

12º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2021

DESENVOLVIMENTO DE UM CONTROLADOR PI EMPREGANDO O USO DO MICROCONTROLADOR ATMEGA328P.

BRUNO DE SOUZA SANT'ANA¹, DANILO BASSETO DO VALLE²

¹Graduando em Engenharia Elétrica, bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus Votuporanga, bruno.souza@aluno.ifsp.edu.br

²Docente, Orientador PIBIFSP, IFSP, GPAI, Câmpus Votuporanga, danilo.valle@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.05.02-5 - Automação Eletrônica de Processos Elétricos e Industriais

RESUMO: Neste estudo buscou-se implementar um sistema para o controle de nível de um reservatório conforme o *setpoint* definido pelo usuário. Para o desenvolvimento do projeto empregou-se o uso de um sensor ultrassônico, um microcontrolador ATmega328p, uma bomba de água e um reservatório para a transferência do líquido. No que tange aos equipamentos empregados, sua adoção se baseou em seu baixo custo para o desenvolvimento da aplicação. No tocante ao processo de mensurar os valores por meio do sensor ultrassônico, havia dúvidas se o emprego de apenas um sensor seria suficiente para que os valores lidos mantivessem um padrão, sem que comprometesse a leitura dos sinais. O objetivo principal dessa pesquisa foi encontrar uma função que conseguisse descrever a planta do sistema, assim como determinar os parâmetros do controlador, para que deste modo houvesse a função de transferência de todo o sistema. Os resultados adquiridos até o momento mostram que o controlador PI responde de maneira satisfatória, uma vez que ao aplicar uma perturbação ao sistema, conseguiu manter a estabilidade. Verificou-se então que é possível fazer o uso do microcontrolador ATmega328p em aplicações na qual necessita um sistema de controle, aplicando sensores de baixo custo.

PALAVRAS-CHAVE: ATmega328p; controle PI; microcontrolador; sensor ultrassônico; sistema controle;

DEVELOPMENT OF A PI CONTROLLER EMPLOYING THE USE OF THE ATMEGA328P MICROCONTROLLER.

ABSTRACT: In this study we sought to implement a system to control the level of a reservoir according to the setpoint defined by the user. To develop the project, an ultrasonic sensor, an ATmega328p microcontroller, a water pump, and a reservoir to transfer the liquid were used. In regard to the equipment used, its adoption was based on its low cost for the development of the application. Regarding the process of measuring the values by means of the ultrasonic sensor, there were doubts whether the use of only one sensor would be enough for the read values to maintain a standard, without compromising the reading of the signals. The main objective of this research was to find a function that could describe the system, as well as to determine the controller parameters, to have the transfer function of the whole system. The results acquired so far show that the PI controller responds satisfactorily, since when applying a disturbance to the system, it was able to maintain stability. It was verified that it is possible to use the ATmega328p microcontroller in applications that require a control system, applying low-cost sensors.

KEYWORDS: ATmega328p; PI control; microcontroller; ultrasonic sensor; control system;

INTRODUÇÃO

Diversas plantas industriais possuem uma sequência de atividades, onde são automatizadas e necessitam de um sistema de controle, onde atuam de forma direta em algumas variáveis, sendo estas:

temperatura, nível, vazão, umidade, deslocamento, pressão etc. Dessa forma, quanto maior o grau de precisão no ato do controle do sistema, maiores são os erros eliminados na saída do sistema, resultado em uma resposta final com maior qualidade (OGATA, 2010).

Cerca de 75% dos controles empregando o uso de feedback nos processos industriais são controladores proporcional e integral (PI), na sequência, emprega-se os controladores proporcional, derivativo e integral, designados por (PID) e, por fim, com um número reduzido aparecem os controladores proporcionais (P) ou proporcional e derivativo (PD), conforme Gopal (1993).

Nesse contexto, o controle de nível será através do sensor de distância HC-SR04, que de acordo com Morgan (2014), possui ângulo de abertura de 30°, margem de atuação de 2 a 400 centímetros (cm) e uma resolução de 0,3 cm, podendo ser empregado em inúmeras aplicações práticas, com um preço extremamente inferior à de um sensor ultrassônico industrial.

Para o projeto adotou-se o uso do microcontrolador ATmega328p, o qual disponha de uma memória *Flash* 32 KB, memória EEPROM 1KB e 14 entradas e saídas (PICININ, [s.d]).

Embora o trabalho ainda esteja na fase de desenvolvimento, foi possível obter êxito no desenvolvimento do código, resultando na simulação do controlador PI, adotando os parâmetros encontrados na análise quantitativa. Tal código desenvolvido no microcontrolador ATmega328p pode ser aplicado em diversos sistemas, onde se deseja aplicar o controle PI, uma vez que o custo do projeto se sobressai quando comparado ao emprego de um *PLC* (*Programmable Logic Controller*) industrial.

MATERIAL E MÉTODOS

Para empregar o uso do controlador sobre a planta em análise, é essencial ter conhecimentos preliminares de sistemas de controle. Tais parâmetros como K_p , K_i e K_d dependem exclusivamente da vazão do reservatório e o processo para determiná-los segue no formato de testes e captação dos dados por meio do *software* PLX-DAQ, no qual possibilitou posteriormente a plotagem da curva que rege o comportamento do sistema, assim como a obtenção dos parâmetros citados anteriormente para posterior implementação do controle PI.

Nesse momento é importante enfatizar que dentre as diversas configurações disponíveis de controle PID, adotou-se o controle PI, uma vez que se empregou o uso do Lugar Geométrico das Raízes (L.G.R.) para encontrar os integradores do controlador, conforme Shirahige (2007).

O processo para captação dos dados de nível ocorreu em primeiro momento através de testes práticos e, na sequência, uma análise gráfica para determinar uma função que descrevesse o sistema em malha aberta, assim como em malha fechada. Todo processo é descrito conforme Figura 1.

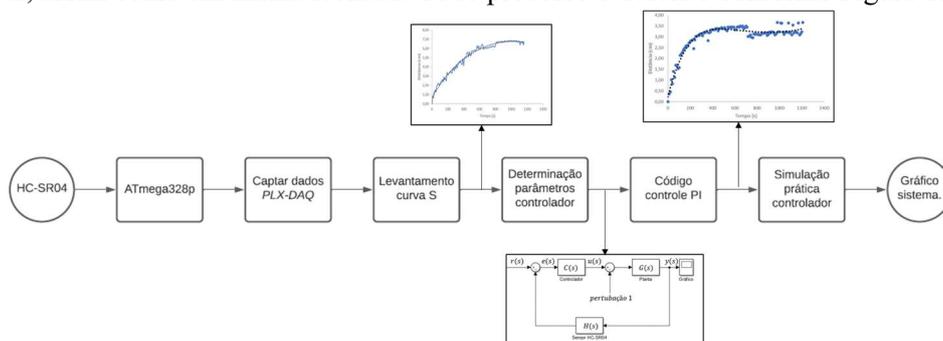


Figura 1 – Fluxograma com a sequência das atividades a serem executadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O microcontrolador ATmega328p empregado no projeto, em conjunto com o sensor ultrassônico HC-SR04 conseguiu executar com êxito as leituras da distância do nível, a validação do sensor se deu pela comprovação dos valores lidos frente a uma régua graduada. A determinação dos parâmetros do controlador PID depende exclusivamente do levantamento destas leituras, uma vez que havia a necessidade de obter a curva de reação do processo em formato sigmoidal (curva S), conforme conhecida em livros didáticos de controle (OGATA, 2010).

A primeira etapa da pesquisa consistiu em aplicar um *PWM* igual a 200 (saída do microcontrolador) diretamente ao terminal do módulo Mosfet IRF520, que em termos de tensão, corresponde a 3,67 Volts. Com este nível de tensão aplicado na entrada do módulo, obteve-se uma tensão constante aplicada sob os terminais da eletrobomba equivalente a 9,4 Volts (saída do Mosfet IRF520).

Tendo em vista uma compreensão dos conceitos citados, a Figura 2 ilustra todo o processo adotado até o presente momento.

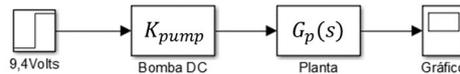


Figura 2 – Diagrama de bloco para modelagem da função de transferência

Conforme se aplica uma entrada degrau no sistema, a captação dos dados se inicia até o momento de estabilização do líquido, onde a vazão de entrada corresponde com a vazão de saída. Após a estabilização do sistema, tem-se todos os dados disponíveis para plotar a curva. Vale ressaltar que os dados foram captados empregando-se o uso do *software PLX-DAQ (Parallax Data Acquisition tool)*. A Figura 3 ilustra a curva reação do processo que foi captada.

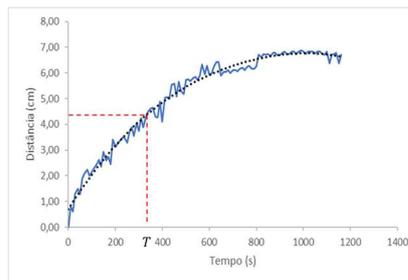


Figura 3 – Resposta do sistema ao aplicar uma entrada degrau

A etapa seguinte do trabalho consiste em modelar o sistema e determinar os parâmetros que compõe a função de transferência, tomando como base as Figura 2 e 3.

$$G(s) = K_{pump} * G_p(s) = \frac{K_{sistema}}{Ts + 1} \quad (1)$$

No que tange ao ganho do sistema, que se denomina por $K_{sistema}$, este é constituído pelos termos descritos na equação 2.

$$K_{sistema} = \frac{H_{máx} - H_{mín}}{V_{máx} - V_{mín}} \quad (2)$$

Na equação (2) temos que, $H_{mín} = 0$ cm, $H_{máx} = 6,83$ cm (vide Figura 3), $V_{mín} = 0$ volts e $V_{máx} = 3,67$ volts (PWM = 200 na saída do microcontrolador). Considerando os dados adquiridos, estes foram inseridos na equação 2, resultando em um valor para o ganho do sistema em análise, conforme expressa a equação 3.

$$K_{sistema} = \frac{6,83}{3,67} = 1,8610 \frac{cm}{V} \quad (3)$$

Para adquirir a função de transferência do sistema, adota-se a constante de tempo T , relacionada diretamente ao ponto na qual a altura corresponde a 63% do valor de estabilização (ver Figura 3). Verifica-se então que o valor encontrado equivale 331 segundos. As informações foram adquiridas por meio de análise gráfica conforme os testes previamente descritos, chegando-se à função de transferência que é descrita por meio da equação 4.

$$G(s) = \frac{1,8610}{331s + 1} \quad (4)$$

Para comprovar o processo realizado, empregou-se o uso do *software Matlab®* para plotar os dados adquiridos através do *software PLX-DAQ*, assim como a curva que representa a função $G(s)$ deduzida anteriormente. Tal motivo foi necessário para comprovar se o modelo matemático corresponde com a curva dos valores obtidos pelo sensor. A Figura 4 representa o comportamento mencionado.

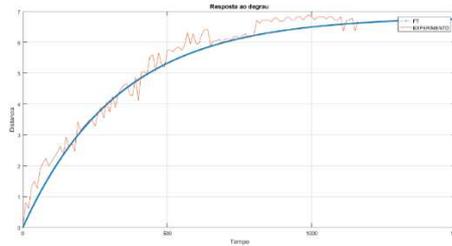


Figura 4 – Resposta ao degrau (laranja) x função de transferência (azul)

Realizado o processo conforme as etapas supracitadas é possível verificar por intermédio da Figura 4 que os dados captados fisicamente (na cor laranja) condizem com o modelo matemático descrito pela equação 4. Realizada a conferência, a próxima etapa consiste em determinar os parâmetros do controlador a ser empregado.

Ao realizar uma análise quantitativa da equação 4, observa-se que a função encontrada é de primeira ordem e, por sinal, possui um polo de $-0,003021$ (valor de s que anula o denominador), ou seja, próximo ao ponto crítico, porém dentro da região de estabilidade.

Nesse instante torna possível implementar o controlador no diagrama em blocos, uma vez que a planta já é conhecida e faz necessária o seu controle. Para uma melhor visualização e compreensão do procedimento, a Figura 5 representa a configuração do diagrama em blocos a ser seguido.

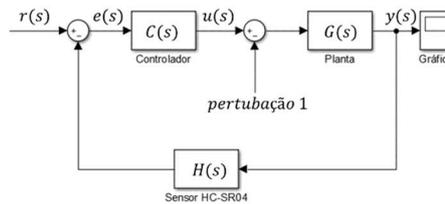


Figura 5 – Representação do diagrama em bloco do sistema.

Posteriormente pode ser descrito uma equação que descreve o sistema em malha fechada conforme a Figura 5, sendo definida mediante a equação (5).

$$A(s) = \frac{C(s) \cdot G(s)}{1 + C(s) \cdot G(s)} \quad (5)$$

Inicialmente tem-se a função $G(s)$, porém, em contrapartida, a função $C(s)$ segue como desconhecida. Para encontrá-la em definitivo são necessárias algumas condições, ou seja, considerar o sistema em malha aberta e adotar $T_i = 100$ e $K_p = 1$ (prática comumente adotada).

A função que descreve o controlador $C(s)$ é representado por meio da equação (6).

$$C(s) = \frac{K_p \left(s + \frac{1}{T_i} \right)}{s} \quad (6)$$

Para tal estudo, emprega-se o uso do gráfico L.G.R., pois através dele pode ser verificado o que ocorre com o *overshoot* para diferentes valores de K_p . Com o objetivo de obter um *overshoot* menor que 10% (estipulado em projeto), foi definido com o auxílio do gráfico L.G.R. um valor de 4,22 para este ganho.

Ao encontrar os parâmetros do controlador, obtêm-se a função $C(s)$ e, a partir dela, juntamente com $G(s)$, dispõe-se da função $A(s)$ em malha fechada, sendo representado conforme equação (7).

$$A(s) = \frac{0,02372s^3 + 0,0003089s^2 + 7,167e^{-07}s}{s^4 + 0,02977s^3 + 0,000318s^2 + 7,167e^{-7}s} \quad (7)$$

Com todos os parâmetros encontrados, desenvolveu-se o código para o microcontrolador ATmega328p, para assim realizar o controle PI sob a planta de interesse. Em um primeiro momento, adota-se um *setpoint* de 3,32cm, na qual sua estabilização pode ser observada pela Figura 6.

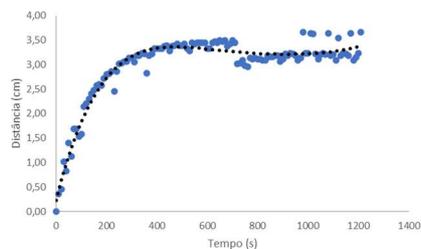


Figura 6 – Controlador PI ao adotar *SetPoint* 3,32 cm.

Havendo a estabilização do sistema, aplica-se uma perturbação no reservatório, ou seja, insere-se água na parte superior do reservatório, alterando o regime permanente do líquido e, em consequência, percebe-se que o nível oscila tentando reestabelecer o valor do *setpoint* adotado. Todo o comportamento por ser visualizado por intermédio da Figura 7.

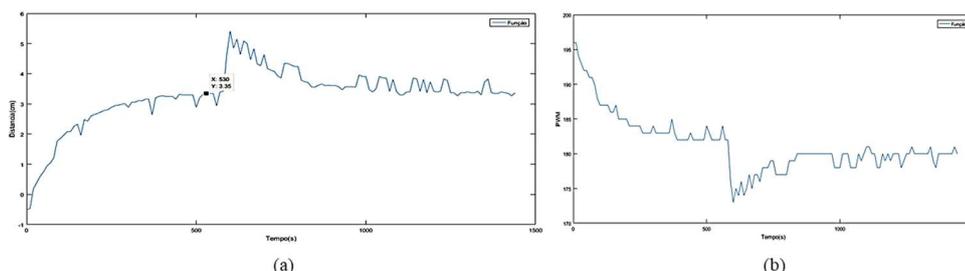


Figura 7 – Perturbação ao sistema, comparando *SetPoint* x *PWM*. (a) relação nível; (b) relação *PWM*.

No ato em que o nível aumenta, a Figura 7 exibe que o *pwm* aplicado tende a diminuir até o momento que o nível reestabeleça para o *setpoint* desejado. Após alguns segundos da ocorrência da perturbação, o sistema volta novamente a seu estado de regime.

CONCLUSÕES

Nossos resultados mostraram que o microcontrolador ATmega328p tende a ser útil em aplicações que envolva o controle PI, conforme sistema em malha fechada. Verificou-se que ao aplicar uma perturbação no sistema ele conseguiu retornar ao ponto de estabilidade. Na sequência conseguiu-se observar que o valor de *PWM* diminuiu justamente até o nível retornar ao *setpoint* definido pelo usuário. Desse modo, o estudo demonstra a possibilidade de empregar o microcontrolador ATmega328p em aplicações onde envolva sensores de baixo custo, uma vez que a resposta ao se aplicar uma perturbação não ocasionou instabilidade ao sistema.

Por fim, cabe fazer uma ressalva, uma vez que os gráficos apresentam pontos lidos de forma errônea. Assim, uma forma de contornar a situação seria empregar dois sensores no reservatório e realizar uma média das medidas, descartando os valores discrepantes do *range* de atuação da medida e eliminando desta forma, os erros previamente citados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao GPAI (Grupo de Pesquisa em Automação e Inovação) e ao Programa Institucional de Iniciação Científica e Tecnologia do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo (PIBIFSP).

REFERÊNCIAS

- GOPAL, M. Modern control system theory. 2. ed. John Wiley Professional, 1993.
- MORGAN, E. J. HCSR04 Ultrasonic Sensor. Disponível em: <<https://datasheetspdf.com/pdf-file/1380136/ETC/HC-SR04/1>>. Acesso em: 15 ago. 2021.
- OGATA, K. Engenharia de controle moderno. 5. ed. Rio de Janeiro: Prentice Hall, 2010.
- PICININ, A.; WEIZENMANN, G. S. Desenvolvimento de um CLP de baixo custo baseado em microcontrolador. [s.d]. Instituto Federal de Santa Catarina Chapecó.
- SHIRAHIGE, Alessandro Barbosa. Metodologia para aferição da ação de controle proporcional integral derivativa implementada em controladores industriais. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.