

**PROPOSTA DE TECNOLOGIA PARA CONTROLE DE VELOCIDADE
DE *PIGs* INSTRUMENTADOS UTILIZANDO LÓGICA *Fuzzy***

Defesa de Dissertação de Mestrado

GUSTAVO FERNANDES DE LIMA

PROF. DR. ANDRÉS ORTIZ SALAZAR

Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica
- 3 Implementação do Sistema
- 4 Testes e Resultados
- 5 Considerações Finais
- 6 Bibliografia
- 7 Apêndice
- 8 Fim

Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica
- 3 Implementação do Sistema
- 4 Testes e Resultados
- 5 Considerações Finais
- 6 Bibliografia
- 7 Apêndice
- 8 Fim

Introdução

- Dutos sem manutenção periódica ficam sujeitos à problemas como incrustações (ex. parafina) e corrosões (perda de metal);
- Utilização de *PIGs* para desobstruir e/ou inspecionar o duto;
- Eles se deslocam de forma autônoma [6], impulsionados pela pressão;
- São capazes de registrar dados da operação para análise e avaliação;
- A análise desses dados permite uma melhor decisão sobre a realização ou não de manutenção corretiva ou preventiva;
- As inspeções com *PIGs* são justificadas por causa da malha dutoviária mundial envelhecida e da preocupação com meio ambiente [6];

Introdução (cont.)

- Os *PIGs* instrumentados possuem sensores que detectam defeitos como corrosão, trincas, soldas, amassamentos, etc.;
- Para quantificar essas anomalias é necessário que os *PIGs* mantenham uma baixa velocidade, de 2 a 7 *m/s* em dutos em gás [4];
- Seu movimento é não-linear e sem modelo matemático bem definido;
- Impossibilidade de aplicação de controladores como PID ou Preditivo;
- Utilização da lógica *Fuzzy* para o desenvolvimento de um controlador que operasse sem modelo matemático;
- Um controlador *Fuzzy* define suas ações com base nas informações de um operador, sem precisar modelar o processo em si [1].

Objetivo

- Desenvolver um controlador de velocidade para *PIGs* instrumentados que permita a realização da operação de inspeção segura e eficiente.

Objetivos Específicos

- Implementar um sistema de aquisição de dados para obtenção de valores de pressão montante e jusante afim de determinar o diferencial de pressão atuante no *PIG*;
- Diminuir os efeitos dos eventos de “tiro” e de aceleração, sofrido pelos *PIGs* dentro do duto;
- Aplicar a lógica *Fuzzy* para atuar nos tempos de abertura e fechamento de uma válvula *by-pass* proposta (Grupo da Mecânica).

Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica**
- 3 Implementação do Sistema
- 4 Testes e Resultados
- 5 Considerações Finais
- 6 Bibliografia
- 7 Apêndice
- 8 Fim

Pipeline Inspection Gauge *PIG*

- ❑ Ferramenta para Inspeção de Dutos;
- ❑ Classificação: "*Utility PIGs*" (*PIGs* de limpeza) ou "*Smart PIGs*" (*PIGs* instrumentados);
- ❑ Os "*Utility PIGs*" realizam função de limpeza, separação de produtos, remoção de água e desamassamento dos dutos [3];
- ❑ Os "*Smart PIGs*" fornecem informações sobre os dutos, como extensão e localização dos defeitos dessa tubulação [3].

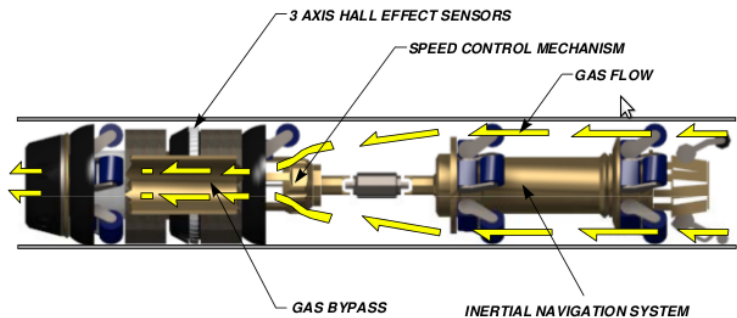
”Utility PIGs”

- Exemplos de *PIGs* de limpeza



"Smart PIGs" (cont.)

- Exemplo de *PIG* instrumentado dividido em dois módulos



”Smart PIGs” (cont.)

□ Exemplos de *PIGs* instrumentados

- *PIG* geométrico



- *PIG* corrosão



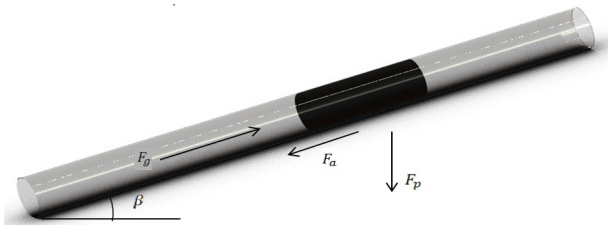
PIG MFL

- Um dos *PIGs* instrumentados mais utilizados pela indústria [7];
- Utiliza a técnica Magnetic Flux Leakage (Fuga de Fluxo Magnético).



O movimento do *PIG*

- Balanço de forças que atuam no *PIG*



- F_g é a força exercida pelo ΔP , que move o *PIG*;
- F_a é a força de atrito entre o *PIG* e a parede do duto;
- F_p é a força peso que age quando o duto tem inclinação;
- β é o ângulo de inclinação do duto.

O movimento do *PIG* (cont.)

- Utilizando a Segunda Lei de Newton, temos [7]:

$$M \cdot a = F_g + F_a + F_p \quad (1)$$

$$F_g = \Delta P \cdot A \quad (2)$$

$$F_a = B \cdot v + F_s \quad (3)$$

$$F_p = M \cdot g \cdot \sin \beta \quad (4)$$

$$M \cdot \frac{dv}{dt} = \Delta P \cdot A + B \cdot v \quad (5)$$

$$\frac{V(s)}{F_g(s)} = \frac{1}{M \cdot s + B} \quad (6)$$

Animação de uma corrida de *PIG* instrumentado

Arquivo Local Clique Aqui

<https://www.youtube.com/watch?v=LU0TOhaFDow>

Lógica *Fuzzy*

- Em 1965 o prof. Lofti Asker Zadeh da Universidade de Berkeley (USA) publicou o trabalho intitulado “*Fuzzy sets*” [10];
- A passagem da pertinência para a não pertinência fosse feita de uma forma lenta e gradual e não abrupta como na teoria usual de conjuntos.



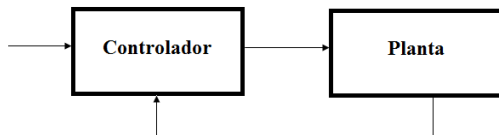
- Daí surgiram os Conjuntos *Fuzzy* (nebuloso ou difuso).

Lógica *Fuzzy* (cont.)

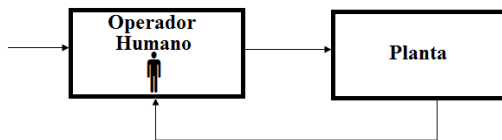
- Nem sempre ter apenas duas possibilidades é suficiente para resolver problemas. Em determinadas situações, valores intermediários seriam soluções melhores;
- O mundo real é analógico, altamente não linear, com infinitas possibilidades de opções, ao invés de somente duas;
- Em 1975, o prof. Mamdani da Universidade de Londres controlou uma máquina a vapor através da aplicação do raciocínio *Fuzzy*;
- Em resumo, a lógica *Fuzzy* objetiva fazer com que as decisões tomadas pela máquina se aproximem cada vez mais das decisões humanas [9].

Sistemas de Controle Baseados em Lógica *Fuzzy*

- Modelo para um sistema de controle



- Operador humano uma analogia do controlador *Fuzzy*



Fuzzificação ou Codificação

- Tem por função transformar os valores numéricos das entradas em suas respectivas variáveis linguísticas;
- Esse procedimento garante um certo grau de imprecisão ao valor numérico, mapeando-o em expressões linguísticas, como “muito quente” ou “pouco quente”;

Regras e Inferência

- Representa o modelo do sistema a ser controlado;
- A base de regras representa de forma organizada a maneira como o controlador gerenciará o sistema.

SE premissa **ENTÃO** consequência (7)

- A lógica de tomada de decisões usa implicações *Fuzzy* para simular tomadas de decisão humana;
- Existem basicamente dois modelos de máquina de inferência: a Mamdani e Takagi-Sugeno.

Defuzzificação ou Decodificação

- Tem por objetivo transformar os valores linguísticos em valores numéricos de saída.;
- Nesse estágio é obtido um valor numérico preciso que pode ser usado numa ação de controle no mundo real;
- Os seguintes métodos são muito utilizados [8]: Centro-da-Área, Centro-do-Máximo e Média-do-Máximo.

Roteiro

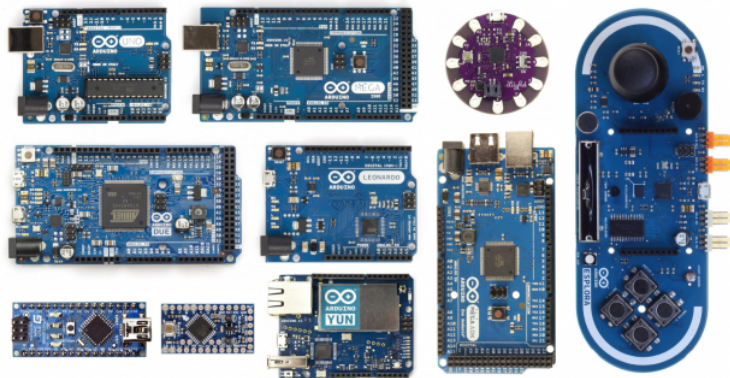
- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica
- 3 Implementação do Sistema**
- 4 Testes e Resultados
- 5 Considerações Finais
- 6 Bibliografia
- 7 Apêndice
- 8 Fim

Plataforma Arduino

- ❑ Surgiu em 2005, no *Interaction Design Institute* na cidade de Ivrea, Itália;
- ❑ O prof. Massimo Banzi queria ensinar eletrônica e programação de computadores para seus alunos de *design*;
- ❑ Desafios: ensinar eletrônica e programação para pessoas que não eram dessas áreas; e a falta de placas baratas e poderosas no mercado;
- ❑ Junto com David Cuartielles decidiram criar sua placa própria, o Arduino.
- ❑ Eles contaram com a ajuda de David Mellis, que criou a linguagem de programação; e do eng^o. Gianluca Martino, que produziu as primeiras duzentas placas.

Plataforma Arduino (cont.)

- Hoje, a plataforma conta com mais de 11 modelos diferentes

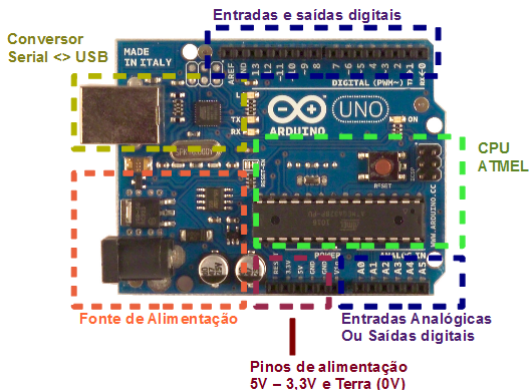


A Placa Arduino Uno

- Pequena placa de circuito impresso (6,8 x 5,5 x 1,0 cm);
- Baseada em *hardware* e *software* flexíveis e fáceis de usar;
- Destinada a qualquer pessoa interessada em criar objetos ou ambientes interativos;
- Utiliza linguagem C/C++ e possui uma IDE para sua programação;
- Pode ser utilizada em vários sistemas operacionais.

A Placa Arduino Uno (cont.)

- Blocos identificados da placa Arduino Uno



Dispositivo de Aquisição de Dados

- Atua como interface entre o computador e os sinais do mundo exterior, digitalizando-os de forma que um PC possa lê-los ou interpretá-los;
- O dispositivo USB-6008 da empresa *National Instruments* é um DAQ de baixo custo, fácil conexão com PC (USB) e de dimensões reduzidas;
- Ele é simples o suficiente para medições rápidas e versátil o suficiente para aplicações complexas;
- Algumas características [5]: 4 entradas analógicas diferenciais (12-bit, 10kHz, $\pm 10V$, etc.); 2 saídas analógicas (12-bit, até 150 Hz e 0 a +5V); 1 porta USB; e compatibilidade com LabVIEW™.

Dispositivo de Aquisição de Dados (cont.)

- NI USB-6008



Transdutor de Pressão

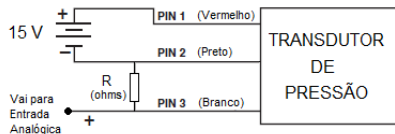
- Dispositivo que converte a grandeza pressão numa grandeza elétrica, neste caso a tensão elétrica;
- Instrumentos A2X da empresa Ashcrof, que medem de 0 a 1.000 psi, instalados a montante e jusante da válvula;
- Alimentação com 15 V_{DC} e tensões de saída compatíveis com Arduino.

Transdutor de Pressão (cont.)

- Detalhes do transdutor utilizado no projeto
- Transdutor A2X da Ashcroft



- Esquema elétrico de ligação



Transdutor de Pressão (cont.)

- Calibração dos transdutores

P (psi)	20	40	60	80	100	...	450	R (ohms)
PT-01(volts)	0,103	0,205	0,301	0,402	0,506	...	2,255	470
PT-02(volts)	0	0,092	0,194	0,291	0,394	...	2,150	570

- Equações das pressões em função da tensão

$$pt_{01}(v_1) = 199,9 \cdot v_1 - 0,5472 \text{ (psi)} \quad (8)$$

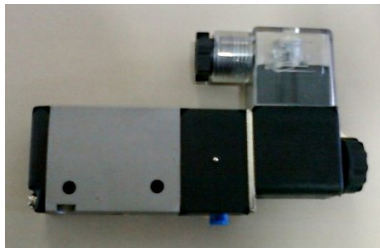
$$pt_{02}(v_2) = 199,4 \cdot v_2 + 21,09 \text{ (psi)} \quad (9)$$

Válvula Solenoide

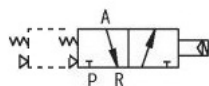
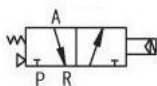
- Componente eletromecânico responsável pela abertura e fechamento da válvula *by-pass*;
- Válvula 3 vias, 2 posições (aberta ou fechada), acionamento por solenoide (relé), retorno por mola e normal fechada (NF);
- Algumas características: alimentação de $12 V_{DC}$, corrente de $400 mA$, frequência de $5 Hz$ e tempo de resposta $0,05 s$.

Válvula Solenoide (cont.)

- ☐ Solenoide da empresa JELPC

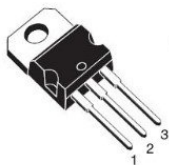


- ☐ Funcionamento de uma solenoide 3 vias, 2 posições

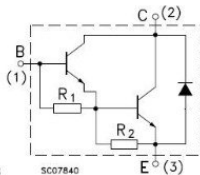


Acionamento da Válvula Solenóide

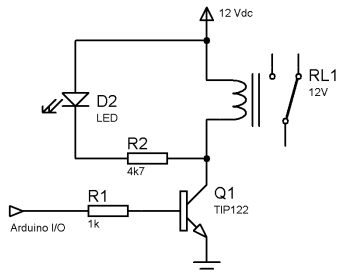
- Circuito externo ao Arduino para ligar e desligar a solenoide;
- Utiliza um Darlington TIP 122
- Esquema elétrico de ligação



TO-220



NPN: $R_1 = 7 \text{ K}\Omega$
 $R_2 = 70 \Omega$



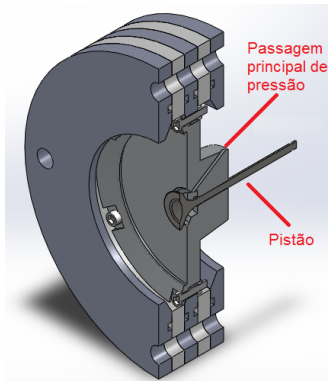
Válvula *By-pass*

- Desenhada e construída pelo Grupo da Mecânica do Projeto *PIG*;
- Projetada para controlar o fluxo de gás de montante para jusante;
- Permite controlar o diferencial de pressão ΔP , e dessa forma, controlar a velocidade de um *PIG*;

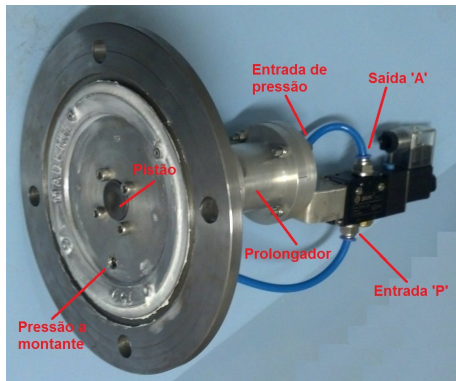
Válvula *By-pass* (cont.)

□ Detalhes da válvula desenvolvida no projeto

● Esquema em corte



● Válvula completa



Dedução de uma Relação entre V_{PIG} e ΔP

- O regime de escoamento através da válvula *by-pass* é dada por [2]:

$$C_v = \frac{47,2 \cdot Q}{\sqrt{\Delta P \cdot (P_1 + P_2) \cdot \rho}} \quad (10)$$

$$Q = 0,0212 \cdot C_v \cdot \sqrt{\Delta P \cdot (P_1 + P_2) \cdot \rho} \quad (11)$$

$$Q = V_{FLUIDO} \cdot A \quad (12)$$

$$V_{FLUIDO} \cdot A = 0,0212 \cdot C_v \cdot \sqrt{\Delta P \cdot (P_1 + P_2) \cdot \rho} \quad (13)$$

$$V_{FLUIDO} = V_{PIG} \quad (14)$$

$$V_{PIG} = \frac{1}{A} \cdot \left(0,0212 \cdot C_v \cdot \sqrt{\Delta P \cdot (P_1 + P_2) \cdot \rho} \right) \quad (15)$$

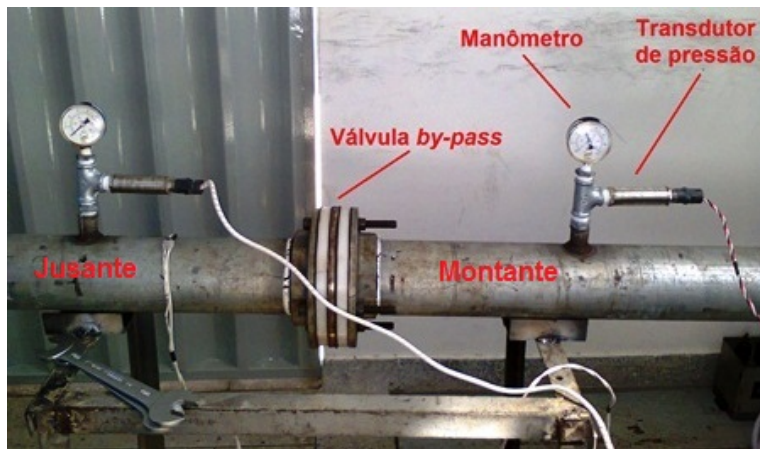
$$V_{PIG} = f(\Delta P, P_1) \quad (16)$$

Bancada de Testes

- Construída para simulações de situações de "tiro" e aceleração em *PIGs*;
- Montada em aço galvanizado, bitola de 4" e 2 metros de comprimento, aproximadamente;
- Válvula *by-pass* montada em um flange e instalada no centro da tubulação, montante a sua direita e jusante a sua esquerda;

Bancada de Testes (cont.)

- Detalhe da bancada de testes



Bancada de Testes (cont.)

- Montada para acomodação dos equipamentos eletrônicos;
- Responsável pela aquisição de dados de pressão da bancada e acionamento da válvula *by-pass*;
- Constituída de: 01 fonte dupla de tensão; 01 *protoboard* para o circuito de acionamento da solenoide; 01 placa NI USB-6008 para aquisição de pressões; 01 placa Arduino Uno para acionamento da solenoide; e 01 computador para coleta de dados (Matlab™) e acionamento.

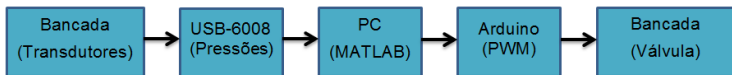
Bancada de Testes (cont.)

- Bancada montada com os equipamentos eletrônicos



Bancada de Testes (cont.)

- Diagrama de blocos da bancada de testes



Metodologia Experimental

- Realização de simulação de “tiro” e de aceleração em *PIGs*;
- Aquisição de pressões montante e jusante para o cálculo do diferencial de pressão ΔP ;
- Aplicação da lógica *Fuzzy* na determinação dos tempos de abertura da válvula;
- Acionamento da válvula por meio de um sinal PWM;

Simulação de “Tiro”

- O “tiro” acontece depois que o *PIG* por um motivo desconhecido emperra dentro da tubulação;
- As pressões montante e jusante foram equalizadas para obter ΔP próximo de zero, assim simulando um movimento lento do *PIG*;
- O “tiro” foi simulado com a abertura rápida do registro esfera identificado por V1, aumentando drasticamente o ΔP ;
- Depois do “tiro” ocorrer, o Arduino comandou a abertura da válvula *by-pass*, refletindo na queda acentuada de ΔP , assim diminuindo a velocidade do *PIG*.

Simulação de Aceleração

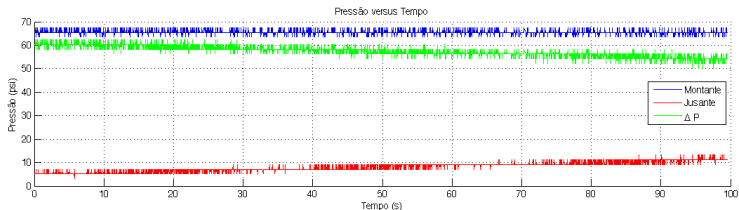
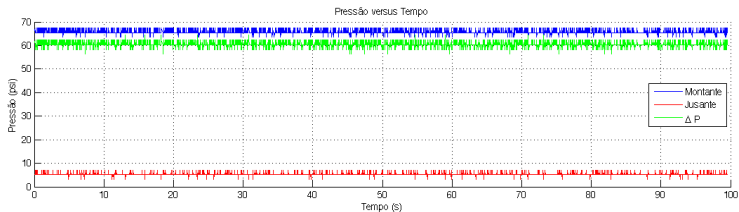
- A aceleração de um *PIGs* acontece quando a pressão montante cresce, aumentando o ΔP e a velocidade;
- As pressões montante e jusante não foram equalizadas, assim ΔP diferente de zero e o *PIG* em movimento;
- A aceleração foi simulada com a abertura parcial de *V1*, por 10 s, para aumentar gradualmente o ΔP e o *PIG* acelerar;
- Durante a aceleração, o Arduino comandou a abertura/fechamento intermitente da válvula *by-pass* de maneira a evitar o aumento de ΔP .

Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica
- 3 Implementação do Sistema
- 4 Testes e Resultados**
- 5 Considerações Finais
- 6 Bibliografia
- 7 Apêndice
- 8 Fim

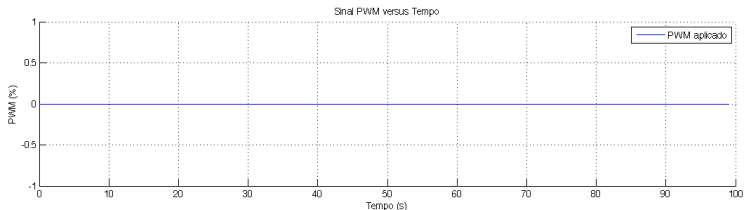
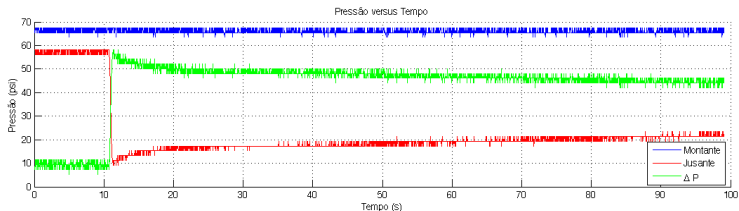
Testes Iniciais

- Ensaios: V1 aberto e depois V1 fechado



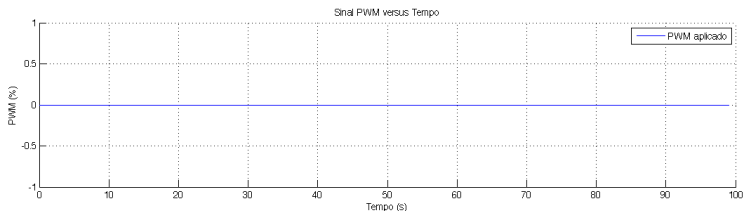
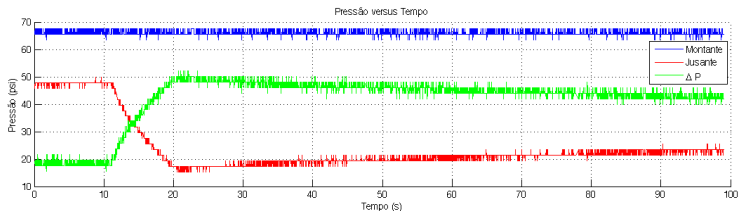
Testes Sem o Controlador *Fuzzy*

- Simulação de “tiro”



Testes Sem o Controlador *Fuzzy* (cont.)

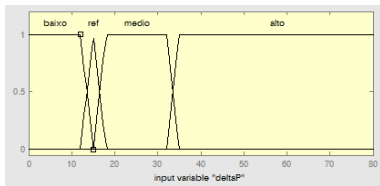
☐ Simulação de aceleração



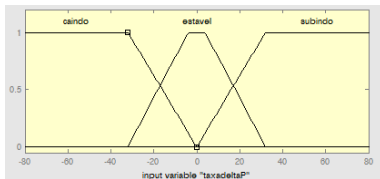
Configuração do Controlador *Fuzzy*

□ Variáveis de entrada

● Variável “deltaP”



● Variável “taxadeltaP”

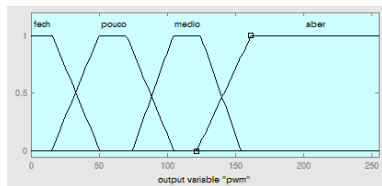


$$\Delta P = P_{montante} - P_{jusante} \quad (17)$$

$$\dot{\Delta P} = \frac{d}{dt} \Delta P = \frac{\Delta P_{atual} - \Delta P_{ant}}{t_{atual} - t_{ant}} \quad (18)$$

Configuração do Controlador *Fuzzy* (cont.)

- Variável de saída “PWM”



Configuração do Controlador *Fuzzy* (cont.)

Bloco de Regras

```

1. If (deltaP is alto) and (taxadeltaP is subindo) then (pwm is aber) (1)
2. If (deltaP is alto) and (taxadeltaP is setpoint) then (pwm is aber) (1)
3. If (deltaP is alto) and (taxadeltaP is caindo) then (pwm is aber) (1)
4. If (deltaP is medio) and (taxadeltaP is subindo) then (pwm is aber) (1)
5. If (deltaP is medio) and (taxadeltaP is setpoint) then (pwm is medio) (1)
6. If (deltaP is medio) and (taxadeltaP is caindo) then (pwm is medio) (1)
7. If (deltaP is ref) and (taxadeltaP is subindo) then (pwm is pouco) (1)
8. If (deltaP is ref) and (taxadeltaP is setpoint) then (pwm is pouco) (1)
9. If (deltaP is ref) and (taxadeltaP is caindo) then (pwm is fech) (1)
10. If (deltaP is baixo) and (taxadeltaP is subindo) then (pwm is fech) (1)
11. If (deltaP is baixo) and (taxadeltaP is setpoint) then (pwm is fech) (1)
12. If (deltaP is baixo) and (taxadeltaP is caindo) then (pwm is fech) (1)
  
```

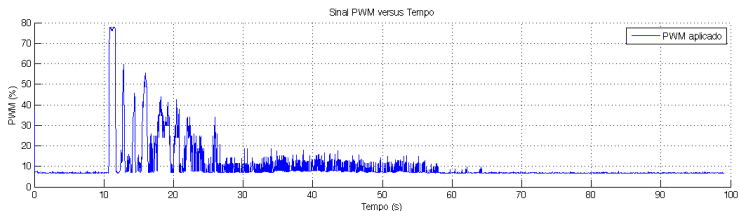
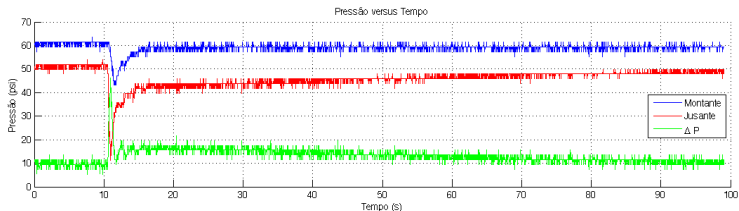
Implicação e Agregação de Regras

- Máquina de inferência escolhida foi a Mamdani (na implicação usa t-norma mínimo [min] e na agregação usa co-norma máximo [max])

A *defuzzificação* foi calculada utilizando o centróide.

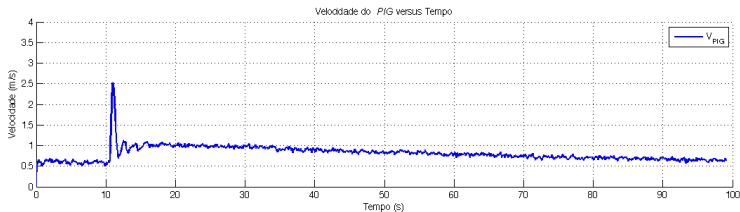
Testes com Controlador *Fuzzy*

- Simulação de “tiro”



Testes com Controlador *Fuzzy* (cont.)

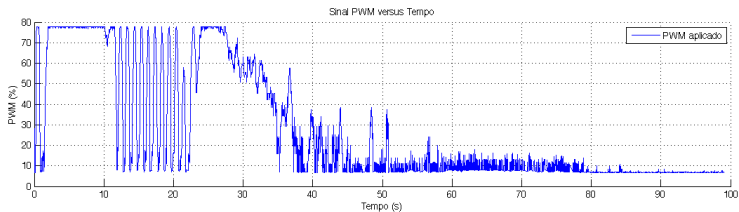
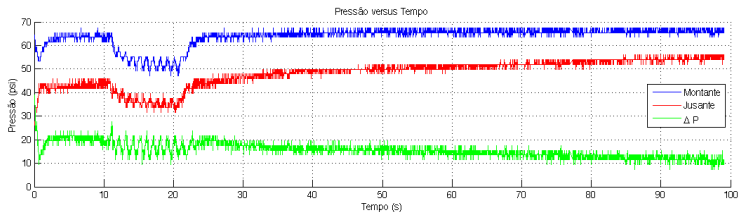
- Velocidade estimada do *PIG*



- Espaço percorrido de 79,75 m contra 268,15 m.
- Redução de 70%.

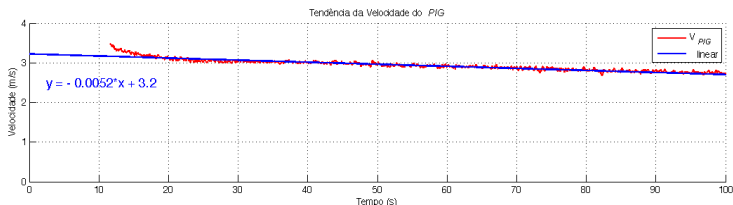
Testes com Controlador *Fuzzy*

- ☐ Simulação de aceleração



Comparação dos Resultados Obtidos (cont.)

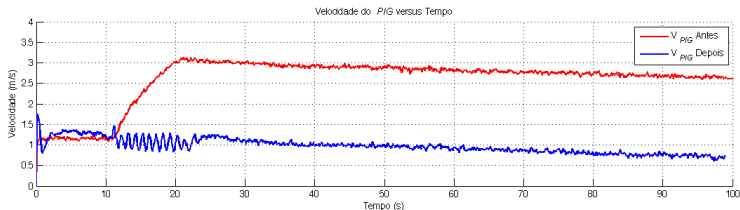
- Tendência de velocidade do *PIG* depois do “tiro”



- Equação da reta obtida: $v(t) = -0,0052 \cdot t + 3,2$.
- As velocidades se igualam em: $0,8 = -0,0052 \cdot t + 3,2 \Rightarrow$
 $\Rightarrow 0,8 - 3,2 = -0,0052 \cdot t \Rightarrow t \approx 461,5 \text{ s}$.

Comparação dos Resultados Obtidos (cont.)

- Simulação de aceleração



- Tabela comparativa

	Antes	Depois
Velocidade de pico	3,1 m/s	1,5 m/s
Espaço percorrido	258,33 m	95,75 m

Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica
- 3 Implementação do Sistema
- 4 Testes e Resultados
- 5 Considerações Finais**
- 6 Bibliografia
- 7 Apêndice
- 8 Fim

Conclusões

- O objetivo desta dissertação foi propor uma tecnologia capaz de controlar a velocidade de *PIGs*;
- A estratégia proposta contornou o problema de não linearidade através da utilização da lógica *Fuzzy*;
- Uma bancada de testes foi construída para simulação de situações de “tiro” e de aceleração sobre esses *PIGs*;
- Os resultados obtidos, com a bancada de testes, mostraram um bom desempenho para o controle proposto;
- A velocidade do *PIG* foi estimada por um modelo linearizado e foi observado que a mesma foi controlada com sucesso, permanecendo entre 1 a 5 *m/s*.

Trabalhos Futuros

- Construir um *loop* com lançador e receptor de *PIGs*;
- Melhorar a bancada para construção de um módulo didático;
- Montar um *PIG* protótipo para testar no *loop*;
- Modelar o movimento do *PIG* incluindo variáveis desconsideradas (F_p);
- Realizar a comparação com outras técnicas de controle;
- Estudar e simular em *software* apropriado o fluxo de gás pelo *PIG*.

Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica
- 3 Implementação do Sistema
- 4 Testes e Resultados
- 5 Considerações Finais
- 6 Bibliografia**
- 7 Apêndice
- 8 Fim

Referências Bibliográficas

- [1] A. S. Carvalho, A. L. de Sousa, L. dos S. Martins, and P. M. Bringhenti. *Modelo Autorregressivo e Controlador Fuzzy para um Sistema de Controle Digital de Velocidade do Kit Digital Servo*. In *VII SEGeT*, 2010.
- [2] G. F. de Lima, V. C. G. de Freitas, A. O. Salazar, A. L. Maitelli, and F. de Assis O. Fontes. *Proposta de Controle de Velocidade para PIGs Instrumentados Utilizando a Plataforma Arduino*. In *VIII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica -CONEM 2014*, Uberlândia, MG, Ago 2014.
- [3] J. F. A. Diaz. *Estudo e Projeto Conceitual de um Robô para Inspeção de Linhas de Serviço*. Master's thesis, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, aug 2008.
- [4] T. T. Nguyen, H. R. Yoo, Y. W. Rho, and S. B. Kim. *Speed Control of PIG Using Bypass Flow in Natural Gas Pipeline*. In *Industrial Electronics, 2001. IEEE International Symposium on*, volume 2, pages 863–868, 2001.
- [5] NI. *User Guide and Specifications - NI USB-6008/6009*. Manual do usuário, National Instruments, 2013.
- [6] C. G. Pereira. *Estudo e Simulação de um Sistema de Controle de Velocidade de PIGs*. Projeto de graduação, UFRN, Natal, RN, 2012.
- [7] C. G. Pereira, R. R. G. de Oliveira, G. F. de Lima, A. O. Salazar, A. L. Maitelli, and F. de Assis O. Fontes. *Proposta de Tecnologia para Controle de Velocidade de PIGs Instrumentados*. In *INTERCON 2013*, Trujillo, Perú, Ago 2013.
- [8] I. S. Shaw and M. G. Simões. *Controle e Modelagem Fuzzy*. Edgard Blücher Ltda, São Paulo, SP, 1 edition, 1999.
- [9] M. R. B. G. Vale. *Análise Comparativa do Desempenho de um Controlador Fuzzy Acoplado a um PID Neural Sintonizado por um Algoritmo Genético com Controladores Inteligentes Convencionais*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2007.
- [10] L. A. Zadeh. *Fuzzy Sets*. In *Information and Control*, pages 338–354, Universidade da Califórnia - Berkeley, 1965.

Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica
- 3 Implementação do Sistema
- 4 Testes e Resultados
- 5 Considerações Finais
- 6 Bibliografia
- 7 Apêndice**
- 8 Fim

Produção Científica Publicada

- Título: Proposta de Tecnologia para Controle de Velocidade de PIGs Instrumentados.
- Evento: INTERCON 2013, Trujillo, Perú.

Proposta de Tecnologia para Controle de Velocidade de PIGs Instrumentados

C. G. Pereira, R. R. G. de Oliveira, G. F. de Lima, A. O. Salazar, A. L. Maitelli and F. A. O. Fontes

Abstract— This paper presents a technology for speed control of smart PIGs. As the speed of this tool is directly related to the different pressure, it has been proposed a valve to controlling the gas flow through the PIG body to control the pressure and therefore velocity. Experimental tests were performed with a prototype and verified the dramatic drop in pressure with a hole. Was also performed mathematical modeling and computer simulation with a Fuzzy controller and checked the system response in presence of disturbance and non-linearity.

Keywords— Bypass valve, Velocity Control, PIG, Fuzzy control.

I. INTRODUÇÃO

PIGs instrumentados é a tecnologia mais utilizada na indústria de petróleo e gás para realizar inspeção em dutos. A crescente demanda por gás natural tem feito com que as operadoras investissem cada vez mais em operações de inspeção, com a finalidade de obter dados para subsidiar as decisões quanto à necessidade de ações preventivas ou corretivas no duto, conforme a situação.

Os PIGs instrumentados mais utilizados na indústria são o MFL, como mostrado na Figura 1, e o Palito. Ambos possuem sensores que captam, na parede do duto, defeitos como: trincas, corrosão, soldas, defeitos de fabricação, amassamentos, etc.



Figura 1. PIG MFL.

podem aumentar significativamente a velocidade do PIG, como por exemplo uma descida; soldas, que podem obstruir o PIG, acumulando a pressão à montante do mesmo até o ponto em que a grande força exercida por essa pressão vence a força oposta de atrito exercida pela solda e o PIG dispara com uma velocidade muito alta, podendo danificar a estrutura do PIG e até mesmo do duto.

Dessa forma, esse trabalho expõe um estudo e proposta para controle de velocidade de PIGs utilizando uma válvula by-pass para controlar o fluxo de gás que passa através do corpo do PIG, controlando assim o diferencial de pressão no mesmo, permitindo que a velocidade seja mantida numa faixa desejável. É proposto nesse trabalho, uma geometria de válvula para ser acoplada ao PIG, o qual foram realizados testes experimentais para verificar a queda de pressão que a mesma causaria. Foram realizadas, também, simulações com

Produção Científica Publicada (cont.)

- Título: Controle de Temp. de uma Tocha de Plasma Térmico com Acoplamento Indutivo Utilizando a Placa Arduino.
- Evento: XI SBAI 2013, Fortaleza, CE.

CONTROLE DE TEMPERATURA DE UMA TOCHA DE PLASMA TÉRMICO COM ACOPLAMENTO INDUTIVO UTILIZANDO A PLACA ARDUINO

GUSTAVO FERNANDES DE LIMA*, GLAUCO GEORGE C. MANIÇOBA*, ANDRÉS ORTIZ SALAZAR*

*Laboratório de Avaliação de Medição em Petróleo
Centro de Tecnologia - Universidade Federal do Rio Grande do Norte
59072-970, Lagoa Nova, Natal, RN.

Emails: gustavoflima@man.com, glaucogeorge@yahoo.com.br, andres@dca.ufrn.br

Abstract— This work presents the use of the Arduino board to control the temperature of a thermal plasma torch through fuzzy control. The paper describes the components of the cooling system water torch and results in real experiments. The results showed that it is possible to control the temperature of a plasma torch using the Arduino board.

Keywords— Arduino, torch, fuzzy logic, temperature, thermal plasma.

Resumo— Este trabalho apresenta a utilização da placa Arduino no controle de temperatura de uma tocha de plasma térmico por meio do controle fuzzy. O trabalho descreve os componentes do sistema de refrigeração a água da tocha e os resultados obtidos em experimentos reais. Os resultados mostram que é possível controlar a temperatura de uma tocha de plasma utilizando a placa Arduino.

Keywords— Arduino, tocha, lógica fuzzy, temperatura, plasma térmico.

1 Introdução

Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica *open source* baseada em *hardware e software* flexíveis e fáceis de usar. É destinada aos artistas, designers, hobbistas, e qualquer pessoa interessada em criar objetos ou ambientes interativos (Banzi et al., 2006).

A placa Arduino pode interagir com o ambiente recebendo em suas entradas sinais dos mais variados tipos de sensores, e pode atuar nesse

conjuntos (Bilobrovec et al., 2004). Daí surgiram os Conjuntos Fuzzy, do inglês, nebuloso ou difuso.

Segundo Filho et al. (2002) a Lógica Fuzzy é uma técnica de inteligência artificial, disciplina que procura maneiras de máquinas simularem o raciocínio humano na solução de problemas diversos. O diferencial do controle Fuzzy é que ele permite modelar as ações a partir de informações fornecidas pelo operador, ou seja, conhecimento especializado, em vez de modelar o processo em si (Carvalho et al. 2010).

Produção Científica Publicada (cont.)

- Título: Utilização da Placa Arduino no Controle de Temperatura de um Sistema de Baixo Custo.
- Evento: VIII CONNEPI 2013, Salvador, BA.

BRASIL & BAHIA (2013)



UTILIZAÇÃO DA PLACA ARDUINO NO CONTROLE DE TEMPERATURA

DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO

G. F. de Lima¹¹Prof. de Eletroeletrônica, Campus João Câmara – Instituto Federal do Rio Grande do Norte, IFRN.E-mail: gustavo.lima@ifrn.edu.br

Artigo submetido em Ago/2013 e aceito em Out/2013

RESUMO

A placa Arduino é uma plataforma de desenvolvimento *open source*, de baixo custo e de fácil programação. Este trabalho apresenta a utilização da placa Arduino no controle liga/desliga de temperatura. Um modelo em escala reduzida e de baixo custo foi criado para simulação de um sistema térmico. O Arduino controla o acionamento de atuadores buscando

alcançar a temperatura de referência. As medições de temperatura oscilaram dentro da faixa escolhida, de aproximadamente +/- 5 % da referência. O resultado mostrou que é possível implementar um controlador liga/desliga na placa Arduino, uma vez que o controle de temperatura não precisa de uma grande velocidade na ação de controle.



Produção Científica Publicada (cont.)

- Título: Temperature Control of a Thermal Plasma with Inductive Coupling Using the Arduino Board.
- Periódico: Journal of Mechanics Engineering and Automation, Vol. 4, N° 6, 2014.

Journal of Mechanics Engineering and Automation 4 (2014) 499-504



Temperature Control of a Thermal Plasma Torch with Inductive Coupling Using the Arduino Board

Gustavo Fernandes de Lima, Glauco George Cipriano Maniçoba and Andrés Ortiz Salazar

Department of Computer Engineering and Automation, Federal University of Rio Grande do Norte, Natal 59072-970, Brasil

Received: February 17, 2014 / Accepted: March 11, 2014 / Published: June 25, 2014.

Abstract: Plasma torch is a device that transforms electrical energy into heat carried by a gas and its safe operation is necessary to control her temperature. This paper presents the use of the Arduino board in temperature control of a plasma torch through fuzzy control. The plasma torch of this project was built so that a flow of water can circulate through your body, allowing its cooling. The cooling system mounted consists of one radiator, one expansion vase, one water pump and one temperature sensor. The heated water coming the plasma torch is passed by the temperature sensor. This is converted in a voltage and read by an analog input port of the Arduino. This processes the information received and makes the decision to turn on/off the radiator fan and/or powered the frequency inverter water pump to control the temperature. The graph of the fuzzy control showed an oscillation between 104 °F to 122 °F around the chosen reference 113 °F. The results show that it is possible to control the temperature of a plasma torch using the Arduino board and fuzzy logic.

Key words: Arduino, torch, fuzzy logic, temperature, thermal plasma.

1. Introduction

logic embedded on Arduino board, which controlled on

Produção Científica Publicada (cont.)

- Título: Proposta de Controle de Velocidade para *PIGs* Instrumentados Utilizando a Plataforma Arduino.
- Evento: VIII CONEM 2014, Uberlândia, MG.



VIII CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
UBERLÂNDIA - MG - BRASIL 10 A 15 DE AGOSTO DE 2014



PROPOSTA DE CONTROLE DE VELOCIDADE PARA *PIGs* INSTRUMENTADOS UTILIZANDO A PLATAFORMA ARDUINO

Gustavo Fernandes de Lima, gustavoffima@msn.com¹
Victor Carvalho Galvão de Freitas, victorc.galvao@gmail.com¹
Andrés Ortiz Salazar, andres@dca.ufrn.br¹
André Laurindo Maitelli, maitelli@dca.ufrn.br²
Francisco de Assis Oliveira Fontes, franciscofontes@uol.com.br³

¹Laboratório de Avaliação de Medição em Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, CEP 59072-970, Natal, RN.

²Laboratório de Automação em Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, CEP 59072-970, Natal, RN.

³Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, CEP 59072-970, Natal, RN.

Resumo: A utilização de *PIGs* instrumentados na operação de inspeção de dutos na busca de defeitos tais como corrosão, trincas e amassamentos é de melhor qualidade quando essas ferramentas mantêm uma velocidade baixa, uma vez que seus sensores podem captar mais pontos de descontinuidade. Este trabalho tem por objetivo apresentar uma proposta de controle de velocidade para esses *PIGs*, por meio do controle do diferencial de pressão atuante neles. Uma válvula by-pass, acionada por solenóide e desenvolvida neste trabalho, possui a capacidade de controlar esse diferencial, consequentemente a velocidade desses *PIGs*. Uma bancada de testes, em escala reduzida, foi montada para simular situações de "tiro" em *PIGs*, bem como permitir uma melhor compreensão das pressões atuantes na válvula by-pass. A plataforma Arduino foi empregada para aquisição de pressões a montante e a jusante da válvula by-pass proposta. O Arduino, também, controlou os tempos de abertura e fechamento da válvula by-pass. Os resultados obtidos nos ensaios experimentais, utilizando a bancada de testes, mostraram uma redução significativa no diferencial de pressão atuante no *PIG* com a válvula by-pass proposta. Como consequência, é esperada uma redução significativa na velocidade do *PIG* no duto.

Produção Científica Publicada (cont.)

- Título: Proposta para Controle de Velocidade de PIG's Utilizando a Placa Arduino.
- Evento: Rio Oil & Gas 2014, Rio de Janeiro, RJ.



Copyright 2014, Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na **Rio Oil & Gas Expo and Conference 2014**, realizado no período de 15 a 18 de setembro de 2014, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas no trabalho completo submetido pelo(s) autor(es). Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da **Rio Oil & Gas Expo and Conference 2014**.

Resumo

Este trabalho apresenta uma proposta de um sistema de controle de velocidade para PIGs instrumentados utilizando uma heurística de controle baseada na modulação PWM. São descritos os componentes de uma bancada de testes montada para a simulação de situações de "tiro" sofridas por PIGs em dutos de transporte de gás, a estratégia de controle utilizada e os resultados de experimentos realizados na bancada. Os resultados obtidos indicam que é possível realizar o controle de velocidade de um PIG por meio do controle de abertura e fechamento de uma válvula *by-pass* que foi desenvolvida especificamente para este fim.

Abstract

This paper presents a proposal of a speed control system for smart PIGs using a control heuristic based on PWM modulation. The components of a test bench constructed to simulate speed excursions situations of PIGs in transportation ducts, the control strategy used and the results of experiments carried out on the bench are presented. The

IBP1086_14
**PROPOSTA PARA CONTROLE DE VELOCIDADE
 DE PIG'S UTILIZANDO A PLACA ARDUINO**

Gustavo Fernandes de Lima¹, Victor Carvalho Galvão de Freitas²,
 Ralyson Rayala Gonçalves de Oliveira³, Andrés Ortiz Salazar⁴,
 André Laurindo Maitelli⁵, Francisco de Assis Oliveira Fontes⁶

Produção Científica Publicada (cont.)

- Título: Plataforma Arduino no Controle de Velocidade de PIG's.
- Evento: I SAS 2014, Natal, RN.



I Simposio de Automação e Sistemas

PLATAFORMA ARDUINO NO CONTROLE DE VELOCIDADE DE PIG'S

VICTOR CARVALHO GALVÃO DE FREITAS, GUSTAVO FERNANDES DE LIMA, RALYSON RAYALA GONÇALVES DE OLIVEIRA, ANDRÉS ORTIZ SALAZAR, ANDRÉ LAURINDO MAITELLI, FRANCISCO DE ASSIS OLIVEIRA FONTES
*Laboratório de Avaliação e Medição em Petróleo, Departamento de Engenharia de Computação e Automação,
 Universidade Federal do Rio Grande do Norte
 Centro de Tecnologia
 59078-900 - Natal - RN - Brasil*
*E-mails: victorc.galvao@gmail.com, gustavoflima@msn.com,
 ralyson@hotmail.com.br, andres@dca.ufrn.br, maitelli@dca.ufrn.br,
 franciscfontes@uol.com.br*

Abstract — This paper presents a proposal of a speed control system for smart PIGs using a control heuristic based on PWM modulation. The components of a test bench constructed to simulate speed excursions situations of PIGs in transportation ducts, the control strategy used and the results of experiments carried out on the bench are presented. The results indicate that it is possible to control the speed of a PIG by controlling the opening and closing of a by-pass valve developed specifically for this purpose.

Keywords — Piging, Smart PIG, Arduino, speed control, by-pass valve.

Resumo — Este trabalho apresenta uma proposta de um sistema de controle de velocidade para PIGs instrumentados utilizando uma heurística de controle baseada na modulação PWM. São descritos os componentes de uma bancada de testes montada para a simulação de situações de "tiro" sofridas por PIGs em dutos de transporte de gás, a estratégia de controle utilizada e os resultados de experimentos realizados na bancada. Os resultados obtidos indicam que é possível realizar o controle de velocidade de um PIG por meio do controle de abertura e fechamento de uma válvula by-pass que foi desenvolvida especificamente para este fim.

Palavras-chave — Piging, PIG instrumentado, Arduino, controle de velocidade, válvula by-pass.

duto seja mantida em determinados valores (em geral entre 1 m/s e 5m/s) (GUIBI et al., 2014). Portanto, o controle de velocidade de PIGs instrumentados é

1 Introdução

Produção Científica Publicada (cont.)

- Título: Controle e Monitoramento de Nível Utilizando o Arduino Uno.
- Evento: IX CONNEPI 2014, São Luiz, MA.



CONTROLE E MONITORAMENTO DE NÍVEL UTILIZANDO O ARDUINO UNO

J. T. da Silva (IC)¹; J. T. da Silva (IC)¹; G. F. de Lima (PQ)²

¹Aluna do Curso de Eletrotécnica, Campus João Câmara – Instituto Federal do Rio Grande do Norte, IFRN.

E-mails: anicleide.tiago@hotmail.com e josyanetiago@hotmail.com

²Prof. de Eletroeletrônica, Campus João Câmara – Instituto Federal do Rio Grande do Norte, IFRN.

E-mail: gustavo.lima@ifrn.edu.br

(IC) Iniciação Científica

(PQ) Pesquisador

RESUMO

A plataforma Arduino tem se destacado nas áreas de Robótica e Sistemas Embarcados, por causa do seu baixo custo e sua programação fácil. Este trabalho apresenta a utilização da placa Arduino no controle liga/desliga e monitoramento com LED's de nível de líquido em um sistema de tanques. Um sistema de tanques em escala reduzida foi montado para a implementação de um controle de nível. A placa Arduino comanda o acionamento de uma bomba d'água com o objetivo de controlar e monitorar com LED'S o nível de líquido

dentro de uma faixa predefinida. As leituras de nível de líquido flutuaram dentro da faixa predefinida, no qual o valor inferior foi de 4 cm e o valor superior foi de 6 cm. Os resultados mostram que é possível implementar um controlador liga/desliga na placa Arduino para controlar e monitorar com LED'S o nível de líquido em um sistema de tanques, uma vez que esse tipo de controle não necessita de uma grande velocidade na ação de controle.

PALAVRAS-CHAVE: Prototipagem, microcontrolador, sensor, tanque, controle liga/desliga.

Produção Científica Publicada (cont.)

- Título: Controle e Monitoramento de Nível Utilizando Plataforma *Open Source* Arduino.
- Periódico: Revista INNOVER - IFMA (Aceito para publicação com modificações).

CONTROLE E MONITORAMENTO DE NÍVEL UTILIZANDO PLATAFORMA *OPEN SOURCE* ARDUINO

JANICLEIDE T. DA SILVA¹, JOSIANE T. DA SILVA¹, GUSTAVO F. DE LIMA²

¹Aluna do Curso de Eletrotécnica - *Campus* João Câmara
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
BR 406, Km 73, nº 3500, Perímetro Rural, CEP 59550-000 - João Câmara (RN) - Brasil
¹janicleide.tiago, josyanetiago@hotmail.com

²Professor de Eletroeletrônica - *Campus* Ceará-Mirim
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
BR-406, Km 145, Bairro Planalto, CEP 59570-000 - Ceará-Mirim (RN) - Brasil
²gustavo.lima@ifrn.edu.br

RESUMO. A plataforma Arduino tem se destacado nas áreas de Robótica e Sistemas Embarcados, por causa do seu baixo custo e sua programação fácil. Este trabalho apresenta a utilização da placa Arduino no controle liga/desliga e monitoramento com *LEDs* de nível de líquido de um sistema de tanques. Um sistema de tanques em escala reduzida foi montado para a implementação de um controle de nível. A placa Arduino comanda o acionamento de uma bomba d'água com o objetivo de controlar e monitorar com *LEDs* o nível de líquido dentro de uma faixa predefinida. As leituras de nível de líquido flutuaram dentro da faixa predefinida, no qual o valor inferior foi de 4 cm e o valor superior foi de 6 cm. Os resultados mostram que é possível implementar um controlador liga/desliga na placa Arduino para controlar e monitorar com *LEDs* o nível de líquido em um sistema de tanques, uma vez que esse tipo de controle não necessita de uma grande velocidade na ação de controle.

Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica
- 3 Implementação do Sistema
- 4 Testes e Resultados
- 5 Considerações Finais
- 6 Bibliografia
- 7 Apêndice
- 8 Fim**

Fim

O B R I G A D O

gustavoflima@msn.com

Agradecimentos:

