



IMPLEMENTAÇÃO DE UM PID DIGITAL EM AMBIENTE COMPUTACIONAL APLICADO A UMA PLANTA DIDÁTICA PARA ENSINO DE CONTROLE PARA ENGENHARIA

Arthur Hirata Bertachi¹ – arthurltda@hotmail.com
Lyvia Regina Biagi Silva¹ – lybiagi@hotmail.com
Bruno Augusto Angélico¹ – bangelico@utfpr.edu.br
Paulo Rogério Scalassara¹ – prscalassara@utfpr.edu.br
Wagner Endo¹ – wendo@utfpr.edu.br
Rodrigo Rodrigues Sumar¹ – sumar@utfpr.edu.br

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Cornélio Procópio
Departamento de Engenharia Elétrica
Avenida Alberto Carazzai, 1640.
CEP 86300-000 – Cornélio Procópio – Paraná

Resumo: *Este trabalho apresenta uma abordagem generalizada, para o aprendizado de estudantes de engenharia, em um tema de grande importância na área de controle e instrumentação industrial: o controlador PID. Este controlador está presente na grande maioria das malhas de controle nas indústrias. É desenvolvido um algoritmo em pseudocódigo, para que se possa escolher qualquer linguagem de programação de acordo com a preferência do projetista. Este formato permite que se explore melhor as diferentes estratégias de ajuste do controlador. Isso é importante porque uma visualização detalhada do projeto do controlador não é acessível nos blocos de controladores PID encontrados nos controladores lógicos programáveis. Apresenta-se, neste trabalho, também, o ensaio em malha aberta para a identificação do modelo matemático do processo, incluindo a implementação de diferentes métodos de sintonia do controlador PID. Todas as estratégias desenvolvidas são aplicadas ao controle do nível de água em uma planta industrial didática. Os resultados são apresentados em um estudo comparativo, juntamente com suas discussões sobre o processo de aprendizagem nas aplicações didáticas.*

Palavras-chave: *Controlador PID, Controle de Processos, Educação em Engenharia, Planta Didática Industrial.*

1. INTRODUÇÃO

Segundo Bazzo e Pereira (2000), a realização de ensaios em laboratórios proporciona ao estudante contato com o ambiente industrial, e lhe confere versatilidade, o que será de grande valia na sua vida profissional. O desenvolvimento de técnicas e

métodos que auxiliem a aprendizagem é bastante discutido na formação desses profissionais (VALLIM, 2008).

Controle é um assunto abordado em disciplinas de diversos cursos de engenharia. Ter conhecimento sobre controle de processos e ter acesso a ferramentas que proporcionem contato ao ambiente industrial é de fundamental importância para engenheiros das áreas elétrica, mecânica, controle e automação, entre outras.

Em se tratando de automação de processos, muitas vezes o desempenho de uma malha de controle faz parte de uma relação custo/eficiência. O objetivo de um controlador é manter a variável de controle em um ponto de operação desejado.

De acordo com Ogata (2000), cerca de 90% das malhas industriais são controladas por controladores do tipo PID (Proporcional – Integral - Derivativo). Portanto é de suma importância que estudantes de engenharia, não apenas estudantes de engenharia de automação e controle, tenham acesso a recursos que possibilitem a aplicação de conhecimentos relacionados a esse controlador.

Silva *et al.* (2012a, 2012b) aplicam procedimentos de identificação, modelagem e controle nos processos de aquecimento disponíveis em uma Planta Industrial Didática. Esta planta é uma aplicação de um sistema físico real em escala reduzida. As aplicações, nela desenvolvidas, simulam processos industriais reais. Utiliza-se o protocolo de comunicação OPC (OLE - *Object Linking and Embedding for Process Control*) para a aquisição de dados.

Neste trabalho, realiza-se uma abordagem de controle digital, utilizando o Software MATLAB, aplicada à malha de nível da mesma planta didática. Essa malha de controle não era abordada em sala de aula, pois não foi desenvolvida pelo fabricante, onde se fazia necessária a utilização de outros kits didáticos para esse fim. Escolheu-se o MATLAB, pois esse é amplamente utilizado no campo da Engenharia, tanto na pesquisa, quanto nos cursos de graduação. Esse *software*, além de poder ser utilizado em uma variedade de aplicações, permite grande flexibilidade de trabalho aos usuários (VICENTE *et al.*, 2005). A linguagem de programação aplicada ao MATLAB é muito semelhante com o C, a qual os estudantes têm contato nos períodos iniciais dos cursos de Engenharia.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Cornélio Procopio, oferta diversos cursos nos quais é possível utilizar a metodologia proposta neste trabalho, sendo esses: Engenharia Elétrica, Engenharia da Computação, Engenharia de Controle e Automação e o Curso de Especialização em Automação e Controle de Processos Industriais.

Este trabalho apresenta uma abordagem generalizada para a implementação de um controlador PID digital em linhas de comando. Apresenta-se como base para a aplicação do algoritmo de controle um pseudocódigo. Resultados práticos são apresentados na planta didática industrial em uma nova malha de controle desenvolvida.

Na Seção 2, apresenta-se a planta didática industrial utilizada na realização dos experimentos deste trabalho. A Seção 3 introduz uma proposta de aplicação de um controlador PID por meio de pseudocódigos. A Seção 4 mostra os ensaios realizados em um ambiente real e a implementação dos algoritmos no software MATLAB. Por fim, as conclusões são discutidas na Seção 5.

2. PLANTA DIDÁTICA INDUSTRIAL SMAR PD-3 E TECNOLOGIA OPC

A Planta Didática Industrial SMAR PD-3 foi desenvolvida para representar de forma simples e objetiva, a operação de diversas malhas de controle que podem ser

implementadas em uma planta industrial real. Utilizando os mesmo instrumentos de campo e aplicativos de *Software* para configuração e operação que são desenvolvidos para aplicações em larga escala (SMAR, 2012). A mostra a Planta Didática instalada nos laboratórios da UTFPR, Câmpus Cornélio Procópio.

A Planta Didática Industrial PD-3 é composta por um reservatório de água principal, duas bombas que trabalham apenas em dois modos de operação (ON/OFF), duas válvulas proporcionais de controle do tipo globo, uma para cada tanque. Todos estes instrumentos estão ligados à rede *Profibus* e possuem uma *TAG* exclusiva que os identifica.

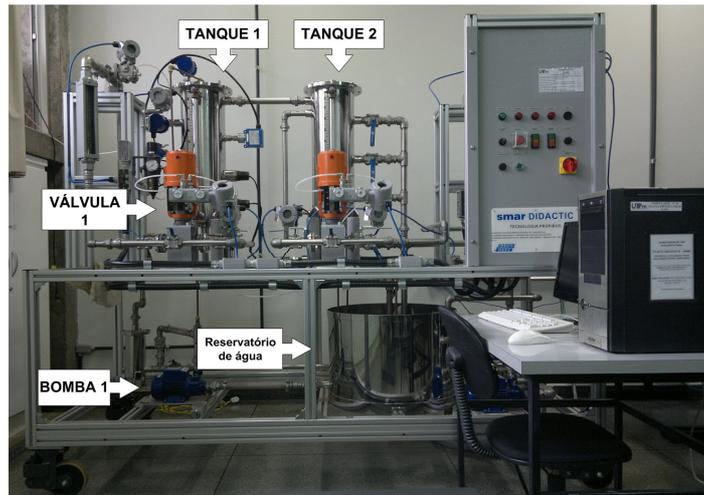


Figura 1 – Planta Didática SMAR PD-3

As malhas de controle da Planta Didática buscam reproduzir características de processos fabris. O fabricante fornece algumas estratégias de controle previamente implementadas nos controladores da planta, entretanto tais estratégias não podem sofrer nenhum tipo de modificação.

Para realizar estratégias de controle diferentes das fornecidas pelo fabricante, fez-se uso da tecnologia OPC em conjunto com o *Software* MATLAB. A tecnologia OPC foi criada a fim de possibilitar a integração entre os diversos níveis de campo, processo e gênero nas redes industriais, com o objetivo de se utilizar efetivamente toda a informação disponível em cada um deles (SOUZA *et al.*, 1999).

Portanto, pode-se utilizar um computador para efetuar os cálculos necessários para aplicar uma estratégia de controle mais flexível do que as implementadas em CLP.

Com o auxílio da tecnologia *OPC* e do *toolbox OPCtool* do MATLAB, é possível acessar todas as *TAGS* internas da rede *Profibus*. Dessa maneira, pode-se controlar a porcentagem de abertura das válvulas, os *status* das bombas, coletar valores de transmissores de maneira periódica, entre outras possibilidades. Portanto, é possível desenvolver novas malhas de controle anteriormente não abordadas pelo fabricante, e, aplicar algoritmos de controle mais abrangentes do que as estratégias de controle envolvendo programação *Ladder*.

3. CONTROLADOR PID

O controlador PID que aplica um sinal de atuação que é combinação do sinal proporcional, integral e derivativo, (CARMO, 2006). A Figura 2 mostra a topologia do controlador PID em paralelo, que é a forma mais primitiva deste tipo de controlador.

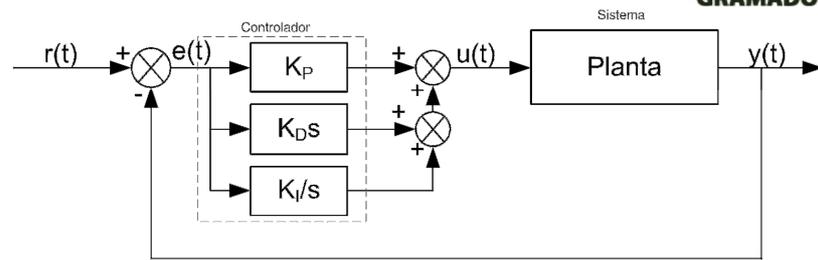


Figura 2 - Controlador PID (topologia em paralelo): adição das partes proporcional, integral e derivativo no controlador.

Nesta figura, estão marcados: o sinal de entrada, $r(t)$, o sinal de controle, $u(t)$, e o sinal de saída, $y(t)$. Os controladores têm como objetivo aproximar o valor do sinal de saída ao sinal de entrada (*set point*). A diferença entre o valor medido na saída e o valor de entrada gera um sinal de erro, $e(t)$. O controlador, portanto, age sobre o sinal de erro, tendo como saída um sinal de controle, que atua sobre o processo. Isso, pois, o sistema se encontra em malha fechada. K_P é o ganho proporcional, K_I , o integral e K_D , o derivativo. K_I é dado por $K_I = K_P/T_i$ e $K_D = K_P T_d$, sendo T_i chamado de tempo integrativo e T_d , tempo derivativo.

De acordo com Li *et al.* (2006), a função de transferência do controlador PID é composta pela soma dos três termos, um proporcional ao erro, um proporcional à integral do erro, e um proporcional à derivada do erro, conforme equação (1).

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

$$\Rightarrow G_{PID}(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s$$

Os efeitos independentes dos ganhos K_P , K_I e K_D na resposta a malha fechada são mostrados na Tabela 1 (adaptada de Li *et al.* (2006).

Tabela 1 – Efeitos independentes de K_P , K_I e K_D na resposta a malha fechada.

	t_r	PO	t_s	e_{ss}	<i>Estabilidade</i>
$\uparrow K_P$	Decresce	Aumenta	Aumenta pouco	Decresce	Degrada
$\uparrow K_I$	Decresce Pouco	Aumenta	Aumenta	Decresce Muito	Degrada
$\uparrow K_D$	Decresce Pouco	Decresce	Decresce	Influi Pouco	Melhora

Sendo que t_r é o tempo de subida, PO é o percentual de sobressinal (*overshoot*), t_s é o tempo de assentamento e e_{ss} é o erro de estado estacionário. O aumento do ganho derivativo K_D apresenta melhora na estabilidade do sistema desde que nesse não existam ruídos significativos.

3.1. Controlador PID Digital

Em análise de sistemas dinâmicos em tempo contínuo utilizam-se equações diferenciais, e para encontrar a função de transferência do sistema aplica-se a transformada de Laplace. Já para sistemas discretos no tempo, se faz o uso das equações de diferenças e da transformada- z para encontrar a função de transferência do sistema. Em (FRANKLIN *et al.*, 1998), são apresentados alguns métodos utilizados para realizar a

discretização de sistemas em tempo contínuo para representá-los da forma discreta. Neste trabalho, obtém-se a equação de diferenças para o controlador PID discreto utilizando-se a aproximação *backward* para a parcela derivativa e aproximação trapezoidal *tustin* para a parcela integrativa, conforme equação (2), sendo T_s o período de amostragem.

$$u[n] = u[n-1] + K_p (e[n] - e[n-1]) + \frac{K_I T_s}{2} (e[n] - e[n-1]) + \frac{K_D}{T_s} (e[n] - 2e[n-1] + e[n-2]) \quad (2)$$

3.2. Implementação em CLP

Em aplicações industriais, o controlador lógico programável (CLP) é um dos equipamentos mais utilizados para realizar o controle dos mais diferentes tipos de processos. Existem inúmeros fabricantes no mercado, incluindo fabricantes nacionais. Cada equipamento desenvolvido possui suas peculiaridades, como arquitetura, rede de comunicação, software de programação, entre outros. A norma IEC 61131 (IEC, 2003), orienta e estabelece alguns padrões para os fabricantes de CLP.

A norma IEC 61131 define cinco linguagens de programação para os CLPs, existindo entre elas as linguagens gráficas e as linguagens textuais (FRANCHI, 2008). Através da linguagem gráfica o projetista programa o CLP utilizando-se de símbolos e diagramas, possibilitando uma programação intuitiva. Já a linguagem textual permite uma maior flexibilidade para o projetista. Entretanto este tipo de linguagem exige uma maior experiência e conhecimento técnico do projetista.

A linguagem gráfica conhecida como Ladder foi a primeira que surgiu para a programação dos CLPs e é a mais utilizada até hoje. Foi criada com o objetivo de que sua programação se assemelhasse com situações familiares para os profissionais que atuavam em “chão de fábrica”. Dessa maneira ela se assemelha com os diagramas de comando elétricos que se utilizam de bobinas e contatos (FRANCHI, 2008).

Alguns fabricantes disponibilizam uma função de controle PID em seu *software* de programação. Entretanto, esta função não permite ao projetista muita flexibilidade. É possível alterar os parâmetros do controlador PID de uma função através do *software* de programação ou utilizar um sistema supervisorio para isto. Entretanto, nem sempre é possível ou viável realizar grandes alterações em controladores deste tipo, como por exemplo, alterar a estrutura do controlador. A Figura 3 ilustra como se realiza a inserção de um controlador PID em um *software* de programação de um CLP, em linguagem Ladder.



Figura 3 - Bloco da função de controle PID.

Desta maneira, um aluno que tem como único contato a função de controle PID de um CLP não tem uma visão tão clara do comportamento do mesmo, uma vez que a lógica de controle já vem implementada pelo fabricante.

Levando em consideração a limitação em alterar a topologia dos controladores PID de CLPs industriais, e o aumento da capacidade de processamento dos computadores, a implementação de um algoritmo de controle embarcado em um computador se torna atrativa. Uma vez que o aluno será o responsável por criar o algoritmo de controle, ele poderá alterá-lo da maneira que quiser, eliminando qualquer dúvida quanto ao comportamento do controlador.

4. ALGORITMO DO CONTROLADOR PID EM LINHA DE COMANDO

Nesta seção será apresentada uma metodologia para desenvolver em linhas de comando um algoritmo de um controlador do tipo PID, com topologia em paralelo, ilustrado pela Figura 2 e que é representado pela equação (1).

A seguir será apresentado um pseudocódigo deste algoritmo, onde k é o instante de amostragem, $y[k]$ é o valor medido na saída do processo, $r[k]$ é o valor de referência, $e[k]$ é o erro de rastreamento, $u[k]$ é a ação de controle do processo.

1. Realizar a medida da variável de saída do processo no instante k .
 2. Calcular o erro:
$$e[k] \leftarrow r[k] - y[k]$$
 3. Calcular a contribuição do ganho proporcional na ação de controle:
$$A \leftarrow K_p(e[k] - e[k-1])$$
 4. Calcular a contribuição do ganho integral na ação de controle:
$$B \leftarrow \frac{K_I \cdot T_s}{2} (e[k] + e[k-1])$$
 5. Calcular a contribuição do ganho derivativo na ação de controle:
$$C \leftarrow \frac{K_D}{T_s} (e[k] - 2e[k-1] - e[k-2])$$
 6. Calcular a ação de controle do controlador:
$$u[k] \leftarrow u[k-1] + A + B + C$$
 7. Aplicar no processo o valor da ação de controle $u[k]$ calculada.
 8. Incrementar o valor de k e repetir o passo 1.
- Enquanto condição de parada não satisfeita.

A condição de parada para o pseudocódigo é determinado pelo projetista do sistema. Esta condição pode ser um determinado número de iterações e pode ser realizada utilizando-se um laço *for* ou então pode ser que até uma ação externa ocorra, isso pode ser implementado com um laço *while*.

Neste trabalho será apresentada a implementação do controlador no MATLAB, mas nada impede que o usuário implemente seu próprio controlador em outra linguagem/ambiente. O MATLAB foi escolhido neste caso, pois o mesmo facilita a comunicação entre o computador onde o algoritmo de controle será executado e o sistema físico real, graças às suas *toolboxes*. Nas seções seguintes, apresentada-se uma breve metodologia para se obter os ganhos do controlador PID e ensaios para verificar a robustez deste controlador.

4.1. Ensaio em malha aberta e Identificação do modelo do sistema

Considerando que o processo a ser controlado seja linear, existem ferramentas e técnicas que facilitam a modelagem deste processo. Para processos industriais, o modelo pode ser obtido a partir do tratamento das medidas coletadas a partir de uma realização experimental. O modelo final é uma forma do conhecimento da relação existente entre os sinais de entrada e saída, caracterizada no processo físico pela função de transferência.

De acordo com Aguirre (2007), o método da modelagem caixa preta utiliza-se apenas dos dados de experimentais do sistema, basicamente dados de entrada e saída do processo. Para a coleta destes dados, pode-se utilizar de estimulados conhecidos na entrada e realizar medições na saída. A utilização de um estímulo do tipo degrau na entrada é um procedimento adequado para caracterizar, de forma preliminar, a dinâmica de um processo por meio da simples interpretação gráfica, (COELHO & COELHO, 2004).

Para a identificação do sistema de nível, considerou-se uma variação de 40% de abertura da válvula de entrada para o tanque 1 e observou-se a resposta do nível. Utilizando-se os métodos de identificação para sistemas FOPDT (*First-Order Plus Dead-Time*), foram utilizados os métodos descritos em Coelho e Coelho (2004) e também o modelo aproximado pela função *ident* do MATLAB. A Figura 4 mostra uma comparação entre os dados coletados e as curvas obtidas para tais métodos.

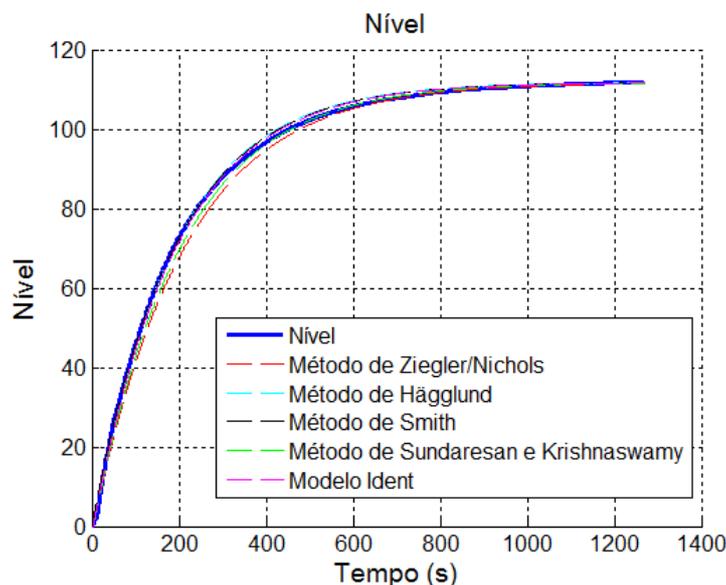


Figura 4 – Modelo identificado para o sistema de nível.

Utilizou-se como estimativa de precisão o erro médio quadrático entre o valor da curva de nível real e o modelo identificado. O modelo identificado que mais se aproximou da curva original, embora todos estão aparentemente muito próximos, foi o modelo identificado com o auxílio do *ident*. Esse modelo está descrito na equação (4).

$$G_{ident}(s) = \frac{2,7785}{192,22s + 1} e^{-3,35s} \quad (4)$$

4.2. Sintonia dos parâmetros do K_P , K_I e K_D

Utilizando-se os métodos de sintonia para os controladores PID baseados no modelo FOPDT, apresentado por Carmo (2006), os ganhos obtidos para os controladores a serem implementados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros de sintonia para o controlador de nível.

Método de Sintonia	PID			PI	
	K_P	K_I	K_D	K_P	K_I
Ziegler/Nichols	21,78	3,69	41,51	18,58	1,66
Chien, Hrones e Reswick (0%)	12,39	0,06	20,75	7,22	0,03

4.3. Ensaios em Malha Fechada

Para a realização dos ensaios na planta utilizou-se a ferramenta de interface baseada na rede OPC, desenvolvida neste estudo, para a coleta de dados das variáveis do processo de nível no tanque 1 da planta. Foi desenvolvida uma GUI (*Graphical User Interface*), também no MATLAB, para melhor visualizar o comportamento do processo em tempo real. Além disto, é possível escolher ou alterar os parâmetros dos controladores PID. A Figura 5 mostra a interface desenvolvida.

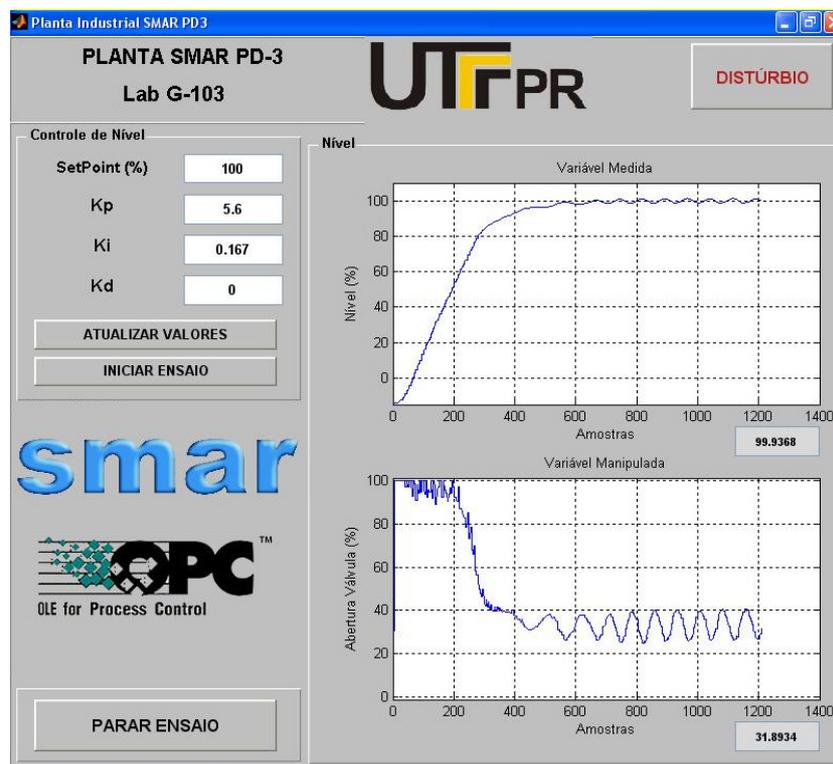


Figura 5 - Interface criada no MATLAB para acompanhar o processo em tempo real.

O pseudocódigo apresentado anteriormente é implementado nesta etapa do projeto. É utilizado como critério de parada do algoritmo o botão “PARAR ENSAIO”. Uma vez que o ensaio é inicializado pelo botão “INICIAR ENSAIO” o algoritmo de controle fica

em um laço *while* até que a condição de saída ocorre. Durante este laço é possível atualizar os valores de *set point* e dos ganhos do controlador. Observa-se que a interface desenvolvida possibilita a visualização da resposta do sistema em tempo real, tanto o comportamento da variável de saída (nível do tanque), como o comportamento da ação de controle do sistema (abertura da válvula de entrada de água no tanque).

Aplicam-se os valores de sintonia apresentados na Tabela 2 para o controlador de nível. A Figura 6 apresenta as curvas de nível e ação de controle para os métodos de sintonia apresentados na Tabela 2. Diversos valores de sintonia além dos apresentados na Tabela 2 podem ser aplicados. Esses valores servem como primeiras aproximações e melhores resultados podem ser obtidos com a realização de um ajuste fino dos parâmetros.

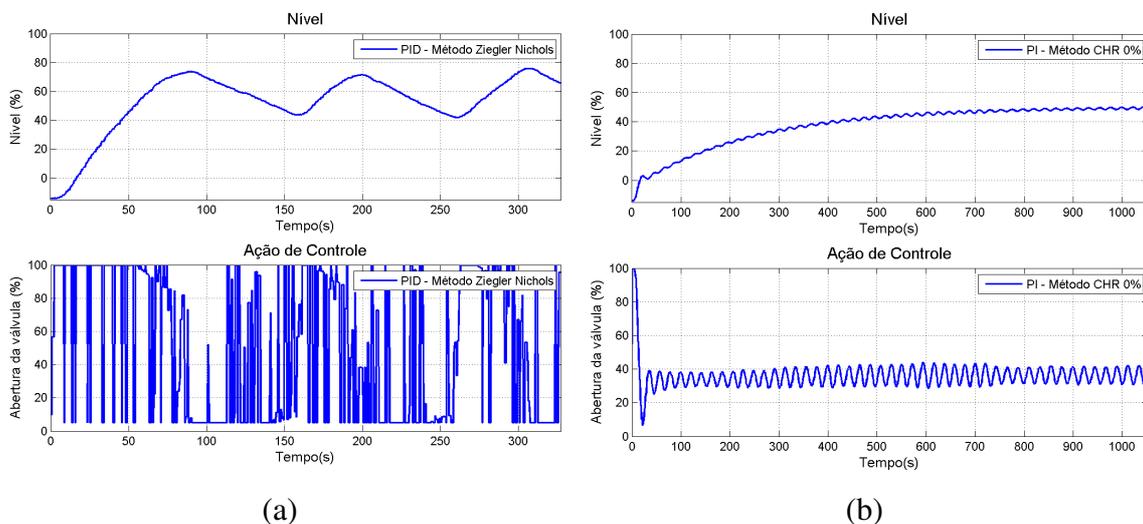


Figura 6 - Resultados do Controle de nível. (a) PID Ziegler e Nichols. (b) PI Chien Hrones e Reswick 0%.

Na Figura 6 apresenta-se: (a) Resultado do controlador PID baseado no método de sintonia de Ziegler e Nichols considerando um *set point* de 50%. (b) Resultado do controlador PI baseado no método de sintonia de Chien Hrones e Reswick 0% considerando um *set point* de 50%.

Visto que os métodos de sintonia aplicados não apresentaram respostas satisfatórias, e partindo da resposta obtida com o método de CHR a 0%, Figura 6 (d), e dos efeitos individuais dos aumentos dos parâmetros K_P , K_I e K_D mostrados na Tabela 1, aumentou-se o parâmetro K_I do método CHR 0% para de 0,03 para 0,2, e posteriormente alterou-se o parâmetro K_D que antes era zero, passou a ser um. A Figura 7 apresenta as curvas de resposta para esses novos valores de sintonia.

Pode-se observar que esses novos valores de sintonia encontrados empiricamente apresentam melhores dinâmicas de resposta quando comparados com os valores de sintonia encontrados com base no modelo identificado. Quando se utiliza o controlador PID, pode-se notar também que a ação de controle foi levemente suavizada, quando em comparação com o controlador PI, e que o sistema apresentou menor tempo de subida.

A fim de testar a robustez desses controladores, também foi introduzido um distúrbio de nível no sistema, abrindo-se temporariamente a válvula manual, de forma que o nível chegasse a aproximadamente 50% quando o *set point* estava em 30%. Os resultados podem ser observados na Figura 7.

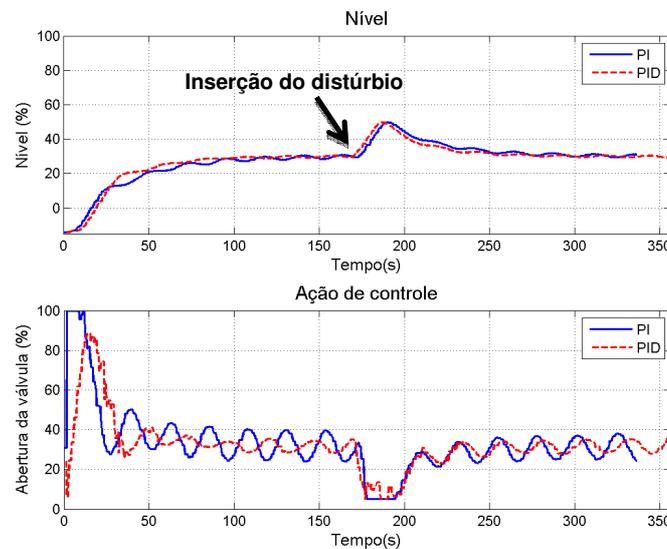


Figura 7 - Teste de robustez dos controladores com inserção de distúrbio: Comparação da ação de controle com e sem o termo derivativo.

É possível notar que o controlador PID apresenta melhor resposta dinâmica quando comparado com o controlador PI: apresenta menor tempo de subida, e a ação de controle é mais suave, o que exige menor esforço do equipamento (válvula de controle) e conseqüentemente proporciona menor desgaste ao mesmo.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho, apresentou-se uma proposta de implementação de um controlador PID em linhas de comando. Essa aplicação tem grande valia para o aprendizado dos alunos dos cursos de engenharia, uma vez que possibilita o desenvolvimento de uma arquitetura mais flexível ao meio acadêmico, e de estratégias mais aprimoradas de controle.

Os controladores dos CLPs são menos flexíveis às novas estratégias de controle, e a utilização do algoritmo do PID aplicado em linhas de código permite ao aluno verificar com mais clareza seu funcionamento, por exemplo, como a ação de controle incremental é gerada e quais os efeitos dos ganhos K_P , K_I e K_D na ação de controle.

Realizou-se também a aplicação na prática dos conceitos abordados, incluindo a adição da malha de nível a uma planta didática industrial. A planta até então não contava com essa malha de controle, de forma que para as práticas relacionadas a esse conteúdo eram realizadas utilizando outros meios.

O pseudocódigo apresentado pode servir como referência para que os iniciantes utilizem seus próprios algoritmos de controle. Em abordagens futuras, pode-se também aplicar o algoritmo como base na implementação de controle de sistemas multivariáveis, contribuindo assim, com a ementa da disciplina Controle Multivariável do curso de Engenharia de Controle e Automação.

Agradecimentos

Este trabalho conta com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, bolsas Capes-DS e Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Cornélio Procópio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE, L. A.. Introdução à Identificação de Sistemas. 3a. ed. Belo Horizonte, MG: Editora UFMG, 2007.

BAZZO, Walter Antonio; PEREIRA, Luiz Teixeira do Vale. Introdução à engenharia. 6a. ed. Florianópolis: UFSC, 2000. 274 p.

CARMO, M. J. do. CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS – CEFET. Ambiente educacional multifuncional integrado para sintonia e avaliação do desempenho de malhas industriais de controle, 2006. Dissertação (Mestrado).

COELHO, A. A. R.; COELHO, L. dos S.. Identificação de Sistemas Dinâmicos Lineares. Florianópolis, SC: Ed. Da UFSC, 2004.

FRANCHI, C. M.; CAMARGO V. L. A. Controladores Lógicos Programáveis – Sistemas Discretos. Editora Érica, 2008.

FRANKLIN, G. F.; POWELL, J. D.; WORKMAN, M. L.. Digital control of dynamic systems. 3rd ed. Half Monn Bay, CA: Ellis-Kagle Press: 1998.

INTERNATIONAL ELETROTECNICAL COMISSION. IEC 61131. Programmable Controllers. 2nd ed. IEC: 2003.

LI, Y.; ANG, K.; CHONG, G. Pid control system analysis and design. IEEE Control Systems Magazine, IEEE, v.26, n.1, p. 32–41, February 2006.

OGATA, K. Engenharia de controle moderno. 3a. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

SILVA, L. R. B.; ENDO, W.; SCALASSARA, P. R.; ANGÉLICO, B. A.. Ensaios e Implementação de Estratégias de Controle em uma Planta Industrial Emulada de Processos Industriais. 16º Congresso Internacional de Automação, Sistemas e Instrumentação. São Paulo – SP: 2012a.

SILVA, L. R. B.; ENDO, W.; SCALASSARA, P. R.; ANGÉLICO, B. A.. Identificação e Estudo de Topologias de Controle Utilizando uma Planta Didática Baseada na Rede Industrial Profibus e Servidor OPC. XIX Congresso Brasileiro de Automática - CBA. Campina Grande – PB: 2012b.

SMAR. PD3-P – Manual de Instruções, Operação e Manutenção. Sertãozinho – SP: 2012.

SOUZA, L. C. A.; FILHO, C. S.; PENA, R. T. Padrão de acesso a dados OPC e sua implementação em um driver OPC-Modbus (1999). Disponível em: <<http://www.delt.ufmg.br/~seixas/PaginaSDA/Download/DownloadFiles/PadraoOPC.PDF>> Acesso em: 10 out. 2011.

VALLIM, M. B. R. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Departamento de Engenharia Elétrica. Um modelo reflexivo para a formação de engenheiros, 2008. 184p, il. Tese (Doutorado)

VICENTE, S.A.S., RAUNHEITTE, L. T. M., THEÓPHILO JUNIOR, R., GOMES, G. H. Avaliação da Disciplina Software Aplicado à Engenharia com a Utilização do MATLAB. Anais: XXXIII – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Campina Grande – PB: 2005.

DIGITAL PID IMPLEMENTATION IN A COMPUTER ENVIRONMENT APPLIED TO A DIDACTIC INDUSTRIAL PLANT FOR CONTROL ENGINEERING EDUCATION

***Abstract:** This paper presents a generalized approach engineering education of a very important topic in the field of industrial control and instrumentation: the PID controller. This controller is used in most control loops of industries. We develop a pseudocode algorithm, which allows the choice of any programming language, according to the designer's preference. This format permits a better investigation of the different tuning techniques of the controller. This is important, because a detailed visualization of the controller project is not accessible on the PID controller blocks of the most common programmable logic controllers. We also present the open loop test to identify the process model, including the implementation of various tuning methods of the PID controller. The developed strategies are applied to water level control in a didactic industrial plant. The results and discussions are presented in a comparative way, involving the teaching/learning process of the didactic applications.*

***Key-words:** PID Controller, Process Control, Engineering Education, Didactic Industrial Plant.*