



Instituto Politécnico, Nova Friburgo  
De 30 de Agosto a 3 de setembro de 2004

Paper CRE04 – AA09

## Projeto e Construção de um Túnel Hidrodinâmico em Circuito Fechado para o Ensino e a Pesquisa em Engenharia

Augusto S. Bornschlegell<sup>1</sup>, Leonardo de C. Oyama<sup>2</sup> e Sérgio Said Mansur<sup>3</sup>

Universidade Estadual Paulista, UNESP Ilha Solteira  
CP 31, 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil

<sup>1</sup>asbornschlegell@aluno.feis.unesp.br, <sup>2</sup>lcoyama@aluno.feis.unesp.br, <sup>3</sup>mansur@dem.feis.unesp.br

Túneis aero e hidrodinâmicos podem apresentar diferentes configurações geométricas, [1], e constituem as principais instalações de ensaio na maioria dos laboratórios de aerodinâmica e dinâmica dos fluidos. O objetivo de ambos os equipamentos é produzir um escoamento regular e em condições controladas no interior da seção de testes, para o ensaio de modelos, que tanto podem ser veículos aéreos, terrestres e marítimos, como qualquer outro tipo de obstáculo sólido.

Enquanto os túneis aerodinâmicos utilizam ar como fluido de trabalho, os túneis hidrodinâmicos, via de regra, operam com água, facilitando sobremaneira a realização de ensaios de visualização de escoamentos. Além disso, para um mesmo modelo de ensaios e uma mesma velocidade do escoamento dentro da seção de testes, pode-se obter números de Reynolds bem mais elevados em meio hidrodinâmico do que em ar, uma vez que a viscosidade cinemática da água é cerca de 15 vezes menor de que a do ar.

O projeto de um túnel hidrodinâmico não é tarefa trivial, por pelo menos dois motivos principais: (a) envolve um grande número de tomadas de decisão e (b) não existem critérios explícitos de dimensionamento para muitos de seus componentes. De fato, na maioria das vezes, as decisões dos projetistas são tomadas com base na experiência da própria equipe, utilizando informações não documentadas, mas de inestimável valor tecnológico, que fazem parte daquilo que se convencionou chamar de “cultura do laboratório”.

O presente trabalho descreve o projeto e a construção de um túnel hidrodinâmico em circuito fechado, inteiramente construído em acrílico, com 10 mm de espessura e boa qualidade ótica, permitindo a visualização do escoamento, não apenas no interior de suas duas seções de testes, mas em cada um de seus componentes. Além da utilidade científica que é inerente, estas características conceituais tornam o equipamento adequado também para aplicação no ensino de engenharia.

Do ponto de vista morfológico, o equipamento é razoavelmente simples, como pode ser observado na Figura 1. Projetado para operar com água da rede urbana, seu funcionamento pode ser descrito da seguinte maneira. Antes de ser colocado em operação, o circuito deve ser inteiramente preenchido com água, tomando-se o cuidado de retirar todo o ar de seu interior, através do respiro (01). Uma bomba centrífuga (02) com vazão de 600 l/min é, então, acionada, para colocar o fluido em movimento ao longo do circuito. Após passar pela válvula reguladora de vazão (03) e por um sistema de filtragem (04), o fluido atravessa o primeiro difusor (05), passa por um conjunto de chapas perfuradas (06) e chega à primeira curva do circuito. Este conjunto de chapas, juntamente com as placas diretrizes (*vanes*) (07) posicionadas no interior da curva, visam uniformizar o escoamento na entrada da seção de estabilização (15), que é dotada de outra chapa perfurada (08) e uma colmeia (09). Antes de chegar à seção de testes horizontal (11), com área transversal de 100 x 100 mm, o fluido passa por uma contração (10), que além de gerar um perfil de velocidades uniforme na seção de testes com baixa intensidade turbulenta, tem a finalidade de acelerar o escoamento. Com isto, o fluido percorre a maior parte do circuito

em baixa velocidade e, portanto, com pequenas perdas de carga, exigindo uma bomba de menor potência. No caso do presente projeto, optou-se por uma contração com razão de 9:1, cujo perfil é constituído por uma curva do terceiro grau, com ponto de inflexão situado na metade de seu comprimento e derivadas nulas em suas extremidades. A equação que define esse perfil é dada por:

$$f(x) = 7,407407407 \cdot 10^{-6} x^3 - 3,333333333 \cdot 10^{-3} x^2 + 150 \quad (1)$$

A partir destas condições e das medidas desejadas, utilizou-se a ferramenta gráfica AutoCad 2004, comando spline, para a obtenção da curva necessária à confecção do molde de concreto, utilizado na conformação das chapas de acrílico, previamente aquecidas em estufa.

Com velocidade máxima de 1,0 m/s na seção de testes horizontal (11), o fluido ganha energia potencial no segundo difusor (12), passa pela segunda curva, também contendo placas diretrizes (07) e entra na seção de testes vertical (13), com área transversal de 300 x 300 mm, onde a velocidade máxima é da ordem de 0,1 m/s. Em seguida, o fluido de trabalho é reconduzido à entrada da bomba, para ser impulsionado através do circuito. Para facilitar a manutenção e a preparação do equipamento para novas campanhas de ensaios, no ponto mais baixo do circuito foi instalado um dreno (14).

É interessante observar que ambas as seções de testes, (11) e (13), são munidas de janelas intercambiáveis, o que facilita o posicionamento de corpos de prova. Além disso, os módulos (10), (11) e (12) são de fácil remoção, possibilitando a troca e o acoplamento de uma contração bidimensional, conectada a uma seção de testes retangular, para estudo de outros tipos de escoamento. Por fim, é interessante acrescentar que as peças de acrílico foram coladas com metacrilato de metila, que oferece uma qualidade de soldagem muito superior ao clorofórmio.

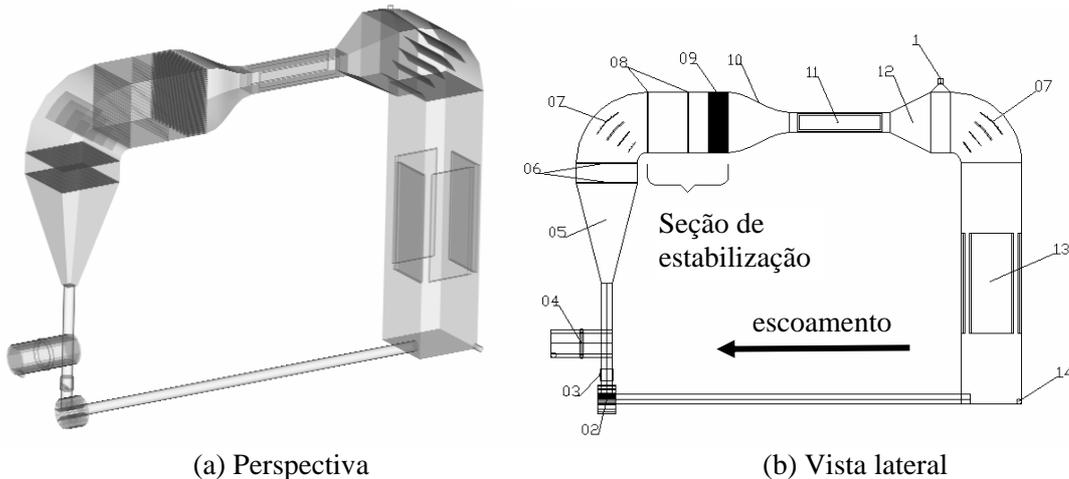


Figura 1 – Túnel hidrodinâmico em circuito fechado.

Legenda:

- |                                     |                                  |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| (01) Respiro.                       | (09) Colméia.                    |
| (02) Bomba.                         | (10) Contração.                  |
| (03) Válvula reguladora de vazão.   | (11) Seção de testes horizontal. |
| (04) Sistema de filtragem.          | (12) Segundo difusor.            |
| (05) Primeiro difusor.              | (13) Seção de testes vertical.   |
| (06) Conjunto de placas perfuradas. | (14) Dreno.                      |
| (07) Placas diretrizes.             | (15) Seção de estabilização.     |
| (08) Conjunto de placas perfuradas. |                                  |

## REFERÊNCIA

- [1] Werlé, H. e Gallon, M. **Le Nouveau Laboratoire de Visualisation Hydrodynamique de la Direction de l'Aérodynamique. La Recherche Aérospatiale, n5, p.289-311, France(1982).**