

PROPOSTA DE UM TIPO PARTICULAR DE ANEMÔMETRO DE FIO QUENTE: PROJETO E CALIBRAÇÃO

Silva, T. M.

Mestrado em Engenharia Mecânica, Laboratório de Termodinâmica da Escola de Engenharia de São Carlos/USP. (Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento Térmica e de fluidos, Universidade Estadual de Campinas, Caixa Postal, 6122, E-mail: tmarga@fem.unicamp.br)

Lima, W. S.

Doutorado em Engenharia Mecânica, Laboratório de Termodinâmica da Escola de Engenharia de São Carlos/USP. Prof. Dr. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão/UEMA, Cidade Universitária Paulo VI, S/N Tirirical; CEP: 65054-900 São Luís MA/Brasil

Celere¹, S. W.

Prof. Dr. Departamento de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos/USP, Av. Dr. Carlos Botelho, 1465, CEP: 13560-250, São Carlos/ SP/ Brasi

***Resumo:** A principal característica da transmissão de calor por convecção natural é a baixa velocidade atingida pelo fluido de trabalho. A escolha do instrumento para medir a velocidade do fluxo de ar constitui um ponto crítico para trabalhos desenvolvidos em pesquisas de laboratório. Para essa finalidade foi desenvolvido um instrumento para medir fluxo de ar usando fio quente, a corrente constante com as seguintes características: Repetibilidade, durabilidade, capacidade de medição em varias faixas de vazão e praticidade de manuseio. Determinando o tipo adequado do suporte para fixar o fio e também entre os materiais dos fios utilizados como resistência elétrica, sendo possível selecionar o material do fio e o material do suporte, capazes de satisfazer as condições previamente determinadas. Esse instrumento foi devidamente calibrado, determinando-se as curvas de calibração Vazão x Tensão para varias geometrias do fio no suporte determinado.*

Palavras-chave: medidores de vazão, fio-quente, convecção natural

1. INTRODUÇÃO

Apesar do grande esforço das indústrias, em colocar no mercado uma grande variedade de medidores de vazão, verifica-se uma carência de medidores de vazão para determinar velocidades de ar para pequenos números de Reynolds. Embora existam similares sendo aplicados nos mais diversos e complicados casos, estes tornam-se inviáveis devido aos altos custos e difícil manuseio.

¹ in memoriam

Dificuldades encontradas por (Lima, 1997) para medir escoamento de ar, por convecção natural em canal vertical induzido por placas aquecidas, foram solucionadas utilizando-se o princípio da anemometria de fio quente (Freymuth, 1978), (Perry, 1982), (Goldstein, 1983) e (Roma, 1972). Para esta aplicação desenvolveu-se um medidor de fluxo de ar utilizando-se fio quente à corrente constante que se adequasse com a geometria do canal e com as câmaras de estabilização de ar, com as seguintes características: Repetibilidade, durabilidade, capacidade de medição em várias faixas de vazões e praticidade de manuseio. Foram analisados diferentes tipos de suporte para a colocação de fios, dos quais, adequassem da melhor maneira a colocação deste instrumento no canal vertical, sendo escolhido como suporte, tubos de P.V.C. Combinações de geometria do fio no interior dos tubos e também entre os materiais mais utilizados como resistência elétrica foram realizadas, sendo possível selecionar o material da resistência sensora (Kanthal, 1961/72) e o material para fabricação do tubo.

Usando este princípio, surgiu a idéia de estudar detalhadamente este medidor, analisando e otimizando seus principais componentes: quanto aos diferentes comprimentos e diâmetros dos tubos e a geometria da resistência (fio) no interior dos tubos, variando a vazão entre 5×10^{-6} à $1 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$ (Silva, 1998).

2. MONTAGEM EXPERIMENTAL

2.1. Material do fio e suas propriedades

Após uma análise dos materiais para o fio, foram realizados testes para o tungstênio por se tratar de um material encontrado comercialmente com facilidade e em vários diâmetros, verificando que este não correspondeu a todas as condições de trabalho previamente citadas. Surgiu a idéia de pesquisar outros materiais os quais tivessem características adequadas, efetuando assim testes com o cobre. O cobre possui propriedades que são altamente satisfatórias, particularmente quando a condutividade térmica e a condutividade elétrica são importantes. A condutividade térmica do cobre é o dobro do alumínio e 90% da prata. O cobre também possui elevada resistência as atmosferas industriais, marítimas e aos solventes.

2.2. Procedimento utilizado para preparar o fio (resistência elétrica)

Escolhido o material do fio, cobre esmaltado; Coralvin R classe A-E nº 37 de diâmetro nominal 0,012mm. Foram efetuados testes em vários fios, os quais todos permaneceram expostos, sob uma determinada tensão e corrente por algumas horas, ligados à mesma fonte. Esse processo foi realizado para alívio de tensões e também para dissipar o esmalte que envolve o fio. Os medidores foram construídos com um fio que ficou exposto sob uma tensão de 9,56V e uma corrente de 2,00A, durante 18 horas.

2.3. Construção dos medidores

Foram construídos três medidores, conforme a “Figura 1” em tubos de P.V.C com diâmetro nominal de 12,7, 25,4 e 38,1mm, respectivamente nos comprimentos de 50, 250 e 500 mm. Para todos os medidores o comprimento da resistência sensora (fio) foi o mesmo com, 250 mm e, fazendo a montagem da resistência sensora disposta em fios paralelos verticais no interior dos tubos. Os tubos com a resistência sensora contida em seu interior possuem 50mm de comprimento e, todos os tubos com roscas nas extremidades. O comprimento da resistência de troca de calor como o fluido é de 72mm de comprimento.

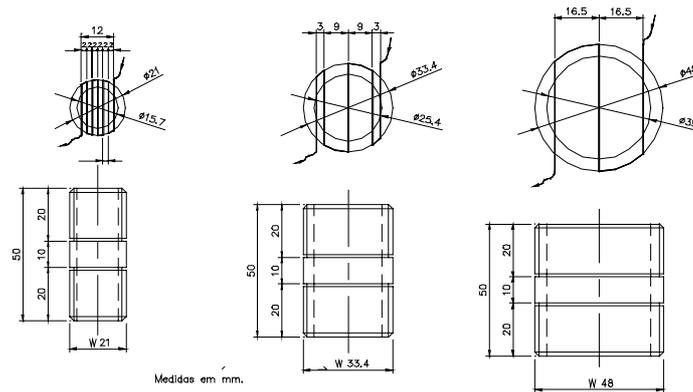


Figura 1 - Desenho da geometria do fio no interior dos tubos

2.4. Construção dos componentes que formam os kits

Para investigar a influência do comprimento e do diâmetro do tubo de escoamento sobre a sensibilidade do medidor foram construídos três “kits” “Figura 2”, constituídos cada um por: 05 tubos de PVC; 01 resistência sensora; 04 luvas de PVC; 02 anéis de borracha; 02 anéis de madeira.

Todos os tubos de PVC que compõem os “kits” possuem roscas nas extremidades com diâmetros respectivamente iguais, previamente citadas. Os valores correspondentes aos diâmetros encontrados comercialmente são: 1/2", 1", 1.1/2". Os comprimentos dos tubos foram fixados em: 50mm para o tubo central, no qual foi instalada a resistência elétrica sensora; 100mm para dois tubos de acréscimo de comprimento, permitindo a obtenção do medidor de 250mm de comprimento e mais dois tubos de 125mm de acréscimo de comprimento, que possibilitaram a montagem do medidor com comprimento total de 500mm. A resistência elétrica sensora foi montada de acordo com o exposto. As luvas de PVC são as do tipo com roscas nas extremidades para possibilitar um fácil ajuste na montagem dos medidores. Os dois anéis de madeira foram construídos com diâmetro externo de 01mm inferior ao diâmetro interno do tubo de estabilização possuindo uma ranhura central e com diâmetro externo de 550mm roscado na dimensão nominal do tubo de escoamento do medidor. Os anéis de borracha são ajustados na ranhura externa dos anéis de madeira garantindo a vedação axial do fluxo, evitando possíveis fugas do ar proveniente do sistema de calibração.

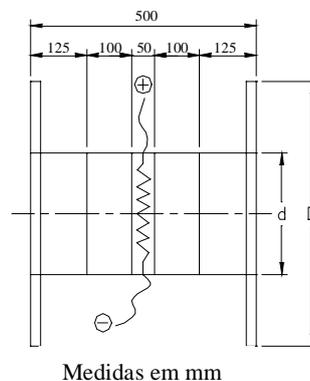


Figura 2- Desenho dos componentes que formam os kits

2.5. Tubo de estabilização

O tubo de estabilização “Figura 3” tem como função estabilizar o ar que sai do sistema de calibração, protegendo-o das perturbações do meio ambiente, este é constituído por dois tubos de 390 mm de comprimento e 55 mm de diâmetro nominal, o tubo de estabilização também possui roscas nas extremidades, o tubo com roscas facilita a conexão de uma luva de 55 mm de diâmetro nominal, com as duas partes do tubo de estabilização, possuindo dois pequenos furos de 2mm de diâmetro para saída dos fios de alimentação do anemômetro para o circuito elétrico. O tubo de estabilização de ar foi dividido em duas partes, para facilitar a colocação dos anemômetros no seu interior.

No tubo de saída de ar do sistema de calibração, para o tubo de estabilização, foram colocados dois flanges de madeira presos com parafusos espaçados entre 120° e entre os flanges um anel de borracha de 2 mm para vedação radial e internamente dois anéis de borracha possibilitaram a vedação axial do fluxo além de permitir um fácil ajuste do conjunto ao terminal do tubo do sistema de calibração.

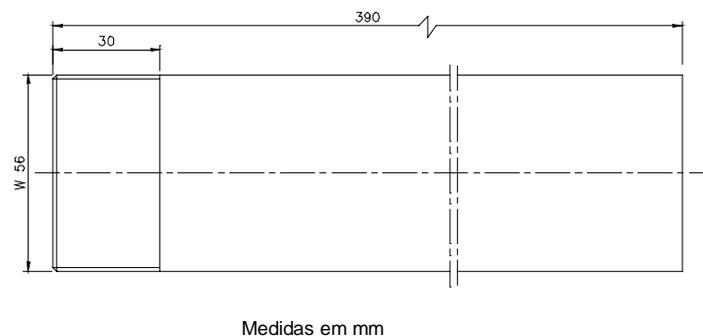


Figura 3- Desenho do tubo de estabilização

3. METODOLOGIA UTILIZADA NA CALIBRAÇÃO DOS MEDIDORES

3.1. Descrição dos equipamentos que compõem o sistema de calibração.

- bomba volumétrica; OMEL NPS- 1/1976; $Q_{\text{máx.}}=100 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{s}$
- reservatório 1: $V_1=0,45 \text{m}^3$
- reservatório 2: $V_2=0,25 \text{m}^3$
- fonte de alimentação; SME 1070; tensão variável de 0 à 30V, precisão de 10^{-1}V . e corrente de 0 à 5 A; precisão de 10^{-2}A
- Shunt com escala de 3A, C.C e base 19mV.
- multímetro digital programável DM 5120, com precisão de $10^{-1} \mu\text{V}$
- computador 286, com placa de aquisição de dados de 8 canais com precisão de 10^{-5}V e software Strawberry Tree.

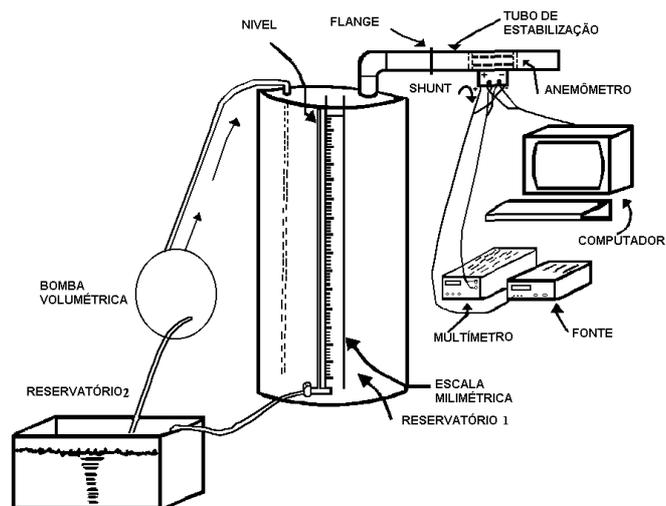


Figura 4- Desenho do sistema de calibração

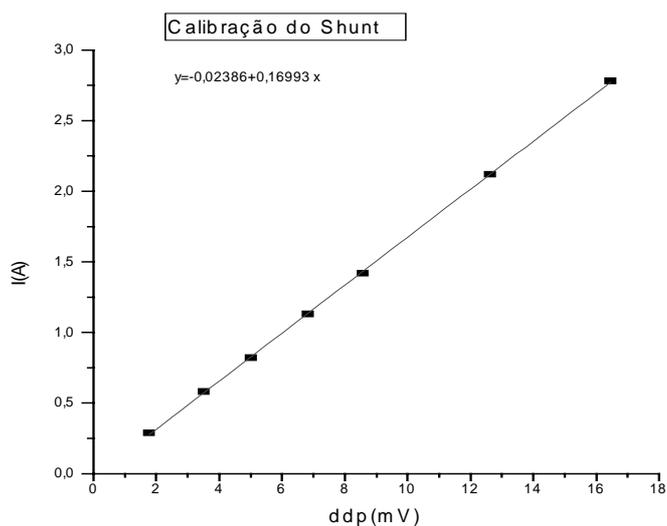


Figura 5- Gráfico de Calibração do Shunt

Calibrados todos os equipamentos que compõem o sistema de calibração, o último passo é a calibração dos anemômetros. Acoplado-se o tubo de saída de ar do sistema de calibração com o tubo de estabilização, os anemômetros são colocados no interior do tubo de estabilização e, efetuando a ligação elétrica do circuito. O anemômetro é ligado à fonte de alimentação em série com o Shunt, ligados no computador e no multímetro, com o sistema precisamente montado e calibrado, efetuou-se a calibração dos anemômetros. Injetando água no sistema de calibração com a vazão da bomba controlada e desejada, mede-se a queda de tensão, registrada no computador e acompanhada pelo multímetro digital que em seguida é levantada a curva Tensão x Tempo [ddp (μV) x t(s)], variando as vazões da bomba volumétrica entre $5 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ à $1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, correspondendo a 10 pontos, obtendo as curvas de calibração, Tensão x Vazão [ddp (μV) x Q (m^3/s)]. Foram realizadas calibrações para analisar

o comportamento quanto á sensibilidade, para nove medidores, considerando que para vazões menores estes não apresentaram nenhuma sensibilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSÃO

Devido a grande quantidade de medidores e, pela diversidade do campo de aplicação verificou-se que em algumas áreas da medição da vazão e velocidade encontram-se deficitárias, ou os medidores já existentes são inviáveis economicamente e de difícil manuseio. O medidor de vazão proposto, e o sistema de calibração descrito, satisfizeram todas as condições de projeto, correspondendo com eficiência as medições para uma faixa ampla e diferenciada de vazão nas medidas de convecção natural. Considerando os três tubos utilizados, concluiu-se:

4.1- Referente ao tempo de resposta

12,7mm diâmetro, apresentou entre 120 e 180 segundos.

25,4mm diâmetro, apresentou entre 120 e 150 segundos.

38,1mm diâmetro, apresentou entre 90 segundos.

4.2- Referente a faixa útil de medição

12,7mm diâmetro, apresentou entre $5 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{s}$ a $5 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$.

25,4mm diâmetro, apresentou entre $1 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$ a $6 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$, (para o comprimento de 50mm) e até $8 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$ (para o comprimento de 250).

38,1mm diâmetro, apresentou entre $2 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$ a $8 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$, (para o comprimento de 50mm e 250mm) e entre $4 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$ e $8 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$ (para o comprimento de 500mm), perdendo a sensibilidade inicial.

4.3- Referente a sensibilidade

12,7mm diâmetro apresentou uma leitura inicial de $5 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{s}$.

24,5mm diâmetro apresentou uma leitura inicial de $1 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$.

38,1mm diâmetro apresentou uma leitura inicial de $2 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{s}$, (para os comprimentos de 50mm e 250mm) e de $4 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$, (para o comprimento de 250mm).

Para a resistência montada no tubo de escoamento com 12,7mm de diâmetro “Figura 6”, o comprimento do tubo não influencia na capacidade e na sensibilidade. Quando a resistência é montada em um tubo de escoamento de 25,4mm “Figura 7”, o aumento do tubo de 50mm para 250mm proporcionou um aumento de 25% na capacidade de medição, não alterando a sensibilidade. Para a resistência montada no tubo de escoamento de 38,1mm “Figura 8”, a sensibilidade do anemômetro diminui 50%, aumentando o comprimento do tubo de 50mm até 500mm, a sensibilidade diminui em 33,3% a faixa de medição de vazão.

Comparando-se os três “kits” de anemômetros verifica-se que, não houve aumento do valor da vazão máxima possível de ser medida, pois, esta ficou estabilizada em $8 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$, e a menor vazão medida ($5 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{s}$) foi conseguida com a resistência montada no tubo 12,7mm. Concluindo que, para este medidor de fio quente, usando-se uma dada resistência no interior de um tubo de escoamento, o comprimento e o diâmetro do tubo influem fortemente na sensibilidade, no tempo de resposta e na faixa de medição da vazão de ar, existindo para

cada comprimento de resistência, um comprimento e diâmetros ótimos do tubo de escoamento.

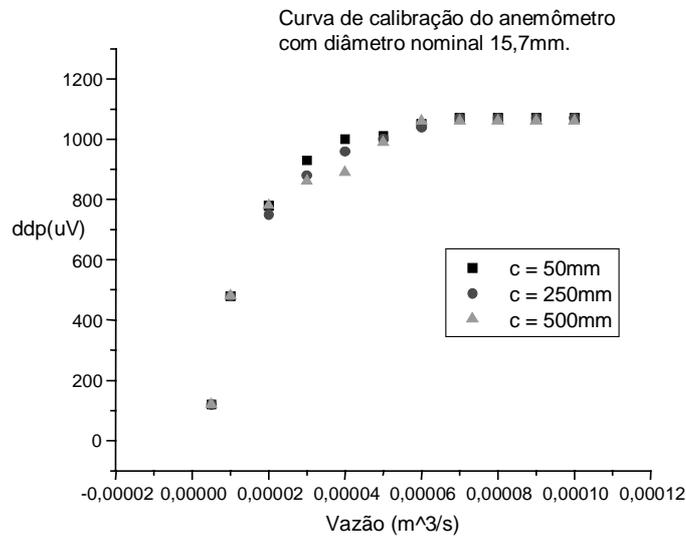


Figura 6- Curvas de calibração para o anemômetro com tubo diâmetro nominal 15,7mm, e comprimentos 50, 250 e 500mm.

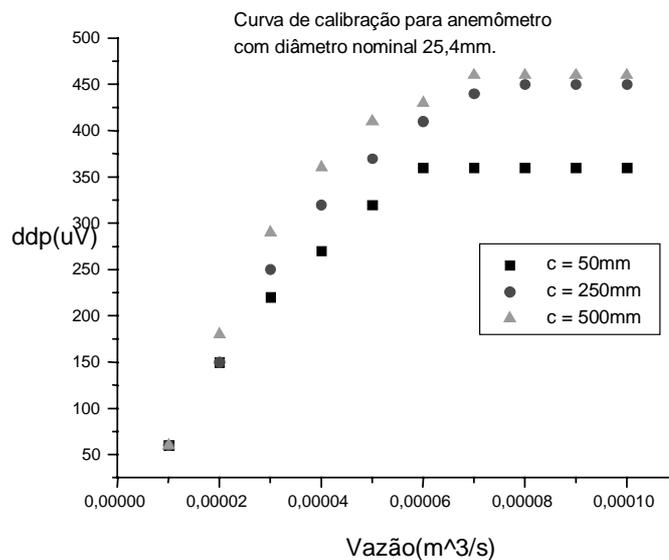


Figura 7- Gráfico de calibração dos medidores com diâmetro nominal de 25,4mm, para os comprimentos de 50, 250 e 500mm.

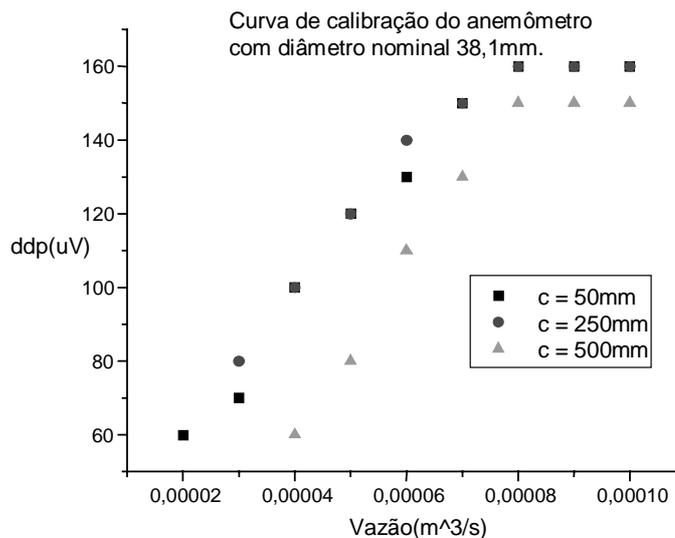


Figura 8- Curvas de calibração do anemômetro com diâmetro nominal de 38,1mm e comprimentos 50, 250 e 500mm.

Neste estudo, a combinação ótima foi a resistência montada no tubo de 12,7mm que proporcionou um aumento de sensibilidade de 100% em relação ao tubo de 25,4mm e 300% em relação ao tubo de 38,1mm.

5- ANALISE DE ERROS

Durante a calibração dos equipamentos que compõem o sistema de calibração, foram tomados todos os cuidados quanto ao manuseio inadequado dos instrumentos e também dos erros sistemáticos gerados pelo observador sendo possível evitar erros acidentais, entretanto, foi possível monitorá-los e estimá-los no sentido de determinar os valores mais prováveis de todas as grandezas físicas apresentadas neste trabalho (Doebelin,1990). As dispersões da leitura na calibração do Shunt “Figura 5” e na calibração dos anemômetros “Figuras 6, 7 e 8” foram nulas, isto porque todas as leituras tomadas repetiram-se com a mesma precisão, (Gonçalves, 1969). Na verificação da bomba volumétrica, as leituras também repetiram-se, portanto o erro admitido neste trabalho ficará restrito à precisão dos instrumentos de medidas previamente definidos no item (3.1), qualquer possível afastamento matemático dos valores medidos, conforme as “Figuras 6, 7 e 8” são avaliados somente pelo coeficiente de correlação dos ajustes das curvas, que é de 0,99987, de acordo com o Software ORIGIN; versão 4.1.

BIBLIOGRAFIA

- Doebelin, E. O., 1990, Measurement Systems: Application and Design. McGraw-Hill, 4/e.
- Freythuth, P., 1978, A Bibliography of Thermal Anemometry. TSI Quarterly, vol.4, n.4, Nov./Dez.
- Goldstein, R. J., 1983, Fluid Mechanics Measurements. Hemisphere Publishing Corporation.
- Gonçalves, D, 1969, Física I. Ao Livro Técnico S.A, RJ.

- Kanthal, 1961, Manual de Construcion; Normas e indicadores para el emplo del material en la construccion de hornos y aprqatos eletricos para intustria, artes y oficios y uso doméstico. V.1, v.2, Sweden, Kanthal.
- Kanthal, 1972, The super handbook of eletric heating and resistance material, Sweden, Kanthal.
- Lima, W.S., 1997, Estudo do fluxo convectivo de ar induzido por placas aquecidas no interior de canais verticais. Tese (Doutorado)/ Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, pp.101.
- Perry, A. E.,1982, "Hot-Wire Anemometry", New York, Oxford University.
- Perry, A. E. & Morrison, G. L., 1971, "Static and dynamic calibrations of constant-temperature hot-wire systems," Journal Fluid Mechanics, vol. 47, part 4, pp. 765-777, jun.
- Roma, W. N. L., 1972, Determinação simultânea dos perfís de velocidade e temperatura utilizando a técnica de anemometria de fio quente, São Carlos. Tese de (Doutorado)/ Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Silva, T. M., 1998, "Medidores de Vazão", Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, pp.62

A PARTICULAR ANEMOMETER OF HOT WIRE: PROJECT AND CALIBRATION

Abstract: *The main characterisc of the natural convection heat transmission is the attained low velocity by the work fluid. The choice of the instrument to measure the air flow velocity constitute a critical point to developed works in laboratory's researchs. To this finality was developed a instrument to measure air flux using constant current hot wire ensuing caracteristes: repeatability, durability, capability to measure in several outlets ranges and practicability of handling. Determined the adequated kind of support to fix the wire and the wire's materials applied like electric resistance, it was possible to select the wire and support materials capables to satisfy the beforhand determined conditions. This instrument was properly gauged, establishing the Outlet x Voltage calibration curves to several wire's geometrys in the determined support.*

Key-words: *Outlet meters, Hot-wire, Convection natural*