

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO E AUTOMAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA**

**RELATÓRIO DA 02ª EXPERIÊNCIA
CONTROLE DE SISTEMAS DINÂMICOS: SISTEMA DE
PRIMEIRA ORDEM**

Grupo 02

Aluno 1: 2016007810

Aluno 2: 20160153697

Aluno 3: 20160153928

Aluno 4: 2016008362

Natal-RN

2016

Aluno 1: Alexandre Luz Xavier da Costa

Aluno 2: Anderson Henrique de Araújo Dias

Aluno 3: Higo Bessa Magalhães

Aluno 4: Jaime Cristalino Jales Dantas

INTRODUÇÃO AO LABORATÓRIO DE CONTROLE

Segundo Relatório Parcial apresentado à disciplina Laboratorial de Sistemas de Controle, correspondente à avaliação da 1ª unidade do semestre 2016.2 do 8º período do curso de Engenharia de Computação e Engenharia Mecatrônica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, sob orientação do **Prof. Fábio Meneghetti Ugulino de Araújo**.

Professor: Fábio Meneghetti Ugulino de Araújo.

Natal-RN

2016

RESUMO

O trabalho aqui apresentado foi desenvolvido a partir do primeiro relatório parcial na disciplina de Sistemas de Controle. O objetivo agora está no controle do nível de água nos tanques acoplados, por meio da implementação de controladores Proporcionais, Integrais e Deriváveis (PID), seja em malha aberta ou fechada.

Empregando as atualizações no software com interface para o primeiro experimento de modo a realizar, com os novos controladores, a leitura, escrita, coleta e plotagem de gráficos.

Palavras-chave: Controle, Tanques, Malha aberta, Malha fechada, Sinais, PID.

LISTA DE SÍMBOLOS

V *Voltagem.*

s *Segundos*

cm *Centímetros.*

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----|------------------------------|
| MV | Variável Manipulada |
| MF | Malha Fechada |
| MA | Malha Aberta |
| SP | Set-Point, Resposta Desejada |
| PV | Variável de Processos |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Planta utilizada no experimento | 9 |
| Figura 2. Malha aberta | 10 |
| Figura 3. Malha fechada | 10 |
| Figura 4. Representação gráfica do sinal senoidal | 11 |
| Figura 5. Representação gráfica do sinal quadrado | 12 |
| Figura 6. Representação gráfica do sinal dente de serra | 12 |
| Figura 7. Representação gráfica do sinal degrau | 13 |
| Figura 8. Representação gráfica do sinal aleatório | 13 |
| Figura 9. Tela de conexão ao servidor | 15 |
| Figura 10. Tela de aviso | 15 |
| Figura 11. Seleção das variáveis de saída | 16 |
| Figura 12. Seleção das variáveis de controle | 16 |
| Figura 13. Leitura dos níveis dos tanques | 16 |
| Figura 14. Interface de seleção dos sinais de Controle | 17 |
| Figura 15. Sinal senoidal em malha fechada | 18 |
| Figura 16. Sinal de onda quadrada em malha fechada..... | 18 |
| Figura 17. Sinal dente de serra em malha fechada | 19 |
| Figura 18. Sinal degrau em malha fechada | 19 |
| Figura 19. Sinal aleatório em malha fechada | 20 |
| Figura 20. Código de travas de segurança | 21 |

SUMÁRIO

| | <u>Pág.</u> |
|--|--------------------|
| 1 INTRODUÇÃO | 8 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 9 |
| 2.1 Malha Aberta..... | 10 |
| 2.2 Malha Fechada | 10 |
| 2.3 Sinais..... | 11 |
| 2.3.1 Senoidal..... | 11 |
| 2.3.2 Quadrada..... | 11 |
| 2.3.3 Dente de Serra..... | 12 |
| 2.3.4 Degrau..... | 12 |
| 2.3.5 Aleatório..... | 13 |
| 2.4 Sistema de Tanques Acoplados Quanser | 13 |
| 3 METODOLOGIA | 14 |
| 3.1 Software de Controle..... | 14 |
| 3.1.1 Interface de Leitura | 15 |
| 3.2 Sinais Plotados | 17 |
| 3.2.1 Senoidal | 18 |
| 3.2.2 Quadrada | 18 |
| 3.2.3 Dente de Serra..... | 19 |
| 3.2.4 Degrau | 19 |
| 3.2.5 Aleatório..... | 20 |
| 3.3 Sistemas de Travas | 20 |
| 4 CONCLUSÃO | 22 |
| 5 REFERÊNCIAS | 21 |

1 INTRODUÇÃO

A utilização de controladores no sistema objetiva a modificação de sua dinâmica , manipulando a relação entrada/saída a partir de atuadores sobre seus parâmetros, com o intuito de satisfazer as especificações com relação a sua resposta (Ogata, 1993).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O sistema de trabalho é constituído por dois tanques conectados um ao outro por meio de um orifício inferior no tanque superior. Esse sistema, experimentalmente, é caracterizado como um sistema de primeira ordem, pois controla o nível apenas do tanque superior, sendo o tanque inferior alimentado com fluido pela ação da gravidade.



Figura 1: Planta utilizada no experimento.

A planta utilizada no experimento é composta por:

- Uma bomba para bombear a água;
- Mangueiras flexíveis por onde o fluido irá percorrer;
- Dois tanques em série;
- Um reservatório de água com capacidade de 2L;
- Sensores de níveis;
- Computador Servidor;
- Computador Cliente para envio de sinais;
- Módulo de Potência;
- Placa de condicionamento, entrada e saída de sinais;

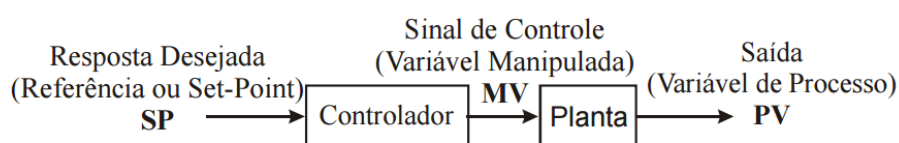
O projeto realizado tem dois tipos de entrada, um para cada configuração de malha. O primeiro tipo terá uma tensão aplicado à planta como sinal de entrada,

possuindo 5 sinais distintos possíveis, já para o segundo o sistema receberá a indicação do nível do fluido desejado para acionamento da bomba. O sinal de saída será o nível da coluna d'água que foi atingido ao se aplicar a tensão na entrada para malha aberta, ou o valor de tensão necessário para atingir o nível pré-estabelecido do fluido pelo usuário, a leitura para a plotagem é realizada por meio de sensores localizados na parede do tanque.

Os controles que podem ser utilizados em um tipo de planta como esta são diferenciados em relação ao tipo de malha, sendo: *Malhas Abertas* e *Malhas Fechadas*.

2.1 MALHA ABERTA

Na malha aberta o usuário coloca uma das 5 opções de sinais de entrada na planta. O sinal irá transportar as informações de comando do controlador para serem interpretados e posteriormente sua saída fará com que o volume do líquido seja liberado ou mantenha-se em uma vazão constante, com o auxílio do motor. Mas diante da configuração em malha aberta o usuário não pode aferir que sua saída corresponde a

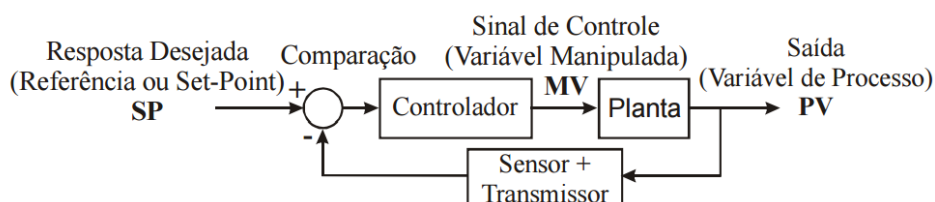


entrada desejada, pois não há alterações no sinal de entrada mediante ao valor de saída do sistema.

Figura 2: Malha aberta.

2.2 MALHA FECHADA

No caso de malha fechada, novamente, o usuário vai optar por uma das 5 opções de sinais de entrada e terá sua interpretação feita pelo sistema implementado na planta, no entanto, a saída do sistema terá o nível do tanque esperado pois em malha fechada ocorre o retorno ao Set Point (SP). A realimentação do SP vem da adequação necessária que mantenha o nível estável, por meio do cálculo do erro entre o volume esperado



subtraído do volume atual.

Figura 3: Malha fechada.

2.3 SINAIS

O sinal é o meio de transporte das informações do estado e/ou comportamento de um sistema físico utilizados na comunicação entre máquinas.

Na implementação do software criado os sinais assumiram funções de uma ou mais variáveis independentes, tais como amplitude e período, utilizadas no projeto. Dentre os sinais disponíveis ao usuário tem-se:

- I. Senoidal
- II. Quadrada
- III. Dente de Serra
- IV. Degrau
- V. Aleatório

2.3.1 SENOIDAL

O sinal senoidal comporta-se como uma função trigonométrica do seno, possuindo amplitude e período definidos. Sua representação é dada da seguinte maneira:

$$f(t) = A \cdot \text{sen}(B \cdot t + C) + D$$

As constantes A , B , C e $D \in \mathbb{R}$ e cada uma possui um papel no comportamento do sinal no tempo:

- A: deforma a onda em relação ao eixo das abscissas um fator de magnitude A .
- B: deforma a onda em relação ao eixo das ordenadas um fator de magnitude B .
- C: faz com que o sinal se desloque sobre o eixo das abscissas C unidades;
- D: faz com que o sinal se desloque sobre o eixo das ordenadas D unidades;

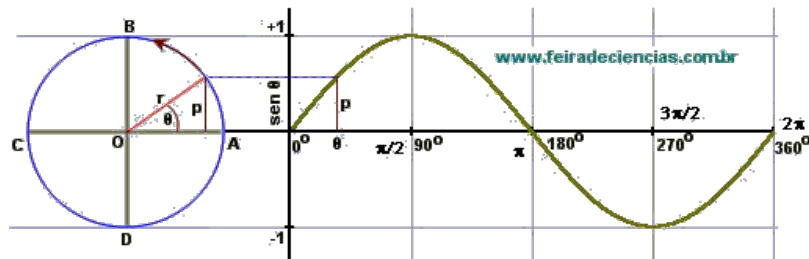


Figura 4: Representação gráfica do sinal senoidal.

2.3.2 QUADRADA

Sinais de onda quadrada são utilizados constantemente em diversas áreas de estudo, principalmente eletroeletrônica e processamento de sinais, visto seu comportamento regular de alternância instantânea entre dois valores.

Por meio da série de Fourier é possível escrever uma onda quadrada partindo que:

$$x_{\text{quadrado}}(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin((2k-1)t)}{(2k-1)}$$

Logo,

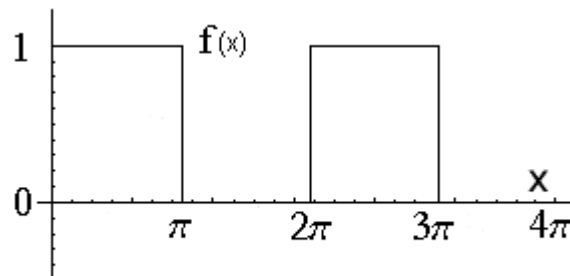


Figura 5: Representação gráfica do sinal quadrado.

2.3.3 DENTE DE SERRA

Semelhante ao perfil de uma lamina de serra, o sinal abordado é do tipo não senoidal básico formado por rampas de amplitude e frequência definidas. O sinal varia de seu valor mínimo até o valor máximo (sinal tipo dente de serra crescente), ou de seu valor máximo para o mínimo (sinal tipo dente de serra decrescente), para cada período de modo linear.

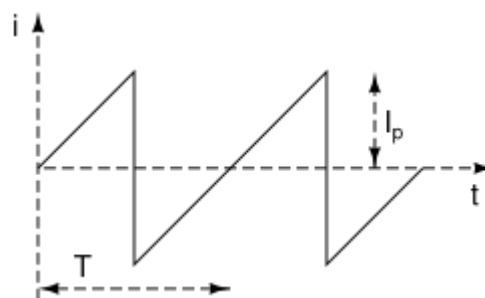


Figura 6: Representação gráfica do sinal dente de serra.

2.3.4 DEGRAU

O sinal degrau é definido matematicamente da seguinte maneira:

$$\alpha.u(t) = 0, t < 0$$

$$\alpha.u(t) = \alpha, t \geq 0$$

Sendo $\alpha \in \mathbb{R}$ e representando a sua amplitude definida pelo usuário no sistema. Esse sinal é conhecido como *Degrau Unitário* quando $\alpha = 1$.



Figura 7: Representação gráfica do sinal degrau.

2.3.5 ALEATÓRIO

O sinal aleatório, diferentemente dos demais sinais determinísticos já apresentados, possui um elemento de incerteza associado não sendo previsível seu comportamento ao longo do tempo.

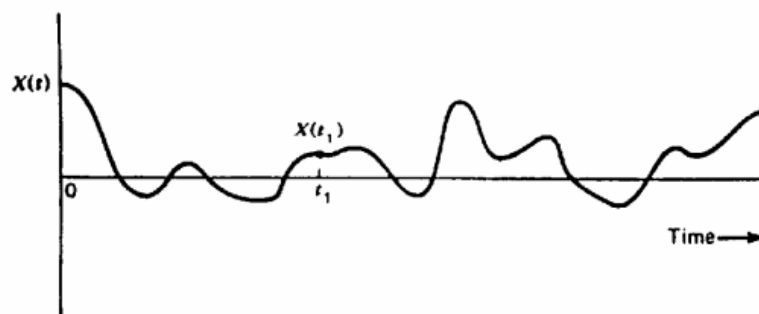


Figura 8: Representação gráfica do sinal aleatório.

2.4 SISTEMA DE TANQUES ACOPLADOS QUANSER

Com o uso de um computador e uma placa de aquisição de dados pode ocorrer o controle dos níveis dos tanques acoplados em laboratório, de modo que o computador enviasse sinais elétricos ao módulo de potência, que por sua vez multiplica a tensão por uma variável acionando a bomba.

Os componentes deste sistema de tanques são:

- I. 2 Tanques acoplados da Quanser
- II. 2 Sensores de nível
- III. 1 Bomba
- IV. 1 Reservatório

- V. Módulo de potência VoltPAQ-X1
- VI. Placa de aquisição de dados MultQ da Quanser
- VII. Computador

3 METODOLOGIA

O projeto objetivou o desenvolvimento de um software de interação com a planta de interface gráfica intuitiva, para fácil manipulação do usuário, em linguagem Java com o auxílio do NetBeans de forma que o fosse inserido o valor desejado do sinal de entrada, obtendo a saída desejada para MF e/ou acompanhasse a saída (leitura de nível) em MA junto ao gráfico plotado em tempo real.

A escolha da linguagem Java para elaboração do experimento foi baseada nos critérios:

- I. Linguagem de maior domínio de conhecimento do grupo desenvolvedor;
- II. Maior compatibilidade com sistemas operacionais diversos, viabilizando a cross-plataforma;
- III. Rápida prototipagem.

A metodologia é caracterizada pela explicação minuciosa dos procedimentos técnicos realizados durante todo o trabalho.

3.1 Software de Controle

Foram solicitados requisitos mínimos para o funcionamento e geração da interface gráfica do software:

- I. Usuário deve escolher uma ou mais portas para leitura de dados.
- II. Usuário deve escolher uma única porta para escrita de dados.
- III. Deve haver a opção de escolha entre MA ou MF.
- IV. Estabelecer conexão com servidor do sistema de tanques.
- V. Implementar travas de segurança para evitar acidentes ou danos aos equipamentos.
- VI. Geração de 5 tipos de sinais de entrada para comunicação com a planta.

Como primeiro layout o usuário vai encontrar a tela de conexão com o servidor dos tanques acoplados.



Figura 9: Tela de conexão ao servidor.

A tela de conexão mostra o endereço IP do servidor e a porta de comunicação que o usuário deve utilizar, há uma opção de entrada off-line que permite ao usuário efetuar testes sem comunicar-se a bomba d'água, nela haverá um aviso de que o usuário não está conectado a planta.

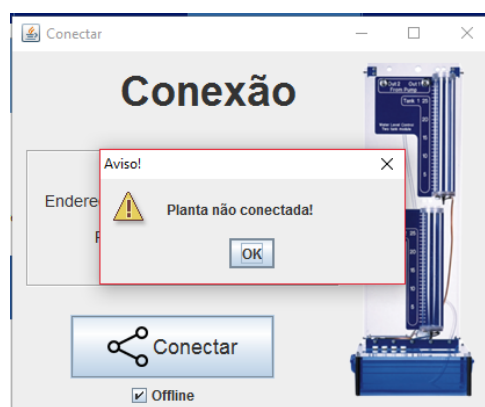


Figura 10: Tela de aviso.

3.1.1 Interface de Leitura

A tela de interface de leitura será onde o usuário poderá acompanhar os gráficos gerados a partir dos sinais de entrada, os gráficos são plotados de acordo com a medição realizada pelos sensores encontrados em cada um dos tanques acoplados.

O usuário tem 8 opções de canais para observa como variáveis de saída, sendo o canal 0 destinado ao tanque superior e o canal 1 ao tanque inferior.

Variáveis de Saída

☒ Canal 0 ☐ Canal 4
☐ Canal 1 ☐ Canal 5
☐ Canal 2 ☐ Canal 6
☐ Canal 3 ☐ Canal 7

LER

Figura 11: Seleção das variáveis de saída.

Para a leitura da tensão de entrada foi disponibilizado dois canais, mas o sistema encontrado em laboratório conta apenas com uma bomba d'água alocada no canal 0 de leitura das tensões.

Variáveis de Controle

☒ Canal 0
☐ Canal 1

Figura 12: Seleção das variáveis de controle.

Como resultado é possível observa os gráficos de entradas e saídas a seguir:

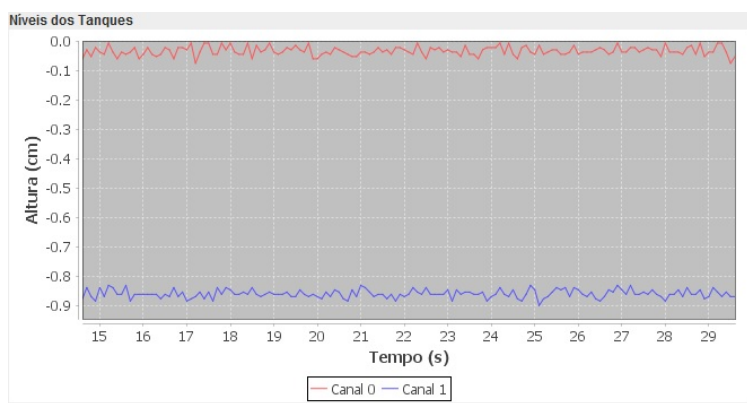


Figura 13: Leitura dos níveis dos tanques.

A leitura demonstrada acima contém um erro de calibração de sensores, mas está dentro dos limites permitidos indicados em roteiro de desenvolvimento.

3.2 Sinais Plotados

Para a seleção do sinal de entrada pelo usuário, foi implementado em software uma interface de seleção de sinais, contendo os 5 sinais possíveis e suas respectivas configurações como amplitude, offset e período.

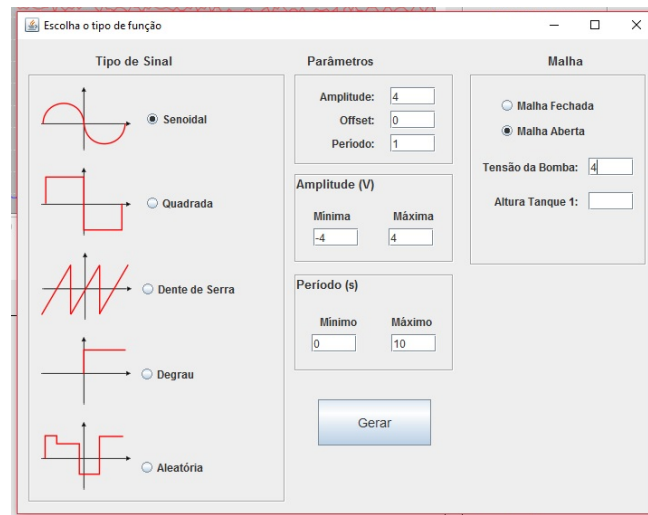


Figura 14: Interface de seleção dos sinais de controle.

3.2.1 Senoidal

Para o sinal de entrada senoidal em configuração de malha fechada se obtém,

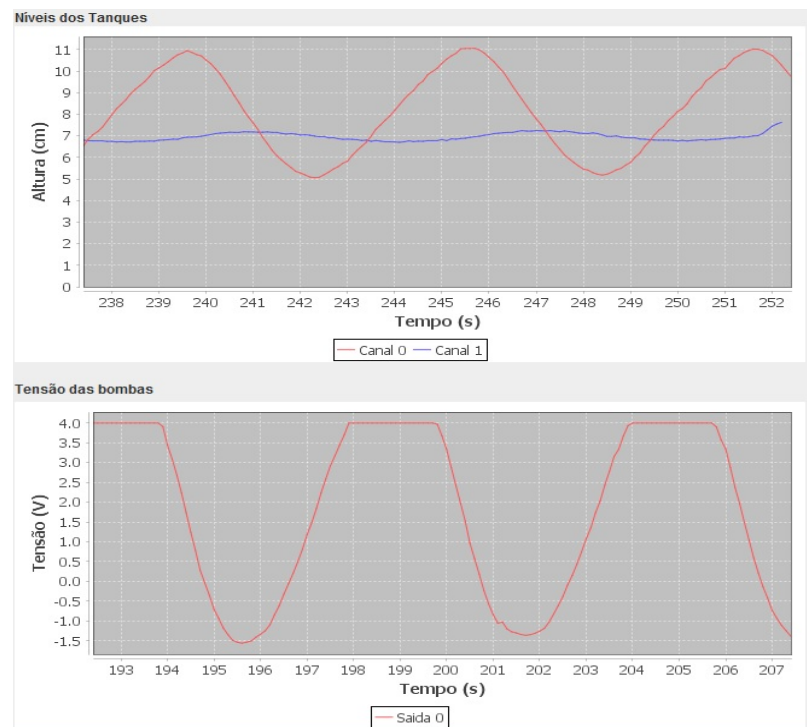


Figura 15: Sinal senoidal em malha fechada.

3.2.2 Quadrada

Para o sinal de uma onda quadrada a leitura foi

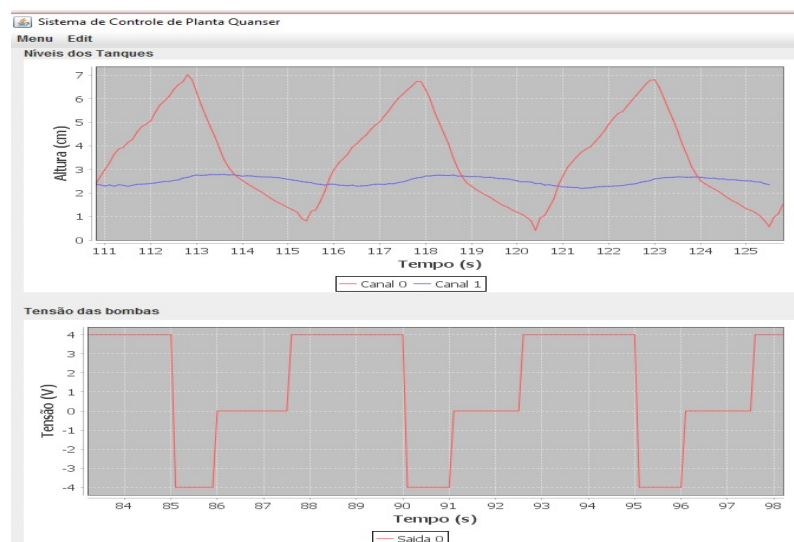


Figura 16: Sinal de onda quadrada em malha fechada.

3.2.3 Dente de Serra

Com o sinal da onda dente de serra observasse o seguinte gráfico

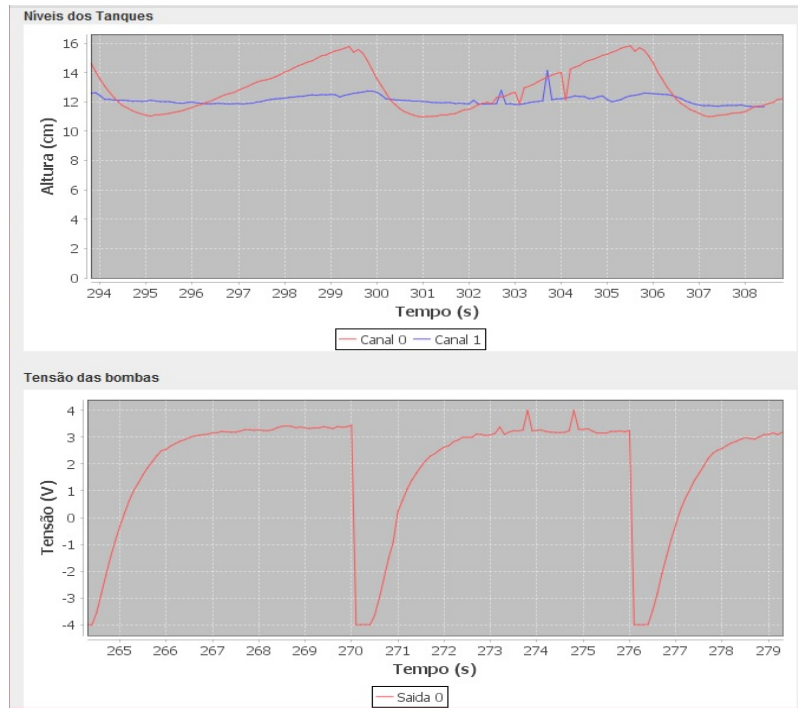


Figura 17: Sinal dente de serra em malha fechada.

3.2.4 Degrau

Para o sinal de onda degrau em malha fechada tem-se:

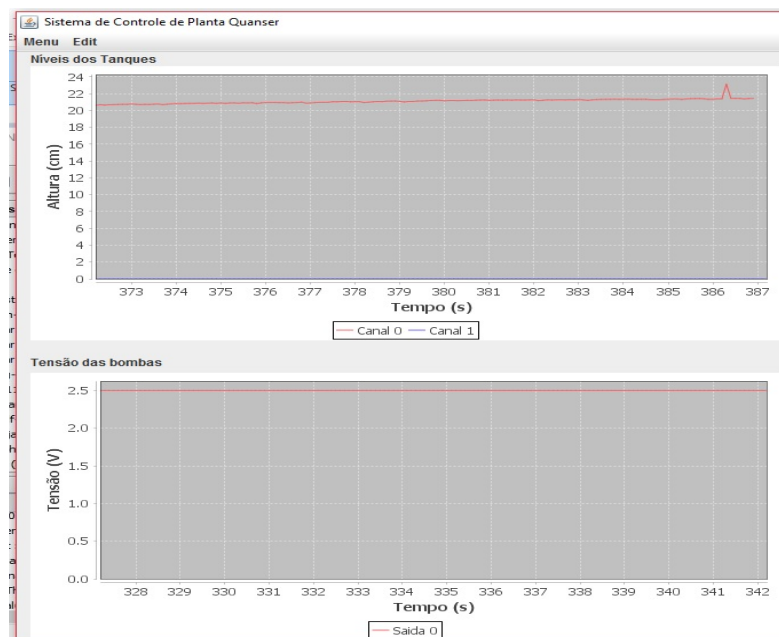


Figura 18: Sinal degrau em malha fechada.

3.2.5 Aleatório

Para o sinal de entrada como aleatório, foi plotado o seguinte gráfico em testes laboratoriais.

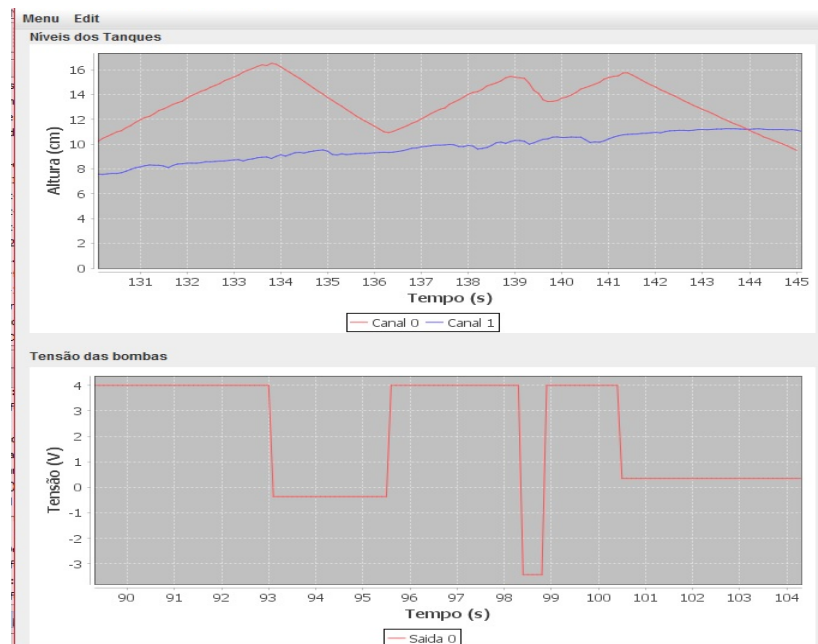


Figura 19: Sinal aleatório em malha fechada.

3.3 Sistemas de Travas

Foi locado em código um sistema de travamentos de forma que não permita o envio de tensões superiores as máximas suportadas pela bomba d'água. Além disso, foram implementadas travas para evitar que os tanques transbordem o fluido, e para evitar que a bomba bombeie ar. O código abaixo mostra os valores utilizados para as respectivas travas.

```

121 public double tratarDado(double valor){
122     double retorno = valor;
123     if (valor > 4) {
124         retorno = 4.0;
125     }
126     else if (valor < -4) {
127         retorno = -4.0;
128     }
129
130     if(leitura[0] > 28){
131         if(valor > 3.25){
132             retorno = 2.9;
133         }
134         if(leitura[0] > 29){
135             retorno = 0;
136         }
137     }
138     else if(leitura[0] < 4 && valor < 0){
139         retorno = 0;
140     }
141
142     if(leitura[1] > 28){
143         retorno = 0;
144     }
145     return retorno;
146 }
```

Figura 20: Código de travas de segurança.

4 CONCLUSÃO

Conclui-se que o uso da malha fechada pode auxiliar ao usuário no controle do nível dos tanques, mas ocorre um erro relativo ao valor mensurado e o valor real nos tanques, isto fará com que o nível se aproxime do desejado para mais ou para menos.

Portanto a saída tende a acompanhar o SP, embora possa existir atrasos e/ou perturbações no sistema, contanto que o tempo seja suficiente para atingir-se o valor de entrada.

REFERÊNCIAS

BAZANELLA, A.S. e SILVA JR, J.M.G. **Sistemas de Controle: Princípios e Métodos de Projeto**. Editora UFRGS, 2005.

UFRGS. **Descrição de Sinais Aleatórios**. Disponível em:
<http://www.ece.ufrgs.br/~fetter/ele00071/dec/signals.pdf>. Acesso em: 11 Out. 2016.

UNICAMP. **Função Degrau Unitário**. Disponível em:
<http://www.dt.fee.unicamp.br/~www/ea612/node32.html>. Acesso em: 10 Out. 2016.