

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE TEMPERATURA PID, ATRAVÉS DE ARDUINO E LABVIEW

Lair Santos de Oliveira (1); Josué da Silva Sousa (2); Antônio Almeida da Silva (3); Moisés Hamsses Sales de Souza (4); Elves Sousa e Silva (5)

(1), (2) e (5) Universidade Federal da Paraíba – UFPB
(3) e (4) Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB

Resumo: Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de controle de temperatura em malha fechada tipo PID. Basicamente este sistema usa a ação do controlador em uma resistência imersa em um reservatório de água, com a finalidade de manter uma temperatura constante. Para realizar a sintonia do controlador foi utilizado o Método de Ziegler - Nichols. A aquisição de dados e o controle foi executado através plataforma Arduino com interface no software LabVIEW, os dados adquiridos são apresentados nos gráficos. Através do software MATLAB, foi possível realizar o processamento matemático dos dados a fim de encontrar as constantes K_p , T_i e T_d características para o melhor controlabilidade da planta.

Palavras-chave: Controle PID de temperatura, método de Ziegler-Nichols, Arduino, LabView.

Introdução

Uma forma de aumentar o interesse dos alunos dos cursos da área de Tecnologia é a união entre a teoria de uma disciplina, e um problema prático, no qual podem utilizar os conhecimentos adquiridos na disciplina cursada, e sua integração multidisciplinar. Segundo Gomes e Silveira (2007), a educação em Engenharia de Controle e Automação enfrenta desafios na relação ensino-aprendizagem, em demandas sociais, na eliminação de postos de trabalho, no risco tecnológico e ainda os reflexos dos problemas do ensino médio e fundamental.

Desta forma, a utilização de protótipos em forma de planta piloto ou de sistemas automatizados e/ou robóticos, em proporções reduzidas, é muito útil nos cursos de graduação no âmbito da Engenharia. Além disso, no ambiente de Automação e Controle, a implantação de algoritmos de sistemas de controle e a realização de testes comparativos entre os diferentes tipos de sensores e atuadores, motivam os alunos e os professores no ensino e na pesquisa. No ambiente acadêmico, a construção de protótipos educacionais em disciplinas, ou em trabalhos de iniciação científica, ganha cada vez mais espaço, devido ao custo de aquisição dos protótipos das empresas que os comercializam, além da dependência tecnológica ao ser realizada esta aquisição, não se permitindo, muitas vezes, a incorporação de novas tecnologias ou uso de novos algoritmos computacionais para testes comparativos (GOMES & SILVEIRA, 2007; GOMES et al., 2011; MAXIMO et al., 2011).

Para fomentar o interesse dos alunos nas disciplinas de controle, dos cursos de Engenharia Elétrica e de Tecnologia em Automação Industrial, do Instituto Federal da Paraíba (IFPB) em parceria com o Programa de Pós-Graduação na linha

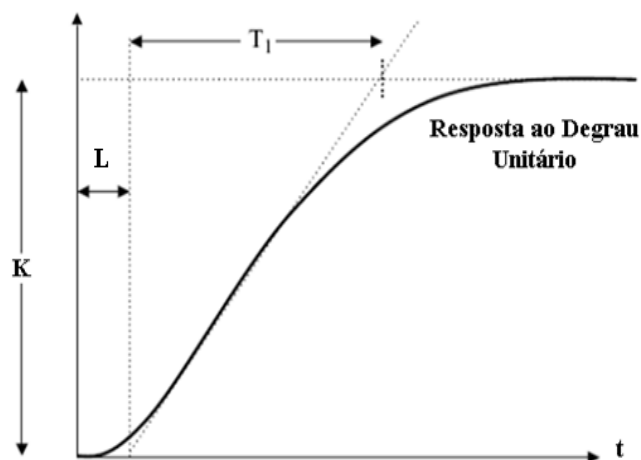
de Dinâmica e Controle (PPGEM), da Universidade Federal da Paraíba, campus João Pessoa. Como forma de utilização da metodologia de ensino, Aprendizagem Baseada em Problemas – ABP (RIBEIRO, 2005; FERNÁNDEZ-SAMACÁ et al., 2012; FREITAS, 2012), desta forma foram propostos projetos aos alunos. A premissa desses projetos é que envolvesse a utilização de um controlador PID, em que neste caso específico apresentado neste artigo, foi implementado na plataforma de prototipagem eletrônica Arduino aplicado a um sistema térmico, fazendo a sintonia dos seus parâmetros, além da identificação do modelo matemático deste sistema, por métodos não-paramétricos.

Metodologia

Apesar do avanço das técnicas de controle moderno ter avançado ao longo das últimas décadas, o controlador PID é um dos mais utilizados (ASTROM & HAGGLUND, 2001). Para a sintonia de parâmetros de um controlador PID, Ziegler & Nichols apresentou dois métodos, o qual é o método para a resposta ao degrau, e o método para a resposta à frequência. Neste artigo, será utilizado para a abordagem pelo primeiro método, que apesar de simples e com algumas desvantagens já mencionadas, porém com algumas contribuições ao seu aprimoramento (ASTROM & HAGGLUND, 2004), como metodologia de ensino, seu uso é interessante, como método introdutório em disciplinas na área de controle.

O processo de obtenção da função de transferência do sistema pode ser feito por meio da modelagem matemática do sistema, porém em nosso estudo a função de transferência é obtida através do método da resposta ao degrau. Este método consiste em aplicar um degrau à entrada do sistema dinâmico, com o objetivo de observar seu comportamento, até que haja uma estabilização natural da saída (OGATA, 2011).

Figura 1 - Método desenvolvido por Ziegler & Nichols (OGATA, 2011)



Caso o sistema seja de primeira ordem, que é o caso específico de um sistema térmico, sistema esse utilizado neste artigo, são calculados três constantes: T_1 (constante de tempo), L

(tempo de retardo) e K (ganho).

Estas constantes são parâmetros da função de transferência de primeira ordem com atraso (FOPDT – *First Order Plus Delay Time*) do sistema representada pela equação (1).

$$G(s) = \frac{K e^{-sL}}{1 + sT_1} \quad (1)$$

O controlador PID na forma clássica, ou seja, em sua configuração em paralelo, sua função de transferência é igual a equação (2).

$$C(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right) \quad (2)$$

Onde: K_p é o ganho proporcional, T_i é o tempo integral, e T_d é o tempo derivativo.

A partir dos dados obtidos no método da resposta ao degrau, a Tabela I é utilizada, com as equações desenvolvidas por Ziegler & Nichols, para sintonizar os parâmetros do controlador PID.

Tabela I - Fórmulas dos parâmetros de controladores, para o método da resposta ao degrau, desenvolvido por Ziegler & Nichols (OGATA, 2011)

Controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T_1}{L}$	∞	0
PI	$0,9 \frac{T_1}{L}$	$3,3L$	0
PID	$1,2 \frac{T_1}{L}$	$2L$	$0,5L$

Como o sistema térmico possui atraso de transporte L, a aproximação de Padé, equação (3),

foi utilizada para o termo exponencial da equação (1) (HSU, 2012).

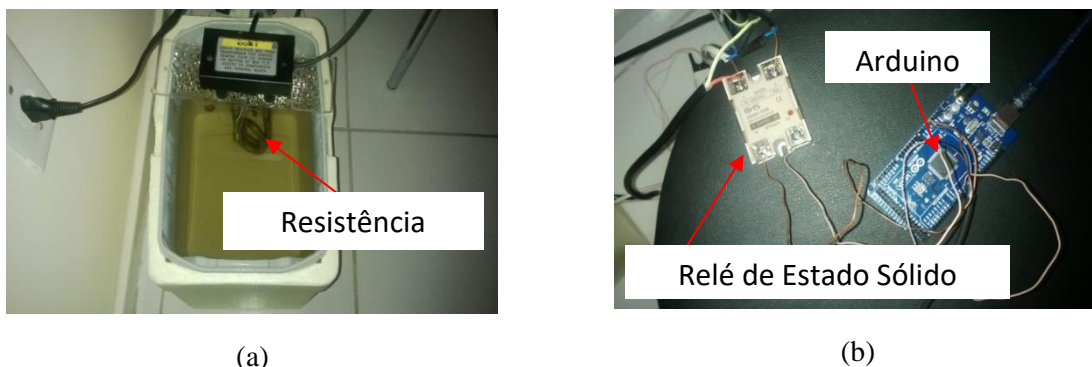
$$e^{-sL} \approx \frac{1 - sL/2}{1 + sL/2} \quad (3)$$

O projeto do sistema térmico a ser controlado é composto por: um reservatório de água de seis litros, uma resistência (Tipo Mergulhão) de 400 W de potência, um relé de estado sólido e um sensor de temperatura (LM35).

O controle atuará sobre a potência fornecida a resistência elétrica, através da Modulação por Largura de Pulso (PWM), que realiza o disparo de uma chave estática através do relé de estado sólido. Deste modo, é possível selecionar o valor percentual de energia da rede elétrica que será fornecida à resistência, realizando a mudança do parâmetro temperatura proporcional a energia fornecida na resistência.

Foi utilizado um sensor de temperatura LM35, que apresenta uma sensibilidade de 10 mV/°C, para a medição de temperatura no banho, incluindo uma proteção contra a água ao mesmo, já que necessitaria mergulhá-lo neste banho. Na Figura 2 é apresentado o sistema térmico montado para que sejam implementadas as ações de controle.

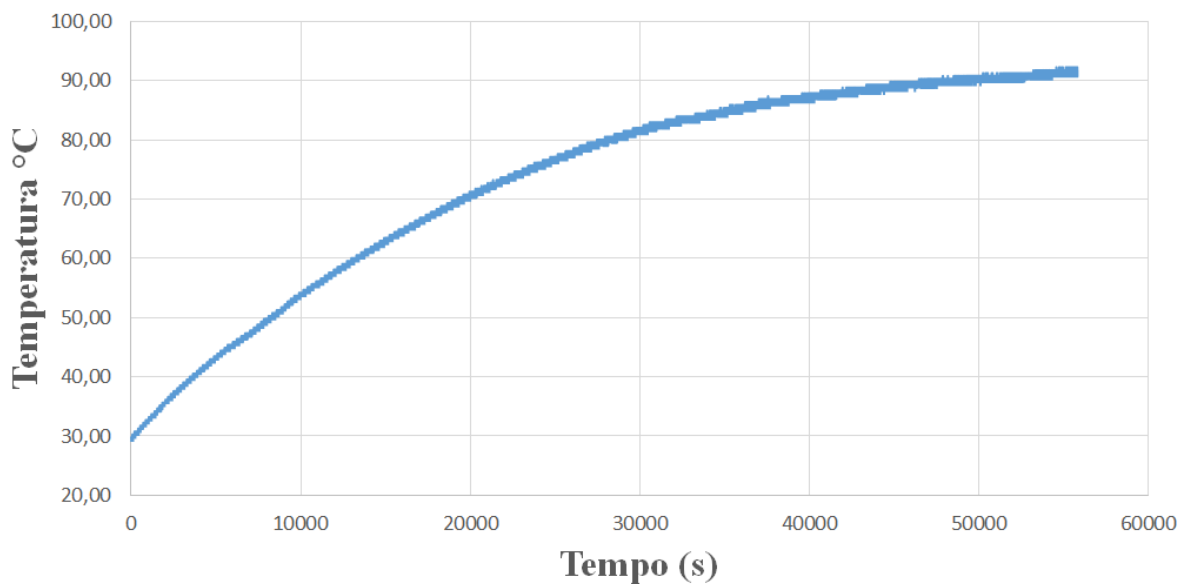
Figura 2 - Fotografia do sistema térmico montado. (a) Vista superior. (b) Módulo de controle e acionamento utilizado no projeto.



Para identificar o modelo matemático do sistema térmico apresentado nesta seção, o método do degrau de Ziegler-Nichols foi utilizado.

Foi aplicada na resistência elétrica do sistema, uma tensão alternada de 110 V_{RMS}, observando a variação da temperatura ocorrida no banho térmico, até que o regime permanente fosse alcançado. Os dados foram adquiridos com a plataforma Arduino, e o software LabVIEW. Na Figura 3, pode ser observado o gráfico resultante do experimento.

Figura 3 - Gráfico do experimento em malha aberta, decorrente do método do degrau de Ziegler-Nichols



O sistema térmico levou cerca de 10 horas e 15 minutos para apresentar estabilidade, com um tempo de amostragem de 1s. Segundo o método do degrau de Ziegler-Nichols, foi traçada uma reta na região linear do gráfico obtido.

Deste modo, os valores obtidos para a constante de tempo, o tempo de retardo e o ganho, necessários para uma função de transferência de primeira ordem (Equação 1) são, respectivamente: 585 minutos; 7 minutos.

Na Equação (4) é apresentada a função de transferência do sistema que foi obtida por meios experimentais, a obtenção da função será discutida nos resultados experimentais.

$$G(s) = \frac{1}{585s + 1} e^{-7s} \quad (4)$$

Resultados e Discussão

Para a sintonia dos parâmetros do controlador PI e PID, através do método do degrau de Ziegler-Nichols, foram utilizados os valores encontrados do modelo matemático do sistema térmico, apresentados anteriormente. Com as equações da Tabela I, os parâmetros para os dois tipos de controlador são apresentados na Tabela II.

O método de Ziegler-Nichols não é um método otimizado para o ajuste dos parâmetros dos controladores, porém, como o propósito do artigo é demonstrar o uso de uma metodologia de sintonia destes parâmetros, evitando o método da tentativa e erro, tão utilizado no ajuste de

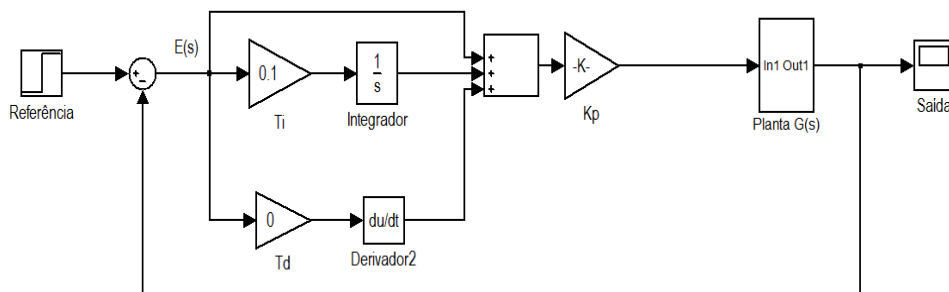
controladores PI e PID, o método é aceito, o qual ajustes finos poderão ser realizados, até que se obtenha um resultado satisfatório.

No programa Matlab e utilizando a ferramenta Simulink foi realizada a simulação do controlador PID, na topologia clássica (Equação 2) para o sistema contínuo, onde a representação em diagrama de blocos pode ser vista na Figura 4. Neste caso, é aplicado um sinal degrau de 50°C, na entrada do sistema térmico.

Tabela II - Parâmetros dos controladores PI e PID aplicados ao sistema térmico

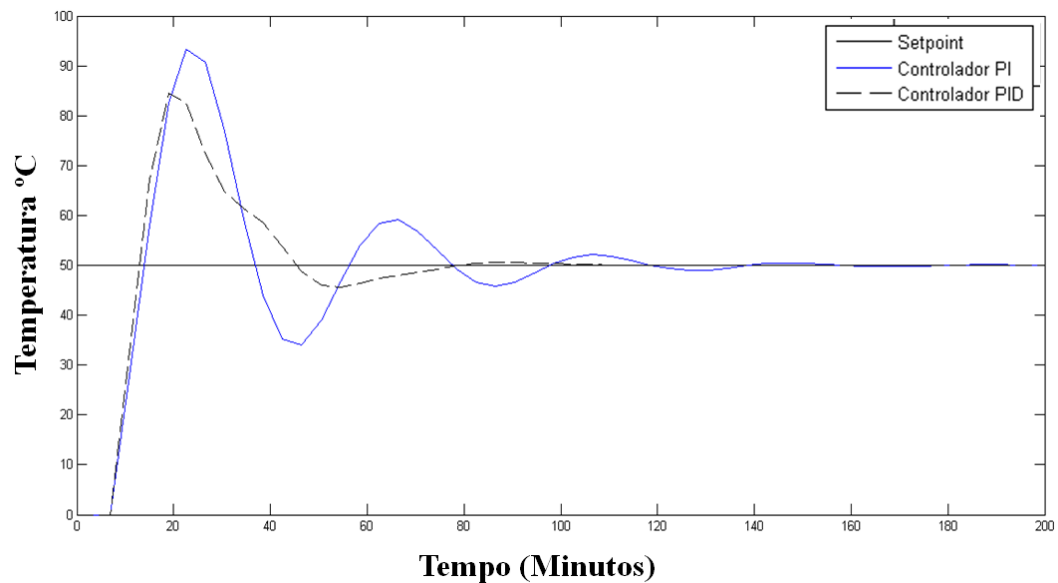
Controlador	K_p	T_i	T_d
PI	75,2	23,1	0
PID	83,57	14	3,5

Figura 4 – Diagrama de blocos do controlador PID, na topologia paralelo



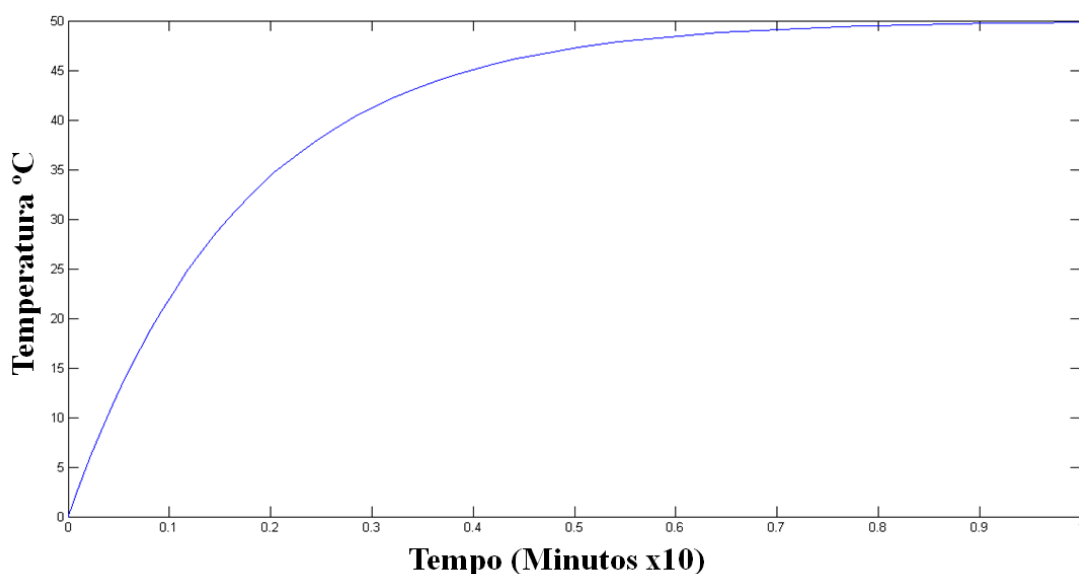
Na Figura 5, a seguir, os gráficos da simulação do controle de temperatura do sistema térmico são apresentados, utilizando os controladores PI e PID na topologia paralela, os quais foram sintonizados com os valores da Tabela 2.

Figura 5 – Saída em temperatura do sistema térmico, utilizando os controladores PI e PID, na topologia paralela, com valores da Tabela 2 para a sintonia dos parâmetros



Observa-se que a resposta do sistema é muito lenta para chegar ao regime permanente, devido à ação derivativa, além disso o overshoot é alto, algo indesejado ao nosso sistema por conta evaporação da água para determinadas temperaturas de setpoint próximas aos 100°C. Deste modo, se começou o ajuste dos parâmetros do controlador PID. A simulação após o ajuste pode ser observada na Figura 6.

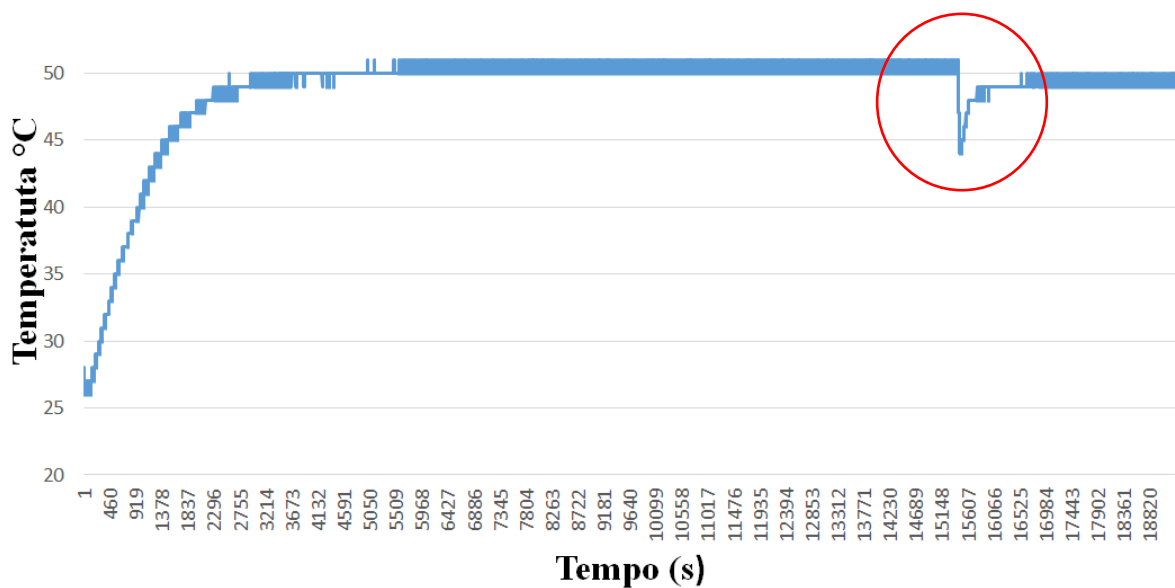
Figura 6 – Saída em temperatura do sistema térmico, utilizando o controlador PID, após o ajuste



Os dados obtidos através do ajuste foram implementados no controlador. O comportamento do sistema é apresentado na figura 7. A temperatura inicial da água é de cerca de 25°C, e após cerca de 46min. atinge o *setpoint* ficando estável em 50°C.

Na região do gráfico da figura 7 circulada em vermelho, foi inserida uma perturbação no sistema. A perturbação foi provocada colocando-se uma quantidade de água no reservatório com temperatura inferior a do processo.

Figura 7 – Comportamento do sistema com *setpoint* em 50°C



Nota-se que em pouco tempo após a perturbação a temperatura do processo corrige-se automaticamente devido a realimentação do sistema com a ação do controlador.

Com a finalidade de se observar a resposta da variável de controle com a mudança de *setpoint*, o mesmo foi alterado para três valores diferentes: 40, 50 e 60°C.

As Figura 8 apresenta o comportamento do sistema mediante a alteração do *setpoint* de modo online. Já na Figura 9 é possível ver a alteração no comportamento da variável de controle, mediante as alterações no *setpoint*.

Figura 8 – Comportamento da Variável de processo (Temperatura), com mudança de *setpoint*

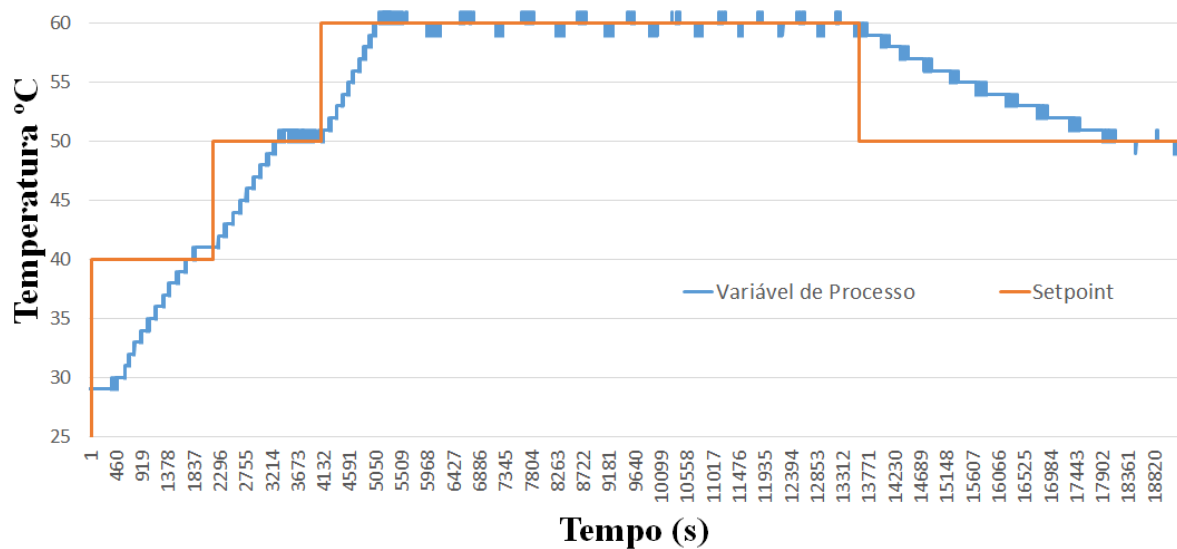
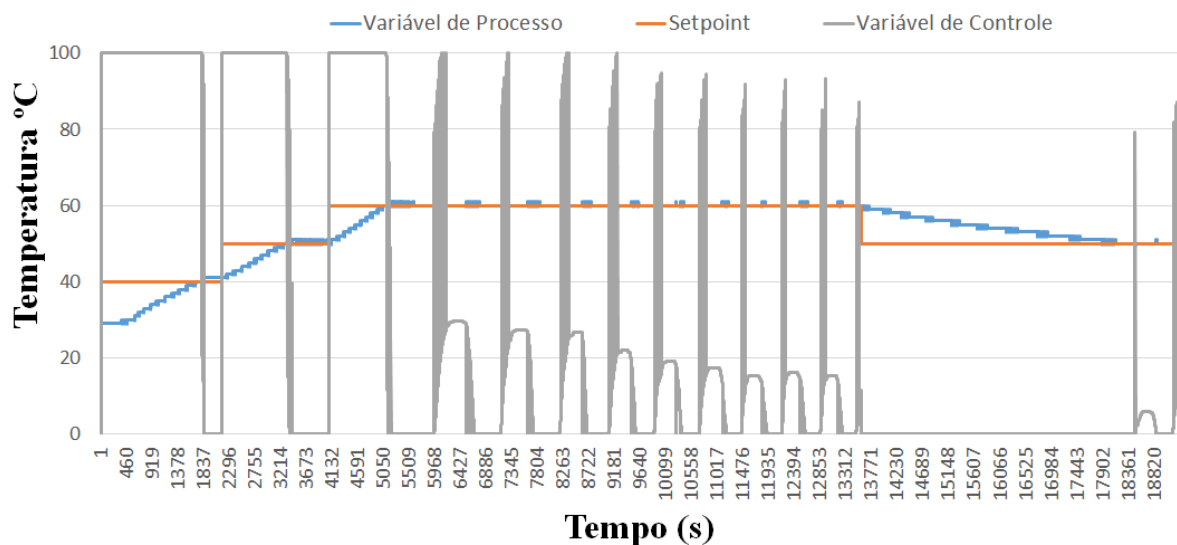


Figura 9 – Resposta da ação de controle, mediante a variação do *setpoint*



Conclusões

Os resultados apresentados neste trabalho demonstram a importância na união entre a teoria e um problema prático, pois através do experimento foi possível aplicar os conceitos de identificação de modelo matemático de um sistema e sintonia dos parâmetros do controlador PI e PID, através do método do degrau de Ziegler-Nichols estudados em sala de aula.

Aplicações de sistemas térmicos de controle de temperatura são bens comuns no meio industrial, principalmente em indústrias de laticínios, químicas, petróleo e seus derivados, logo, a continuação da investigação técnicas e métodos de identificação e controle de sistemas se faz

necessário para melhor formação do aluno para o mercado de trabalho.

Como perspectivas para trabalhos futuros, planeja-se investigar a implementação de um sistema de controle baseada em inteligência artificial, Rede Neural ou Lógica Fuzzy.

Referências

ASTROM, K. J. ; HAGGLUND, T. The future of PID control. Control Engineering Practice, v. 9, p. 1163-1175, 2001.

ASTROM, K. J. ; HAGGLUND, T. Revisiting the Ziegler-Nichols step response method for PID control. Journal of Process Control, v. 14, p. 635-650, 2004.

CASTRUCCI, P. L. et al. Controle Automático. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

FADALI, S.; VISIOLI, A. Digital Control Engineering – Analysis and Design. Elsevier/Academic Press, 2013.

FERNÁNDEZ-SAMACÁ, L. et al. Project-based learning approach for control system courses. Revista Controle & Automação, v.23, n. 01, p. 94-107, jan./fev, 2012.

FREITAS, R. A. M. M. Ensino por problemas: uma abordagem para o desenvolvimento do aluno. Revista Educação e Pesquisa, São Paulo, v. 38, n. 02, p. 403-418, abr./jun, 2012.

GOMES, F. J. et al. Módulo laboratorial de baixo custo, baseado em FOSS, para educação em engenharia de controle de processos Industriais. Anais: XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Cobenge. Blumenau, FURB, 2011.

GOMES, F. J.; SILVEIRA, M. A. Experiências pedagógicas. In: Enciclopédia de Automática: Controle & Automação – Vol. 1. São Paulo: Blucher, 2007.

HSU, Hwei P. Sinais e sistemas 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 495 p. il.

MÁXIMO, P. H. M. et al. Desenvolvimento de um kit didático para utilização em aulas de laboratório de controle e automação. Anais: XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Cobenge. Blumenau, FURB, 2011.

OGATA, K. Engenharia de controle moderno. São Paulo: Pearson, 2011.

RIBEIRO, L. R. C. UFSCAR – Universidade Federal de São Carlos. A aprendizagem baseada em problemas (PBL) – Uma implementação na educação em engenharia na voz dos atores, 2005. 205p, Il. Tese (Doutorado).