

<https://eventos.utfpr.edu.br//sicite/sicite2020>

Construção de uma plataforma experimental para controle de nível de líquidos

Construction of an experimental platform for liquid level control

RESUMO

O sistema de controle de nível de líquidos em tanques é um processo essencial em muitas indústrias. Partindo deste pressuposto, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um módulo didático com a reprodução de maneira simplificada de um sistema de controle de nível de líquidos, utilizando materiais de baixo custo relativo, visando a fácil replicabilidade. O módulo é composto por uma bomba hidráulica (variável manipulada), sensor de nível do tanque principal (variável monitorada), pelo tanque principal (planta), a plataforma Arduino para aquisição de dados e o software MATLAB/Simulink responsável pelo controle da planta. Através da montagem do módulo, foi possível validar os conceitos de controle, implementando um controlador Proporcional Integrativo (PI) de forma empírica, através de exaustivos testes experimentais.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas de controle por realimentação. Arduino. Matlab. Simulink.

ABSTRACT

Liquid level control is an essential process in most of the industrial application. This paper presents the development of a didactic module with a simplified reproduction of a liquid level control system, using materials of low relative cost. The module consists of a hydraulic pump (manipulated variable), the main tank level sensor (monitored variable), the main tank (plant), an Arduino platform for data acquisition and the MATLAB/Simulink software responsible for controlling the plant. Through the assembly of the module, it was possible to validate the control concepts, implementing as Proportional Integrative Controller (PI) empirically, through exhaustive experimental tests.

KEYWORDS: Feedback control systems. Arduino. Matlab. Simulink.

Recebido:

Aprovado:

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

Com a demanda de processos produtivos cada vez mais otimizados, capazes de diminuir os custos, tempo e aumentar a capacidade e a qualidade de produção, a utilização e a modernização de sistemas de controle automático vem crescendo amplamente. Atualmente, a automatização está presente em diversos sistemas de manufatura e processos, tendo como exemplo, no controle automático de pressão, temperatura, umidade, viscosidade etc. (OGATA, 2010; NISE, 2010; DORF, 2013).

Dentre as diversas possibilidades de variáveis que podem ser controladas, os sistemas de controle de nível de líquidos em tanques são extremamente importantes e largamente empregados em muitos processos industriais, como nas indústrias petroquímica, de papel e celulose, de tratamento de água, entre outros. (OGATA, 2010; ALOTAIBI et al., 2019; OMIJEH; EHIKHAMENLE; PROMISE, 2020).

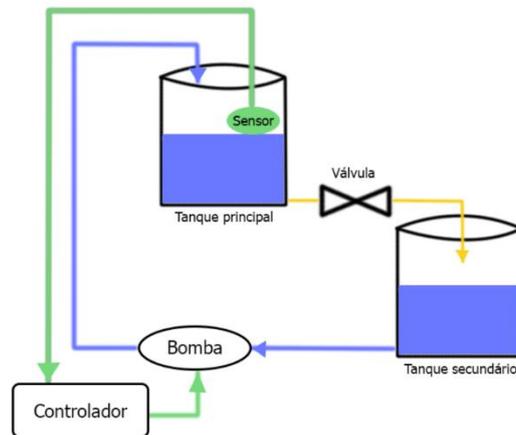
Recentes trabalhos que tratam do problema de controle em tanques podem ser encontrados na literatura especializada. A título de exemplo, Xu et al. (2020) investigam a aplicação de um novo método de controle adaptativo, baseado no modelo de *Port-Controlled Hamiltonian*, para atenuar distúrbios e incertezas paramétricas no controle de líquido de dois tanques. Já Mukhtar, Tayal e Singh (2019) utilizaram o conhecido controlador PID (Proporcional-Integrativo-Derivativo) para controlar o nível de líquido de um processo, os ganhos do controlador PID foram sintonizados de modo convencional e através da utilização do algoritmo de Otimização de Enxame de Partículas (em inglês, *Particle Swarm Optimization*, PSO), as respostas foram analisadas e comparadas quantitativamente.

Em vista disso, neste trabalho propõe-se o desenvolvimento de um módulo didático que reproduz de forma simplificada um sistema de controle de nível de líquidos, utilizando materiais de baixo custo relativo, visando a replicabilidade e a possibilidade de o acadêmico implementar na prática diversos conceitos teóricos da área de controle dinâmico vistos em sala de aula.

MATERIAL E MÉTODOS

O processo de controle de nível está ilustrado na Figura 1, sendo o objetivo principal manter o nível do tanque principal em uma altura pré-determinada, conhecido também como *setpoint* ou valor-desejado. O sensor monitora constantemente o nível do tanque principal e envia essa informação para o sistema de controle, onde, por meio da comparação entre o *setpoint* e o nível mensurado, é definido, pelo controlador, se é preciso ligar a bomba de água para atingir o nível pré-determinado ou não. A válvula é utilizada para criar um distúrbio no processo.

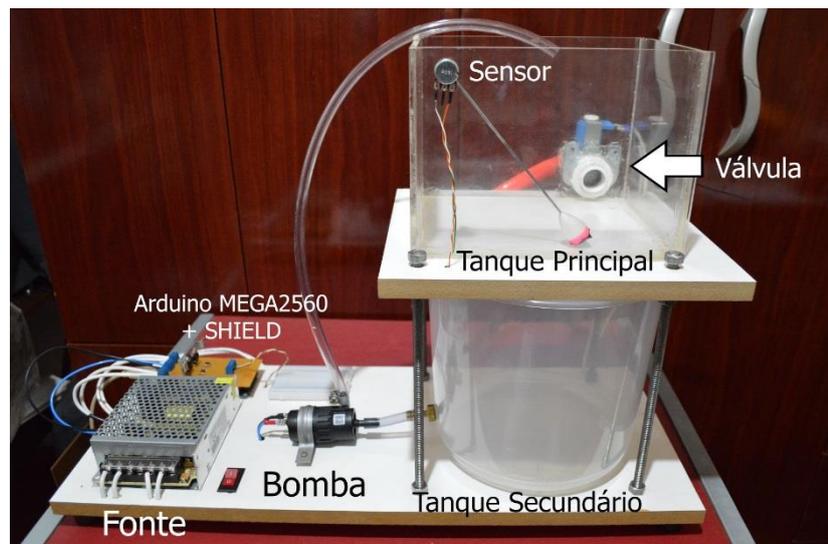
Figura 1 – Processo de controle de nível de líquidos



Fonte: Adaptado de Alotaibi et al. (2019).

Para o desenvolvimento do módulo didático, buscou-se utilizar de materiais de baixo custo relativo e acessíveis, com o objetivo de propiciar a replicabilidade de forma simples. O módulo didático construído está ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Módulo didático desenvolvido



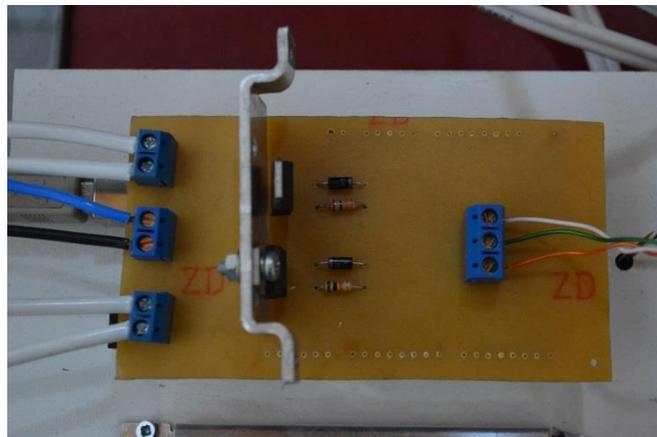
Fonte: Autoria própria (2020).

O módulo é composto por dois tanques. O **Tanque Principal**, com altura de 0,09 metros e capacidade de 2,565 litros, foi feito de acrílico e o **Tanque Secundário**, com altura de 0,15 metros e capacidade de 3,5 litros, foi feito de plástico. Uma **Bomba** de 12 volts, originalmente usada em reservatório de água de para-brisa, é utilizada para transportar a água do tanque secundário para o principal, sendo acionada pelo sinal oriundo de uma placa de prototipagem eletrônica **Arduino® Mega2560** (neste trabalho, o **Arduino®** foi utilizado como placa de comunicação). O nível de água é mensurado a partir de um potenciômetro de 10kΩ. Utilizado como **Sensor**; o potenciômetro transmite para a placa **Arduino®** um sinal de tensão proporcional ao nível. Uma **Válvula** solenoide de 12 volts foi

utilizada para criar um distúrbio no processo de controle. Para alimentar a bomba e a válvula solenoide, foi necessário a utilização de uma **Fonte** externa de 12 volts e 10 amperes, pois a tensão/corrente fornecida pela placa Arduino® não é suficiente. O processamento de sinal e o sistema de controle são realizados por intermédio do software MATLAB®/Simulink®.

Para chavear a bomba e a válvula solenoide foi desenvolvido um **Shield** para o Arduino®, mostrado na Figura 3, onde o chaveamento é realizado por meio de um transistor TIP122, resistores e diodos para a segurança. Devido a corrente utilizada pela bomba ser próxima de 5 amperes, foi preciso usar um dissipador de calor no TIP122.

Figura 3 – *Shield* para o chaveamento da bomba e da válvula solenoide



Fonte: Autoria própria (2020).

Para o controle dinâmico do módulo didático, foi implementado um controlador do tipo Proporcional Integrativo (PI). A Equação (1) mostra a função de transferência do controlador PI.

$$G_{control}(s) = k_p + \frac{k_i}{s} \quad (1)$$

sendo k_p o ganho proporcional e k_i o ganho integrativo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

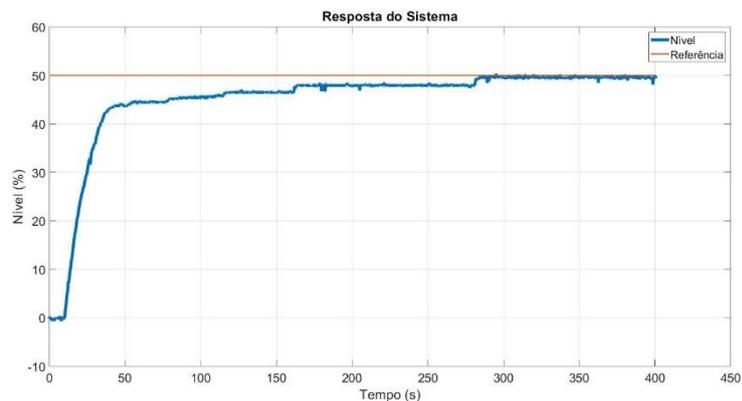
O controlador PI foi projetado de maneira empírica, através de diversos ensaios práticos e com o auxílio de simulações computacionais. Através da observação da resposta transitória de malha-fechada do sistema por meio de alterações dos ganhos k_p e k_i , foi possível entender o comportamento dinâmico do atuador e chegar nos ganhos, $k_p = 1,9$ e $k_i = 0,01$, que levaram a resposta a níveis satisfatórios.

Após a construção do módulo didático de controle de nível; da realização da comunicação entre o módulo e computador (MATLAB®/Simulink®); e da sintonia do controlador PI, foi possível obter a resposta controlada de malha-fechada do sistema. Assim, realizou-se o controle considerando um *setpoint* do tipo degrau

unitário de amplitude constante de 50%, correspondente a altura no tanque de 0,045 metros, e com a válvula solenoide fechada, sistema sem perturbações.

A Figura 4 mostra a resposta do sistema controlado em relação ao tempo. Nota-se que a resposta apresentou a característica de cauda longa devido ao efeito integrativo, porém sem *overshoot*. Como os ganhos do controlador foram sintetizados de forma empírica, sem levar em conta desempenhos na abordagem do problema, pode ser uma possível justificativa para a resposta lenta do sistema.

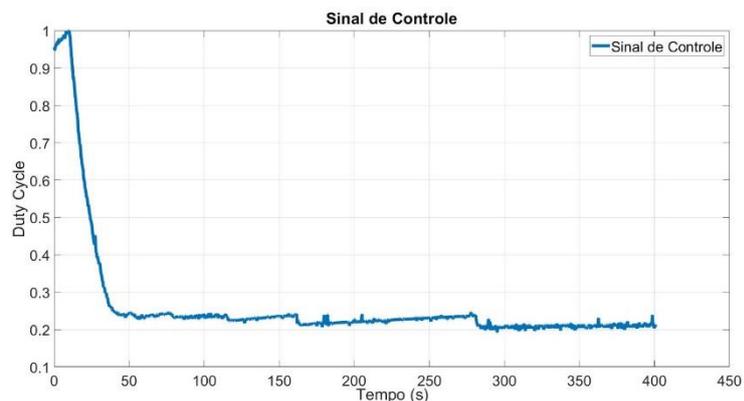
Figura 4 – Resposta ao degrau do sistema controlado



Fonte: Autoria própria (2020).

A Figura 5 mostra o sinal de controle, onde foi possível observar que a bomba não mantém a vazão quando o *Duty Cycle* é menor que 23%, aproximadamente. Assim, essa característica também pode ser uma possível justificativa para a resposta lenta do sistema.

Figura 5 – Sinal de controle do sistema de malha-fechada



Fonte: Autoria própria (2020).

CONCLUSÃO

O objetivo principal deste trabalho foi a construção e o controle de uma plataforma experimental de controle de nível de líquidos. A validação do módulo ocorreu através de testes experimentais. Para o controle do módulo, foi sintetizado um controlador do tipo PI de forma empírica, através de diversos ensaios práticos e teóricos, observando a resposta de malha-fechada do sistema

para diferentes valores de ganhos. Desse modo, foi possível produzir resultados satisfatórios de malha-fechada.

Por fim, o trabalho apresentado possui perspectivas de aperfeiçoamento e evolução para trabalhos futuros, tais como, melhorar a precisão do sensoriamento do nível de líquidos, obtenção de uma função de transferência para o sistema via modelagem e/ou utilizar-se da técnica de identificação de sistemas, aplicar outras estratégias de controle com o intuito de obter resultados mais satisfatórios.

REFERÊNCIAS

ALOTAIBI, M. et al. Implementation of liquid level control system. *In: 2019 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATIC CONTROL AND INTELLIGENT SYSTEMS (I2CACIS)*, pp. 311-314, 2019, Selangor, Malaysia. **Anais...** Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8825058>. Acesso em: 29 jul. 2020.

DORF, R. C.; BISHOP, R. H. **Sistemas de controle modernos**. 12 ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2013.

MUKHTAR, A.; TAYAL, V. K.; SINGH, H. PSO optimized PID controller design for the process liquid level control. *In: 2019 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON RECENT DEVELOPMENTS IN CONTROL, AUTOMATION & POWER ENGINEERING (RDCAPE)*, pp. 590-593, 2019, Noida, India. **Anais...** Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8979108>. Acesso em: 29 jul. 2020.

NISE, N. S. **Engenharia de sistemas de controle**. 6 ed. Rio de Janeiro, Brasil: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2010.

OGATA, K. **Engenharia de controle moderno**. 5 ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2010.

OMIJEH, B. O.; EHIKHAMENLE, M.; PROMISE, E. Simulated design of water level control system. **Computer Engineering and Intelligent Systems**, ISSN 2222-1719 (Paper) ISSN 2222-2823 (Online), vol. 6, No.2, 2015.

XU, T. et al. Adaptive disturbance attenuation control of two tank liquid level system with uncertain parameters based on port-controlled Hamiltonian. **IEEE Access**, vol. 8, pp. 47384-47392, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9027936>. Acesso em: 29 jul. 2020.