

Módulo Laboratorial de Baixo Custo, Baseado em FOSS, para Educação em Engenharia de Controle de Processos Industriais

Francisco José Gomes, *Senior Member, IEEE*, Hugo Ribeiro Baldioti, Vinícius Athouguia Gama e Flávio Padilha Queiroz, *Member, IEEE*

Resumo—Este trabalho trata do desenvolvimento de um módulo laboratorial de baixo custo projetado e montado para a utilização como ferramenta didática na área de educação em engenharia de controle de processos industriais. O módulo permite a simulação, identificação, controle e análise da dinâmica dos controladores pertencentes ao processo. O módulo desenvolvido, baseado em JAVA, através da IDE NetBeans, que são ferramentas FOSS, engloba um ambiente digital e um módulo físico com dois loops interagindo: nível e temperatura. Sendo o desenvolvimento baseado em FOSS, este módulo não tem nenhuma restrição para sua utilização. A interface entre o hardware e o ambiente digital é feita através do microcontrolador ATMEGA8 em uma placa de desenvolvimento livre chamada ARDUINO, modelo SEVERINO. A plataforma desenvolvida, baseada em FOSS, tem como objetivo reforçar as práticas de laboratório na educação em engenharia, especificamente na área de controle, supervisão e otimização de processos industriais.

Index Terms—Educação em Engenharia; Educação em controle; Controle Laboratorial; Controle PID; FOSS

I. INTRODUÇÃO

MALHAS de controle de processos em geral, se forem adequadamente controladas, podem garantir vantagens comparativas como o aumento das margens de ganho e estabilidade, diminuição no consumo de energia, respostas mais rápidas e tempo de estabilização menor, minimização de impactos ambientais entre outras. Considerando um ambiente extremamente inovador enfrentado pelos complexos processos industriais na atualidade, é fácil entender que até mesmo pequenos detalhes podem fazer toda diferença nos resultados obtidos pelos operadores. Em tal situação, as estratégias de controle de processos adequadas, tais como identificação correta das malhas e o ajuste dos parâmetros de controle apropriadamente, tornam-se meios eficazes para otimizar os resultados econômicos do processo. Isso também pode evitar a interferência da malha de controle, melhorar o tempo de acomodação e minimizar as interferências entre as malhas; é

um fato bem conhecido que até mesmo melhorias marginais podem ter um impacto extremamente profundo e positivo nas formas de obtenção de resultados e na difusão de conhecimento no meio acadêmico e industrial.

É sabido, porém, que na realidade do ambiente industrial um número significativo de malhas de controle operam com estratégias inadequadas, estruturas incorretas e procedimentos de sintonia inapropriados. Mesmo para o onipresente controlador PID, foi relatado que, no jargão dos operadores o modo derivativo, D, está associado com palavras como “desastre”... [1]. Se considerarmos a quantidade de análises conceituais e referências que podem ser encontradas na literatura sobre a estratégia de controle PID [2], [3], [4], [5], [6], torna-se claro que, em um grande número de situações o repositório de conhecimentos teóricos e sua utilização prática pelos operadores industriais, não correspondem. Uma possível explicação para tal situação pode ser encontrada na falta de compreensão das funcionalidades dos módulos PID, a incompreensão da complexidade associada com a dinâmica de processos ou até mesmo o não entendimento dos processos de sintonia do PID. Essa situação pode explicar a atitude temerosa dos operadores sobre a utilização adequada e ajustes dos controladores PID.

Outro ponto importante que também pode ser levado em consideração: 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 [7]. 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 destacam-se pontos que explicitam a importância da atividade laboratorial como, por exemplo, 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 [8]. A utilização intensiva de laboratórios, contudo, esbarra em problemas que variam desde visões conceituais distorcidas dos educadores até questões operacionais práticas, como custos envolvidos com

Este trabalho teve apoio financeiro em parte pelo Programa de Educação Tutorial (PET/MEC) e a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora.

F. J. Gomes, H. R. Baldioti, V. A. Gama, F. P. Queiroz são do Departamento de Energia da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, CEP 36030-330 (e-mail: chico.gomes@ufjf.edu.com).

aquisição, manutenção, operação e atualização dos equipamentos, realidades estas comuns à nossa realidade e que remetem à busca de soluções alternativas ou complementares às atividades laboratoriais, sem perda ou alteração de seus conteúdos e objetivos.

Como consequência desta situação, algumas alternativas para reforçar as práticas de ensino de laboratório foram realizadas. Entre elas, o desenvolvimento de um módulo educacional de baixo custo, com um sistema supervisorio, vem se mostrando como uma possível solução para análise e avaliação de sistemas complexos. Com a ajuda do conhecimento envolvido nessa técnica, é possível controlar processos complexos, com várias malhas, utilizando uma simples interface que permite o total controle de um sistema específico. Essa técnica utiliza uma interface gráfica que simula o sistema real e todas as atividades de controle que serão utilizadas. Através deste ambiente é possível gerenciar o sistema alterando suas características através dos parâmetros de controle. O sistema de supervisorio tem sido utilizado em quase todos os ambientes industriais pela sua capacidade de administrar sistemas complexos facilmente. Assim, pode-se considerar o quão importante é para os alunos de engenharia que tenham contato com essa ferramenta, o sistema supervisorio, com múltiplos loops de controle interagindo.

Uma utilização mais intensa das práticas laboratoriais dentro do processo educativo, no entanto, enfrenta problemas que variam de um equívoco do processo educacional até situações operacionais, como os custos associados com a aquisição, operação, manutenção e atualização dos equipamentos de laboratório. Essa situação impõe a necessidade de encontrar meios alternativos, ou complementares, e novas posturas para um melhor e mais intenso aproveitamento das práticas laboratoriais no processo de ensino em engenharia.

Uma possível estratégia para ampliar a utilização dos supervisorios na área educacional pode ser vislumbrada através de soluções alternativas com módulos de baixo custo e uma alternativa para o software utilizado para o desenvolvimento da interface digital. O impacto dos custos de software sobre o preço final de um supervisorio pode ser exemplificado com o bem conhecido ambiente digital LabView®. Este software, amplamente utilizado nas instituições acadêmicas, bem como na indústria, para simulação, design e análise, incluindo estratégias de controle protótipos, tem seu custo em torno de US\$20.000,00, até mesmo para sua versão educacional, com as respectivas ferramentas. Outro exemplo: simuladores educacionais como o ITS PLC Professional Edition®, que custa cerca de US\$5.000,00 para cada licença de desktop, só para o ambiente digital, sem os custos associados com os componentes de hardware [9].

Diante dessa situação, a presente proposta foi a concepção e montagem de baixo custo, tecnicamente consistente, de um supervisorio para educação em engenharia utilizando FOSS (Free and Open Source Software) e componentes de baixo custo. Embora a característica mais conhecida associada com

FOSS seja o seu baixo custo, praticamente nula para os usuários, outras características não tão conhecidas, e também importantes, devem ser levadas em consideração e podem explicar seu poder de crescimento e utilização, em todo mundo, e sua aceitação nos meios acadêmicos e industriais. Elas incluem a confiabilidade, segurança e estabilidade, padrões abertos e independência dos fornecedores, redução da dependência de importação e o reforço da capacidade tecnológica local [10].

Dentro desse contexto, esse trabalho discute o desenvolvimento de um módulo laboratorial de baixo custo, baseado em FOSS, para utilização como ferramenta no ensino à engenharia na área de controle de processos industriais. Esse módulo permite a análise e controle de malhas associadas a duas das principais variáveis encontradas na área de processos industriais: temperatura e nível. O módulo permite a identificação das funções de transferência das malhas, análise das interações entre elas, procedimentos de utilização e sintonia de um controlador PID em software, para cada loop, estabelecimento de prioridades e alguns procedimentos de otimização. Todo o desenvolvimento foi baseado em Java, com a utilização da IDE NetBeans e o programa Blender, todos ambientes FOSS.

O artigo detalha as características do ambiente, o desenvolvimento do ambiente virtual e a interface com os equipamentos de hardware, os resultados obtidos e, finalmente, conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

II. METODOLOGIA

A. O módulo laboratorial

O módulo laboratorial desenvolvido consiste de dois tanques (um com a função de reservatório e o outro controlável), duas bombas automotivas de baixo custo, duas válvulas (que compõe a válvula seletora de fluxo), um radiador, uma resistência (aquecedor), um computador e a estrutura de hardware desenvolvida para a comunicação entre o computador e o sistema físico (Figura 1).



Fig. 1. O sistema com o supervisorio.

Para sua implementação foram utilizados materiais convencionais e de baixo custo disponíveis no mercado. Assim, os tanques são latas de alumínio, as bombas são automotivas e o sistema de refrigeração utiliza um radiador convencional com uma resistência de cozinha.

B. O sistema mecânico

O sistema mecânico da planta é constituído por bombas e uma válvula seletora de fluxo. O nível do tanque é controlado pelas bombas, sendo uma delas responsável por encher o tanque e a outra por esvaziar. A planta completa incorpora dois fluxos independentes de líquido, um associado com o controle de nível e o outro com o controle de temperatura; essas malhas de controle podem trabalhar de forma simultânea ou independente. O diagrama na Figura 2 mostra os loops de controle de processos. Vale dizer que o tanque 2 é o reservatório e o tanque 1 é o controlável, para ambas as variáveis controladas, nível e temperatura. O tanque 1 é esvaziado através da bomba 1, que é controlada pelo sistema. A temperatura pode ser controlada de duas formas: fazendo o líquido passar pelo radiador ou ativando a ventoinha associada ao mesmo.

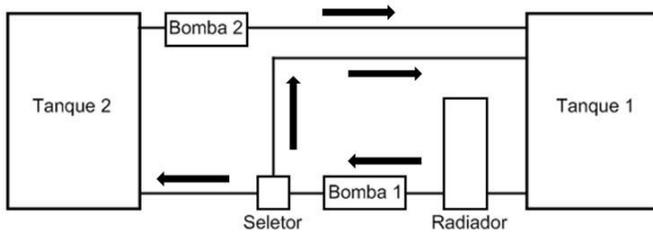


Fig. 2. Diagrama de fluxo simplificado.

C. A comunicação de hardware

Para realizar o controle do sistema foi necessário desenvolver uma placa de comunicação para o interfaceamento entre o computador e o módulo laboratorial (shield). Para tal desenvolvimento o microcontrolador ATMEGA8, em uma placa de desenvolvimento livre ARDUINO, modelo SEVERINO [11], foi utilizado, com um shield desenvolvido pelos autores (Figura 3). A comunicação com o computador foi feita através da porta serial RS-232, que é um padrão para a troca serial de dados binários. A escolha de kit de desenvolvimento ARDUINO foi feita com base no fato de que a conversão analógico/digital de sinais e a comunicação com a porta serial já é realizada por este hardware.

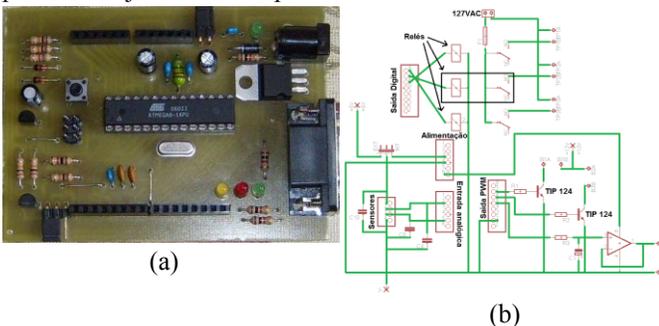


Fig. 3. (a) Arduino Severino; (b) Esquemático do Shield desenvolvido.

Para fechar a malha dois sensores foram utilizados: um sensor de distância infravermelho modelo GP2Y0A21YK, cujos dados analógicos de saída dependendo da distância refletida são mostrados na Figura 4, observa-se que seu comportamento é totalmente não-linear, o que introduz complexidades adicionais para a implementação da estratégia do sistema de controle de malha fechada; e um sensor de temperatura LM35Dz, modelo que apresenta uma característica linear para relação tensão x temperatura.

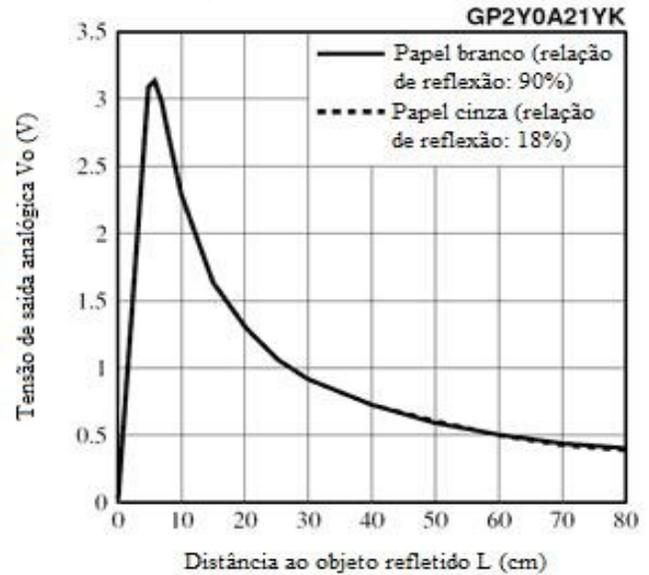


Fig. 4. Característica do sensor de distância.

O microcontrolador é responsável pela aquisição dos dados analógicos, realiza sua digitalização e envia para o computador onde são processados e, em seguida, a resposta é enviada de volta para os atuadores através do shield desenvolvido (Figura 3-a). Os atuadores utilizados no circuito de controle de nível são duas válvulas, 127 VAC, e duas bombas de automóvel (limpadores de para-brisa) de 12 VDC. O controle do fluxo das bombas é realizado por meio de uma estratégia PWM (Pulse Width Modulation), uma das maneiras mais simples de controlar um motor. O atuador de controle de temperatura é um aquecedor de resistência de 127 VAC, e um radiador com uma ventoinha também de 127 VAC. A técnica PWM também é utilizada para controlar a potência fornecida para a resistência, cuja interface é um relé da Contemp modelo AFC-1 trabalhando com um padrão industrial de controle AC de 4-20 mA para o aquecedor, com uma estratégia de sinal também PWM.

D. Sensores

O sensor de distância utilizado nesse trabalho foi escolhido por suas características: ele possui uma distância de operação segura, quando situada entre 10 e 80 cm do objeto refletido, e gera tensões de saída analógicas associadas com a distância. Esse sensor é um infravermelho, uma alternativa mais barata e mais eficiente do que sonares e outros sensores de nível. A relação matemática entre a tensão de saída do sensor versus a distância ao objeto refletido (Figura 4) é claramente não-

linear, mas esta dificuldade pode ser atenuada, utilizando a relação entre a tensão de saída e o inverso da medida da distância, o que gera uma curva praticamente linear em uma grande faixa de operação do sensor (Figura 5). De acordo com o fabricante, a relação linear mostra que a distância do objeto refletido é, aproximadamente, igual a um fator de escala constante (~27 V*cm) dividido pela tensão de saída do sensor.

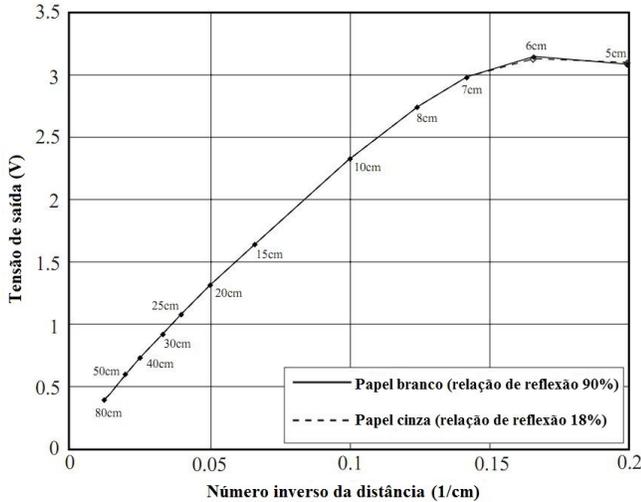


Fig. 5. Curva linearizada do sensor de distância.

A escolha do sensor de temperatura foi baseado em suas características. Esse sensor, que detecta temperaturas entre - 50° C e 150° C, é utilizado para uma leitura mais precisa da temperatura em graus Celsius. O valor em graus Celsius é obtido usando um filtro RC no circuito físico e um tratamento interno do microcontrolador ao sinal recebido que consiste em multiplicar o valor lido por uma constante. Esses métodos foram utilizados com base no datasheet do fabricante do componente.

E. O sistema de controle

Será abordado, inicialmente, o ambiente digital utilizado para o desenvolvimento do módulo laboratorial. Dentro do contexto educacional, que é o enfoque principal desse trabalho, e lembrando a importância do desenvolvimento do conhecimento e da criação de uma biblioteca FOSS, que podem ser utilizados para o ensino na engenharia, todos os programas utilizados para a criação do ambiente (Figura 6) são open-source, dessa forma os custos envolvidos no desenvolvimento desse projeto são muito baixos e, sendo assim, permitem sua utilização em todos os tipos de ambientes, tanto educacionais quanto industriais, para fins de ensino ou de formação profissional.

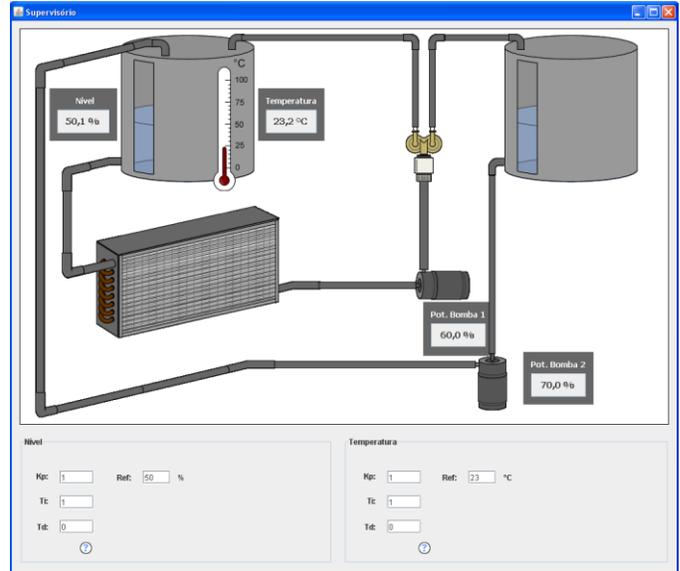


Fig. 6. Interface do ambiente computacional.

A linguagem de programação utilizada para desenvolver a interface de controle do supervisório foi JAVA, através de um ambiente de desenvolvimento integrado (Integrated Development Environment ou IDE) chamado NetBeans, as imagens foram criadas no Inkscape, um editor de gráficos vetoriais.

Para controle das malhas foi utilizado um controlador PID de velocidade:

$$u(t_k) = u(t_{k-1}) + K_p \left[\left(1 + \frac{\Delta t}{T_i} + \frac{T_d}{\Delta t} \right) e(t_k) + \left(-1 - \frac{2T_d}{\Delta t} \right) e(t_{k-1}) + \frac{T_d}{\Delta t} e(t_{k-2}) \right] \tag{1}$$

Onde:

- K_p : ganho proporcional,
- T_i : tempo integral;
- T_d : tempo derivativo;
- $e(t_k - n)$: erro no tempo n;
- Δt : interval de amostragem e
- $u(t_k)$: é a ação de controle.

Sendo um módulo de controle didático, os parâmetros do controlador PID são definidos pelo usuário, de tal forma que ele pode encontrar ou testar os valores de ajuste que melhor atendam às suas necessidades em aplicações específicas, incluindo o reconhecimento da função de transferência e análise da interferência entre as malhas de controle.

III. RESULTADOS OBTIDOS

O supervisor desenvolvido foi planejado para a utilização na área de educação em engenharia, mais especificamente na área de controle de processos industriais, como um instrumento didático para a melhoria das condições de ensino laboratorial. Assim, espera-se que os alunos possam enfrentar características importantes na área de controle de processos industriais, especialmente as dinâmicas das malhas associadas com o controle das variáveis, como nível e temperatura [12]. Para ilustrar a potencialidade e a flexibilidade desse módulo didático algumas situações que podem ser trabalhadas pelos alunos serão discutidas a seguir.

O foco do trabalho, ao selecionar esses exemplos, foi apenas para apontar a aplicabilidade do supervisor para a criação, nas atividades de laboratório, de algumas das várias complexidades do controle de processos industriais. Para a primeira situação foi utilizado o método de Ziegler/Nichols – ZN para sintonia do controlador de nível, embora este método seja muito utilizado no meio industrial ele não é recomendado para a sintonia de controladores PID referentes à nível, devido a sua dinâmica e as não linearidades do processo [12]. A cargo de exemplo esse método foi utilizado e, a partir dele, foram encontrados os seguintes resultados: $K_p = 6$; $T_i = 1,5$; $T_d = 0,4$ (Figura 7).

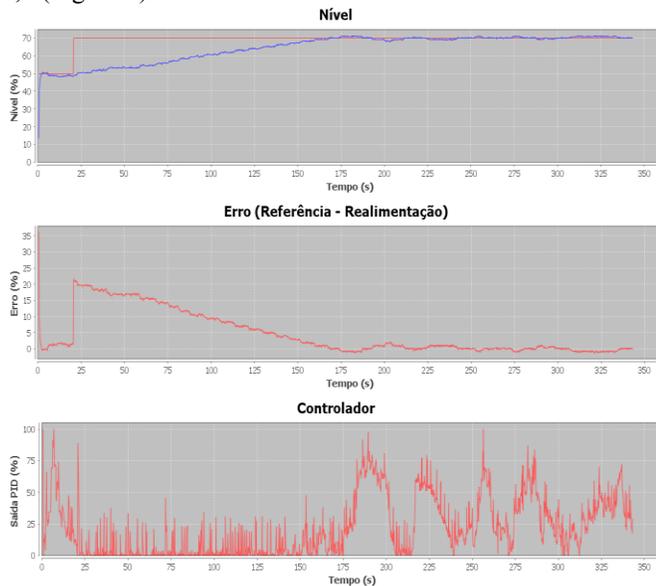


Fig. 7. PID sintonizado pelo método ZN.

Como efeito de comparação, tendo em vista que o método ZN não é o mais aconselhável para controle de nível, utilizamos outro método de sintonia conhecido como método da curva de reação, que consiste em encontrar a curva S do sistema e a partir dela medir as grandezas referentes ao valor máximo, o tempo morto e taxa de variação, ou seja, a inclinação da curva de reação $\Delta u/\Delta t$ [13]. Para esse método foi escolhido uma sintonia PI e a calibragem dos parâmetros do controlador ficaram em $K_p = 3,8$, $T_i = 9,9$ e $T_d = 0$ (Figura 8).

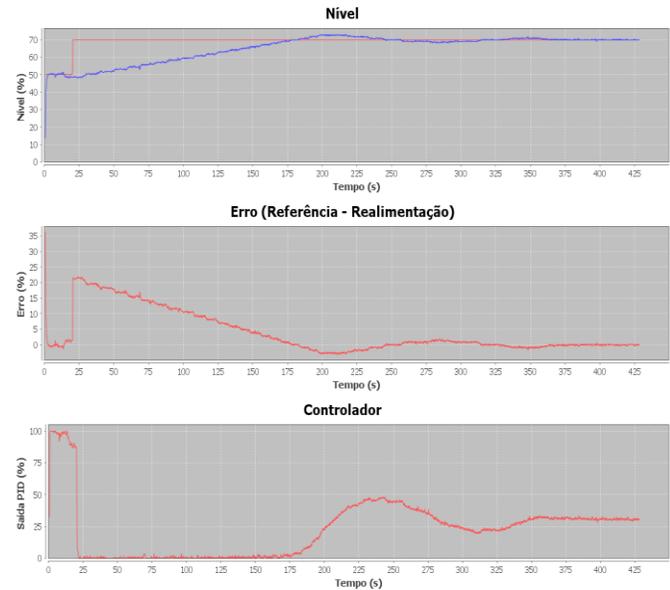


Fig. 8. Controlador sintonizado pelo método da curva de reação.

Pode-se observar através desses dois exemplos que o ajuste feito através do método ZN gera um grande estresse na resposta dada pelo controlador, enquanto pelo método da curva de reação, que já é um método mais indicado para o controle de nível, a resposta do controlador se manteve dentro de uma faixa de variação aceitável com uma característica mais suave.

Outra aplicabilidade ao se encontrar a curva S devido à resposta ao degrau, é a possibilidade de se calcular a função de transferência do sistema. Para tal, considerando uma modelagem do sistema de primeira ordem, foi utilizado o método de Smith [14] e, a partir dele, foi encontrada a seguinte função de transferência:

$$G_p = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{2,375}{498,75s - 1} e^{-121,25s} \quad (2)$$

Devido à funcionalidade da planta industrial construída podem-se aplicar diversas técnicas para o estudo de controle de processos industriais. Nesse sistema a malha de temperatura pode funcionar em série ou em paralelo com o nível, ou seja, pode-se fazer o controle individual das malhas ou controlá-las ao mesmo tempo, o que permite, inclusive, estudos de interatividade entre as malhas de controle. Para ilustrar essa situação e discutir as interferências causadas nas malhas de controle, nível e temperatura, por esse processo, segue na figura 9 a resposta do sistema devido a uma variação do tipo degrau na entrada das malhas. No caso, a temperatura é variada de 27° C para 55° C e o nível de 28% para 80%. As variações escolhidas foram limitadas pela temperatura ambiente e pelo nível mínimo do tanque.

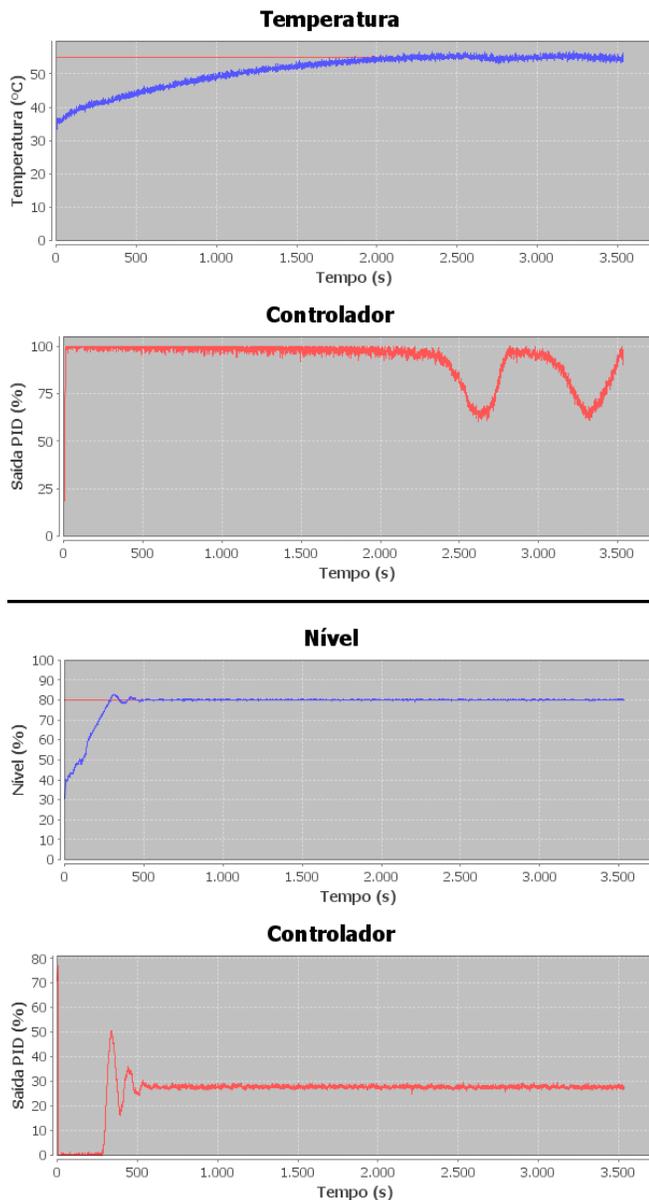


Fig. 9. Interatividade do sistema funcionando com as malhas de nível e temperatura

Observa-se que quando o sistema opera em conjunto existe uma interação entre as malhas onde pode-se observar que certos comportamentos são alterados. Analisando primeiramente o que acontece com o comportamento do nível, para os parâmetros escolhidos do controlador do mesmo, observa-se que basicamente a única alteração é que o tempo de acomodação aumenta quando comparado com o loop funcionando isoladamente, neste caso a estabilização ocorre em torno de 500 segundos enquanto no sistema isolado a mesma ocorre próximo a 250 segundos. Com relação a malha de controle de temperatura nota-se uma variação na derivada da resposta ao longo do processo de estabilização, a mesma vai decaindo a medida que o nível aumenta, isso se dá devido ao fato de que quando o volume de líquido aumenta, maior é a quantidade de líquido que a resistência deve esquentar, o que faz com que o tempo de estabilização seja maior do que o normal, pela figura 9 temos que o tempo de estabilização da

malha de temperatura é aproximadamente 3600 segundos, ou 1 hora. Esse tempo é extremamente elevado e se dá devido as condições descritas acima e também está relacionado com a potência que a resistência fornece e com o tamanho do tanque utilizado.

IV. CONCLUSÃO

A plataforma didática discutida, planejada e desenvolvida como ferramenta educacional para o ensino de engenharia de controle, totalmente baseado em FOSS, permite a modelagem e controle da dinâmica de um processo didático industrial, mais especificamente um sistema de dois tanques, com controle de nível e temperatura. Foi apresentado neste trabalho a potencialidade de tal módulo de baixo custo como um poderoso ambiente laboratorial para o ensino de engenharia de controle e treinamento, embora, por razões de espaço, apenas algumas situações de aplicabilidade foram ilustradas. Se esse módulo laboratorial pode, por um lado, reproduzir algumas das complexidades e não linearidades de uma planta industrial real, sem altos custos associados à aquisição de uma planta industrial/laboratorial real, por outro permite que os estudantes e operadores possam enfrentar dificuldades, complexidades e especificidades relacionadas com a compreensão, utilização e a sintonia de controladores.

Uma característica diferencial desse trabalho é o fato de que é totalmente baseado em FOSS, resultando em um ambiente educacional que, embora reproduzindo a complexidade da dinâmica de uma planta industrial real, pode ser projetado e montado com custos muito baixos. Ao utilizar esses módulos, os alunos podem lidar com as variáveis de controle do processo principal, ampliando seus conhecimentos e habilidades para atuação na área de controle de processos.

Os resultados obtidos e discutidos aqui, embora limitados por razões de espaço, mostram que as condições, procedimentos, soluções e complexidades associadas às malhas de controle de processos industriais podem ser trabalhadas com esse módulo. Os recursos utilizados incluem pontos como escolher o valor dos controladores adequadamente para as malhas específicas, utilizar o ajuste automático, identificando os parâmetros do modelo para os loops, causar um distúrbio no sistema etc.

Praticamente sem custos, esse módulo, baseado em FOSS, pode ser utilizado para otimização e reforço das atividades laboratoriais no ensino à engenharia de controle e também pode ajudar os alunos a melhorar seus conhecimentos em controle de processos industriais.

Finalmente, vale a pena dizer que, esta plataforma já está sendo utilizada em alguns cursos de extensão e treinamento na respectiva área, dentro das atividades do curso de Engenharia Elétrica da UFJF, dentro do contexto das atividades do Programa de Educação Tutorial (PET/MEC).

V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Educação Tutorial PET/MEC pelo apoio à realização desse trabalho.

VI. REFERENCES

- [1] COOPER, D. "Practical process control: proven methods and best practices for automatic process control". Disponível em: <<http://controlguru.com>> Acesso em: 12 jun. 2010
- [2] ÅSTRÖM, K. J.; HÄGGLUND, T. "PID Controllers: Theory, Design and Tuning", ISA Instrumentation, Systems and Automation Society, Research Triangle Park, NC, USA, 1995
- [3] ÅSTRÖM, K. J.; HÄGGLUND, T. "Advanced PID Control", ISA Instrumentation, Systems and Automation Society, Research Triangle Park, NC, USA, 2006.
- [4] VISIOLI, A. "Practical PID Control", Springer Verlag, London Limited, London, UK, 2006.
- [5] NORMEY-RICO, J. E.; CAMACHO, E. F. "Control of Dead-time Processes", Springer Verlag, London Limited, London, UK, 2007.
- [6] SUNG, W. S.; LEE, J.; LEE, I. "Process Identification and PID Control", John Wiley & Sons, Pte Ltd., Asia, 2009.
- [7] FEISEL, L.D.; ROSA, A. J. "The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education", Journal of Engineering Education, pp. 121-130, Janeiro 2005.
- [8] PETERSON, G. D.; FEISEL L. D. "A Colloquy on Learning Objectives For Engineering Education Laboratories", Proc. American Society for Engineering Education, Annual Conference & Exposition, 2007.
- [9] NOVA DIDACTA, "Sistemas Didáticos de Medição", Catálogo Técnico, São Paulo, 2009.
- [10] OPEN SOURCE INITIATIVE. Disponível em: <<http://opensource.org/history>> Acesso em: 06 dez. 2010
- [11] ARDUINO. Disponível em: <<http://www.arduino.cc>> Acesso em: 08 dez. 2010
- [12] CAMPOS, M. C. M.M; TEIXEIRA, H. C. G. "Controles Típicos de Equipamentos e Processos Industriais", Editora Edgar Blücher, São Paulo, 2007.
- [13] LOURENÇO, João; "Sintonia de controladores PID", Escola superior de tecnologia, 1997
- [14] COELHO, Antonio Augusto R.; COELHO, Leandro dos S. "Identificação de sistemas dinâmicos lineares", Editora da UFSC, 2004

VII. BIOGRAPHIES



Francisco José Gomes é graduado em Engenharia Elétrica pela UFJF, Mestre em Ciências e Técnicas Nucleares pela UFMG e Doutor em Engenharia Elétrica pela UNICAMP. É professor Associado III da UFJF. Tem experiência nas áreas de Engenharia Elétrica e Educação em Engenharia, com ênfase em Automação Industrial, atuando principalmente nos seguintes temas: Controle de processos industriais, Controladores PID, Controladores Nebulosos, Modelagem de Processos e Controle em Tempo

Real. Atua na área de Otimização de Processos, bem como em Planejamento e Gestão de Processos. Na área de Educação em Engenharia, é Tutor do Programa de Educação Tutorial do curso de Engenharia Elétrica desde 1991, tendo implantado este programa na UFJF, com várias publicações sobre o tema de Educação em Engenharia.



Flávio Padilha Queiroz é graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora no ano de 2010. Atualmente mestrando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora. Iniciou suas atividades no IEEE em 2008. Participou do capítulo de robótica durante o ano 2009. Atua nas áreas de Eletrônica de Potência, Controle de Processos, Eficiência Energética e Educação em Engenharia.



Vinícius Athouguia Gama é graduando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora. Membro do IEEE desde 2008 participou do capítulo de robótica e foi presidente do Women in Engineering (WIE) do ramo estudantil da UFJF durante o ano de 2009. Organizou e participou junto com o ramo estudantil e o Programa de Educação Tutorial de diversas edições das olimpíadas de robôs e do desafio MindStorm. Atualmente, é bolsista do Programa de Educação Tutorial, atuando e realizando trabalhos nas áreas de Controle de Processos, Eletrônica de Potência e Educação em Engenharia.



Hugo Ribeiro Baldiotti é graduando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora. Membro do IEEE desde 2008, participa do capítulo de robótica do ramo estudantil da UFJF desde 2008. Organizou e participou junto com o ramo estudantil e o Programa de Educação Tutorial de diversas edições das olimpíadas de robôs e do desafio MindStorm. Atualmente é bolsista do Programa de Educação Tutorial, atuando e realizando trabalhos nas áreas de Controle de Processos, Robótica, Eletrônica de Potência e Educação em Engenharia.