



ESTUDO DO ESCOAMENTO TURBULENTO EM AERAÇÃO DE CORPOS HÍDRICOS

A.B. F. de OLIVEIRA¹, N. A. CORRÊA²

¹Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
e-mail: andrezab@sc.usp.br

²Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
e-mail: nacorrea@sc.usp.br

RESUMO – Neste trabalho fez-se um estudo para dar respaldo à forma metodológica para obtenção experimental de valores de viscosidade turbulenta visando sua inserção em modelagem fenomenológica da transferência de oxigênio das bolhas de ar para o meio líquido. Usou-se a técnica PIV (velocimetria por imagem de partículas) a laser para detectar os vetores velocidade existentes no meio bifásico de um aerador em bancada experimental. Com base nas velocidades instantâneas foi possível avaliar as flutuações e, conseqüentemente, as tensões de Reynolds envolvidas. As viscosidades turbulentas resultantes poderão, por exemplo, contribuir servindo de diretrizes para etapas de cálculo em simulações com modelos *k-ε* os quais consideram a turbulência nas equações de movimento. Tendo em vista, um modelo global, considerando a difusão do oxigênio, a difusividade turbulenta poderia ser assumida, usando-se $Sc_t=1$, alternativamente. Tais modelos podem contribuir aos estudos de monitoramento de recursos hídricos ou em operações nos tratamentos de efluentes líquidos. Assim, o que se apresenta como resultado desse trabalho é o campo de velocidades em regime turbulento de escoamento bifásico ar-água e valores de viscosidade turbulenta calculados dos vetores medidos.

PALAVRAS-CHAVE: oxigênio dissolvido, técnica PIV, viscosidade turbulenta

1. INTRODUÇÃO

O assunto de aeração é antigo e muita contribuição para o processo foi realizada, mas existe bastante a ser explorado. Os regimes de escoamentos na natureza são essencialmente turbulentos, e todos os mecanismos de transferência dependem da magnitude da intensidade de mistura originada pelos turbilhões. Assim sendo, o grau de absorção de oxigênio na água, também é função da intensidade de agitação turbilhonar. Através de correlações para o

número Schimidt turbulento ($Sc_t = \frac{\nu_t}{D_{ABt}}$), no

qual este parâmetro está envolvido com a viscosidade turbulenta, por exemplo, é possível estimar a difusividade turbulenta (D_{ABt}) de oxigênio dissolvido no meio líquido necessária para objetivos de projeto, modelagem controle de processos, entre outros. Procurou-se avaliar, a viscosidade turbulenta em aeração forçada através da técnica de velocimetria por imagens de partículas (PIV) usando laser. O presente trabalho está relacionado aos fenômenos de aeração forçada, turbulência e ao uso da técnica PIV.



A estrutura do escoamento no regime turbulento é caracterizada por movimentos aleatórios, tridimensionais, de partículas fluidas, adicionais ao movimento principal. A viscosidade turbulenta é função do estado de agitação turbilhonar no escoamento que pode mudar seguindo alguma direção, uma vez que existem diferentes regiões de dispersão de bolhas na aeração. Essa característica é interessante porque mostra que tal viscosidade pode ser função da posição considerada no escoamento, ou seja, o escoamento pode apresentar um perfil de viscosidade turbulenta (SCHULZ, 2003).

A viscosidade turbulenta é definida pela Equação (1), no caso μ_{txy} (analogamente, μ_{tyx} , μ_{txx} e μ_{tyy} , têm a mesma estrutura):

$$\mu_{txy} = -\frac{\overline{\rho V'_x V'_y}}{\left(\frac{\partial \overline{V_x}}{\partial y}\right)} \quad (1)$$

Onde, μ_t é a viscosidade turbulenta; V'_x e V'_y são flutuações de velocidades em x e y, respectivamente. A barra denota valor médio.

A técnica PIV consta de um feixe de luz que ilumina quaisquer partículas suspensas no escoamento que passam pelo campo bidimensional do feixe (Figura 1). Tal luminosidade destaca as partículas que acompanham os movimentos do fluido, podendo ser fotografadas em alta frequência de número de quadros por segundo. A correlação desses dados fornece as velocidades locais do fluido. Inúmeros trabalhos usando a técnica PIV podem ser encontrados (LIU e ZHENG (2006), SOUSA et al (2006), BALDI e YIANNESKIS (2004), FAN et al (2005), ORLINS e GULLIVER (2000), entre outros), mas poucos retratam os escoamento sujeito à aeração, logo esse estudo vem para contribuir nesse sentido.



Figura 1: Esquema da montagem com laser - vapor de cobre e câmera CCD para procedimentos com a técnica PIV no canal aerador .

2. METODOLOGIA

A parte experimental deste estudo foi realizada no laboratório de Hidráulica Ambiental, localizado no Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA) da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Neste laboratório a planta experimental constitui-se de um canal aerador de fluxos cruzados sem agitação mecânica. O canal mede 5m de comprimento, 350 mm de altura e 200 mm de largura, sendo de acrílico, que facilita a visualização e tomada de fotos do escoamento das plumas de bolhas, efeitos dos turbilhões e de traçadores. No fundo do canal existem 25 orifícios de aeração, igualmente espaçados na linha central, conectados a um soprador de velocidade de rotação ajustável. A alimentação do tanque foi feita com água de abastecimento local na vazão de 11 L/min e foi usado talco neutro como traçador de partículas.

A técnica PIV consiste em fotografar vários quadros por segundo do fluido em movimento tendo o foco coincidente com a posição de um feixe luminoso em forma de lâmina ("light sheet"), originado com laser



de vapor de cobre (Oxford Laser LS-20-10 20W, disponível no laboratório). A lâmina de laser contrasta as partículas traçadoras que acompanham o movimento do fluido. Tal feixe de luz corta o tanque no sentido longitudinal na linha central e uma câmera CCD (KODAK MEGAPLUS ES1000; 1024x 1024 pixels) na lateral do tanque captura as imagens enquadrando setores da área luminosa. As imagens capturadas foram tratadas em um programa específico (Visiflow) que forneceu valores de velocidade instantânea em diversos pontos, de acordo com a relação entre o deslocamento de partículas traçadoras e a frequência de captura da câmera. Com os vários quadros de campos de velocidade obtidos, 25 no total, realizou-se os cálculos para obter as viscosidades turbulentas, conforme o fluxograma da Figura 2 e Figura 3.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados consistiu-se na qualificação dos dados de velocidade quando dispostos em campo vetorial do setor do canal estudado. Os estudos foram realizados considerando duas dimensões, a altura e o comprimento do canal. A Figura 4 revela o

perfil da velocidade instantânea em gráfico de contorno, após a montagem de todos os quadros. Após o tratamento estatístico referido na Figura 3, as viscosidades turbulentas em perfis no comprimento X e altura Y do canal foram calculadas e estão em dispostas nas Figuras 5 a 12.

Na viscosidade turbulenta, μ_{txx} , com relação à altura, observou-se um ligeiro aumento de 10 Pa.s até 15 Pa.s próximo à superfície. Em relação ao comprimento, observou-se que a parte central da região de bolhas é onde se localizam os maiores valores desse parâmetro dentro de uma faixa de 5 a 35 Pa.s em média. Foram os maiores valores de viscosidade turbulenta encontrados, direcionando para uma observação conclusiva de que a intensidade de turbulência é bastante influenciado pelo espalhamento horizontal do fluido devido à presença da bolha em deslocamento empurrando a água para as laterais.

Em μ_{tyy} sua variação na altura ficou próximo de um valor constante de 10 Pa.s. E em sua variação no comprimento observa-se que a intensidade ficou em torno de 10 Pa.s.

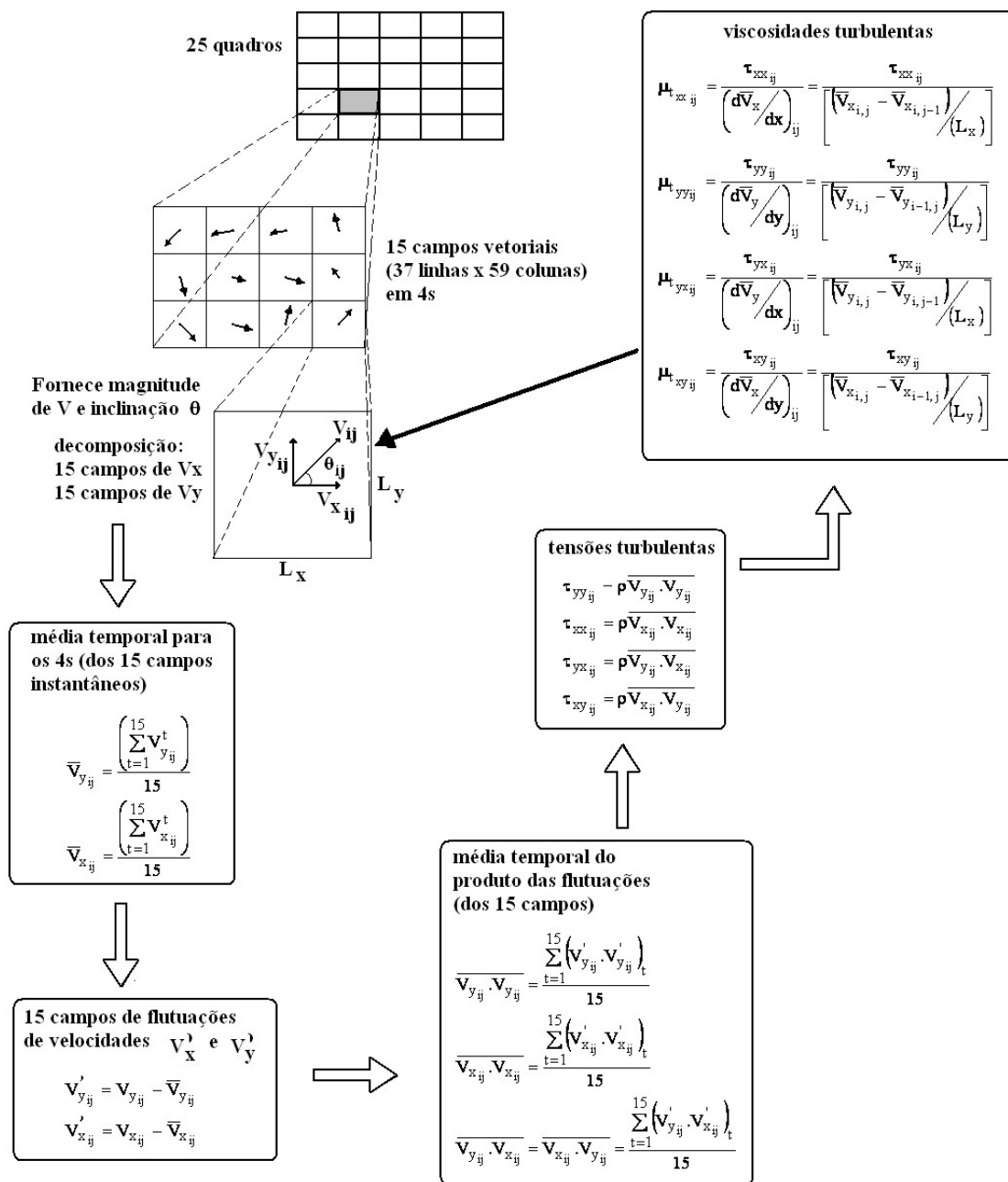
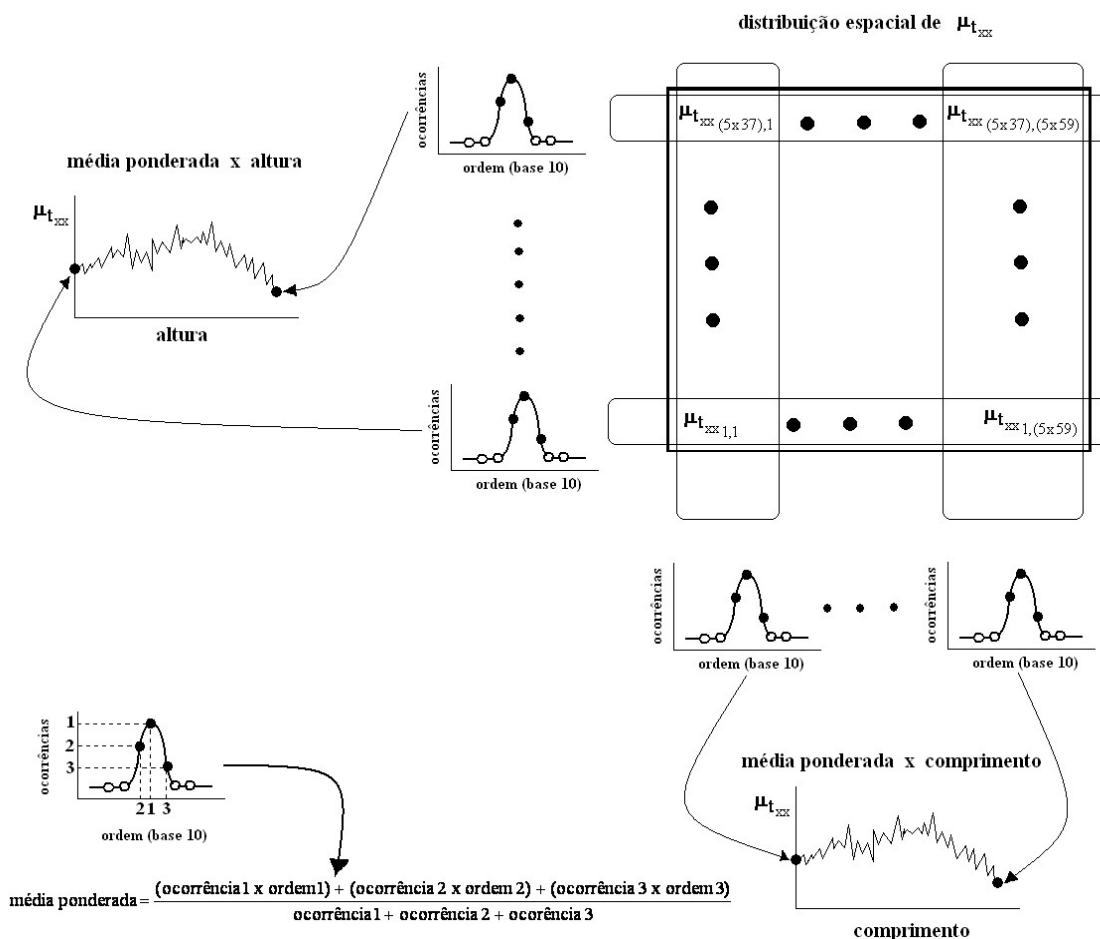


Figura 2: Fluxograma de tratamento dos dados a partir das imagens para obter as viscosidades turbulentas



ura).

Figura 3: Fluxograma de tratamento das viscosidades turbulentas para obter o perfil médio da distribuição de cada uma nas direções X (comprimento) e Y (altura).

Na viscosidade turbulenta μ_{txy} sua variação na altura ficou abaixo de 5 Pa.s. Enquanto sua variação no comprimento também foi observada a mesma magnitude.

Em μ_{tyx} nota-se que em sua variação na altura houve valores maiores na extremidade da superfície chegando a 5 Pa.s. E com relação a sua variação no comprimento, observa-se maior variação na região central, não ultrapassando 10 Pa.s.

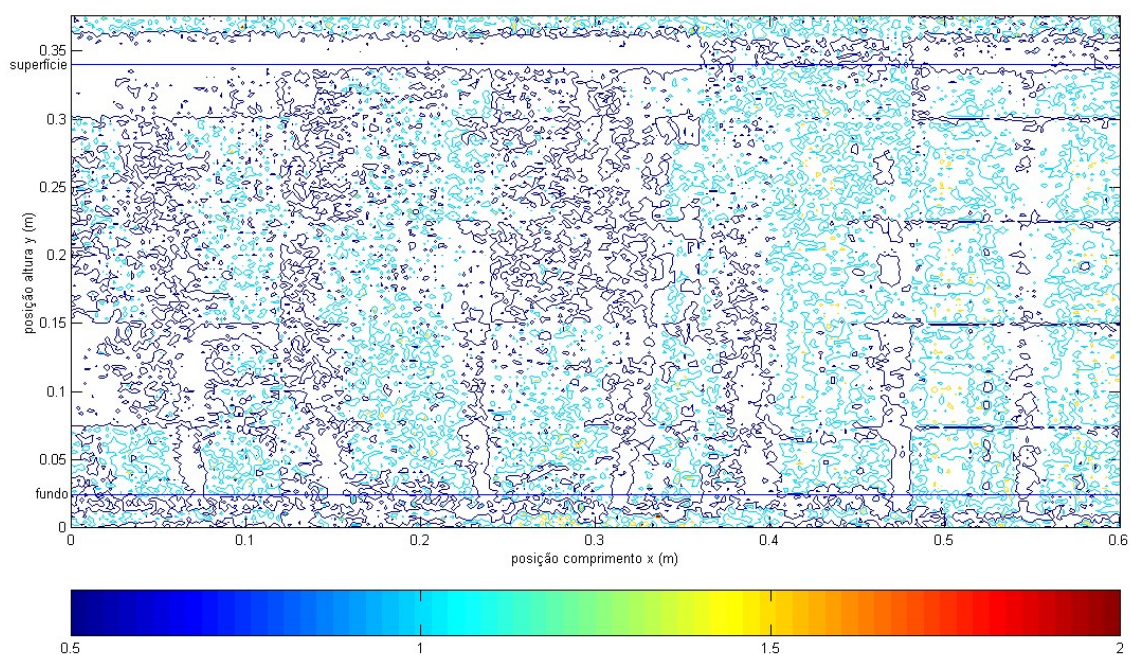


Figura 4: Disposição do campo de velocidades em contornos. A cor do contorno relaciona-se à escala de cor para velocidades em m/s

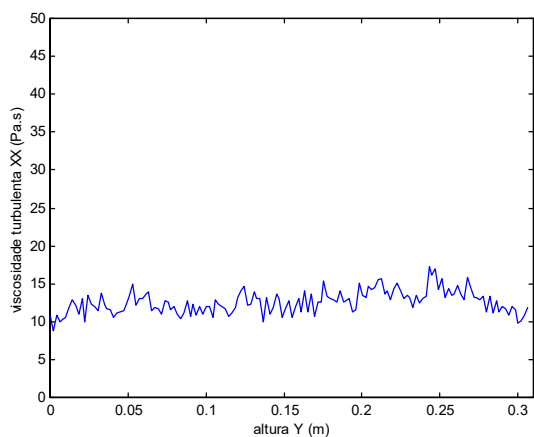


Figura 5: Comportamento na direção Y das viscosidades turbulentas μ_{txx} médias em X.

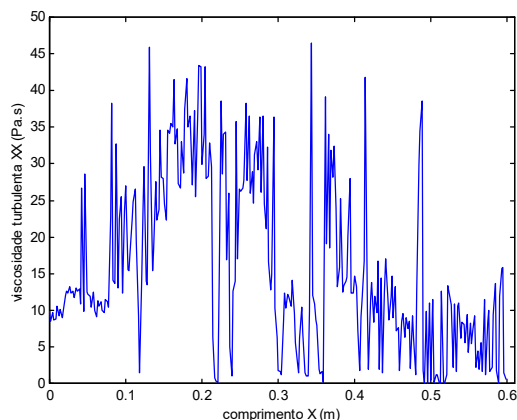


Figura 6: Comportamento na direção X das viscosidades turbulentas μ_{txx} médias em Y.

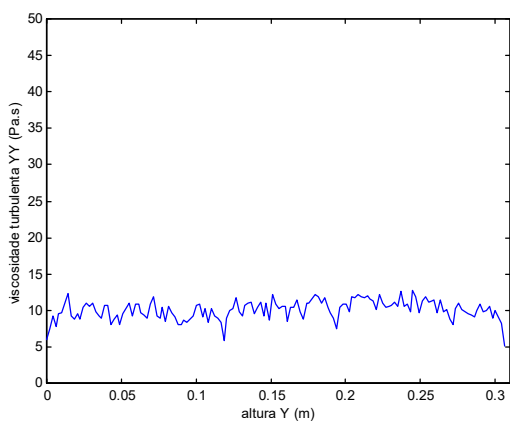


Figura 7: Comportamento na direção Y das viscosidades turbulentas μ_{tyy} médias em X.

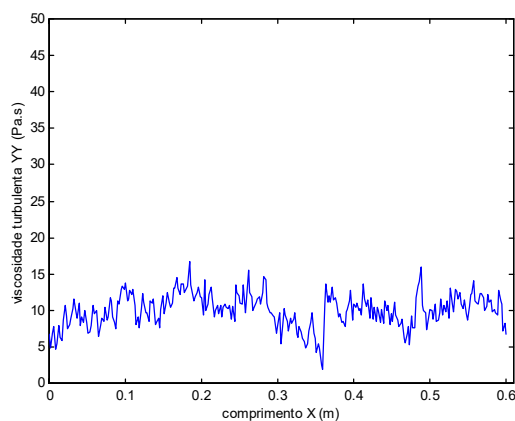


Figura 8: Comportamento na direção X das viscosidades turbulentas μ_{tyy} médias em X.

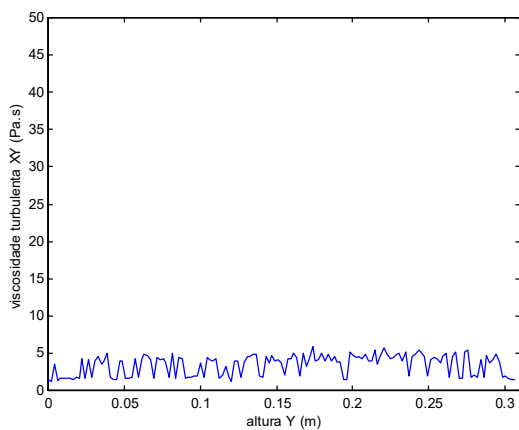


Figura 9: Comportamento na direção Y das viscosidades turbulentas μ_{txy} médias em X.

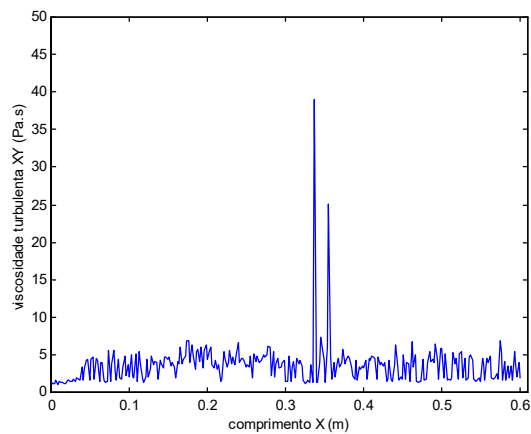


Figura 10: Comportamento na direção X das viscosidades turbulentas μ_{txy} médias em X.

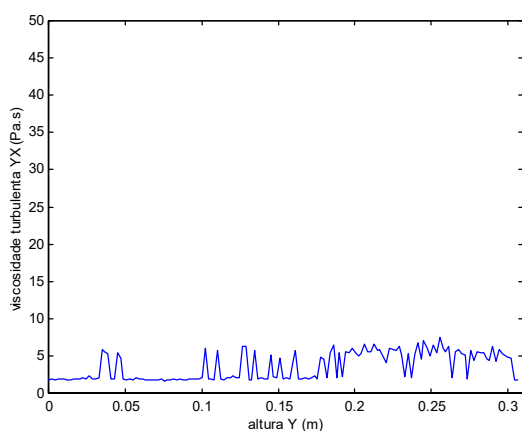


Figura 11: Comportamento na direção Y das viscosidades turbulentas μ_{tyx} médias em X.

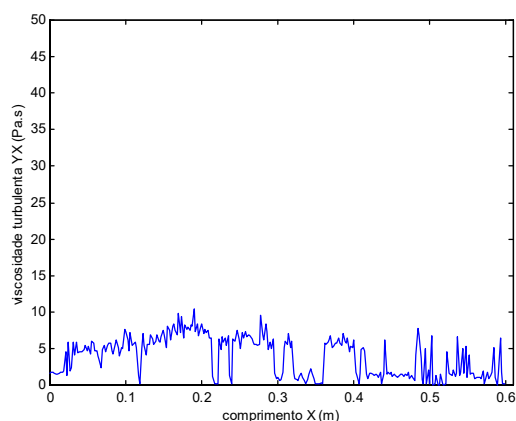


Figura 12: Comportamento na direção X das viscosidades turbulentas μ_{tyx} médias em X.

4. CONCLUSÃO

As viscosidades médias não tiveram variação significativa ao longo das dimensões x e y (altura e comprimento). Não houve uma tendência comportamental evidente, a qual pudesse ser correlacionada além de médias. Entretanto, observou-se um menor nível de turbulência junto às paredes e um maior nível na região entre bolhas, fato já esperado. O efeito da agitação é tão intenso que oculta o escoamento na direção entrada-saída do canal, cuja velocidade média da água ficou em torno de 0,005m/s.

No meio aquoso com alto grau de agitação por bolhas, é possível usar valores de viscosidades turbulentas médias (em qualquer direção) na faixa de 5 a 30 Pa.s para efeito de cálculos e estimativas rápidas sem significantes degenerações dos resultados para sistemas semelhantes ao desse trabalho.

A técnica PIV mostrou-se adequada por se tratar de uma técnica não intrusiva, não afetando o escoamento natural das bolhas.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à FAPESP (proc. 0302768-1) pelo apoio financeiro a este trabalho.

6. REFERÊNCIAS

BALDI, S., YIANNESKIS, M. *On the Quantification of energy dissipation in the Impeller Stream of a Stirred Vessel from Fluctuating Velocity Gradient Measurements*, London, 2004.

FAN, J.; MAO, Z.; WANG, Y. *Numerical Simulation of Turbulent Solid-liquid two-phase and Orientation of Slender particles in a Stirred Tank*, China, 2005.

LIU, Z., ZHENG, Y., *PIV Study of Bubble Rising Behavior*, Canada, 2006.

ORLINS, J.J.; GULLIVER, J.S., *Measurement of Free Surface Turbulence*, In: *International Symposium on gas Transfer at Water Surfaces*, 4., Flórida, 2000.

SCHULZ, E. H. *O Essencial em Fenômenos de Transporte*. São Carlos, SP, EESC-USP, 2003.

SOUSA, R. G.; PINTO A. M. F. R.; CAMPOS, J. B.L. M. *Effect of gás expansion on the velocity of a Taylor bubble: PIV measurements*, Portugal, 2006