



CONTROLE INTELIGENTE DE UMA MINI PLANTA HIDRÁULICA

José Homero Feitosa Cavalcanti

DTM-CT/UFPB Campus I, Bairro Universitário, S/N. CEP58059-000 João Pessoa, PB
E-mail: zevhom@uol.com.br

Bruno José Barros de Souza

DEE-CCT/UFPB Campus II, Bairro Bodocongó, 882. CEP58109-970 Campina Grande, PB

Everaldo Fernandes Monteiro

DEC-CCT/UFPB Campus II, Bairro Bodocongó, 882. CEP58109-970 Campina Grande, PB
E-mail: efernandesmont@uol.com.br

***Resumo.** Neste trabalho apresenta-se o projeto e alguns resultados preliminares obtidos de uma mini planta e de um Sistema Inteligente Hidráulico desenvolvido para a gerência do transporte de fluidos em dutos*

***Palavras chave:.** Inteligência Artificial, Sistemas Inteligentes, Controle Inteligente*

1. INTRODUÇÃO

O sistema de dutos é o meio mais seguro e econômico de transportar petróleo e seus derivados. O sistema dutoviário interliga regiões produtoras de petróleo, refinarias, terminais marítimos, bases de distribuição e centros consumidores.

O laboratório de pesquisa NEUROLAB (Laboratório de Redes Neurais e Automação Inteligente, localizado nas dependências do DTM/CT/UFPB, Campus I) está engajado em pesquisas da área de mecatrônica e se interessou em desenvolver uma mini planta para estudo e desenvolvimento de sistemas indicados para a segurança de malhas de dutos. Devido a dificuldade de utilização de placas comerciais de sensores e transdutores analógicos, decidiu-se utilizar os sensores e atuadores digitais desenvolvidos no NEUROLAB.

Neste trabalho apresentam-se o projeto e alguns resultados preliminares obtidos de uma mini planta (um protótipo experimental) de um sistema de dutos juntamente com um Sistema Inteligente Hidráulico (SIH), baseado na Lógica Fuzzy, desenvolvido para a gerência, controle e supervisão do transporte de fluidos em dutos. Inicialmente descreve-se a mini planta citando-se os elementos que a compõem. A seguir, apresentam-se os detalhes principais dos protótipos dos sensores e atuadores elétricos desenvolvidos. Apresentam-se também alguns detalhes do Sistema Inteligente, baseado na Lógica Fuzzy, desenvolvido para ser utilizado no controle inteligente da mini planta. Por último, conclui-se o projeto com análise dos resultados preliminares obtidos e sugestões para trabalhos futuros.

2. DESCRIÇÃO DA MINI PLANTA

Na Figura (1) apresenta-se a fotografia do protótipo da mini planta implementada na nossa Universidade. Os componentes da mini planta, vistos da esquerda para a direita na Fig. (1), são os seguintes: 1) o reservatório principal (só é apresentado o cano de ligação); 2) a válvula de controle e o motor de passo acoplado; 3) a bomba d'água; 4) o medidor de vazão; 5) duas válvulas “on/off”; 6) dois reservatórios secundários (não apresentados na Fig. (1)).

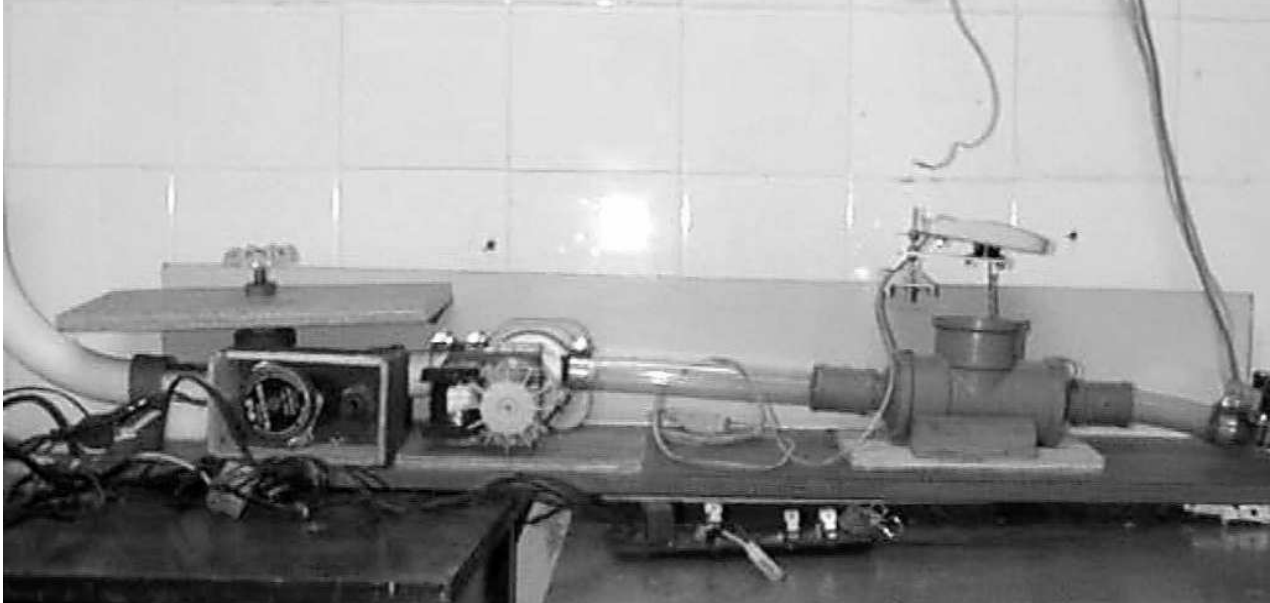


Figura 1. Protótipo da mini planta

Na Figura (2) apresenta-se o esquema geral da mini planta proposta neste projeto. A mini planta (representada em malha aberta) é composta de três reservatórios (R1, R2 e R3) sendo R1 o reservatório principal e R2 e R3, reservatórios secundários. No duto partindo do reservatório principal (R1) existe uma válvula controlável (A1) seguida de uma bomba d'água (B) (aumenta/diminui o bombeamento do líquido). Na saída da bomba d'água existe um medidor de vazão que é um sensor de fluxo d'água (leitura de Q).

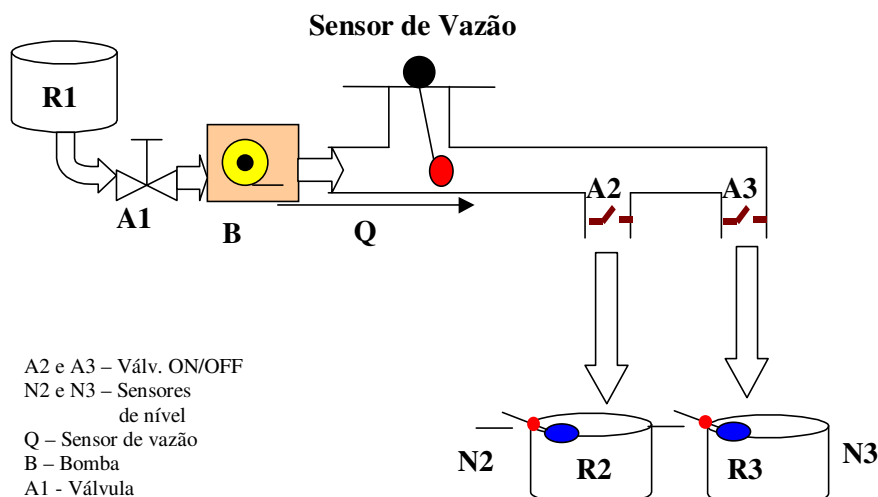


Figura 2. Esquema geral da Mini Planta

No duto, após a saída do sensor de vazão, existem duas válvulas “on/off” (A2 e A3) que controlam o fluxo do líquido para os reservatórios R2 e R3. Por último, existem dois detectores de níveis nos reservatórios R2 e R3

2.1 O MEDIDOR DE VAZÃO

O medidor de vazão foi desenvolvido no NEUROLAB e foi baseado num anemômetro construído no mesmo laboratório (Cavalcanti et al, 2000). O medidor de vazão é composto basicamente de um pêndulo (ver Apêndice A) e um sistema de detecção de posição (ver Apêndice B). No projeto do medidor de vazão partiu-se do princípio que o arraste do pêndulo provocado pelo deslocamento do fluido indica razoavelmente o fluxo do fluido. Ou seja, quanto maior for o fluxo, maior será o ângulo θ entre o braço do pêndulo e a normal da direção de escoamento.

Todo o movimento gerado pelo escoamento do fluido é percebido através do detector de posição. O medidor de vazão foi implementado com um grau de liberdade utilizando-se um dos detectores de posição de um mouse padrão. Utilizou-se o deslocamento no eixo X do mouse (ver apêndice A).

2.2 OS DETECTORES DE NÍVEL

Os detectores de nível (representados como N2 e N3 na Fig.(2)) utilizam uma estrutura pendular (ver Apêndices A e B) composta por um sistema detector de posição com um disco perfurado no eixo de rotação de uma haste rígida. Quando o volume de R2 e R3 varia, o sistema detecta se houve aumento ou diminuição dos volumes e estima essa variação de volume. O valor do ângulo da haste com a bóia em relação ao fundo do reservatório ($\theta(t)$) será obtido a partir dos detectores duplos de posição.

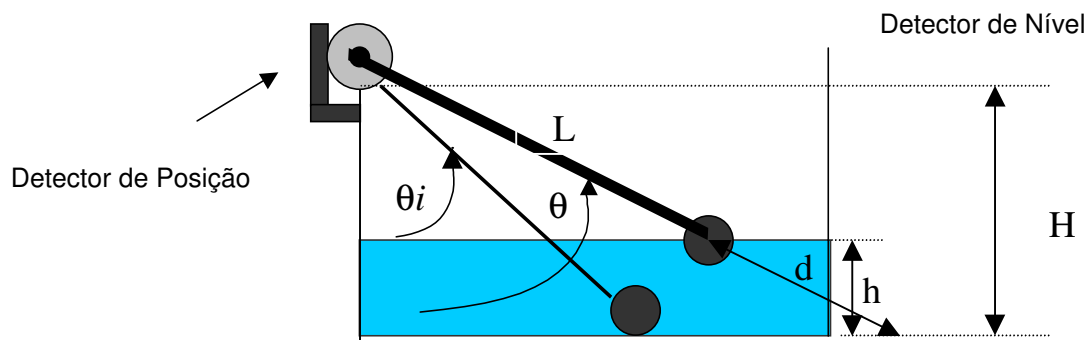


Figura 3. Detector de Nível

Considere o reservatório cilíndrico de raio r (representados por R2 e R3 na Fig. (2)), com capacidade máxima de $V_{\text{máx}}$ litros e o comprimento do pêndulo L , H a altura do reservatório, sendo h a altura da superfície do líquido e $L < 2r$. O volume (V_0) no reservatório pode ser descrito, utilizando geometria, em função do ângulo θ como pode ser visto nas equações Eq. (3).

$$\begin{aligned}
 V_0 &= (\pi r^2) \cdot h & V_{\text{máx}} &= (\pi r^2) \cdot H \\
 \cos(\theta_i) &= \frac{H}{L} & \cos(\theta) &= \frac{H}{L+d} \\
 d &= \frac{H}{\cos(\theta)} - L & h &= d \cdot \cos(\theta) \\
 h &= \left(\frac{H - L \cdot \cos(\theta)}{\cos(\theta)} \right) \cos(\theta) = H - L \cdot \cos(\theta)
 \end{aligned} \tag{3}$$

Na montagem do reservatório estipulou-se que para um volume igual a zero o ângulo θ fosse diferente de zero (θ_i). Pode-se equacionar o volume do reservatório ($V_o(t)$) como apresentado na Eq. (4).

$$V_o(t) = (\pi r^2) \cdot [H - L \cdot \cos(\theta)] \quad (4)$$

A seguir foi feita uma simulação para se observar a variação do ângulo da haste rígida medido em função da altura do líquido no reservatório. Na Equação (3) ($h=H-L \cdot \cos(\theta)$) utilizou-se $H=L=1$ e usou-se $\theta = \arccos(1-h)$. A seguir, fez-se a altura h variar de 0 a 1 e se calculou o valor de θ . Na Fig. (4) apresenta-se a curva do ângulo da haste rígida em função da altura do líquido no reservatório obtido da equação $\theta = \arccos(1-h)$. Observe-se que a curva do ângulo da haste rígida versus altura apresenta um comportamento aproximadamente linear a partir de $h=0.5$. Pode-se considerar que para $h>0.3$ a variação do ângulo em função da altura é aproximadamente constante,

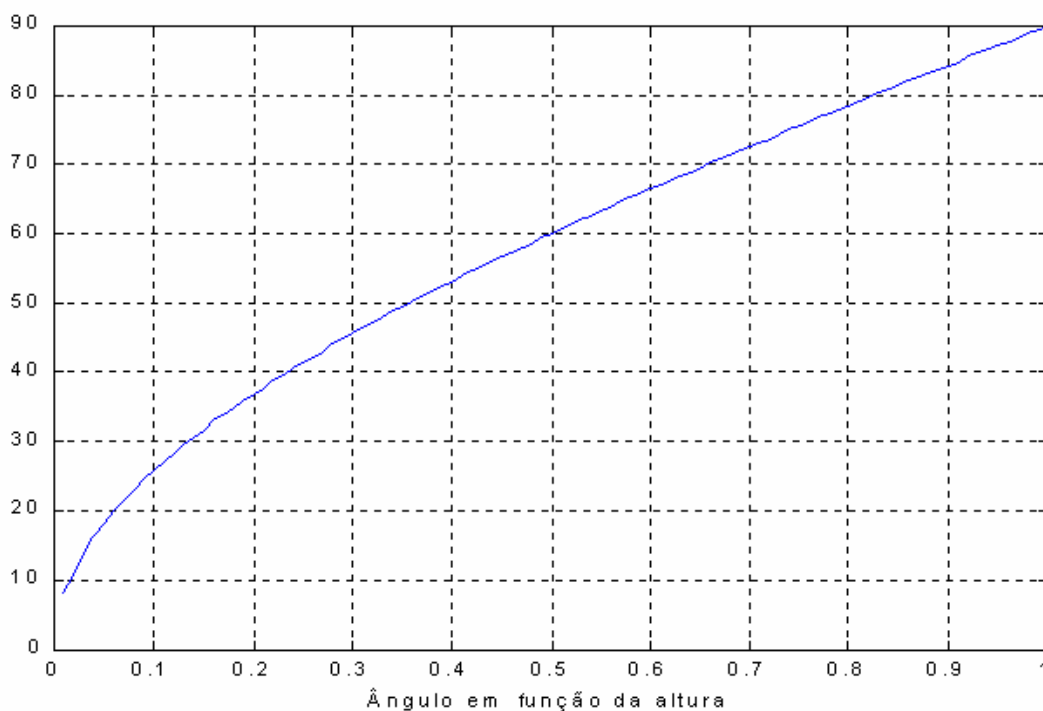


Figura 4. Resultados obtidos

A seguir foram feitas medições experimentais com o detector de níveis. Utilizou-se um disco óptico com 60 furos o que corresponde a contagem de 240 posições para 360° de rotação do disco. No experimento, variou-se a altura do líquido e mediu-se o ângulo da haste rígida. Na Fig. (5) apresenta-se o diagrama experimental da variação da leitura do disco óptico em relação à altura do reservatório, ou a variação do ângulo da haste rígida (ordenada) em função da altura do líquido no reservatório (abscissa).

Durante o experimento, variou-se a altura do reservatório do seu valor mínimo ($h=0\text{cm}$) ao máximo ($h=45\text{cm}$) e observou-se o deslocamento fornecido pelo codificador digital. Quando $h=0\text{cm}$ observou-se um ângulo de 50° na haste rígida. Na Fig. (5) pode-se observar que houve um movimento da haste do pêndulo equivalente a 18 posições o que equivale a um deslocamento angular de $18 \cdot (360/240) = 27^\circ$. Isto é, houve uma variação do ângulo da haste rígida entre 50° a 77°. Isto representa a medição da altura do líquido dentro de uma faixa de comportamento aproximadamente linear que pode ser observado no gráfico da Fig. (4).

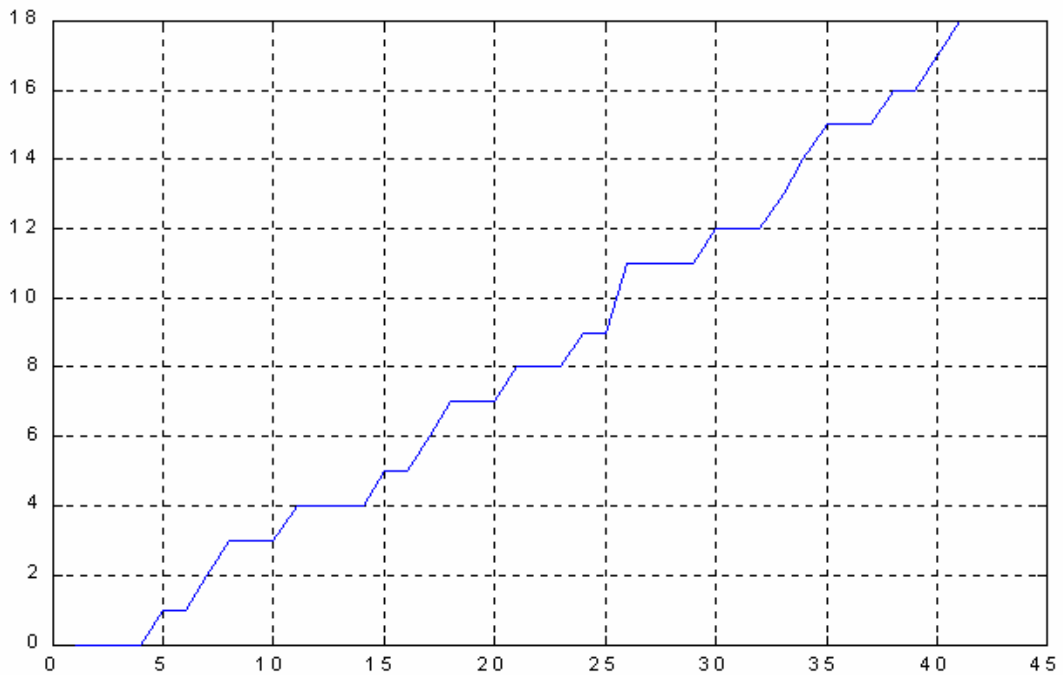


Figura 5. Ângulo da haste rígida em função da altura do reservatório

3. INTERFACE ENTRE O MICROCOMPUTADOR E A PLANTA

O sistema é controlado por meio de um computador do tipo IBM-PC, que utiliza a porta paralela para realizar o controle e monitoração. A porta paralela contém 25 pinos (alimentação e sinais digitais) que implementam a comunicação entrada/saída. Os sinais são divididos funcionalmente em: 8 sinais de saída (para dados), 4 sinais de saída (para controle), 5 sinais de entrada (para controle) e 8 sinais ligados ao terra. Essa estrutura é apropriada para a sua utilização como interface de aquisição de dados e de controle de sistemas em tempo real do tipo analisado neste trabalho. O tempo de ativação ou desativação dos sinais digitais da interface pode ser feito em 200ns (EPSON, 1994).

Observe-se que apesar deste tipo de porta ser chamada de interface, isto não significa que ela pode ser utilizada para controlar diretamente um sistema. Faz-se necessário utilizar uma outra placa, denominada placa controladora, que permite converter os níveis de corrente extremamente baixos disponíveis na interface da porta paralela em sinais adequados para acionar os dispositivos de potência que alimentam os atuadores. Assim, a porta paralela permite somente que se tenha um canal de comunicação (sinais digitais) com o microcomputador.

Normalmente, as placas de aquisição de dados disponíveis no mercado, não utilizam esta porta. As mesmas são placas separadas, que são inseridas em um dos "slots" livres dentro do microcomputador e ligadas ao barramento do mesmo, passando a ser de responsabilidade delas a criação de um canal de comunicação com o microcomputador. Essas placas normalmente são comercializadas com o software necessário para a sua programação (geralmente "fechado"), o que as torna caras e restritas, pois quase sempre se fica limitado às funções fornecidas pelos fabricantes das mesmas, com pouquíssimas possibilidades de alterações.

A interface controladora (placa de interface controladora) foi construída para suprir as limitações da porta paralela, descritas na seção anterior. A função desta placa é a de possibilitar o controle de um motor de passo (válvula V), relés acionadores de uma bomba (B) e das válvulas (A2 e A3), além da aquisição dos sinais dos detectores de posição (circuito descrito em seção anterior).

A válvula A1 (válvula principal) é constituída de um motor de passo "montado" sobre uma válvula comum (torneira). Para realizar o controle de abrir/fechar é necessário, somente, controlar o

motor de passo (12V). Na fig. (6) apresenta-se o circuito que propicia o controle do motor de passo (Bolton, 1989 e Hollinger et ali, 1998).

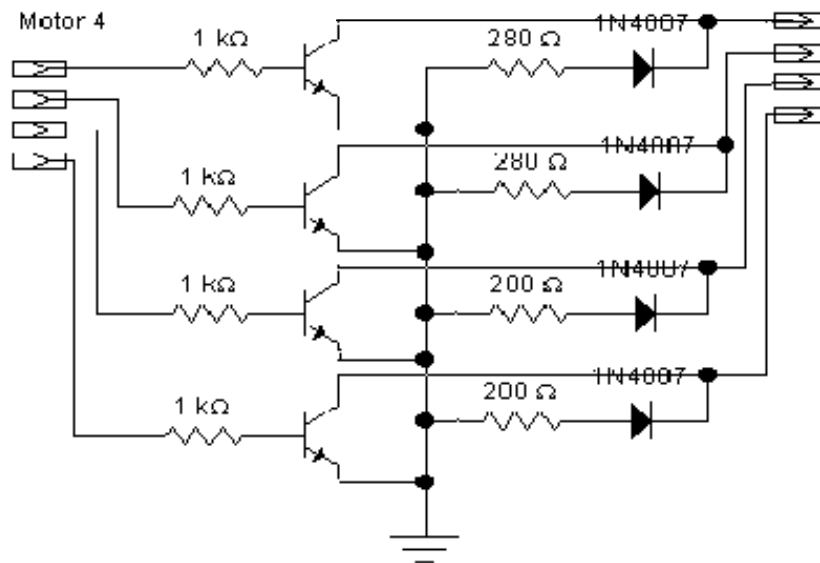


Figura 6. Circuito acionador do motor de passo.

O circuito implementado que possibilita o controle das válvulas (A2 e A3) e da bomba (B) é apresentado na Fig. (7). A bomba é alimentada com 110 Vac e as válvulas A2 e A3 são alimentados com 220 Vac.

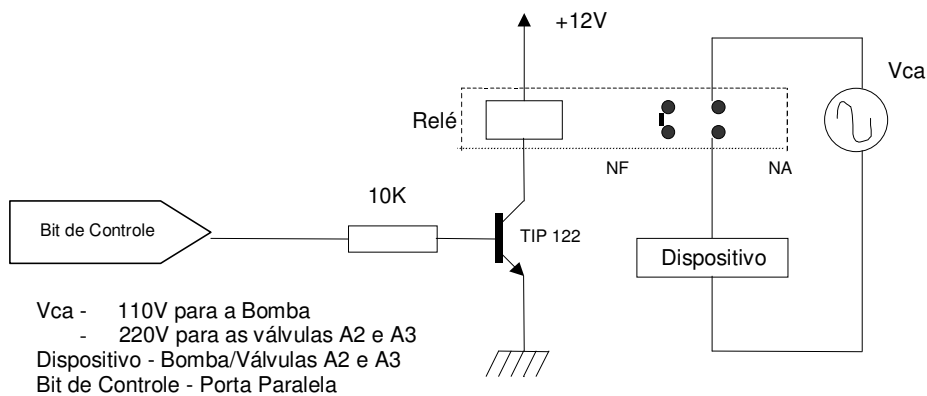


Figura 7. Circuito controlador da Bomba / Válvulas A2 e A3

A técnica para realizar o controle de velocidade do fluido foi a da modulação por largura de pulso (PWM), que controla o tempo ‘on’ (ligada) e ‘off’ (desligada) da bomba (B), bem como a abertura da válvula principal A1. O controle é feito em malha fechada. O algoritmo de controle utilizará a informação do detector de vazão e dos detectores de nível, além do valor (qualitativo) que deseja-se obter.

4. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA INTELIGENTE HIDRÁULICO

A planta é sucintamente descrita na Fig. (8), onde o Sistema Inteligente Hidráulico, a partir dos valores observados no fluxo do líquido e nos níveis dos reservatórios, executa as ações de abrir/fechar as válvulas; aumentar/diminuir o bombeamento.



Figura 8. Sistema Inteligente Hidráulico

O SIH é um sistema inteligente baseado na Lógica Fuzzy. A cada dispositivo da planta são associadas duas variáveis. Uma variável discreta e a outra uma variável fuzzy. A Tabela 1 relaciona as variáveis associadas aos dispositivos da mini planta (o subscrito *i* indica o número do dispositivo).

Tabela 1. Variáveis associadas aos dispositivos da planta

DISPOSITIVO	VARIÁVEL DISCRETA	VARIÁVEL FUZZY
RESERVATÓRIO	R _i	R _{if}
BOMBA	B _i	B _{if}
VÁLVULAS	A _i	A _{if}
TUBO	T _i	T _{if}
SENSOR DE VAZÃO	Q _i	Q _{if}
DETECTOR DE NÍVEL	N _i	N _{if}

Por exemplo, para a bomba associam-se a variável B (discreta) e a variável B_f (fuzzy). Na Fig.(9) apresenta-se um gráfico com as funções de pertinência (tipo triangular) utilizadas na representação das variáveis fuzzy. Cada variável fuzzy possui 4 funções de pertinência representadas pelas variáveis lingüísticas Z, P, M e G.

Após a fuzzyficação das variáveis, determinando as suas funções de pertinência, elas são defuzzyficadas. A defuzzyficação qualitativa utiliza o operador Lógico Fuzzy união que indica qual das funções de pertinência é a vencedora. Por exemplo, para o valor Alvo apresentado na Fig.(7), a função de pertinência vencedora é a representada pela variável lingüística M. A defuzzyficação quantitativa (utilizada principalmente nos controladores fuzzy) é realizada utilizando-se o centro de gravidade, representado pela Eq. (5). Na Eq. (5) V_f representa a variável na forma discreta, μ_i representa o valor da função de pertinência e ω_i o peso associado à função de pertinência.

$$V_f = \frac{\sum_{i=1}^4 \mu_i \omega_i}{\sum_{i=1}^4 \mu_i} \quad (5)$$

O diagrama de blocos do SIH é apresentado na Fig. (10). O SIH é composto por uma base de conhecimento, onde estão armazenadas as informações, em forma de regras fuzzy (Zadeh, 1988), de todos os componentes da planta; um módulo SENSOR para a obtenção do estado atual dos dispositivos; e um módulo ATUADOR encarregado da ativação das bombas e dos relés. Na Fig. (10) V_f representa as variáveis fuzzy a serem usadas na inferência da gerência do sistema.

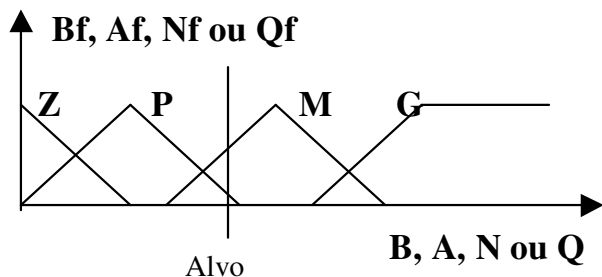


Figura 9. Funções de Pertinência

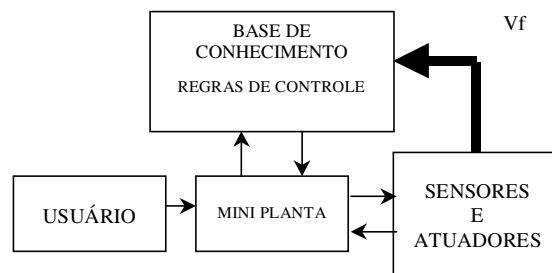


Figura 10. Diagrama geral do SIH

6. EXEMPLO DO FUNCIONAMENTO DA MINI PLANTA (TEÓRICO)

A seguir são apresentadas algumas regras que definirão o funcionamento do SIH. Antes do início, a variável do tipo booleana denominada INICIO assumirá valor lógico "0".

1. **if** INICIO==0 **then** Bf=0; A1=0; A2=0; A3=0; //Antes do início

Durante a operação do SIH INICIO assumirá valor lógico "1". As seguintes regras fuzzy podem ser executadas.

2. **if** Bf==0 **then** Qf=Z;

//Não há fluxo

3. **if** Qf==0 **then** A1f=Z; A2f=Z; A3f=Z;

//A bomba deve estar desligada

4. **if** Qf==G **then** Bf=G; A1=G; A2=G; A3=G;

//Fluxo máximo

5. **if** Qf==M **then** Vf=M; Bf=M;

//Fluxo médio

7. CONCLUSÃO

A mini planta hidráulica foi montada com tubos de PVC, uma bomba hidráulica, uma válvula central e duas válvulas tipo "abre e fecha" (A2 e A3). O sensor de vazão e os sensores de nível foram construídos a partir da estrutura do mouse. Aproveitaram-se os dois sensores óticos de posição do mouse e foi construído um circuito para amplificação dos sinais (ver seção 4). Os sensores de nível necessitam de alguns ajustes, pois apresentaram problemas de medições devido ao atrito e a flexibilidade da haste do pêndulo. O tipo das válvulas empregadas (A2 e A3) mostrou-se inadequada para esta aplicação, pois para o seu funcionamento é necessária uma pressão elevada, forçando um fluxo intenso através do local de acoplamento do sensor de vazão, ocasionando vários vazamentos. Decidiu-se adicionar uma "camisa de borracha" para envolver a haste e o tubo do sensor de vazão. Isso impediu o refluxo de água.

A placa interface (micro computador para a mini planta) foi confeccionada com a utilização do programa Protel, sendo em seguida montada. A interface montada é composta por 8 bits de saída (4 para relés e 4 para o motor de passo) e 4 bits de entrada (sensores de nível). Os testes iniciais com o protótipo mostraram que a interface utilizando a porta paralela é satisfatória para esta aplicação.

O software de controle está sendo desenvolvido sob plataforma do Microsoft Windows98®, através da ferramenta C++ Builder da Borland. Na realização dos testes, foram implementadas algumas rotinas em C, executadas em ambiente MS-DOS (Sikonowiz, 1986).

Observou-se que a utilização de sensores e atuadores digitais simplifica o desenvolvimento do software de controle da mini planta.

8. REFERÊNCIAS

Zadeh, L. A. "Fuzzy Logic", IEEE Computer Mag. April 1988, pp83-93. Republicado por J.

Anderson & E. Rosenfeld, Neurocomputing Foundations of Researches, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA, (pp. 117-194), 1988.

Bolton, William "Instrumentação e Controle", Ed. Hemus, 1989.

- Hollinger, J. G. and Bergstrom, R. A. and Bay, J.S."A Logic Force Controller for a Stepper Motor Robot - in Fuzzy Logic Technology and Applications", IEEE Technology Updates Series(pp. 123-128),1998.
- Cavalcanti, J. H. F. & Alsina, P. J. ‘Real Time Intelligent Control System for Load Exchange between two Robots’, Fifth International Conference on Control, Automation, Robotic and Vision, 8-11 dezembro, 1998, Singapore.
- ‘EPSON FX870/1170 Manual do usuário’, Epson do Brasil Ltda, São Paulo, 1994.
- Sikonowiz, W. ‘IBM-PC e seus compatíveis – Guia do usuário’, Ed. McGraw-Hill, São Paulo, 1986.
- Cavalcanti, J. H. F. e Carvalho, J. N. e Monteiro, E. F e Silva, J. F. da, ‘Medição da Direção e Intensidade do Vento, utilizando um Anemômetro Inteligente’, CONEM2000, Natal RN, 7-11 agosto de 2000.

9. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

APÊNDICE A: O PÊNDULO SIMPLES

Na Figura (11) apresenta-se esquematicamente um pêndulo simples (Cavalcanti et ali, 1998) cujo comportamento dinâmico é descrito matematicamente pela equação diferencial não linear mostrada na Eq. (6). Na Eq. (6) t é o tempo na forma contínua, $Tl(t)$ é Torque de carga, P é o Peso do pêndulo, M é a Massa do pêndulo, L é o Comprimento do pêndulo, $\theta(t)$ é o Ângulo entre o pêndulo e a vertical, g é a Aceleração da gravidade. Observe-se que o pêndulo necessita de um torque externo ($Te > Tl$) para se movimentar. Considerando-se a aceleração do pêndulo igual a zero, o torque para movimentar o pêndulo é apresentado na Eq. (7).

$$Tl(t) = (P/g)L^2 \frac{d^2 \theta(t)}{dt^2} + PL \text{sen}(\theta(t)) \quad (6)$$

$$Tl(t) = PL \text{sen}(\theta(t)) \quad (7)$$

APÊNDICE B: OS DETECTORES ÓTICOS DE POSIÇÃO

Na Fig. (12) ilustra-se o esquema de montagem de um detector de posição juntamente com o disco com furos igualmente espaçados.

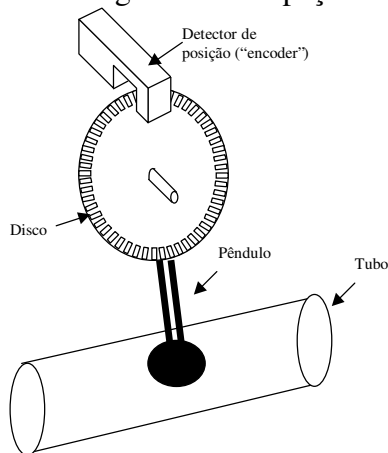


Figura 12. Disco perfurado

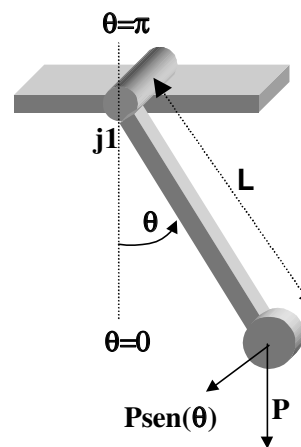


Figura 11. Pêndulo simples

Os detectores de posição ('encoders'), acoplado ao pêndulo, precisam ser duplos, ou seja possuem dois sinais. Um detector de posição com um único sinal pode simplesmente detectar se

houve ou não movimento. Enquanto um detector de posição duplo, além de verificar se houve movimento, pode também informar em que sentido ocorreu o movimento. Isto é possível porque com dois sinais tem-se a possibilidade de efetuar uma comparação entre os sinais anteriores e os sinais atuais e então, descobrir em que sentido o movimento ocorreu. Na fig. (13) apresenta-se a relação entre os dois sinais de um detector de posição duplo.

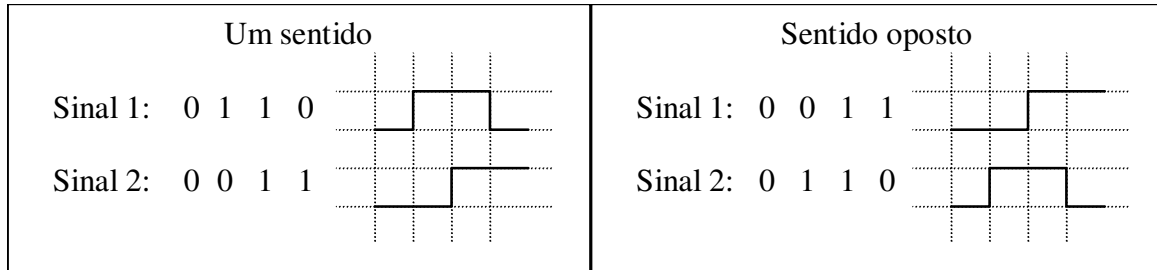


Figura 13. Relação entre os dois sinais de um detector de posição duplo.

Os detectores de posição necessitam de um módulo de amplificação de sinal (EPSON, 1994). Este módulo tem a finalidade de enquadrar os sinais provenientes dos detectores de posição na faixa de valores lógicos TTL, ou seja, ele garante que um sinal terá aproximadamente o valor 0V ou 5V. Isto é necessário pois o sinal proveniente do detector de posição não é suficiente para ser tratado pela interface da porta paralela.

INTELLIGENT CONTROL OF A SMALL HYDRAULIC PLANT

José Homero Feitosa Cavalcanti

DTM-CT/UFPB Campus I, Bairro Universitário, S/N. CEP58059-000 João Pessoa, PB
E-mail: zevhom@uol.com.br

Bruno José Barros de Souza

DEE-CCT/UFPB Campus II, Bairro Bodocongó, 882. CEP58109-970 Campina Grande, PB

Everaldo Fernandes Monteiro

DEC-CCT/UFPB Campus II, Bairro Bodocongó, 882. CEP58109-970 Campina Grande, PB
E-mail: efernandesmont@uol.com.br

Abstract. *This paper presents the design and preliminary results obtained from a intelligent control of a small hidraulic plant. The hidraulic system is designed for dute fluid control.*

Key words: *Artificial Inteligence, Intelligent Systems, Intelligent control*