



SISTEMA DIDÁTICO DE FLUXO DE CALOR PARA ESTUDO DE CONTROLE DE PROCESSOS

Miguel Barbosa de Argolo¹ e Taniel Silva Franklin²

¹ SENAI CIMATEC, E-mail: argolo.mb@gmail.com

² SENAI CIMATEC, E-mail: taniel.franklin@fieb.org.br

DIDACTIC HEAT FLOW SYSTEM FOR PROCESS CONTROL STUDY

Resumo: O controle de processos industriais deve ser precedido da identificação da planta/processo. Técnicas de identificação e controle de processos industriais vêm sendo desenvolvidas ao longo dos anos, entretanto durante a formação acadêmica do profissional em controle e automação nem sempre um processo está disponível para identificação e controle. Neste trabalho foi construído um sistema didático de fluxo de calor como forma de simular um processo industrial a ser identificado e controlado. Duas técnicas de identificação foram empregadas, a resposta ao degrau proposta por Ziegler-Nichols e a técnica de resposta em frequência induzido por relé padrão. O controle da planta foi feito em malha fechada com PID, um sintonizado pelos parâmetros indicados por Ziegler-Nichols e outro pelo critério de minimização da integral do erro absoluto. As duas estratégias de sintonia do controlador e identificação do processo mostraram-se eficazes, alcançando o set-point desejado na planta.

Palavras-Chaves: *Ziegler-Nichols; Identificação; Controle; PID; Processos; Relé Padrão;*

Abstract: The control of industrial processes must be preceded by the identification of the plant / process. Techniques of identification and control of industrial processes have been developed over the years, however during the academic training of the professional in control and automation a process may not always be available for identification and control. In the present study, a didactic system of heat flow was constructed as a way to simulate an industrial process to be modelled and controlled. Two identification techniques have been employed, the response to the step, proposed by Ziegler-Nichols, and the standard relay method. The control of the plant was done in closed loop with PID, one tuned by the parameters indicated by Ziegler-Nichols and another by the criterion of minimization of the integral of the absolute error. These two strategies of controller tuning and process identification were effective, reaching the set point desired in the process.

Keywords: *Ziegler-Nichols, Identification, Control, PID, Process, Standard Relay;*



1. INTRODUÇÃO

O controle de processos industriais é um ramo de importância crescente na indústria, permitindo maximizar a produção e minimizar os custos, sem desconsiderar a qualidade, segurança na operação e flexibilidade de manufatura (1). Plantas didáticas e plantas pilotos são alternativa prática ao ensino de controle de processos industriais objetivando o desenvolvimento integrado da fundamentação teórica vista em sala de aula, com o desenvolvimento de soluções reais para os problemas existentes na indústria (2).

Processos controlados por malha fechada são encontrados em sistemas biológico e tecnológicos, o princípio básico é que uma correção deva ser tomada sempre que houver uma diferença entre o objetivo desejado e o objetivo atual. Um típico controlador que é acionados pela diferença entre o valor atual e o valor desejado é o controle on-off, uma das estratégias de controle mais simples, por exemplo, termostatos, pressostatos. Sua implementação tem um custo reduzido entretanto sua reação ao erro é superestimada na medida que a variável de controle atua em toda sua amplitude (3).

Controladores PID são maioria nas plantas industriais, porém nem sempre estão bem sintonizados, de acordo com Desborough(1998) em estudo realizado nos Estados Unidos, 36% dos controladores mesmo na configuração PID, não atuam em malha fechada pois ou estão saturados ou em modo manual. Estudos publicados pela U.K.'s Energy Efficiency Best Practices Program, indicam que um ajuste no controladores PID podem diminuir de 5 à 15% no consumo energético, um aumento de produção de 2% à 5% e um ganho de qualidade aproximado de 25% à 50% (4)(5).

Diante disto, a identificação correta do sistema é peça fundamental para a escolha da abordagem utilizada para seu controle. A identificação do sistema se concentra com os meios e as técnicas para estudo do processo, através da observação e dos dados experimentais, principalmente pela descrição matemática concisa do processo. Basicamente se encontram quatro áreas no estudo de identificação de sistemas: modelagem, análise, estimação e controle (6)(7).

Este trabalho mostra duas técnicas diferentes de identificação de sistemas e controle de processos industriais a partir da construção de um sistema didático de fluxo de calor e sua integração com o software para controle e aquisição de dados. A análise é feita com base na aquisição dos dados experimentais.



2. METODOLOGIA

O sistema didático de fluxo de calor foi montada de acordo com o esquema simplificado na Figura 1, contendo uma ventoinha, um elemento aquecedor resistivo, três sensores de temperatura do tipo NTC com espaçamento de 10 centímetros entre eles, montado num tubo de PVC com 75mm de diâmetro e comprimento total de 400mm, Figura 2. Dois circuitos eletrônicos, incluídos no apêndice A, foram desenvolvidos. Um para controle do elemento aquecedor, outro para aquisição e condicionamento do sinal proveniente dos sensores de temperatura. A interface com o software MATLAB® é feita com uma placa Arduino® Mega 2560.

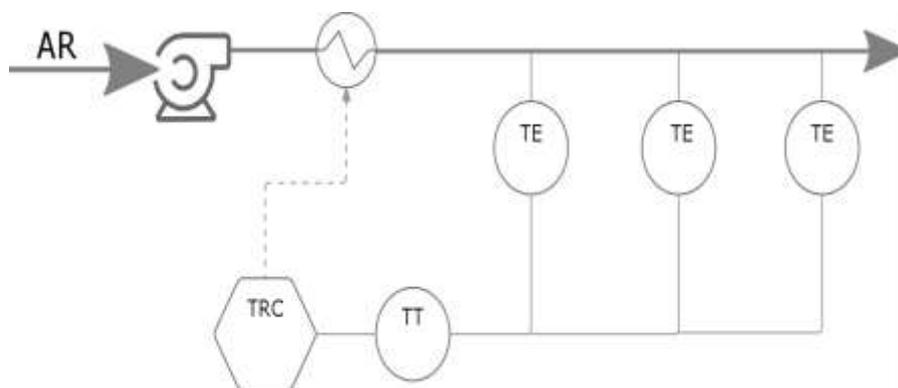


Figura 1. Modelo simplificado do Sistema Didático de Fluxo de Calor.

Os sensores de temperatura são do tipo resistivo com coeficiente de temperatura negativo (NTC) com resistência inicial à 25°C de 10kΩ e fator Beta aproximadamente 3900K, com 5 mm de diâmetro, a conversão da resistência elétrica em temperatura é feito através do método Fator Beta. A placa de condicionamento de sinal é constituída de um filtro passa baixa com frequência de corte ajustável e ganho também ajustável, para calibração dos sensores.



Figura 2. Sistema didático de Fluxo de Calor.

A placa de controle de potência do elemento aquecedor é composta por ponte retificadora de corrente alternada, um transistor do tipo MOSFET para chaveamento do sinal DC e um opto-acoplador para isolar o circuito de potência do circuito de controle, um diagrama de blocos é exibido na Figura 3, em que o valor desejado (set point) é inserido no software e este faz a



comunicação com a placa Arduino, enviando o valor do sinal PWM sendo a retroalimentado com os valores proveniente do sensor de temperatura.

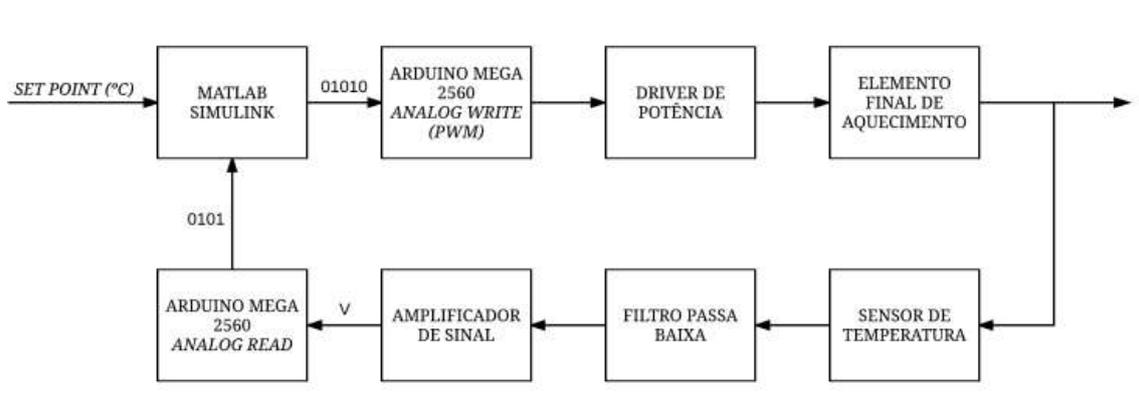


Figura 3. Diagrama de Blocos Simplificado.

Na Figura 4 mostra se o elemento aquecedor em seu suporte cerâmico. O elemento aquecedor é constituído por uma resistência de NiCr com diâmetro do fio de 0.509mm(24AWG) e resistividade de $5,5 \Omega \cdot m^{-1}$ totalizando 45Ω , dissipando uma potência aproximada de 570Watts @ 160Vdc.



Figura 4. Elemento aquecedor montado no suporte cerâmico.

A ventoinha é do tipo axial com 80mm de diâmetro, com fluxo de ar constante e rotação aproximada de 3000RPM.

Os experimentos foram realizados no sistema didático de fluxo de calor seguindo a seguinte ordem:

- Identificação do Sistema pelo método gráfico de Ziegler Nichols – ZN.
- Aplicação de controle PID parametrizado pelo método ZN.
- Identificação da planta pelo método de relé padrão em malha fechada.
- Aplicação de controle PID-IAE.



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As técnicas para controle de processos industriais devem ser precedidas da identificação do sistema através da modelagem matemática a fim de obter as características transitórias e estacionárias da planta. O sistema didático de fluxo de calor pode ser representado como um sistema de primeira ordem com tempo morto (FOPDT).

O processo foi identificada utilizando o método da resposta ao degrau em malha aberta para o sensor 3, exibido na Figura 5, em que foi aplicada uma entrada degrau e coleta-se os dados da saída da planta. A Figura 6 mostra a aplicação do método gráfico, obtendo os parâmetros de atraso (L), tempo de subida (T) e ganho (K), formando a equação da planta 2-1, a partir da equação 1-1.

$$K = 0,4162; T = 20,8s; L = 2,8s$$

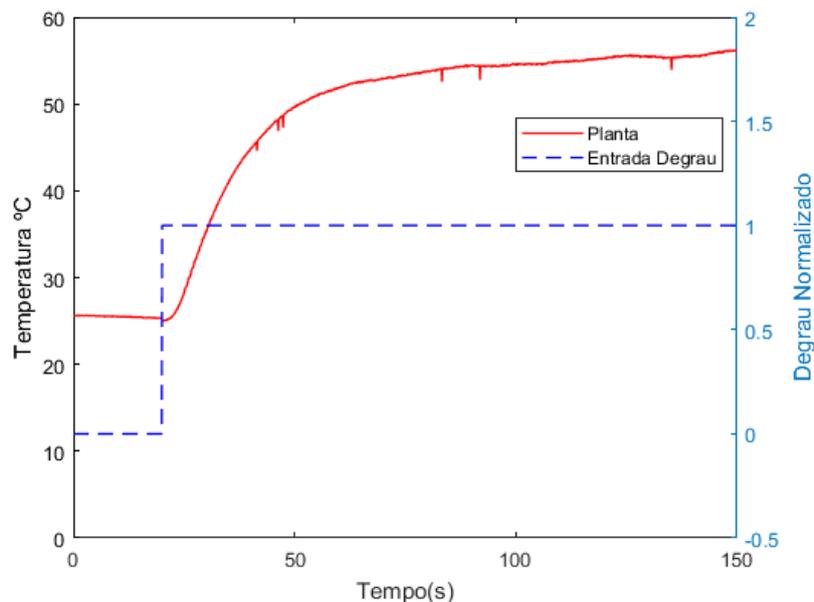


Figura 5. Resposta à Entrada Degrau.

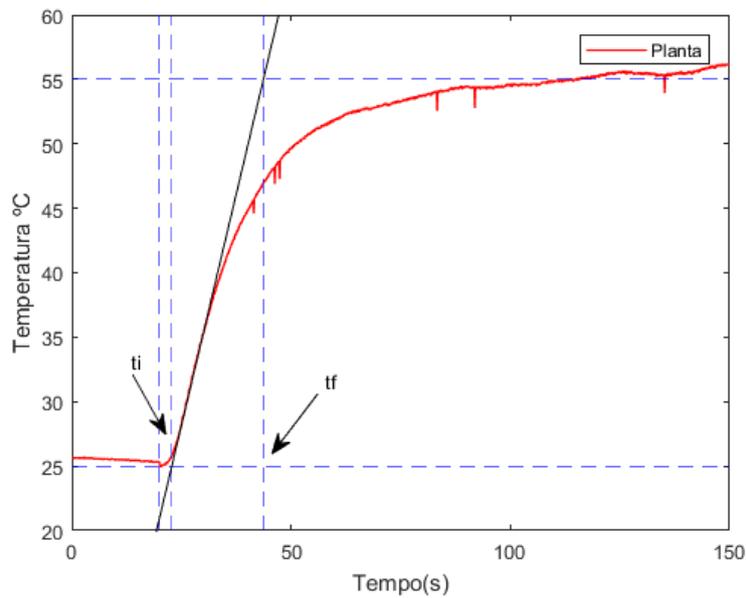


Figura 6. Método Gráfico ZN.

A partir da equação 2-1 e da tabela 1 sintoniza-se o controle do tipo PID com os ganhos: $K_{p_{\min}} = 21,4$; $K_i = 0,179$; $K_d = 1,4$.

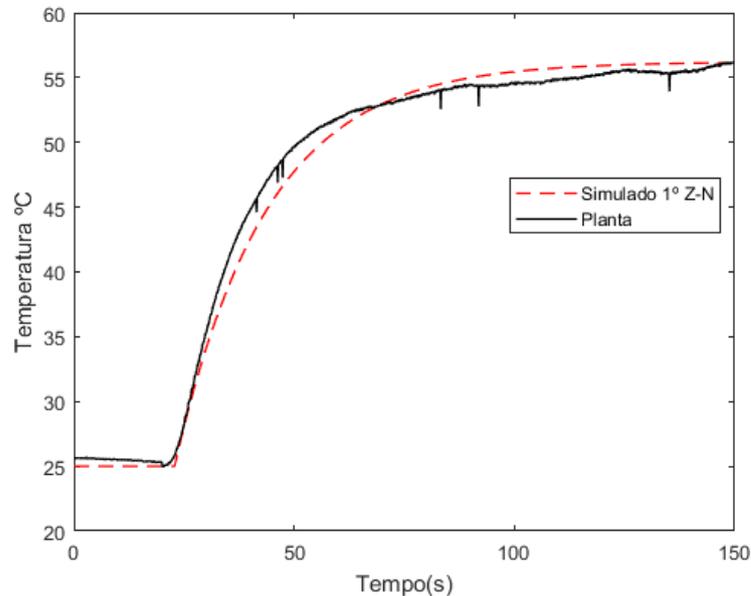


Figura 7. Comparação entre o processo real e modelado.

A análise dos gráficos resultantes da identificação da planta exibida pela Figura 7, em que é feita a comparação entre os dados coletados pelos sensores e os dados gerados pela simulação para a função de transferência, equação 2-1 obtida pelo método gráfico, e o controle da planta pelo parâmetros de sintonia propostos de ZN, tabela 1, exibido na Figura 8a, em que a planta



atinge o valor desejado porém exibe um leve comportamento oscilatório, e o esforço de controle, Figura 8b.

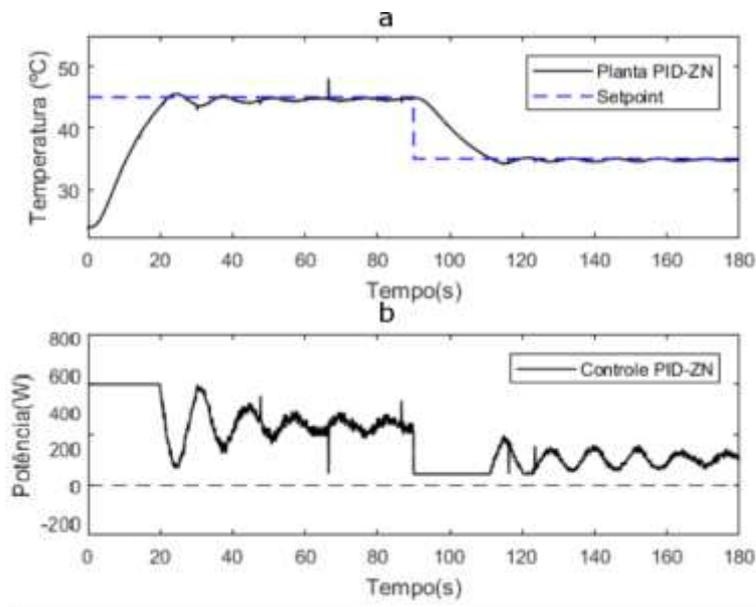


Figura 8. Controle em malha fechada PID-ZN, $K_{pmín}$.

A Figura 9a mostra o comportamento do processo quando o ganho proporcional é elevado ($K_{pmáx}$) e indica que o sistema pode ser identificado utilizando o método de resposta em frequência. A Figura 9b exibe o esforço do controlador, que se aproxima bastante do controle do tipo on-off.

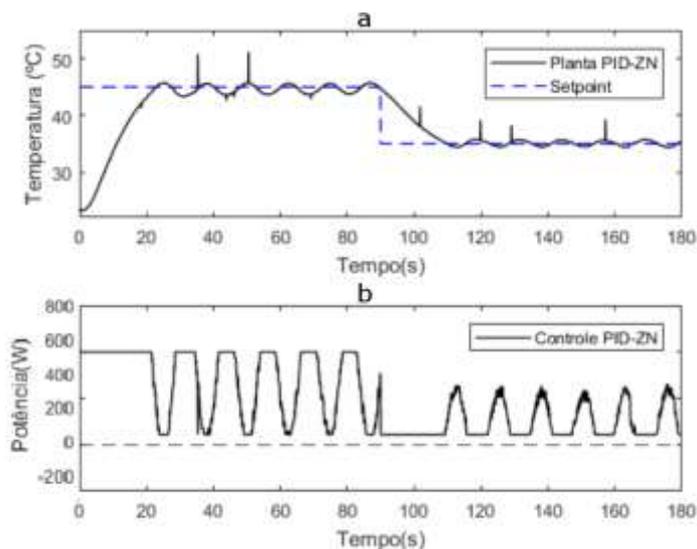


Figura 9. Controle em malha fechada PID-ZN $K_{pmáx}$.

Conforme consolidado na literatura, os métodos de sintonia de controladores do tipo PID dão indicativos dos valores dos ganhos a serem



utilizados, sendo necessário ajustes empíricos a partir destes indicativos para se encontrar os melhores valores. Seguindo este princípio foi executado um ajuste no ganho proporcional tanto no controle ajustado pela técnica de IAE, quanto pelo método de Z-N. Após estes ajustes a planta seguiu a referência de forma satisfatória para o PID-IAE.

4. CONCLUSÃO

As técnicas de identificação de processos industriais utilizando métodos experimentais são uma importante ferramenta na sintonia PID nas suas malhas de controle, pois permitem aprofundar o conhecimento do comportamento do processo. Os ajustes de sintonia mantêm as malhas de controle mais produtivas, elevando a qualidade dos produtos, uma vez que as exigências do processo são alcançadas.

A aplicação do método de resposta ao degrau proposto por Ziegler Nichols é o ponto de partida, sempre que possível, para o ajuste dos controladores PID, entretanto o método da resposta em frequência proposto por ZN não é recomendado, pois pode levar os processos a uma operação fora da faixa de segurança. O método de relé padrão em malha fechada contorna este problema ao induzir uma oscilação controlada dentro da faixa segura de operação.

O sistema didático de fluxo de calor mostrou-se viável para o estudo de técnicas de identificação e controle, tanto pelo método de ZN quanto pelo método de relé padrão em malha fechada.

Como possíveis recomendações futuras, aponta-se:

- Verificação da rejeição ao distúrbio com o controlador sintonizado por diferentes métodos.
- Controle de processos com múltiplas entradas e múltipla saídas. O protótipo possui a capacidade de atuar em duas entradas, a velocidade da ventoinha, conseqüentemente no fluxo de ar, e na potência do elemento aquecedor, obtendo resposta de até 4 sensores, de forma simultânea.
- Controle de processo com tempo morto. A partir da manipulação do fluxo de ar e/ou da extensão do duto de ar, é possível simular um processo com tempo morto, com o atraso dominante..



5. REFERÊNCIAS

- 1 TAVARES, Anael Rabelo; OLIVEIRA, Guilherme Aleksanders de. **Automação de planta piloto industrial de tanques acoplados quádruplos**. 2016.
- 2 FONSECA, Daniel Guerra Vale da. **Modelagem e controle adaptativo de uma planta didática de nível com instrumentação industrial**. 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- 3 ASTRÖM, Karl Johan; MURRAY, Richard M. **Feedback systems: an introduction for scientists and engineers**. Princeton university press, 2010.
- 4 DESBOROUGH, Lane; MILLER, Randy. **Increasing customer value of industrial control performance monitoring-Honeywell's experience**. In: AIChE symposium series. New York; American Institute of Chemical Engineers; 1998, 2002. p. 169-189.
- 5 MUNROE, Damien; CARUSO, Ricardo. **Overcoming loop tuning challenges**: Proper control-loop tuning can improve production quality and throughput and minimize production-related waste.. 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/4rm4n2>>. Acesso em: 18 ago. 2017.
- 6 TANGIRALA, Arun K. **Principles of system identification: theory and practice**. Crc Press, 2014.
- 7 KEESMAN, Karel J. **System identification: an introduction**. Springer Science & Business Media, 2011.