

## MEDIÇÃO DA DIREÇÃO E INTENSIDADE DO VENTO UTILIZANDO UM ANEMÔMETRO INTELIGENTE

José Homero Feitosa Cavalcanti

Joelson Nogueira de Carvalho

Everaldo Fernandes Monteiro

José Felício da Silva

Universidade Federal da Paraíba - CCT/DSC/COPIN/NEUROLAB – CT/DTM

Rua Aprígio Veloso, 882 - Campus II - 58109-790 - Campina Grande - PB

E-mail: homero@dsc.ufpb.br

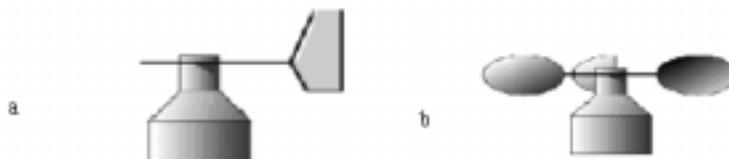
### Resumo

Este artigo apresenta o projeto e detalhes obtidos da construção de um anemômetro projetado para detectar as variações da direção e da intensidade dos ventos. Também são apresentados resultados obtidos da aferição do anemômetro utilizando Lógica Fuzzy.

**Palavras-chave:** Anemômetro, Sistemas Inteligente e Lógica Fuzzy.

### 1. INTRODUÇÃO

No mundo atual são importantes as informações sobre o tempo e principalmente sobre a direção e a intensidade dos ventos. A energia eólica é a energia que se pode obter a partir da força do vento. Para bem utiliza-la deve-se conhecer a direção, intensidade e a regularidade dos ventos utilizando anemômetros. Existem diversos tipos de anemômetros desenvolvidos para aplicações específicas que fornecem a direção (figura 1.a) e intensidade (figura 1.b) dos ventos. Esses anemômetros são de difícil utilização e geralmente exigem placas de aquisição de dados e softwares em tempo real, recurso geralmente de alto custo e difíceis de serem utilizados.



**Figura1.** Anemômetro, direção e intensidade do vento

Diversos pesquisadores têm desenvolvido sistemas de aquisição de dados e análise utilizando microcomputadores. Por exemplo, Araújo (1989) apresentou o projeto e a implementação de um sistema de aquisição, construção de uma base de dados, e processamento de dados meteorológicos utilizando microcomputador. Ele monitorou, utilizando microcomputador, as características de regime do vento disponível em uma determinada região.

O nosso laboratório está engajado em pesquisas que necessitam de instrumentos de medição de baixo custo e que utilizem as interfaces padrão dos microcomputadores do tipo IBM PC. A partir dos resultados obtidos do desenvolvimento de um sistema estabilizador de planos (Cavalcanti et al, 1999), desenvolveu-se um novo modelo de anemômetro, denominado BIRUTA, que é um sistema experimental para medição da direção e intensidade do vento usando Lógica Fuzzy e microcomputadores. Na figura 2 apresenta-se a fotografia do sistema BIRUTA.

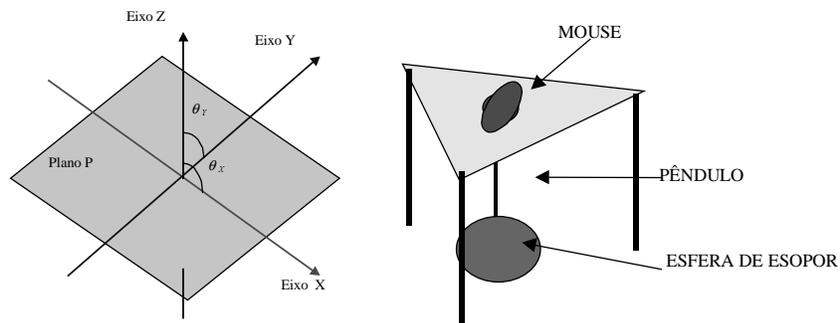


**Figura 2.** O sistema BIRUTA

Neste trabalho inicialmente descreve-se sucintamente o sistema BIRUTA. A seguir, apresenta-se o software desenvolvido para obtenção dos dados da direção e intensidade do vento e se apresentam resultados preliminares da aferição deste instrumento utilizando a Lógica Fuzzy (Zadeh, 1988, 1965). Por último, conclui-se este trabalho com comentários e sugestões para trabalhos futuros.

## 2. O SISTEMA BIRUTA

A detecção da intensidade e da direção do vento foi feita com um pêndulo com uma bola de isopor acoplada à extremidade do seu braço. No lado direito da figura 3 apresenta-se o desenho do protótipo do sistema BIRUTA, no seu lado esquerdo mostra-se o desenho do sistema de eixos cartesianos definidos pelo pêndulo.



**Figura 3.** O Sistema BIRUTA

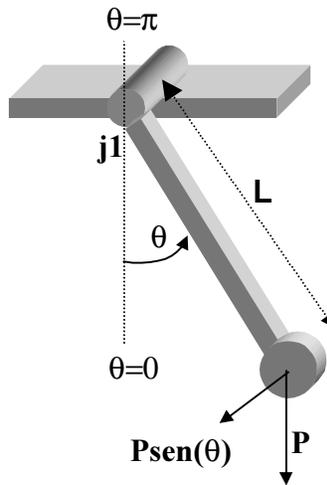
O pêndulo está localizado onde passa o eixo imaginário Z, considera-se que o braço do pêndulo tem comprimento fixo e apenas os valores dos eixos X e Y podem variar. Havendo uma mudança na intensidade ou direção do vento, o pêndulo se move. O movimento do pêndulo é feito sobre os eixos X e Y do plano. Utilizou-se o periférico "mouse" dos microcomputadores como o registrador de coordenadas X e Y do pêndulo. O pêndulo permanece sempre no sentido vertical. Quando o vento muda, o pêndulo sofre a sua ação, o dispositivo giratório do mouse registra em tempo real a magnitude da variação dos eixos em termos de unidades de coordenadas. A partir das coordenadas X e Y fornecidas pelo "mouse" o software gera o vetor intensidade e direção do vento.

### 3. ANÁLISE DOS DADOS

Na figura 4 apresenta-se esquematicamente um pêndulo simples cujo comportamento dinâmico é descrito matematicamente pela equação diferencial não linear mostrada na eq.1. Na eq.1 t é o tempo na forma contínua, Tl(t) é torque de carga, P é o peso 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 ( $T_e > T_l$ ) para se movimentar. Considerando-se a aceleração do pêndulo igual a zero, o torque para movimentar o pêndulo é apresentado na eq.2.

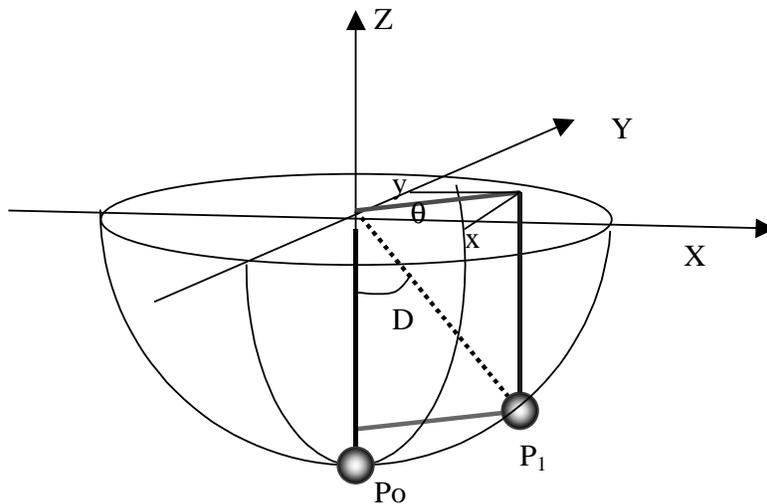
$$Tl(t) = \frac{1}{2}(P/g)L \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} + PL\text{sen}(\theta(t)) \quad (1)$$

$$Tl(t) = PL\text{sen}(\theta(t)) \quad (2)$$



**Figura 4.** O Pêndulo Simples

Os dados obtidos do mouse indicam movimentos do pêndulo nos eixos X e Y. Esses dados devem ser transformados em intensidade e direção do vento. O movimento do pêndulo no sistema BIRUTA está representado na figura 5, na área formada pela semi-esfera de raio L, igual ao comprimento do pêndulo. A distância da bola presa ao pêndulo ao eixo Z será dada pela eq.3, e o ângulo entre o pêndulo e os eixos X e Y é dado pela eq.4. O eixo Y do mouse foi orientado na direção norte e sul, e o eixo X foi orientado na direção oeste e leste.



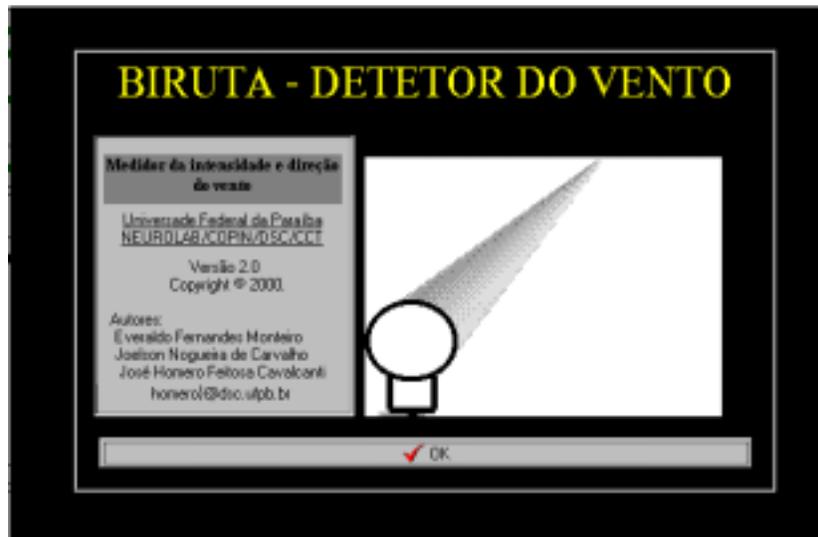
**Figura 5.** Detecção de intensidade e direção do vento

$$D = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (3)$$

$$\theta = \arctg(Y/X) \quad (4)$$

#### 4. O SISTEMA DETECTOR DE POSIÇÃO DO BIRUTA

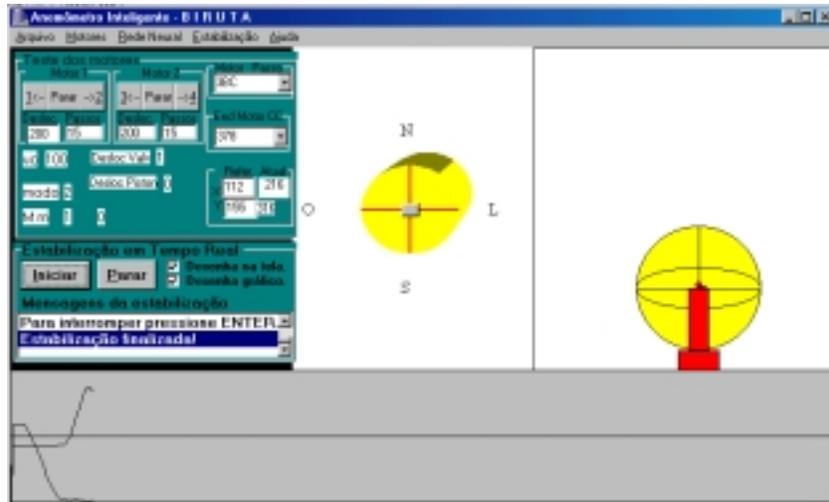
Foi implementada uma interface visual gráfica para permitir, em um monitor de vídeo, o acompanhamento de todo o processo de estabilização do plano. Na figura 6 é apresentada a tela inicial do BIRUTA.



**Figura 6.** Tela inicial do BIRUTA

Na figura 7 apresenta-se a tela de trabalho do BIRUTA. Na sua parte superior esquerda são colocadas as informações para controle dos motores de passo, escolha das portas paralelas do microcomputador, e posicionamento do mouse (bloco Refer Atual). Os motores de passo serão usados para correção da posição ou proteção do anemômetro. Na parte superior central está localizado o eixo de coordenadas em que se movimenta o indicador de posição do mouse. Na parte inferior direita da figura 7 localiza-se um globo com um pêndulo que indica, em tempo real, a posição atual do pêndulo em que está acoplada a bola de isopor. A faixa inferior da figura é utilizada para traçar as curvas das posições X e Y do mouse obtidos experimentalmente. Os resultados apresentados na faixa inferior indicam que o pêndulo inicialmente estava em repouso, a seguir, o pêndulo, impulsionado pelo vento, se movimenta na direção do eixo X sem quase movimento na direção do eixo Y. O pêndulo permanece

alguns instantes posicionado sobre o eixo Y e começa a se movimentar na direção do eixo X até que fique posicionado como mostrado na figura 7.



**Figura 7.** Tela principal do Sistema BIRUTA

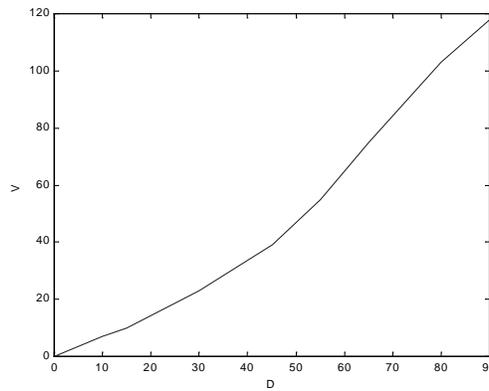
## 5. TRANSFORMAÇÃO DOS DADOS

O NEUROLAB, o laboratório que desenvolveu o sistema BIRUTA, ainda não dispõe de equipamentos padrões (Silva et al, 1999) para a aferição do anemômetro. Decidiu-se fazer uma aferição quantitativa e qualitativa utilizando a Lógica Fuzzy (Zadeh, 1965 e 1988). Decidiu-se testar o anemômetro utilizando resultados obtidos da sua exposição ao ar deslocado por um carro, numa estrada em linha reta, em diferentes velocidades. Supôs-se que era zero a velocidade do vento na estrada. Utilizou-se um pêndulo com 10cm de comprimento.

**Tabela 1.** Velocidade do vento e deslocamento do pêndulo

#	X(cm)	Y(cm)	D(cm)	V(km/h)
1	0.0	0.0	0.0	0.0
2	6.0	8.0	10.0	7.00
3	9.0	12.0	15.0	10.00
4	18.0	24.0	30.0	23.00
5	27.0	36.0	45.0	39.00
6	33.0	44.0	55.0	55.00
7	35.0	54.0	65.0	75.00
8	48.0	64.0	80.0	103.00
9	54.0	72.0	90.0	118.00

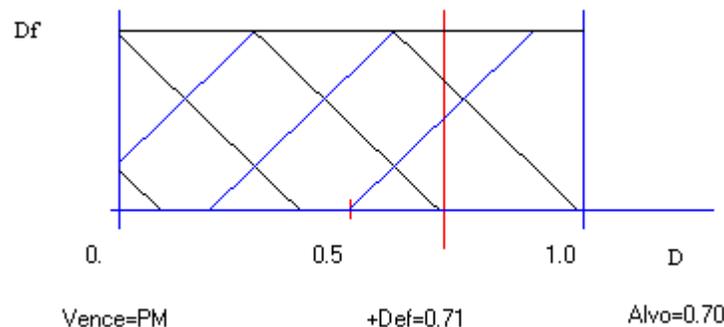
Na Tabela 1 apresentam-se 9 amostras obtidas experimentalmente com um microcomputador “Lap Top” acoplado ao sistema BIRUTA. Na coluna 1 apresentam-se os números das amostras, nas colunas 2 e 3 apresentam-se os deslocamentos no eixo X e Y detectados pelo mouse,, na coluna 4 apresentam-se o valor da inclinação do pêndulo dado pela eq.3, na coluna 5 apresentam-se as velocidades em que foram observados os deslocamentos do pêndulo. Na figura 8, baseado na Tabela 1, apresenta-se a o gráfico da velocidade do vento (velocidade do carro) em função da distância D indicada pela eq.3.



**Figura 8.** Velocidade do vento (V) em função da distância (D)

### 5.1 Análise e aferição do instrumento - qualitativo

Atribuiu-se uma variável fuzzy ( $D_f$ ) para representar a intensidade do vento. Associaram-se diferentes valores lingüísticos para  $D_f$  (zero (ZE), pequeno (PP), médio (PM) e grande (PG)). Na figura 9 são apresentadas as curvas das funções de pertinência (escolhidas heurísticamente) da variável fuzzy  $D_f$ . Na figura 9 o valor de D foi denominado alvo (valor 0.7). No cálculo qualitativo de D, inicialmente D é calculado usando a eq.3. A seguir, o valor de D é transformado em por unidade (p.u.) com peso base 100 (comprimento do braço do pêndulo em milímetro). O valor qualitativo fuzzy (variáveis lingüísticas) de  $D_f$  é calculado usando a operação união do conjunto fuzzy. A função de pertinência de  $D_f$  vencedora é a que tem maior valor. Na figura 9 o alvo é uma reta perpendicular à abscissa no ponto  $D=0.7$ . Neste ponto a função de pertinência vencedora é a PM (maior valor). Portanto,  $D_f=PM$  para  $D=0.7$ .



**Figura 9.** Funções de pertencimento de  $D_f$ .

### 5.2 Análise e aferição do instrumento - quantitativo

No cálculo quantitativo de D, utilizando a “defuzzyficação” da variável fuzzy da velocidade do vento, inicialmente D é calculado usando a eq.3. A seguir ele é normalizado entre zero e um com peso 100. Na Tabela 2 são mostrados os valores discretos atribuídos às variáveis lingüísticas de  $D_f$  utilizados na “defuzzyficação” de  $D_f$ . A seguir, a partir da figura 9, utilizando o centro de gravidade como mostrado na eq.5 com  $\mu_i$  representado as funções de pertencimento e  $w_i$  representando os pesos. Usando-se os pesos da tabela 2, calculou-se o valor “defuzzyficado” de  $D_f$ , denominado  $D_d$ , que é mostrado como  $+Def=0.71$  na figura 9. Para  $D=0.7$ , obteve-se  $\mu_1=0.0$ ,  $\mu_2=0.3$ ,  $\mu_3=0.8$  e  $\mu_4=1.0$ . A partir da Tabela 2 obtém-se  $w_1=0.0$ ;  $w_2=0.3$ ;  $w_3=0.7$  e  $w_4=1.0$ . Obteve-se para a intensidade do vento  $D_d=+Def=0.71$ .

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

Tabela 2. Pesos das variáveis lingüísticas

ZE	PP	PM	PG
0.	0.3	0.7	1.0

Os valores da velocidade do vento obtidos experimentalmente foi normalizado e desenhados na figura 10 (retas verdes perpendiculares à abscissa com altura proporcional à velocidade do vento). A seguir, fez-se a “defuzzyficação” dos valores de Dd para 20 pontos regularmente espaçados na abscissa da figura 10 (ver curva em vermelho).

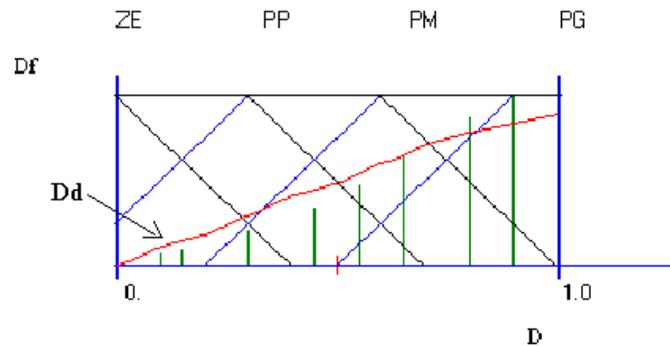


Figura 10. Variável fuzzy Df

Observe-se, na figura 10, que os valores de Dd (curva vermelha) não coincidem (em alguns pontos) com os pontos da velocidade do vento V (retas de cor verde). Definido-se  $E=V-Dd$ , desenvolveu-se um algoritmo, mostrado abaixo, para a adaptação das funções de pertinência da velocidade do vento, no intuito de tornar a curva de Dd igual a curva de V. Na tabela 3 apresentam-se os resultados finais da adaptação dos pesos das funções de pertinência da variável fuzzy da velocidade do vento. Na figura 11 apresenta-se o gráfico da variável fuzzy velocidade em função do valor de deslocamento do pêndulo obtido após a adaptação dos pesos das funções de pertinência. Observe-se que é mínima a diferença entre os pontos reais e os fornecidos utilizando a “defuzzyficação”.

Faça 1000 vezes

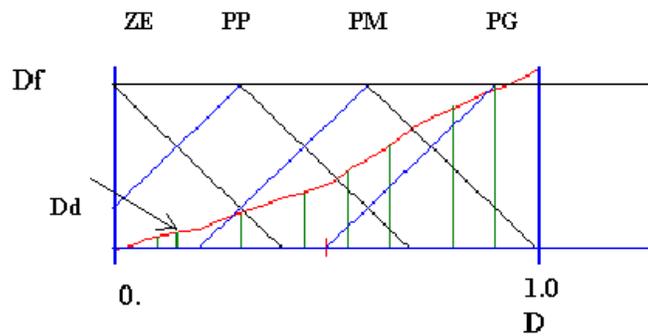
```

{
  Para cada ponto V na abscissa
  {
    calcule Dd;//Valor discreto de D (eq.3)
    E=V-Dd;
    Calcule a função vencedora  $\mu_i$  usando a operação união;
    Adapte o peso da função de pertinência vencedora com  $W_{ik+1}=W_{ik}+hE$ 
  }
}

```

Tabela 3. Pesos das variáveis lingüísticas após adaptação

ZE	PP	PM	PG
0.	0.2	0.5	1.1



**Figura 11.** Resultado da aferição do anemômetro

## 6. CONCLUSÃO

Apresentou-se o projeto, implementação e resultados experimentais de um novo anemômetro utilizando dispositivos de interface padrão de microcomputadores. Mostrou-se a aferição deste novo tipo anemômetro utilizando Lógica Fuzzy o que permitiu a representação qualitativa e quantitativa da velocidade do vento. Futuramente será desenvolvido um software que permitirá o direcionamento do anemômetro (utilizando motores de passo) que o protegerá de falhas devido à intensidade do vento. Também será melhorado o algoritmo de adaptação do anemômetro pela inclusão da modificação do posicionamento e da declividade das funções de pertinência da variável fuzzy que representa a velocidade do vento.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ferreira, J. R. da Silva, Carvalho, J. N. de, Cavalcanti, J. H. F., e Monteiro, E. F., 1999 “Sistema Estabilizador de Planos – SESPLA”, COBEM’99 - Congresso Brasileiro de Mecânica, Águas de Lindóia, SP.
- Silva, T.M. & Lima, W.S. & Célere, S.W., 1999 “**Proposta de um Tipo Particular de Anemômetro de Fio Quente: Projeto e Calibração**”, COBEM’99 - Congresso Brasileiro de Mecânica, Águas de Lindóia, SP.
- Araújo, G. M. B. de, 1989, **Aquisição e processamento de dados para sistema eólico**, Dissertação de Mestrado, COPELE (Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica), Departamento de Engenharia Elétrica da UFPB.
- Zadeh, Lotfi A., 1988, **Fuzzy Logic**, IEEE Computer Mag. April 1988, pp83-93. Republicado por J.A. Anderson & E. Rosenfeld, **Neurocomputing Foundations of Researchs**, MIT Press, Cambridge, Massachusets, USA, 1988. Pp.177-194.
- Zadeh, L.A., 1965, **Fuzzy Sets**, Information and Control, 1965, 8, pp.28-44.