CONSTRUÇÃO DE UM MÓDULO EXPERIMENTAL DIDÁTICO PARA CONTROLE REGULATÓRIO DE TEMPERATURA UTILIZANDO ARDUINO

Leandro Favaretto (PIC/UEM), Lucas Francisco dos Santos (Co-orientador), Caliane Bastos Borba Costa (Orientadora). E-mail: cbbcosta@uem.br

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

Área e subárea do conhecimento: Engenharia Química/Processos Industriais de Engenharia Química.

Palavras-chave: ensino de controle de processos, código aberto, sistemas de controle.

RESUMO

Dada a crescente importância da operação de processos químicos com mais segurança, eficiência e responsabilidade ambiental, a implementação prática de controle de processos por meio de módulos de experimentais surge como um ponto crucial, que visa enriquecer o aprendizado dessa temática por estudantes de Engenharia Química. O objetivo deste trabalho foi confeccionar um módulo experimental para pesquisa, ensino e extensão em controle de processos com materiais de baixo custo, como baldes, mangueiras flexíveis e componentes eletrônicos simples. A experimentação com o mesmo mostrou-se extremamente efetiva, comprovando a eficácia das teorias de Controle de Processos e enriquecendo o aprendizado dos alunos por meio de uma atividade prática e interativa.

INTRODUÇÃO

Segundo Seborg *et al.* (2017), a competição global, as rápidas mudanças nas condições econômicas e regulações ambientais e de segurança cada vez mais restritas têm tornado cada vez mais importante o controle de processos nas indústrias. Consequentemente, engenheiros químicos vão necessitar, cada vez mais, dominá-lo para serem capazes de desenvolver, projetar e operar plantas químicas modernas.

Apesar disso, a disciplina de Controle de Processos é vista como uma das mais abstratas do curso, principalmente pela aplicação de conceitos avançados de matemática, como Transformadas de Laplace e equações diferenciais ordinárias. O módulo experimental construído teve como objetivo ser usado para enfrentar essa disparidade, fornecendo dados reais de um módulo para aplicação das teorias de controle, tanto para pesquisa científica, como para ensino na graduação e exposições científicas.

Existem dois problemas típicos de controle: um sistema projetado para seguir um valor de referência (set-point), em geral determinado por um operador dadas as condições de processo – chamado de controle servo - e um para manter uma saída

em um valor fixado, independente de perturbações que possam ocorrer – chamado de controle regulatório. O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um módulo experimental para controle regulatório de temperatura.

MATERIAIS E MÉTODOS

Após uma etapa de seleção, dimensionamento e compra de todos os materiais necessários para a construção, o módulo foi construído, da forma como se observa na Figura 1. Um esquema para entendimento do módulo foi feito e pode ser observado na Figura 2. O aparato construído possui dois sistemas de controle: um, na parte inferior, sendo o sistema de controle de vazão (descrito em outro trabalho), e na parte superior, o sistema de controle de temperatura. O funcionamento desse último se dá da seguinte maneira: a bomba P-001 succiona água do balde inferior TANK-001 e a envia para a derivação T-001, que direciona o fluxo de água. O valor da vazão é lido pelo sensor de vazão FT-001. Após passagem pela válvula VALV-002, a água chega no tanque superior TANK-002, que possui uma resistência de aquecimento R-001, um sensor de temperatura TT-002 e um agitador para homogeneização do conteúdo do tanque. A água deixa o tanque por transbordo, devido à existência de um ladrão, de modo que o volume se mantém constante.
Neste sistema, a variável controlada é a temperatura de saída, a variável manipulada é a potência de aquecimento fornecida pela resistência e a variável de perturbação é a vazão de água alimentada ao tanque superior.

Figura 1 – Seção do balde inferior, dos elementos elétricos e do balde superior do módulo, apelidado de PCA (Projeto de Controle com Arduino).

O controle foi implementado em placa Arduino. O código a ser executado pelo Arduino foi programado de modo a que fossem captados os comandos do usuário, fossem captados e filtrados os sinais dos sensores e fossem aplicadas as leis de controle. O código foi desenvolvido em C e está armazenado em um repositório público, que pode ser acessado por este link: https://github.com/Hyguys/Projeto_Controle_Arduino_ArduinoCode.

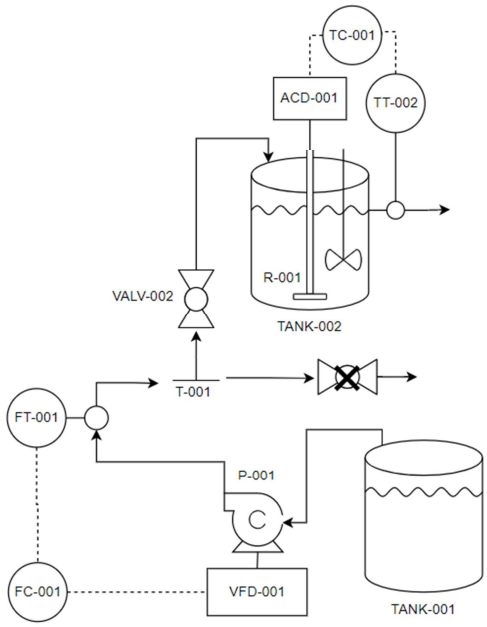

Figura 2 – Representação esquemática do PCA, no sistema de controle de temperatura.

Confeccionou-se também a programação do supervisório a ser usado pelo usuário para se comunicar com o sistema de controle e monitorá-lo. O código foi desenvolvido em C# com uso do .NET Framework e também está disponível publicamente, pelo link: https://github.com/Hyguys/Supervisorio_PCA_2023/releases.
Inicialmente, identificou-se o sistema de controle de temperatura por meio de teste experimental e depois por modelagem matemática. A partir do modelo identificado, diversas regras de sintonia de controlador foram aplicadas, como Ziegler-Nichols, Skogestad *Internal Model Control* e AMIGO, e diversos testes em malha fechada foram realizados, que demonstraram a eficácia do sistema de controle regulatório. A variável de perturbação no teste foi um degrau fixo na vazão da bomba.
Por fim, um manual foi confeccionado com instruções para operação e manutenção do módulo, e foi escrito um roteiro de prática laboratorial para que o módulo possa ser usado no ensino de Controle de Processos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto à identificação do sistema, observou-se relativa concordância entre a resposta do sistema experimental em malha aberta ao degrau imposto e a resposta esperada segundo o modelo matemático. Devido a problemas durante a experimentação, a temperatura de entrada não se manteve constante, mas sim aumentou na forma de rampa durante o experimento. Entretanto, usando-se a função de transferência da perturbação modelada, pôde-se considerar essa rampa na entrada e identificar a função de transferência do processo e compará-la com o modelo matemático. O ganho do processo K_p encontrado foi 0,109 °C/%, 24,3% menor do que o ganho do modelo, enquanto a constante de tempo τ foi de 11,1

minutos, 23% maior do que aquela da dinâmica modelada. A consideração, na derivação do modelo, de não haver perdas de energia para a vizinhança pode explicar a diferença no ganho e a de sistema perfeitamente agitado pode explicar a diferença observada na constante de tempo.

Quanto aos testes em malha fechada, os dois controladores testados, Ziegler-Nichols P e Skogestad *Internal Model Control* PI foram capazes de atuar no sistema de modo a neutralizar a perturbação o suficiente para que o erro na temperatura de saída não fosse maior do que a amplitude do ruído do sensor de temperatura e, portanto, não pudesse ser notada.

O módulo também teve aplicações em extensão, sendo apresentado ao público em geral no estande da UEM na ExpoIngá em abril de 2023 pelos membros do PET Engenharia Química UEM. Todos os que compareceram à bancada puderam observar que o engenheiro químico também pode atuar na parte de instrumentação e controle de processos industriais, e muitos jovens que tinham interesse prévio em Arduino e programação se mostraram cativados.

Por fim, quanto às aplicações em ensino, o aparato está sendo preparado em conjunto com professores do Departamento de Engenharia Química para uma série de práticas experimentais na disciplina de Laboratório de Engenharia Química III, tendo em vista que o módulo de controle usado rotineiramente nas práticas de Controle de Processos nessa disciplina está em manutenção.

O módulo experimental continuará em manutenção pelo PET Engenharia Química. No futuro, planejam-se estudos de aplicação de técnicas de controle mais avançadas, como cascata ou *feedforward*.

CONCLUSÕES

Pode-se concluir que o PCA, além de cumprir objetivos na pesquisa científica, também encontrou aplicações nas esferas de ensino e extensão.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido em parceria com o Programa de Educação Tutorial em Engenharia Química (PET-EQ UEM). Os recursos financeiros necessários foram oriundos do Custeio PET do ano de 2021.

REFERÊNCIAS

SEBORG, D. E.; EDGAR, T. F.; MELLICHAMP, D. A.; DOYLE III, F. J. **Process Dynamics and Control**. 4. ed. John Wiley & Sons, Inc, 2017.