

# CONTROLE DE POSICIONAMENTO DE UM ATUADOR HIDRÁULICO VIA INTERNET

## Control of a hydraulic cylinder's positioning by using internet

D. Oliveira<sup>1</sup>, P. C. S. Emanuel<sup>2</sup>, A. J. C. Pitta<sup>3</sup>, M. A. V. Oliveira<sup>4</sup>, E. D. Orellana<sup>5</sup>, R. B. Zoadelli<sup>6</sup>

**Resumo:** A O presente trabalho foi desenvolvido sobre a proposta do desenvolvimento de um sistema de controle de posicionamento de um atuador hidráulico, pelo uso de um micro controlador PIC18F4431 através de uma interface com Androide conexão via internet. Para isso contou-se com o uso de uma válvula proporcional, o que envolveu inúmeros testes para sua compreensão, simulações das programações de controle com uso do software Proteus bem como todo um projeto de realimentação do sistema de controle contando com o desenvolvimento de uma estrutura de encoder linear adaptado, que pode ser feita com auxílio de uma impressora de três dimensões (3D). Ressalta-se que para o controle utilizou-se da lógica proporcional e integral e derivativa (PID), sendo necessários testes para a regulação dos termos matemáticos utilizados, obtendo como resultados finais apenas a aplicação do controle PI, criação do aplicativo e conexão com a internet.

**Palavras-chave:** Posicionamento; atuador hidráulico; controle PI.

**Abstract:** This work was developed by the purpose of the development of a hydraulic cylinder positioning's control, by the use of a PIC18F4431 microcontroller using an Android interface with an internet connection. For this, it was counted with the use of a proportional valve, which involved several tests to its comprehension, simulations of the programmations of control with the use of the software

Proteus, as all a feedback control system's project counting with the development of an adapted linear encoder, that could be done with help of an three dimensional (3D) printer. It stands out that for the control it was used the proportional, integrative and derivative (PID) logic, being necessaries tests of the regulation of the mathematical used terms, obtaining only de application of the PI control, development of the application and connection to the internet.

Keywords: Composite; Positioning; hydraulic cylinder; PI control. I. INTRODUÇÃO

### INTRODUÇÃO

Os sistemas hidráulicos oferecem grandes potências com confiabilidade, rapidez e eficiência (ANDRIGHETTO, 1996). Visto isso são objetos de diversos estudos principalmente no que diz respeito a métodos para seu controle. Segundo Fialho (2002), eles apresentam-se como alternativas aos sistemas mecânicos e elétricos uma vez que são mais maleáveis na aplicação de grandes esforços em pequenas áreas. Além disso, têm também vantagens como: fácil instalação, rápida inversão de movimento, ajustes em escala micrométrica, auto lubrificação, etc.

Quanto ao seu controle destaca-se o emprego usual de válvulas do tipo ON-OFF, servoválvulas ou válvulas proporcionais. As primeiras mostram-se como uma opção limitada visto que dispõe ao sistema apenas dois estágios de fluxo do fluido, tornando-se conseqüentemente digitais: funcionam totalmente abertas ou fechadas. Quanto às servoválvulas, acabam sendo opções de alto custo e difícil manutenção (LAI; CHEN, 1992). Visto isso, as válvulas proporcionais inferem em maiores vantagens já que, além de assumirem posições intermediárias, mediante variação de corrente de entrada em seus solenoides, têm também menores custos.

---

1. Doutor em História das Ciências, Pesquisador e Coordenador do Núcleo de Pesquisa do Centro Universitário ENIAC. E-mail: daniel.oliveira@eniac.edu.br

2. Doutor em Engenharia Biomédica, professor da Faculdade de Tecnologia Termomecânica. profpemanuel@gmail.com

3. Mestre em Engenharia Elétrica, professor titular da Faculdade de Tecnologia Termomecânica e-mail: ajpitta@uol.com.br

4. Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, mestrando em Biotecnociências pela UFABC. E-mail: moliveira@cefsa.edu.br

5. Graduada em tecnologia em Mecatrônica Industrial pela Faculdade de Tecnologia Termomecânica. E-mail erika.brassel.inca@gmail.com

6. Graduado em tecnologia em Mecatrônica Industrial pela Faculdade de Tecnologia Termomecânica. E-mail rodrigo.bonilha1@gmail.com

A determinação dessa corrente dá-se pelo auxílio da eletrônica que conforme Canuto et al (2013, p. 2 apud D., 1996) há mais de 10 anos integra-se com os sistemas hidráulicos, ofertando-lhes maior configurabilidade, facilidade de ajustes paramétricos, capacidade de análises diagnósticas e monitoramento. Assim, válvulas simples resultam em inteligentes dispositivos de controle que podem ser ainda mais incrementados com o uso de microcontroladores (BOES, 200-), “quando usadas com controladores eletrônicos, fornecem um altonível de controle, que era impossível de ser alcançado em sistemas hidráulicos mais antigos” (ANDRIGHETTO, 1996, p. 1 apud GRAEBERT, 1991). A chamada “internet das coisas” (IOT, em sua sigla em inglês) vem interconectando cada vez mais pessoas e computadores, dando um acesso mais cômodoaos sistemas e controles num processo de automação reativo. Nada mais interessante que uma proposta de sua inclusão no controle de sistemas como os hidráulicos. Conforme Boes (200-) ajustes e determinações de parâmetros em válvulas hidráulicas podem ser feitos a milhares de quilômetros por acesso remoto, o qual seinterpreta também como tecnologia Wireless (sem fio).

Perante isso, a proposta de um sistema de controle sem fio IOT, utilizando-seum microcontrolador e uma válvula proporcional têm grandes motivações, destacando-se: o já citado custo elevado de servoválvulas e válvulas ON-OFF; a falta de literatura na área, visto que a maior parte das informações referentes ao uso e aplicação das válvulas proporcionas é obtida de catálogos de fabricantes (ANDRIGHETTO, 1996), o que gera novas informações; o incremento nas pesquisas de não-linearidades e seu consequente controle; a modernização desse tipo de sistema por meio do uso da internet em substituição ao amplamente utilizado, bluetooth; o contato com novos componentes eletrônicos em expansão, que é o caso dos módulos wireless; entre outras motivações.

Dessa forma, o projeto teve como objetivos a realização do controle de posicionamento, projeto de um

sistema de leitura para realimentação do sistema de controle por meio de um sensor do tipo encoder, emprego das ações de controle proporcional, integral e derivativa e desenvolvimento de um aplicativo para o envio dos dados de comando do atuador hidráulico via internet.

## 1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A plataforma Androidé um dos sistemas operacionais mais utilizados no mundosendo que em 2014, cerca de três bilhões de aparelhos dispunham da plataforma. Unidaà chamada Internet das Coisas, auxilia no incremento da tecnologia ao cotidiano das pessoas e resulta na simplificação e maior velocidade de diversas atividades.

Para oprojeto propôs-se o uso de um módulo WiFi do tipo ESP, de modo a que se efetuasse o controle pela internet por meio de um aplicativo em Android. Tal módulo é configurado através de comandos básicos do tipo AT (do inglês attention), e possui fisicamente pinos de alimentação e de envio e recepção de dados via comunicação serial. Essa configuração inicialpode ser facilmente realizada pelo uso de uma placa Arduino, a qual dispõe de um microprocessador, memórias internas, temporizadores, contadores e outros, sendo um microcontrolador extremamente versátil.

Com relação à hidráulica, esta tempor princípio o deslocamento de óleo para a movimentação de atuadores, bombas, válvulas, entre outros, ofertando grandes forças aos sistemas. Já a chamada hidráulica proporcional tem como principal característica o uso deválvulas proporcionais que controlam o fluxo de fluido para a determinação precisa de velocidade e posição de um atuador, por exemplo.

Uma válvula proporcional é constituída por dois solenoides magnéticos deslocados conforme a entrada de corrente, a qual gera uma força magnética proporcional que permite um controle preciso de posição. Essa entrada variável de corrente pode ser obtida com uso das chamadas

portas H, circuitos com transistores responsáveis por aumentar dadas correntes – fornecidas por um PIC ou Arduino, por exemplo – de modo a não prejudicarsuas portas que oferecem uma corrente limitada, permitindo o acionamento simultâneo de dois motores, por exemplo, controlando os sentidos de giro de cada um e também suas velocidades com auxílio de pinos de modulação de largura de pulso (PWM em sua sigla em inglês).

Tais válvulas normalmente são controladas por controladores lógicos programáveis (CLPs) e outros de grande ou igual porte. Entretanto, o uso de microcontroladores para o controle dessas portas, e indiretamente das válvulas, é mais viável. Dispondo de circuitos internos como conversores analógico/digital, temporizadores, comparadores, interfaces de comunicação e PWMs, são programáveis e reprogramáveis, com grandes capacidades de armazenamento que permitem os mais variados tipos de controle, podem ser exemplificados pelas placas Arduino ou microcontroladores da família PIC. Estes últimos dependem de uma programação em linguagem C e podem ser simulados em softwares como o Proteus.

Entretanto, sistemas de controle exigem uma realimentação, muitas vezes realizada por um encoder, de modo a corrigir erros e gerar saídas precisas. O encoder é um sensor de posicionamento que utiliza uma fita transparente com riscos pretos igualmente espaçados e um sensor constituído por um led emissor e receptor de luz. Quando o led emite a luz pela divisão transparente, o receptor gera um pulso de estado lógico 1. Já quando o emissor emite luz no risco preto, ele envia um pulso para o microcontrolador de estado lógico zero. O PIC interpreta esses pulsos mandando o atuador para a posição desejada, por meio de um algoritmo de controle que pode ser do tipo proporcional – que gera uma correção proporcional ao erro –, integral – proporcional ao produto do erro pelo tempo – e derivativo – proporcional à taxa de variação do erro

–(PID), um dos mais utilizados na indústria.

## 2. METODOLOGIA

Para o controle de posicionamento proposto, diferentes partes do projeto tiveram de ser definidas com base em critérios como: facilidade de manuseio, acessibilidade, especificações técnicas, entre outras.

Como um conjunto complexo, seu funcionamento pode ser basicamente compreendido da seguinte forma: o aplicativo Android define o valor de posicionamento desejado por meio de um botão deslizante, bem como estabelece a conexão à internet através dos dados de número de porta de conexão (80) e IP do módulo ESP8266-01; o valor de posicionamento é recebido pelo módulo, que fora previamente configurado com auxílio de uma placa Arduino, e repassado ao microcontrolador PIC18F4431 por comunicação serial; este por sua vez é responsável por variar duas saídas PWM que modificam as tensões de saída da ponte H L298; as duas saídas variáveis desse driver de potência variam por consequência as correntes de entrada dos solenoides da válvula proporcional; esta, a partir da mudança de corrente, resulta na variação de vazão que gera o deslocamento da haste do atuador até a posição definida; um sensor encoder linear é responsável por fazer a leitura da posição alcançada e gerar dados ao algoritmo PID interno à programação do microcontrolador; esse então efetua as correções necessárias realizando o controle através das constantes preestabelecidas para nos cálculos matemáticos PID.

Inicialmente determinou-se o sistema hidráulico composto basicamente pelo tanque, válvula proporcional, atuador simples de dupla ação e bomba hidráulica. A escolha do PIC18F4431 decorreu da existência de canais de leituras de encoder internos a esse microcontrolador e a presença de 8 portas PWM, bem como a existência do protocolo UART para comunicação serial.

Quanto ao módulo de potência, frente à necessidade de duas saídas independentes de tensão, com capacidades suficientes ao dimensionamento proposto, optou-se pela ponte H L298. Seu uso, entretanto, dependeu de inúmeros e variados testes, de modo a compreender-se seu comportamento unido à válvula, e resposta às variações dos PWMs. Disso concluiu-se a necessidade de um circuito de optoacopladores para eliminação de ruídos das saídas PWM do PIC e isolamento do sistema de controle do sistema de potência. Também se depreendeu que, perante características específicas da válvula utilizada, era necessária uma tensão de 1,9V e uma corrente de 50mA à solenoide responsável pelo avanço do atuador, e de 2,6V e 67mA à solenoide de retorno, sendo que após a saída da inércia, o atuador passava a exigir valores menores de 1,3V e 37mA para continuidade de seu movimento.

O módulo WiFi escolhido foi o ESP8266-01, devido ao seu baixo custo, relativa facilidade de programação e crescente uso. Sua configuração pode ser feita através de uma programação simples via comunicação serial entre este e o Arduino, pela qual era possível o envio de comandos AT em seu monitor serial. A conexão passou então a depender do aplicativo.

O desenvolvimento desse último ocorreu de maneira concomitante à configuração do módulo, pela plataforma App Inventor, o qual disponibilizou um link para download do mesmo. Sua estrutura básica dispõe ao desenvolvedor uma interface de programação em blocos e outra referente ao seu design. O resultado final do aplicativo pode ser visto na figura a seguir, onde se veem os espaços destinados aos dados para conexão, o botão deslizante e caixa de texto indicando o valor de posição alcançado.



Figura 1 - Estrutura do aplicativo.

Fonte: Própria, 2016.

Com relação ao encoder, adaptou-se uma fita encoder de uma impressora. Estapor sua vez contou com suportes projetados e um foto-emissor e receptor para constituir então um encoder linear – visto que o deslocamento do atuador é também linear. Foram realizados ajustes e testes para obtenção de sua resolução sendo que o foto-emissor e receptor fora acoplado ao batoque do atuador de modo a acompanhar seu deslocamento.



Figura 2 - Sistema encoder.

Fonte: Própria, 2016.

Ao canal 2 do encoder acrescentou-se um circuito com um amplificador BC547, visto que a tensão que fornecia ao microcontrolador era muito baixa para sua correta leitura.

Ao fim, desenvolveu-se o algoritmo de controle com apenas as ações proporcional e integrativa na programação do PIC, na qual se determinou também, a critério de teste, que ao alimentar-se o sistema, o atuador fosse deslocado a uma

posição intermediária ao seu curso total, de modo a realizar uma espécie de calibração e referenciamento.

### 3. RESULTADOS

O término do trabalho deu-se com a execução do referenciamento do sistema a partir de um setpoint automático embutido na programação final do microcontrolador, o que significou o total funcionamento das ações de controle proporcional e integrativa desenvolvidas.

Além disso, com relação à IHM via aplicativo, conseguiu-se enviar o dado do Arduino ao PIC, porém, a programação deste último acabou apresentando falhas quanto ao tratamento do dado recebido, não sendo possível então, a visualização da mudança de posição do atuador com o envio da posição desejada pelo celular.

Entretanto, verificou-se que com os circuitos auxiliares do transistor e optoacopladores, o sistema de potência e controle se comportou muito melhor com relação às respostas desejadas. Incluiu-se um resistor de  $10K\Omega$  entre o TX do Arduino e o RX do módulo Wifi, de modo a que fosse reduzido o valor da tensão de entrada no ESP8266, para que o componente não queimasse visto que sua tensão máxima de alimentação é limitada até 3,3V.

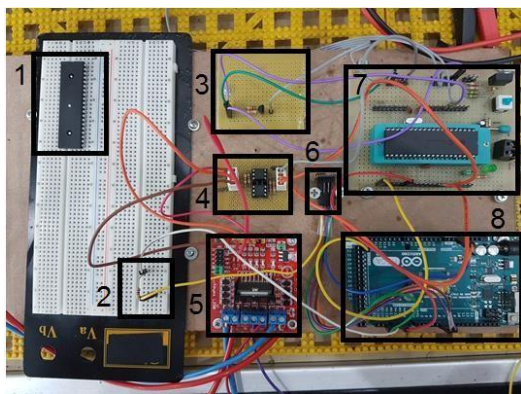


Figura 3 – Circuito de controle completo.

Fonte: Própria, 2016.

1 – PIC reserva;

2 – Resistor entre ESP e Arduino;

3 – Circuito amplificador;

4 – Circuito de optoacopladores;

5 – Ponte G L298;

6 – Módulo ESP8266;

7 – Circuito PIC18F4431;

8 – Arduino.

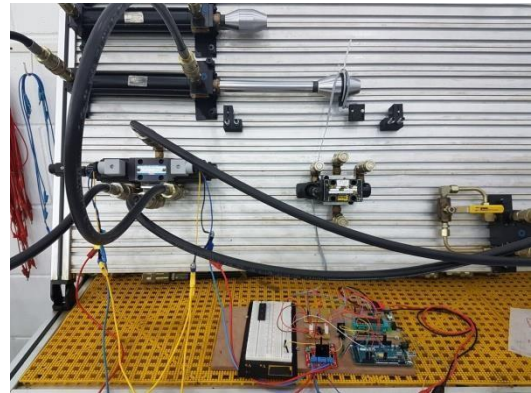


Figura 4 – Sistema finalizado.

Fonte: Própria, 2016.

### 4. CONCLUSÃO

Os projetos desse porte exigem o conhecimento de inúmeros componentes e de suas características comportamentais. A falta de pesquisas na área – e/ou dificuldade de acesso às mesmas – resulta numa relevante questão que é justamente a falta de informações e literatura na área de hidráulica proporcional e seu controle através de sistemas menos robustos e mais acessíveis, sendo necessários inúmeros testes apenas para a compreensão da válvula proporcional utilizada, perante a ausência de referências e comprovações para os resultados obtidos.

Embora a ideia de trabalharem-seas diversas partes do sistema proposto de forma concomitante e mais produtiva, um trabalho assim exige um desenvolvimento

prático minucioso que priorize o funcionamento total de cada parte, ou seja, desenvolver-se o projeto a pequenos passos.

É importante ressaltar-se que o sistema proposto teve um caráter modular, o que significou que dispunha de inúmeras partes que isoladamente funcionavam, mas que ao serem unidas exigiu-se grande atenção e inúmeros testes, o que acabou resultando numa bagagem de conhecimento ampla.

Um projeto desse porte merece uma continuidade e tem grandes chances de ser aplicado industrialmente, além de ser um excelente fomento às pesquisas na área e fornecer diversas informações àquelas que sejam correlatas. Além disso, apresenta-se como um excelente exemplo da tecnologia esperada na chamada

4ª Revolução Industrial, defendida como a era da internet, mobilidade e rapidez no envio, tratamento e recebimento de dados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIGHETTO, Pedro Luís. POSICIONADOR ELETRO-HIDRÁULICO CONTROLADO POR VÁLVULA PROPORCIONAL DIRECIONAL . 1996. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/76994/103928.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 27 ago. 2016.

BOES, Christoph. The advantages of new proportional and servo valves with integrated digital electronics. Moog Technical Papers. [S.I.], p. 1-12. [200-]. Disponível em: <<http://www.moog.com/literature-search/industrial-group-literature-library/moog-technical-papers/>>. Acesso em: 27 ago. 2016.

CANUTO, Enrico et al. Proportional electro-hydraulic valves: from analog to digital control. International Journal Of Mechatronics And Automation , Torino, 13, Oct. 2013, p. 93-103. Disponível em: <<http://porto.polito.it/2517304/>>. Acesso em: 27 ago. 2016.

CASTRO, Mariana Alves, et al. "ANÁLISE DO SISTEMA COMPLEMENTAR DE LEITURA DO MOVIMENTO DE ABDUÇÃO (ARTICULAÇÃO GLENOUMERAL)." Caleidoscópio 1.8 (2016).

FIALHO, Arivelto Bustamante . Automação Hidráulica: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos. São Paulo: Érica, 2002. 262 p.

GRAEBERT, Eric. Electrohydraulics: motion control alternative for today and tomorrow. Control Engineering. New York, p. 66-73. fev. 1991.

LAI, Jiing-yih; CHEN, Yuan-rong. Adaptive flow rate control of a hydraulic proportional valve. Jsm International Journal. Tokyo, p. 582- 590. dez. 1992. Disponível em: <[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsme/1988/35/4/35\\_4\\_582/\\_article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsme/1988/35/4/35_4_582/_article)>. Acesso em: 29 ago. 2016.