

Referências Bibliográficas

[1] Almeida, J. A., Azevedo, L. F. A., *Flow Visualization Study of Swirling Jet Impingement*, XIII Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Belo Horizonte, MG, 1995 (CD-ROM).

[2] Azevedo, L. F. A., Almeida, A., Duarte, L. G. C., *Mass Transfer to Swirling Impinging Jets*, 4th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, 1997, Editor M. Giot e Mayiner, Brussels, Bélgica, vol. 3, pp 1759 – 1766.

[3] Azevedo, L. F. A., Webb, B. W., Queiroz, M., *Pulsed Air Jet Impingement Heat Transfer*, Experimental Thermal and Fluid Science, 1991.

[4] Christensen, K. T., *The Influence of Peak-Locking Errors on Turbulence Statistics computed from PIV Ensembles*, Experiments in Fluids, 2004, vol.36, pp 484 – 497.

[5] Cooper, D., Jackson, D. C., Launder, B. E., Liao, G. X., *Impinging Jet Studies for Turbulence Model Assessment – I. Flow Field Experiments*, International Journal of Heat and Mass Transfer, 1993, vol. 36, No. 10, pp 2675 – 2684.

[6] Cooper, D., Jackson, D. C., Launder, B. E., Liao, G. X., *Impinging Jet Studies for Turbulence Model Assessment – II. An Examination of the Performance of Four Turbulence Models*, International Journal of Heat and Mass Transfer, 1993, vol. 36, No. 10, pp 2685 – 2697.

[7] Downs, S. J., James, E. H., *Jet Impingement Heat Transfer – A Literature Survey*, ASME Paper N^o 87 – HT – 35, ASME, 1987.

[8] Duarte, L. G. C., Azevedo, L. F. A., *Transferência de Massa para Jatos Espiralados Incidentes*, Revista Brasileira de Ciências Mecânicas, 1995, vol. 17, No. 3, pp 322 – 330.

[9] Fairweather, M., Hargrave, G. K., *Experimental Investigation of an Axisymmetric, Impinging Turbulent Jet. I. Velocity Field*, 2002, Experiments in Fluids, vol.33, No. 3, pp 464 – 471.

[10] Gardon, R., Akfirat, J. C., *The Role of Turbulence in Determining the Heat Transfer Characteristics of Impinging Jets*, International Journal of Heat and Mass Transfer, 1965, vol.8, pp 1261 – 1272.

[11] Geers, L. F. G., Tummers, Hanjalic, K., *Experimental Investigation of Impinging Jet Arrays*, Experiments in Fluids, 2004, 36, pp 946 – 958.

[12] Huang, L., El Genk, M. S., *Heat Transfer and Flow Visualization Experiments of Swirling, Multi-Channel, and Conventional Impinging Jets*, 1997, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 41, No. 3, pp. 583 – 600.

- [13] Hussein, H. J., Capp, S. P., George, W. K., *Velocity Measurements in a High-Reynolds-Number, Momentum-Conserving, Axisymmetric, Turbulent Jet*, Journal of Fluid Mechanics, 1994, vol. 258, pp 31 – 75.
- [14] Lyttle, D., Webb, B. W., *Secondary Heat Transfer Maxima for Air Jet Impingement at Low Nozzle-to-Plate Spacings*, 2nd World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, Iugoslávia, 1991, pp. 776 – 783.
- [15] Martin, H., *Heat and Mass Transfer Between Impinging Gas Jets and Solid Surfaces*, Advances in Heat Transfer, 1977, pp 1-60.
- [16] Nozaki, A., Igarashi, Y. e Hishida, K., *Heat Transfer Mechanism of a Swirling Impinging Jet in a Stagnation Region*, Heat Transfer – Asian Research, 2003, vol. 32, No. 8.
- [17] Pope, S. B., *Turbulent Flows*, Cambridge University Press.
- [18] Raffel M., Willert C., Kompenhans J., *Particle Image Velocimetry – A Practical Guide*, Ed. Springer.
- [19] Ward, J., Mahmood, M., *Heat Transfer from a Turbulent, Swirling, Impinging Jet*, 7th Int. Heat Transfer Conference, 1982, pp 401 – 408.
- [20] Westerweel, J., Dabiri, D., Gharib, M., *The Effect of a Discrete Window Offset on the Accuracy of Cross-Correlation Analysis of PIV Recordings*, Experiments in Fluids, vol. 23, pp. 20 – 28.

Apêndice I

Análise de Incertezas no Cálculo do Número de Nusselt Local

Neste apêndice é apresentado o procedimento utilizado para estimar as incertezas associadas aos experimentos realizados.

A equação básica para a determinação da incerteza relacionada com o resultado final obtido para uma variável R é dada por:

$$\delta R = \left[\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial R}{\partial x_i} \delta x_i \right)^2 \right]^{1/2}$$

onde $R=R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N)$, x_i são as variáveis medidas para a obtenção de R e δx_i são as incertezas experimentais associadas a cada uma destas variáveis.

A seguir serão apresentados os cálculos relativos à incerteza na estimativa do Número de Nusselt.

$$h = \frac{q}{Lb(T_w - T_\infty)}$$

$$Nu = \frac{hd}{k} = \frac{qd}{kLb(T_w - T_\infty)} = \frac{VId}{kLb(T_w - T_\infty)}$$

A incerteza no Número de Nusselt é então dada por:

$$\delta Nu = \left\{ \left[\left(\frac{\partial Nu}{\partial V} \delta V \right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial I} \delta I \right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial V} \delta V \right) + \left(\frac{\partial Nu}{\partial d} \delta d \right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial k} \delta k \right)^2 \right] + \left[\left(\frac{\partial Nu}{\partial L} \delta L \right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial b} \delta b \right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial T_w} \delta T_w \right)^2 + \left(\frac{\partial Nu}{\partial T_\infty} \delta T_\infty \right)^2 \right] \right\}^{1/2}$$

$$\frac{\partial Nu}{\partial V} = \frac{Id}{kLb(T_w - T_\infty)}$$

$$\frac{\partial Nu}{\partial I} = \frac{Vd}{kLb(T_w - T_\infty)}$$

$$\frac{\partial Nu}{\partial d} = \frac{VI}{kLb(T_w - T_\infty)} \quad \frac{\partial Nu}{\partial k} = -\frac{VId}{k^2Lb(T_w - T_\infty)}$$

$$\frac{\partial Nu}{\partial L} = -\frac{VId}{kL^2b(T_w - T_\infty)} \quad \frac{\partial Nu}{\partial b} = -\frac{VId}{kLb^2(T_w - T_\infty)}$$

$$\frac{\partial Nu}{\partial T_w} = -\frac{VId}{kLb(T_w - T_\infty)^2} \quad \frac{\partial Nu}{\partial T_\infty} = \frac{VId}{kLb(T_w - T_\infty)^2}$$

Para obter a incerteza relativa, temos:

$$\frac{\delta Nu}{Nu} = \left\{ \left[\frac{\delta V}{V} \right]^2 + \left[\frac{\delta I}{I} \right]^2 + \left[\frac{\delta d}{d} \right]^2 + \left[\frac{\delta k}{k} \right]^2 + \left[\frac{\delta L}{L} \right]^2 + \left[\frac{\delta b}{b} \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} + \left\{ \left[\frac{\delta T_w}{(T_w - T_\infty)} \right]^2 + \left[\frac{\delta T_\infty}{(T_w - T_\infty)} \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Os valores das incertezas de cada grandeza são:

$$\delta I = \pm 0.1 \text{ A}$$

$$\delta V = \pm 0.1 \text{ V}$$

$$\delta d = \pm 0.1 \text{ mm}$$

$$\delta k/k = \pm 5\%$$

$$\delta L = \pm 0.5 \text{ mm}$$

$$\delta b = \pm 0.5 \text{ mm}$$

$$\delta T_w = \pm 0.2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\delta T_\infty = \pm 0.2 \text{ }^\circ\text{C}$$

Com estes dados, calculou-se que a incerteza no Número de Nusselt local nos pontos medidos variava de 6 a 7%.

Apêndice II

Estimativa das Perdas de Calor por Condução na Placa Aquecedora

As perdas de calor por condução através da placa são estimadas neste Apêndice. Esta estimativa é utilizada na equação (7-4). As perdas por radiação foram consideradas desprezíveis.

As perdas de calor através do celeron, do isolamento e do acrílico foram calculadas utilizando-se um modelo de condução unidimensional. Assumiu-se que a placa de celeron de 5 mm de espessura, o bloco de estireno de 25.4 mm e a placa de acrílico de 18 mm estivessem submetidos à diferença de temperatura entre a superfície da folha de aço inoxidável e o ambiente.

Desta forma,

$$q_b = \frac{(T_S - T_{amb})}{\left[\frac{t_C}{k_C} + \frac{t_S}{k_S} + \frac{t_A}{k_A} \right]}$$

onde q_b é a perda de calor por unidade de área [W/m^2]; t_C , t_S e t_A são, respectivamente, a espessura da placa de celeron, a espessura do bloco de estireno e a espessura da placa de acrílico [m]; k_C , k_S e k_A são a condutividade térmica do celeron, do estireno e do acrílico, respectivamente [W/mK].

As perdas por condução foram estimadas como sendo cerca de 7% do fluxo imposto à placa.