



ÍNDICES NÃO INTRUSIVOS UTILIZADOS NO ENSINO DE CONTROLE COM TÉCNICAS DE IDENTIFICAÇÃO EM MALHA ABERTA

Nathalie M. Panoeiro – nathalie.panoeiro@member.isa.org

Kamila P. Rocha – kamila.rocha@member.isa.org

Lindolpho O. de Araujo Júnior – lindolpho@leopoldina.cefetmg.br

Ângelo R. de Oliveira – a.oliveira@ieee.org

Marlon José do Carmo – marloncarmo@ieee.org

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, *Campus III*

Rua José Peres 558 - Centro

36700-000 – Leopoldina – Minas Gerais

Resumo: *O presente trabalho tem por objetivo mostrar a importância da utilização dos índices não intrusivos no ensino em controle bem como mostrar o funcionamento de técnicas de identificação em malha aberta. Tais técnicas auxiliam a propor um modelo ao sistema, pois normalmente o que se conhece de um sistema a ser controlado são as entradas e saídas. Já os índices de desempenho avaliam a qualidade do controle. O trabalho apresenta ainda um estudo de caso em uma função de transferência típica na qual são aplicadas as técnicas de identificação e projetados controladores P, PI e PID. Posteriormente são verificados através de fundamentos matemáticos e testes estatísticos se o sistema foi realmente controlado e a eficiência desse controle. É interessante observar que no ensino de controle os alunos aprendem que um sistema é controlado quando a saída rastreia a entrada, entretanto nem sempre são ensinadas as ferramentas matemáticas para verificar se isso realmente está acontecendo. Tais ferramentas mostram-se eficientes e apresentam credibilidade às informações uma vez que o ideal não é verificar que um sistema foi controlado apenas observando a curva. Outro detalhe importante é que com os métodos de identificação podemos propor modelos de primeira ordem para sistemas que são de ordens superiores ou ainda que não conhecemos a função de transferência isso mostra ao aluno um caráter mais prático da disciplina à medida que na prática normalmente não temos a função de transferência do sistema a ser controlado e sim um modelo obtido.*

Palavras-chave: *Controle, Modelagem, Índices de desempenho, Identificação em malha aberta.*

1. INTRODUÇÃO

Quando se fala em controle de processos leva-se em consideração a existência de um sistema que tem por objetivo manter certas variáveis de uma planta industrial entre os limites de operação desejáveis. Para esses sistemas a intervenção humana pode-se fazer necessária ou

Realização:

 **ABENGE**

Organização:



**O ENGENHEIRO
PROFESSOR É O
DESAFIO DE EDUCAR**



ainda o sistema pode ser automático. Os sistemas de controle podem ser de malha aberta ou de malha fechada. (CAMPOS & TEIXEIRA, 2006)

O controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID) é um dos mais tradicionais meios de controle da indústria. Em uma pesquisa foi observado que mais de 11000 malhas de controle analisadas em diversas plantas, aproximadamente 95% eram controladas com o PID. Isso devido à sua robustez e fácil implementação. (ASTRÖM & HÄGGLUND, 1995).

Existem vários métodos de sintonia para controladores PID. Os mais utilizados são baseados na resposta ao degrau: Ziegler e Nichols, Cohen-Coon e López por exemplo. Estas técnicas se baseiam em modelos identificados para o processo controlado, podendo esse ser de primeira ordem a dois, três ou quatro parâmetros, ou podendo ainda encontrar-se modelos de ordem superior.

As técnicas de identificação propõem um modelo de três parâmetros e baseiam-se na curva de resposta do processo obtida em malha aberta. Embora seja um procedimento gráfico, pode ser adaptado para utilização em algoritmos computacionais (CARMO, 2006).

Uma vez obtido um modelo para o sistema pode-se partir para o projeto do controlador. No presente trabalho serão projetados controladores P, PI e PID utilizando técnicas de identificação de malha aberta e os métodos de Ziegler e Nichols, Cohen-Coon e Chien, Hrones e Reswick com sobrelevação de 20% e sem sobrelevação.

O controlador P (Proporcional) gera uma saída que é proporcional de forma que o fator multiplicativo K_p corresponde ao ganho do controlador. Dessa forma quanto maior o ganho, maior será a ação do controlador. O controlador PI (Proporcional e Integral) gera uma saída proporcionalmente tanto ao erro quanto à integral do erro. Temos T_I que corresponde ao tempo integral e o fator multiplicativo $1/T_I$ que é o ganho integral do controlador. O tempo integral aumenta ou diminui a saída indefinidamente. O controlador PID (Proporcional, Integral e Derivativo) gera uma saída proporcionalmente ao erro, à integral do erro e à derivada do erro. Nesse controlador temos também o fator T_D que é o tempo derivativo do controlador (CAMPOS & TEIXEIRA, 2006).

É importante ainda verificar se o sistema para o qual o controlador foi projetado realmente está controlado com ele. Para isso a medida quantitativa do desempenho do sistema é necessária. A avaliação de desempenho é possível graças a índices tais o IAE (Integral absoluta do erro), ITSE (Integral do erro quadrático vezes o tempo), ITAE (Integral do erro absoluto vezes o tempo), ISE (Integral do erro quadrático) (CARMO & GOMES, 2006), a variância de controle, a média de controle e a variância da saída da malha (COELHO *et al*, 2000). Na prática, é importante levar em consideração que nem todos os critérios de desempenho podem ser satisfeitos simultaneamente.

No ensino em Controle não é comum uma abordagem aprofundada dos índices de desempenho, entretanto eles são de suma importância. Aos alunos é ensinado que um sistema controlado deve rastrear a entrada e que para isso a observação dos gráficos obtidos em simulações é importante.

Atualmente existem ferramentas que possibilitam ao aluno uma melhor interpretação dessas curvas, por exemplo, a utilização dos índices de desempenho. Esses índices comprovam matematicamente e através de testes estatísticos o quanto a saída de um sistema está rastreando a entrada dando dessa forma mais credibilidade à informação. Desse modo, verificar “no olho” se um sistema está controlado não é suficiente. (MAIA *et al*, 2011)

O presente trabalho encontra-se dividido da seguinte forma: na seção 2 fala-se dos métodos de identificação em malha aberta. Fala-se ainda da importância do ensino de tais



métodos nas disciplinas de Controle. A seção 3 apresenta um estudo dos índices de desempenho como ferramentas matemáticas e estatísticas a auxiliar o aluno na verificação do desempenho de uma ação de controle. Na seção 4 é apresentado um estudo de caso levando em consideração os métodos apresentados na seção 2 e o ensino de tais métodos como forma de mostrar ao aluno situações que ele encontrará no ambiente profissional. Na seção 5 são apresentadas as conclusões do presente trabalho.

2. IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS EM MALHA ABERTA

Uma aproximação utilizada para a sintonia de controladores PID é o modelo de três parâmetros. Tal modelo pode ser observado na Equação (1).

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

Na Equação (1) temos k correspondendo ao ganho do sistema, τ é a constante de tempo e L é o tempo morto. Os parâmetros podem ser determinados graficamente, para isso precisamos encontrar na curva de resposta do processo um ponto que se tem 63,2% e outro em que se tem 28% do valor final. Determinados esses pontos pode-se calcular o tempo morto, Equação (2) e a constante de tempo Equação (3) (CARMO, 2006).

$$\tau = 1.5(t_{63\%} - t_{28\%}) \quad (2)$$

$$L = 1.5(t_{28\%} - \frac{t_{63\%}}{3}) \quad (3)$$

Uma vez que o modelado o sistema pode-se partir para o projeto do controlador. No presente trabalho serão projetados controladores pelos métodos de Ziegler e Nichols, Cohen-Coon e Chien, Hrones e Reswick com sobrelevação de 20% e sem sobrelevação.

2.1. Método de Ziegler e Nichols

O trabalho de Ziegler e Nichols propôs uma metodologia objetiva e simples para a sintonia de controladores. No trabalho de Ziegler e Nichols são propostos dois métodos para se obter um modelo da dinâmica de um processo com uma entrada e uma saída. (CAMPOS & TEIXEIRA, 2006)

O primeiro método de Ziegler e Nichols, de sensibilidade limite, baseia-se no período e ganho crítico diretamente, sem a necessidade de sua conversão para um modelo baseado em função de transferência e é um método de malha fechada. Já o segundo é de malha aberta e suas fórmulas são apresentados na Tabela 1. A Tabela 1 apresenta os parâmetros para o cálculo de controladores P, PI e PID a partir das fórmulas de Ziegler e Nichols (CARMO, 2006).

Tabela 1 – Parâmetros P, PI e PID para o método de Ziegler e Nichols

| Controlador | Fórmulas | | |
|-------------|-----------------------|---------------|-------------|
| P | $k_P = (\tau/L)/k$ | - | - |
| PI | $k_P = (0.9\tau/L)/k$ | $T_I = 3,33L$ | - |
| PID | $k_P = (1.2\tau/L)/k$ | $T_I = 2L$ | $T_D = L/2$ |



Deve-se levar em consideração ainda o cálculo de k_I e k_D . As Equações (4) e (5) apresentam respectivamente k_I e k_D .

$$k_I = k_P / T_I \quad (4)$$

$$k_D = k_P T_D \quad (5)$$

2.2. Método de Cohen-Coon

Esse método é utilizado em sistemas com um tempo morto mais elevado, ou seja com um fator de incontabilidade maior que 0,3. Isso porque ele tende a produzir sintonias agressivas. Deve-se levar em consideração entretanto que a dinâmica do processo pode ser adequadamente representada por um sistema de primeira ordem como mostrado na Equação (1) (CAMPOS & TEIXEIRA, 2006).

O método de Cohen-Coon baseia-se na constante de tempo do processo, no tempo de atraso e no ganho estático do processo. A Tabela 2 apresenta as fórmulas para a sintonia de controladores P, PI e PID a partir desse método (CARMO, 2006).

Tabela 2 - Parâmetros P, PI e PID para o método de Cohen-Coon

| Controlador | Fórmulas | | |
|-------------|--|--|-------------------------|
| P | $k_P = \left(\frac{\tau}{L(1+R/3)} \right) / k$ | - | - |
| PI | $k_P = \left(\frac{\tau}{L(10/9+R/12)} \right) / k$ | $T_I = L \left(\frac{30+3R}{9+20R} \right)$ | - |
| PID | $k_P = \left(\frac{\tau}{L(4/3+R/4)} \right) / k$ | $T_I = L \left(\frac{32+6R}{13+8R} \right)$ | $T_D = \frac{4}{13+8R}$ |

Deve-se levar em consideração a variável R que aparece na Tabela (2). A Equação (6) apresenta o cálculo de R.

$$R = L / \tau \quad (6)$$

2.3. Método de Chien, Hrones e Reswick

Esse método fornece uma resposta ao degrau com menor tempo de subida e é uma modificação do método de sintonia de Ziegler e Nichols. Para obter essa resposta utilizaram um método de resposta rápida, sem sobrelevação ou com 20% de sobrelevação, em que os parâmetros são determinados a partir da resposta ao degrau. A Tabela 3 apresenta as fórmulas para a sintonia de controladores P, PI e



PID a partir desse método sem sobrelevação e a Tabela 4 com sobrelevação de 20% (CARMO, 2006).

Tabela 3 - Parâmetros P, PI e PID para o método de Chien, Hrones e Reswick 0%

| Controlador | Fórmulas | | |
|-------------|---|-----------------|-------------|
| P | $k_P = \left(\frac{0,3\tau}{L}\right) / k$ | - | - |
| PI | $k_P = \left(\frac{0,35\tau}{L}\right) / k$ | $T_I = 1,2\tau$ | - |
| PID | $k_P = \left(\frac{0,6\tau}{L}\right) / k$ | $T_I = \tau$ | $T_D = L/2$ |

Tabela 4 - Parâmetros P, PI e PID para o método de Chien, Hrones e Reswick 20%

| Controlador | Fórmulas | | |
|-------------|---|-----------------|---------------|
| P | $k_P = \left(\frac{0,7\tau}{L}\right) / k$ | - | - |
| PI | $k_P = \left(\frac{0,6\tau}{L}\right) / k$ | $T_I = \tau$ | - |
| PID | $k_P = \left(\frac{0,95\tau}{L}\right) / k$ | $T_I = 1,4\tau$ | $T_D = 0,47L$ |

3. ESTUDO DOS ÍNDICES NÃO INTRUSIVOS

Índices não Intrusivos apresentam uma medida quantitativa do desempenho do sistema e podem ser calculados através do acompanhamento da trajetória da variável controlada em relação ao seu valor de referência. Uma malha é considerada uma estrutura de controle ótimo quando seus parâmetros são ajustados de forma que o índice alcance um valor mínimo ou máximo. Isso porque um sistema ótimo deve minimizar ou maximizar esse índice (MAIA *et. al.*, 2006).

De forma a quantificar o erro ocorrido por uma perturbação pode-se utilizar por exemplo critérios baseados na integral absoluta do erro (IAE) que pode ser observada na Equação (7). Uma desvantagem desse método é que é necessário que a simulação seja realizada por um longo período para que seu valor seja significativo.

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (7)$$



Outro critério que pode ser utilizado é a integral do erro quadrático (ISE). Esse é mais utilizado em sistemas com características menos oscilatórias. Possui, entretanto a desvantagem em quantificar em maior escala os erros iniciais que possam ocorrer em sistemas oscilatórios. A Equação (8) apresenta a fórmula desse erro.

$$ISE = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \quad (8)$$

A fim de lidar com o problema de quantificação dos erros iniciais quando a malha é oscilatória utilizam-se a Integral do erro absoluto multiplicado pelo tempo Equação (9) e Integral do erro quadrático multiplicado pelo tempo Equação (10).

$$ITAE = \int_0^{\infty} t|e(t)| dt \quad (9)$$

$$ITSE = \int_0^{\infty} te^2(t) dt \quad (10)$$

Deve-se levar em consideração ainda outros índices de desempenho que são baseados na média e na variância. A média da saída do sistema permite verificar o quanto a saída varia em relação ao valor de referência da malha. Dessa forma quanto maior for o valor da média da saída menor a rastreadibilidade que do sistema, podendo o sistema ter características oscilatórias. Podemos ainda calcular o esforço sobre os elementos atuadores através da média do sinal de controle. Tem-se ainda a variância da saída a fim de saber quanto o sinal se dispersou em relação à média e também a variância do sinal de controle que permite avaliar o esforço do sinal de controle sobre os atuadores (CARMO, 2006).

É interessante verificar que erros bem como a variância e a média são ensinados em disciplinas de estatística, entretanto não é comum aplicá-los nas disciplinas de controle. Por outro lado tais índices mostram-se uma ferramenta de suma importância a fim não só de comprovar que o sistema está controlado bem como verificar seu desempenho. O ensino de tais índices nas disciplinas de controle tem por objetivo uma melhor formação do discente mostrando ao aluno a importância de se comprovar matematicamente aquilo que se observa de forma superficial em um gráfico. Mostra ainda a importância de se verificar o comportamento da saída e o esforço sobre os elementos atuadores. Para o aluno é cômodo apenas observar os gráficos entretanto para trabalhos de fim de curso ou ainda trabalhos acadêmicos é interessante utilizar essas ferramentas.

4. ESTUDO DE CASO

A fim de verificar o modelo de três parâmetros bem como a identificação em malha aberta e a qualidade do controle serão estudados três casos. Tais casos representam exemplos clássicos que discentes de disciplinas de controle se deparam no decorrer do curso. Será aplicado um degrau unitário na entrada do sistema e os valores de tempo morto, constante de tempo e ganho do sistema são obtidos para propor o modelo de três parâmetros. A importância desse modelo está relacionada ao fato de que em situações práticas normalmente não se dispõe da função de transferência e a partir das saídas obtidas ao aplicarmos uma determinada entrada podemos propor um modelo e a partir dele sintonizar um controlador para o sistema inicial utilizando o software MatLab[®] e Simulink. O caso da Equação (11) será estudado.



$$G_1(s) = \frac{100}{(s+3)(s+5)(s+7)} \quad (11)$$

Para a Equação (11) temos os dados para o modelo de três parâmetros sendo, $L = 0.2383$, $k = 0.952$ e $\tau = 0.4867$ obtidos a partir da curva de resposta ao degrau unitário. A Figura (1) representa a sintonia de controladores P. A Linha azul escura corresponde à entrada em degrau unitário. A linha verde corresponde à sintonia do controlador utilizando as fórmulas de Ziegler e Nichols. Linha vermelha corresponde à sintonia do controlador utilizando as fórmulas de Cohen-Coon. As linhas azul claro e roxa correspondem à sintonia do controlador utilizando as fórmulas de Chien, Hrones e Reswick sem sobre-elevação e com sobre-elevação respectivamente.

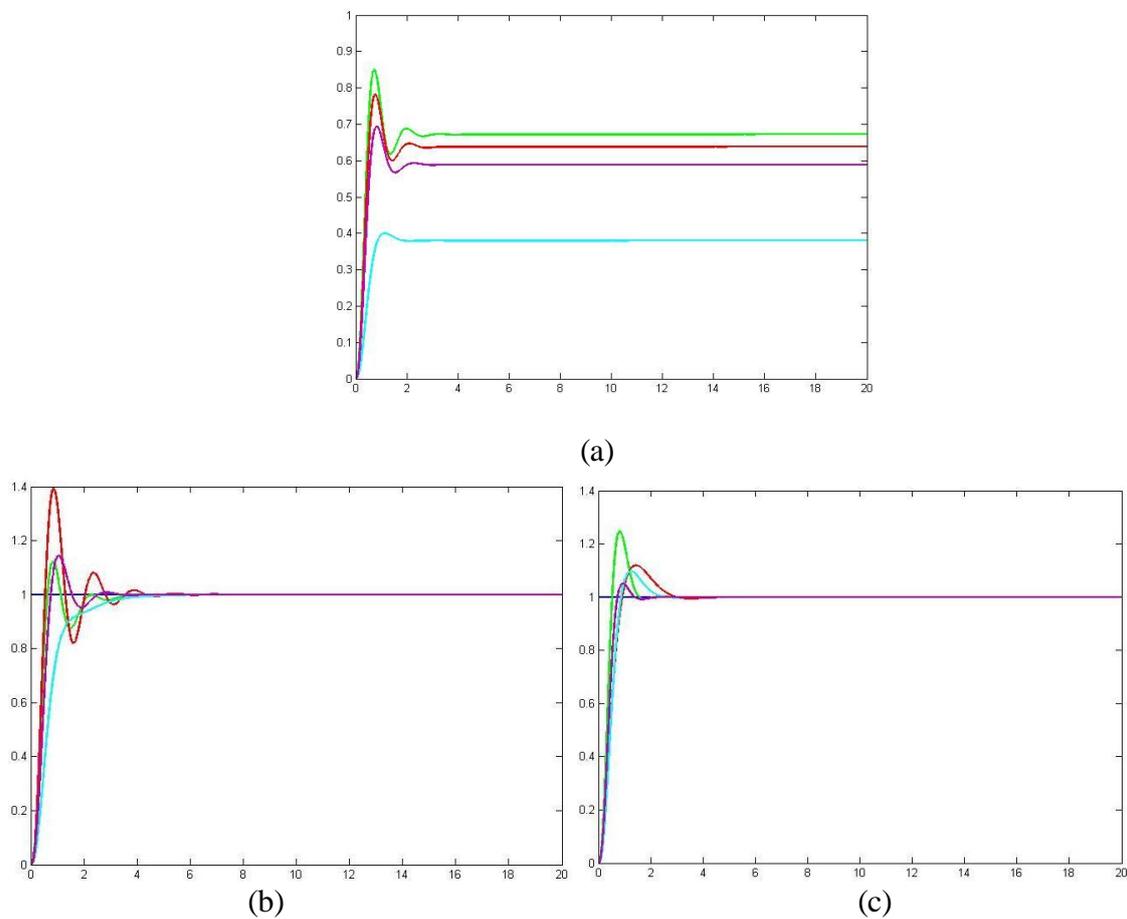


Figura 1 – Sintonia com controladores P (a), PI (b) e PID (c)

Pode-se observar que na Figura 1 (a) o sistema não foi controlado uma vez que a saída não rastreou a entrada. Já nas Figuras 1 (b) e (c) os índices de desempenho indicarão como está a ação de controle. Deve-se, entretanto levar em consideração que na Figura 1 (b) o sistema oscilou mais antes de ser controlado. As Figura 2 (a), (b), (c) e (d) representam os erros ISE, IAE, ITAE e ITSE para a sintonia de controladores P com os métodos de Ziegler e Nichols, Cohen-Coon, Chien, Hrones e Reswick 0% e 20% respectivamente. Nesse caso a ação de controle não foi eficiente e os erros são realmente grandes.

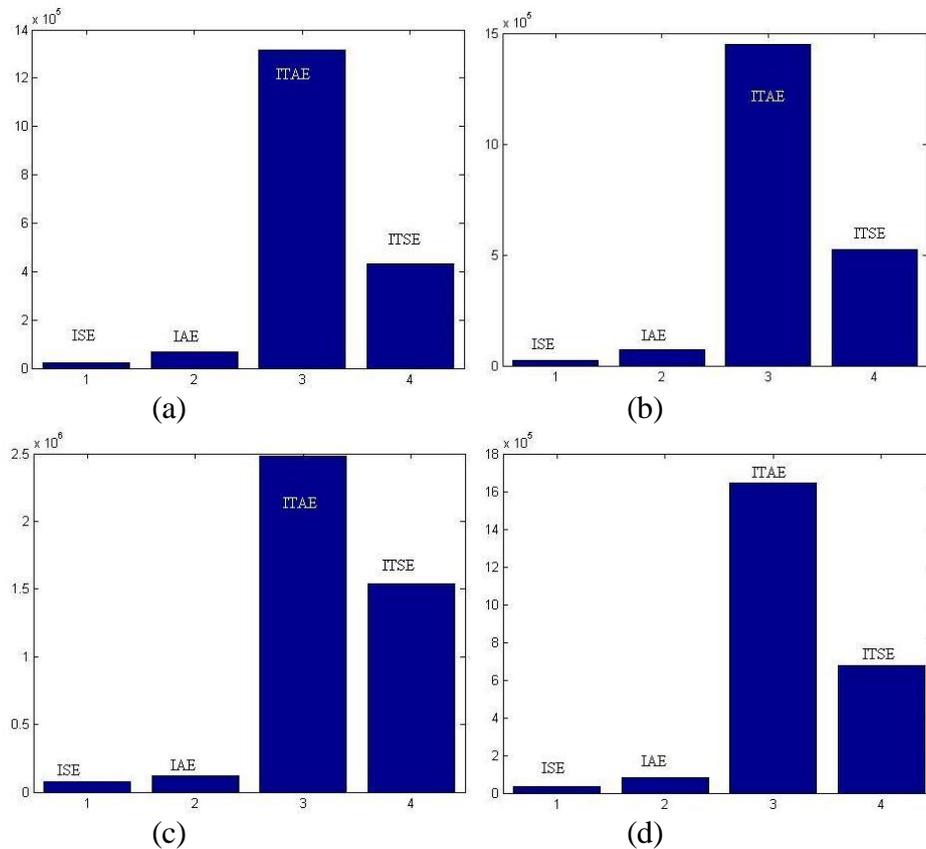
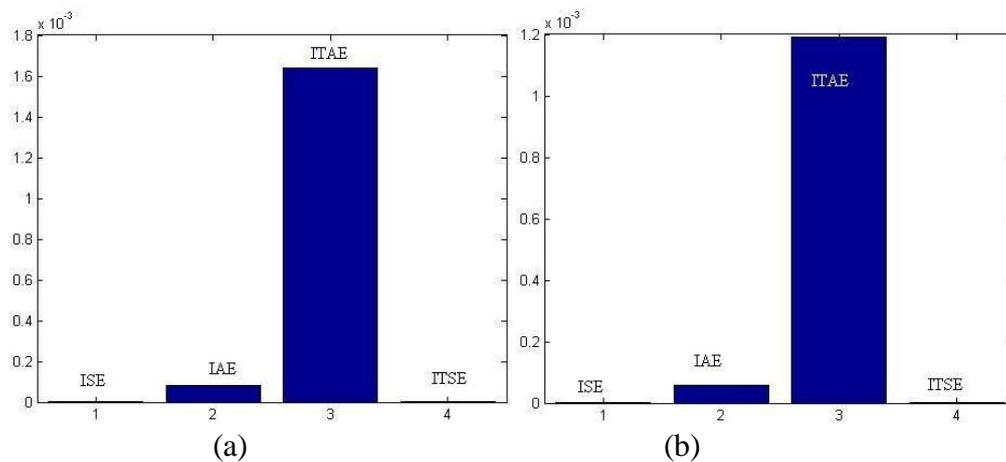


Figura 2 – Erros com controladores P em (a) Ziegler e Nichols, (b) Cohen-Coon, (c) Chien, Hrones e Reswick 0% e, (d) Chien, Hrones e Reswick 20%

As Figura 3 (a), (b), (c) e (d) representam os erros ISE, IAE, ITAE e ITSE para a sintonia de controladores PI com os métodos de Ziegler e Nichols, Cohen-Coon, Chien, Hrones e Reswick 0% e 20% respectivamente. Nesse caso os erros foram bem pequenos sendo o ITAE o maior da ordem de 10^{-7} no método de Chien, Hrones e Reswick 0% e 20%.



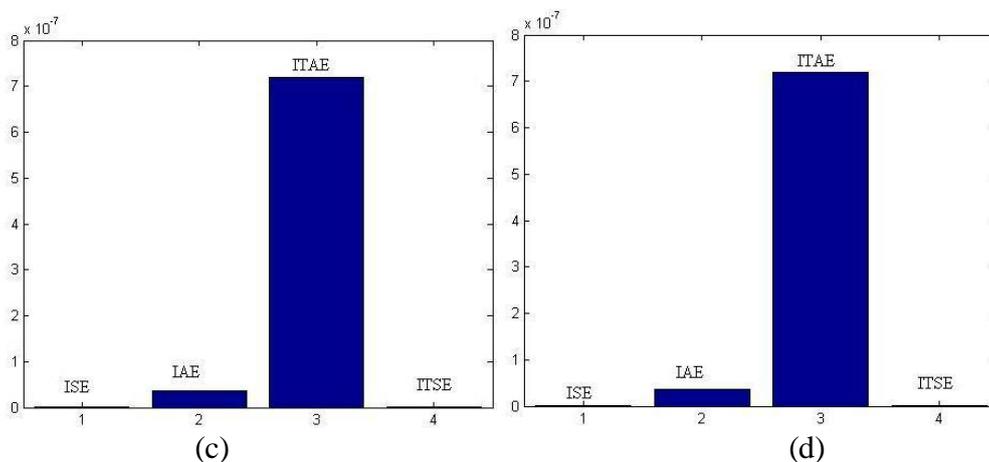
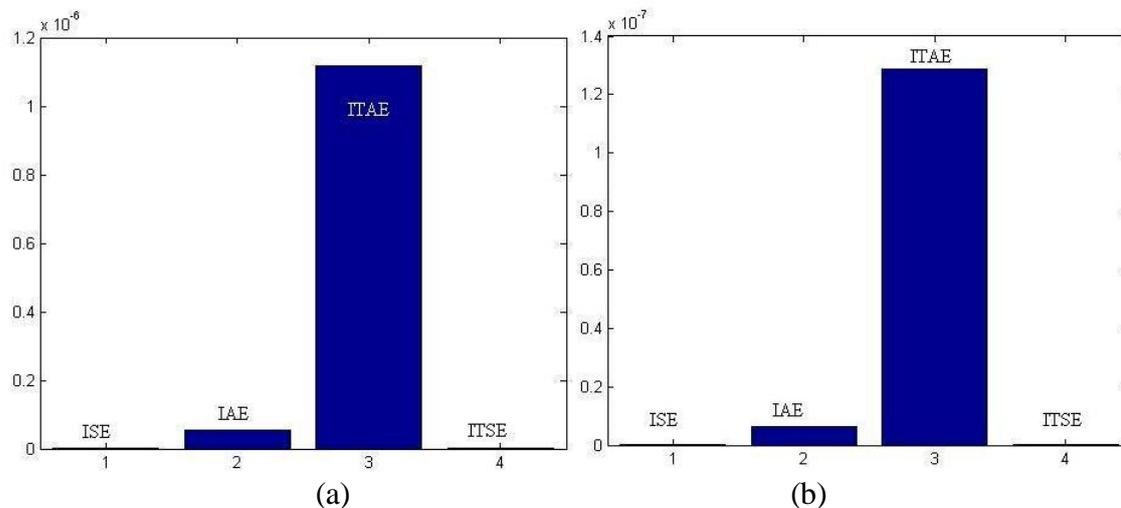


Figura 3 – Erros com controladores PI em (a) Ziegler e Nichols, (b) Cohen-Coon, (c) Chien, Hrones e Reswick 0% e, (d) Chien, Hrones e Reswick 20%

As Figuras 4 (a), (b), (c) e (d) representam os erros ISE, IAE, ITAE e ITSE para a sintonia de controladores PID com os métodos de Ziegler e Nichols, Cohen-Coon, Chien, Hrones e Reswick 0% e 20% respectivamente. Nesse caso o ITAE foi da ordem de 10^{-7} em Cohen-Coon.



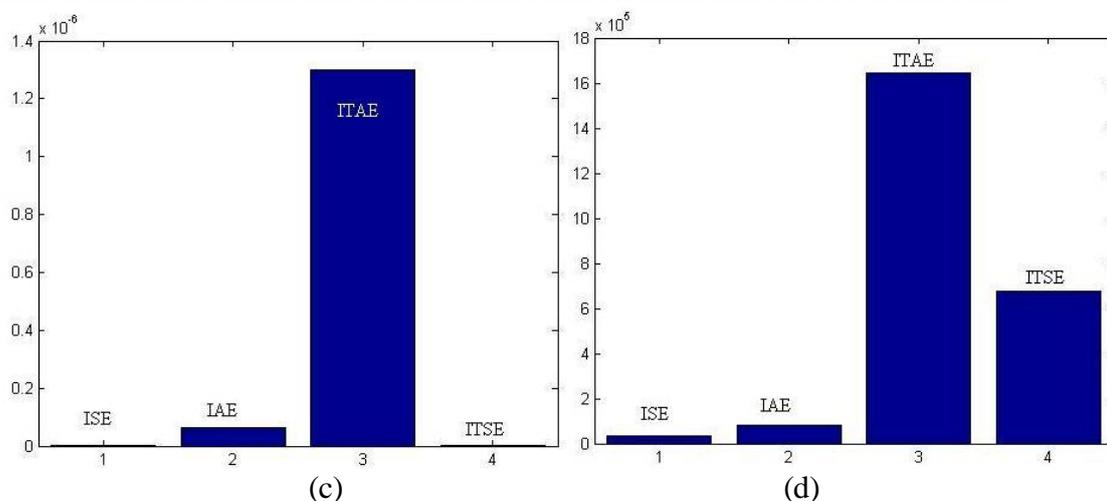


Figura 3 – Erros com controladores PI em (a) Ziegler e Nichols, (b) Cohen-Coon, (c) Chien, Hrones e Reswick 0% e, (d) Chien, Hrones e Reswick 20%

Tem-se também os índices baseados na média e na variância para o controlador P. Os valores encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 – Índices de desempenho baseados na média e variância com controlador P

| Método | Média na Saída | Variância na Saída | Média do sinal de controle | Variância do sinal de controle |
|-----------------------------|----------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Ziegler e Nichols | 0.66399 | 1.17082 | 0.72105 | 5.39216 |
| Cohen-Coon | 0.62948 | 1.07564 | 0.68359 | 3.66153 |
| Chien, Hrones e Reswick 0% | 0.37212 | 4.71786 | 0.40422 | 1.95550 |
| Chien, Hrones e Reswick 20% | 0.58039 | 9.50287 | 0.40422 | 1.23689 |

Na Tabela 6 podem-se observar os índices baseados na média e variância para o controlador PI.

Tabela 6 – Índices de desempenho baseados na média e variância com controlador PI

| Método | Média na Saída | Variância na Saída | Média do sinal de controle | Variância do sinal de controle |
|-----------------------------|----------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Ziegler e Nichols | 0.97841 | 2.93838 | 1.06285 | 4.70904 |
| Cohen-Coon | 0.99998 | 3.51236 | 1.07368 | 1.00857 |
| Chien, Hrones e Reswick 0% | 0.99998 | 4.98581 | 1.04261 | 1.16245 |
| Chien, Hrones e Reswick 20% | 0.99999 | 3.52686 | 1.06465 | 2.02959 |

Na Tabela 7 podem-se observar os índices baseados na média e variância para o controlador PID.



Tabela 7 – Índices de desempenho baseados na média e variância com controlador PID

| Método | Média na Saída | Variância na Saída | Média do sinal de controle | Variância do sinal de controle |
|-----------------------------|----------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Ziegler e Nichols | 0.99026 | 2.78595 | 1.07530 | 7.91873 |
| Cohen-Coon | 0.99999 | 3.62709 | 1.06709 | 1.01877 |
| Chien, Hrones e Reswick 0% | 0.99999 | 3.64033 | 1.06465 | 1.00875 |
| Chien, Hrones e Reswick 20% | 0.99999 | 2.97635 | 1.06575 | 2.96754 |

Observando-se as Tabelas (5), (6) e (7) pode-se verificar a partir da média na saída que o sinal foi mais bem controlado com controladores PI e PID, entretanto a menor variância na saída foi com os controladores PID. A média do sinal de controle foi semelhante nas tabelas (6) e (7).

5. CONCLUSÃO

No controle de um processo o sistema procura manter certas variáveis entre os limites de operação desejáveis. Há vários meios de controle na indústria e um dos mais tradicionais é a partir de controladores PID e para esses controladores existem métodos de sintonia. No presente trabalho foram apresentados os métodos de identificação de malha aberta de Ziegler e Nichols, Cohen-Coon e Chien, Hrones e Reswick com sobrelevação de 20% e sem sobrelevação. Uma vez que o controlador é projetado é interessante utilizar índices não intrusivos para verificar não só o desempenho do sistema mais também a qualidade da ação de controle. A partir de um estudo de caso em uma função de transferência de terceira ordem foi proposto um modelo de três parâmetros e a partir desse modelo foram projetados controladores P, PI e PID com os métodos de identificação de malha aberta. As ações de controle foram também verificadas e comparadas.

É interessante observar que o estudo dos métodos de identificação bem como dos índices de desempenho são de suma importância ao aluno de graduação. Os métodos de identificação auxiliam no projeto de controladores e cada um possui suas características, sendo alguns mais indicados para situações específicas como em sistemas com atraso de transporte. Já os índices não intrusivos mostram-se ferramentas poderosas na verificação do desempenho do sistema, fornecendo informações que nem sempre são percebidas apenas observando a curva das saídas.

Por tudo isso, o estudo de caso mostrou como controladores P, PI e PID atuam no controle de um sistema e os índices mostraram o comportamento do mesmo. Pode-se ainda observar que para cada método de sintonia foi obtida uma curva diferente de forma que para situações diferentes métodos de sintonia diferentes são requeridos, dependendo de características como amplitude da oscilação inicial, tempo de subida e etc.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao MEC/SESu, FNDE, CAPES, FAPEMIG, Fundação CEFETMINAS e CEFET-MG pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTRÖM, K. J.; HÄNGGLUND, T. *PID controllers: Theory, Design and Tuning*. Instrument Society of America, 2nd.ed. North Carolina, 1995.

CAMPOS, Mario Cesar M. Massa de; TEIXEIRA, Herbert C. G. *Controles típicos de equipamentos e processos industriais*. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2006. 5 p, il.

CARMO, Marlon José do; UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, ambiente educacional multifuncional integrado para sintonia e avaliação do desempenho de malhas industriais de controle, 2006. 150p, il. Tese (Mestrado).

CARMO, M. J.; GOMES, F. J. Diagnóstico de controladores PID e performance de malhas industriais em ambiente multifuncional integrado. **Anais**: CLCA XII Latin American Congress on Automatic Control. Salvador: UFBA, 2006.

COELHO, A. A. R.; ALMEIDA, O. M.; COELHO, L. S. Controlador nebuloso PID auto-ajustável com especificação de margem de fase e de ganho: implementação e análise de um processo não linear de luminosidade. **Anais**: XIII – Congresso Brasileiro de Automática. Florianópolis, 2000.

MAIA, F. B.; CARRARO, L. O.; FERREIRA, M. S.; CARMO, M. J. Auditoria da identificação e controle de malhas que operem com atraso de transporte utilizando índices não intrusivos. **Anais**: XIV – Encontro de modelagem Computacional, II– Encontro de Ciência e Tecnologia de Materiais. Nova Friburgo: IPRJ, UERJ, 2011.

NON INTRUSIVE INDICES APPLIED IN CONTROL TEACHING WITH OPEN LOOP IDENTIFICATION METHODS

Abstract: *This document presents the importance of the not intrusive indices in Control teaching and also presents open loop identification techniques. These techniques help the construction of the system model, because usually only the inputs and outputs are known. The performance indices evaluate the control quality. This work presents also a study with a transfer function, in which the identification techniques are applied and P, PI and PID controllers are projected. Math foundations and statistic tests are used to verify the controllability and the efficiency of the control action. It's interesting to observe that in control teaching the students learn that in a controlled system the output follows the input but no longer math tools are taught and used to verify if it's really happening. These tools have being really efficient and present credibility to the information obtained, once that just observing the graph isn't accurate. Another important point is that with identification techniques, a first order model can be used on a higher order system or even on a unknown system. This shows the student a practical view of the situation once the transfer function of the system to be controlled is usually unknown and this way, obtain a model is necessary.*

Key-words: *Control, Modeling, Performance indices, Open loop identification*