



SISTEMA DE CONTROLE PARA UMA MALHA DE NÍVEL DE UMA PLANTA DIDÁTICA INDUSTRIAL POR PROGRAMAÇÃO GRÁFICA EM HARDWARE LÓGICO-PROGRAMÁVEL

1 Lucas Henrique Salame de Andrade* – lhsandrade1@gmail.com

2 Bruno Leandro Galvão Costa* – brunolgcosta@gmail.com

3 João Paulo Lima Silva de Almeida*# – joao.almeida@ifpr.edu.br

4 Bruno Augusto Angélico* – bangelico@utfpr.edu.br

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Avenida Alberto Carazzai, 1640 – Centro

86.300-000 – Cornélio Procopio – Paraná

#Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Avenida Doutor Tito, s/n – Jardim Panorama

86.400-000 – Jacarezinho – Paraná

Resumo: *Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de controle supervisionado aplicado a uma malha de nível de uma planta industrial didática da fabricante FESTO. Esta planta didática foi reestruturada para contemplar o estudo de algumas estratégias de controle constantemente empregadas no ensino de engenharia. O hardware lógico-programável CompactRIO foi empregado como controlador do sistema, sendo este associado à linguagem gráfica de programação LabVIEW. O processo foi devidamente identificado e um controlador PI foi sintonizado por intermédio de um método clássico presente na literatura. Resultados obtidos enfatizam o potencial didático da aplicação em disciplinas de controle de cursos de engenharia.*

Palavras-chave: *Sistema Supervisório, Controle PID, Identificação de Sistemas, LabVIEW, CompactRIO.*

1. INTRODUÇÃO

A automação foi originada a partir da necessidade real vista pelo homem em melhorar sua qualidade de vida, de modo a facilitar os trabalhos envolvidos no seu dia a dia. No campo industrial esta visa, entre outros aspectos, aumentar a escala da produção e melhorar os resultados finais dos produtos gerados. Inicialmente os processos automatizados, desprovidos de uma tecnologia mais desenvolvida, se resumiam à elaboração de equipamentos que evitassem a realização de trabalhos braçais repetitivos.

Atualmente os sistemas automatizados estão presentes em diversos segmentos da engenharia, como controle numérico de máquinas, ferramentas das indústrias



manufatureiras, no projeto de pilotagem automática da indústria aeroespacial e no projeto de carros e caminhões, desempenhando papel fundamental em todos eles. São também essenciais nas operações industriais, tais como: controle de temperatura, pressão, nível e vazão nas indústrias de processo (OGATA, 2005).

A automação de um processo industrial tem como objetivo produzir bens com menor custo e tempo, com maior quantidade e qualidade, ou seja, é empregada para otimizar a produção (DORF; BISHOP, 2001).

Geralmente para a automatização de sistemas quaisquer, utilizam-se *hardwares* programáveis, dotados de *softwares* especializados. Dentre estes softwares de controle e automação, estão àqueles que utilizam a linguagem gráfica de programação. Uma característica associada a esta linguagem é sua facilidade de utilização, uma vez que proporcionam ao usuário uma maneira intuitiva para a manipulação do sistema.

Ainda, com relação aos *hardwares*, estão presentes os dispositivos *Programmable Automation Controller* (PAC), que foram desenvolvidos para atender as necessidades apresentadas por máquinas em expansão e sistemas industriais cada vez mais modernos.

Alguns tópicos sobre automação de sistemas são muito estudados em cursos de graduação, principalmente cursos voltados para uma aplicação mais direta nessa abordagem, como por exemplo, os cursos de engenharia. Sendo assim, a utilização de ferramentas didáticas flexíveis e versáteis são muito importantes para a consolidação dos conceitos teóricos vistos em sala de aula nestes cursos de graduação. A possibilidade de trabalhar com ferramentas utilizadas na indústria enriquecem a formação do aluno e proporcionam experiências fundamentais para a consolidação do conhecimento.

O presente trabalho ilustra o desenvolvimento de um sistema de supervisão e controle de uma malha de nível pertencente a uma planta didática modificada da fabricante Festo (ALMEIDA, 2012), através do emprego do software de programação gráfica LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) e do PAC CompactRIO (RIO – *Reconfigurable Inputs and Outputs*). Um sistema supervisorio totalmente iterativo, com animação e possibilidade de efetuar o controle da malha, de forma tanto manual quanto automática, foi desenvolvido. O sistema foi identificado e controlado por um controlador do tipo PI. Os resultados obtidos evidenciam o potencial de utilização do sistema em aulas práticas de controle e automação em cursos de engenharia.

2. LABVIEW

O LabVIEW é um *software* de programação gráfica, fabricado pela *National Instruments*, que emprega ícones ao invés de textos para criar aplicações.

O programa emprega em sua estrutura um ambiente de diagrama de blocos, que o torna ideal para desempenhar funções de testes e medições, análise de aplicação de dados e controle de instrumentos (BITTER et al., 2001). A Figura 1 demonstra o formato deste tipo de programação.

Todo programa elaborado no LabVIEW é chamado de Instrumento Virtual (VI, *Virtual Instrument*) devido a sua aparência e operação assemelharem-se às de instrumentos de medição e controle reais. Um VI é constituído por duas partes principais, mencionados a seguir:

- Diagrama de blocos: é a estrutura do programa onde a rotina é realizada, ou seja, é parte que contém o código fonte construído de forma gráfica pelo usuário;

- Painel frontal: é a interface com o usuário, onde são alocados todos os controles, gráficos e indicadores, o que implica numa tela que simula o painel físico de um instrumento.

Inicialmente, este *software* foi desenvolvido para facilitar a coleta de dados dos instrumentos de laboratório, provenientes de sistemas de aquisição. Atualmente o LabVIEW pode ser utilizado para adquirir dados de instrumentos, análise e processamento de dados, automação e para controlar instrumentos e equipamentos (LARSEN, 2011).

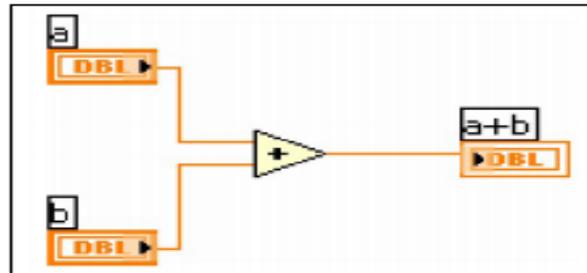


Figura 1: Programação em diagrama de blocos.

Este software possibilita, através do módulo LabVIEW *Real-Time*, a realização de vários tipos de operações com desempenho determinístico, podendo assim ser aplicado a sistemas que exijam a realização de uma operação *on-line*. Tais operações podem ir desde uma simples indicação gráfica de um sinal proveniente de um sistema de medição até o desenvolvimento de um sistema de controle PID ou ainda mais complexo, como os que utilizam sistemas inteligentes.

3. DISPOSITIVOS PAC

Controladores Programáveis para Automação (PAC) foram desenvolvidos para atender as necessidades apresentadas por máquinas em expansão e sistemas industriais cada vez mais modernos, combinando o desempenho de um CLP, com a funcionalidade de um computador. Estes controladores possibilitam a construção de sistemas avançados, incorporando capacidades de *software* como controle avançado, comunicação, armazenamento de dados e processamento de sinais com um controlador robusto, realizando lógica, controle de processo e visão de máquina (NATIONAL INSTRUMENTS, 2013).

3.1. CompactRIO

O *CompactRIO* consiste em um controlador programável para automação fabricado pela *National Instruments*, formado por módulos reconfiguráveis, baseados na tecnologia FPGA (*Field-programmable gate array*).

Cada módulo aloja um processador de ponto flutuante embarcado com operação em tempo real, um FPGA de alto desempenho, módulos de E/S (entradas e saídas) com troca a quente. Cada módulo de E/S é conectado diretamente ao FPGA, promovendo um rápido processamento de sinais. A conexão entre o FPGA e o processador embarcado é realizada através de uma rede PCI de alta velocidade (BILIK et al., 2008). A Figura 2 ilustra a estrutura interna citada acima.

A programação deste dispositivo, tanto do processador quanto do FPGA, é realizada por meio do *software* LabVIEW através de dois modos, LabVIEW FPGA e *Scan mode*, sendo que ambos estão alocados no módulo *Real-Time* do programa. O primeiro é mais utilizado em sistemas que necessitam de interações de controle acima de 1kHz e com taxa de atualizações de E/S acima de 20kHz e o segundo possui uma programação menos complexa, porém deve ser utilizado em sistemas com exigências inferiores.

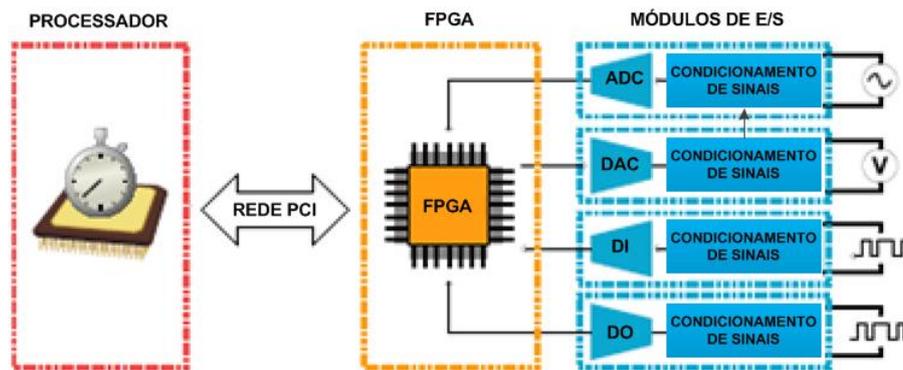


Figura 2: Estrutura interna do CompactRIO (BILIK et al., 2008).

4. PLANTA DIDÁTICA DE CONTROLE

A planta didática da fabricante FESTO (FESTO DIDACTIC, 2006) utilizada neste trabalho, proporciona a realização de ensaios de sistemas de controle, de acordo com os processos nela agregados. Tais ensaios são realizados por alunos de engenharia que participam do programa de iniciação científica, assim como alunos do programa de pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio (UTFPR – CP).

Esta ferramenta didática possui quatro malhas de controle, que são: malha de controle de temperatura, pressão, nível e vazão. Esta planta passou por um processo de reestruturação, a fim de sustentar a possibilidade de inclusão de ensaios e desenvolvimentos de estratégias de controle (ALMEIDA, 2012).

4.1. Malha de nível

A malha de nível da referida planta industrial didática é apresentada na Figura 3. Os componentes em destaque são:

- CompactRIO: controlador principal da planta;
- Bomba centrífuga: consiste no atuador do sistema de controle, realizando o deslocamento do fluido nos reservatórios;
- Sensor de nível: sensor do tipo ultrassônico;
- Válvula manual: componente utilizado para a inserção de distúrbios no sistema.

Neste processo, o objetivo é manter o fluido a um determinado nível no reservatório superior, mesmo com a presença de distúrbios ou outras características não-lineares.

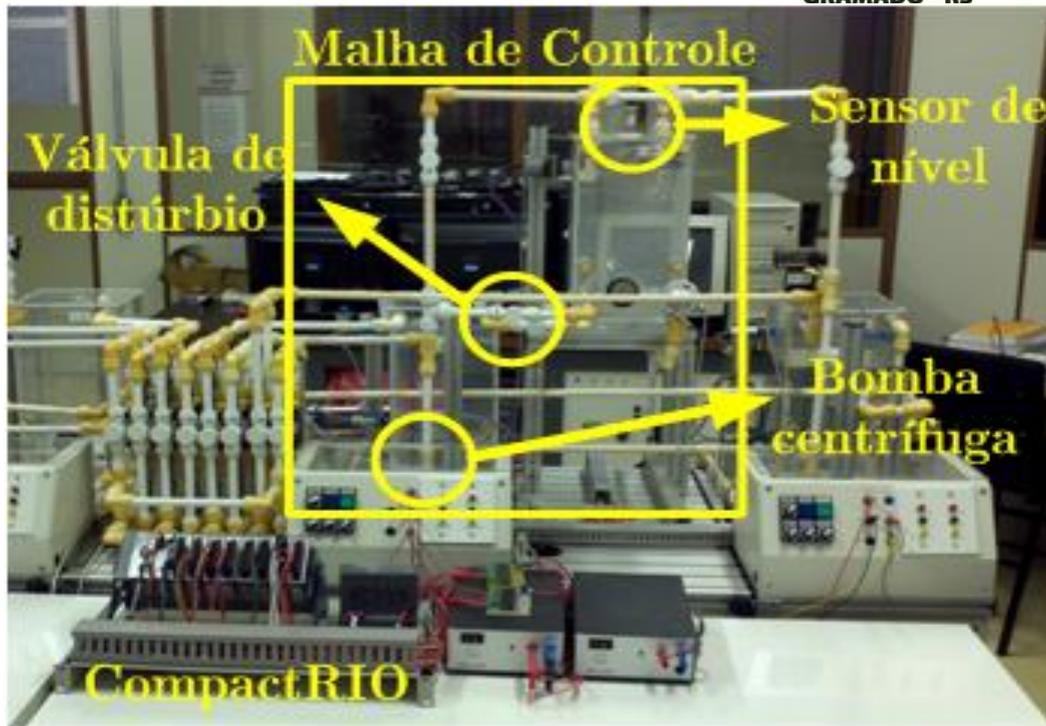


Figura 3: Planta industrial didática.

5. CONTROLE PID

Os controladores PID, nos dias atuais, são certamente uma das melhores metodologias aplicadas em processos industriais. De acordo com Visioli (2006, p.1), o sucesso do controle PID é caracterizado pela sua simplicidade estrutural e potencialidades de aplicação, sendo definido como “componente fundamental para esquemas mais sofisticados de controle, sendo implementado quando os conceitos básicos de controle não são suficientes para obter um desempenho exigido mais complicado”.

Devido a este enorme emprego do controle PID, muitas pesquisas foram desenvolvidas visando, principalmente, obter um melhor desempenho do controlador. Dentre as principais linhas de pesquisas estão: as buscas por novas metodologias de identificação de sistemas e aprimoramento de regras de sintonia (LI et al, 2006, p.32).

O projeto de um controlador PID, consiste na definição de alguns parâmetros que caracterizam a dinâmica do processo em questão. Inicialmente, um método de identificação deve ser empregado para estimar uma expressão matemática que represente o comportamento do sistema. Na literatura, podem ser encontrados alguns métodos de identificação, tais como Ziegler-Nichols (Z-N), Sundaresan/Krishnaswamy e Smith (COELHO; COELHO, 2004).

Após este procedimento, é necessário efetuar a sintonia do controlador que será empregado no sistema (ou seja, parametrizar seus respectivos ganhos), dessa forma, métodos clássicos de sintonia podem ser utilizados: Z-N, Chien-Hrones-Reswick (CHR) e Cohen-Coon (ASTROM; HÄGGLUND, 1995).

Neste sentido, este trabalho apresenta a identificação e sintonia de um controlador PID (no caso um PI, onde a porção derivativa é zero), aplicado à malha de controle de



nível abordada. Uma interface de interação com o usuário foi elaborada para tal finalidade.

5.1. Sintonia de controladores PID por métodos clássicos

Para o projeto de um controlador PID, é necessário que o processo seja identificado. Neste procedimento, uma expressão matemática é obtida, baseada na determinação de três parâmetros principais: ganho em regime – K , atraso de transporte – L e constante de tempo – T , como ilustra a Equação (1) (COELHO; COELHO, 2004).

$$G(s) = \frac{K e^{-Ls}}{Ts + 1} \quad (1)$$

Após a obtenção destes parâmetros, métodos clássicos de sintonia PID podem ser empregados. Tais técnicas foram desenvolvidas para uma melhor parametrização dos ganhos do controlador PID, visando reduzir problemas relacionados a métodos empíricos. Dentre algumas regras de sintonia descritas na literatura, o método que é comentado com mais detalhes neste trabalho é o método de CHR (Chien-Hrones-Reswick) (OGATA, 2005).

Este método é empregado em sistemas que apresentam uma resposta, em malha aberta, com um formato em “S” (OGATA, 2005, p.545). Dois critérios de projeto foram propostos: resposta rápida sem nenhum sobressinal (CHR 0%) e o outro com um máximo de 20% de sobressinal (CHR 20%). Tais critérios são descritos na Tabela 1, que apresenta as definições das equações para o projeto de controladores PID pelo método de CHR (K_p , T_i e T_d representam, respectivamente, o ganho proporcional, o tempo integrativo e o tempo derivativo).

Observa-se que o desafio da sintonia de controladores PID está diretamente relacionado com a obtenção dos ganhos adequados para proporcionar uma boa resposta dinâmica ao sistema.

Para este trabalho, a estrutura do controlador PID adotada foi a paralela, ilustrada na Figura 4.

Tabela 1 – Sintonia PID pelo método CHR.

<i>Sobressinal</i>	<i>0%</i>			<i>20%</i>		
<i>Controlador</i>	K_p	T_i	T_d	K_p	T_i	T_d
<i>P</i>	$0,3T/KL$	0	0	$0,7T/KL$	0	0
<i>PI</i>	$0,35T/KL$	$1,2T$	0	$0,6T/KL$	T	0
<i>PID</i>	$0,6T/KL$	T	$0,5L$	$0,95T/KL$	$1,4T$	$0,47L$

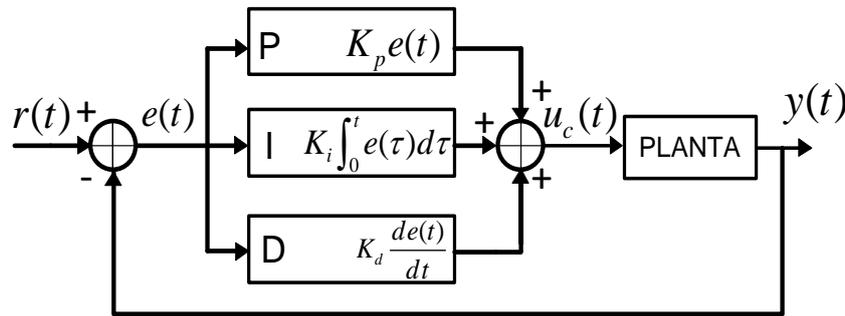


Figura 4: Estrutura PID paralela.

A função de transferência de tal estrutura é dada por:

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2)$$

Utilizando o modo manual (que pode ser visualizado posteriormente na Figura 5, que ilustra a tela de interface com o usuário desenvolvida), a identificação em malha aberta pelo método da curva de reação do sistema foi obtida por aplicação de uma entrada degrau na tensão da bomba. O método Sundaresan/Krishnaswamy (COELHO, 2004) foi utilizado para identificar o processo, o que resultou na seguinte função de transferência:

$$G(s) = \frac{2,677e^{-9,41s}}{75,29s + 1} \quad (3)$$

De acordo com o método de sintonia CHR 0%, apresentado na Tabela 1, o controlador foi sintonizado para se obter a configuração do tipo PI. Os parâmetros encontrados foram: $K_p = 1,0458$, $T_i = 90,3481$ e $T_d = 0$.

Na próxima seção, serão apresentados os resultados da aplicação deste controlador ao sistema de nível.

6. RESULTADOS

Para a elaboração do controle em questão, incluindo a tela de interface de usuário, utilizou-se o *software* LabVIEW no *Scan Mode* para a programação do CompactRIO, uma vez que as exigências do sistema a ser controlado são atendidas por este modo de programação.

A interface com o usuário ilustrada na Figura 5 contém: o gráfico da dinâmica do nível (juntamente com a referência desejada), em milímetros, a ação de controle aplicada à bomba centrífuga, três campos para a indicação dos parâmetros do controlador a ser utilizado, a opção de controle manual ou automático e uma animação a título de demonstração do processo que está ocorrendo.

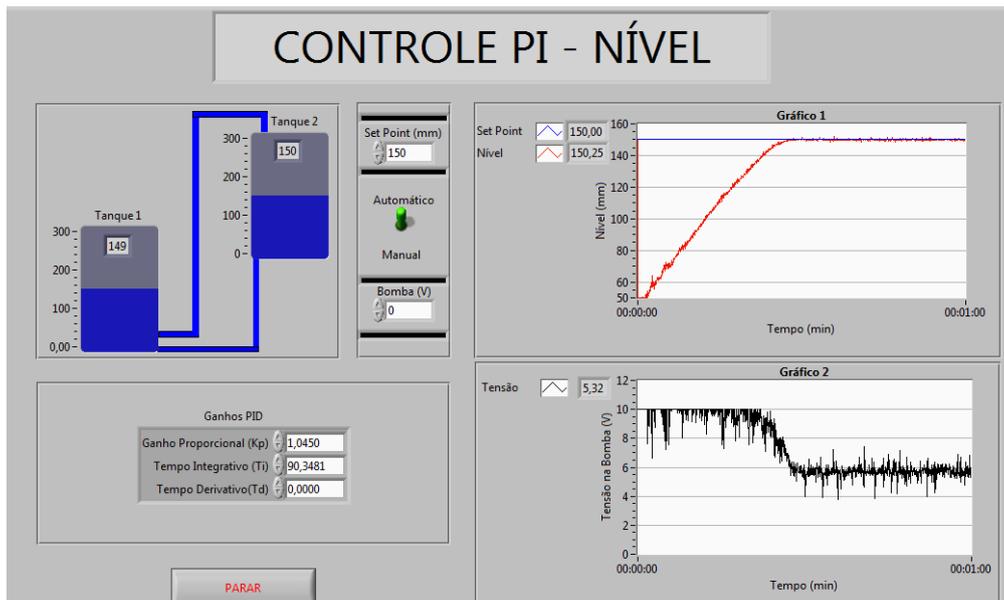


Figura 5: Tela de interface com o usuário.

Com base na sintonia considerada, obtiveram-se os gráficos das Figuras 6 e 7, com o sinal de resposta medido pelo sensor (resposta aos degraus aplicados) e com a ação de controle obtida pelo atuador do sistema.

Três situações foram consideradas para analisar a atuação do controlador para o sistema de nível: a primeira é a referência inicial, que foi definida em 150 mm; a segunda refere-se à aplicação de uma nova referência para o sistema (um novo degrau) fixado em 220 mm (a partir de 60 segundos); e a terceira refere-se a um distúrbio, causado devido à abertura da válvula de distúrbio (em aproximadamente 150 segundos). Pode-se observar que o controle projetado se comportou de forma adequada nas três situações.

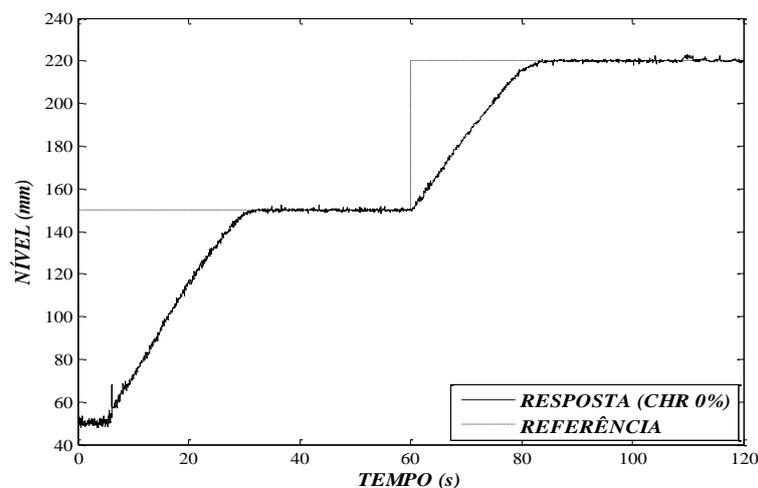


Figura 6: Controle PI da malha de nível: resposta do sistema aos degraus aplicados.

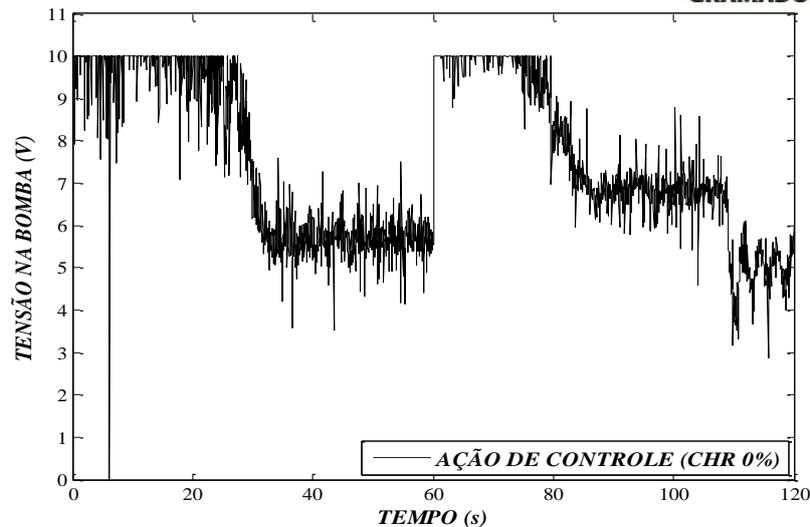


Figura 7: Controle PI da malha de nível: ação de controle obtida pelo atuador.

7. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados os resultados da aplicação de um controlador do tipo PI a uma planta industrial didática. Foi utilizado o PAC CompactRIO, em conjunto com o *software* de desenvolvimento *LabVIEW*, para estabelecer a estrutura e o método da estratégia de controle considerada.

A malha de controle de nível foi devidamente identificada, por intermédio do método de Sundaresan/Krishnaswamy. Para a sintonia do controlador PI, foi considerado o método de CHR (0% de ultrapassagem).

Uma interface de interação com o usuário foi desenvolvida, onde foi possível observar a resposta em malha fechada do sistema, considerando o gráfico do sinal de nível medido e da ação de controle aplicada à bomba centrífuga.

A planta em questão está em fase de desenvolvimento, no que se refere a novas estratégias de controle, como por exemplo, o emprego de sistemas inteligentes, para posteriormente ser utilizada em aulas dos cursos de engenharia da UTFPR – CP.

Dessa forma, conclui-se que a planta industrial didática, em conjunto com o *hardware* lógico-programável, proporcionou o desenvolvimento, observação e validação de técnicas de projeto de sistemas de controle abordadas em literatura, contribuindo para o ensino de controle e automação em cursos de engenharia.

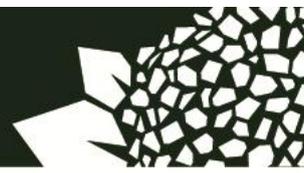
AGRADECIMENTOS

À Fundação Araucária pelo fornecimento da bolsa de iniciação científica (PIBIC).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. P. L. S. de. Automação de uma planta didática de sistemas de controle. 122f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Tecnologia em Automação Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná: Cornélio Procópio, 2012.

ASTROM, K. J.; HÄGGLUND, T. PID controllers: theory, design, and tuning. 2.ed. Research Triangle Park: Instrument Society of America, 1995.



BILIK, P.; KOVAL, L.; HAJDUK, J. CompactRIO embedded system in Power Quality Analysis. International Multiconference on Computer Science and Information Technology (IMCSIT). p. 577,580, out. 2008.

BITTER, R.; MOHIUDDIN T.; NAWROCKI M. LabVIEW advanced programming techniques. USA: CRC Press, 2001.

COELHO, A. A. R.; COELHO, L. S. Identificação de sistemas dinâmicos lineares. Editora da UFSC. Florianópolis, 2004.

DORF, R. C.; BISHOP, R. H. Sistemas de Controle Modernos. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2001.

FESTO DIDACTIC. Process Control System - Control of temperature, flow, pressure and filling level. Hauppauge, NY, 2006.

LARSEN, R. W. LabVIEW for engineers. USA: Prentice Hall, 2011.

LI, Y; ANG, K. H.; CHONG, G. C. Y. Pid control system analysis and design. IEEE Control Systems, v.26, n.1, p.32-41, fev. 2006.

NATIONAL INSTRUMENTS. **PAC – Plataformas Industriais para Controle e Medições Avançadas**. Disponível em: <<http://brasil.ni.com/produtos/pac>>. Acesso em: 11 junho de 2013.

OGATA, K. Engenharia de Controle Moderno. 3. ed. Rio de Janeiro: Pearson Prentice-Hall, 2005.

VISIOLI, A. Practical PID Control. Londres: Springer-Verlag, 2006.

LOOP LEVEL CONTROL SYSTEM OF A DIDACTIC INDUSTRIAL PLANT USING GRAPHIC PROGRAMMING IN A LOGIC PROGRAMMABLE HARDWARE

***Abstract:** This paper presents the development of a supervised control system applied to a loop level of an industrial didactic plant by FESTO. This system was restructured to include the study of some control strategies constantly employed in engineering education. The CompactRIO programmable logic hardware was used as the system controller, which is associated with the LabVIEW graphical programming language. The process was properly identified, and a PI controller has been tuned by classical method in the literature. Obtained results emphasize the potential of the application in teaching control grades in engineering courses.*

***Key-words:** Supervisory System, PID Control, Identification Systems, LabVIEW, CompactRIO.*