



COBENGE 2005

XXXIII - Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia

“Promovendo e valorizando a engenharia em um cenário de constantes mudanças”

12 a 15 de setembro - Campina Grande - Pb

Promoção/Organização: ABENGE/UFPE

SINTONIA DE CONTROLADORES E ANÁLISE FUNCIONAL DE MALHAS INDUSTRIAIS EM AMBIENTE MULTIFUNCIONAL INTEGRADO

Marlon José do Carmo – marlon@leopoldina.cefetmg.br

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais Uned Leopoldina, Departamento de Eletrotécnica/Automação.

Campus III

36700-000 – Leopoldina – MG

Francisco Jose Gomes – chico@jfnet.com.br

Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Engenharia Elétrica.

Campus Universitário - Plataforma cinco.

36036-900 – Juiz de Fora - MG

***Resumo:** O trabalho apresenta um ambiente integrado de ensino na área de controle de processo. Possui procedimentos de sintonia, a partir das características da planta. Escolha do tempo de amostragem, e identificação dos parâmetros de sistemas, importantes para a sintonia do controlador complementam o ambiente, possibilitando, assim, adequação dos parâmetros de ajuste do controlador PID, por parte dos operadores, técnicos e engenheiros. Permite aquisição de dados de processos, incorporando as principais complexidades correntes de plantas industriais. Possibilita alunos, técnicos e engenheiros consolidarem uma base sólida em elaboração de projetos, análise e sintonia de controladores PID. Pode ser utilizado como ferramenta didática permitindo treinamento de técnicos ou engenheiros no próprio local da planta, utilizando simulações ou adquirindo dados diretamente das plantas industriais em tempo real.*

Palavras-chaves: Controle de Processos, Controladores PID, Sintonia, Programação Orientada a Objetos.

1. INTRODUÇÃO

Os controladores industriais se apresentam em diferentes formas. A mais comum, dentre elas, é o controlador PID, Proporcional-integral-derivativo. ASTROM e HAGGLUNG (1995) dizem que a ocorrência deste controlador na indústria é de em mais ou menos 95%. Este controlador é suficiente em muitas situações onde se exige a presença de um controlador, particularmente quando processos dinâmicos são favoráveis e exigem performance modesta.

Esta estrutura possui um sinal de controle que é constituído de uma ação proporcional ao erro entre uma referência e a saída atual do processo, mais ações integral e derivativa a esse erro, conforme a “equação (1)”:

$$u(t) = Kp \left[e(t) + \frac{1}{Ti} \int_0^t e(t) dt + Td \frac{d}{dt} e(t) \right] \quad (1)$$

onde $u(t)$ e $e(t)$ denotam a ação de controle e o sinal de erro, respectivamente, e Kp , Ti , e Td são parâmetros de sintonia. A correspondente função de transferência é apresentada como a “equação (2)”:

$$K(s) = Kp \left(1 + \frac{I}{Tis} + Tds \right) \quad (2)$$

Obviamente, esta função de transferência é imprópria e não pode ser utilizada na prática, pois o ganho aumenta com as variações de alta frequência. No controlador PID prático limita-se o ganho em variações de alta frequência, utilizando um filtro passa baixa de primeira ordem. Então, o controlador PID na prática pode ser reconstituído com a seguinte função de transferência, denotada pela “equação (3)”:

$$K(s) = Kp \left(1 + \frac{I}{Tis} + \frac{Tds}{\gamma s + 1} \right) \quad (3)$$

onde γ é uma constante de ajuste, utilizada normalmente com valores da ordem de 10 % do valor do termo derivativo.

Com o avanço tecnológico tornou-se possível à implementação de controladores para sistemas dinâmicos por computador. HERMELY (1996) aponta o controle por computador uma área de pesquisa relativamente recente. Em meados da década de 50 já se apreciava a implementação desses tipos de controladores, mais estas aplicações eram restritas, devido ao alto custo inicial e a confiabilidade do hardware que se tinha disponível. Hoje se tem disponível recurso apreciável de hardware e de software, tendo-se diversos programas industriais onde se é possível analisar e projetar controladores industriais. Complementa este avanço o surgimento de microcontroladores e processadores digitais de sinais que proporcionam o desenvolvimento de avançados algoritmos de controle. Assim, modernamente, os controladores PID são realizados de forma digital, por isto interessa analisar a versão digital da “equação (2)”:

$$u(k) = Kp \left(1 + \frac{T}{Ti} \frac{z}{z-1} + \frac{Td}{T} \frac{z-1}{z} \right) e(k) \quad (4)$$

onde T denota o período de amostragem e z é variável complexa. Pode-se representar a “equação (4)” em forma de equação a diferenças, o que nos conduz a:

$$u(k) = u(k-1) + q_0 e(k) + q_1 e(k) + q_2 e(k) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} q_0 &= Kp \left(1 + \frac{Td}{T} \right) \\ q_1 &= -Kp \left(1 + 2 \frac{Td}{T} - \frac{T}{Ti} \right) \\ q_2 &= Kp \frac{Td}{T} \end{aligned} \quad (6)$$

Seja controlador analógico ou digital, a sintonia adequada dos controladores PID deve ser incentivada no meio industrial, pois muito dos elementos constituintes de uma planta, como por exemplo, válvulas, têm sua vida útil reduzida em decorrência do desconhecimento dessas técnicas.

Este trabalho tem como objetivo apresentar um ambiente de simulação integrado e multifuncional, utilizando técnicas de controle digital e que possua procedimentos de sintonia, possibilitando, assim, tomar conhecimento destas técnicas. Incorpora o ambiente à possibilidade de controle de plantas reais.

O artigo está estruturado como segue: a seção dois apresenta as bases conceituais necessárias ao desenvolvimento dos trabalhos; a seção três apresenta as características do ambiente e a seção quatro resultados obtidos. As conclusões, na seção cinco, encerram o texto.

2. DESENVOLVIMENTO DO AMBIENTE

O ambiente foi desenvolvido utilizando técnicas de controle digital como equações a diferenças, por exemplo, procedimentos de sintonia clássicos como Ziegler e Nichols, ou modelos modificados como Takahashi. Utilizou-se uma linguagem orientada a objeto, o c++, na plataforma c++ Builder, bem como rotinas específicas para o controle via porta paralela aliada a conversores analógico-digital e digital analógico. Este ambiente proporciona ainda a análise do efeito do tempo de amostragem sobre a resposta do sistema. Serão vistas, na seqüência, as técnicas utilizadas.

2.1 Identificação do modelo do processo

No controlador existem parâmetros que devem ser ajustados. A performance de uma malha de controle está condicionada ao ajuste adequado destes parâmetros. Este processo de ajuste, denominado de sintonia, pode ser feito por diferentes caminhos. Um exemplo é através da análise do comportamento de uma malha e se fazendo o ajuste sucessivas vezes até que se tenha um funcionamento satisfatório. Outro exemplo é obter um modelo matemático que descreve o processo, e através de alguns parâmetros desse modelo, determina-se o ajuste necessário. A dinâmica de um processo pode ser determinada através da resposta do processo ao pulso, degrau, rampa ou outros sinais determinísticos. Muitas características de processos podem ser verificadas através da resposta ao degrau em malha aberta, se essa ocorrer monotonicamente para um outro valor estacionário. A metodologia utilizada para a determinação dessa dinâmica foi à resposta ao degrau unitário.

A aproximação matemática de um processo pode ser obtida através de modelos a dois, três ou quatro parâmetros, de primeira ordem. O modelo adotado para o ambiente foi o de três parâmetros, e pode ser caracterizado pela seguinte função de transferência:

$$G(s) = \frac{K}{1 + sT} e^{-sL} \quad (7)$$

De posse da resposta ao degrau em malha aberta de um processo a ser controlado poder-se-á identificar os parâmetros da função de transferência para um modelo a três parâmetros.

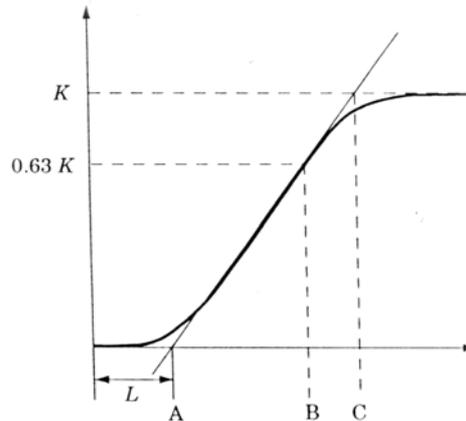


Figura 1- Determinação dos três parâmetros.

2.2 Técnicas de Sintonia

Através do modelo de primeira ordem é possível determinar os parâmetros do sistema a ser controlado. Vários métodos de sintonia têm sido utilizados, sendo Ziegler-Nichols e Cohen-Coon, muito mencionados em livros-texto na área de controle de processos. Ziegler-Nichols é o método mais popular utilizado em controle de processo para a determinação dos parâmetros do controlador PID, embora foi apresentado na década de 40.

O primeiro método de Ziegler e Nichols, denominado de Sensibilidade Limite foi proposto em 1942. Neste método, os termos derivativo e integral são desabilitados e o ganho proporcional é incrementado até que se tenha uma oscilação contínua em malha fechada. O ganho no qual ocorre esta oscilação é denominado de ganho crítico (K_u) e é necessário medir o período de oscilação. Com isso, têm-se os parâmetros de sintonia determinados pelas seguintes equações:

$$\begin{aligned} K_p &= 0.6K_u \\ T_i &= 0.5T_u \\ T_d &= 0.125T_u \end{aligned} \tag{8}$$

Em 1943, o segundo método de Ziegler e Nichols é apresentado como método da resposta ao degrau. Esse método propõe-se determinar os parâmetros de sintonia do controlador PID através de um modelo de primeira ordem a três parâmetros. Os parâmetros podem ser determinados por:

$$\begin{aligned} K_p &= 1.2 \frac{T}{KL} \\ T_i &= 2L \\ T_d &= 0.5L \end{aligned} \tag{9}$$

Uma das desvantagens do método de Ziegler-Nichols é que em malha fechada tende a produzir respostas mais oscilatórias. Para apresentar uma melhor resposta em malha fechada, Cohen e Coon sugeriram um grupo de equações similares ao método de Ziegler-Nichols:

$$Kp = \frac{\frac{L}{4T} + \frac{4}{3}}{K \frac{L}{T}}$$

$$Ti = L \frac{\frac{3L}{4T} + 4}{\frac{L}{T} + \frac{13}{8}}$$

$$Td = L \frac{2}{\frac{L}{T} + \frac{11}{2}}$$
(10)

Entre vários métodos existentes para sintonia de controladores PID, constitui neste ambiente o método lambda de primeira ordem com tempo morto, Takahashi e o modelo a três parâmetros de primeira ordem modificada por análise dimensional (FOPTD), proposto por SAEED e MAHDI (2003) utilizando os critérios de sintonia otimizada ISE, IAE e ITAE.

Tabela 1- Parâmetros do controlador PID os métodos de sintonia Lambda e Takahashi.

Parâmetros de Sintonia	Lambda	Takahashi
Kp	$Kp = \frac{1}{K} \left(\frac{T}{\lambda} \right)$	$Kp = \frac{1.2T}{(L+T_0)} - \frac{0.3LT_0}{(L+\frac{T_0}{2})^2}$
Ti	T	$Ti = \frac{K(L+\frac{T_0}{2})^2}{0.6L}$
Td	0	$Td = \frac{0.5T}{K}$
λ	3L	-

Tabela 2 - Parâmetros de sintonia para FOPTD para os critérios ISE, IAE e ITAE

Parâmetros de Sintonia	FOPTD ISE	FOPTD IAE	FOPTD ITAE
Kp	$Kp = \frac{0.3\frac{L}{T} + 0.75}{\left(\frac{L}{T} + 0.05\right)K}$	$Kp = \frac{1}{\left(\frac{L}{T} + 0.2\right)K}$	$Kp = \frac{0.8}{\left(\frac{L}{T} + 0.1\right)K}$
Ti	$Ti = L \left(\frac{2.4}{\frac{L}{T} + 0.4} \right)$	$Ti = L \left(\frac{0.3\frac{L}{T} + 1.2}{\left(\frac{L}{T} + 0.08\right)} \right)$	$Ti = L \left(0.3 + \frac{1}{T} \right)$
Td	$Td = L \left(\frac{1}{90\frac{L}{T}} \right)$	$Td = L \left(\frac{1}{90\frac{L}{T}} \right)$	$Td = L \left(\frac{0.06}{\frac{L}{T} 0.04} \right)$

2.3 Circuito para comunicação com processo real via porta paralela

Foi utilizado o circuito integrado para conversão analógico-digital ADC 0804 com padrão para tensão vindo do sensor de 0 a 5V. Para a conversão digital-analógica o circuito integrado DAC 0800, também fornecendo um padrão de saída de 0 a 5V. Abaixo se tem um diagrama simplificado para o circuito de aquisição do sinal-sensor:

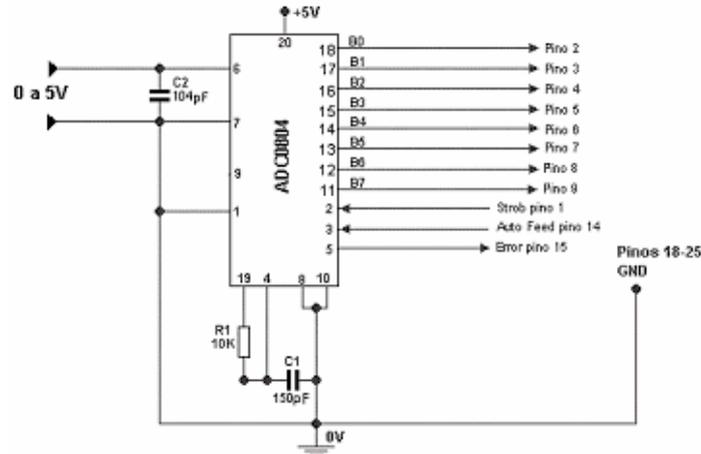


Figura 2 – Circuito para aquisição do sinal-sensor.

Entretanto, basta mencionar que tanto o circuito de conversão analógico-digital como o circuito digital-analógico compartilham o acesso a porta paralela através de multiplexação, sendo que estas saídas ou entradas, que dependem do fluxo de dados, estão protegidas utilizando-se optoacopladores. Abaixo se tem o circuito de conversão digital-analógico de forma simplificada:

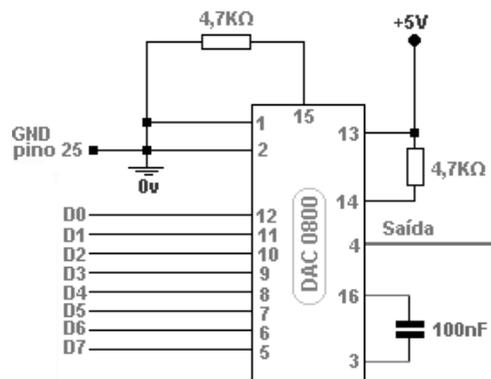


Figura 3 - Circuito para acionamento do atuador.

2.4 O ambiente

O ambiente foi desenvolvido utilizando linguagem visual, orientada a objeto, em plataforma c++ Builder, aplicando-se os métodos de sintonia já mencionados, bem como modelagem do sistema em um modelo a três parâmetros.

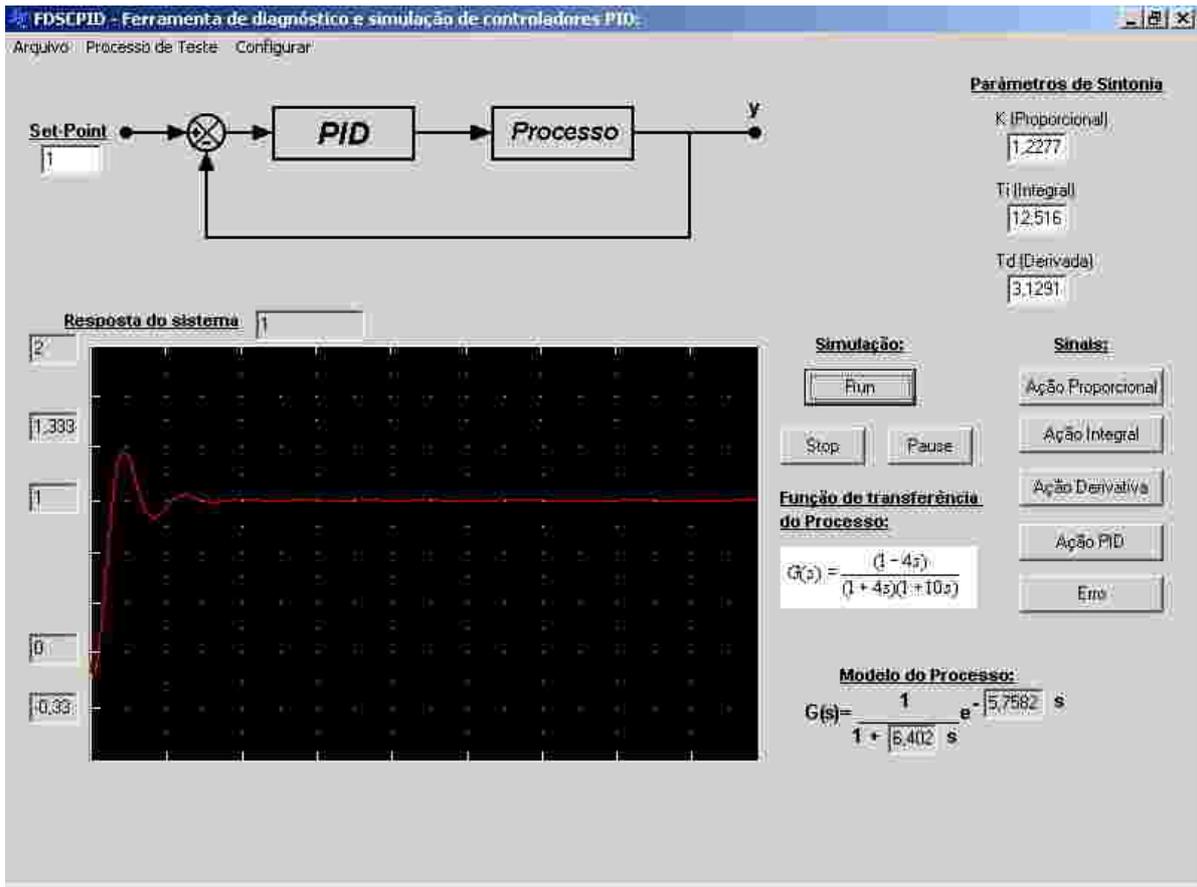


Figura 4 – Ambiente de simulação

Notar-se-á que apresenta no ambiente o processo real, através de sua função de transferência, e o modelo aproximado do processo, baseado em 3 parâmetros, que é o tempo de atraso, o ganho estático e a constante de tempo do sistema. É possível plotar independentemente as ações de controle, o erro ou a soma das ações de controle. Identifica-se no ambiente os parâmetros de sintonia do controlador PID, sendo possível alterá-los de forma que esta seja feita de forma manual.

A simulação ou controle de um processo físico pode ser visualizado através da saída do processo, doravante denominada variável de processo, em tempo real. A caixa de diálogo próxima à resposta do sistema demonstra o valor da variável de processo, em função do tempo, assim como caixa de diálogo no eixo y, da curva em questão, demonstra valores de alguns pontos da curva. Contudo, este ambiente foi denominado de FDSCPID – Ferramenta de diagnóstico e simulação de controladores PID.

É possível escolhermos, dentre três, os processos a serem simulados ou controlados.

Para processos de teste foram escolhidos dois, a saber:

$$G(s) = \frac{(1 - 4s)}{(1 + 10s)(1 + 4s)} \quad (11)$$

$$G(s) = \frac{(1 + 2s)}{(1 + 10s)(1 + 7s)(1 + 3s)} e^{-4s} \quad (12)$$

Notar-se-á que o primeiro trata-se de um processo de segunda ordem de fase não-mínima e o segundo é um processo de terceira ordem com tempo morto.

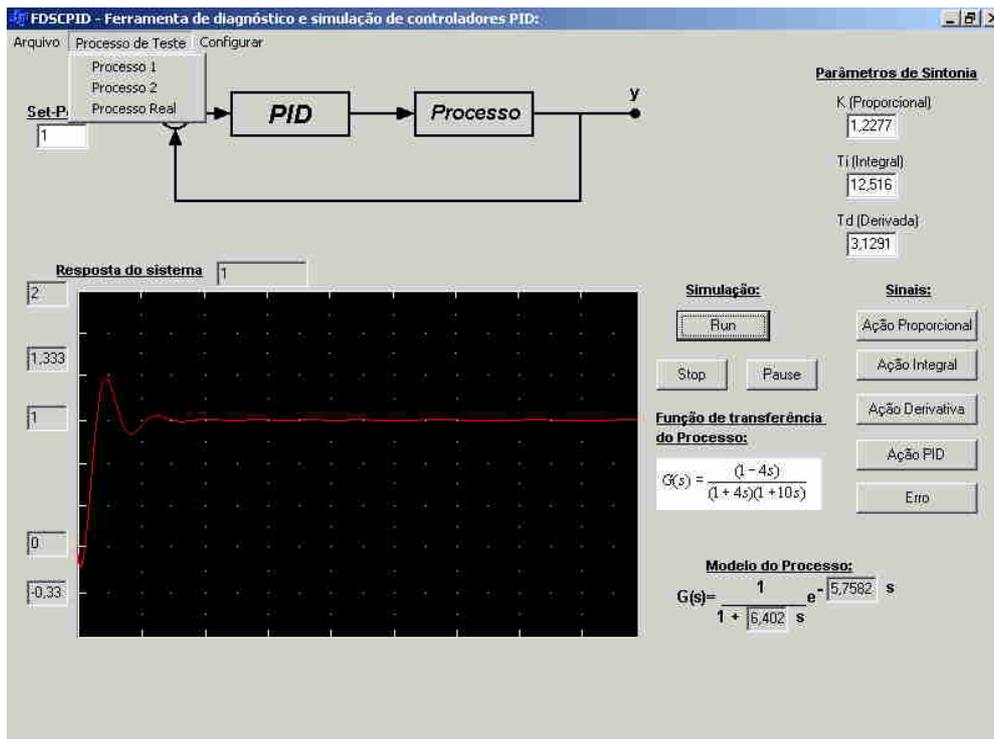


Figura 5 – Escolha dos processos de simulação ou controle.

2.5 Resultados

Abaixo se encontram vários resultados de simulações para o processo de teste da “equação (11)” para diferentes métodos de sintonia e intervalos de amostragem:

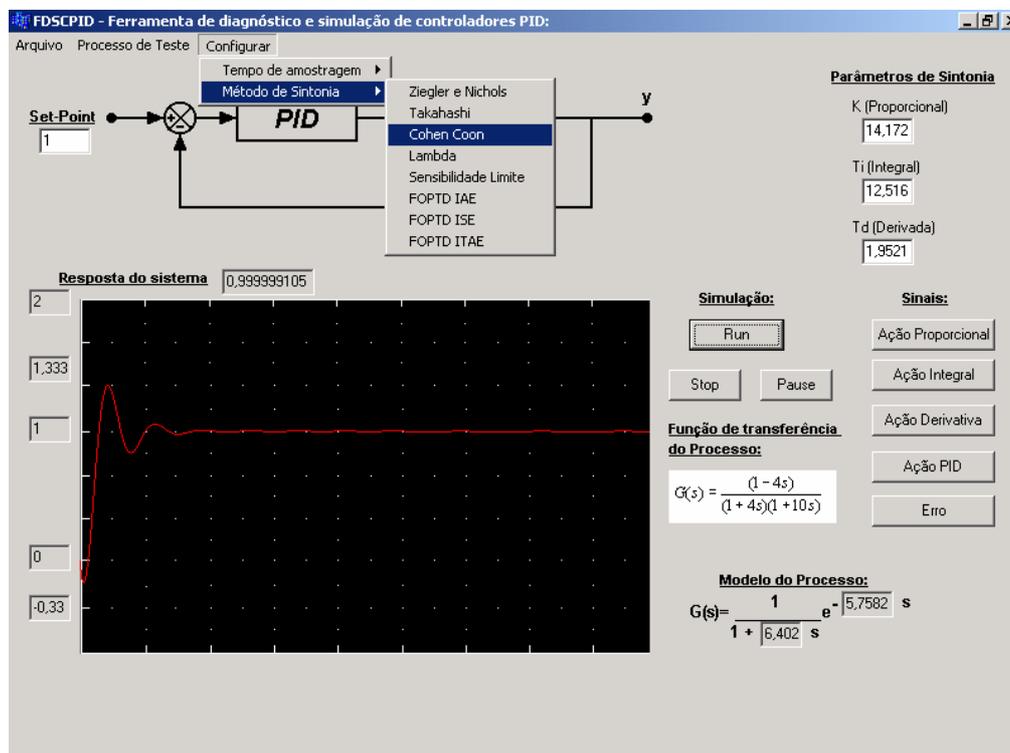


Figura 6 – Resposta do sistema para o método de sintonia Cohen Coon.

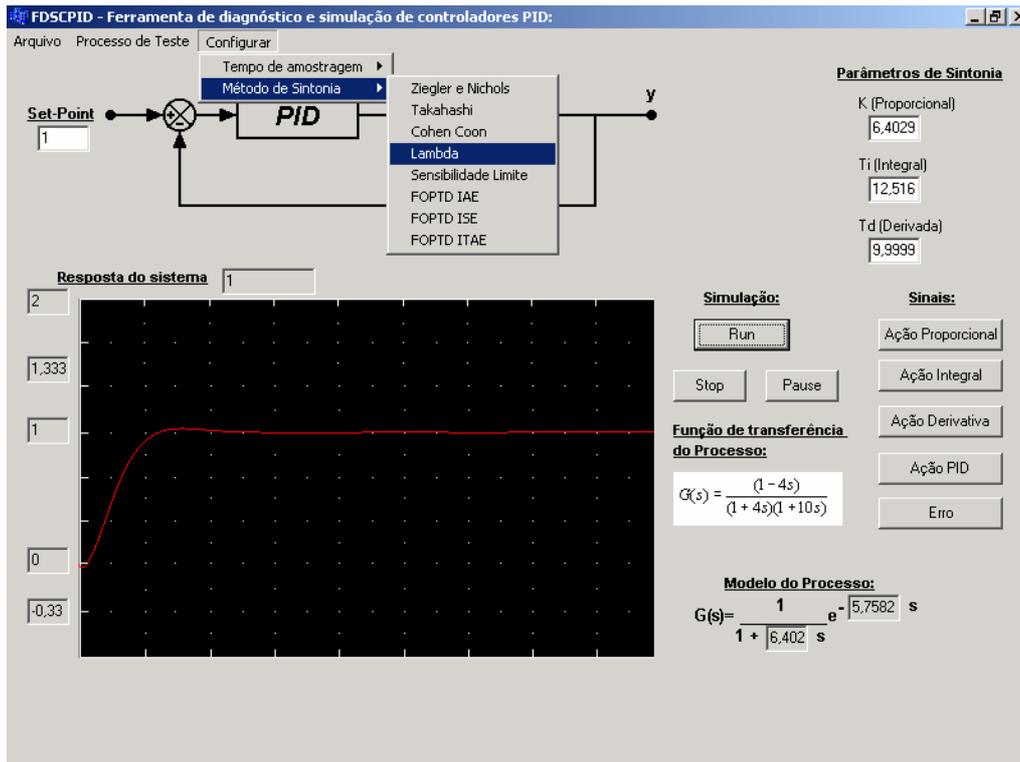


Figura 7 – Resposta do sistema para o método de sintonia lambda com intervalo de amostragem de 1s.

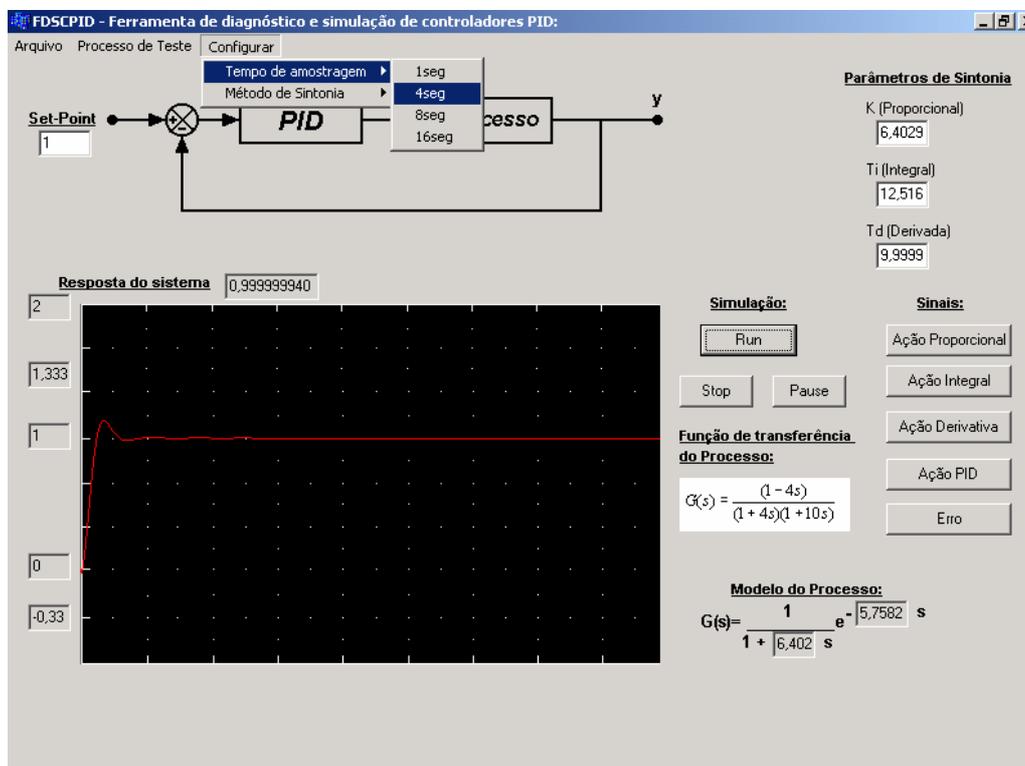


Figura 8 – resposta do sistema método de sintonia lambda com intervalo de amostragem 4s.

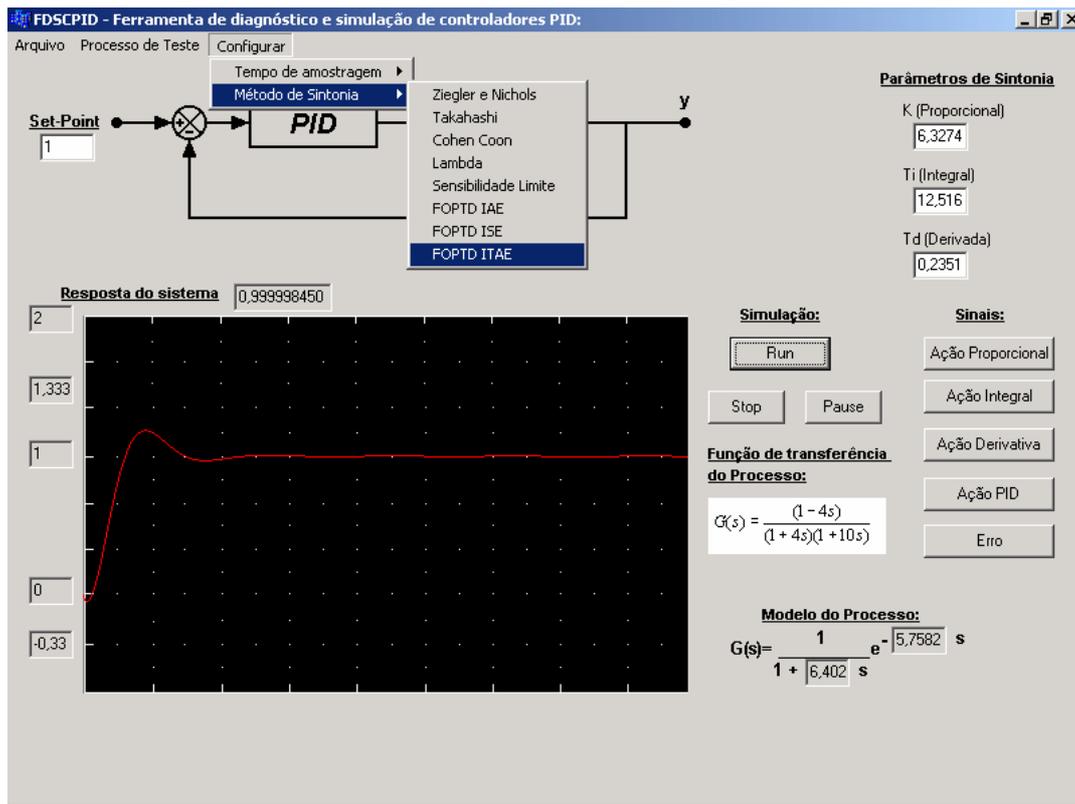


Figura 9 – Resposta do sistema para método de sintonia FOPTD ITAE.

2.6 Rendimento dos alunos com o ambiente:

Pôde-se observar que com a utilização do software o rendimento, o aprendizado melhorou. Fato este que pôde ser medido através dos resultados das avaliações aplicadas na disciplina controle de processos, no curso de graduação em engenharia elétrica, comparados com as avaliações dos anos anteriores.

Anteriormente, segundo os alunos, tinham que avaliar o desempenho através de cálculos manuais, entretanto, com o uso desta ferramenta, o mesmo pode avaliar de uma forma mais qualitativa os resultados obtidos após a sintonia ou outros efeitos de configuração do ambiente.

Os alunos pesquisados a respeito do ambiente alegaram que com a implantação deste na disciplina controle de processos a absorção do conteúdo ministrado tornou-se mais eficiente pois outras ferramentas existentes são de configuração mais complexa, ao passo que com o uso desta ferramenta todo o conteúdo desenvolvido na disciplina fica mais integrado.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foram apresentadas as técnicas empregadas para a construção de um ambiente para treinamento em controladores PID, no tocante a sintonia e a identificação do processo para um modelo a três parâmetros.

Os métodos apresentados para a sintonia de controladores PID devem ser comparados para uma mesma planta, a fim de se atingir a melhor performance. Há a necessidade de um compromisso de efetividade da identificação dos parâmetros de sintonia para uma sintonia adequada.

Pode-se observar nos resultados acima o quanto tempo de amostragem influencia na resposta do sistema a um determinado método de sintonia, devendo o mesmo ser escolhido de forma adequada.

O ambiente possui características que o qualificam como importante ferramenta didática podendo ser utilizado para demonstração de diferentes técnicas de sintonia, para processos com características diferenciadas, com análise das dinâmicas resultantes. Torna, de certa forma, mais palpável ao aluno, os procedimentos de sintonia dos controladores, as consequências da escolha dos diversos parâmetros e condições de sua aplicabilidade.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ASTROM, K. ; HAGGLUND, T. **PID controllers: theory, design, and tuning**. North Carolina: Ed ISA.

HERMELY, E. M. **Controle por computador de sistemas dinâmicos**. São Paulo: Ed EDGARD BLUCHER, 1996.

ISERMANN, R. **Digital Control Systems**. New York: Ed SPRINGER-VERLAG, 1977.

MAHDI, T. ; SAEED, T. **Optimal Tuning of PID controllers for first order plus time delay models using dimensional analysis**. In: The Fourth International Conference on Control and Automation, 10-12. Montreal, Canadá, Junho, 2003.

SYNTONY OF CONTROLLERS AND FUNCTIONAL ANALYSIS OF INDUSTRIAL MESHES IN ATMOSPHERE INTEGRATED MULTIFUNCTIONAL

Abstract: *The work presents an integrated atmosphere of teaching in the area of process control. It possesses syntony procedures, starting from the characteristics of the plant. Choose of the time of sampling, and identification of the parameters of systems, important for the controller's syntony they complement the atmosphere, making possible, like this, adaptation of the parameters of controller's PID adjustment, on the part of the operators, technicians and engineers .It allows acquisition of data of processes, incorporating the main average complexities of industrial plants. It makes possible technicians and engineers to consolidate a solid base in elaboration of projects, analysis and controllers' PID syntony. It can be used as didactic tool allowing technicians' training or engineers in the own place of the plant, using simulations or acquiring given directly of the industrial plants in real time.*

Key-words: *Control of Processes, Controllers PID, Syntony, Programming Oriented to Objects.*