por um tela onde são postos os comandos para inserção e leitura de dados. As IHMs tem como principais exemplos de aplicações, a verificação do *status* de um equipamento, a leitura de um sinal controlado, a utilização de alarmes para detectar pane no sistema, dentre outros.

2.1.2 Supervisório

Os supervisórios são *softwares* específicos de supervisão de processo industrial, destinados a promover a interface homem máquina, através de um conjunto de comandos e leituras de sensores e atuadores, afim de proporcionar uma supervisão plena dos processos através de telas devidamente configuradas.

2.2 Sensores

Para a aplicação deste trabalho, ou seja, o controle de nível e de vazão, foram utilizados dois sensores com a finalidade de fazer a leitura desses sinais.

2.2.1 Sensor de Vazão

Um sensor de vazão pode ser representado pela leitura do movimento do fluido. Defini-se fluido, como a quantidade de matéria, volume ou massa que escoar por unidade de tempo em uma dada instalação. A medição do fluxo pode ser definida pela equação 2.1.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2.1)$$

onde V representa o volume, t determina o tempo e Q é a taxa de fluxo ou vazão.

A maioria das aplicações dos processos industriais se remete a métodos para caracterização, quantificação ou visualização do fluxo, permitindo assim o seu controle ou monitoramento, tornando essenciais nesses processos com a finalidade de garantir eficiência e economia no processo. Destacam-se as aplicações em distribuição de água, gasolina ou diesel, a extração de óleo cru, a otimização de desempenho de diversos subsistemas de motores de combustão e injeção de combustível por módulos eletrônicos (BALBINOT, 2007). Os tipos de sensores de medição de fluxo são diversos, destacam-se os sensores de pressão diferencial, área variável, deslocamento positivo, tipo turbina, eletromagnetismo, dentre outros.

Para a aplicação do projeto, foi utilizado o sensor de vazão do modelo *YF-S401*, esse sensor é demonstrado na figura 1.

Figura 1: Senso de vazão *YF-S401*



O sensor *YF-S401* consiste em um corpo de PVC, um rotor de fluxo e um sensor de efeito Hall. Quando o fluxo de água passa pelo rotor, o mesmo gira, variando a velocidade, e conseqüentemente, variando a taxa de fluxo. A saída do sensor corresponde a um sinal

de pulsos, ou seja, é um sinal digital. Suas principais especificações são demonstradas na tabela 1.

Tabela 1: Especificações do sensor *YF-S401*

Tensão de Operação	5V ~ 24V (DC)
Máx corrente de operação	15mA
Temperatura da Fluido	< 120°C
Faixa de operação do Fluxo	0.3 ~ 6L/min
Tensão de saída(HIGH)	5V (DC)

A saída do sensor é definida pela equação 2.2.

$$Q = \frac{f}{98} \quad (2.2)$$

onde Q representa o valor da vazão, e f representa a frequência.

2.2.2 Sensor de Pressão

Para a aplicação do sensoriamento do nível, será utilizado um sensor de pressão para realizar a medida do nível, de forma indireta.

A pressão, geralmente é definida como a força aplicada na direção perpendicular por unidade de área, geralmente representada pela unidade P_a (pascal). A pressão, pode ser definida entre os termos absolutos, manométrico e diferencial. A pressão absoluta é a diferença entre a pressão em um determinado ponto do fluido e a pressão absoluta zero, ou seja, o vácuo completo. A pressão diferencial é a medição da diferença entre duas pressões desconhecidas, e a pressão manométrica é a diferença entre uma pressão desconhecida e a pressão atmosférica (BALBINOT, 2007).

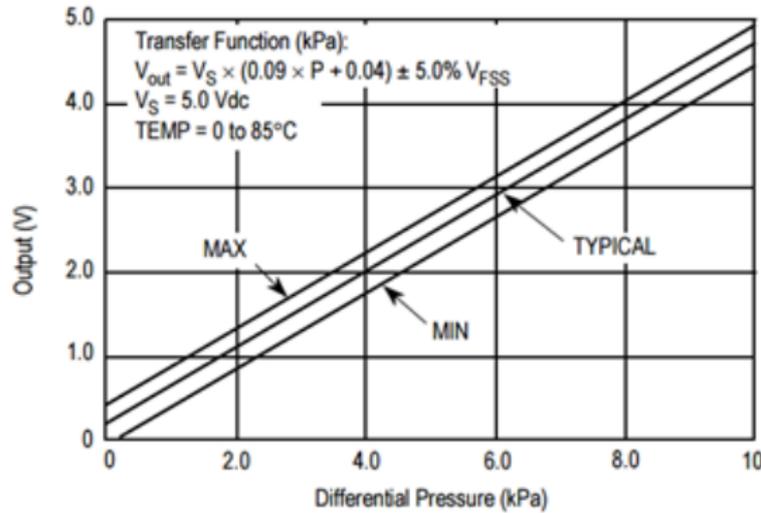
Para a realização desse trabalho, foi utilizado o sensor de pressão do tipo diferencial *MPX5010-DP*, onde o mesmo é demonstrado na figura 2.

Figura 2: Sensor de Pressão *MPX5010-DP*



O sensor *MPX5010-DP* é um sensor piezoresistivo de silício monolítico onde a sua saída, diferentemente do sensor de vazão, é um sinal analógico. A relação entre a entrada de pressão diferencial e a saída do sensor pode ser observado na figura 3

Figura 3: Gráfico da relação entre a tensão de saída e a pressão diferencial



As principais especificações do sensor é demonstrado na tabela 2.

Tabela 2: Especificações do sensor *MPX5010-DP*

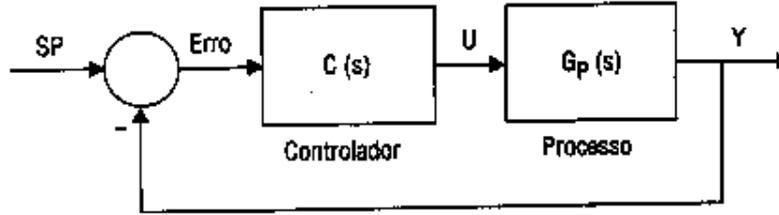
Tensão de Operação	5V (DC)
Temperatura de operação	-40 ~ +120°C
Faixa de operação de pressão	0 ~ 10kPa
Tensão de saída	0 ~ 4.7V

2.3 Sistema de Controle

Um sistema de controle, pode ser definido como um dispositivo que permite obter a resposta desejada da variável de saída do processo a ser controlado. Em geral, considera-se os controladores com realimentação na saída ou de malha fechada (*feedback*) e os controladores sem realimentação de saída ou malha aberta (*feedforward*). O controlador em malha fechada utiliza a medição da variável de saída a que deseja controlar, já o controlador em malha aberta, não utiliza a medição da sua variável de saída para o controle da mesma (NISE, 2013).

Uma sistema de controle em malha fechada pode ser obtido como o da figura 4.

Figura 4: Sistema de controle em malha fechada



Fonte: (FRANCHI, 2011)

Onde SP é denominado o *Set Point*, Y é o valor da saída do processo, e o Erro corresponde a diferença entre o valor dessa saída com o valor de SP .

Considerando que a entrada do controlador é o erro $E(s)$, a sua saída pode ser calculada como:

$$U(s) = C(s) \cdot E(s) \quad (2.3)$$

Portanto, a saída do processo será:

$$Y(s) = G_p(s) \cdot U(s) \quad (2.4)$$

substituindo a equação 2.3 em 2.4, temos:

$$Y(s) = G_p(s)C(s)E(s) \quad (2.5)$$

onde $C(s)$ é o controlador da planta e $G_p(s)$ é a função de transferência malha aberta. Substituindo o erro nessa equação acima, temos a função de transferência em malha fechada.

$$\frac{Y(s)}{SP(s)} = \frac{G_p(s)C(s)}{1 + G_p(s)C(s)} \quad (2.6)$$

Vale salientar que para que o sistema seja estável, todos os pólos desta função de transferência em malha fechada tenham a parte real negativa. Por isso, para um certa função em malha aberta, a estabilidade depende também dos parâmetros do controlador. A seguir são demonstrados as funções de transferência dos controladores Proporcional (P), Proporcional Integrador (PI), Proporcional Integrador Derivador (PID), respectivamente.

$$C(s)_P = K_p \quad (2.7)$$

$$C(s)_{PI} = K_p \cdot \frac{1}{sT_i} \quad (2.8)$$

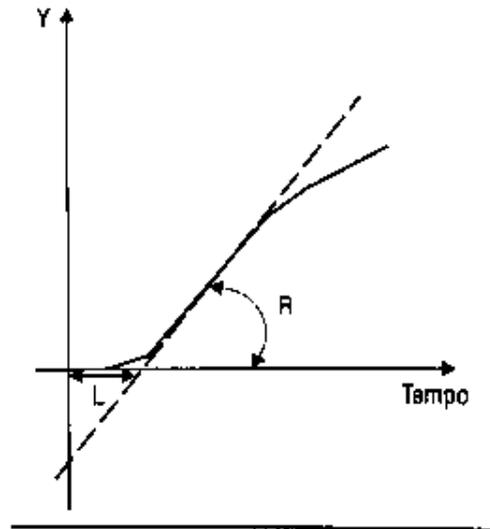
$$C(s)_{PID} = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d\right) \quad (2.9)$$

2.3.1 Sintonia de Controladores

Quando é obtido a resposta da planta em malha aberta, é possível aplicar diversas técnicas visando à determinação dos parâmetros dos controladores que atendam às especificações do sistema em malha fechada. O procedimento de selecionar os parâmetros do controlador de modo a serem atendidas as especificações necessárias é chamado de sintonia do controlador (FRANCHI, 2011).

Um dos métodos utilizados para obtenção dos ganhos do controlador é o método de Ziegler e Nichols onde é realizado o teste em malha aberta, utilizando o controlador de forma manual, onde é gerado um degrau na saída do controlador (ΔU), e para a resposta do processo (Y) a esta perturbação, é calculado a taxa de variação R e o tempo morto L (FRANCHI, 2011), como pode ser visto na figura 5.

Figura 5: Resposta do processo em malha aberta



Fonte: (FRANCHI, 2011)

Uma das vantagens desse método de identificação do modelo é que ele pode ser aplicado a processos integradores, que não apresentam um ganho infinito para uma perturbação em degrau.

Atualmente, os algoritmos PID dos sistemas digitais industriais costumam trabalhar com valores normalizados na entrada (variável de processo a ser controlada) e na saída (variável manipulada). A vantagem é que os ganhos proporcionais dos controladores podem ser comparados, e evita-se a necessidade de ganhos muito altos, ou muito

pequenos, que poderiam levar a problemas numéricos nos sistemas digitais (FRANCHI, 2011).

Seja um processo modelado por uma dinâmica ($G_p(s)$) de primeira ordem com tempo morto ($K, \tau, TM = \theta$):

$$G_p(s) = \frac{k \cdot e^{-\theta s}}{\tau s + 1} \quad (2.10)$$

Onde τ é a constante de tempo do processo, K é a variação da saída (variável controlada) em relação ao tempo do processo e θ é o tempo morto. Portanto a sintonia prevista por Ziegler e Nichols para controladores do tipo P, PI em função dos parâmetros de um modelo de primeira ordem com tempo morto é mostrado a seguir:

$$K_p = \frac{\tau}{k\theta} \quad (2.11)$$

$$K_{PI} = 0.9 \cdot \frac{\tau}{k\theta} \quad (2.12)$$

$$T_{PI} = 3.33 \cdot \theta \quad (2.13)$$

3 Descrição e implementação do trabalho

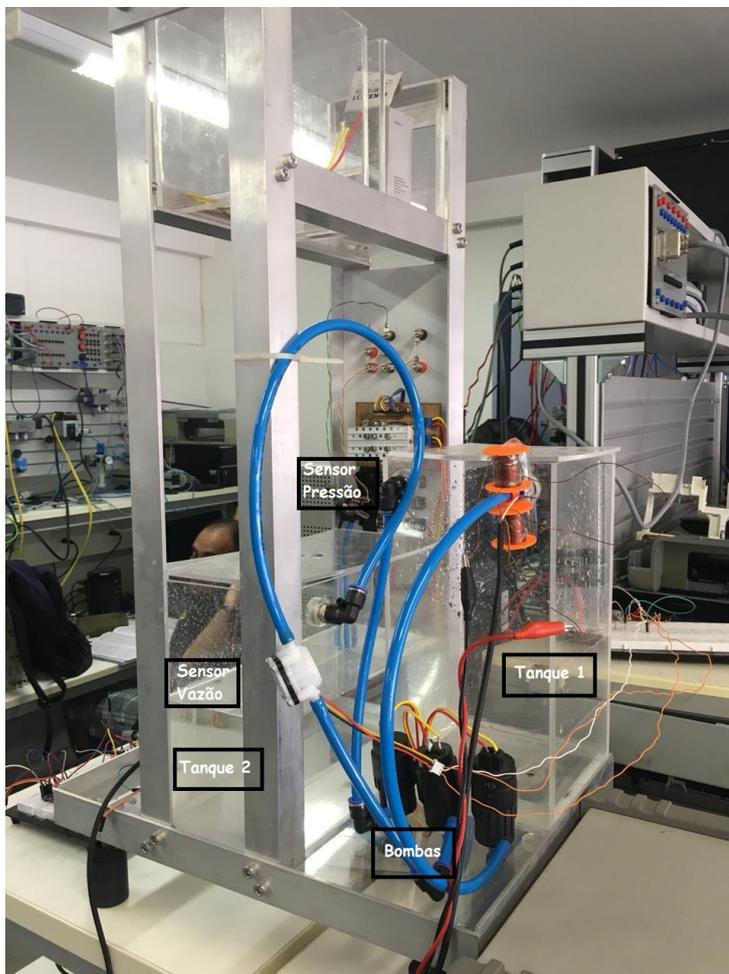
O Estágio em si, consta da análise e controle de uma mini planta industrial, onde são realizados os condicionamentos dos sensores de vazão e nível para a obtenção dos seus respectivos valores, e utilizar o CLP para a realização da aquisição desses valores com o intuito de realizar o controle dessa planta.

O CLP utilizado se encontra no laboratório de automação e controle (LAC) da universidade federal da paraíba (UFPB), de modelo S7-300 da *Siemens* e CPU da série 314C-2 PN/DP. Além da utilização do CLP para a aquisição dos valores e programação do controlador, foi utilizado a interface homem máquina (IHM) de modelo PWS 5600T-S e o supervisor disponível pela *Siemens* de modelo *SIMATIC WinCC*.

A descrição do trabalho será dividida em diversas partes, como: aquisição dos sinais, cálculo dos parâmetros para realizar o controle das plantas, além da visualização na IHM e supervisor e toda a programação realizada no CLP na linguagem de programação *ladder*.

O projeto consiste na seguinte planta:

Figura 6: Planta utilizada para o projeto

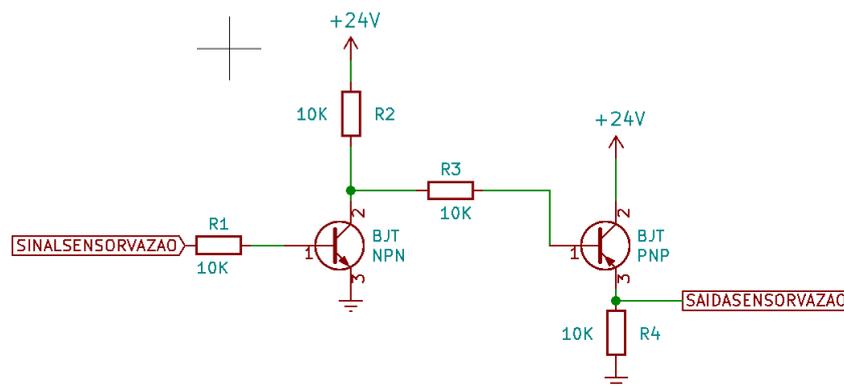


Como pode ser observado, essa planta é composta de dois tanques para o fluxo de água, além de 3 bombas, onde são utilizados 1 bomba para jogar a água do tanque 1 para o tanque 2, uma outra bomba para jogar água do tanque 2 para o tanque 1, e uma terceira bomba para fazer a circulação da água entre os tanques. Essas bombas, são bombas utilizadas para esguicho de água, ou seja, bombas utilizadas nos limpadores dianteiro e traseiros de veículos.

Foi utilizado um sensor de vazão para ler o valor do fluxo fornecido pela bomba, o sensor utilizado, já mencionado no capítulo 2, foi o *YF-S401*. Como referido antes, esse sensor, tem como saída um valor digital, portanto, foi utilizado uma entrada digital do CLP para fazer a leitura do sinal. Além disso, a saída desse sensor é uma tensão DC de aproximadamente 5V que se refere a uma onda PWM (*Pulse Width Modulation*) onde o ciclo de trabalho corresponde a velocidade em que atravessa a água através do sensor em um determinado tempo.

Para realizar a aquisição deste valor do sensor no CLP, é necessário condicionar o sinal de forma a ser possível a leitura no CLP, como o sensor tem como saída um valor aproximadamente de 5V, e o CLP tem como fonte de alimentação o valor de 24V, foi realizado o condicionamento pensando nessa transição de tensão. A figura 7 demonstra essa representação.

Figura 7: Condicionamento do Sensor de Vazão para utilização no CLP



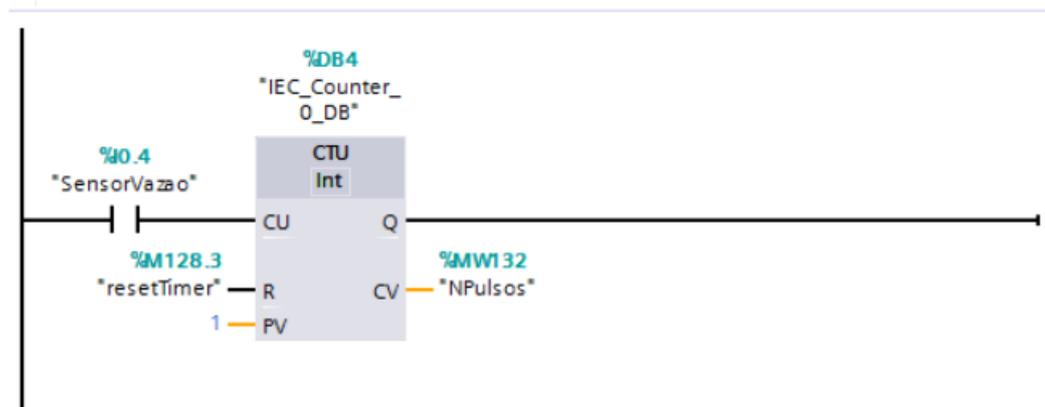
Resumidamente, o sinal do sensor de 5V, é posto na base de um transistor NPN, o sinal proveniente do coletor é posto na base de outro transistor, agora um PNP, para a obtenção do valor de tensão requerido pelo CLP, vale salientar que é utilizado uma tensão de 24V para alimentar os transistores.

Sabendo que a vazão deste sensor é dado pela equação 2.2, é necessário fazer a aquisição da frequência de trabalho deste sensor para adquirir o valor da vazão correspondente. Para isso, foi utilizado o CLP para fazer essa aquisição.

No CLP, foi utilizado um bloco de função denominado contador, onde é incremen-

tado o valor inicial a cada pulso positivo na entrada desse bloco, nesse caso, a entrada seria o sensor de vazão, e como ele tem como saída uma resposta digital, serve perfeitamente para ocasião. Para obter a frequência desse sensor, foi utilizado no CLP um bloco de interrupção cíclica, que consiste em um bloco de funções que serão realizados a cada ciclo, onde esse valor é pre-definido pela CPU do CLP. A função do contador é demonstrada a seguir.

Figura 8: Função do contador - CLP



Para o caso da leitura da vazão, foi utilizado um bloco com o ciclo de $200ms$, resumindo, todas as operações realizadas dentro desse bloco de interrupção serão repetidas a cada $200ms$.

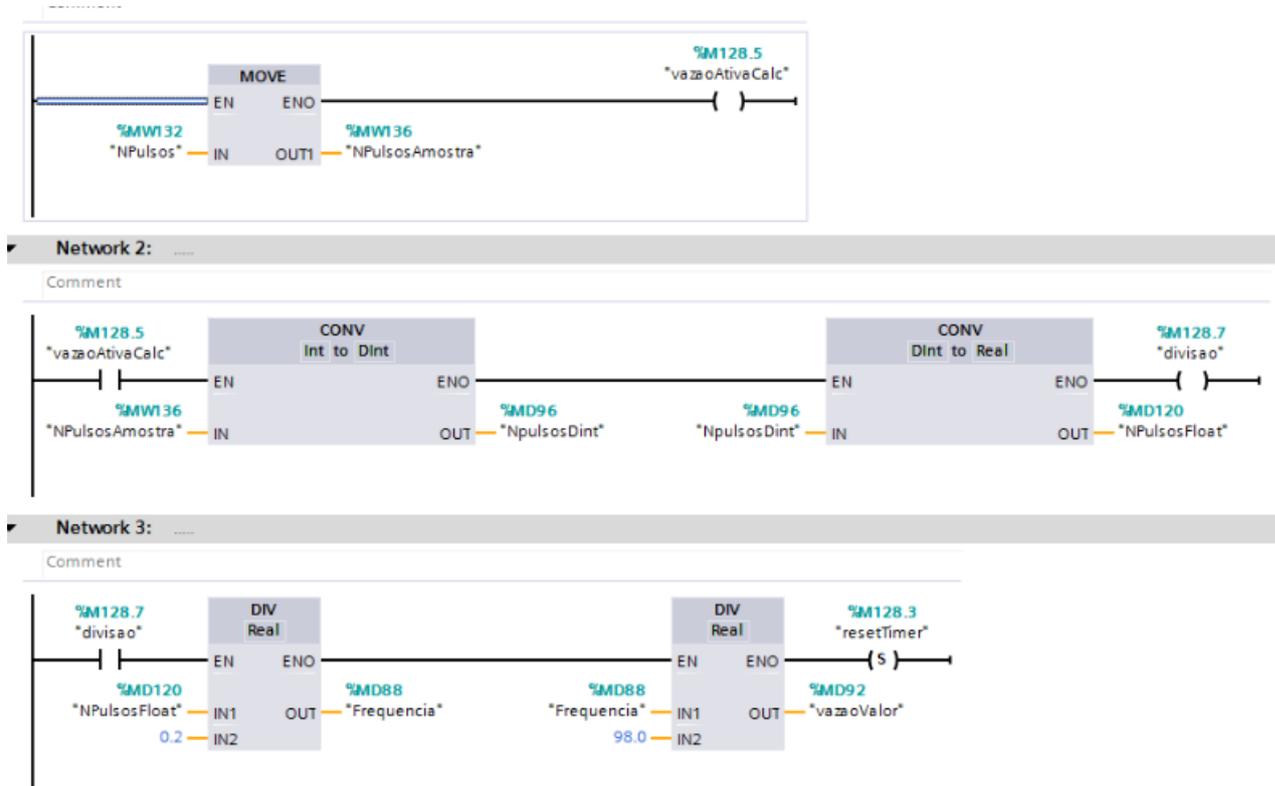
Portanto, para se obter a frequência, foi feita a divisão da quantidade de pulsos pelo tempo total percorrido, que no caso são $200ms$, e a quantidade de pulsos é representado pelo valor que está no contador. a equação 3.1 ilustra essa relação.

$$f = \frac{N_{pulsos}}{t_{periodo}} \quad (3.1)$$

Portanto, com o valor da frequência, é possível obter o valor da vazão, que é determinada pela equação 2.2.

A seguir é mostrado a representação dessas funções utilizando o CLP.

Figura 9: Função de Aquisição do sinal de vazão - CLP



Vale salientar, que a entrada do CLP é um valor inteiro, portanto, se faz necessário a conversão do valor para um valor *float* com o intuito de obter um valor mais preciso da frequência, e conseqüentemente, da vazão. Além disso, depois da realização da divisão para obter o valor da vazão, é resetado o valor do contador para zero para não perder o valor de referência da frequência.

A etapa seguinte é a realização do controle da vazão. Para isso, foi utilizado o método de Ziegler e Nichols, onde é aplicado um degrau no sistema e aproximando a resposta do sistema a uma resposta de primeiro grau com degrau, com a finalidade de obter as constantes do controlador proporcional integrador como representado nas equações 2.12 e 2.13.

Antes de obter os valores, é necessário ter o conhecimento das variáveis que compõe o sistema:

- Variável de processo: é a variável física que se deseja controlar no processo.
- *Set Point*: é o valor que se deseja manter para a variável de processo
- Perturbação: Variáveis que existem no processo, porém, não são medidas, controladas ou manipuladas, mas que afetam a estabilidade da variável de processo.

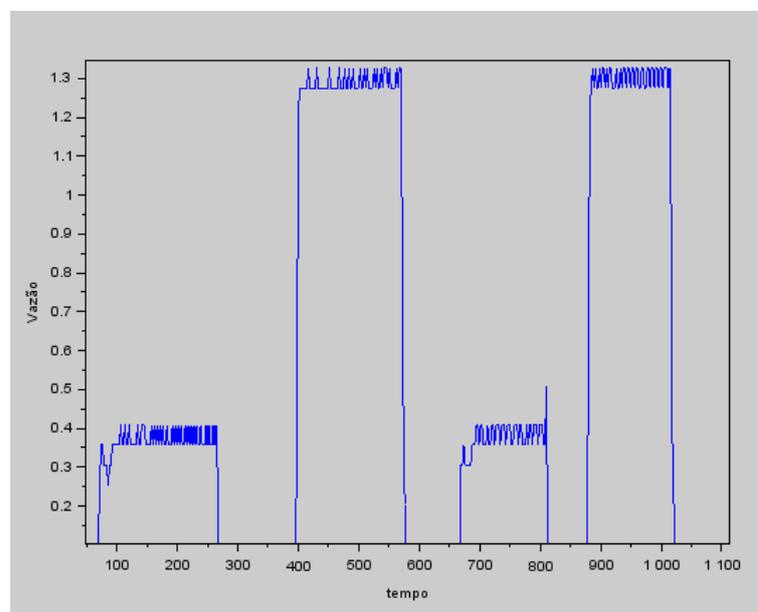
- Variável manipulada: é a grandeza que é alterada para manter a variável de processo no valor desejado.

Para obter os valores de vazão para estipular o gráfico, foi utilizado o supervisorio, que disponibiliza a opção de gravar os valores da variável desejada. Devido a planta do sistema de vazão ter uma resposta bem mais rápida que a aquisição dos valores no supervisorio, foi necessário realizar algumas implementações no programa do CLP, para conseguir realizar a aquisição corretamente para plotar o gráfico.

Primeiramente, foi necessário somar os valores da variável de processo com a variável manipulada, para a obter o mesmo tempo para os dois gráficos quando for realizar o plot. Além disso, foi somado no valor da variável de resultado ($VP + VM$) do valor de 0.2 e -0.2 a cada iteração para ser possível a realização da aquisição do dado, já que a forma de aquisição realizada pelo supervisorio é a aquisição a cada variação na variável de leitura. Portanto, soluciona o problema em relação ao tempo de aquisição da variável. Por fim, para fazer o plot do gráfico, é necessário fazer o tratamento do dado, ou seja, reverter os passos utilizados nesse parágrafo.

Tendo esses valores foi possível obter o plot do gráfico, a figura 10 mostra essa representação.

Figura 10: Gráfico referente a estímulo dos degraus na variável de processo



Esse gráfico representa a resposta da variação de processo em relação as respostas aos degraus impostos na variável manipulada. Pode se observar, que na leitura da vazão, existe uma variação muito grande em torno do valor médio, isso se dá pela perturbação no sensor, que conseqüentemente, retorna um ruído para o sistema. Mesmo com essa perturbação, foi possível fazer a aproximação e conseguir aplicar o controle na planta.

Portanto, para realizar o cálculo dos parâmetros do controlador, é necessário achar os valores de θ , k e τ de acordo com as equações 2.12 e 2.13.

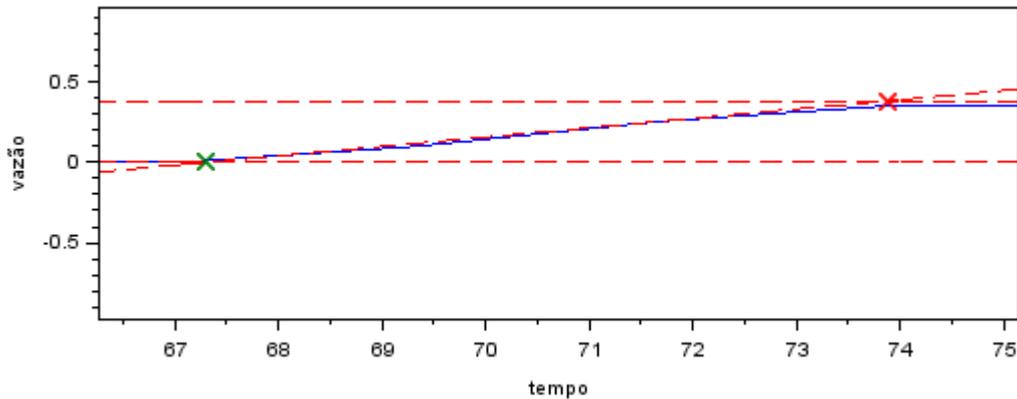
Para determinar esses valores, é necessário traçar a curva de angulação no momento de transição do degrau na variável de processo, para isso, é utilizado a equação da reta.

$$y = ax + b \quad (3.2)$$

onde a é o coeficiente angular da reta e b é o coeficiente linear.

Após a obtenção da equação que passa pela transição do degrau, é plotada a mesma, para a obtenção dos parâmetros do controlador.

Figura 11: Curva tangente da resposta ao degrau



Temos que k equivale a variação da saída em relação ao estímulo ao degrau, onde essa variação da saída corresponde ao ponto inicial e ponto final de intersecção da curva tangente calculada.

$$k = \frac{y_1 - y_0}{u_1 - u_0} \quad (3.3)$$

O cálculo do θ , ou seja, o tempo morto, é obtido pela diferença entre o tempo em que é dado o degrau e o tempo que é efetivamente começado a variação na variável de processo. Já o τ é o a diferença entre os tempos que passam pelo ponto inicial e o ponto final da intersecção da curva tangente. Os valores obtidos experimentalmente são descritos abaixo.

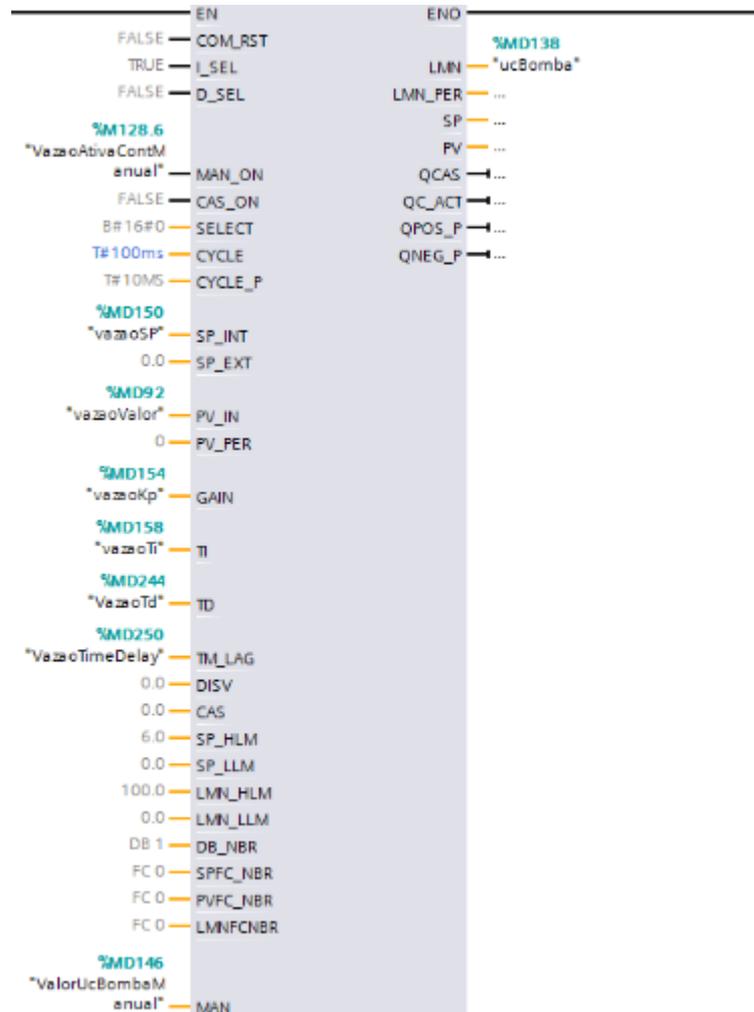
$$k = 0.0192 \quad \theta = 0.255 \quad \tau = 6.59$$

Portanto os valores dos parâmetros do controlador PI são:

$$k_{PI} = 122 \quad ; \quad T_{PI} = 0.765 \quad (3.4)$$

Com a obtenção dos parâmetros do controlador, agora é possível fazer o controle da planta de vazão. Para isso usou no CLP um bloco de função que corresponde ao PID, bastante utilizado para essas aplicações, a figura 12 demonstra o bloco.

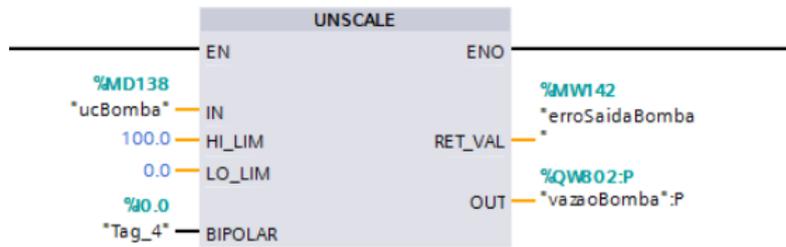
Figura 12: Bloco de controlador PID - CLP



Para a utilização desse bloco é necessário definir algumas variáveis. Como para a aplicação, está sendo utilizado apenas um controlador PI, a constante T_d será deixado como *default*. A variável LMN representa a variável manipulada, que no nosso caso é ativação da bomba, a variável PV representa a variável de processo, que no caso, é a vazão calculada, SP define o valor do *Set Point* e os valores K_p e T_i representam os parâmetros do controlador. Além disso, é possível utilizar o controlador de forma manual, utilizando as variáveis MAN_ON para direcionar o sistema para a operação em manual, e a variável MAN, para definir o valor da variável manipulada.

Por fim, é utilizado um bloco de função *unscale* para transformar o valor do controlador da bomba de 0 a 100 em um valor de referência para a entrada da bomba, como é mostrado na figura 13

Figura 13: Bloco de *Unscale* PID - CLP



Dessa forma, é feito o controle do sistema de fluxo, para facilitar a operação e visualização do sistema, foram utilizados tanto a IHM como o supervisor para essa tarefa. As figuras abaixo representam essas ferramentas.

Figura 14: Tela destinada ao sistema de vazão - IHM

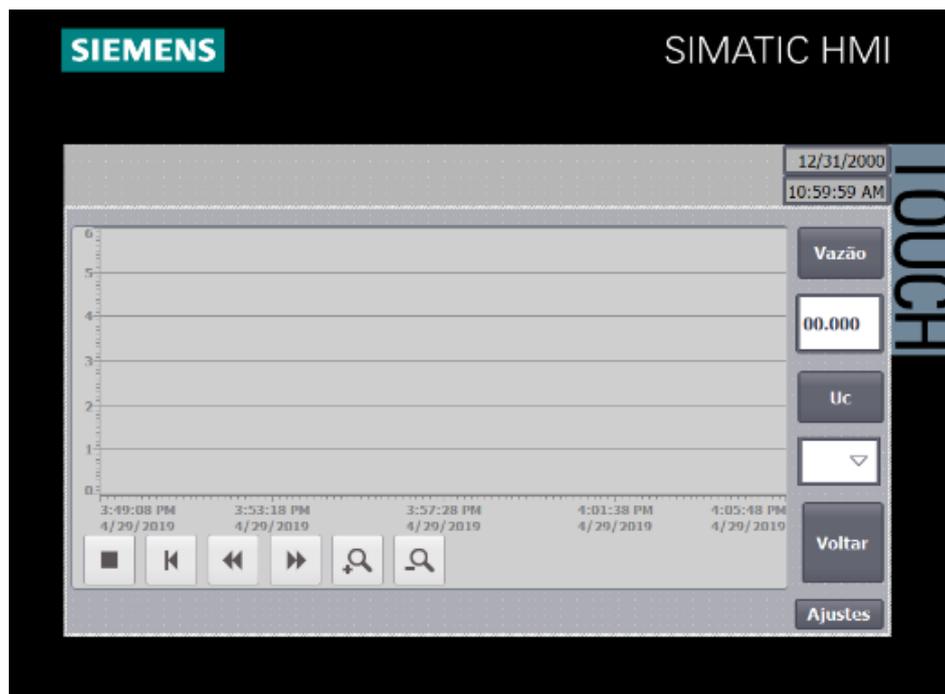
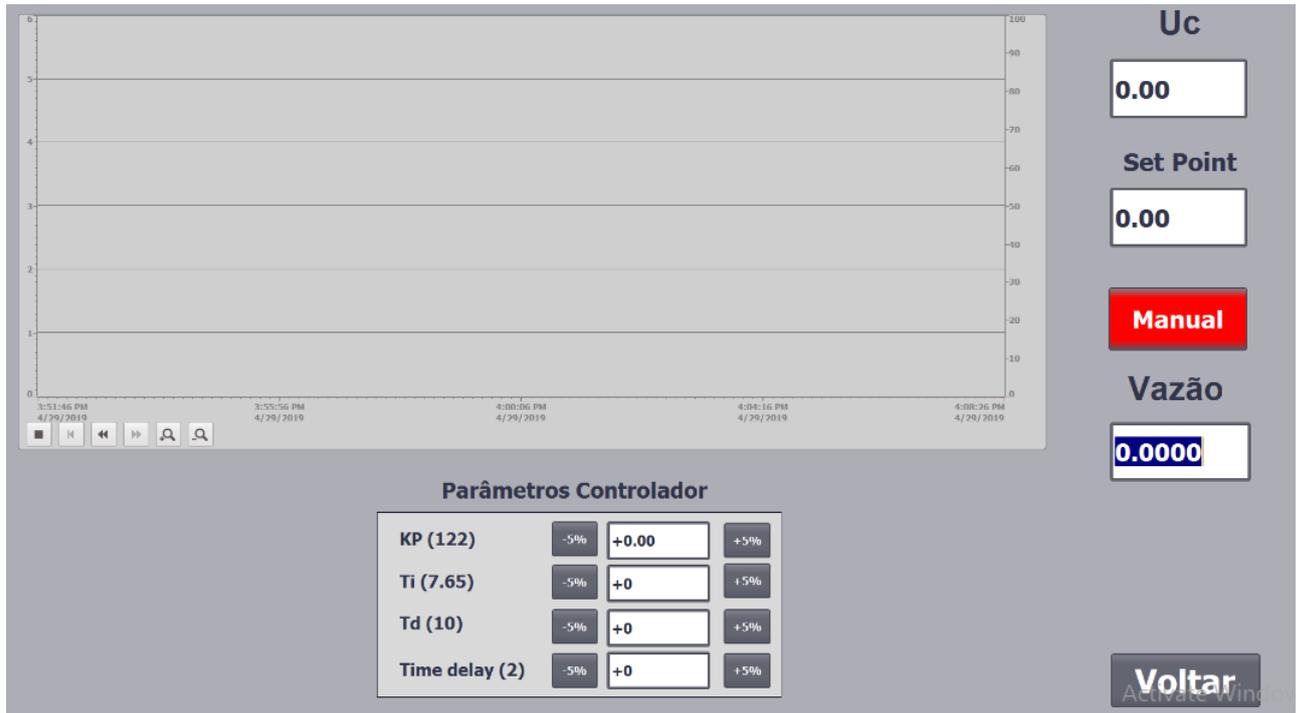


Figura 15: Tela destinada ao sistema de vazão - Supervisório

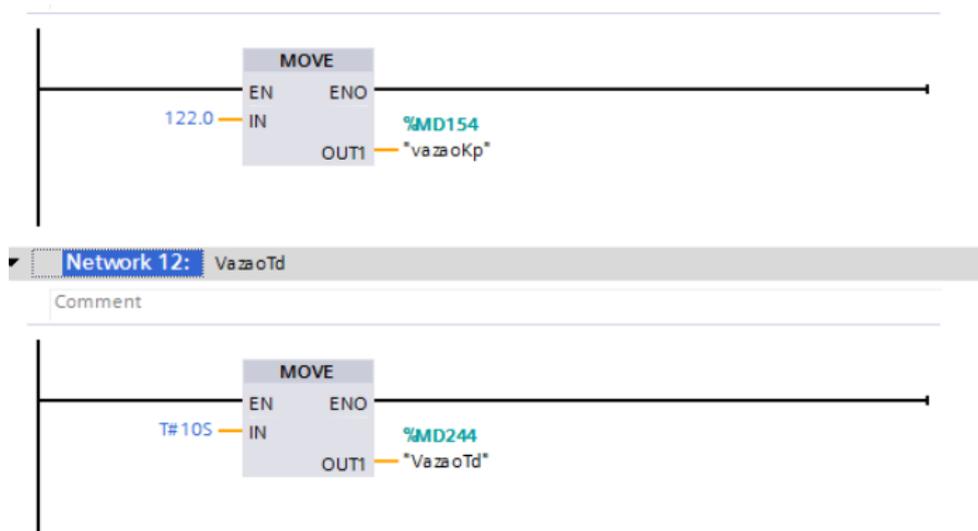


Como pode ser observado, na figura 14 a tela do IHM é composta por um gráfico, que representa a variação da variável de processo, ou seja, a vazão, uma janela destinada a leitura do valor exato da vazão, além da possível modificação do valor do controlador, ou seja, da variável manipulada.

Na figura 15 existe as mesmas funções da tela da IHM, porém, também é possível a modificação do valor do *Set Point* e do valor do controlador da bomba, dependendo do valor de saída da variável manual, resumidamente, essas variáveis podem ser modificadas manualmente, caso a variável MAN_ON estiver em nível lógico alto, que é ativada ao clicar no botão manual. Além disso, é possível realizar modificações dos parâmetros do controlador, no qual a mudança é feita a cada 5% do valor real, para evitar variações bruscas e instabilidade no sistema.

Para a correta realização do bloco PID, foi utilizado no programa do CLP, uma função de bloco para fazer a inicialização das variáveis do controlador, tais como o ganho proporcional k_{PI} , o tempo T_{PI} , e o valor do *Set Point*, para evitar, no momento da inicialização, qualquer instabilidade, como pode ser vista na figura 16.

Figura 16: Bloco de inicialização das variáveis do controlador - CLP



Após a etapa de aquisição e controle da planta de vazão, a próxima etapa é a obtenção do valor de nível e controle do mesmo.

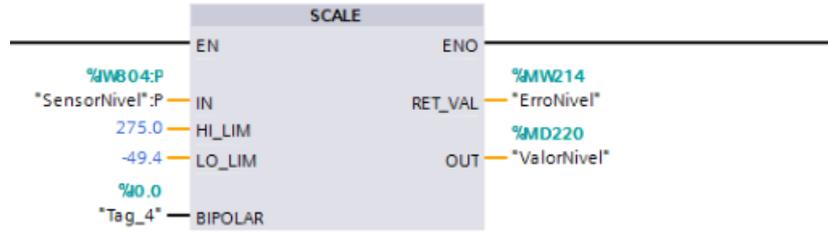
Para a aquisição, foi utilizado o sensor *MPX-5010DP* que constitui de um sensor de pressão diferencial, que será utilizado para adquirir o valor do nível de forma indireta. Para a utilização deste sensor, foi posicionado uma das entradas do sensor de pressão conectada a um tubo com uma pequena coluna de ar situado dentro do tanque, enquanto que a outra entrada do sensor é deixada em aberto, dessa forma, o sensor mede a diferença de pressão do fundo do tanque em relação a pressão atmosférica, sendo variado conforme o nível de água é modificado.

Para a obtenção da variável no CLP, foi utilizado uma entrada analógica do mesmo. Como a saída do sensor varia entre 0 a 5V, foi utilizado um bloco de função *scale*, para fazer a conversão do valor de saída do sensor para um valor normalizado entre 0 a 100 que equivale ao nível mínimo e máximo, respectivamente. Como existe um valor de *offset* de tensão em relação ao nível mínimo, foi necessário determinar essa conversão a partir da equação da reta. Os valores obtidos de mínimo e máximo para realizar a conversão são demonstrados abaixo.

$$Valor_{min} = -49.4 \quad ; \quad Valor_{max} = 275$$

Logo, é utilizado o bloco no CLP, como é representado na figura 17.

Figura 17: Bloco de conversão do valor do nível - CLP



Com a obtenção do sinal de nível, agora é possível a realização da obtenção dos parâmetros do controlador, e conseqüentemente, a realização do controle da planta. Para o controlar o nível, será realizado o controle em cascata, utilizando a planta de controle da vazão para essa tal tarefa.

A vazão é dada por 2.1, logo é possível conseguir determinar a função de transferência do sistema de nível, como demonstrado a seguir:

$$Q = \frac{v}{t} \Rightarrow Q = \frac{A \cdot \partial h}{\partial t} \quad (3.5)$$

Passando para o domínio da frequência:

$$h(s) = \frac{Q}{A} \cdot \frac{1}{s} \Rightarrow \frac{h}{Q} = \frac{1}{As} \quad (3.6)$$

Portanto a função de transferência em malha aberta é definida por:

$$G(s) = \frac{k_n}{s} \quad (3.7)$$

Logo, é possível o controle da planta nível, a partir de um controlador integrador, como é posto na equação acima. Para isso, foi utilizado o método de sintonia IMC (Método do modelo interno), esse método requer um modelo de processo, que pode ser obtido através da identificação experimental (curva de reação do processo após um degrau na variável manipulada) (FRANCHI, 2011).

O método do IMC deseja obter a sintonia do controlador de tal forma que a resposta do sistema a um degrau no *Set Point* tenha uma dinâmica conhecida (trajetória de referência) e fornecida como critério de ajuste (FRANCHI, 2011).

Utilizando um função de transferência do sistema em malha fechada de primeira ordem, como demonstrado a seguir:

$$H(s) = \frac{1}{\lambda s + 1} \quad (3.8)$$

Esse parâmetro λ é o critério de desempenho deste método de sintonia IMC e define o quão rápido se deseja a saída de processo y acompanhe o *SetPoint* (FRANCHI, 2011).

Igualando a equação 3.8 a equação de uma função de transferência em malha fechada usual, como a representada na equação 2.6. É possível determinar o controlador como:

$$C(s) = \frac{1}{G_p(s) \cdot \lambda \cdot s} \quad (3.9)$$

E utilizando a equação 3.7 como a função de transferência em malha aberta, chegamos no seguinte controlador:

$$C(s) = \frac{1}{G_p(s) \cdot \lambda \cdot s} \Rightarrow \frac{1}{k_n \cdot \lambda} \quad (3.10)$$

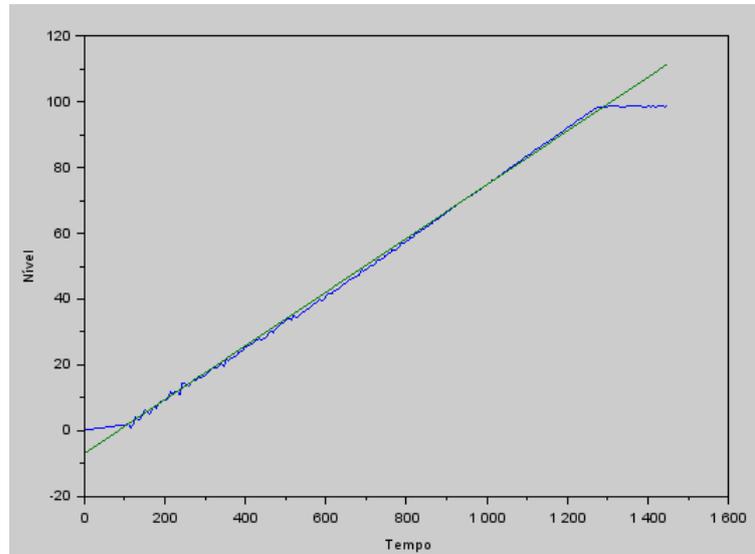
Logo, chegamos a um controlador proporcional que é inversamente proporcional a uma constante k e ao critério de desempenho λ . Como critério do sistema, foi utilizado o valor de λ como um terço do tempo em que é variado o nível do sistema entre o valor mínimo e o valor máximo com a vazão máxima. O valor de k é determinado pelo método do IMC, como:

$$k_n = \frac{Y_{max} - Y_{min}}{t_{total} \cdot Va_{max}} \quad (3.11)$$

Onde a variação de Y corresponde a variação de saída do sensor de nível (0 a 100) e Va_{max} representa o valor de vazão máxima do sistema. Para a obtenção do valor de λ é necessário definir o tempo em que o tanque sai do nível mínimo para o nível máximo, ou seja, o tempo total t_{total} . Para isso, foi utilizado o supervisório da *Siemens*, para a obtenção do valor do nível em relação ao tempo a partir do *logs* que são disponíveis pelo supervisório, onde são gravados as variações das variáveis selecionadas. De forma diferente, relacionado a aquisição do sinal de vazão, não foi necessário modificar a forma de aquisição, já que a reposta do sistema não é tão rápida como o sistema de aquisição de vazão.

Com a obtenção desses dados, o gráfico do nível em relação ao tempo é demonstrado a seguir.

Figura 18: Gráfico do nível em relação ao tempo



Além da obtenção da curva, foi calculado a curva tangente para obtenção do valor de λ , portanto, os valores obtidos foram:

$$\lambda = 39.5 \quad ; \quad Va_{max} = 1.1734$$

Logo, o valor de k_c é:

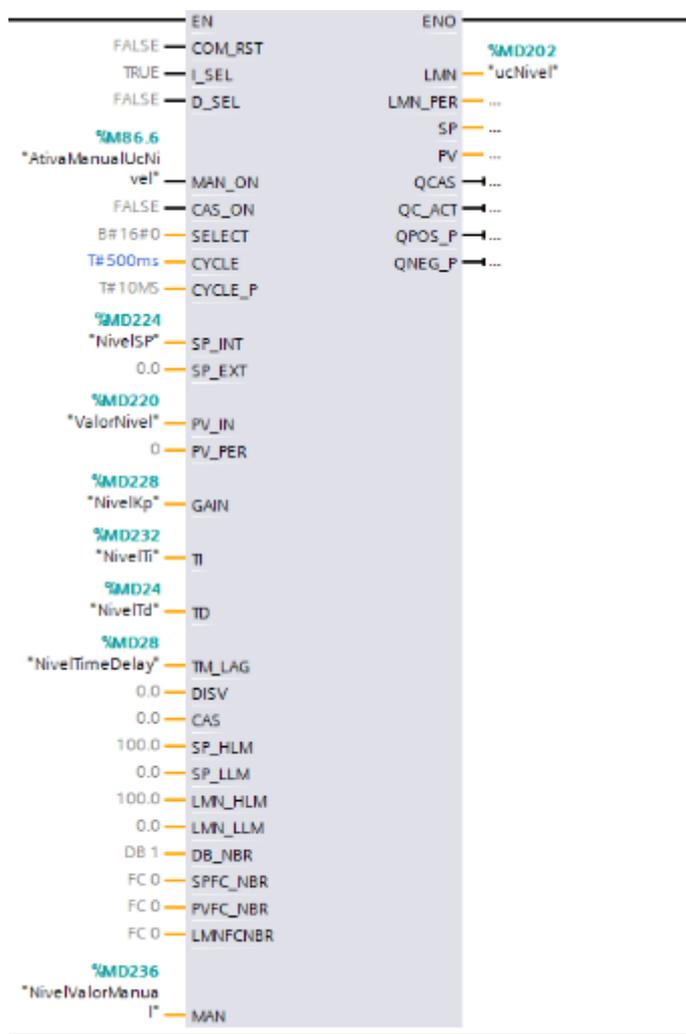
$$k_c = \frac{100}{118.5 \cdot 1.1734} = 2.1575 \quad (3.12)$$

Por fim, o valor da constante do controlador proporcional é:

$$C(s) = k_n = \frac{1}{k_c \cdot \lambda} = 0.0117 \quad (3.13)$$

Chegando ao valor da constante do controlador, agora é possível a utilização do bloco do PID do CLP. Vale salientar, que é necessário, como utilizado no PDI para o bloco de vazão, a inicialização das variáveis necessárias para o controle. A figura 19 mostra o bloco PID do controle de nível.

Figura 19: Bloco de função PID para controle do nível - CLP



Semelhante ao controle de vazão, foi utilizado tanto o supervisório como a plataforma do IHM para obtenção da leitura dos dados, como também a alteração dos mesmos.

Figura 20: Tela destinada ao sistema de nível - Supervisório

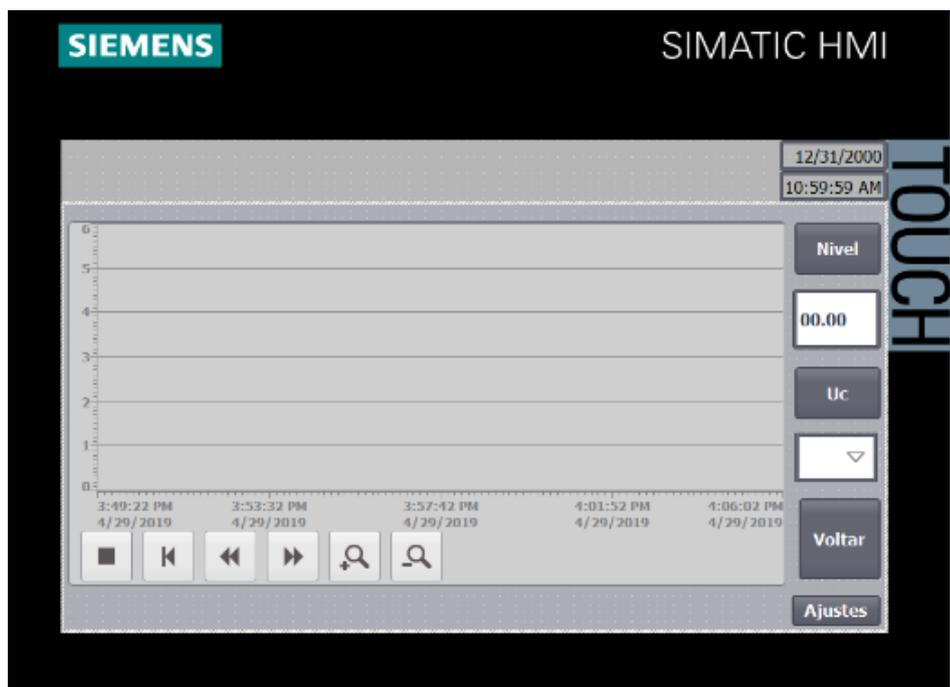
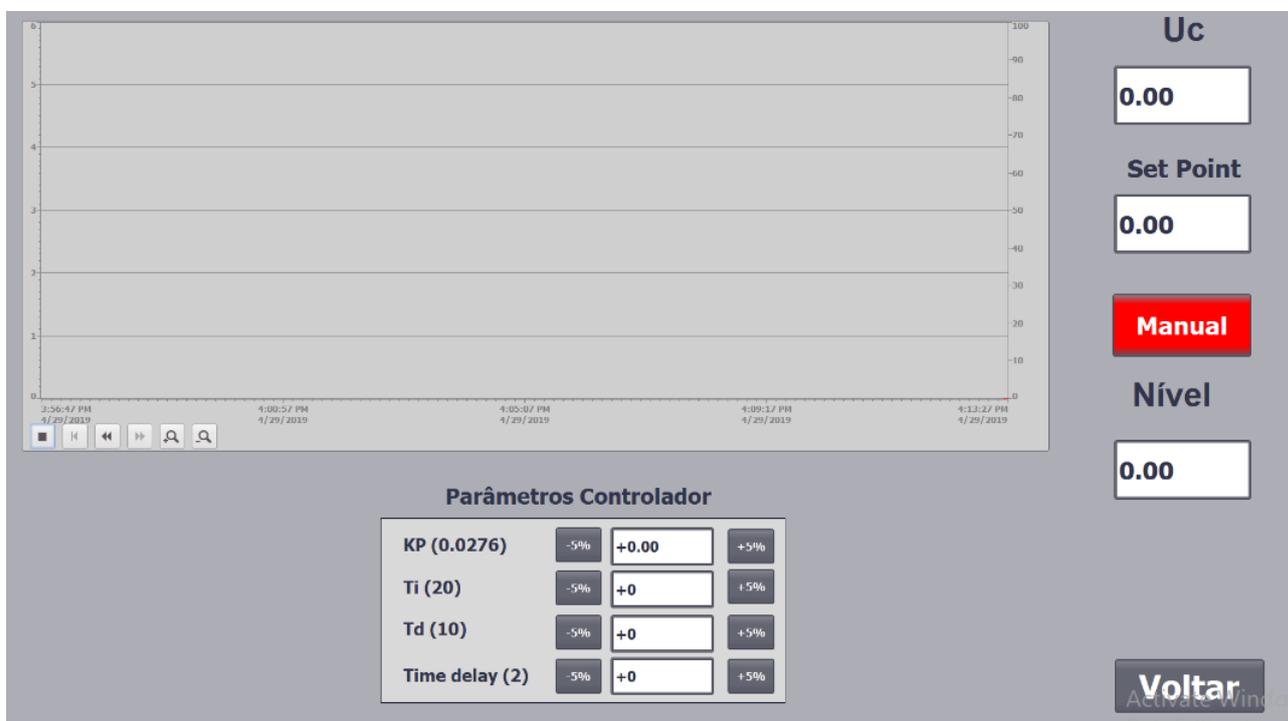
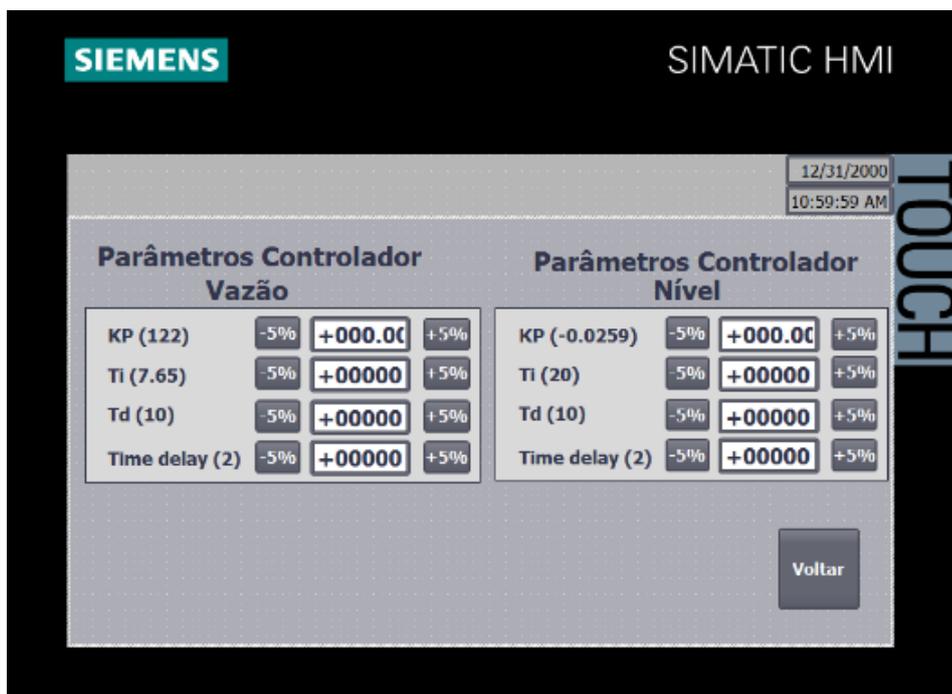


Figura 21: Tela destinada ao sistema de nível - Supervisório



Por fim, para não se diferenciar do supervisório, foi utilizado uma tela da IHM para a mudança dos parâmetros dos controladores de nível e vazão, como é mostrado na figura 22.

Figura 22: Tela destinada ao sistema aos ajustes dos controladores.



Além dessas aplicações explicadas, no período do estágio realizado, também foi auxiliado à turma de Controle I da ufpb a realização de experimentos no laboratório de automação e controle que consistiu na área em que foi realizada o estágio, ou seja, foram auxiliados os alunos da disciplina a realizarem o controle de duas plantas didáticas presentes no laboratório, a planta de temperatura e a planta de vazão. Foram utilizados a IHM composta na bancada do CLP e o supervisório para modificar a variável manipulada do sistema e ler o valor da variável de processo no momento de transição do degrau para, por fim, realizar os cálculos dos parâmetros da sintonia do controlador. Por fim, juntamente com os alunos foram verificados se os valores obtidos, de fato, efetuavam o controle da planta.

4 Resultados

Neste capítulo, serão demonstrados os resultados obtidos, além de algumas soluções para os problemas encontrados no decorrer do estágio.

Utilizando o bloco do CLP para realizar o controle com os devidos ganhos calculados, foi possível visualizar os resultados, ou seja, a variação da variável de processo para um dado *Set Point* a partir de uma janela dentro do CLP que é possível visualizar dessas variáveis. A seguir é mostrado o resultado.

Figura 23: Controle do sistema de vazão - CLP



Onde a variável de processo é a curva em verde, a variável manipulada é a curva em azul e o *Set Point* é a curva em vermelho. Como pode ser observado nessa imagem, é realizado o controle de forma aceitável, porém, é possível perceber uma quantidade de ruído presente na imagem, esse tipo de ruído influencia bastante nos ganhos do controlador, e conseqüentemente na estabilidade do sistema. Vale salientar que são usados filtros disponíveis pelo bloco do PID no CLP para conseguir esse controle.

Utilizando um supervisor para a mesma aplicação de visualizar o controle da planta, encontrou diversos problemas. O ruído proveniente do sensor se tornou bem maior, mesmo utilizado um filtro passa-baixas. Com o aumento no ruído, torna bem mais complexo os parâmetros calculados conseguirem suprir os picos de tensão provenientes do sensor. As figuras 25 e 24 demonstram um pouco desses exemplos.

Figura 24: Controle do sistema de vazão - Supervisor

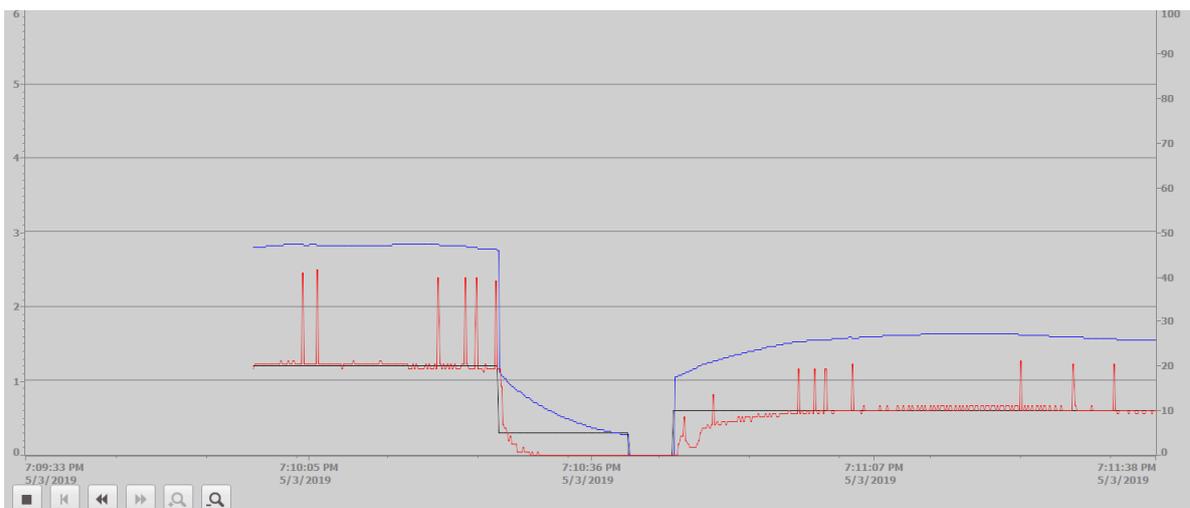
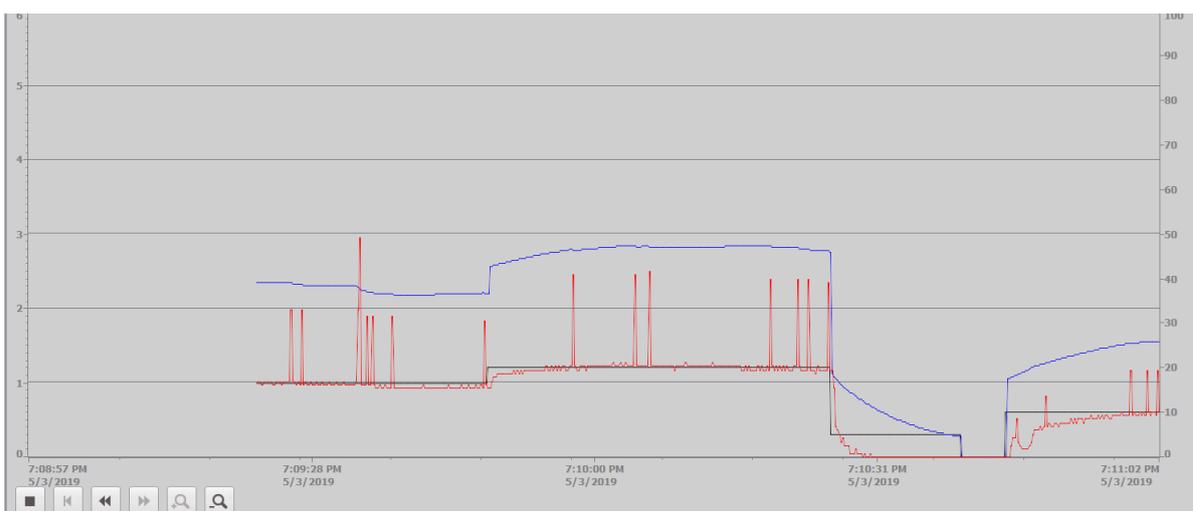


Figura 25: Controle do sistema de vazão - Supervisor



Onde a curva preta representa o *Set Point*, a curva azul e a curva vermelha representam a variável manipulada e a variável de processo, respectivamente.

Pode-se observar que os picos na variável de processo são bastante altos, e ocorrem com bastante frequência no momento em que é posto um valor diferente de *Set Point*, tornando o controlador bastante instável, oscilando bastante os valores da variável manipulada. Portanto para essa etapa, uma das alternativas seria a utilização de um filtro no circuito de condicionamento, antes de levar o valor para a leitura do CLP. Além disso, para amenizar mais ainda esse problema, uma possibilidade, seria criar no próprio CLP uma forma de minimizar esse erro. Pode-se utilizar os blocos de funções de comparação entre a subtração dos dois últimos valores, tornando a variação menor.

5 Conclusão

A realização do estágio no laboratório de automação e controle proporcionou o estudo de um controlador programável, como o CLP, além do aprendizado na programação utilizado pelo mesmo para aplicação em um sistema de controle industrial, utilizando uma mini planta para a obtenção dos sinais dos sensores, como também, a ativação dos atuadores para a realização do controle da malha fechada. Esse projeto, foi de ampla importância e aprendizado, já que foram utilizados na prática, os conhecimentos provenientes das disciplinas de teoria de controle, controle I e instrumentação industrial.

O projeto em si, foi realizado utilizando técnicas bastante conhecidas na literatura para a obtenção da sintonia do controlador, e conseqüentemente, a obtenção dos parâmetros para a realização do controle. Na execução das tarefas realizadas, foram encontrados algumas dificuldades, por exemplo, o sensor utilizado para a medição de vazão se apresentou bastante ruidoso, e apresentando várias instabilidades, tornando a leitura no CLP bastante complexa para realização do controle.

Para trabalhos futuros, é aconselhável, fazer um melhor tratamento do sinal antes da utilização do mesmo no CLP, como também tentar reduzir o ruído programando filtros ou outras alternativas no próprio CLP. Além disso, a utilização de outras plantas que contém dentro do laboratório para tentar simular um sistema completo de um âmbito industrial.

REFERÊNCIAS

- [1] NISE, N. S. *Engenharia de Sistemas de Controle* , 6.ed , Rio de Janeiro, LTC, 2013.

- [2] OGATA, K. *Engenharia de Controle Moderno*, 3 ed. São Paulo, Brasil, 2000.

- [3] FRANCHI, C. M. *Controle de Processos Industriais - Princípios e Aplicações*, 1 ed. , Rio de Janeiro, Editora Érica, 2011.

- [4] BALBINOT, A; BRUSAMARELLO, V. J, *Instrumentação e Fundamentos de Medidas*. v.1, 2 ed, Rio de Janeiro. LTC. 2013.