

ESTUDO EXPERIMENTAL DO ESCOAMENTO AO REDOR DE CILINDROS RETANGULARES POSICIONADOS EM LINHA

M.L.F. Fogal, E.D.R. Vieira e S.S. Mansur

Universidade Estadual Paulista, UNESP Ilha Solteira, Faculdade de Engenharia,
Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Brasil n. 56, Centro
Ilha Solteira – SP, CEP15385-000

Palavras chaves: cilindros retangulares, esteira de von Kármán, visualização de escoamentos, desprendimento de vórtices, número de Strouhal.

RESUMO

O escoamento ao redor de corpos cilíndricos encontra larga aplicação em diversos campos da engenharia. Com efeito, edifícios, monumentos, chaminés, caixas d'água e outros tipos de construções civis acham-se expostos à ação contínua do vento natural, assim como cabos de sustentação, linhas e torres de transmissão de energia elétrica. Do mesmo modo, pilares de pontes e dutos ou estruturas de plataformas de prospecção de petróleo estão submetidos aos efeitos permanentes de correntes fluviais ou marítimas. Escoamentos envolvendo a interação fluido-estrutura são, ainda, observados em inúmeros outros sistemas fluidomecânicos, dentre os quais incluem-se trocadores de calor multitubulares, e grades de turbomáquinas hidráulicas.

Este tipo de escoamento apresenta alto grau de complexidade, caracterizando-se pela interação simultânea entre diferentes camadas cisalhantes. Sob determinadas condições, vórtices são emitidos alternadamente de ambos os lados do obstáculo, dando origem à chamada esteira turbilhonária de von Kármán. A frequência de emissão destes vórtices (f) se relaciona com a velocidade média de aproximação do escoamento (V) e com a dimensão característica do corpo sólido (D) através do número de Strouhal (Sr), dado por:

$$Sr = \frac{f \cdot D}{V_{\infty}} \quad (1)$$

Em determinadas situações práticas, dois ou mais cilindros podem estar tão próximos uns dos outros, que o escoamento ao redor de cada um deles interfere na movimentação do fluido em torno dos cilindros adjacentes. Nestes casos, a dinâmica global do escoamento modifica-se radicalmente em relação àquela observada em torno de cilindros isolados.

No presente trabalho, realizou-se um estudo qualitativo e quantitativo do escoamento em torno de dois cilindros de base quadrada dispostos em linha, como mostrado na Figura 1, empregando-se como técnica experimental a visualização de escoamentos. Os ensaios foram realizados para números de Reynolds inferiores a 500, utilizando-se o túnel hidrodinâmico vertical da Figura 2, aqui operado em modo *blow-down*. Nesta condição, o reservatório superior é carregado com água da rede urbana e, após a completa tranquilização do fluido de trabalho, são acionadas as válvulas de controle de vazão, gerando um escoamento de ótima qualidade no interior da seção de testes, com intensidade turbulenta sempre inferior a 0,5%.

A técnica de visualização utilizada, conhecida como *dye wash*, consiste na injeção de uma grande quantidade de corante sobre os modelos de prova, durante um certo período. O excesso de corante é rapidamente removido pelo escoamento nas regiões de maior velocidade, permanecendo por mais tempo nas zonas de velocidade menos elevada, notadamente na base dos corpos, tornando possível a visualização de toda a região da esteira.

Diferentes configurações de escoamentos puderam ser identificadas, variando-se o espaçamento entre os cilindros e o número de Reynolds, através da captura de imagens em película fotográfica, realizada com o auxílio de uma câmera Nikon F4s, munida de uma objetiva Nikon micro AF 60mm/f.1:2,8.

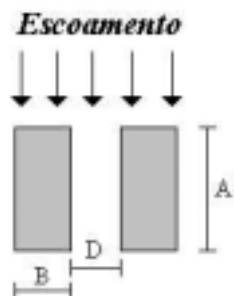


Figura 1: Cilindros de base quadrada em linha, dispostos perpendicularmente ao escoamento principal.

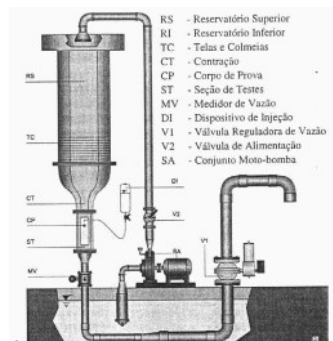


Figura 2: Túnel hidrodinâmico vertical de baixa turbulência, operado pela ação da gravidade.

A Figura 3 compara a estrutura do escoamento ao redor de um cilindro de base quadrada isolado, com aquele verificado em torno de um arranjo de dois corpos dispostos em linha, separados por uma distância de $0,5B$ e $1,5B$, respectivamente. Os resultados para o cilindro isolado foram obtidos por Lindquist (2000), no mesmo túnel hidrodinâmico empregado neste trabalho.

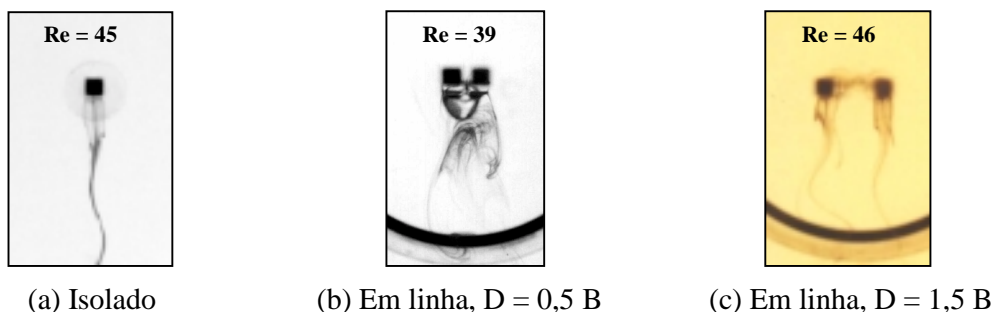
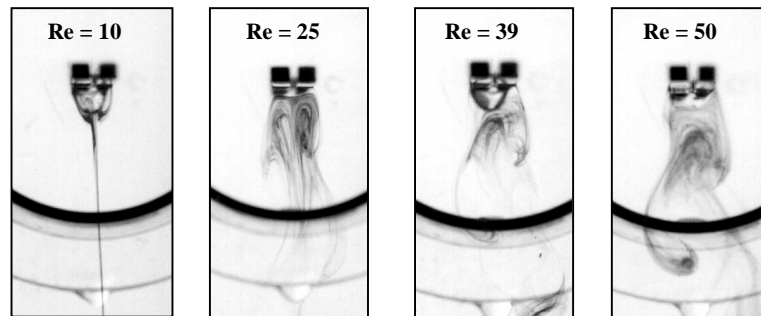


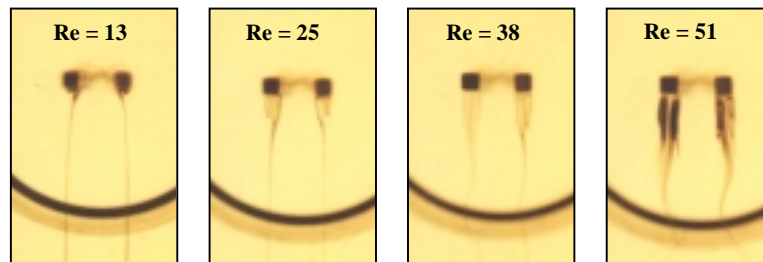
Figura 3: Escoamento em torno de cilindros de base quadrada isolado e agrupados em linha.

A Figura 4 apresenta imagens do escoamento ao redor dos mesmos arranjos de cilindros quadrados dispostos em linha, para diferentes números de Reynolds. Como era de se esperar, a influência de um cilindro sobre o outro aumenta na medida em que os cilindros se aproximam um do outro. Para os cilindros afastados de $0,5B$, pode-se observar, em alguns casos, até mesmo a fusão das duas esteiras, que perdem sua identidade.

Para a obtenção da frequência de emissão de vórtices, necessária ao cálculo do número de Strouhal, empregou-se o método de contagem de fotogramas, que se baseia exclusivamente na interpretação de imagens dinâmicas do escoamento, previamente registradas em fita magnética. As Figuras 6 e 7 apresentam o comportamento do número de Strouhal para os dois corpos dispostos em linha, para números de Reynolds variando entre 50 e 500. Os resultados são confrontados com os dados de Lindquist (2000), obtidos por anemometria de filme quente, para um cilindro isolado. Na Figura 6 observa-se que o número de Strouhal permanece praticamente constante com a variação de Reynolds para uma distância de $0,5B$. A Figura 7 indica que o comportamento do escoamento através de dois cilindros em linha com distância $1,5B$ se comporta, aproximadamente, como se fossem um único corpo. Esta comparação ressalta a influência mútua que os corpos exercem um sobre o outro, e que afeta sensivelmente a frequência de Strouhal.



(a) - cilindros separados por uma distância $0,5B$.



(b)- Cilindros separados por uma distância $1,5B$.

Figura 4: Evolução do escoamento ao redor de cilindros dispostos em linha, em função do número de Reynolds.

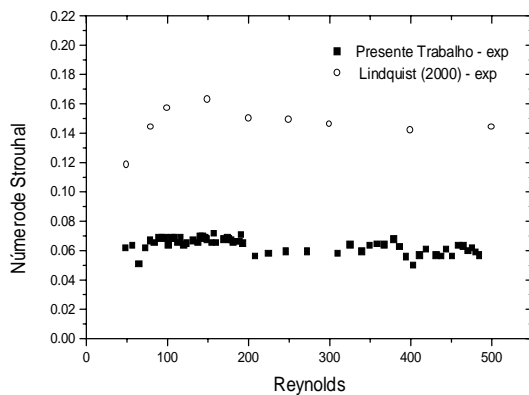


Figura 6: Curva de Strouhal para dois cilindros quadrados dispostos em linha, com distância de $0,5B$ entre eles.

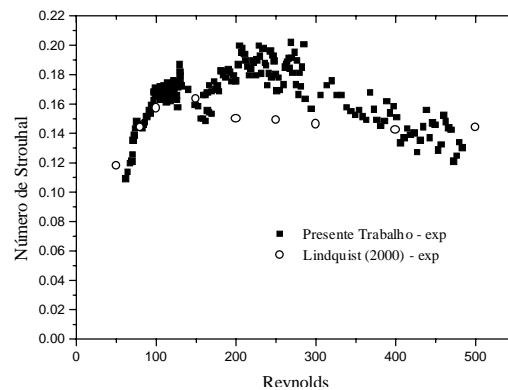


Figura 7: Curva de Strouhal para dois cilindros quadrados dispostos em linha, com distância de $1,5B$ entre eles.

Agradecimentos: Os autores agradecem o Departamento de Engenharia Mecânica da FEIS/UNESP pelo apoio prestado na execução do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Joshi, H.M. & Webb, R.L., 1987, "Heat transfer in the offset strip-fin heat exchanger", *Internacional Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol.30, pp.69-84.
- Lindquist, C., "Estudo experimental do escoamento ao Redor de cilindros de base quadrada e retangular", *dissertação de mestrado*, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, Ilha solteira, Brasil, 188p, 2000.