



INCERTEZAS NA MEDIDA DE CAMPOS DE VELOCIDADE NA ORDEM DE 10 m/s, POR PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE PARTÍCULAS (PIV), USANDO TÉCNICAS INTRAFRAME

Flávio T. van der Laan

Dep. Engenharia Nuclear - UFRGS, Av. Oswaldo Aranha, 99, 4. andar, 90046-900
e-mail: ftvdl@ufrgs.br

Alwin W. Elbern

Dep. Engenharia Nuclear - UFRGS, Av. Oswaldo Aranha, 99, 4. andar, 90046-900
e.mail: alwin@ufrgs.br

Resumo. *Aplicando duas técnicas Intraframe, de rastro e de intercalamento para a medição de campos de velocidade de escoamentos de líquidos com partículas iluminadas a laser (PIV), processou-se várias imagens capturadas por câmeras (CCD-DV) em velocidade na ordem de 10 m/s, em um tubo de acrílico de 60mm (diâmetro externo) por 50 mm (diâmetro interno), em três posições num plano situado no centro do tubo, de 100/50 mm a montante e a jusante de uma placa de orifício de 26 mm. Um estudo de incertezas, empregando um gabarito calibrado de 100/50 mm com retículos separados de 1 mm, foi inserido exatamente no meio do tubo (posição do plano de laser), calculando-se as aberrações com o tubo vazio e com água. Foi medida a estabilidade de tempo da câmera para se ter as incertezas totais na medida do vetor velocidade.*

Palavras Chave: *Mecânica dos Fluidos, Visualização de Fluxos, Processamento Digital de Imagens*

1. INTRODUÇÃO

A determinação de campos de velocidade em escoamentos líquidos utilizando a técnica “PIV” desenvolveu-se rapidamente na década de 90 devido ao avanço dos dispositivos de captura e tratamento digital de imagens. Duas técnicas, intraframe (dentro do quadro de imagem) foram apresentadas anteriormente, a de rastro deixado pelas partículas (exploração progressiva) e a de campos intercalados, formando pares de partículas (exploração entrelaçada), ambas para determinação de campos de velocidade (Van der Laan, 2000). Na Fig.1 apresentamos a seção de testes “PIV” em que está contido o tubo de acrílico para as visualizações, com a respectiva iluminação Laser não pulsada, formando um plano bidimensional de 100x50x1 mm. A placa de orifício foi utilizada para se ter diferentes formas de campos de velocidade, e obter-se velocidades maiores para testes do sistema. A tubulação foi montada com tubos de PVC de 60 mm. Uma bomba de dois HP faz o fluido circular a velocidades da ordem de 10 m/s. Partículas de polipropileno de dimensões $150 \pm 30 \mu\text{m}$, densidade próxima do fluido são diluídas na água, formando os traçadores das visualizações. As imagens são capturadas por câmera CCD e gravadas em um DV (Videotape digital) e processadas por um sistema de aquisição em um PC. Este trabalho apresenta a caracterização das incertezas contidas nestes processos para quantificá-las e em algumas condições, corrigi-las ou desprezá-las.

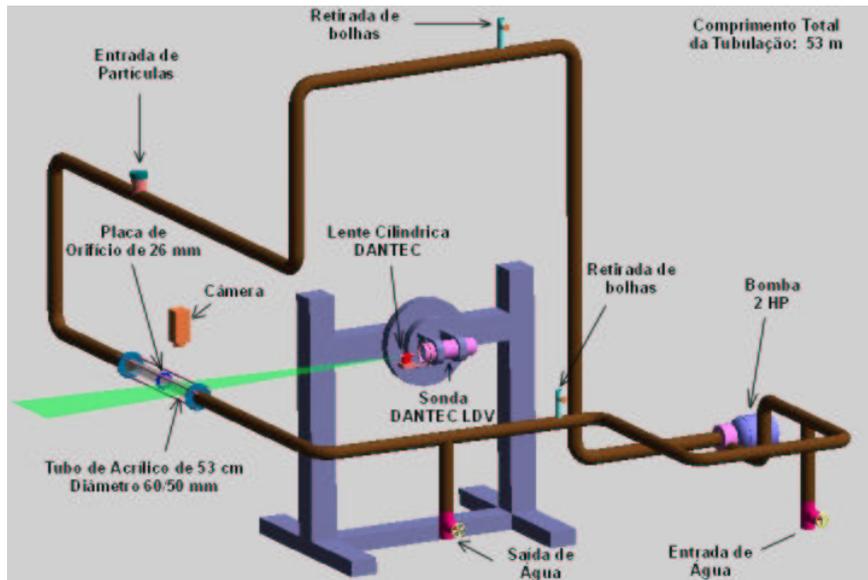


Figura 1. Sistema “PIV” de visualização de campos

A distorção ótica total envolvendo a centralização da câmera (simetria), efeito de lente e as aberrações nos cantos da imagem são avaliadas, bem como o erro de quantização na aquisição da imagem devido a forma da partícula, sua centralização e refração na iluminação (Warren,1990).

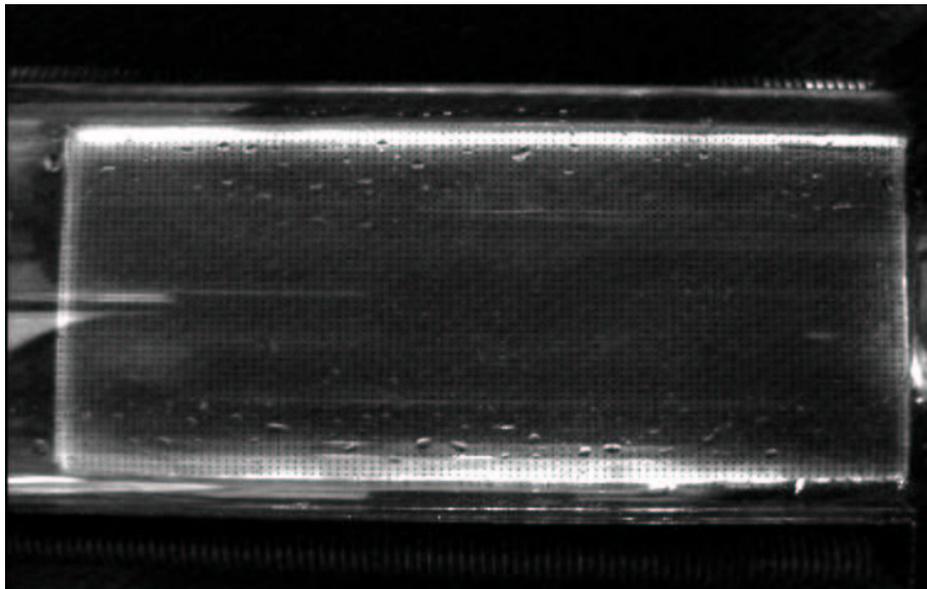


Figura 2. Padrão milimetrado no tubo teste, sem água.

Por fim a incerteza da base de tempo da câmera que determina o intervalo de tempo do deslocamento para cálculo da velocidade. Para execução destas medidas, confeccionou-se um padrão milimetrado de 100 x 50 mm com pontos de diâmetro de 0,3 mm observado na Fig. (2).

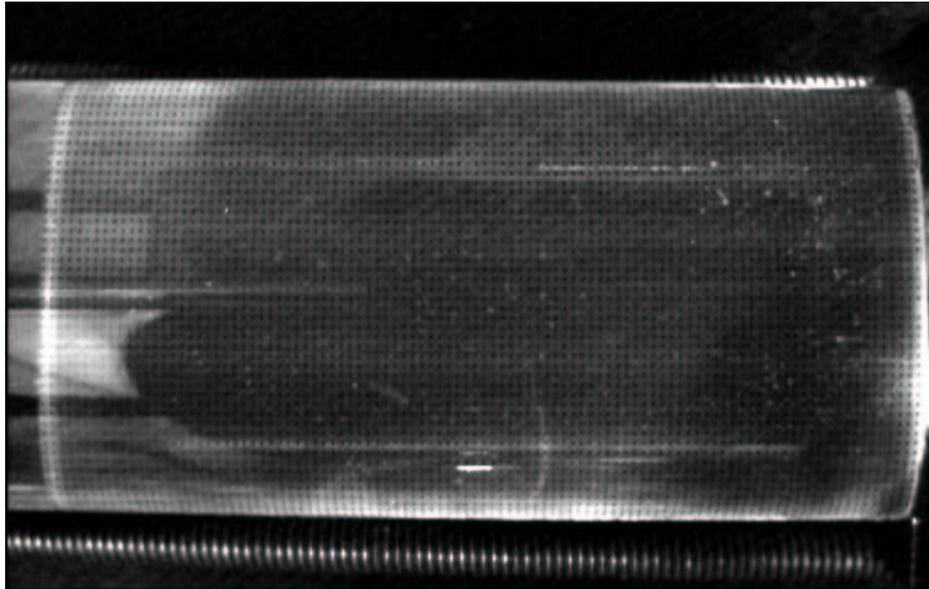


Figura 3. Padrão milimetrado do tubo teste, com água.

O Padrão composto de uma fina base de acrílico, foi colocado no meio da tubulação teste de 60 mm de diâmetro externo e 50 mm interno. O acrílico padrão foi inserido a montante, nas mesmas condições em que são tomadas as imagens com a iluminação Laser do sistema PIV. Duas imagens foram tomadas para análise, uma com o tubo sem água, e outra com água, esta, condição real em que são feitas todas as tomadas PIV.

2. CARACTERIZAÇÃO DAS INCERTEZAS

Na Fig. (2) faz-se a tomada da imagem com o padrão milimetrado nas condições de tubo sem água, mostrando uma imagem quase ideal, retangular, com a distinção das paredes do tubo. Uma pequena inclinação pode ser observada no lado direito do limite do padrão, devido a descentralização da câmera. Na Fig. (3), a tomada é feita nas mesmas condições mas introduzindo-se a água na tubulação.

Nesta condição observa-se o efeito lente no sentido vertical, com a imagem tomando conta da parede do tubo, e o efeito barril nas extremidades direita e esquerda do padrão. Não se caracteriza acima e embaixo do padrão devido a camada de água formar uma lente cilíndrica e não esférica. Pontos brancos de tamanho de um pixel com o passo constante de sete pixels na horizontal e oito na vertical (para compensar o efeito lente), foram adicionados na imagem e centrados no centro do tubo (ver marca), constituindo-se no padrão eletrônico. Observou-se que numa área de 60 x 40 mm o padrão se manteve quase coincidente com a matriz de pixels gerada pelo computador. Nos quatro cantos da imagem foi adicionado uma matriz quadrada de 10x10 mm, centrada no vértice interno desta. Novamente os pontos coincidem numa parte e aberram na extremidade. Isto significa que os vetores velocidades em todo campo possuem uma pequena incerteza, mas que sua posição no campo pode estar deslocada nas extremidades do retângulo de visão, portanto passível de correção.

Considerando as velocidades dada pela Eq.(1), tanto na técnica de rastro como intercala-

$$v = \frac{\delta r}{\delta t} \quad (1)$$

mento, em que “r” é o deslocamento das partículas (na técnica rastro o comprimento do traço e na de intercalamento, a distância entre os partículas individualizadas), e o “t” é o tempo de obturação da câmera.

As incertezas envolvidas do sistema serão (Adrian, 1991) :

$$\sigma_{\Delta v} = \sigma_{\Delta R} + \sigma_{\Delta t} \quad (2)$$

O primeiro termo da Eq. (2), $\sigma_{\Delta r}$ é dividido em incertezas de distorções óticas e incertezas de quantização. O segundo termo resume-se em incerteza da base de tempo da câmera. Outras incertezas poderiam ainda somar-se a esta expressão, tais como precisão do padrão milimetrado, e a pequena aberração da lente da câmera, mas que são desprezíveis perante a grandeza dos termos da Eq. (2). O desvio padrão experimental (Eq. (3)), para uma variável [X], sendo “i” a classe das amostras, e “k” o número de amostragem (Ferreira, 1998) é dado por:

$$\sigma_x = s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_i)^2} \quad (3)$$

Assim pode-se calcular as incertezas envolvidas em pixels e posteriormente em milímetros. Um estudo foi realizado indicando que para estas velocidades, e as partículas atingindo o regime permanente a montante, sem obstáculos, o arrasto foi considerado desprezível. Um estudo está sendo desenvolvido, com partículas de vários diâmetros (30,50,100, 150,200,250 μm). Segundo Adrian, partículas na ordem de 10 μm e densidade igual a do fluido, não interferem no líquido.

2.1 Incertezas de distorção ótica

Na fig. (3a) mostramos o efeito de lente ocasionado pela parede de água mais acrílico, de índice de refração aproximados $N_{ac} = 1,49$ e $N_{ag} = 1,30$, comparados com o ar, $N_{ar} = 1,00$. Esta figura representa a projeção da imagem devido a refração e não os raios luminosos provenientes da fonte de luz. Na Fig. (3b), o efeito barril é caracterizado com as distorções nos cantos devido a este efeito de lente cilíndrica. O retângulo de 60 x 40 dos pixels brancos também está caracterizado nesta figura, representando uma área de boa precisão. A magnificação em pixels por milímetro na Fig. (3) é de 7 pixel/mm no sentido horizontal e de 8 pixel/mm no sentido vertical devido ao efeito de lente.

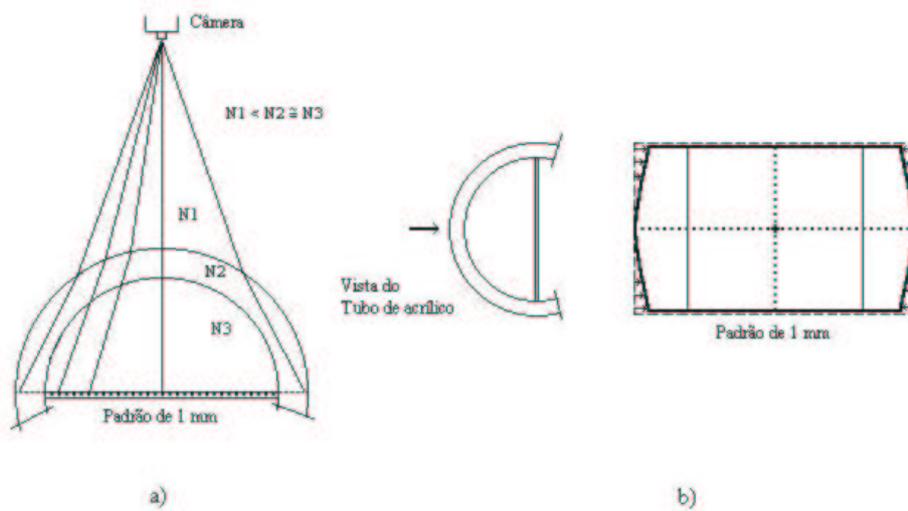


Figura 4. a) Efeito de lente, b) Efeito barril.

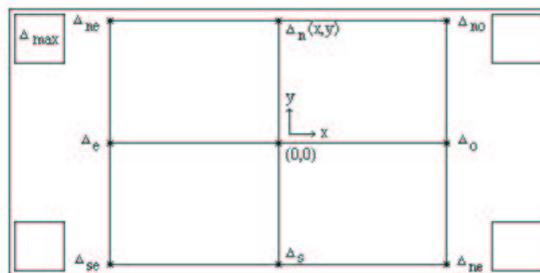


Figura 5. Incertezas das distorções óticas na área delimitada.

A Fig (5) mostra o sistema de coordenadas em que foram tomadas as incertezas nas extremidade da área delimitada de 60 x 40 mm em pixels.

O desvios computados com suas respectivas coordenadas são indicados na Tabela 1.

Tabela 1. Desvios nas extremidades área 60x40 mm

Posição	(x,y) Pix	(x,y) mm
Δ_{no}	7 0	1,00 0
Δ_o	0 0	0 0
Δ_{so}	3 3	0,43 0,37
Δ_n	1 -1	0,14 -0,12
Δ (centro)	0 0	0 0
Δ_s	-1 2	-0,14 0,25
Δ_{ne}	-3 1	-0,43 0,12
Δ_e	0 0	0 0
Δ_{se}	3 -3	0,43 -0,37

Com os desvios obtidos, observa-se que o campo de vetores velocidades nestas extremidades está deslocado em algumas posições de menos de um milímetro, podendo portanto ser desprezível, pois denota apenas um pequeno deslocamento do vetor velocidade de sua posição original. Já nos quadrados Fig. (5), mostrados nos escanteios o desvio máximo chega á 1,3 mm, podendo ser corrigido por processamento chamado barril, somente na vertical, transformando a imagem absolutamente retangular. Uma vez que o passo entre os pixels continua sendo o mesmos nas extremidades, pois estes desvios são cumulativos desde o centro da imagem, os módulos dos vetores velocidade, não serão afetados, apenas sua posição o será, como mostra a Tab. (1).

2.2 Erro de quantização na digitalização da imagem.

Na aquisição da imagem e sua digitalização, surge uma incerteza na quantização do ponto luminoso que caracteriza a partícula. Sua forma, refração na iluminação e centralização são os fatores que colaboram para isto. Na Fig.(5a), vemos o tamanho médio em pixels que compõem uma

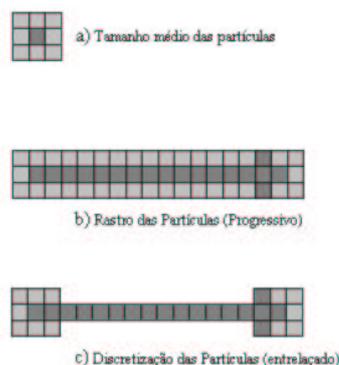


Figura 6. Digitalização da partícula. a) Tamanho médio das partículas, b) Processo progressivo, c) Processo entrelaçado.

partícula individual (matriz 3x3), e nas Fig. (5b),(5c) o vetor velocidade no processo progressivo e entrelaçado respectivamente. Na Fig. (5a) a centralização da partícula é caracterizada pelo pixel

mais escuro no meio, mas a incerteza devido os limites deste (matriz 3x3) é ± 1 pixel (menor parcela quantizavel) do ponto centralizado, ou seja $\pm 0,12$ mm. Na Fig. (5b),(5c) a incerteza no início é acrescida da incerteza no fim pela soma das médias quadráticas das incertezas individuais, ou seja $\pm 1,41$ pixels, ou seja $\pm 0,18$ mm.

2.3 Incerteza do intervalo de tempo dos deslocamentos.

A estabilidade da base de tempo da câmera CV-30 (JAI) tomada entre 22° C e 27° C durante 24 horas, no relógio mestre de 57,70426 MHz, foi medida com o freqüencímetro Topward Modelo 1220 de oito dígitos apresentando:

$$\sigma_{\Delta t} = \pm 1,4 \times 10^{-6} \text{ ou } \pm 1,4 \text{ ppm}$$

Considerando que os vetores velocidade apresentam no máximo valores de 10 m/s, a incerteza gerada pala base de tempo seria na ordem de 0,01 mm, portanto desprezível, com relação as incertezas de quantização na ordem de 0,1 a 0,2 mm.

3 INCERTEZA TOTAL

Considerando que as incertezas de distorções óticas restritas dentro da área de 60 x 40 mm não atuam no módulo do vetor velocidade, e sim dentro da posição deste no campo de medição, e que as incertezas da tomada de tempo entre os deslocamentos é desprezível devido sua grande estabilidade, a incerteza total fica restrita ao erro de quantização amplamente descrito no item 2.2. Assim a Eq. (2) fica reduzida a:

$$\sigma_{\Delta v} = \sigma_{\Delta r} \tag{4}$$

4 CONCLUSÃO

O processo “PIV” utilizando câmeras digitais e placas de aquisição de alta resolução apresentam uma baixa incerteza na medição de campos de velocidade. Distorções óticas e aberrações pronunciadas nos cantos poderão ser compensadas por processamento.

Na Fig. (7) mostramos o campo de visualização na mesma posição das tomadas da Fig. (2) e Fig. (3) com os vetores velocidades na direção do escoamento variando de 3 a 4 m/s, nestas condições a incerteza total sistema (módulo do vetor velocidade) fica na ordem de pouco menos de 2%.

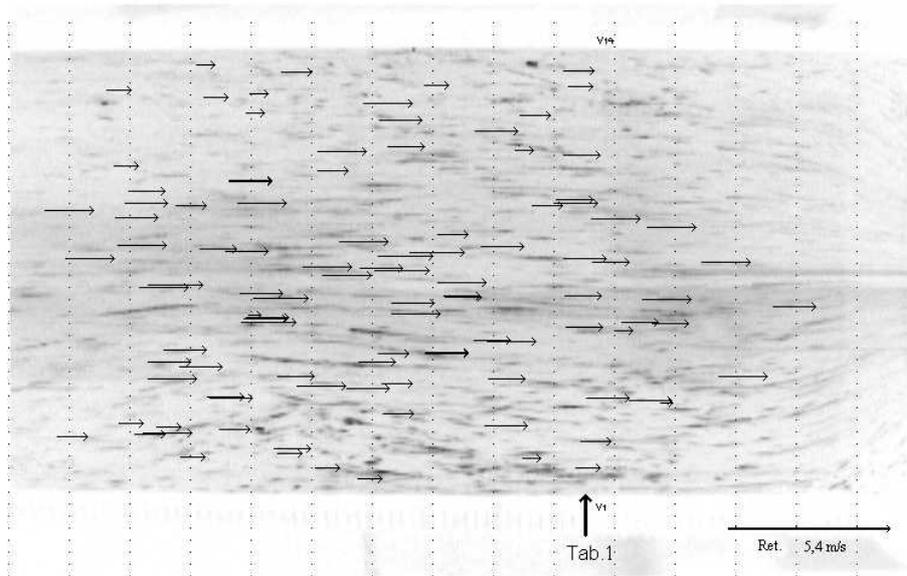


Figura 7. Visualização do escoamento, técnica intercalada, e obturação 1/2000 s, magnificação 7 pix/mm .

4 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do CNPq e da FAPERGS para realização da presente pesquisa, através do projeto 62.0017/99-6 PADCT III / SFA.

5 REFERÊNCIAS

- Adrian, R.J. 1991, "Particle Image Velocimetry", TSI Short Course Test, Brussels, pp. 13-17
- Ferreira, V.C.S., 1998, "Avaliação da Incerteza nas Medições segundo ISO-GUM", Rede Metrológica, RS, pp. 18-30
- Smith, W.J. "1990, "Modern Optical Engineering", McGraw-Hill, NY, P. 524
- Van der Laan, F.T., Ferreira V.C.S., Elbern A.W., 2000, "Measuring High Velocity Fluid Using PIV Technique and Interlaced Images Processing" 9th International Symposium on Flow Visualization, Edinburgh, UK, pp. 309-1 - 309-8.

5 ABSTRACT

UNCERTAINTIES FOR VELOCITY FLOW MEASUREMENT IN ORDER OF 10 m/s WITH PROCESSING IMAGES OF PARTICLES (PIV) USING INTRAFRAME TECHNIQUES

Flávio T. van der Laan

Dep. of Nuclear Engineering - UFRGS, Av. Osvaldo Aranha, 99, 4. andar, 90046-900
e-mail: ftvdl@ufrgs.br

Alwin W. Elbern

Dep. of Nuclear Engineering - UFRGS, Av. Osvaldo Aranha, 99, 4. andar, 90046-900

e.mail: alwin@ufrgs.br

***Summary.** Applying interlacing and trace, two intraframe techniques for measuring velocity flow field in order of 10 m/s in liquids with illuminated particles by a sheet constant laser light (PIV), several sequenced images was captured by a CCD-DV camera and processed. The test rig was made of a long perspex tube of 60 mm (external diameter) and 50 mm (internal diameter) intercepted by an orifice plate of 26 mm. The sheet laser was placed in the center of the tube, and the images was taken in three positions, at inlet, in the middle and at the outlet of the orifice plate. An uncertainty study of the measurements was set up. One patern plate of 100x50 mm with a 1 mm matrix reticules was inserted in the middle of tube, exactly at the same position of the laser sheet. An aberration study of the laser light due to the water, comparing the empty and full of water, was carried out. The time stability of the camera was also measured to have the total uncertainties of the measurement the velocity flow.*

***Key words:** Fluid Mechanics, Flow Visualization, Digital Image processing*