



IV-217 - ANÁLISE DA DISPERSÃO TURBULENTRA EM AERAÇÃO DE CORPOS HÍDRICOS USANDO A TÉCNICA PIV

Andreza Bortoloti Franco de Oliveira⁽¹⁾

Engenheira Agrimensora. Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental. Doutoranda em Hidráulica e Saneamento na EESC/USP.

Nivaldo Aparecido Corrêa⁽²⁾

Professor Doutor da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo-EESC/USP, Departamento de Hidráulica e Saneamento.

Endereço⁽¹⁾: Av. Trabalhador Sancarlense, 400 – Departamento de Hidráulica e Saneamento – São Carlos, SP - CEP: 13045-705 - Brasil - Tel: (16) 3373-9555 - e-mail: andrezab@sc.usp.br

RESUMO

Este artigo refere-se à obtenção experimental de valores de viscosidade turbulenta para inserção em modelagem fenomenológica da transferência de oxigênio das bolhas de ar para o meio líquido. Tais modelos, se bem realísticos, podem contribuir aos estudos de gestão de recursos hídricos ou em operações nos tratamentos de efluentes líquidos. O método experimental empregado foi a velocimetria por imagem de partículas, no qual foi possível obter velocidades instantâneas do fluido (água). Estas consideram o movimento turbulento, que é o principal responsável pelo transporte de oxigênio da superfície para o seio do corpo hídrico, sendo que essa superfície pode ser livre para o ambiente, ou a superfície de uma bolha. Praticamente, o método consiste em correlacionar posições de partículas traçadoras em suspensão no fluido, as quais são assumidas ter a mesma velocidade do fluido. As posições consecutivas para fornecer a trajetória e a velocidade foram obtidas por imagens capturadas em uma frequência definida através de uma câmera digital, onde a luz do laser contrastou as partículas em uma área desejada com uma precisão elevada. Então, nessa área, foi possível correlacionar um perfil de velocidades. E assim, os valores de viscosidade turbulenta foram obtidos para serem usados em modelagem da transferência de oxigênio, que poderão contribuir nos estudos de aeração em corpos hídricos.

PALAVRAS-CHAVE: aeração, escoamento turbulento, oxigênio dissolvido, velocimetria a laser.

INTRODUÇÃO

A dissolução de oxigênio em água é uma importante etapa no processamento de efluentes poluentes. Os microorganismos degradantes necessitam do oxigênio para oxidar compostos orgânicos e mineralizá-los em substâncias menos agressivas ao meio ambiente e à saúde humana. Na natureza a dissolução se faz através da interface água-ar ajudada pelos turbilhões, dado um regime de escoamento turbulento em corpos hídricos.

A quantidade e a concentração dos efluentes requerem área de troca significativa, incompatível com a área superficial dos corpos hídricos. Devido aos problemas decorrentes da poluição, é preciso a intervenção do próprio homem para aumentar a área de transporte de oxigênio dissolvido (OD), através da aeração forçada, onde a quantidade de bolhas provê uma significativa área de troca. A intensa agitação devido ao deslocamento, decorrente do empuxo, aumenta ainda mais a aeração forçada. Assim, a aeração forçada é largamente empregada no tratamento de efluentes líquidos. Existem várias formas de aumentar a área de contato entre o oxigênio e a água, desde a presença de obstáculos naturais para promover a turbulência do corpo d'água, até a aeração por injeção de bolhas de ar no sistema através de difusores, chamada aeração por bolhas. (Cirpka e Viessman, 1993).

Para se realizar essa dissolução em um ambiente controlado, onde a área exposta da interface não tem proporções satisfatórias, o modo mais fácil é borbulhar ar no meio líquido escoante para melhorar a transferência de oxigênio. O aerador (tanque de aeração) é a unidade responsável por esse processamento e suas configurações são várias, partindo desde simples tanques até torres de bandejas, operados em diversas formas. O motivo de tanta variação é buscar a maior eficiência possível na transferência de massa do oxigênio para a água.



O assunto de aeração é antigo e muita contribuição para o processo foi realizado, mas existe bastante a ser explorado (Corrêa, 2003). Por exemplo, no caso da aeração natural (sem bolhas e sem quebra de superfície) de água em regime turbulento, Schulz (1985 e 1989) mostra uma vasta bibliografia a respeito, enfocando as teorias básicas mais aceitáveis para explicar o fenômeno. Suas investigações foram realizadas em tanques agitados onde o oxigênio era transferido somente pela superfície e carregado para o seio líquido através dos movimentos turbulentos na interface.

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.

A estrutura do escoamento no regime turbulento é caracterizada por movimentos aleatórios, tridimensionais, de partículas fluidas, adicionais ao movimento principal (Fox, 2000).

A tridimensionalidade da turbulência pode ser percebida pela aleatoriedade do movimento das partículas. Outra característica importante de escoamentos turbulentos, mencionada por Schulz (1985) é a difusividade, que causa rápida mistura e aumenta a taxa de transferência de quantidade de movimento, de calor e de massa.

Os movimentos aleatórios de um regime de escoamento turbulento são chamados de turbilhões e se desenvolvem em todo o meio, abrangendo distâncias que podem ir desde as dimensões deste meio até as dimensões muito pequenas, estes causam transferência de energia entre si em diversas escalas de tamanhos (Schulz, 1985).

Neste trabalho, avaliou a dispersão turbulenta em aeração de corpos hídricos usando a técnica da velocimetria por imagem de partícula, que permite obter campos de velocidade (bidimensional e até tridimensional) instantâneos, através da medição do deslocamento de partículas inseridas no escoamento em estudo, onde os valores de viscosidade turbulenta foram obtidos para serem usados em modelagem da transferência de oxigênio contribuindo nos estudos de recuperação da qualidade da água.

MATERIAIS E MÉTODOS

A parte experimental deste trabalho 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 (Broa, Itirapina - SP).

A planta experimental constitui-se de um 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 do escoamento das plumas de bolhas e efeitos dos turbilhões e de traçadores. Os aeradores estão inseridos na linha central do fundo, igualmente distanciados em 10 cm e dispostos longitudinalmente. A saída do aerador é feita por transbordamento em um bocal apropriado. A alimentação do canal é obtida pela captação de água do Ribeirão do Lobo.

Para obter perfis de velocidade no canal, foi usada a técnica PIV (Particle Image Velocimetry) que é utilizada na obtenção das imagens para determinação dos campos de velocidades instantâneos e tamanho das bolhas em um campo bidimensional. Esta técnica consta de um feixe luminoso em forma de lâmina ("lente de luz plana") originado com laser de vapor de cobre (Oxford Lasers, modelo LS-20-10 20W), que ilumina quaisquer partículas suspensas no escoamento que passam pelo campo bi-dimensional do feixe.

Neste trabalho, o feixe de luz corta o tanque no sentido longitudinal vertical, e uma câmera CCD (Charge Coupled Device) na lateral do tanque captura várias imagens enquadrando a área luminosa. A câmera CCD utilizada é da marca KODAK MEGAPLUS ES1000 (1024x 1024 pixels), a qual tem a finalidade de capturar as imagens na área selecionada do escoamento iluminada pelo feixe de luz do laser e armazenar em micro-computador. Como mostra a figura 1:

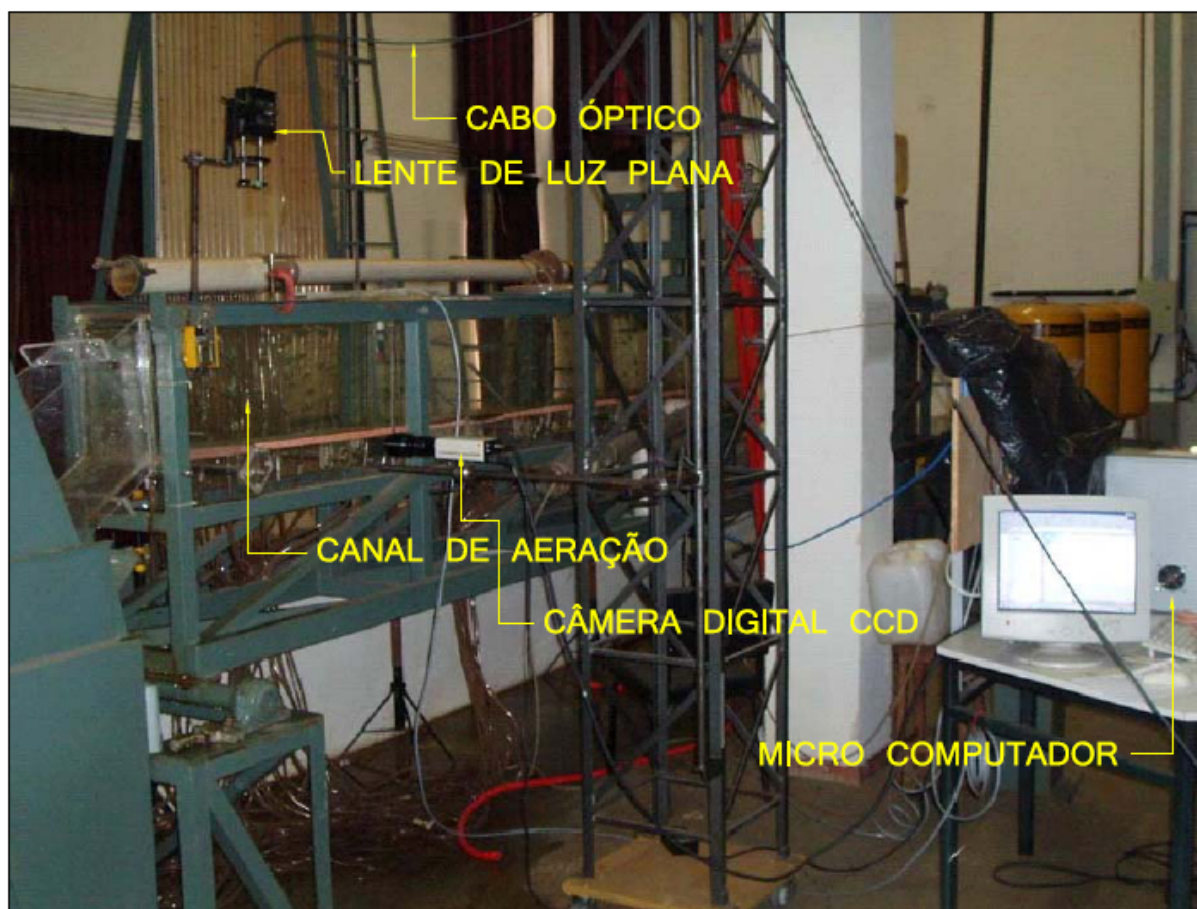


Figura 1: Equipamento em funcionamento, onde tem-se o canal de aeração, o cabo óptico com a lente de luz plana, e a câmera digital CCD conectada a um micro computador.

As imagens foram tratadas em um programa específico Visiflow, o qual possibilita escolher o modo de análise das imagens, que pode ser auto-correlação, correlação cruzada, rastreamento de partículas, interpolação dos campos de velocidade incompletos e binarização das imagens, entre outros recursos.

Neste trabalho o Visiflow forneceu valores de velocidade em diversos pontos (campos de velocidades), de acordo com a relação entre o deslocamento de partículas traçadoras e a frequência de captura da câmera, permitindo a filmagem em tempo real e amostragem de imagens em frequências configuráveis.

A principal vantagem da utilização do método de Velocimetria a Laser na determinação de campos de velocidade instantâneos é que se trata de um método não-intrusivo, não atrapalhando o escoamento normal das bolhas.

O uso do laser foi para obter dados de tensões de Reynolds e, essenciais no estudo do escoamento turbulento. Com esses dados é possível definir uma taxa de aeração a fim de validar os possíveis modelos.

RESULTADOS

A análise dos resultados consistiu-se na qualificação visual 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.

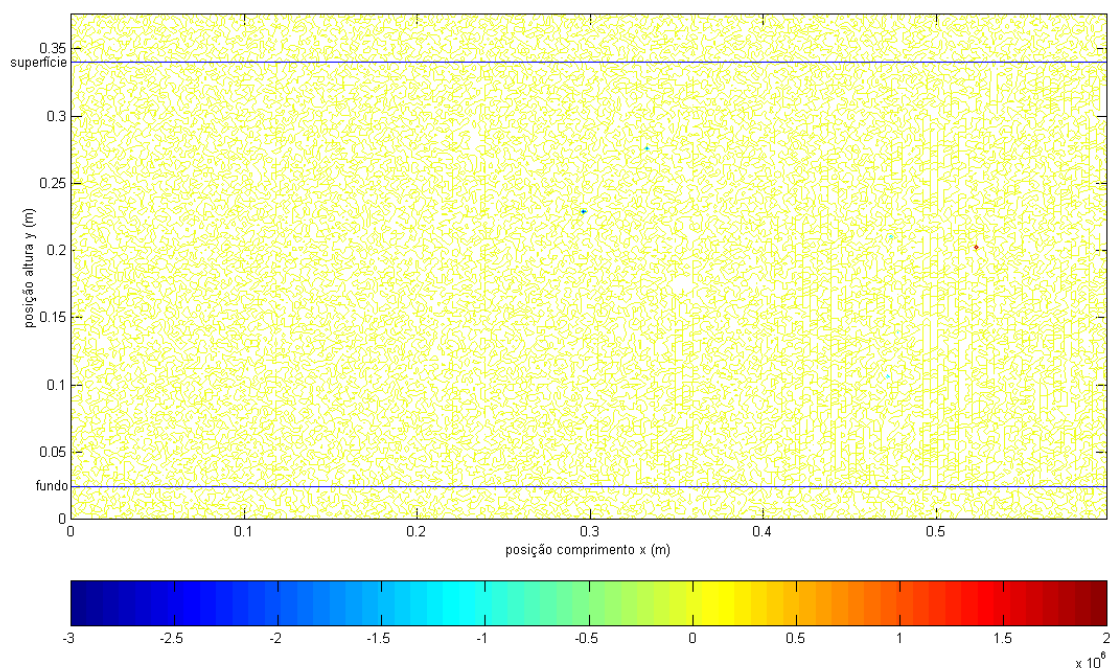
As velocidades flutuantes comporam as tensões de Reynolds $\overline{\rho v_x v_y}$, onde uma rotina de cálculo foi implementada em Matlab, para avaliar a viscosidade turbulenta.



Após o tratamento das imagens com a ferramenta matemática de correlação cruzada pertencente ao pacote computacional do utilitário Visiflow, obteve-se um campo vetorial sobre o qual foram efetuados os devidos cálculos para obtenção das viscosidades turbulentas.

O procedimento de determinação da média dos vetores foi: após determinado o campo médio de velocidade para cada conjunto de interesse, exportou-se para o Excel os valores dos vetores, onde foram calculadas velocidades flutuantes que comporam as tensões de Reynolds $\overline{\rho v_x v_y}$, e a partir dessas flutuações começou uma rotina de cálculo em Matlab para avaliar a viscosidade turbulenta.

Uma forma também adequada de se ter idéia da viscosidade turbulenta é a disposição em gráfico de contornos conforme Figura 2. A cor indica a disposição da viscosidade turbulenta em um contorno de acordo com a escala de cores na barra abaixo.



A figura 2 Disposição das viscosidades turbulentas $\mu_{t,xx} = \rho \overline{(v_x v_x)} / (d\bar{v}_x / dx)$ em contornos. Escala de cores em Pa.s.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

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.

Conclui-se, finalmente, que 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. Através de correlações para o número de Schimdt turbulento ($Sc = \frac{v_T}{D_{ABT}}$), as quais envolvem esse parâmetro de viscosidade turbulenta, por



exemplo, é possível estimar a difusividade turbulenta (D_{ABt}) do oxigênio dissolvido no meio aquoso para as devidas quantificações com objetivos de projeto, modelagem, controle do processo, entre outras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CIRPIKA, O.; VIESSMAN, W. *Environmentally Science Technologicv*.27, n10,p2086. 1993.
2. CORRÊA, N., A. Análise da dispersão turbulenta em aeração de corpos hídricos usando técnica PIV. Proposta de pesquisa Fapesp, 20p., 2003.
3. FOX, R. W. MACDOLNALD, A. T. *Introdução à mecânica dos fluidos*. 2000.
4. SCHULZ, H. E. *Investigação do Mecanismo de Reoxigenação da Água em Escoamento e sua Correlação com o Nível de Turbulência junto à Superfície*. São Carlos, SP, EESC/USP, 299p. (Dissertação), 1985.
5. SCHULZ, H. E. *Investigação do Mecanismo de Reoxigenação da Água em Escoamento e sua Correlação com o Nível de Turbulência junto à Superfície*. São Carlos, SP, EESC/USP, 348p. (Tese), 1989.
6. SCHULZ, H. E. *O Essencial em Fenômenos de Transporte*, São Carlos, EESC-USP, 2003.