

DESENVOLVIMENTO DE TACÔMETRO MAGNÉTICO PARA MEDIÇÃO DE VELOCIDADE EM PIGs INSTRUMENTADOS

Antônio Eduardo de Moraes Silva¹, Gustavo Fernandes de Lima², Andrés Ortiz Salazar³

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação - edumoraiss92@gmail.com

² Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo - gustavoflima.eng@gmail.com

³ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Computação e Automação - andres@dca.ufrn.br

RESUMO

A inspeção de dutos e tubulações é preocupação constante das empresas transportadoras de petróleo e derivados, visando à prevenção de vazamentos e desastres ambientais. Para esta tarefa são utilizadas ferramentas de sensoriamento interno para a constatação da integridade dessas tubulações, conhecidas como PIGs instrumentados. Este trabalho faz parte de uma proposta para o controle das altas velocidades atingidas por PIGs instrumentados durante o seu processo de operação e apresenta os detalhes do desenvolvimento de um tacômetro magnético, utilizando um microcontrolador ATMEGA328P e um sensor de efeito *Hall* modelo 3144. Um protótipo foi construído com uma roda de 66mm de diâmetro e em sua lateral foi fixado um ímã de neodímio. No suporte da roda foi colocado o sensor de efeito Hall, com o objetivo de captar a passagem do ímã, gerando um pulso quadrado. A cada passagem do ímã uma interrupção externa no microcontrolador calcula a velocidade de posse dos tempos entre um pulso e outro, captados pelo sensor.

Palavras-chave: PIG, tacômetro, sensor de efeito Hall, microcontrolador, prototipagem.

1. INTRODUÇÃO

O *Pipeline Inspection Gauge* (PIG) é uma ferramenta utilizada em dutos de transporte de petróleo e derivados com a finalidade de limpar e identificar problemas estruturais nos mesmos [BERTO e LOURENÇO, 2006] tais como: incrustação ou formação de sedimentos e a corrosão ou desgaste da parede interna [LIMA, 2014].

Segundo Diaz [2008], os PIGs são classificados quanto a sua tarefa, os de limpeza (*Cleaning PIGs*) são utilizados na limpeza e secagem dos dutos, enquanto os de inspeção (*Smart PIGs*) realizam o trabalho de

sensoriamento interno da tubulação e é justamente nesse tipo de PIG que se concentra o foco deste trabalho.

Para a detecção dos problemas citados, o PIG percorre o duto de forma autônoma através do diferencial de pressão [PEREIRA, 2013]. Esse deslocamento deve atender à especificação para velocidade média de 3 m/s, conforme Sadovnychiy [2006], para garantir uma boa inspeção. Acontece que, em alguns casos ao deparar-se com algum tipo de obstrução, por exemplo, a pressão à montante aumenta de forma drástica e ao vencer tal obstáculo o PIG atinge velocidades elevadas e indesejadas que impossibilitam o correto

sensoriamento, num fenômeno denominado pelo jargão técnico de “tiro”, fazendo-se necessário um sistema eletromecânico capaz de controlar a velocidade desses instrumentos.

Este trabalho faz parte dessa proposta para o controle das altas velocidades atingidas por PIGs instrumentados durante o fenômeno de “tiro” e traz detalhes do desenvolvimento de um tacômetro magnético para medir a velocidade dessas ferramentas. A escolha do material de origem magnética se deu pela inerência dele ao meio onde se executam as medições, trazendo mais robustez ao sistema.

É importante ressaltar o estado da arte ao qual se encontram os estudos tomados como base para a escrita deste documento, como Silva [2001] e Sadovnychiy [2006], neles é comum a menção da palavra odômetro para denominar a parte do PIG encarregada de medir a distância percorrida por eles dentro das tubulações. Neste trabalho, o termo tacômetro é introduzido, diante da necessidade de se mensurar o quão rápido esse movimento ocorre através da medição de sua velocidade, para que o controle possa ser realizado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Efeito Hall

Em 1989, o físico norte americano Edwin H. Hall observou a força que age em um material semiconductor transportando uma

corrente, quando exposto a um campo magnético transversal. Notou que há uma deflexão dos elétrons, resultante da força magnética [PINTO, 2010], conforme a Fig. 1.

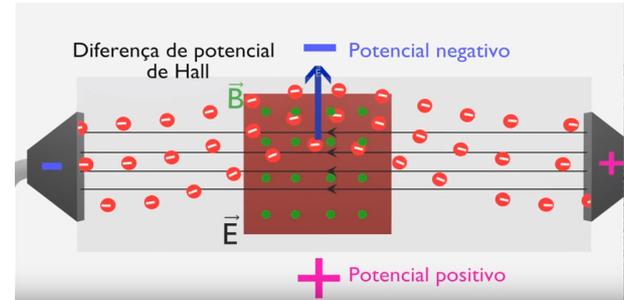


Figura 1: Material semiconductor sob a ação de um campo magnético.

Essa deflexão causa um acúmulo de cargas negativas em uma das extremidades do material e a ausência delas na outra, gerando uma diferença de potencial, diminuindo a velocidade do deslocamento transversal desses elétrons. Esse efeito ficou conhecido como efeito *Hall* em sua homenagem.

2.2 Sensor de efeito Hall

Segundo Braga [2015], o sensor de efeito *Hall* é um dispositivo capaz de captar esse efeito e responder com uma variação em seu terminal de saída, como mostra a Fig. 2.

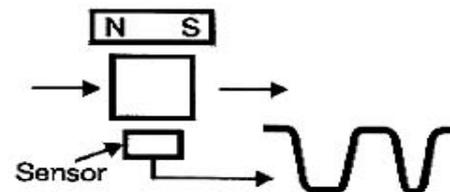


Figura 2: Sensor de efeito Hall sob influência de um campo magnético.

Ainda segundo ele, podemos detectar o movimento de uma peça prendendo um ímã à sua superfície e dessa forma medir sua rotação, seguindo o esquema da Fig. 3.

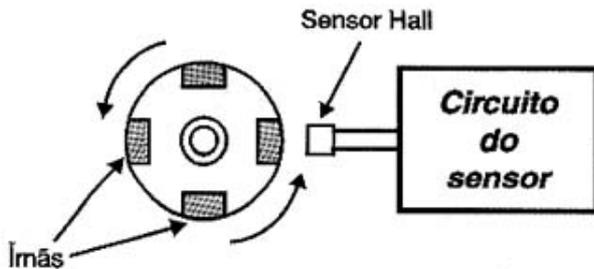


Figura 3: Sensor de efeito Hall sob influência de um campo magnético.

2.3 Ímãs de Neodímio

Como abordado nas seções acima, o efeito *Hall* é de extrema importância aos circuitos eletromagnéticos, e funcionam em conjunto com os ímãs para se obter variações de tensão.

Em 1983, foram descobertos os ímãs baseados em neodímio, ou “super ímãs” apelidados dessa maneira por terem o mais elevado campo magnético dentre todos os tipos de ímãs [BOTELHO, 2008]. Apesar de seu custo elevado, podem ser facilmente encontrados no cabeçote de posicionamento do leitor dos drivers de DVD. Com o constante descarte desses equipamentos eletrônicos, esses materiais são de fácil aquisição. Por terem tamanho reduzido, facilitam sua embarcação no sistema proposto e por essa razão foram escolhidos.

Com seu forte campo magnético, espera-se que a deflexão dos elétrons seja forte ao ponto de interromper o fluxo transversal dos mesmos por um curto período, ocasionando um pulso no sinal de saída do sensor, que posteriormente deve ser captado pelo microcontrolador ATMEGA328P.

2.4 Cálculo da Velocidade

Para Halliday (2009), a velocidade média $V_{méd}$, é a razão entre o deslocamento (Δx) e o intervalo de tempo (Δt), seguindo a Eq. 1.

$$V_{méd} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \quad [1]$$

Adaptando a Equação (1) para o movimento circular, situação do tacômetro estudado, essa velocidade é conhecida como velocidade linear e pode ser obtida de maneira análoga quando se trata o deslocamento como o comprimento da circunferência “C”, que equivale a $2\pi r$, conforme a Eq. 2.

$$V_{méd} = \frac{C}{\Delta t} = \frac{2\pi r}{t_2 - t_1} \quad [2]$$

Outra expressão bastante utilizada nesse trabalho é a de conversão de velocidade em metros por segundo (m/s) para rotações por minuto (RPM), sabendo da relação que uma circunferência completa equivale a 2π radianos, segundo Halliday (2009), temos:

$$1 \text{ RPM} = 2\pi \text{ rad/min} = 2\pi/60 \text{ rad/s} \quad [3]$$

Como $2\pi/60 = 0,10472$ chegamos à Eq. 4, utilizada no código implementado para o microcontrolador.

$$V_{\text{méd}} = \text{RPM} * \text{Raio} * 0,10472 \quad [4]$$

3. METODOLOGIA

3.1 Montagem do Protótipo

Foi adquirida uma roda de 66 mm de diâmetro com rolamento para servir como disco do tacômetro e nela foi fixado o ímã de neodímio. Em seguida, foi soldado um segmento de tubo, usinado sob medidas de 60 mm de comprimento e 42 mm de diâmetro, para encaixe na bancada de testes, como ilustrado na Fig. 4.



Figura 4: Protótipo do tacômetro com ímã fixado.

Por fim, uma placa de circuito impresso, com tamanho reduzido, foi montada para acomodar o sensor junto ao protótipo. Para que o sensor possa captar a passagem do ímã e acionar a interrupção externa que calcula a

velocidade. Esta placa pode ser vista em detalhe na Fig. 5.



Figura 5: - Placa desenvolvida para o sensor Hall.

3.2 Bancada de Testes

Com o protótipo pronto, seria necessário prover rotação ao mesmo para simular o movimento do PIG, para esta tarefa, ficou decidido pela utilização de uma furadeira. A rodinha ficou em contato com o mandril dessa furadeira. A rotação do mandril foi transmitida à rodinha, todo esse sistema pode ser visualizada na Fig. 6.



Figura 6: Bancada de testes.

Ainda na Fig. 6 podemos observar a disposição do microcontrolador sob o protótipo para a aquisição dos dados do sensor, o osciloscópio à direita para o monitoramento do sinal e o notebook à esquerda para a visualização do cálculo da velocidade realizado pelo microcontrolador.

3.3 Validação

Com o auxílio de um osciloscópio TPS 2024 da Tektronix, o sinal na saída do sensor Hall, pôde ser monitorado, como vemos na Fig. 7, onde cada pulso representa uma passagem do ímã pelo sensor.

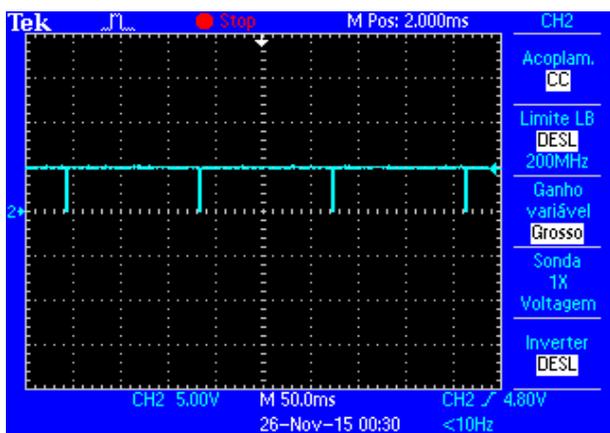


Figura 7- Sinal do sensor Hall, medido a 450 RPM.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A velocidade máxima transmitida ao protótipo foi cerca de 1000 RPM ou (3,5 m/s), sendo esta a velocidade máxima dos testes, atendendo a especificação para velocidade média de 3 m/s relatado por Sadovnychiy

[2006] para garantir uma boa inspeção em dutos.

Foram executados três testes dentro da faixa de valores possíveis e seus valores de medição estão dispostos na Tab. 1.

Tabela 1: Resultados dos testes com o protótipo.

Nº do Teste	Tacômetro Óptico (RPM)	Tacômetro Magnético (RPM)	Erro Relativo (%)
1	419,6	420,1	0,11916
2	511,7	512,8	0,21496
3	967,7	969,3	0,16534

Durante o primeiro teste o sinal de saída do sensor *Hall* ainda foi monitorado, para garantir que nenhum ruído atrapalhasse a medição. O segundo teste teve seu procedimento filmado para comprovar a veracidade dos dados expostos na Tab. 1 e pode ser visualizado em: <https://www.youtube.com/watch?v=sPgAY88FGB0> ou https://youtu.be/-MM_1immI14.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como enfoque o estudo e desenvolvimento de um tacômetro magnético utilizando um microcontrolador ATMEGA328P e um sensor de efeito *Hall* modelo 3144, com a finalidade de ser

embarcado em um PIG para a medição de sua velocidade dentro de dutos de petróleo e gás natural.

Através dos testes em bancada, percebemos que o protótipo respondeu de forma satisfatória e apresentou erros relativos inferiores à faixa de 1% quando comparados a um tacômetro óptico digital DT-2234B da empresa Lutron, presente no mercado.

Esses resultados comprovam que o tacômetro desenvolvido, atende as necessidades previamente estabelecidas e consegue medir com precisão a velocidade de um PIG.

GLOSSÁRIO

PIG	Pipeline Inspection Gauge (Ferramenta para Inspeção de Dutos)
DVD	Digital Versatile Disc (Disco Digital Versátil)
RPM	Rotações Por Minuto

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Livro :

BOYLESTAD, R.L.; NASHELSKYM, L. *Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos*, Pearson, 8a edição, São Paulo, Brasil, 2009.

HALLIDAY, D., RESNICK, R. E WALKER, J. *Fundamentos de Física: Mecânica*, LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 8. ed. Rio de Janeiro, Brasil, 2009.

Artigo de periódico:

BERTO, C. A.; LOURENÇO, S. R. *Sistema de monitoramento da corrosão interna de gasoduto por meio de processamento digital de sinais*, Revista Exacta, Vol. 4, São Paulo, Brasil, n. 2, p.391-400, 2006.

SADOVNYCHIY, S.; LÓPEZ, J.; PONOMARYOV, V.; SADOVNYCHYY, A. *Evaluation of Distance Measurement Accuracy by Odometer for Pipelines PIGs*, In Journal Of The Japan Petroleum Institute, Vol. 49, nº 1, p. 38-42, 2006.

Artigo de congresso:

LIMA, G. F.; FREITAS, V. C. G.; OLIVEIRA, R. R. G.; SALAZAR, A. O.; MAITELLI, A. L.; FONTES, F. A. O. *Proposta para Controle de Velocidade de PIGs Utilizando a Placa Arduino*, 2014, em 'Rio Oil & Gas 2014', Rio de Janeiro, Brasil.

PEREIRA, C.G.; OLIVEIRA, R. R. G.; LIMA, G. F.; SALAZAR, A. O.; MAITELLI, A. L.; FONTES, F. A.O. *Proposta de Tecnologia para Controle de Velocidade de PIGs Instrumentados*, 2013, em 'INTERCON 2013', Trujillo, Perú.

SILVA, J.A.P. E PINHO, A.F. 2001, *Ferramenta para Inspeção Geométrica de Dutos de 3"*, 2001, em Brazilian Petroleum And Gas Institute - IBP, Rio de Janeiro, Brasil, p. 1 - 8.

Tese/dissertação:

BOTELHO, I. J. *Modelagem e Controle Linear de um Sistema de Levitação de Ímã Permanente*, 2008, 137p. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Curso de Engenharia de Sistemas.

DIAZ, J.F.A. *Estudo e Projeto Conceitual de um Robô para Inspeção de Linhas de Serviço*, 2008, 97p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Curso de Ciências Mecânicas.

LIMA, G. F. *Proposta de Tecnologia para Controle de Velocidade de PIGs Instrumentados Utilizando Lógica Fuzzy*, 2014, 69p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação, Natal-RN.

PINTO, J. F. *Magnometria por Efeito Hall*, 2010, 76p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Curso de Física, Recife-PE.

Referências Digitais:

BRAGA, N.C. *Como funcionam os sensores de efeito Hall*, Disponível em: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/6640-como-funcionam-os-sensores-de-efeito-hall-art1050>. Acesso em: 26/11/2015.