

3

Procedimento Experimental

3.1

Sistema de medição de vazão com extensômetro

A Fig. 19 mostra o sistema de medição de vazão com extensômetro, o qual foi montado no laboratório da PUC-Rio. Neste sistema, duas tubulações com 1,5 in (3,81mm) de diâmetro, em aço carbono, são ligadas entre si por uma curva, onde é colocado o extensômetro. O comprimento de cada tubulação é igual a 10 vezes o diâmetro, ou seja, 15 in (381 mm). Água é alimentada por um vaso de pressão, pressurizado por ar comprimido, que a expulsa com uma vazão controlada pela válvula de ajuste da vazão. Este vaso está colocado em cima de uma balança. Assim, a massa de água deslocada é medida e, registrando-se o tempo decorrido durante o escoamento desta massa de água, determina-se a vazão.

O vaso de pressão tem um volume de 160 L. Para uma vazão máxima de 7 m³/h, tem-se uma vazão de 117 L/min. Assim, o tempo mínimo de esgotamento da água do vaso é de 1,37 min, o que permite a medição de vazão ser realizada dentro da faixa pré-estabelecida. Além disso, este sistema é capaz de pressurizar a água até 10 bar, compatível com o nível de pressão requerido na situação real em campo (4 a 7 bar).

DIAGRAMA / BANCADA DE TESTES

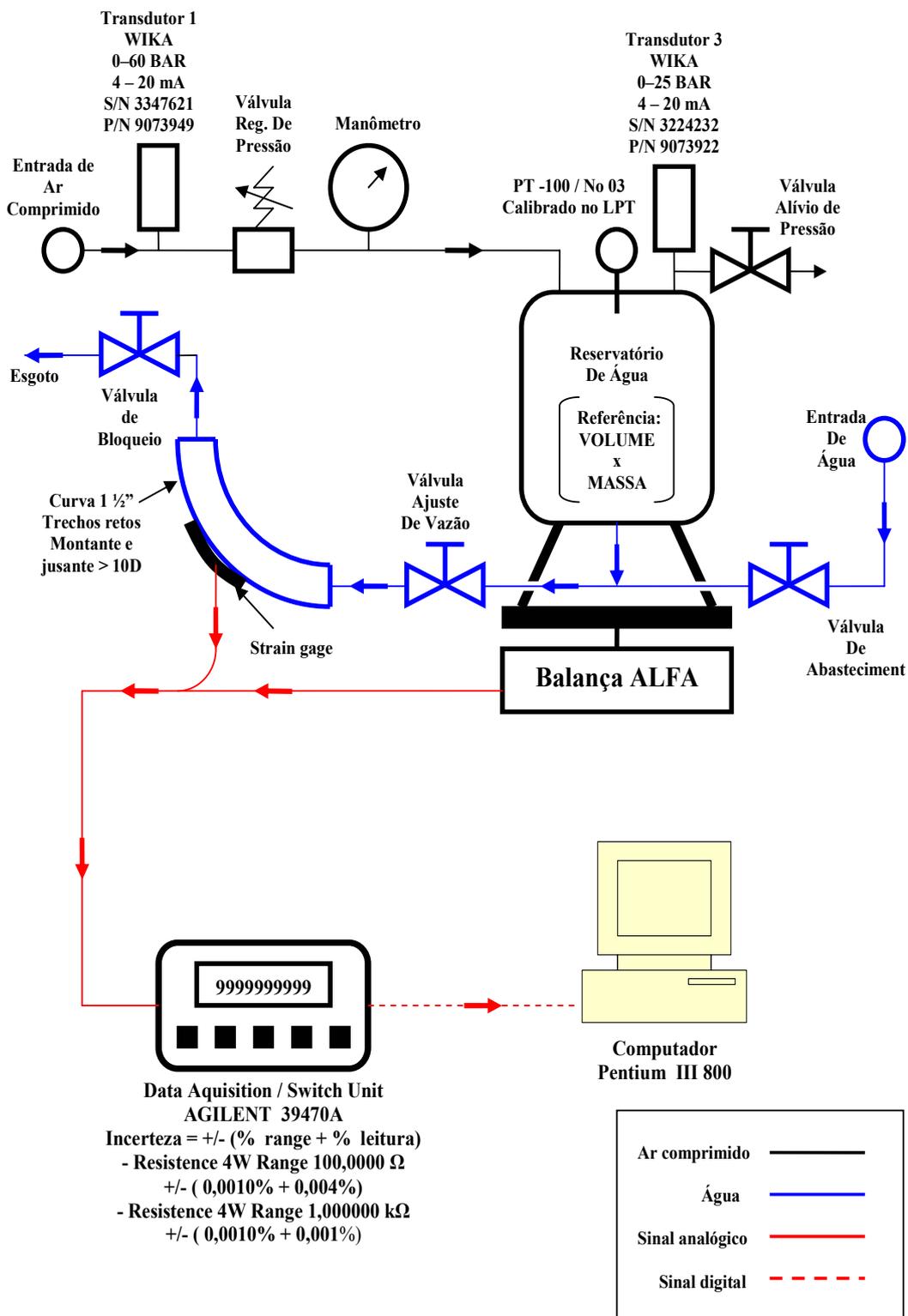


Figura 19 – Sistema de Medição de Vazão.

3.1.1

Montagem dos extensômetros (strain-gages)

A Fig. 20 mostra a tubulação de teste, com a curva feita em PVC, com extensômetros colocados em várias posições, de forma a se testar os pontos de melhor sensibilidade à deformação provocada pelas forças hidrodinâmicas impostas na tubulação.

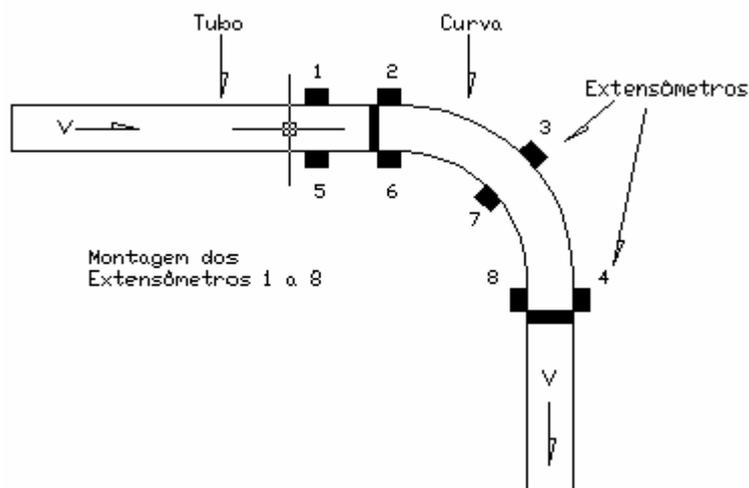


Figura 20 – Montagem dos Extensômetros.

3.1.2

Características técnicas dos extensômetros

As seguintes são as características do extensômetro resistivo, do tipo filme, MODELO KFG-5-120-C1-11, da KYOWA.

- configuração unidirecional
- comprimento ativo da grade do extensômetro: 5mm
- dimensões da matriz = 9,4mm x 2,8mm
- largura da grade = 1,4mm
- base epóxica/fenólica com encapsulamento em resina poliéster

- elemento resistor: cobre/níquel
- resistência: 120 Ω
- fator do extensômetro: 2,10 (nominal)
- resistência à fadiga: 12×10^{-6} ciclos
- nível de deformação: $\pm 1500 \times 10^{-6}$ strain
- resistência à deformação: 5% (temperatura ambiente)
- faixa de temperatura compensada: 10°C a 100°C
- coeficiente de dilatação térmica = $11,2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ (aço carbono)
- temperatura de operação: -196°C a 150°C
- terminais e fios primários: terminais implantados na própria matriz com fios de 2,5cm de comprimento, soldados a esses terminais através de processo industrializado com controle de qualidade.

3.2

Sistema de medição de vazão com acelerômetros

O sistema de medição de vazão desenvolvido utilizando-se acelerômetro foi montado no laboratório da PUC-Rio.

A mesma bancada experimental utilizada nos testes com o extensômetro foi usada, porém, instalando-se acelerômetros na superfície externa da tubulação.

3.2.1

Montagem dos acelerômetros

A Fig. 21 mostra a tubulação de teste, com a curva feita em PVC, com acelerômetro colocado na posição de maior vibração, em comparação com a montagem anterior, feita com extensômetros.

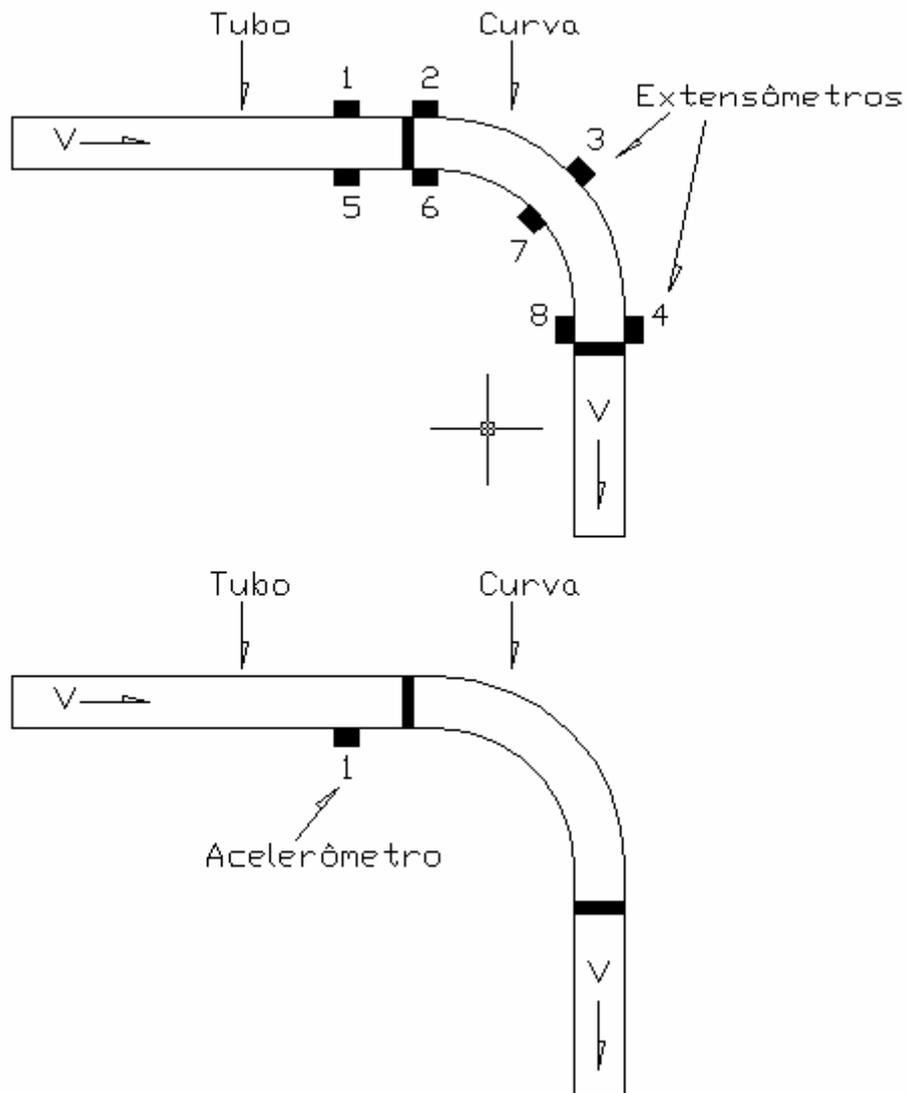


Figura 21 – Montagem do acelerômetro e comparação de posições dos sensores com as dos extensômetros.

3.2.2

Características técnicas dos acelerômetros

Foi escolhido um acelerômetro de dois eixos da ANALOG DEVICES, modelo ADXL203 [1].

- Fundo de escala de $\pm 1,7$ g (onde g é a aceleração da gravidade)
- Sensibilidade dos sinais de saída com $V_s = 5V$: de 940 mV/g até 1060 mV/g

- Temperatura de Operação: -55°C a 125°C
- Dimensões: 5 mm x 5 mm x 2 mm
- Faixa de frequências de operação: de 0,5 Hz até 2,5 kHz

3.3

Análise das Incertezas

3.3.1

Na medição de vazão utilizando-se extensômetro

A incerteza foi estimada pelos métodos descritos em [4] e [7].

Como instrumento de leitura do sinal resultante da deformação dos extensômetros foi utilizado um multímetro digital Agilent 34970, com incerteza estimada de $11\text{m}\Omega$ para cada leitura. Análise de dados indicaram ser desprezível a contribuição da incerteza de medição do multímetro diante do espalhamento dos valores obtidos.

Este equipamento possui interface que possibilita que as leituras sejam realizadas de modo automático, controlados por computador.

Durante cada corrida, N valores da massa (M) coletada e de resistência (R) foram medidos. A vazão média durante cada corrida (\dot{m}), em kg/s, foi calculada pela medição da massa de água no vaso (M), com uma incerteza de $\pm 0,020\text{kg}$ (95,45%), em função do tempo registrado pelo relógio do computador, com uma incerteza de $\pm 0,01$ s. Com os dados experimentais, uma reta foi ajustada e a Eq.(19) foi determinada pelo método dos mínimos quadrados, segundo [15]:

$$M = A + B.t \quad (19)$$

A vazão média durante cada corrida (\dot{m}) determinou o coeficiente B da Eq.(19). O desvio padrão (s) foi calculado definindo a variável Z_i , em termos dos valores medidos M_i e t_i :

$$Z_i = \frac{M_i - A}{t_i} - B \quad (20)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-2} \cdot \sum_{i=1}^N (Z_i - \bar{Z})^2} \quad (21)$$

$$\bar{Z} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Z_i \quad (22)$$

Foi verificado que a contribuição das incertezas da medição de massa de água e do tempo são muito pequenas. Desta forma, estas incertezas foram desconsideradas. A incerteza expandida U_v é dada pela Eq. (23).

$$U_v = \frac{t_{student} \cdot S}{\sqrt{N}} \quad (23)$$

onde $t_{student}$ é obtido de [4] e [7] para (N-1) graus de liberdade e nível de confiabilidade de 95,45%.

A velocidade média (V) pode ser calculada considerando-se o diâmetro do tubo (D) e a vazão medida.

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2} \quad (24)$$

3.3.2

Na medição de vazão utilizando-se acelerômetro

A incerteza foi estimada segundo os métodos descritos em [4] e [7] .

Como instrumento de leitura dos sinais do acelerômetro foi utilizado um multímetro digital Agilent 34970, com incerteza estimada de 0,01% do valor da leitura. A análise dos dados indicou que a variação da frequência ao longo do tempo causa um espalhamento dos dados e a contribuição devido a incerteza de medição do multímetro pode ser desprezada.

Durante uma corrida, N valores da massa (M) coletada, de tensão (V) e de frequência (F) foram medidos. A vazão (Q) foi calculada pelo mesmo método para cálculo da vazão apresentado para o extensômetro. Representando cada um dos valores de vazão Q por n_i , sua média (\bar{n}) e sua incerteza (u_n) podem ser calculados.

$$\bar{n} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N n_i \quad (25)$$

$$u_n = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (n_i - \bar{n})^2} \quad (26)$$

A incerteza desta média (U_n) pode ser calculada como:

$$U_n = \frac{t_{student} \cdot u_n}{\sqrt{N}} \quad (27)$$

onde $t_{student}$ é obtido de [4] e [7] para (N-1) graus de liberdade e nível de confiabilidade de 95,45%.