



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

Autorizada pelo Decreto Federal nº 77.496 de 27/04/76
Recredenciamento pelo Decreto nº 17.228 de 25/11/2016



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENAÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

XXIV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS **SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - 2020**

PROJETO DE CONTROLADORES ROBUSTOS PARA UM SISTEMA TÉRMICO DE AUTOMAÇÃO PREDIAL

Vanessa de Souza de Oliveira¹; Márcia Lissandra Machado Prado²

1. Bolsista PIBIC/CNPq, Graduando em Engenharia de Computação, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: vanessasouzaoliveira1@gmail.com
2. Orientador, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: marcia.lissandra@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE: Teoria de controle; Sistemas térmicos; Automação predial.

INTRODUÇÃO

Os ambientes prediais são responsáveis por uma grande parcela do uso de energia elétrica, seu uso eficiente pode resultar em uma grande contribuição (Rodrigues de Oliveira, 2010). Deve-se então buscar conforto térmico com o melhor aproveitamento de energia. Levando em consideração que a transferência de calor ocorre basicamente por condução, convecção e radiação, o valor que promove o conforto térmico torna-se subjetivo, pois a sensação de conforto está relacionada a variáveis pessoais e ambientais (Rodrigues de Oliveira, 2010). Mas, chegou-se a um valor aceitável para a maior parte das pessoas e segundo Creder (2004), as condições de conforto térmico no verão estão entre 23 e 25°C.

Para atingir os padrões de conforto térmico de forma otimizada, é possível utilizar controladores. Os sistemas de controle são utilizados nas mais diversas áreas da indústria, se tornando essenciais em qualquer campo da engenharia e da ciência (Ogata, 2010). A princípio, pode-se utilizar um sistema de controle mais simples, como um liga-desliga, mas é interessante obter um sistema mais sofisticado, e que tenha uma dinâmica com um tempo de acomodação e oscilações adequados. Na área dos sistemas de controle de processos, sabe-se que os esquemas básicos de controle Proporcional Integral e Derivativo (PID) e os controles PID modificados provaram sua utilidade conferindo um controle satisfatório (Ogata, 2010).

Neste trabalho foi feito o estudo, projeto e simulação de um sistema de controle térmico de um ambiente predial com um controlador PID, o qual é baseado nos padrões de conforto térmico. E neste relatório, serão descritos a metodologia utilizada e os resultados obtidos com os experimentos.

METODOLOGIA

Como metodologia, foi feito inicialmente um levantamento bibliográfico sobre a teoria de controle, sistemas térmicos prediais e controle robusto. A partir do assunto estudado, escolheu-se o sistema que representa o ambiente de uma sala de reuniões que teve sua

identificação feita por Rodrigues de Oliveira (2010), tendo sua planta representada na equação 1 e sua resposta ao degrau no gráfico da Figura 1.

$$G(s) = \frac{0,39518(1 + 2004,7s)}{(11392s + 1)(329,21 + 1)} \quad (1)$$

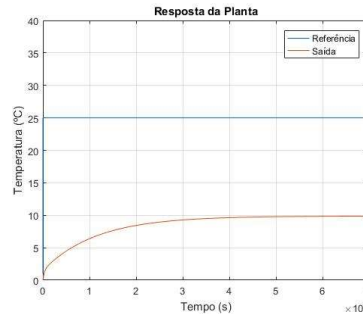


Figura 1. Resposta ao degrau da planta

A partir da equação característica que segue o padrão da equação 2, obteve-se o valor do coeficiente de amortecimento (ξ) e frequência natural (ω_n).

$$s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2 = 0 \quad (2)$$

Estes que são iguais a $\xi = 3,028$ e $\omega_n = 0,000516$. A partir dos valores obtidos, calculou-se o valor do tempo de acomodação (t_s) de acordo com equação 3 .

$$t_s = \frac{4}{\xi\omega_n} \text{ critério de 2\%} \quad (3)$$

$$t_s = 2560,81s \text{ (42,68 minutos)} \quad (4)$$

O sistema em questão possui uma resposta muito lenta, tendo 42,68 minutos como tempo de estabelecimento, o que pode ser visto na Figura 1 em que a linha azul representa a referência para temperatura ideal, e a vermelha, a resposta da planta. Outro problema visto é que o sistema possui um erro de regime, pois o valor inserido na entrada foi 25°C, mas o sistema conseguiu atingir apenas 10°C. Como solução para esses problemas, seria necessária a adição de um controlador ao sistema para reduzir esse tempo de acomodação com o menor nível de oscilação aceitável e atingir o valor esperado de 25°C.

Visando atingir esses requisitos, foi feito um estudo comparativo de controladores, em que se utilizou o controle liga-desliga, um controlador PID (Proporcional Integral Derivativo) com arranjo comum e outro com arranjo de realimentação de velocidade para os experimentos.

A partir de estudos concluiu-se que seria conveniente utilizar um controlador do tipo PID com realimentação de velocidade (Figura 2). Visto que o sistema de controle PID de arranjo comum adiciona um zero na função de transferência de malha fechada, podendo causar instabilidade na resposta do sistema.

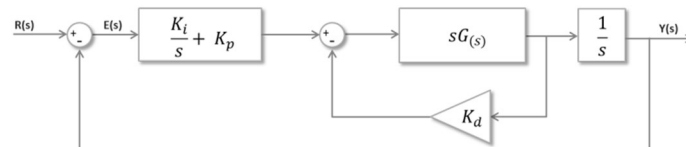


Figura 2. Esquema do controlador com realimentação de velocidade

Introduzindo o controlador no sistema obteve-se a função de transferência de malha fechada (equação 5).

$$G_c(s) = \frac{(K_i + K_p s)G(s)}{K_d G(s)s^2 + [1 + K_p G(s)]s + K_i G(s)} \quad (5)$$

Para que o sistema obtivesse uma resposta satisfatória para o valor de regime de 25°C, estabeleceu-se tempo de acomodação (t_s) igual a 5 minutos, coeficiente de amortecimento (ξ) 0,5 e frequência natural (ω_n) de 0,0267. A partir desses valores, foram calculados os ganhos do controlador PID sendo eles K_p : ganho proporcional, K_i : ganho integral, K_d : ganho derivativo.

$$K_p = 18952,3636 \quad K_i = 506,0265442 \quad K_d = 709826,351 \quad (6)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para realizar a análise do sistema, foi utilizada uma entrada degrau com valor de referência de 25°C, a qual é considerada uma temperatura ideal para o conforto térmico. Foi feita a comparação entre os controladores liga-desliga, um PID sintonizado pelo software Matlab e o outro projetado neste estudo, utilizando os valores dos ganhos do controlador PID, demonstrado na seção anterior em (6). Os resultados dos três experimentos estão descritos na Figura 3.

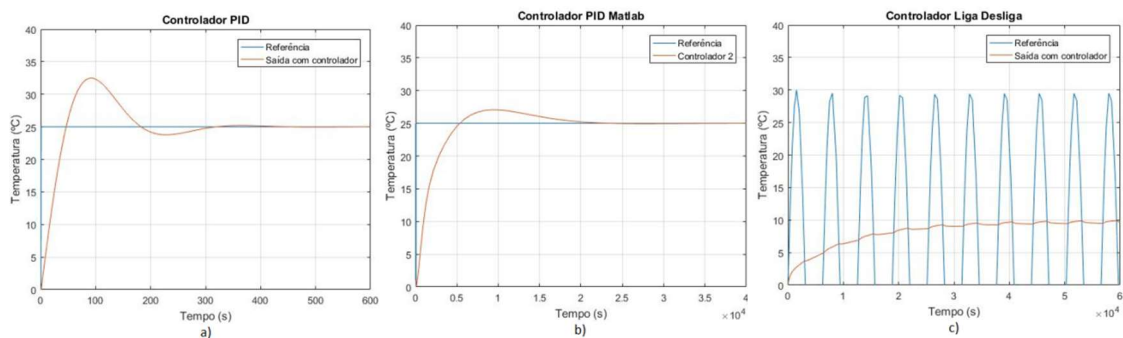


Figura 3. (a) Resposta do controlador projetado; (b) Resposta do controlador sintonizado pelo Matlab; (c) Resposta do controlador liga-desliga

Podemos observar na Figura 3, no gráfico (a), que comparado a Figura 1, o erro de regime foi corrigido e o tempo em que o sistema atinge o valor desejado reduziu drasticamente, pois passou de 40.000s para 300s. Possui uma oscilação inicial com um valor aceitável, pois se trata de um sistema subamortecido com fator de amortecimento (ξ) igual a 0,5.

Ao comparar o sistema projetado (Figura 3 (a)) com o sintonizado pelo Matlab (Figura 3 (b)), observa-se que o erro de regime foi corrigido nos dois casos, mas no controlador sintonizado o tempo necessário para atingir os 25°C reduziu um pouco comparado ao da Figura 1, mas não o suficiente, pois chegou ao valor de 20.000s, sendo muito alto quando comparado ao controlador projetado.

Comparando com o controle liga-desliga, percebe-se que o erro de regime não foi corrigido, pois chegou a apenas 10°C, quando deveria ser 25°C e o tempo de estabelecimento não foi reduzido, comprovando que esse controlador não seria eficiente para essa planta.

Após as comparações pode-se concluir que o controlador PID com realimentação de velocidade projetado obteve o melhor resultado. E para comprovar o funcionamento do mesmo, adicionou-se à entrada um ruído (Figura 5(a)) para simular uma perturbação no sistema e isso foi feito conforme o diagrama da Figura 4 e obteve-se o resultado da Figura 5(b).

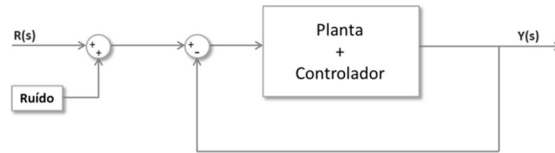


Figura 4. Esquema do sistema com perturbação

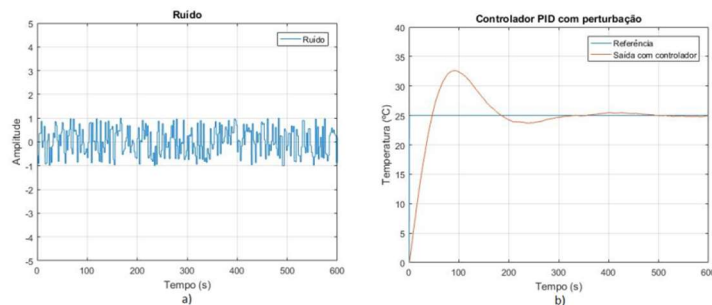


Figura 5. a) Sinal de perturbação; b) Simulação do sistema com perturbação

Como pode ser visto na Figura 5(b), o sistema mantém sua resposta dentro do esperado, apresentou pequenas oscilações, mas continua dentro do limite de 2% quando atinge o valor de regime, este que continua sendo de 300s (5 minutos). O sistema foi testado com outros tipos de oscilação e obteve resposta aceitável, o que se pode considerar um sistema de controle robusto.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos pelo controlador PID desenvolvido, foi possível constatar que o erro de regime permanente foi eliminado, além do tempo de acomodação ter sido reduzido para cinco minutos (300s), o que é bastante aceitável para o controle de temperatura predial em questão. Concluiu-se que dentre as comparações com um controlador liga-desliga e um PID sintonizado pelo Matlab, o controlador projetado obteve o melhor resultado. E mesmo adicionando perturbações ao sistema, ele permaneceu dentro da resposta esperada. Com isso, percebe-se que os resultados obtidos foram satisfatórios.

REFERÊNCIAS

- RODRIGUES DE OLIVEIRA, F. A. 2010. Instrumentação e identificação de um ambiente predial visando controle preditivo do conforto térmico. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Elétrica. p.11, p.3. p.63
- CREDER, H. (2004). Instalações de Ar Condicionado. 6ª Edição. Rio de Janeiro: LTC. p. 79
- OGATA, K. 2010. Engenharia de Controle Moderno. 5ª edição, Prentice Hall. p. 521