



2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA MATLAB-SIMULINK PARA IDENTIFICAÇÃO DE PROCESSOS E SINTONIA DE MALHAS APLICADA A UMA PLANTA PILOTO HDT

Viviane Fonseca, Ofélia Araújo, Carlos André Vaz Jr.

UFRJ – Escola de Química, CT - Ilha do Fundão - Bloco E, vfonseca@eq.ufrj.br

Resumo – Este trabalho apresenta uma ferramenta para a identificação de processos e sintonia de malhas PID, aplicada a uma planta piloto petroquímica referente ao processo de hidrogenação de gasolina de pirólise (HDT), localizada na Escola de Química da UFRJ em projeto conjunto com a empresa COPENE. Para a obtenção da ferramenta é utilizado o *software* MATLAB e a sua biblioteca Simulink, exercendo as funções de otimização e simulação, respectivamente. Dados de entrada e saída da planta foram utilizados para a identificação do processo em malha aberta, realizada através da estimativa de funções de transferência complexas pelo método dos mínimos quadrados. A sintonia da malha de controle de pressão do reator é determinada através dos parâmetros da função de transferência estimados na identificação, pelo método de minimização da integral do erro de regime permanente (ITAE). As informações obtidas são aceitas caso um critério de convergência seja atingido. Os resultados da sintonia da malha permitem que a resposta de controle de pressão seja satisfatório, podendo estender-se a outros processos químicos.

Palavras-Chave: HDT; identificação; simulação; sintonia; PID

Abstract – This research presents a process identification and PID tuning tool, applied to a HDT pilot plant, located at Chemistry School of University of Rio de Janeiro – Brazil, with collaboration of a petrochemical industry named COPENE. MATLAB and its library Simulink are used to obtain the tool, which accomplishes the functions of system optimization and process simulation, respectively. In and out plant data are obtained and used to make the open-loop process identification through the transfer functions estimation, in agreement with the least squares method. The control loop tuning of the reactor pressure is determined through the transfer functions parameters estimated in the previous identification, based in the ITAE method. All obtained information is accept if the convergence criteria is achieved. The tuning results allow the success of the pressure control response and the tool could be used with other chemical processes.

Keywords: HDT, identification, simulation, tuning, PID

1. Introdução

A complexidade dos sistemas dinâmicos na indústria química tem viabilizado a construção e utilização de métodos computacionais avançados para a simulação, identificação, otimização e controle de processos. Entretanto, controladores do tipo PID ainda são usados em larga escala, devido a sua robustez e simplicidade.

Os ajuste do controlador deve ser realizado adequadamente, obedecendo às características do processo, sendo que para isso a sua dinâmica deve ser conhecida. Neste caso, as ferramentas computacionais são extensivamente utilizadas na identificação de processos, quando há o envolvimento de sistemas complicados ou cujos dados são de difícil obtenção.

O *software* MATLAB da Mathworks é uma poderosa ferramenta matemática cujo uso difundiu-se da área acadêmica para a industrial, passível de ser empregado em todas as etapas de um processo como projeto, operação e otimização, possibilitando seu uso *on-line* e *off-line*. Já o Simulink é uma biblioteca de simulação pertencente ao ambiente MATLAB, de grande utilidade no controle de processos químicos por possuir módulos específicos.

Deste modo, foi desenvolvida uma ferramenta em MATLAB-Simulink, capaz de identificar a dinâmica do processo de uma planta piloto de hidrogenação de gasolina de pirólise (HDT) e sintonizar os parâmetros PID da malha de controle de pressão no reator. A Unidade HDT está localizada na Escola de Química da UFRJ e é mantida por projeto ligado à empresa COPENE.

O trabalho consiste das seguintes etapas: Elaboração da ferramenta de identificação do processo; Teste da ferramenta com pseudo-experimento; Elaboração da ferramenta para sintonia da malha. Os resultados deste trabalho consistem na identificação do pseudo experimento e na aplicação das ferramentas à planta piloto HDT.

A identificação foi realizada em termos de uma única função de transferência global em malha aberta, pelo método dos mínimos quadrados, sem restrições quanto a sua complexidade. A sintonia foi obtida pelo ajuste dos parâmetros k_c , τ_i e τ_D , pela minimização da integral do erro de regime permanente (ITAE).

Os resultados obtidos foram aplicados no ajuste do controlador da planta piloto, cuja ação de controle de pressão apresentou comportamento satisfatório, indicando que a ferramenta construída é um método eficiente para a identificação e sintonia de controladores PID.

2. Justificativas

A identificação de processos para fins de controle de malhas pode se tornar pouco viável, dependendo do método empregado. A obtenção de funções de transferência efetuada item por item é impraticável para plantas industriais, por sua complexidade e pela impossibilidade de intervenções e de medições.

Entretanto, o conhecimento da dinâmica do processo é imprescindível para que seja realizada a sintonia de malhas de controle. Para isto existem diversos métodos de obtenção da função de transferência empírica, baseando-se principalmente na aplicação de perturbações e leitura da resposta ao longo do tempo. Porém, nestes métodos é necessário o conhecimento prévio do comportamento do processo em relação a sua ordem, à presença de tempo morto, entre outras características. Esta restrição faz com que processos mais complicados ou desconhecidos não possam ser modelados de maneira eficiente.

É possível destacar algumas vantagens da ferramenta desenvolvida em relação a métodos estabelecidos:

- Modelo Empírico: sem a necessidade de modelos físicos e químicos rigorosos. Obtenção rápida e simples.
- Modelo Prático: minimiza erros pois o modelo é obtido pela próprio processo;
- Modelo Completo: obtém-se a função de transferência que engloba todos os acessórios, equipamentos, dutos e instrumentação, sem a necessidade de identificação individual;
- Poucas informações requeridas: apenas as variáveis de entrada e saída são necessárias. Em caso de total desconhecimento da dinâmica, várias combinações podem ser testadas, até que o arranjo ótimo seja obtido;
- Método Eficaz: o processo é identificado através de critérios de minimização de erros consolidados.

3. Metodologia

Os dados de entrada e saída foram obtidos experimentalmente na planta piloto, através de perturbações aplicadas na variável manipulada (entrada – abertura da válvula) e do registro da resposta do processo (saída - pressão). As informações resultantes foram armazenadas no histórico do sistema de supervisão FIX MMI da Intellution, utilizado na planta como interface homem-máquina. A Figura 1 apresenta um esboço da planta piloto mostrada na tela do FIX.

3.1. Ferramenta de identificação de processos

O processo HDT foi esboçado em ambiente Simulink, de modo que todos acessórios, equipamentos e instrumentos fossem agrupados em um único subsistema denominado Processo, conforme mostrado na Figura 2. Este subsistema contém as informações da dinâmica do processo em relação ao tipo de função de transferência e valores para os zeros pólos e tempo morto desta função.

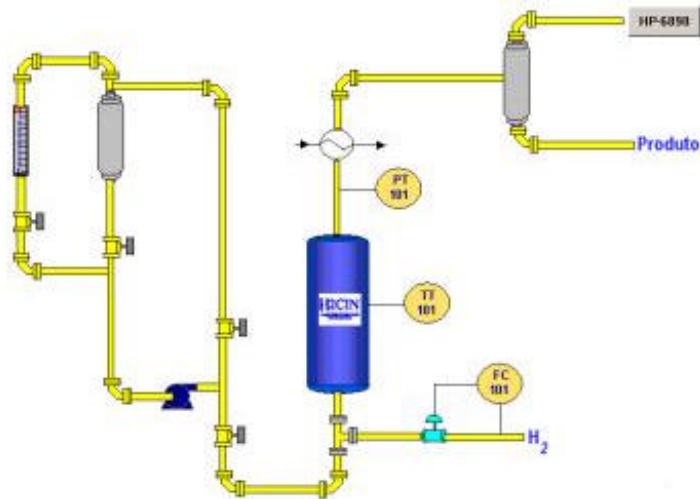


Figura 1. Processo HDT visualizado no sistema de supervisão

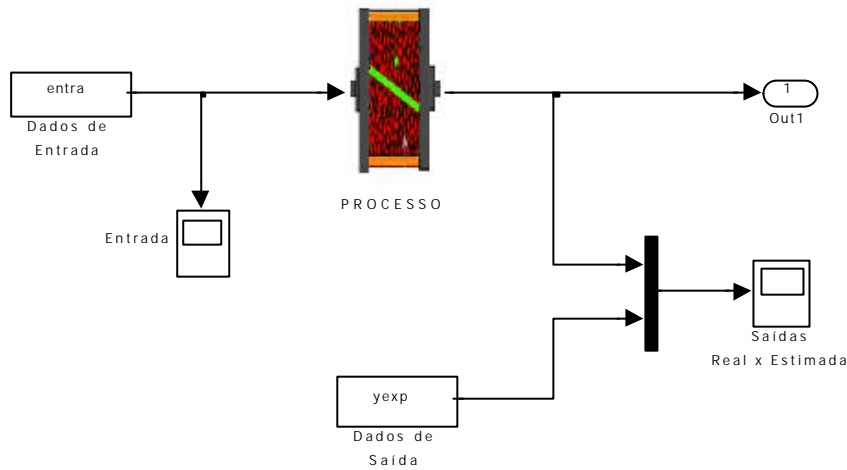


Figura 2. Visualização da ferramenta de identificação no Simulink

Os dados obtidos no teste experimental da planta são informados através dos blocos “Dados de Entrada” e “Dados de Saída”. Pode-se testar várias configurações para as funções de transferência. Utilizou-se como ponto de partida para os testes de modelos uma configuração a qual considera que a dinâmica do processo apresenta característica de 2ª ordem com tempo morto, termo integrador e um zero. A Figura 3 ilustra a estrutura interna do subsistema Processo com o modelo mais complexo testado.

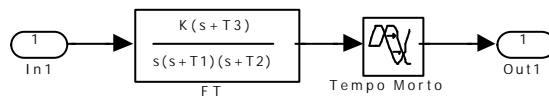


Figura 3. Visualização interna do subsistema Processo contendo a função de transferência

Os parâmetros T1 e T2 são os pólos, T3 é o zero e K é o ganho. O tempo morto é representado por θ e está oculto no bloco de mesmo nome.

Na ação conjunta dos softwares, o MATLAB obtém do Simulink a curva de resposta anteriormente estimada por ele próprio e a curva verdadeira, através das quais efetua os cálculos de minimização dos critérios e estima novos parâmetros. O Simulink utiliza os novos parâmetros a fim de proceder a simulação e enviar uma nova curva estimada para o MATLAB. Estas ações são repetidas até que o critério de convergência seja aceito. Os comandos são realizados através de código desenvolvido no MATLAB. A ferramenta retorna os valores dos parâmetros da função de transferência testada. Obtém-se gráficos das curvas real e estimada da resposta do processo ao longo do tempo, número de iterações da função de minimização até que a convergência seja atingida, resíduos e o coeficiente de correlação entre as curvas.

3.2. Teste com pseudo experimento

Para fins de validação da ferramenta desenvolvida e sua posterior aplicação na planta piloto de HDT, utilizou-se dados referentes a um pseudo experimento, gerado no ambiente Simulink. Este foi construído utilizando-se uma entrada aleatória (perturbação), afetando um processo definido por parâmetros da função de transferência previamente estipulados (processo conhecido). Obteve-se então a curva de resposta do sistema à perturbação aplicada.

Com os dados de entrada e saída aplicou-se a ferramenta de identificação para a obtenção dos parâmetros. Estes foram comparados com os originais de modo que a conformidade entre estes valores servisse como um indicador da eficiência da ferramenta desenvolvida. A comparação gráfica entre as saídas real e estimada também foi utilizada como método de validação.

3.3. Ferramenta de sintonia de malhas

O processo é novamente esboçado em ambiente Simulink, adicionando-se blocos referentes ao controle da malha. O bloco PID apresenta os parâmetros do controlador, os quais serão estimados pelo MATLAB de modo semelhante à ferramenta de identificação. A função objetiva a ser minimizada é a integral do erro de regime permanente (ITAE). Sendo assim, o MATLAB informa novos valores dos parâmetros ao Simulink, que efetua uma nova simulação, até que o critério de convergência seja atingido. A Figura 4 mostra a tela do Simulink com ferramenta de sintonia.

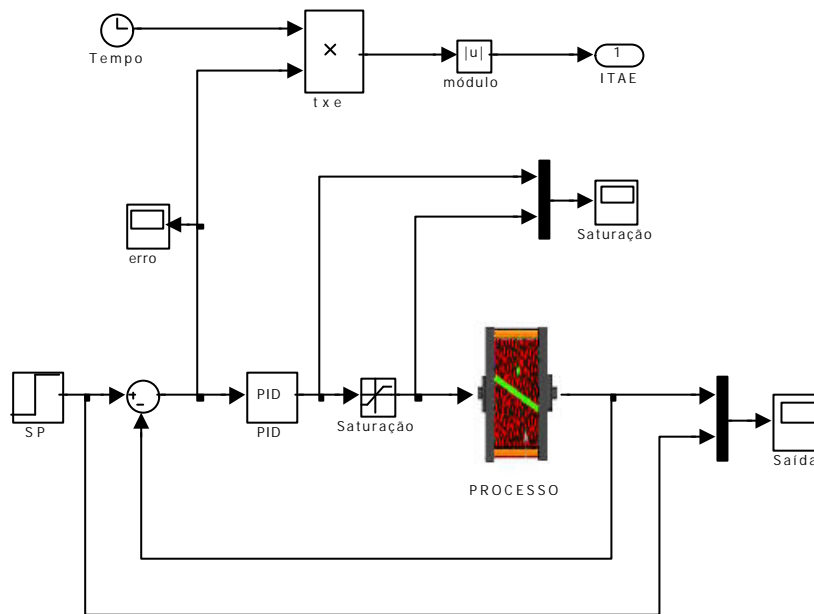


Figura 4. Visualização da ferramenta de sintonia no Simulink

O bloco PID contém informações sobre os parâmetros do controlador que serão estimados pela ferramenta. O bloco de saturação é necessário para que a saída do controlador seja restringida aos valores reais do elemento final de controle (neste caso a válvula). O ITAE é calculado em bloco específico de acordo com o sinal do erro do controlador. O bloco SP é a perturbação que será efetuada no valor do *setpoint* do controlador, caracterizando uma operação servo.

A ferramenta de sintonia retorna a estimativa dos parâmetros do controlador P, I e D referentes às ações proporcional (k_c), integral (τ_I) e derivativa (τ_D) da lei de controle. Também são obtidos os valores do ITAE, o número de iterações e gráficos temporais do sinal do erro do controlador e do ITAE.

4. Resultados e Discussão

4.1. Identificação do pseudo experimento

A aplicação da ferramenta ao pseudo experimento formulado foi adequada, retornando um coeficiente de correlação entre as saídas real e estimada de 0,9998, indicando que a ferramenta é satisfatória como método de identificação.

4.2. Aplicação da ferramenta ao processo HDT

Foram testados mais de 10 tipos de funções de transferência. A Tabela 1 mostra alguns resultados obtidos.

Tabela 1. Resultados comparativos entre alguns modelos testados

Modelo	Identificação		Sintonia		
	Resíduo	Iterações	ITAE	Parâmetros	
$\frac{k.e^{-qs}(T3+s)}{s(T1+s)(T2+s)}$	0,9426	241	33.6	P I D	-495.4 ~ 0 99.4
$\frac{k.e^{-qs}}{(T1+s)(T2+s)}$	4,485	148	1273	P I D	-498 ~ 0 93.1
$\frac{k.e^{-qs}(T3+s)}{(T1+s)}$	2,0567	140	1996	P I D	-414 3.37 93.1

De acordo com os resultados encontrados, verifica-se que o primeiro modelo é o mais adequado, devido aos valores finais do ITAE, do resíduo e do número de iterações. Notou-se também que as funções de transferência as quais possuem termo integrador se mostraram mais satisfatórias, e as que não o possuem, apresentaram valores muito baixos para os parâmetros do denominador, indicando um comportamento integrador.

Porém, constata-se que independente do modelo utilizado os valores para a sintonia não variam significativamente, mostrando que existiu uma coerência entre as funções de transferência consideradas.

Os parâmetros obtidos no primeiro modelo serão utilizados na sintonia da malha de pressão. A Figura 5 mostra a comparação entre a resposta real e a estimada para este modelo. Pode-se constatar uma boa aderência da resposta estimada à verdadeira, apresentando um coeficiente de correlação de 0,9994.

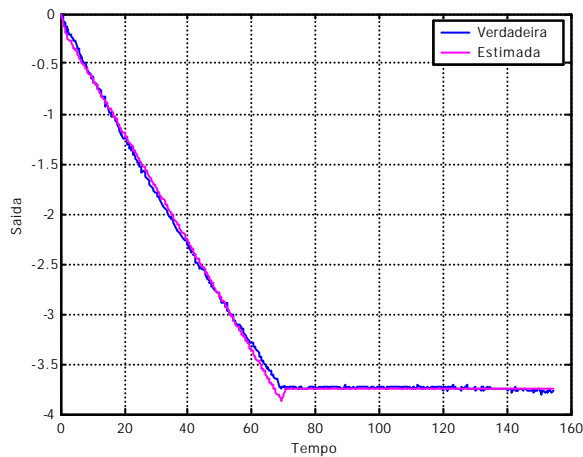


Figura 5. Comparação entre as saídas real e estimada para o modelo escolhido.

Os valores dos parâmetros do PID foram convertidos para k_c , τ_i e τ_D e são ilustrados na Tabela 2, os quais mostram a tendência existente de tornar o termo integral desprezível, já que a equação de controle relaciona o inverso do valor de τ_i . Isto pode ser explicado por se tratar de um processo integrador, não necessitando de ação integral na estratégia de controle.

Verifica-se também que o sistema é lento devido ao valor alto do ganho proporcional (k_c). Porém este valor não pode ser usado tal qual foi obtido, devido a sua grande ordem de grandeza. Entretanto, o valor de k_c serve como um indicador de que o ganho do controlador deve ser ajustado de modo que seja proporcionalmente alto. A Figura 6 ilustra a ação do controlador frente a uma perturbação de $-0,10$ no valor do *setpoint*.

Tabela 2. Resultados do ajuste do controlador

Ação		Valor
k_c	proporcional	~500
τ_i	integral	~ ∞
τ_D	derivativa	0,20

O ajuste do controlador na própria planta foi realizado conforme tendências encontradas pelas ferramentas utilizadas. Foi feita uma sintonia fina dos valores dos parâmetros do controlador, de modo que a ação de controle se mostrasse satisfatória.

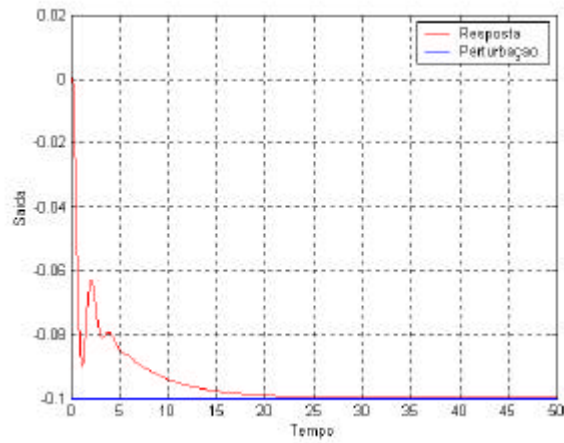


Figura 6. Resposta do controlador para uma perturbação degrau de -0,10 no *setpoint*

Os valores utilizados no controlador foram $k_c = 15$, $t_I = 999$ (anula a ação) e $t_D = 0,10$. O valor de t_D foi diminuído, pois esta ação amplifica ruídos e o sistema se mostrou bastante oscilatório. Porém, esta ação não pode ser completamente desprezada, pois sendo o processo lento, ela é necessária na diminuição do tempo de resposta. A Figura 7 mostra a ação de controle após a sintonia adotada, em operação com *setpoint* de 30 bar para a pressão.

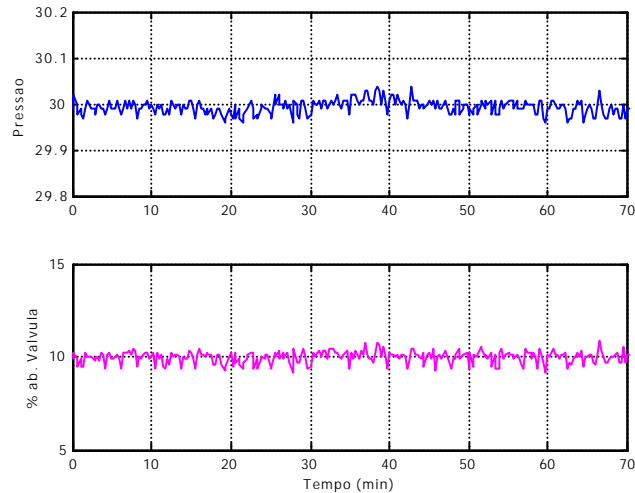


Figura 7. Resultado da ação de controle para o ajuste determinado pela ferramenta

5. Conclusão

A ferramenta desenvolvida pode ser eficientemente utilizada na identificação de processos e na sintonia de malhas, os quais possibilitem a obtenção de dados de entrada e saída. Porém, deve-se considerar que pelo fato de a simulação não reproduzir exatamente o comportamento do processo, os valores obtidos indicarão na maior parte das vezes uma tendência dos parâmetros, e não seus valores absolutos.

6. Referências

- COELHO, L. S., COELHO A. A. R. Algoritmos evolutivos em identificação e controle de processos: uma visão integrada e perspectivas. SBA Controle & Instrumentação, v. 10, n. 1, 1999a.
- PARK, J. H., PARK H. I., LEE I. B. Closed-loop on-line identification using a proportional controller. Chemical Engineering Science, v. 53, n. 9, p. 1713-1724, 1998.
- SEBORG, D. E., Edgar, T. F., Mellichamp, D. A. Process Dynamics and Control. John Wiley and Sons, New York, 1989.
- SUNG, S. W., LEE, I. B., LEE, J. New process identification for automatic design of PID controllers. Automatica, v. 34, n. 4, p. 513-520, 1998.