

ESTUDO EXPERIMENTAL DO ESCOAMENTO TURBULENTO NAS PRIMEIRAS FILEIRAS DE BANCOS DE TUBOS

Cláudio Rodrigues Olinto

Fundação Universidade Federal do Rio Grande
Av. Itália, km 8, Rio Grande, RS
dfscro@furg.br

Luiz Augusto Magalhães Endres

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
endres@iph.ufgrs.br

Sérgio Viçosa Möller

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Rua Sarmiento Leite, 425, Porto Alegre, RS
svmoller@ufgrs.br

Resumo. Este trabalho apresenta um estudo experimental das características do escoamento turbulento ao atravessar as primeiras fileiras de bancos de tubos. O objetivo é entender o comportamento das instabilidades e fenômenos aleatórios e transientes que são gerados nas primeiras fileiras e o modo como se propagam através das fileiras mais interiores. As medições experimentais são obtidas em túnel de vento usando a técnica de anemometria de fio quente e as visualizações, usadas para ampliar o entendimento dos fenômenos, são realizadas em canal de água com injeção de tinta. Os dados experimentais são analisados por ferramentas estatísticas, espectrais e de ondaletas. Os resultados demonstram a presença de instabilidades geradas a partir da segunda fileira do banco de tubos, que se propagam para o interior, gerando um comportamento onde as três componentes ortogonais do escoamento são igualmente importantes.

Palavras chave: escoamentos turbulentos, bancos de tubos, ondaletas.

1. Introdução

O escoamento de fluidos sobre conjuntos de cilindros está presente em muitas aplicações de engenharia. Dentre os casos mais comuns podem ser citados: tubos de trocadores de calor, plataformas *offshore*, torres e linhas de transmissão de potência, grupos de chaminés, estacas de píeres e pontes, equipamentos de usinas nucleares, etc.

O escoamento de um fluido sobre estruturas sólidas está associado ao aparecimento de cargas dinâmicas causadoras de vibrações, que, em geral, são amplificadas com o aumento da velocidade do fluido. Os escoamentos sobre arranjos de cilindros distinguem-se fenomenologicamente em função da disposição dos tubos. Arranjos com grandes distâncias entre os tubos desenvolvem cargas dinâmicas associadas com o processo de geração e desprendimento de vórtices em frequências definidas. Nos arranjos com pequenas distâncias, o escoamento é caracterizado por um amplo espectro de energia sem uma frequência definida, que está relacionado com as flutuações de pressão e periodicidades geradas principalmente nas primeiras fileiras de cilindros sujeitas ao escoamento (Endres, 1997).

Indrusiak (2004) estudou a aplicação das transformadas de ondaletas para a interpretação de escoamentos turbulentos. Durante a aquisição de séries de velocidades na esteira do tubo central da terceira fileira de um banco de tubos alinhados, com razão de espaçamento de 1,26, foi identificado um regime de escoamento não estacionário, diferente do esperado, que só foi revelado através da decomposição dos sinais em bandas de frequências. Esse escoamento não estacionário apresentou características semelhantes ao que ocorre na esteira do escoamento sobre certas geometrias de dois cilindros posicionados lado a lado, denominado biestável, onde dois regimes metaestáveis são estabelecidos, trocando aleatoriamente entre si. Assim, o presente trabalho foi desenvolvido a fim de estudar geometrias de bancos de tubos empregadas em trocadores de calor, onde tal fenômeno poderia estar presente.

2. Técnica Experimental

2.1. Canal aerodinâmico

A seção de teste, mostrada na Fig. 1, é um canal retangular com 146 mm de altura por 195mm de largura. Ar é o fluido de trabalho, que movido por um ventilador centrífugo, chega até a seção de teste após passar por uma câmara de homogeneização formada por grades e telas, com um perfil uniforme de velocidade e uma intensidade de turbulência menor do que 1% (Endres, 1997). O espectro de velocidades foi calculado no interior do canal aerodinâmico, não

apresentando nenhum fenômeno com energia relevante na faixa de frequências estudadas. Um tubo de Pitot é colocado antes dos tubos em uma posição fixa para medir a velocidade de referência dos experimentos.

As velocidades instantâneas foram medidas usando a técnica de anemometria de fio quente a temperatura constante através de um equipamento DANTEC *StreamLine*.

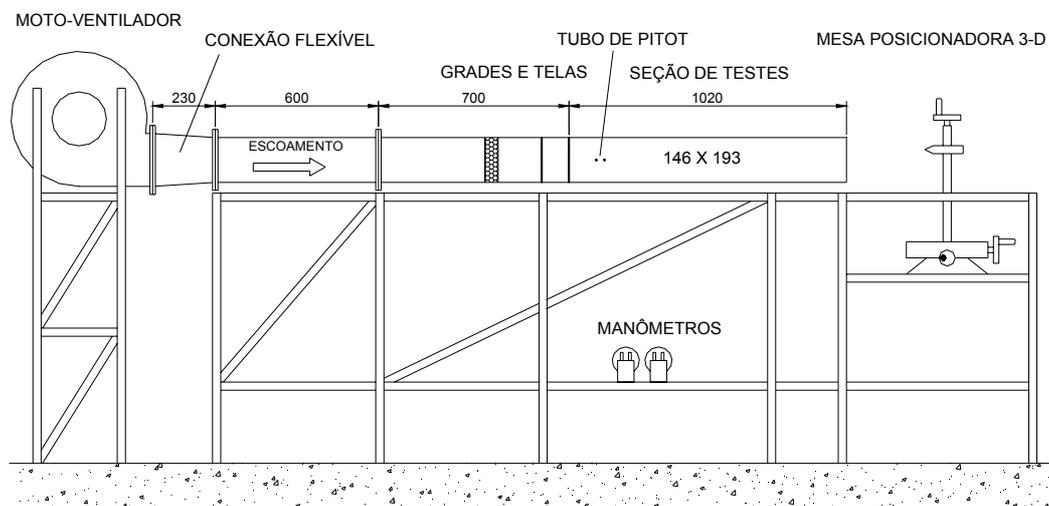


Figura 1. Esquema do canal aerodinâmico

Os dados de velocidade foram adquiridos simultaneamente utilizando uma placa conversora A/D modelo Keithley DAS-58 controlada por um computador pessoal, o qual também foi usado para avaliação dos resultados finais.

Os banco de tubos foram montados com tubos de PVC de 32,1 mm de diâmetro, posicionados verticalmente e distribuídos em 5 fileiras. Foram estudadas três diferentes geometrias de bancos de tubos com arranjos alinhados, onde, para as relações passo/diâmetro (T/D) de 1,4 e 1,6 as fileiras são compostas por 4 tubos e para $T/D = 1,26$, por 5 tubos. Os tubos têm comprimento de 146 mm e estão em contato com as paredes superior e inferior do canal.

2.2. Canal de água

Os experimentos de visualização de escoamento foram realizados em um canal de água de circuito fechado, pertencente ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O banco de tubos usado na visualização foi construído dentro de uma seção de acrílico transparente, com os tubos fixados verticalmente pela sua extremidade superior. Como o canal é de superfície livre, a seção de testes de acrílico também possui a função de evitar os efeitos de oscilações e formação de ondas de superfície. O perfil de velocidades no interior da seção de testes foi levantado (Olinto, 2005) e mostra uma boa uniformidade. O espectro de velocidades não foi possível calcular, devido à falta da instrumentação necessária. Para visualizar as estruturas formadas no escoamento foi usada a injeção de tinta, utilizando agulhas, convenientemente posicionadas. As imagens do campo de escoamento foram gravadas digitalmente na forma de vídeo. As fotografias apresentadas no presente trabalho foram obtidas diretamente dos vídeos.

A seção de testes é mostrada na Fig. 2. Os tubos foram construídos em tubos de PVC com diâmetro de 75 mm. O tubo central foi construído em acrílico transparente e possui um espelho elíptico posicionado a 45° na metade da altura dos tubos do banco (Fig. 3). Esse arranjo permite a visualização do plano vertical do escoamento, na fenda estreita formada entre o tubo de acrílico e seu vizinho lateral. No tubo visto através do espelho, é injetada tinta no interior da fenda por intermédio de uma agulha.

3. Ferramentas Matemáticas

A decomposição dos sinais de velocidade em bandas de frequências é feita usando transformadas de ondaletas. Essa técnica permite o estudo de fenômenos turbulentos sem a hipótese de estacionariedade, o que é necessário, para o estudo de escoamentos transientes ou quando estruturas não estacionárias estão presentes. A descrição das transformadas de ondaletas discreta e contínua é feita conforme Indrusiak and Möller, 2004. Todas as rotinas de análise matemática foram realizadas na plataforma Matlab 5.3.

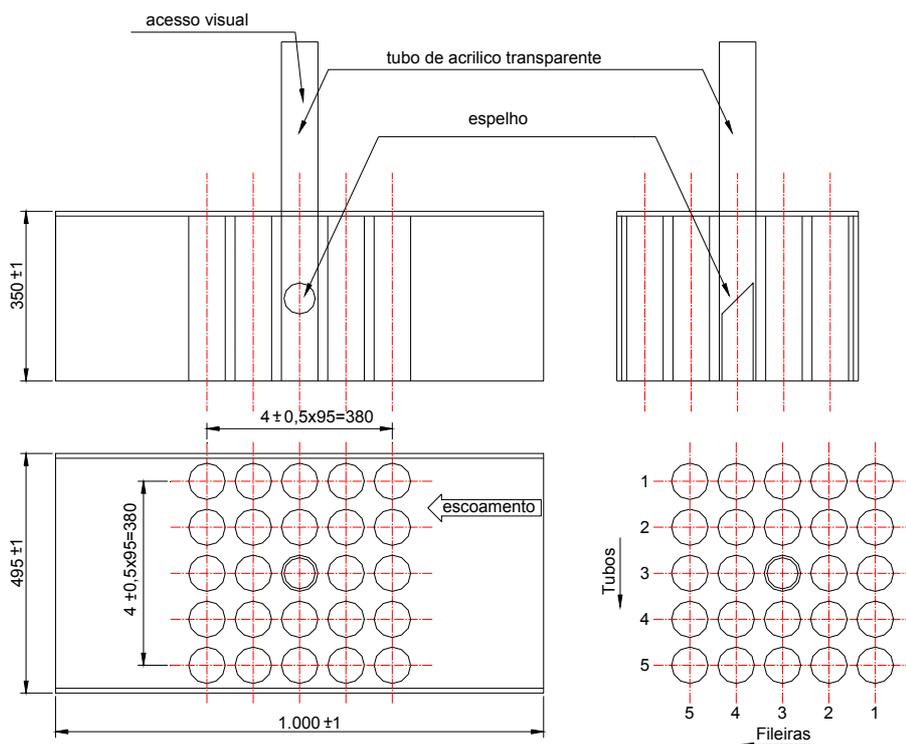


Figura 2. Esquema dimensional da seção de testes para visualização no canal de água (dimensões em mm).



Figura 3. Detalhe do tubo central, mostrando o posicionamento do espelho.

4. Resultados

4.1. Medições de velocidade

Para detectar a presença de componentes transversais ao escoamento, foram realizadas medições de velocidade utilizando-se uma sonda de fio quente dupla do tipo fio reto e inclinado, que permite, além de medir o valor da velocidade na direção do escoamento, identificar o ângulo que essa velocidade faz com uma direção de referência (que neste caso é o eixo da sonda). As medições foram realizadas em diversos pontos no interior dos bancos de tubos, a fim de identificar a presença de trocas no modo de escoamento. Para a identificação das melhores posições a serem medidas, também foram levadas em conta as visualizações realizadas.

Para o banco de tubos com $P/D = 1,26$, é apresentado na Fig. 4, o resultado da medição de velocidade e o ângulo que a mesma faz com o eixo da sonda, em um escoamento em regime permanente, onde a sonda foi posicionada na esteira do tubo central da terceira fileira. O número de Reynolds, calculado com a velocidade do escoamento na fenda estreita formada entre dois tubos adjacentes e o diâmetro dos tubos, foi de $8,4 \times 10^4$. A amostragem foi realizada com uma frequência de 3 kHz. O ângulo é medido em um plano vertical, sendo considerados valores positivos quando a velocidade incidente na sonda é de baixo para cima.

A Figura 5 mostra o detalhe do intervalo entre 3 e 5 s, onde pode-se identificar que determinados padrões no escoamento ocorrem e persistem durante algum tempo, alternando após para um novo padrão. No caso citado, entre os tempos ao redor de 4,2 s e 4,5 s, há uma redução na flutuação de velocidade, ficando os valores de velocidade mais próximos de 30 m/s. Nesse mesmo intervalo, há uma considerável redução na flutuação do ângulo que se direciona mais para 20°. A aplicação da transformada discreta de ondaletas para separar os sinais entre 3 e 5 s em bandas de frequências permite observar melhor essas características.

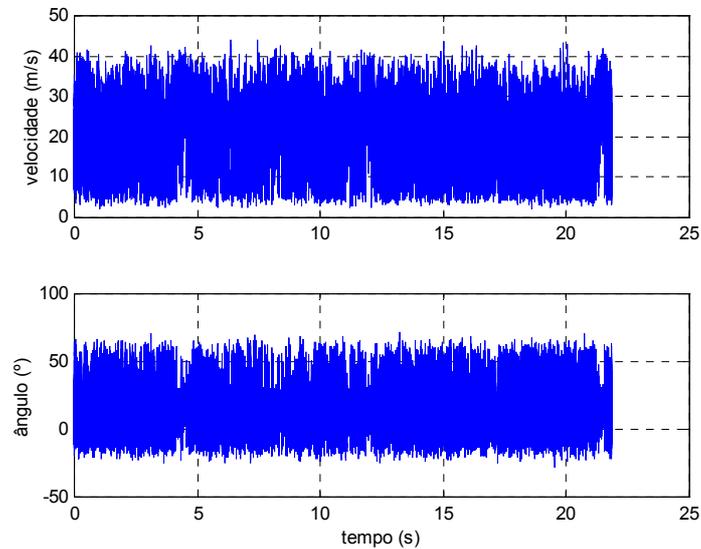


Figura 4. Velocidade e ângulo de incidência medidos atrás do tubo central da terceira fileira ($P/D=1,26$).

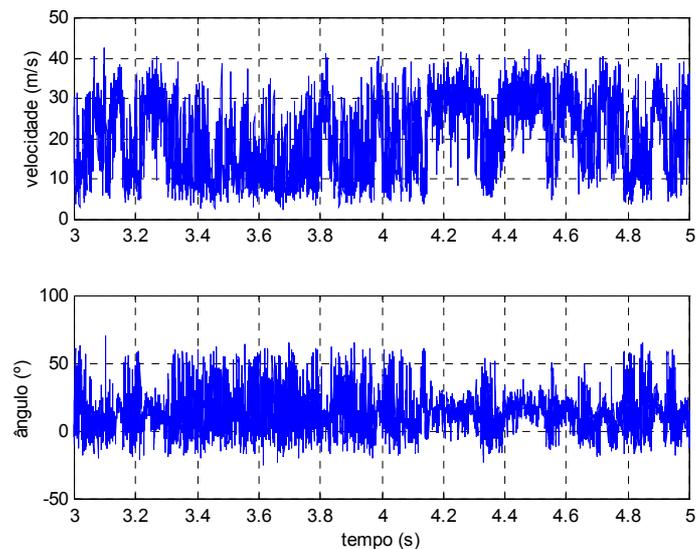


Figura 5. Detalhe entre 3 e 5s do sinal mostrado na Fig. 4.

A decomposição apresentada na Fig. 6(a) mostra, através da aproximação até 2,9 Hz, que o valor da velocidade média no intervalo entre 4,2 e 4,6 s se mantém em um patamar de 25 m/s, sendo modulado por uma frequência entre 2,9 e 5,8 Hz, o que faz com que haja a queda no valor da velocidade instantânea no tempo de 4,55 s. Também se pode observar que, no intervalo entre 3,5 e 3,8 s, a velocidade média permanece ao redor de 15 m/s. Além disso, nas bandas de frequência mais altas, no intervalo onde a velocidade média é alta, a amplitude dessas frequências é menor.

A Figura 6(b) mostra as decomposições feitas para o ângulo de incidência da velocidade. A aproximação de 0-2,9 Hz mostra o comportamento do ângulo médio. Pode-se identificar que associado ao intervalo onde a velocidade média permanece nos valores mais altos estão os menores ângulos médios. Também se observa que para esse intervalo (4,2 a 4,6 s) as amplitudes das oscilações das maiores bandas de frequência são as menores.

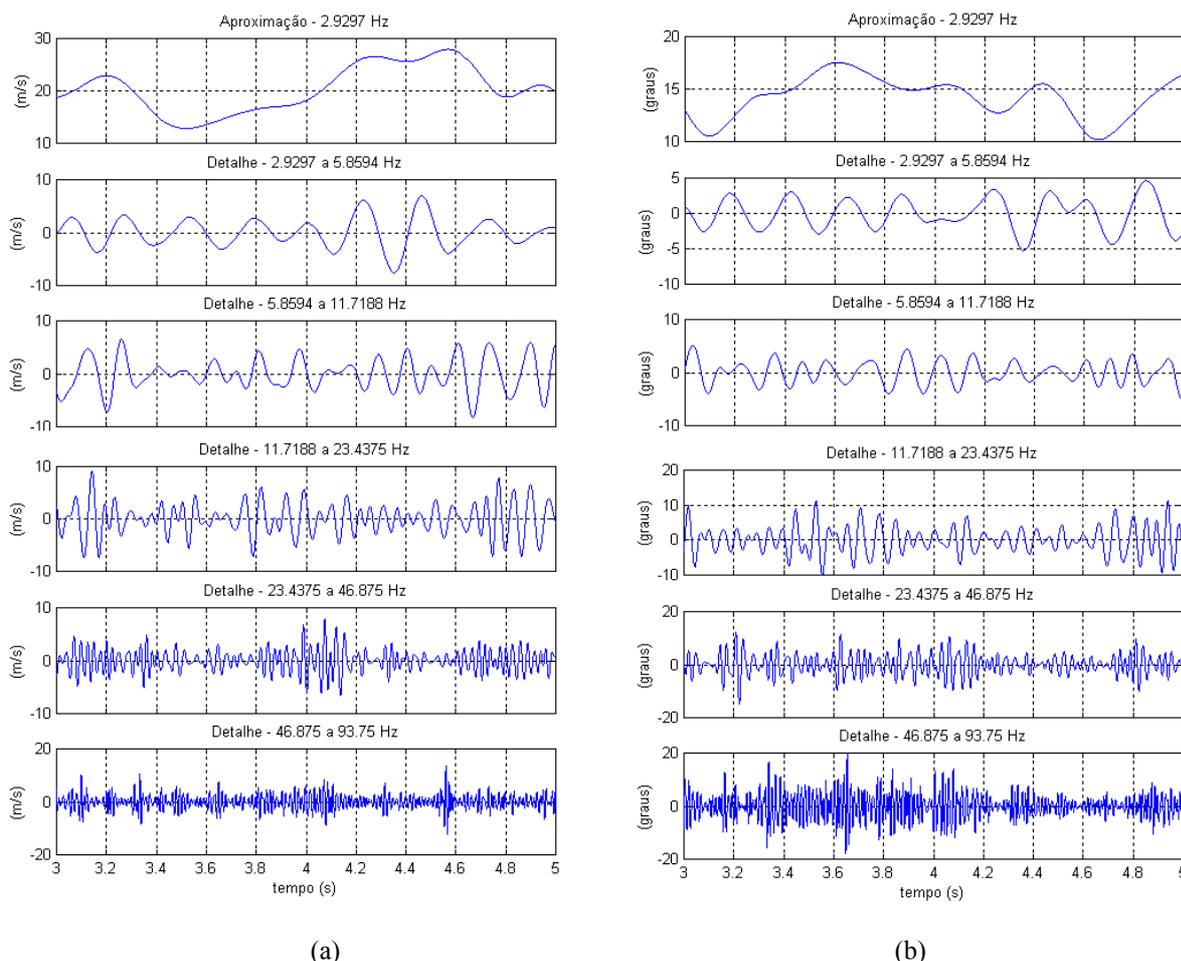


Figura 6. (a) Decomposição do sinal de velocidade e (b) ângulo de incidência do sinal da Fig. 5 em bandas de frequência utilizando a transformada discreta de ondaletas.

Para observar de forma mais detalhada as energia envolvidas ao longo do tempo, em termos de frequências, foram gerados espectrogramas, calculados através de transformadas contínuas de ondaletas. Na Figura 7, é mostrado o espectrograma da velocidade para o mesmo intervalo de tempo apresentado na Fig. 4.45, onde se pode identificar que, nos instantes onde a velocidade flutua ao redor de valores mais altos, há uma maior concentração de energia nas baixas frequências (intervalos 3-3,3 s e 4,2-4,6 s). Ao contrário, no intervalo onde a velocidade flutua ao redor dos menores valores de velocidade, há um maior espalhamento da energia em diversas frequências (intervalo entre 3,4-4,2 s).

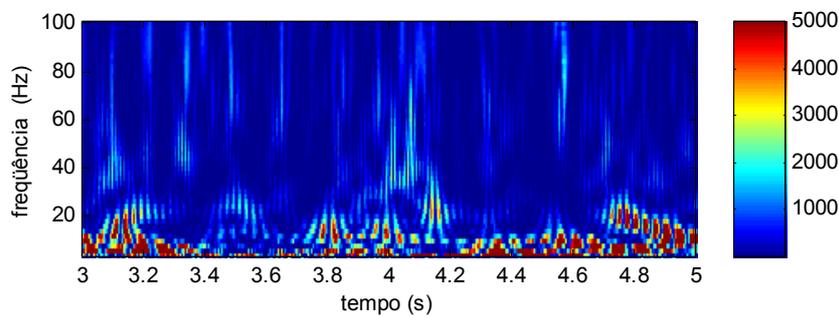


Figura 7. Espectrograma da velocidade no intervalo entre 3 e 5 s para o sinal da Fig. 5 (escala de energia arbitrária).

O espectrograma das flutuações dos ângulos da velocidade apresenta um comportamento exatamente ao contrário. Para os maiores valores de velocidade, o ângulo possui menor energia de flutuação em todas as bandas de frequência, concentrando alguma energia apenas nas frequências mais baixas (Fig. 8).

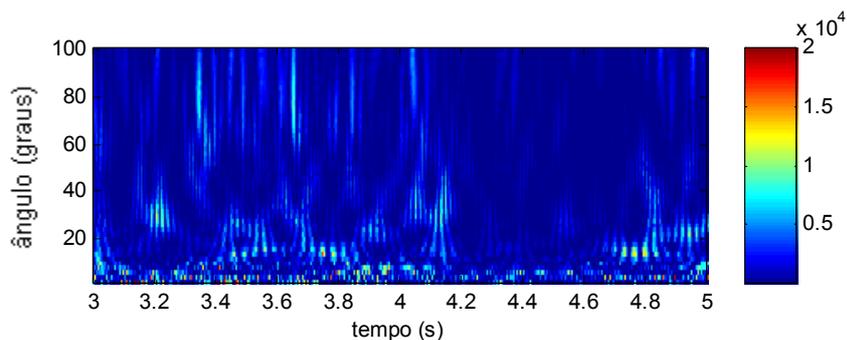


Figura 8. Espectrograma do ângulo de incidência da velocidade no intervalo entre 3 e 5 s para o sinal da Fig. 5 (escala de energia arbitrária).

Para o banco de tubos com razão de espaçamento de 1,4, é apresentada, a seguir, uma série de velocidade e ângulo de incidência obtida na esteira da terceira fileira. A série é obtida com uma frequência de amostragem de 3 kHz, em regime permanente, com um número de Reynolds de $7,4 \times 10^4$. Os sinais instantâneos são mostrados na Fig. 9, e as decomposições de velocidade e ângulo de incidência, respectivamente, nas Figuras 4.54 e 4.55. As características apresentadas nessa série são muito semelhantes às apresentadas para o banco de tubos com $P/D = 1,26$. Quando a velocidade se mantém em valores mais altos, há flutuações com menores amplitudes em todas as bandas de frequência e o ângulo de incidência se mantém em valores mais baixos e com menores flutuações. Nesse caso, uma troca no modo de escoamento não é visualizada de maneira muito clara, pois ocorrem em intervalos de tempo muito breves. Os tempos de permanência em velocidade elevada são em torno de 1 s e as quedas na velocidade ocorrem quase como pulsos. Dessa forma, pode-se concluir que para a medição realizada com o banco com $P/D = 1,4$, não ocorreu uma estabilidade entre os dois modos de escoamento, contudo, a flutuação na componente vertical do escoamento pôde ser identificada com muita clareza.

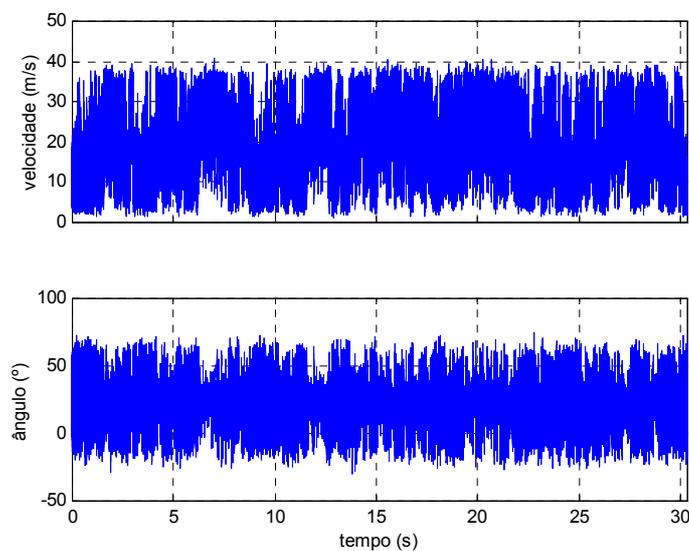
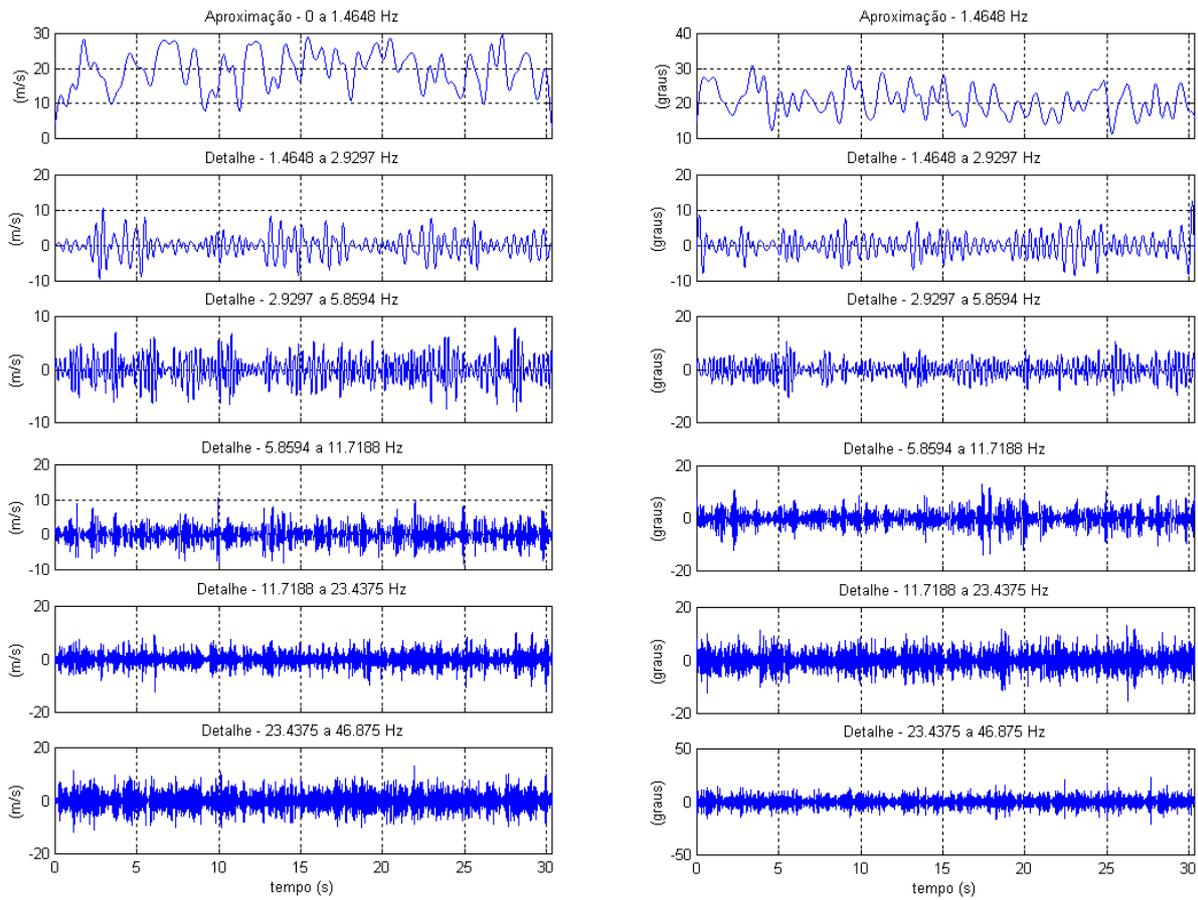


Figura 9. Velocidade e ângulo de incidência na esteira da terceira fileira do banco de tubos com $P/D = 1,4$.



(a)

(b)

Figura 10. (a) Decomposição do sinal de velocidade e (b) ângulo de incidência correspondente ao sinal da Fig. 9 em bandas de frequências.

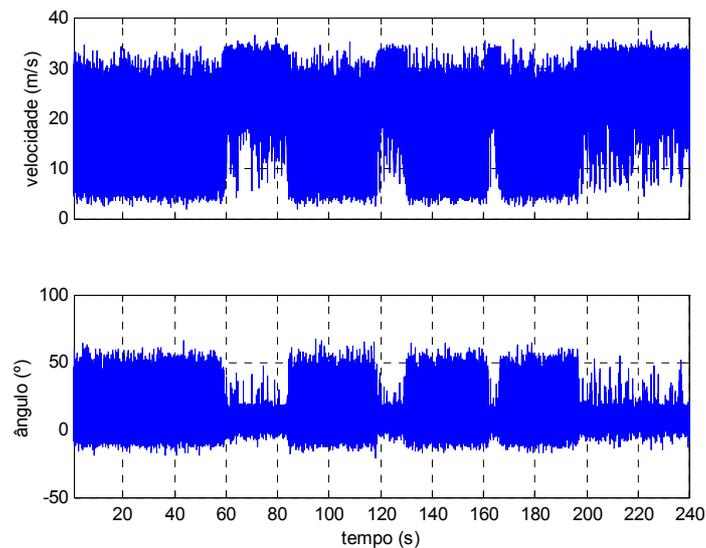


Figura 11. Velocidade e ângulo de incidência medidos atrás da segunda fileira do banco de tubos com $P/D=1,6$.

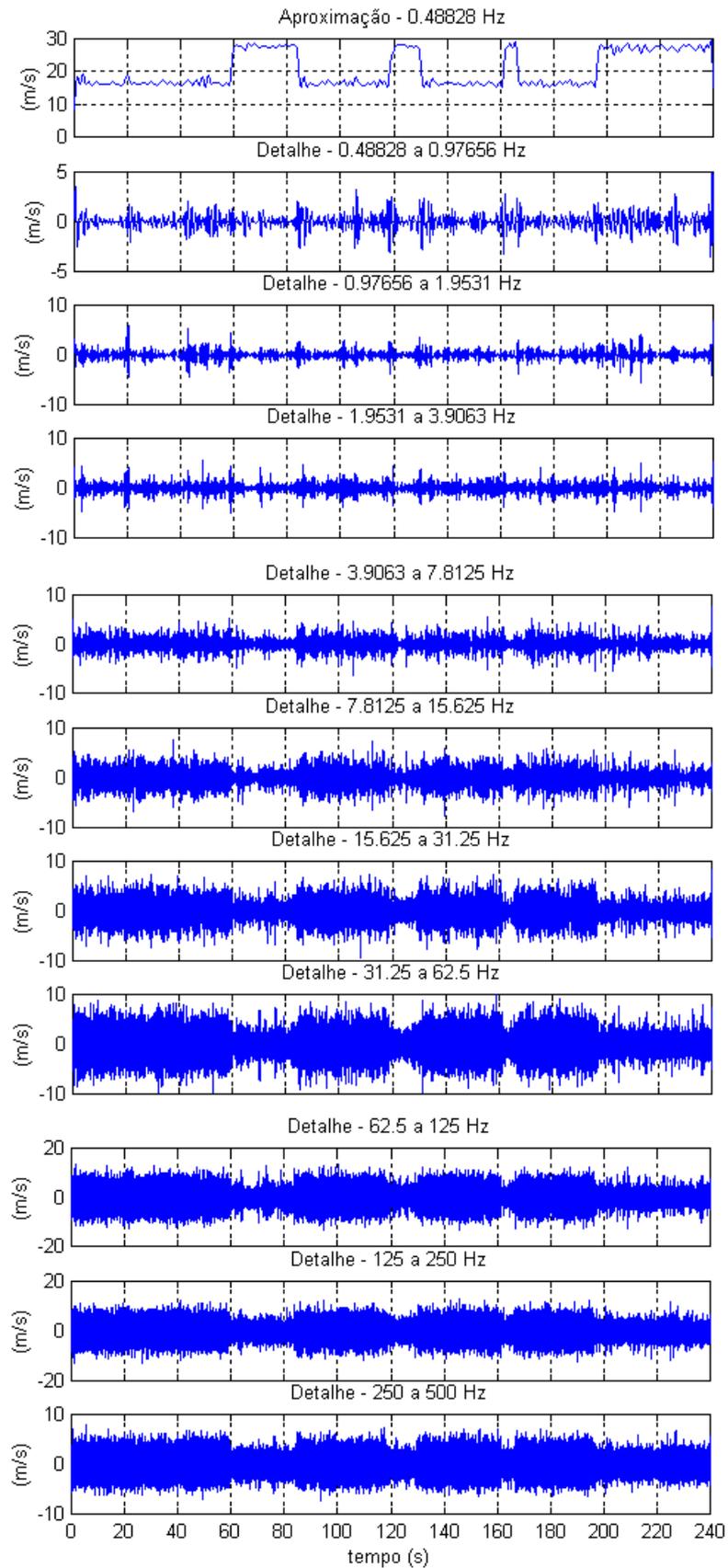


Figura 12. Decomposição do sinal de velocidade da Fig. 11.

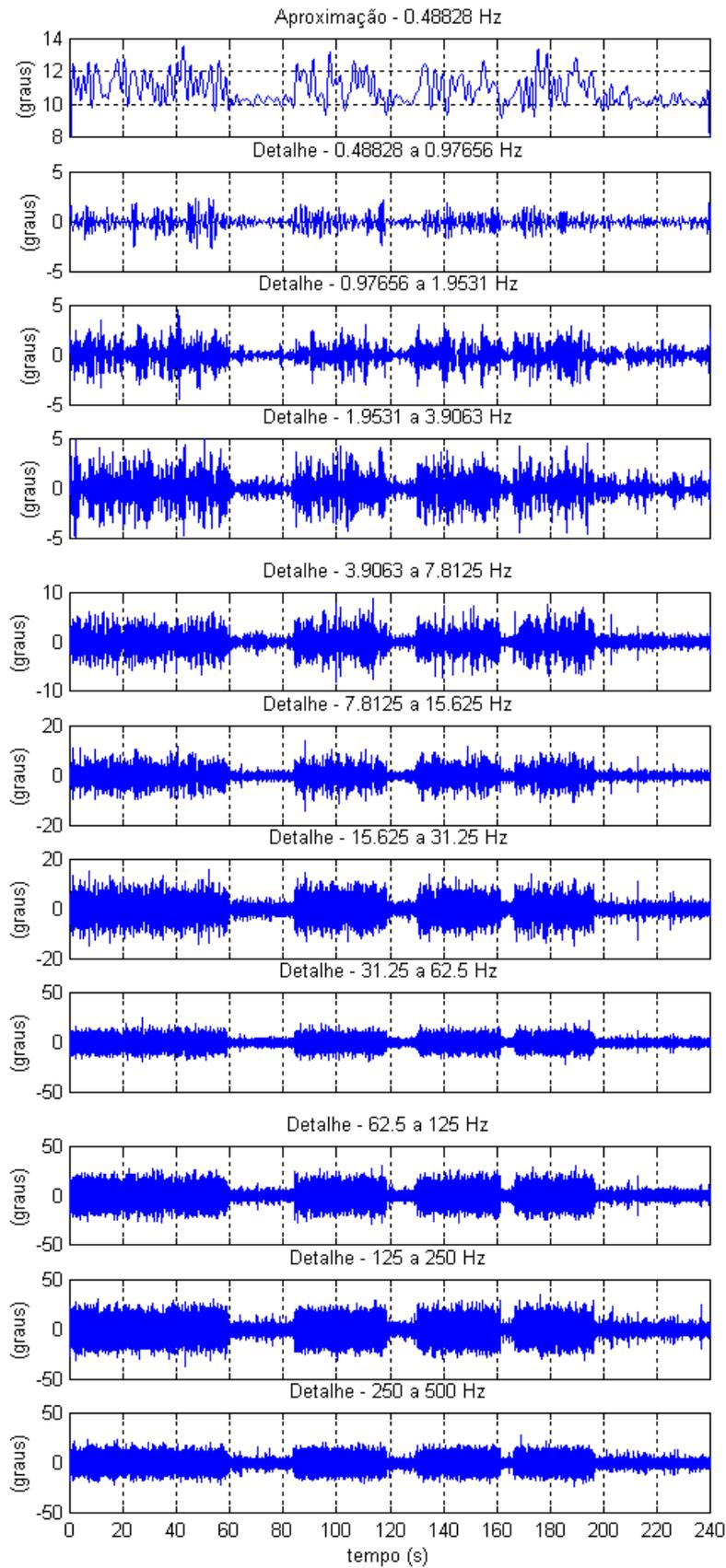


Figura 13. Decomposição do ângulo de incidência da Fig. 11.

Para o banco com razão de espaçamento de 1,6, é apresentada, na Fig. 11, uma série de velocidade e ângulo de incidência obtida atrás da segunda fileira, para um número de Reynolds de $7,4 \times 10^4$. As Figuras 12 e 13 mostram as decomposições da velocidade e ângulo de incidência em bandas de frequências. Nessa série, pode-se identificar a troca no modo de escoamento de forma muito clara. Observando-se diretamente os sinais instantâneos de velocidade e ângulo de incidência, é possível identificar a presença de dois modos diferentes no escoamento. As características de cada modo, em termos de frequências, ocorrem para todas as bandas. Na Figura 12, correspondente à decomposição do sinal de velocidade, pode-se observar que, associado aos intervalos em que a velocidade permanece com valores elevados (~ 28 m/s), há uma menor amplitude das flutuações em todas as bandas de frequência. Por outro lado, quando a velocidade flutua ao redor de valores mais baixos (~ 17 m/s), há uma maior amplitude nas flutuações de velocidade em todas as bandas decompostas. Comportamento semelhante é observado na de decomposição dos ângulos (Fig. 13), onde, nos intervalos em que o ângulo médio tende a um alinhamento na direção de 11° , há uma redução nas amplitudes de flutuação de todas as bandas de frequência.

Na Figura 14 é mostrado o espectrograma calculado através de transformada de ondaletas contínua do intervalo entre 44 e 76 s. Pode-se verificar que antes de 60 s há um grande espalhamento de energia em todas as frequências apresentadas. Após 60 s, onde ocorre uma troca no modo de escoamento, o espectrograma apresenta-se com muito menor energia em todas as faixas de frequência.

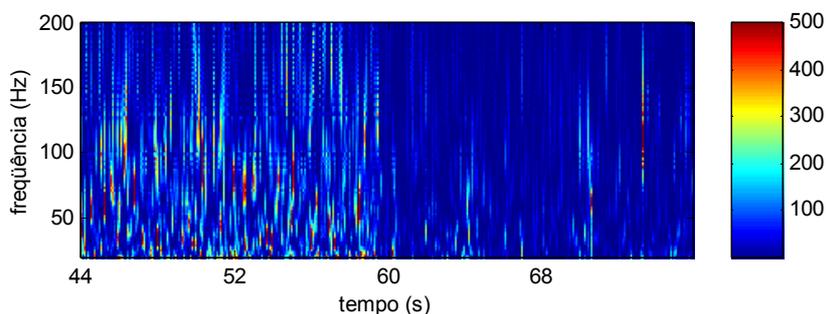


Figura 14. Espectrograma de parte do sinal de velocidade da Fig. 11.

4.3.6. Visualizações

As visualizações do escoamento, efetuadas no canal de água, foram realizadas usando o banco de tubos com razão de espaçamento de 1,26. O objetivo foi auxiliar na compreensão do comportamento do escoamento ao atravessar as primeiras fileiras do banco de tubos. Os escoamentos foram realizados para diversos números de Reynolds, calculados com a velocidade média nas fendas e o diâmetro dos tubos. A velocidade da fenda foi calculada a partir da velocidade de aproximação. A injeção de tinta ocorreu de três formas: através do conjunto de agulhas mostrado que injetam tinta a 60 mm abaixo da parede superior da seção de testes, na direção das fendas estreitas entre os tubos de cada fileira, através da agulha posicionada no interior do tubo vizinho ao tubo de acrílico e através de uma agulha móvel, que permite a injeção de tinta a 60 mm do fundo do canal, em qualquer posição desejada.

O primeiro ensaio, visto na Fig. 15, mostra que o escoamento próximo à parede superior sofre um desvio para a esquerda (visto de montante para jusante) e o filete de tinta, visto através do espelho, no tubo central, tem uma tendência para baixo (Fig. 15(a)). O escoamento próximo ao fundo é desviado para a direita (Fig. 15(b)).

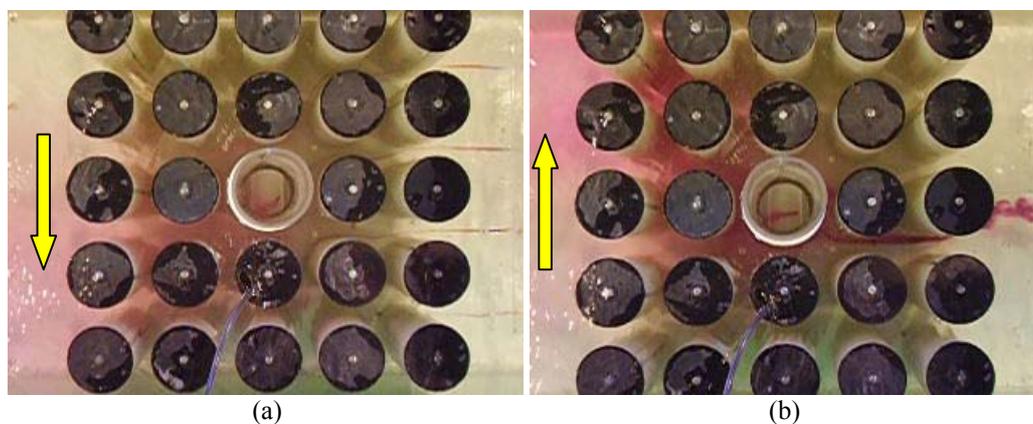


Figura 15. Visualização do escoamento sobre o banco de tubos. $Re = 3,07 \times 10^4$. (a) injeção a 60 mm da parede superior, (b) injeção a 60 mm do fundo. (as setas indicam a componente transversal gerada)

O segundo ensaio mostrado para o banco de tubos segue um padrão de escoamento oposto ao primeiro ensaio, ou seja, o escoamento próximo à parede superior ocorre com desvio à direita (Fig. 16(a)) e o escoamento de fundo com desvio à esquerda (Fig. 16(b)). No espelho do tubo central é visto um desvio, no plano vertical, para cima na altura média dos tubos.

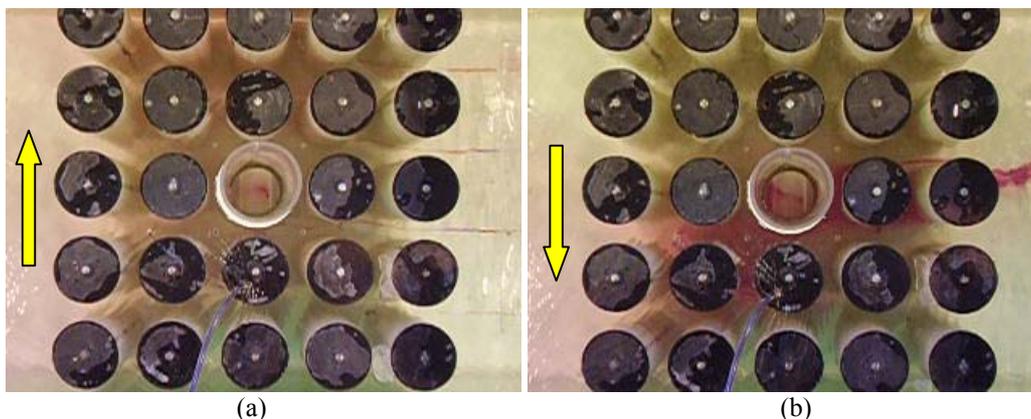


Figura 16. Visualização do escoamento sobre o banco de tubos. $Re = 3,18 \times 10^4$. (a) injeção próxima a parede superior, (b) injeção próxima do fundo. (as setas indicam a componente transversal gerada)

5. Conclusões

Neste trabalho, é apresentado um estudo experimental do escoamento cruzado sobre as primeiras fileiras de bancos de tubos com arranjo quadrangular. Foram realizadas medições de velocidade, a fim de detectar as instabilidades geradas nessas primeiras fileiras que atuam sobre o escoamento, alterando as suas características. As medições foram realizadas em um canal aerodinâmico com bancos de tubos alinhados e razões de espaçamento de 1,26, 1,4 e 1,6. Para auxiliar na interpretação dos resultados, foram feitas visualizações em um canal de água, com um banco de tubos alinhados com razão de espaçamento de 1,26.

Um fenômeno de alteração aleatória no modo de escoamento, caracterizado pela presença de componentes transversais ao escoamento principal e que leva ao aparecimento de tridimensionalidades com escala da ordem da dimensão do canal, foi identificado. A ocorrência de tal fenômeno pode tornar-se uma importante origem de instabilidades dinâmicas, visto que pode alternar os coeficientes de sustentação e arrasto dos tubos, alterando a resposta dinâmica das estruturas envolvidas. Esse fenômeno foi detectado através de medições de velocidade em bancos de tubos com três razões de espaçamento no canal aerodinâmico. As medições de velocidade foram realizadas na faixa de números de Reynolds denominada regime subcrítico, onde se espera que os fenômenos gerados apresentem um comportamento semelhante e independente da velocidade do escoamento.

O fenômeno identificado é semelhante ao escoamento biestável que ocorre na geometria de dois tubos posicionados lado a lado transversalmente ao escoamento. Fenômeno semelhante, também ocorre no escoamento sobre uma fileira de tubos, onde as esteiras que emergem das fendas estreitas entre os tubos, desviam-se para formar conjuntos instáveis, que podem mudar de configuração aleatoriamente. O jato que emerge entre dois cilindros interage com as esteiras formadas por cada cilindro, como resultado, o jato central é defletido para a direção de um cilindro, podendo permanecer nesta posição durante um tempo, para depois retomar seu comportamento aleatório. A origem desse fenômeno, contudo, não é completamente entendida. Ele tem sua origem na velocidade e assim, na vorticidade, e em flutuações das esteiras da vizinhança. É esperado que, no início do processo, as esteiras sejam geradas independentemente uma da outra. Se os vórtices vizinhos têm a mesma fase, a flutuação irá fazer a esteira crescer. Se a razão de espaçamento P/D é maior do que um, mas pequena o suficiente para garantir a interação entre as esteiras dos cilindros adjacentes, a esteira resultante não se comporta como um único corpo rombudo, devido ao escoamento através da fenda entre os tubos. Preferencialmente, ela permanecerá desviada para detrás de um tubo, até que uma nova perturbação desestabilize a esteira e o processo se inicie novamente.

Em bancos de tubos, o fenômeno de troca é influenciado por um escoamento altamente desordenado após a segunda e a terceira fileira, o qual, em algumas geometrias, não permite a observação de uma frequência característica. Contudo, o processo de desprendimento de vórtices ainda ocorre. Se a interação das esteiras, descrita para os dois cilindros posicionados lado-a-lado ou para uma fileira de tubos, ocorre, a troca no modo será fortemente influenciada pela presença dos tubos da próxima fileira. Como não há espaço físico para a formação da esteira, devido à presença dos tubos da fileira seguinte, o escoamento será direcionado para cima ou para baixo, ou seja, na direção paralela ao eixo dos tubos, resultando em uma forte característica tridimensional para o escoamento através do banco. Essa componente, no plano formado pelo eixo dos tubos e a direção do escoamento principal, acarreta uma redistribuição do escoamento, gerando componentes transversais ao eixo dos tubos e ao escoamento.

Em função do processo de aceleração/desaceleração que ocorre nos jatos que escoam no interior das fendas na direção do escoamento, as velocidades dentro das fendas do banco de tubos não se distribuem de forma completamente

homogênea. A diferença entre as velocidades pode provocar a geração e desprendimento de vórtices em frequências diferentes e estar relacionada com as instabilidades que causam o efeito tridimensional.

As medições de velocidade, realizadas no interior das três geometrias de banco de tubos resultaram em diferentes tempos de permanência entre cada modo, em função da razão de espaçamento dos tubos. Para o banco com $P/D = 1,26$, o tempo de permanência em cada modo foi da ordem de 0,5 s. Para o banco com $P/D = 1,4$ a troca de modo ocorreu na faixa de 1 a 2 s e, para o banco com $P/D = 1,6$, foi da ordem 10 s. Isso leva a concluir que o tempo em que ocorrem as trocas no modo de escoamento está associado à geometria do banco de tubos, quanto maior a razão de espaçamento, maior será o tempo de permanência em cada modo.

Os experimentos de visualização permitiram reconhecer que o início desse escoamento transversal ocorre a partir da região de jusante da segunda fileira do banco de tubos

Nos experimentos onde o ar foi o fluido de trabalho, a troca nos modos de escoamento ocorreu de forma natural, seguindo uma característica de aleatoriedade. Nos experimentos de visualização em canal de água, tal fato não pôde ser identificado. As trocas no modo de escoamento só ocorreram a cada novo experimento, ou seja, a cada reinicialização do sistema de circulação de água. Tal fato também é citado por Summer et al. (1999), que relata, que em seus experimentos, a natureza biestável do escoamento desviado não foi detectada nos ensaios em canal de água. Isso, conforme eles, poderia ser atribuído a uma combinação de um pequeno grau de desalinhamento dos cilindros e a efeitos experimentais, como as razões de aspecto e bloqueio. Summer et al. (1999) chamam a atenção, também, para o fato que experimentos prévios, nos quais o padrão de escoamento biestável foi reportado, foram realizados somente em túneis de vento. Este processo, portanto, parece associado às características do fluido e às relações geométricas dos canais empregados nos estudos. Assim, novos trabalhos devem ser realizados a fim de verificar, através do estudo de similaridade, se os grupos adimensionais clássicos são capazes de capturar todas as características da classe de escoamentos estudados.

O estudo realizado, que permitiu a identificação dos efeitos tridimensionais gerados nas primeiras fileiras de bancos de tubos na forma de componentes transversais à direção principal do escoamento, reforça a idéia de que, em sendo a turbulência um fenômeno tridimensional, as hipóteses de bidimensionalidade, por vezes adotada como simplificação na análise, podem não levar em conta importantes características do escoamento.

5. Referências

- Endres, L. A.M., 1997, "Análise experimental do campo de pressões flutuante em bancos de tubos submetidos a escoamento transversal turbulento", Tese de Doutorado, PROMEC-UFRGS, Porto Alegre.
- Indrusiak, M. L. S., 2004, "Caracterização de escoamentos transientes usando transformada de ondaletas", Tese de Doutorado, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre.
- Indrusiak, M. L. S. e Möller, S. V., 2004, "Wavelet analysis of experimental turbulence time series", IV Escola de Primavera de Transição e Turbulência, ABCM, Porto Alegre.
- Olinto, C. R., 2005, "Estudo experimental das características do escoamento turbulento nas primeiras fileiras de bancos de tubos", Tese de Doutorado, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre.
- Summer, D., Wong, S. S. T., Price, S. J. and Païdoussis, M. P., 1999, "Fluid Behaviour of side-by-side circular cylinders in steady cross-flow", Journal of Fluids and Structures 13, pp. 309-338.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE TURBULENT FLOW IN THE FIRST ROWS OF TUBE BANKS

Cláudio Rodrigues Olinto
dfscro@furg.br

Luiz Augusto Magalhães Endres
endres@iph.ufgrs.br

Sérgio Viçosa Möller
svmoller@ufgrs.br

Abstract: *This work presents an experimental study of the characteristics of the turbulent flow after the first rows of tube banks. The objective is to understand the random and transient behavior of the instabilities and phenomena that occur in the first rows of tube banks and propagates to its interior. The experimental results are obtained through measurements in a wind tunnel and the visualizations in a water canal. For the attainment of the velocity fields the hot wire anemometry technique is used. The experimental data are analyzed by statistical, spectral and wavelets tools. The visualizations are made through the technique of injection of dye directly in the flow. The results show the presence of instabilities generated from the second row of the tube bank, that propagates to the interior of the bank, generating a behavior where the three orthogonal components of the flow are equally important. The three-dimensional behavior of the flow is responsible for a redistribution of mass inside of the bank of tubes that leads to velocity values and Strouhal numbers not expected for the studied geometry.*

Keywords: turbulent flow, tube bank, wavelet.