

# DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA HILs PARA EDUCAÇÃO EM CONTROLE DE PROCESSOS BASEADA EM FOSS

FLÁVIO P. QUEIROZ, LUKA P. DE FREITAS, VINÍCIUS A. GAMA, FRANCISCO J. GOMES

*Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora  
Campus Universitário - Bairro Martelos - CEP: 36036-900 - Juiz de Fora - MG*

*E-mails: flavio.queiroz@engenharia.ufjf.br, luka.parma@engenharia.ufjf.br,  
[vngama@gmail.com](mailto:vngama@gmail.com), chico.gomes@ufjf.edu.br*

**Abstract**— The objective of this work is to create a simulation environment based on a technique known as Hardware-in-the-loop (HIL). This system was designed utilizing computer software written in Java language through the Eclipse compiler, a free software (FOSS), free of any restriction of use. The system simulates a industrial plant and utilizes a built-in system composed of a command unite, in this case a PID, model COM 45 produced by Contemp<sup>®</sup>. It was necessary to develop a communication board, whose main component is a PIC 16F877A, that make the connection and interaction between the PID and the computer environment. The system simulates a real control plant belonging to the Laboratory of Industrial Process Control of the Engineering College of UFJF. The HIL developed, totally FOSS based, allows the training and control education for students and operators, as it reproduces the nonlinearities and complexities of the real plant.

**Keywords**— Hardware-in-the-Loop (HIL), Free and Open Source Software (FOSS), Engineering Education, Process Control

**Resumo**— Este trabalho tem como proposta a criação de um ambiente de simulação que tem como base a técnica de simulação conhecida como Hardware-in-the-loop (HIL). O sistema é composto de um ambiente computacional desenvolvido em linguagem JAVA<sup>®</sup> através do compilador Eclipse, um software livre (FOSS), sendo livre de restrição de uso e royalties por produtos dele derivados. Uma placa de comunicação, na qual o principal componente é um PIC 16F877A, foi desenvolvida e construída no intuito de efetuar a interação entre o PID, modelo COM 45 do fabricante Contemp<sup>®</sup>, e entre o ambiente tridimensional onde o sistema é simulado e analisado pelo usuário. O sistema a ser simulado é uma planta de controle real existente no Laboratório de Controle da Faculdade de Engenharia da UFJF. Este HIL desenvolvido totalmente em FOSS possibilita o treinamento e educação em controle de estudantes e operadores, pois reproduz as não linearidades e complexidades da planta real.

**Palavras-chave**— Hardware-in-the-Loop(HIL), Software livre (FOSS), Educação em Engenharia, Controle de Processos

## 1 Introdução

A educação em controle de processos ganha, continuamente, maior visibilidade, destacando-se o crescimento de artigos, congressos e periódicos na área, explicado por razões estruturais, ligados à sua base conceitual (Kheir, 1996) e ao desenvolvimento das Tecnologias de Informação e Comunicação – TIC, com seu impacto sobre o desenvolvimento científico, tecnológico e conseqüências sobre a formação de especialistas na área (Murray, 2002).

A engenharia é uma profissão prática, “hands-on”, e, portanto, desde os primórdios da educação em engenharia, laboratórios didáticos têm constituído um dos fundamentos da graduação e, em muitos casos, da pós-graduação. Pode-se afirmar que, anteriormente à ênfase na componente científica, a maior parte da formação do engenheiro ocorre nos laboratórios (Feisel, 2005). Por isto, sua utilização deve se associar a uma visão clara dos objetivos educacionais pretendidos em seu emprego e na formação propiciada pelo curso. Dentre estes objetivos, Peterson (2002) destaca pontos que explicitam a importância da atividade laboratorial como, p.ex., entender e utilizar modelos conceituais; coletar, analisar e interpretar dados; executar projetos sob demanda; aprender com falhas e erros; desenvolver a criatividade; comunicar, de forma oral e por escrito, os resultados e conclusões obtidos e trabalhar em equipe.

A utilização intensiva de laboratórios, contudo, esbarra em problemas que variam desde visões concei-

tuais distorcidas dos educadores até questões operacionais práticas, como custos envolvidos com aquisição, manutenção, operação e atualização dos equipamentos, realidades estas comuns ao nosso cotidiano e que remetem à busca de soluções alternativas ou complementares às atividades laboratoriais, sem perda ou alteração de seus conteúdos e objetivos.

Em resposta a esta situação, e inclusive buscando expandir a utilização laboratorial, a técnica de simulação conhecida como “Hardware-in-the-loop” – HIL vem sendo amplamente utilizada para criação e teste de sistemas complexos, simulando-os em tempo real, em condições as mais próximas possíveis das atividades laboratoriais. A técnica consiste em simular, em universos tridimensionais, ambientes que tentam reproduzir, da forma mais exata possível, sistemas físicos reais, mas efetuando sua interação com o usuário, ou operador, através de “hardwares” físicos, que interagem com o ambiente real simulado. O ambiente computacional busca, a partir da emulação de sensores, atuadores e modelagens dinâmicas de ordem completa, simular os sistemas da melhor forma possível (Kienitz, 2002).

A técnica HIL está se tornando quase um padrão nas áreas de desenvolvimento e treinamento devido ao seu baixo custo de aplicação - pois dispensa componentes físicos que sempre possuem custo elevado-, nos desenvolvimentos iniciais de projetos, em treinamento de operadores, avaliação de projetos e na área de educação. Ao possibilitar, nas etapas primárias de desenvolvimento e treinamento, a previsão de situações de risco ao sistema e usuários, aumenta a

segurança das partes envolvidas. Sua facilidade de aplicação e utilização constitui fator adicional que contribui para que esta técnica esteja se tornando uma poderosa ferramenta de treinamento em sistemas de controle e desenvolvimento de produtos industriais e sistemas fabris (Harrison, 2007). Tome-se, como exemplo, a indústria automobilística, ramo extremamente competitivo que necessita de desenvolvimentos cada vez mais rápidos e, naturalmente, da forma mais econômica possível. Os veículos modernos embarcam, crescentemente, sistemas e unidades de controle eletrônico complexos, o que também exige sistemas mais eficientes de desenvolvimento e testes. Exemplo do HIL em novos desenvolvimentos automobilísticos pode ser encontrado na empresa Jaguar®, onde técnicas de HIL são utilizadas em fases distintas do desenvolvimento da arquitetura de seus veículos e unidades elétricas de controle (King, 2004).

Um aspecto a destacar é o fato que a proposta do trabalho de utilização de HIL conta, de maneira simbiótica, com uma técnica de simulação conhecida como Control Prototype, que basicamente mescla componentes físicos com componentes simulados em tempo real possibilitando o rápido desenvolvimento de controladores. Esta técnica substitui partes da planta ou até mesmo a planta como um todo, sendo o componente físico apenas o controlador PID e a interface computacional, onde o PID executa a interface de controle do usuário com a planta virtual (National, 2006).

A utilização mais ampla do HIL, contudo, esbarra em problemas de custos associados aos softwares necessários ao desenvolvimento dos ambientes de simulação. Tome-se, como exemplo, o caso do conhecido ambiente LabView, utilizado no meio acadêmico e industrial, inclusive para “Control Prototyping” com HIL. Representantes contatados informaram que a versão educacional, com as “toolboxes” completas, tem custos da ordem de US\$ 20.000,00. Outro exemplo: simuladores educacionais, como o “ITS PLC Professional Edition®”, da Nova Didacta, possui custos na faixa de R\$ 6.800,00 por estação de simulação, sem o hardware (Nova Didacta, 2009).

Nesta situação, buscou-se uma solução tecnicamente consistente, porém de baixo custo, com o emprego de “Free Open Source Software – FOSS”, ou seja, o software livre. Talvez a mais conhecida característica associada ao FOSS seja o seu baixo custo, praticamente nulo, para os usuários. Contudo, outras características, mais importantes e por vezes não tão perceptíveis de imediato, explicam sua crescente força, utilização e disseminação nos mais diversos ambientes, com destaque para os acadêmicos, industriais e nas organizações públicas e privadas (<http://www.ifossf.org>). Estas características incluem aspectos como segurança, confiabilidade/ estabilidade, padrões abertos e independência dos fornecedores, dependência reduzida de importação, desenvolvimento da capacidade local, impactos sobre questões de pirataria, direitos de Propriedade Intelectual e regras do Comércio Internacional.

A partir do quadro colocado, o trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema HIL para uso laboratorial, na área de educação em engenharia de controle de processos, a partir de uma planta física real, existente no Laboratório de Controle de Processos Industriais da Faculdade de Engenharia da UFJF. Buscou-se reproduzir as dinâmicas associadas ao controle de nível no tanque não linear e das válvulas associadas, com controle realizado por um controlador analógico PID. O desenvolvimento foi efetuado em Java®, uma linguagem de programação orientada a objeto, que engloba um programa para execução denominado máquina virtual ou “Java Virtual Machine”, totalmente livre (Souza, 2008). Para a compilação do código criado, foi usado um compilador chamado Eclipse® que por sua vez também é uma IDE de código aberto.

O trabalho está estruturado como segue: a seção 2 descreve as características do ambiente, a seção 3 o desenvolvimento do trabalho e a 4 os resultados alcançados. As conclusões, na seção 5, encerram o trabalho.

## 2 Metodologia

O HIL proposto foi projetado a partir de uma planta de processos industriais, real, utilizada nas práticas laboratoriais de controle do curso de Engenharia Elétrica da UFJF (Gomes, Pinto, 2008). Esta planta integrante do Laboratório de Controle de Processos Industriais do curso de Engenharia Elétrica, consiste de um sistema de tanques duplos, com aquecimento e resfriamento, e que possibilita o controle das variáveis de processo - vazão, nível, temperatura e pressão - em circuito único, configurado segundo topologias distintas (Figura 1). O sistema permite alteração das variáveis de controle e controladas, para cada malha distinta, em concepção por realimentação (“feedback”) ou em malha aberta, para sintonia de controladores e identificação de processos e equipamentos. Opera baseada na padronização de sinais de 4 a 20 mA, adicionalmente ao protocolo digital Profibus PA. Esta planta possui um Sistema Supervisório que possibilita a configuração e operação de um Controlador Lógico Programável – CLP, que executa os algoritmos de controle e adicionalmente existem malhas individuais das variáveis de processo operadas por PIDs analógicos (Gomes, Pinto, 2008).

Uma característica diferencial da Planta é o fato de utilizar sensores e atuadores que replicam uma ambiência industrial e permitem não só o contato com equipamentos e componentes utilizados rotineiramente na indústria, com seus problemas e não linearidades, mas também seu ajuste e calibração, dentre os quais os mais importantes são: transmissor inteligente de pressão diferencial capacitivo, configuração via programador, protocolos de comunicação Profibus – PA ou 4 a 20 mA a 2 fios, linear, indicador digital local; sensor de temperatura tipo PT-100, a 3 fios para o tanque e o reservatório; transmissor inteligente de temperatura, sinal de saída 4 a 20 ma, liga-

ção à 2 fios, indicador digital, protocolo de comunicação HART; transmissor inteligente de pressão manométrica capacitivo, configuração via programador, comunicação Profibus – PA ou 4 a 20 mA 2 fios, linear, indicador digital local.



Figura 1. Vista da planta de controle real

A Planta permite, de forma complementar, o controle através de PID analógicos, para as malhas associadas às quatro variáveis controladas. Nesta opção, o supervisor desabilita o CLP da malha desejada passando o controle ao PID analógico, que possui os modos ON - OFF, P + I + D, auto-sintonia, “soft-start”, “antiwindup”, e programação de rampas e patamares.

Partindo-se desta realidade, a arquitetura do sistema HIL proposta é constituída por 3 sistemas dependentes, interligados, como é demonstrado no diagrama da Figura 2. O primeiro sistema desenvolvido foi o ambiente de simulação tridimensional, executado em computador, via software, que reproduz a dinâmica entre os dois tanques, centrada inicialmente no controle de nível. O segundo desenvolvimento efetuado foi a interface computacional entre o computador e o terceiro componente do sistema, um controlador PID analógico, industrial, da CONTEMP®. A interface de comunicação desenvolvida opera via porta serial e será descrita em detalhes na seção 3.3 (Figura 2).



Figura 2. Arquitetura do Sistema HIL

### 3 Desenvolvimento do Projeto

#### 3.1 Modelagem Matemática e Interface

Buscando construir um modelo simulado que se aproximasse o mais próximo do sistema físico real foi utilizada uma modelagem matemática rigorosa para descrição de sua dinâmica. A primeira parte tridimensional modelada da planta foi o tanque principal, com base nas equações de escoamento dos fluidos. Foram utilizadas as equações de continuidade e de Bernoulli:

$$v_1 S_1 = v_2 S_2 \quad (1)$$

$$\rho g h + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (2)$$

onde,  $v_1$  e  $v_2$  representam a velocidade de um ponto no fluido na parte superior e da válvula inferior respectivamente,  $S_1$  e  $S_2$ , a área superior e da válvula,  $\rho$  a viscosidade do líquido, no caso a água,  $g$  a força da gravidade e  $h$  a altura do nível da água em relação à cavidade inferior da válvula. A partir destas duas equações obtém-se  $v_1$  e  $v_2$ , onde  $v_1$ , parâmetro mais importante para o nível, é representado na equação 3, que representa o escoamento no tanque:

$$v_1 = S_2 \sqrt{\frac{2gh}{S_2^2 - S_1^2}} \quad (3)$$

Vale lembrar que a área  $S_2$  é determinada pelo PID, que irá controlar o nível de fechamento/abertura da válvula pneumática inferior. Para modelagem da válvula pneumática foram utilizadas as equações mostradas a seguir, equações 4 e 5 (Wade, 2004):

$$\frac{C_v}{C_{v\max}} = \frac{m}{100} \quad (4)$$

$$\frac{f}{f_{\max}} = \frac{m/100}{\sqrt{(1-\beta)(m/100)^2 + \beta}} \quad (5)$$

Esta expressão reproduz a vazão de uma válvula cuja característica inerente – “*inherent characteristic*” é linear. O coeficiente  $C_v$ , na equação 4, varia de acordo com a posição da válvula, de um mínimo a um máximo,  $C_{v\max}$ , na situação onde a válvula está totalmente aberta e  $m$  representa em, valores percentuais, seu nível de abertura. Na equação 5,  $f$  representa a vazão que circula pela válvula e  $f_{\max}$ , a vazão máxima onde a válvula está completamente aberta. O coeficiente  $\beta$  representa a relação entre a mínima e a máxima queda de pressão através da válvula, conferindo suas características operacionais – “*installed characteristics*” (Wade, 2004).

O desenvolvimento da interface tridimensional foi efetuado através do Blender, outro aplicativo FOSS. Blender ([www.blender.org](http://www.blender.org)) foi desenvolvido originalmente como um software tridimensional de animação doméstica pela NeoGeo. A partir desta iniciativa um de seus fundadores, Ton Roosendaal estabeleceu uma nova companhia denominada “Not a Number” e desenvolveu o Blender, disponibilizado gratuitamente pela Internet. Em 2002 foi estabelecida a Fundação Blender e o software então disponibilizado mediante os termos da GNU General Public License.

A utilização do Blender permitiu o desenvolvimento do ambiente tridimensional (Figura 3) que reproduz os dois tanques interligados, uma válvula que regula a entrada da vazão para o tanque superior, a bomba hidráulica e a válvula eletropneumática de controle de nível, cujo controle é efetuado pelo PID externo. O ambiente também disponibiliza a variável de controle, no caso a ação do controlador PID, e a dinâmica da variável controlada, no caso o nível do tanque superior. A interface computacional tridimensional disponibiliza não somente a dinâmica do processo com as constantes de tempo de mesmo módulo da Planta real, mas opera também com características sonoras, reproduzindo os ruídos associados à bomba, vazão do líquido e o ruído da válvula pneumática. O usuário, portanto, possui uma sensação visual e auditiva do processo, que reproduzem as condições operacionais de uma planta física real. São disponibilizados, pela interface gráfica, o aumento e a diminuição do nível do tanque, a queda da água, a abertura e o fechamento das válvulas, que são executadas por procedimentos distintos: a manual que controla a vazão na tubulação superior para enchimento do tanque, através de um potenciômetro externo, e a válvula pneumática pela ação do PID. A interface do programa é mostrada na Figura 3, que pode ser comparada com a malha de controle de nível da Figura 1, na planta real.

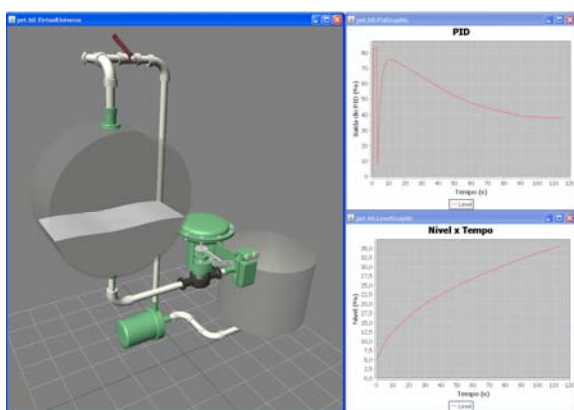


Figura 3. Interface Gráfica da Planta Modelada

### 3.2 Placa de Comunicação

O primeiro desafio a ser superado foi o desenvolvimento de uma interface de comunicação entre o computador e o PID, para que este pudesse exercer o controle da malha. Para esta finalidade utilizou-se a porta serial e desenvolveu-se uma placa de comunicação ADA baseada no componente PIC modelo

18F877A, e um protocolo PID/PC desenvolvido para permitir a troca de informações. Este protocolo é do tipo “Lock-Step”, ou seja, o PIC espera sempre por uma informação de entrada nova para que este possa fornecer uma saída a partir desta, não funcionando continuamente. O diagrama de circuito da placa é mostrado nas Figuras 4, 5 e 6.

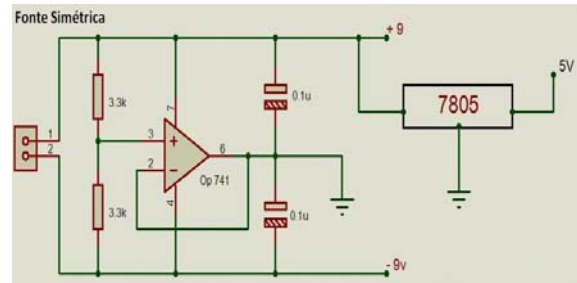


Figura 4. Esquema de Ligação: Fonte Simétrica

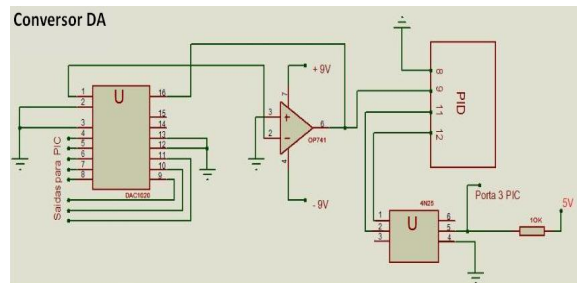


Figura 5. Esquema de Ligação: Conversor DA e Ligação PID

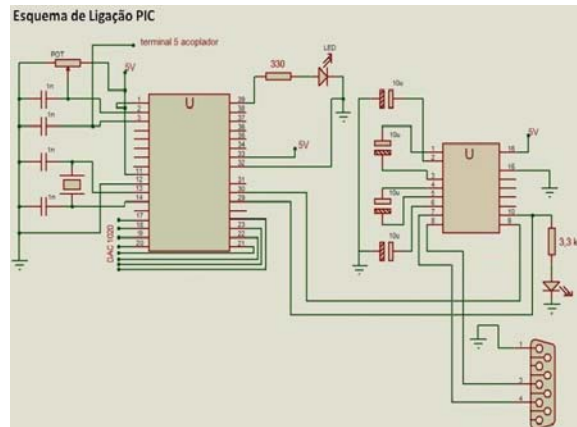


Figura 6. Esquema de Ligação: Ligação PIC

Pode-se observar que a placa de comunicação entre o PID e o PC foi separada em módulos, com funções distintas. O primeiro módulo consiste de uma fonte simétrica, alimentada por uma fonte de 18V, e tem como função fornecer uma tensão simétrica  $\pm 9V$  que alimenta o amplificador operacional do segundo módulo. Neste segundo módulo ocorre a conversão digital/análogo/digital, que possibilita interligar o computador ao PID. A função deste amplificador operacional é transformar a informação do CI D/A do formato de corrente para tensão, que é o padrão da entrada do controlador. A parte de conversão A/D é feita pelo próprio PIC que vem com esta função internamente, tendo apenas que utilizar o CI MAX232 para possibilitar a comunicação serial do PIC com o

computador. Vê-se também, na saída do PID, um acoplador óptico, necessário para a configuração do hardware, que possibilitou a equivalência dos pontos de aterramento do sistema.

### 3.3 Controlador PID

A placa de comunicação foi desenvolvida de forma a poder trabalhar com qualquer controlador P + I + D com configuração de entrada – saída dentro dos padrões industriais, em termos de tensão e ou corrente.



Figura 7. PID CONTEMP COM 45 utilizado no trabalho

Para a presente aplicação utilizou-se um controlador de temperatura e processos CONTEMP® - CPM-45 com entrada e saída configuráveis, PID automático, 63 segmentos de rampas e patamares, comunicação RS-485 (opcional), entrada configurável com termopar tipo B, E, J, K, N, R, S, T; termoresistência: Pt-100; tensão contínua: 0 a 60mV, 0 a 5V, 1 a 5V, 0 a 10V; corrente CC: 0 a 20mA e 4 a 20mA; transmissores 2 ou 3 fios. Este equipamento possui sintonia manual ou automática do PID, com saída analógica configurável para o controle em 0 a 20 ou 4 a 20mA, ou pulso (PWM), 0-24Vcc, rele com características de contato NA ou NF ([www.contemp.com.br](http://www.contemp.com.br))

## 4 Resultados

Serão apresentados, nesta seção, resultados obtidos em simulações executadas no sistema HIL, que mostram três situações de controle, dentre diversas outras possíveis. Nas três simulações os testes foram iniciados com o nível do tanque no valor de 5%. Para melhor visualização dos resultados serão apresentados somente os gráficos, sem a figura tridimensional. A cada 100ms um evento é disparado e o computador executa um trecho de código que começa com a leitura de dados através da porta serial. Tais dados, provenientes da placa de aquisição, são referentes ao potenciômetro, que representa a válvula manual, e a resposta de controle enviada pelo PID. A importância da válvula manual está na introdução de perturbações no sistema. Essas duas informações aliadas a propriedades do sistema (teoria de fluidos, equacionamento e inércia da válvula pneumática, entre outros) permitem o cálculo do fluxo do líquido naquele instante, o que, por sua vez, faz com que seja possível calcular o nível. É importante frisar que essa discretização tem-

poral (100 ms) quando comparada com as constantes de tempo do sistema gera a ilusão de perfeita continuidade. Com a nova informação do nível há a atualização do universo virtual e o envio dessa informação para a placa via porta serial. A placa transfere o dado para o PID que atualiza a sua resposta de controle recomeçando assim o ciclo.

O fluxograma simplificado que mostra o processo de funcionamento do HIL para reproduzir a dinâmica utilizada pode ser analisado na Figura 8.

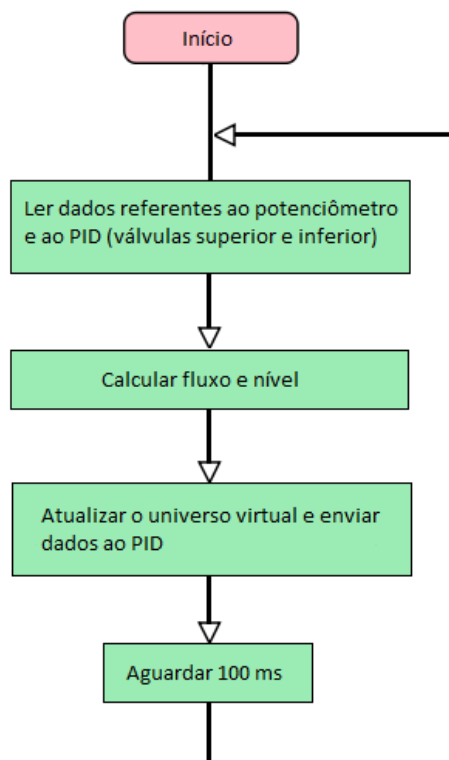


Figura 8. Fluxograma simplificado do algoritmo do sistema

O primeiro exemplo foi obtido configurando-se o PID para utilizar seu modo de auto-sintonia, ou seja, buscar automaticamente os parâmetros ótimos para sua operação, pois o controlador selecionado apresenta esta versatilidade da auto-sintonia. Efetuou-se então um degrau na referência do nível, que foi alterada para 40% e o resultado é exibido através dos gráficos mostrados na Figura 9, onde constam a ação do controle e a variável controlada.

Um segundo teste mostra a resposta do sistema quando ocorre a inserção de uma perturbação, ocasionada por uma abertura adicional não mensurável da válvula superior, procedimento este efetuado a partir de um potenciômetro externo ao sistema. É possível, por este ensaio, verificar a capacidade de rejeição de carga do PID, para o sistema utilizado, ou seja, seu comportamento regulatório. Esta abertura foi no sentido de aumentar a vazão do ensaio e ocorreu no intervalo de tempo entre 200 e 300s, quando o sistema estava estabilizado em 40% do nível.

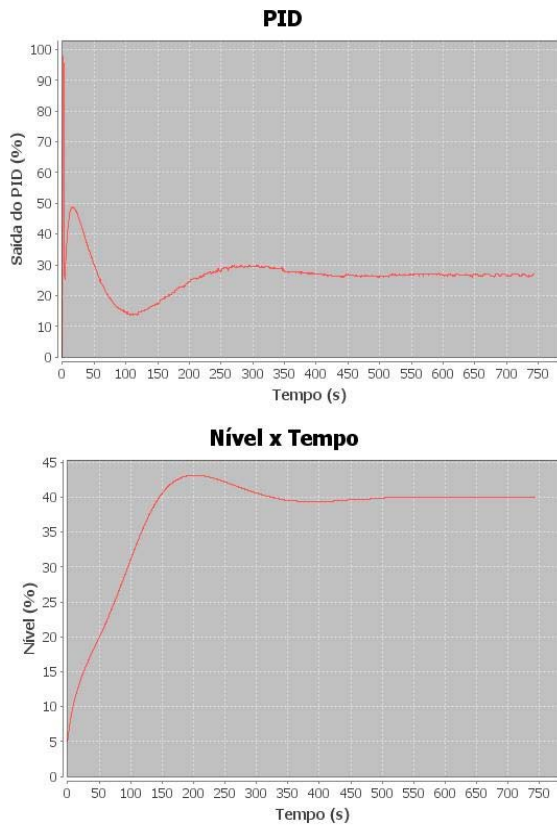


Figura 9. Resposta do PID para auto-sintonia

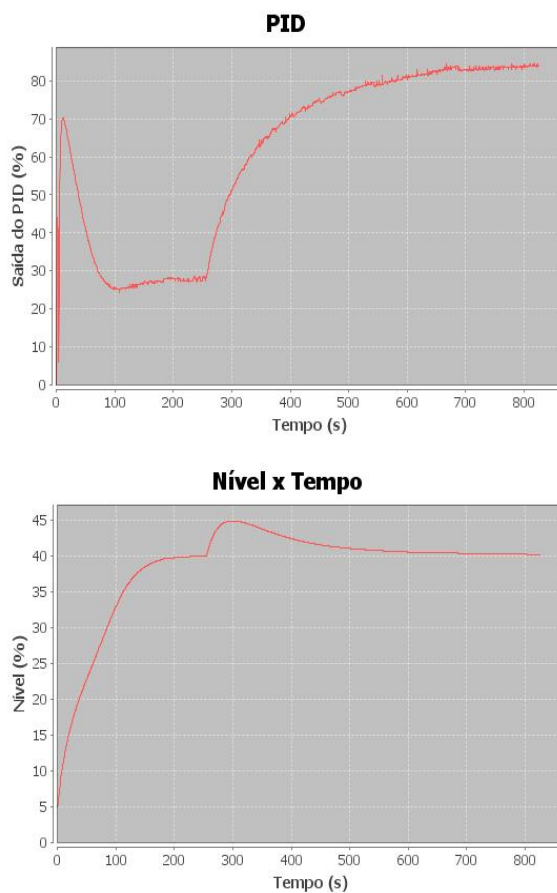


Figura 10. Resposta para uma perturbação de carga

Pode-se observar a ação do controlador e pode ser observado nitidamente no gráfico assim como ação do PID na tentativa de estabilização no nível desejado de 40%. Os gráficos deste ensaio são mostrados na Figura 10.

Um terceiro exemplo mostra o comportamento servo do controle, com a referência do sistema, no caso o nível, sendo alterado de 60% para 30%.

É possível observar claramente a ação do PID no início do processo e na mudança de referência entre 250 e 300 s. Os gráficos de resposta são mostrados na Figura 11.

Pode-se ver, pelas repostas à estas situações, como o sistema funciona e a sua semelhança com uma resposta em uma planta real, sendo assim comprovada a utilidade educacional por trás deste simulador em seu caráter de treinamento onde podem ser analisadas as estratégias de controle e as configurações do PID antes de aplicá-las na realidade.

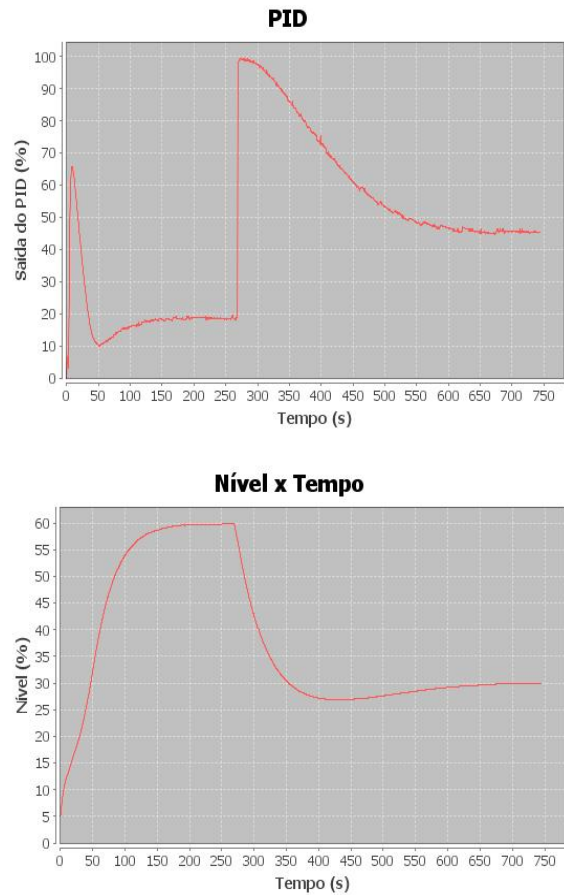


Figura 11. Resposta para mudança de referência

## 5 Conclusão

O trabalho proposto, que consiste na modelagem completa da Planta Industrial, e do qual a primeira etapa foi aqui apresentada, permite vislumbrar as enormes potencialidades da técnica Hardware in the Loop como ferramenta de simulação, apresentando potencialidades não só para finalidades educacionais mas também para treinamento de operadores. Se, por um lado, permite reproduzir um sistema físico real

com suas complexidades e não-linearidades, sem a necessidade dos investimentos para se possuir este sistema, permite, por outro lado, que os operadores e usuários se defrontem com as dificuldades e especificidades de compreensão, utilização e sintonia dos controladores.

Característica de destaque no trabalho realizado é o fato de ter sido desenvolvido totalmente em FOSS, no caso a linguagem Java, associado ao Blender, que possibilitou um projeto totalmente tridimensional do sistema físico, no caso a Planta de Processos Industriais da UFJF. Esta característica possibilita que o trabalho possa ter continuidade com a realização da modelagem de mais malhas de controle existentes na planta, haja vista que permite trabalhos e desenvolvimentos com as quatro variáveis básicas de controle de processos – temperatura, pressão, vazão e nível.

Estas características do trabalho são totalmente complementares possibilitando a otimização das atividades laboratoriais na área de controle de processos. Assim, podem ser disponibilizadas diversas estações de simulação anteriormente à ida ao laboratório, onde os alunos realizam as atividades de conhecimento da operação, sintonia e otimização dos procedimentos. A seguir, tentam reproduzir estes procedimentos na prática utilizando a Planta real. Desta forma, haverá mais disponibilidade, melhor interatividade e aproveitamento do processo educacional.

### Agradecimentos

Agradecemos ao Programa de Educação Tutorial do SESu – MEC pelo suporte oferecido ao desenvolvimento deste trabalho.

### Referências Bibliográficas

- Borges, E.L.; Borges, M.A.F. & Baranauskas, M.C.C. (1995). "Da simulação à Criação de Modelos — Um Contexto para a Aprendizagem na Empresa." Proceedings of the VI SBIE — Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, Florianópolis, SC, Brasil.
- Feisel, L. D. and A. J. Rosa, “ *The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education*”, **Journal of Engineering Education**, January, p. 121-130, 2005.
- Gu, F.; Harrison, W. S.; Tilbury, D. M. & Yuan, C. (2007). Hardware-In-The-Loop for Manufacturing Automation Control: Corrent Status and Identified Needs.
- Gomes, F. J. & Pinto, D. P. (2008). Laboratórios Integrados para Controle de Processos e Análise da Eficiência Energética de Sistemas Industriais.
- GNU Project. Disponível em [http://en.wikipedia.org/wiki/GNU\\_operating\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/GNU_operating_system). Acessado em 22/02/2010.
- <http://opensource.org/history>. Acessado em 22/02/2010.
- <http://www.fsf.org/>. Acessado em 22/02/2010.
- <http://stallman.org/>. Acessado em 20/02/2010.

- <http://www.ifossf.org>. Acessado em 22/02/2010
- Kheir, N. A, K. J. Åström, D. Auslander, K. C. Cheok, G. F. Franklin, M. Masten and M. Rabins, “*Control Systems Engineering Education*”, **Automatica**, vol. 32, n. 2, pp.147-166, 1996.
- King, P. J. & Copp D. G. (2004). Hardware In The Loop For Automotive Vehicle Control Systems Development. UKACC Control 2004 Mini Sumposia (2004/11105), Bath, UK, pp. 75-78.
- “Liguagem Java é 100% Livre”, Diponível em: <http://www.softwarelivre.gov.br/noticias/linguagem-java-e-100-livre/>
- Murray, M. R., editor, “*Future Directions on Control, Dynamics and Systems Report*”, Control in an Information Rich World, California Institute of Techonology, june, 2002.
- National Instruments, Using LabVIEW for Rapid Control Prototyping and Hardware-in-the-Loop Simulation. 2006. Disponível em [www.ni.com](http://www.ni.com). Acessado em 03 de março de 2010.
- Normey-Rico, J.E. & Camacho, E. F. (2007). Control of Dead-Time Processes. Springer-Verlog London Limited.
- Nova Didacta, Sistemas Didáticos de Medição, Catálogo Técnico, São Paulo, 2009.
- Peterson, G. D, Feisel, L. D., “*A Colloquy on Learning Objectives For Engineering Education Laboratories*”, Proc.American Society for Engineering Education, Annual Conference&Exposition, 2002
- “The Free Software Definition”, Disponível em: <http://www.gnu.org/philosophy/free-sw.html>
- “Tutorial Java, O que é Java?”, Diponível em: <http://javafree.uol.com.br/artigo/871498/>
- Wade, H. L. (2004). Basic and Advanced Regulatory Contol: System Desingn and Application. ISA Publications, Research Triangle Park, NC.
- [www.blender.or](http://www.blender.or).Acessado em 21/02/2010
- [www.contemp.com.br](http://www.contemp.com.br). Acessado em 21/02/2010