

DESENVOLVIMENTO DE UM ANEMÔMETRO POR CONVECÇÃO FORÇADA

Marcos A. A. de Oliveira¹, Gil Roberto Vieira Pinheiro², Jorge L. M. do Amaral³, José F. M. do Amaral⁴

¹ UERJ / Laboratórios BBraun S.A., Rio de Janeiro, Brasil, marcos.oliveira@bbraun.com

² UERJ, Rio de Janeiro, Brasil, gilpinheiro@petrobras.com.br

³ UERJ, Rio de Janeiro, Brasil, jamaral@uerj.br

⁴ UERJ, Rio de Janeiro, Brasil, franco@uerj.br

Resumo: A medição de vazão por convecção forçada baseia-se no efeito refrigerante de um fluido que passa sobre um transdutor aquecido. O fluido que se desloca através de uma seção tubular passa sobre dois transdutores de temperatura (RTD) do tipo PT100. Um dos sensores é usado para a medição da temperatura do fluido, o outro, mantido aquecido, mede a vazão do fluido.

Palavras chave: Anemometria, Convecção Forçada, Medição de Vazão.

1. INTRODUÇÃO

A medição de vazão de fluidos está presente em diversas atividades humanas. Não precisamos ir muito longe, o hidrômetro de uma residência, o marcador de uma bomba de combustível são exemplos comuns no dia-a-dia das pessoas. Em muitos processos industriais, ela é uma necessidade imperiosa, sem a qual dificilmente poderiam ser controlados ou operados de forma segura, eficiente e econômica.

Na História, grandes nomes marcaram suas contribuições. Provavelmente a primeira foi dada por Leonardo da Vinci que, em 1502, observou que a quantidade de água por unidade de tempo que escoava em um rio era a mesma em qualquer parte, independente da largura, profundidade, inclinação e outros. Entretanto, o desenvolvimento de dispositivos práticos só foi possível com o surgimento da era industrial e o trabalho de pesquisadores como Bernoulli, Pitot e outros.

Existe uma variedade de tipos de medidores de vazão, desde os simples aos mais sofisticados, para as mais diversas aplicações. O tipo a usar sempre irá depender do fluido, do seu estado físico (líquido ou gás), das características de exatidão e confiabilidade desejadas além de outros fatores.

A qualidade da medição da vazão depende das técnicas de medição, e os principais fatores intervenientes são: o conhecimento do comportamento as condições físicas do fluido, no ponto da medição e a forma construtiva do medidor e, em alguns casos, a condição de instalação do medidor.

2. OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento para fins acadêmicos de um medidor de vazão baseado no princípio da convecção térmica forçada, utilizando-se de recursos comerciais como sensores para medição de temperatura, transdutores e um dispositivo de aquisição conectado a um PC.

3. MÉTODOS

Para a avaliação mais completa do medidor de vazão, foi desenvolvida uma bancada experimental dotada de um outro medidor de vazão que utiliza o princípio deprimogênio, permitindo a comparação dos resultados em tempo real nos dois medidores. Para a calibração dos medidores de vazão convecção forçada e por diferencial de pressão foi utilizado como padrão um anemômetro do tipo turbina do fabricante TESTO modelo 400.

O princípio de medição que foi o objetivo principal deste trabalho baseia-se no efeito refrigerante de um fluido que passa sobre um transdutor aquecido. O fluido que se desloca através de uma seção tubular passa sobre dois transdutores de temperatura (RTD) do tipo PT100. Um dos sensores é usado para a medição da temperatura do fluido, o outro, mantido aquecido, mede a vazão do fluido. Ver figura 1

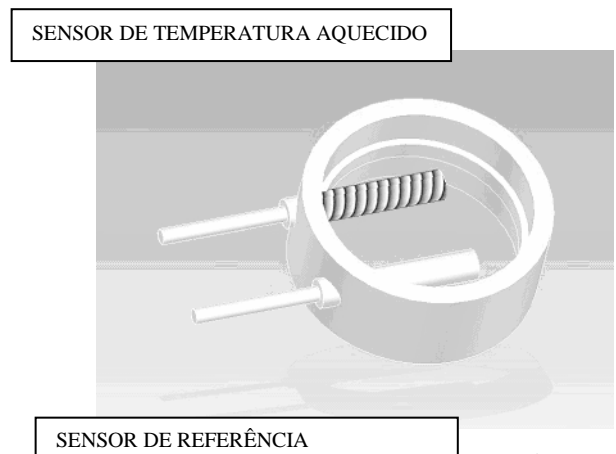
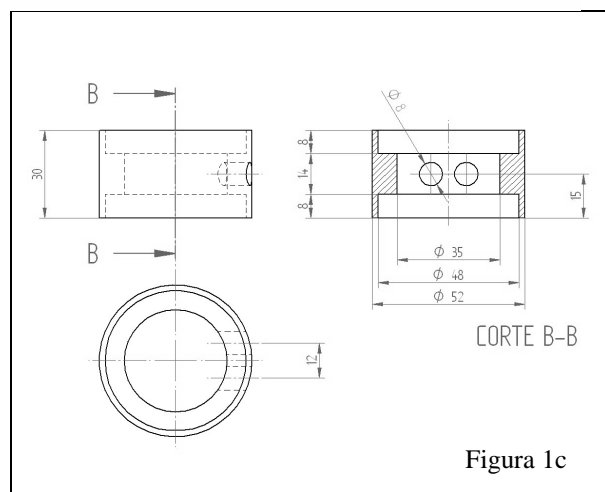
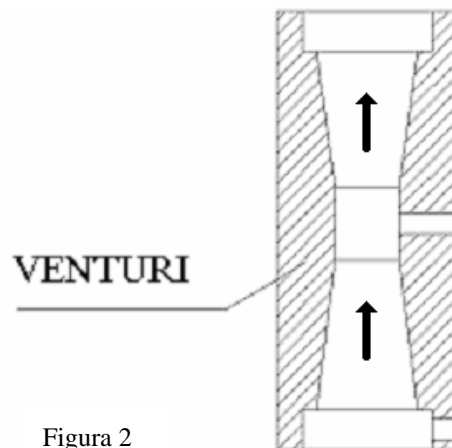
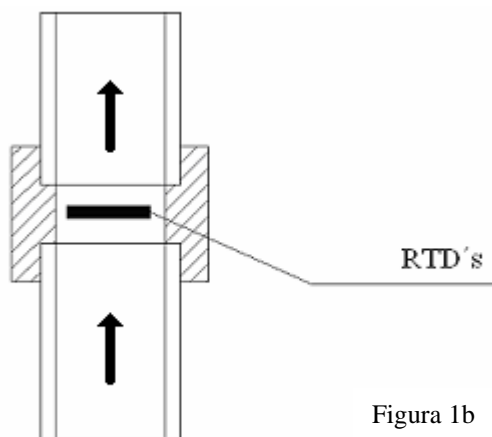


Figura 1a



O sensor de referência monitora a temperatura do fluido, enquanto o sensor aquecido é mantido a uma temperatura diferencial constante (acima da temperatura do fluido). O diferencial de temperatura é controlado variando-se a tensão que alimenta a resistência de aquecimento acoplada ao sensor.

Quanto maior o fluxo que passa sobre o transdutor aquecido, maior o efeito refrigerante, e a potência requerida para manter o diferencial de temperatura constante.

Desse modo à potência na resistência de aquecimento é função da velocidade do fluido conforme será mostrado ao longo deste trabalho.

Um medidor do tipo Venturi foi conectado a um transmissor de pressão diferencial com saída analógica, que tem o seu sinal capturado pelo software de controle através de uma placa de aquisição da National Instruments. Ver figura 2

Foi utilizado no experimento um ventilador centrífugo cuja variação da vazão de ar é obtida pela variação da frequência e tensão de alimentação do motor. Para tal, foi empregado um inversor de frequência acionado através do software de controle da bancada. Uma resistência de aquecimento associada a um sensor de temperatura, em uma malha de controle, foi utilizada para controlar a temperatura do fluido. Desta forma poderemos variar a temperatura do fluido e verificar qual a influência desta no comportamento do medidor de vazão por convecção forçada.

Um software aplicativo foi desenvolvido especialmente para o controle da bancada de testes utilizando exclusivamente a linguagem de programação LabView. Neste aplicativo foram projetadas as malhas de controle abertas e fechadas, assim como, os indicadores e gráficos do sistema, gerenciando todos os instrumentos da bancada, ilustrados no diagrama de blocos da figura 3.

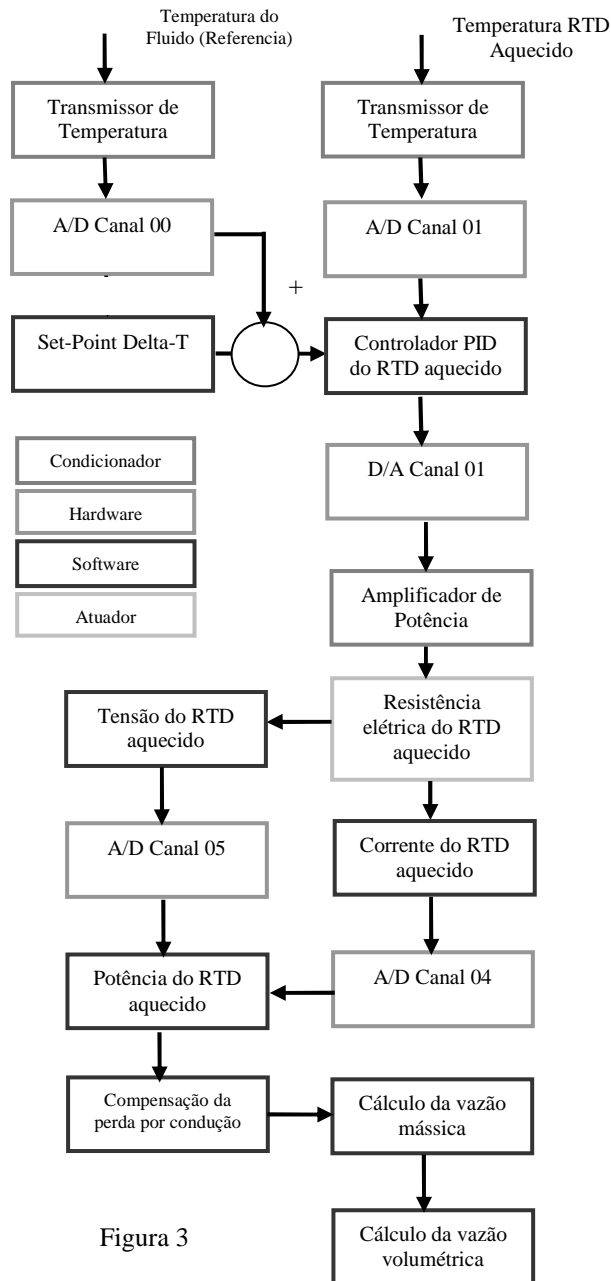


Figura 3

3.1 Equações utilizadas

Obtenção de Vazão Mássica a partir da pressão diferencial:

$$\dot{m}_{real} = C_d \times \frac{A_{obstrução}}{\sqrt{1 - \beta^4}} \times \sqrt{2 \times \rho \times \Delta p} \quad (1)$$

Obtenção de Vazão Volumétrica a partir da Vazão Mássica (utilizada para o princípio pressão diferencial e convecção forçada):

$$Q_{vol} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (2)$$

Obtenção de Velocidade de Escoamento a partir da Vazão Volumétrica (utilizada para o princípio pressão diferencial e convecção forçada):

$$V = \frac{4Q_{vol}}{\pi \times D^2} \quad (3)$$

Obtenção da perda por condução térmica no RTD aquecido:

$$Q_c = S \times K \times \frac{(T_s - T_a)}{L} \quad (4)$$

Obtenção da potência transferida para o fluido:

$$\dot{Q}_{cf} = J_{medido} - (Q_c + Z) \quad (5)$$

Obtenção de Vazão Mássica a partir da potência transferida:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_{cf}}{k_f (\Delta T) A_s \times C} \quad (6)$$

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos nos ensaios de calibração indicam que dentro da faixa de velocidade de escoamento de 1m/s a 7m/s com a temperatura do ar em torno de 40 °C, os erros encontrados estão abaixo da faixa de exatidão do padrão utilizado na calibração, podendo este contribuir com a maior parte dos erros encontrados durante o ajuste, calibração e testes, ver tabela 1 e figura 4.

| Convecção Forçada (Set Point do Ar 40 °C Set Point Diferencial 30 °C) | | | | | | |
|---|----------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|--------|-----------|
| Potência Transf. (W) | Vazão Mássica (Kg/s) | Vazão Volumétrica (m³/s) | Vel. Padrão (m/s) | Vel. Medido (m/s) | Erro | Incerteza |
| 0,365 | 0,00170 | 0,00142 | 1,5 | 1,50 | 0,000 | 0,215 |
| 0,614 | 0,00281 | 0,00232 | 2,4 | 2,42 | 0,020 | 0,224 |
| 0,826 | 0,00381 | 0,00317 | 3,3 | 3,28 | -0,020 | 0,233 |
| 0,997 | 0,00457 | 0,00378 | 4,0 | 3,94 | -0,060 | 0,240 |
| 1,149 | 0,00528 | 0,00436 | 4,6 | 4,55 | -0,050 | 0,246 |
| 1,287 | 0,00592 | 0,00491 | 5,1 | 5,07 | -0,030 | 0,251 |
| 1,390 | 0,00637 | 0,00527 | 5,5 | 5,47 | -0,030 | 0,255 |
| 1,464 | 0,00673 | 0,00557 | 5,9 | 5,77 | -0,130 | 0,259 |
| 1,550 | 0,00712 | 0,00587 | 6,2 | 6,11 | -0,090 | 0,262 |
| 1,626 | 0,00745 | 0,00615 | 6,4 | 6,38 | -0,020 | 0,264 |
| 1,650 | 0,00760 | 0,00630 | 6,6 | 6,57 | -0,030 | 0,266 |

Tabela 1 – Calibração da Velocidade de Escoamento (Convecção Forçada)

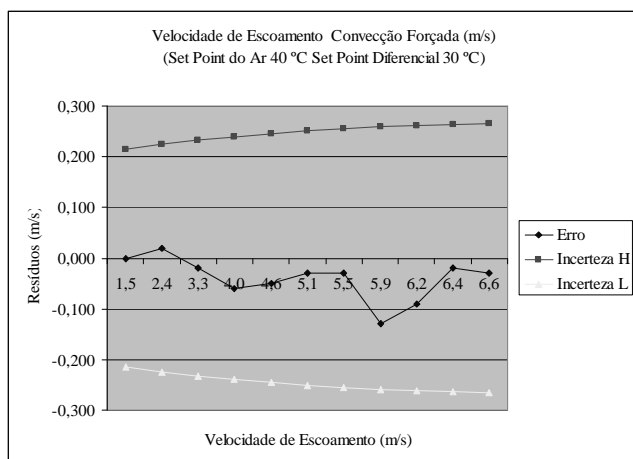


Figura 4 – Gráfico do Erro da Velocidade de Escoamento por Convecção Forçada

Notamos que no medidor venturi foi encontrado um erro considerável com a temperatura do ar de 30 a 50°C e no início da faixa de velocidade (1 a 2 m/s), provavelmente por causa da variação da densidade e viscosidade do gás com a temperatura, embora uma parte considerável deste erro seja devida a incerteza do teste, ver tabela 2 e figura 5.

| Pressão Diferencial (Set Point do Ar 40 °C) | | | | | | |
|---|----------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|--------|-----------|
| Pressão Diferencial (Pa) | Vazão Mássica (Kg/s) | Vazão Volumétrica (m³/s) | Vel. Padrão (m/s) | Vel. Medido (m/s) | Erro | Incerteza |
| 17,3 | 0,00178 | 0,00147 | 1,4 | 1,53 | 0,130 | 0,214 |
| 43,7 | 0,00278 | 0,00230 | 2,4 | 2,40 | 0,000 | 0,224 |
| 78,1 | 0,00372 | 0,00308 | 3,3 | 3,20 | -0,100 | 0,233 |
| 112,2 | 0,00446 | 0,00369 | 4,0 | 3,84 | -0,160 | 0,240 |
| 152,0 | 0,00520 | 0,00431 | 4,6 | 4,46 | -0,140 | 0,246 |
| 188,9 | 0,00580 | 0,00480 | 5,1 | 4,99 | -0,110 | 0,251 |
| 220,1 | 0,00626 | 0,00517 | 5,5 | 5,38 | -0,120 | 0,255 |
| 250,1 | 0,00667 | 0,00552 | 5,9 | 5,74 | -0,160 | 0,259 |
| 279,0 | 0,00705 | 0,00583 | 6,1 | 6,06 | -0,040 | 0,261 |
| 306,3 | 0,00738 | 0,00611 | 6,4 | 6,34 | -0,060 | 0,264 |
| 313,7 | 0,00746 | 0,00618 | 6,6 | 6,43 | -0,170 | 0,266 |

Tabela 2 – Calibração da Velocidade de Escoamento (Pressão Diferencial)

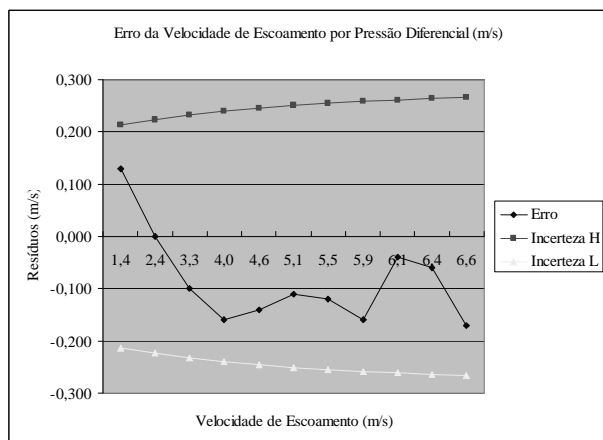


Figura 5 – Gráfico do Erro da Velocidade de Escoamento por Pressão Diferencial

Pelo princípio de convecção forçada notamos que com a temperatura do ar a 30 e 50°C, foi encontrado um erro aceitável no início da faixa (1 a 2 m/s) a 30°C, ver figura 6 e erros maiores em toda a faixa a 50°C, ver figura 7. Provavelmente por causa da variação da densidade e viscosidade do gás com a temperatura, embora uma parte considerável deste erro seja devida a incerteza do teste.

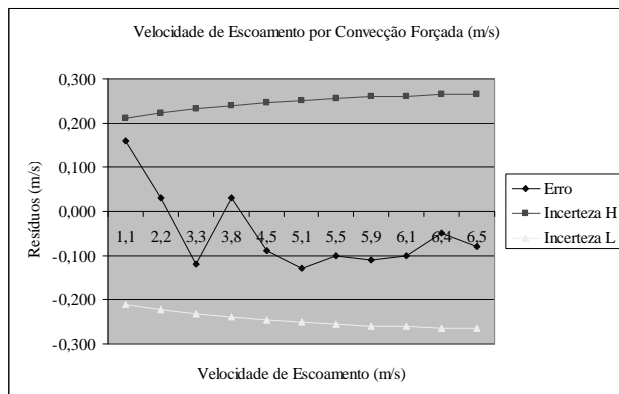


Figura 6 – Gráfico do Erro da Velocidade de Escoamento (Convecção Forçada) (30°C)

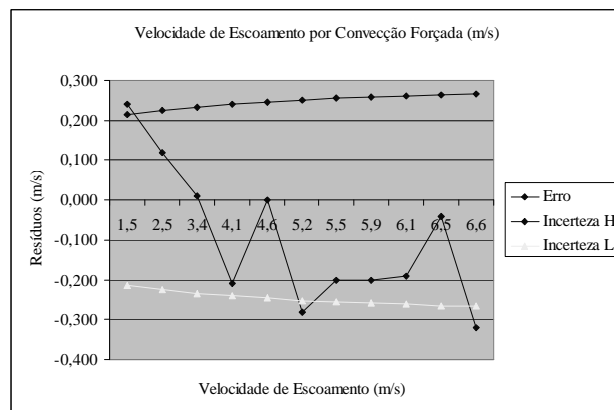


Figura 7 – Gráfico do Erro da Velocidade de Escoamento (Convecção Forçada) (50°C)

Todavia, quando avaliamos o instrumento com outros ajustes de temperatura diferencial vimos um erro considerável, tanto no início quanto no fim da faixa de trabalho da velocidade de escoamento em uma excursão de 20 a 40 °C de temperatura diferencial, com melhores resultados á 30°C devido a ser esta a temperatura em que o instrumento foi ajustado, ver figura 8, possivelmente um refino na modelagem pode minimizar este efeito.

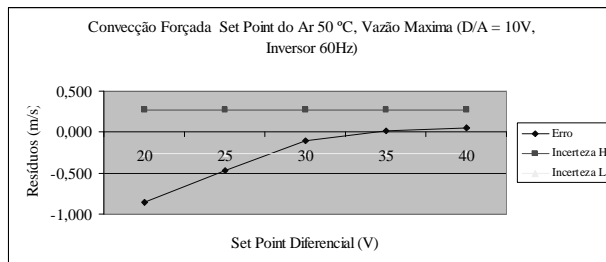


Figura 8 – Gráfico do Erro da Velocidade de Escoamento (Vazão Máxima)

5. CONCLUSÃO

De um modo geral nós consideramos que os resultados encontrados foram satisfatórios.

Aplicações futuras:

- Uso como objeto de aprendizagem.
- Medição de vazão em sistemas HVAC (“Heating, Ventilation and Air Conditioning”), ou seja sistema de ar condicionado industrial.
- Medição de vazão em líquidos com sólidos em suspensão.
- Medição de vazão em estações de tratamento de efluentes (ETE).

Possibilidades para evolução deste trabalho:

- Uso de lógica Fuzzy para o controle da temperatura do RTD aquecido.
- Uso de uma rede neural para modelar a relação entre potência transferida e vazão mássica.
- Teste de outros posicionamentos para os sensores de vazão por convecção forçada.
- Projeto de formas construtivas específicas para o RTD aquecido objetivando a medição em líquidos, com ou sem sólidos em suspensão.

REFERÊNCIAS

DELMÉE, Gérard Jean. Manual de medição de vazão. 2ª Edição, São Paulo: Edgard Blücher, 1982.

DJORUP, Robert. Directional Heat Loss Anemometer Transducer, United States Patent, 20 Lovewll Rd, Wellesley, mass: 02181
Appl. No: 110,841 Filled: Jan, 10, 1980

Endress+Hauser. Thermal mass Flowmeter t-mass S Direct Mass Flow Measurement of Gases, Technical Information TI 0013A 1999

J. E. Hardy, J. O. Hylton, T. E. McKnight. Empirical correlations for thermal flowmeters covering a wide range of thermal – physical properties. (Paper prepared for the National Conference of Standards Labs (NCSL)), Charlotte - NC, 1999

KURZ Instruments Inc. Theory and application of Kurz thermal convection mass flow meters, 2411 Garden Road, Monterey, CA: ,1997