

**Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**

---

## Controle de Temperatura de Sistema Térmico Utilizando Arduino

Débora de Abreu Ferreira<sup>1</sup>Jean Chaves Batista<sup>2</sup>Juliano Oliveira de Miranda<sup>3</sup>Rafael Augusto Dias Rezende<sup>4</sup>Orlando Fonseca Silva<sup>5</sup>

Programa de Educação Tutorial - Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica, ITEC, UFPA.

A importância e os avanços na área de controle aplicado a sistemas térmicos no setor industrial torna cada vez mais comum seu estudo em universidades e outras instituições de pesquisas. O presente trabalho objetiva realizar, através de ferramentas computacionais e experimentais, um estudo sobre um sistema térmico didático aplicando técnicas de controle clássico para melhorar seu desempenho.

O protótipo elaborado, Figura 1, é composto de uma resistência de aquecimento interna a um tubo, ventilação forçada por meio de *cooler*, sensores de temperatura e um circuito eletrônico ligado a um microcontrolador. Inicialmente é realizada a leitura da temperatura, variável a ser controlada, com o sensor de temperatura LM35 [2] conectado ao microcontrolador Arduino UNO [1] por uma das entradas analógicas. A programação no microcontrolador foi desenvolvida para a aquisição de dados de temperatura de acordo com o sinal de tensão resultante do sensor, levando em conta o funcionamento da placa de prototipagem e pela discretização do sinal durante o seu processamento.

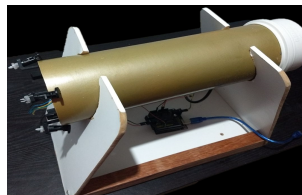


Figura 1: Protótipo Montado.

Para estudo do seu comportamento durante o resfriamento, o sistema foi acionado em malha aberta. Ligou-se a resistência e quando o ambiente apresentou estabilização em 37°C, o *cooler* foi acionado com metade da sua velocidade máxima. A sua resposta pode

---

<sup>1</sup>deboraabreuferreira@hotmail.com<sup>2</sup>jeanbatista8@gmail.com<sup>3</sup>juca.m@live.com<sup>4</sup>rafael.augusto.d.r@gmail.com<sup>5</sup>orfosi@ufpa.com

ser observada na Figura 2(a). O sistema térmico pôde ser modelado por um sistema de primeira ordem, representado na equação (1) [3].

$$G_p(s) = \frac{Y(s)}{G(s)} = \frac{K}{\tau \cdot s + 1} e^{-sT} \quad (1)$$

O valor do ganho (K), do tempo de atraso (T) e da constante de tempo ( $\tau$ ) foram calculados segundo Nise [3], sendo esses:  $K=0,04$ ,  $\tau=0,108s$  e T desprezado por ser muito pequeno. Com o levantamento do gráfico da função modelada, foi possível realizar sua comparação com o sistema real durante resfriamento do sistema. Na Figura 2(b) é possível perceber a compatibilidade entre ambos.

Objetivando melhorar o desempenho deste sistema, fez-se o uso de um controlador. As técnicas de controle clássico possuem três tipos de ações: Proporcional, Integral e Derivativa. A primeira é feita através da multiplicação do erro por um fator de ganho  $K_p$  para a redução do tempo de resposta. A ação integral tem como objetivo a anulação do erro em regime permanente ao inserir um pólo na origem [3]. A ação derivativa é desprezada no trabalho, pois a dinâmica de um sistema térmico é muito lenta. Para observar a ação de controle no sistema, escolheu-se um valor de  $32^\circ C$  como temperatura de referência.

Uma vez que a planta em questão possui um polo muito próximo da origem, e portanto, já se comporta como um integrador, a inserção da ação integral poderia tornar o sistema instável e produzir um alto sobressinal. Na programação do microcontrolador, foi então ajustado um valor de ganho  $K_p'=14$ . Na Figura 2(c), percebe-se que a temperatura não se estabiliza exatamente no valor de referência, mas em sua proximidade, o que é justificado pelo fato do controle proporcional não anular o erro em regime, porém ainda assim a eficácia do controle pode ser comprovada.

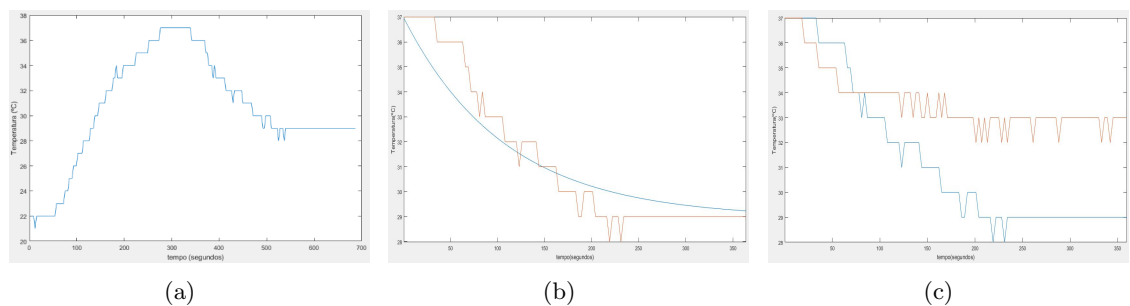


Figura 2: (a) Resposta do Sistema em Malha Aberta, (b) Comparação da Resposta Real e Gráfico da Função Modelada e (c) Comparação do Sistema em Malha Aberta e Fechada.

## Referências

- [1] Arduino. Disponível em: <[www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)>.
- [2] National Semiconductor. *LM35*. Disponível em: <[www.national.com](http://www.national.com)>.
- [3] N. S. Nise. *Engenharia de Sistemas de Controle*. 6.ed. LTC, 2012.