

O POTENCIAL DA MESA D'ÁGUA PARA A VISUALIZAÇÃO ANALÓGICA DA VENTILAÇÃO NATURAL EM EDIFÍCIOS

Alexandre Márcio Toledo (1); Fernando Oscar Ruttkay Pereira (2)

(1) GECA/ARQ/CTEC/UFAL; Drando. em Eng. Civil (PPGEC/UFSC)

R. Alm. Lamego, 943/604, 88015-600 - Florianópolis/SC, 48-225-6144

e-mail: altoledo@terra.com.br

(2) Laboratório de Conforto Ambiental/ARQ/UFSC

e-mail: feco@arq.ufsc.br

RESUMO

A ventilação natural por ação do vento é uma importante estratégia bioclimática de condicionamento passivo de edifícios em climas quente e úmido. A compreensão do fenômeno físico e dos fatores intervenientes no processo pode levar a melhores resultados na fase inicial de projeto do edifício. Os métodos empíricos e modelos de rede – que só permitem estimativas de taxas de ventilação e de velocidades – não apresentam boa aplicabilidade a edifícios de forma ou compartimentação interior mais complexa; por outro lado, o conhecimento do comportamento do escoamento do ar no exterior e interior do edifício – possibilitado pelas técnicas de visualização – parece ser muito mais útil aos projetistas. Entretanto, essas técnicas de visualização ainda são pouco acessíveis. O objetivo do presente artigo é apresentar o potencial do equipamento mesa d'água para esse fim, através de experimentações já realizadas no LabCon/ARQ/UFSC. Conclui-se pelo grande potencial de utilização desse equipamento para fins didáticos e práticos, no processo de avaliação do escoamento natural do ar pela ação do vento no ambiente construído.

ABSTRACT

Natural ventilation caused by wind force is a significant bioclimatic design strategy when promoting passive cooling in warm and humid climates. Understanding the physical phenomena and other influential factors may lead to better results in the early stages of design. Empirical and network models, which show only air speed and flow rate estimates, do not show good results in more complex buildings or interior partitions. Knowledge of airflow behaviour around and inside buildings – assessed by visualization – has shown to be more useful to designers. However, these visualization techniques are still inadequately accessible. The aim of the present paper is to present and discuss the potential of “water table” equipment when demonstrating visualization of natural ventilation. Several experiments developed in LabCon/ARQ/UFSC, show the great potential of the equipment for practical and didactic uses in the process of assessing natural airflow caused by wind force in the built environment. .

1. INTRODUÇÃO

A ventilação natural por ação do vento é uma importante estratégia bioclimática de condicionamento passivo de edifícios em climas quente e úmido. Ela pode possibilitar a renovação do ar interior, garantindo a sua qualidade; o conforto térmico dos usuários, através da remoção do calor pela evaporação do suor; e o resfriamento passivo do edifício, por convecção.

A compreensão do comportamento do fenômeno físico, através da sua modelagem matemática, e dos fatores intervenientes no processo da ventilação natural (fatores variáveis e fatores fixos do entorno e do edifício), através da visualização do comportamento do escoamento do ar no interior e exterior do edifício, pode levar a melhores resultados na fase inicial de projeto.

Os métodos empíricos e modelos de rede – que só permitem estimativas de taxas de ventilação e de velocidades e que exigem informações prévias de coeficientes de pressão e de descarga das aberturas, além da definição de aberturas de entrada e de saída – não apresentam boa aplicabilidade a edifícios de forma e/ou compartimentação interior mais complexa, para o processo por ação do vento, por utilizarem dados empíricos obtidos geralmente em experimentações com modelos simplificados.

Por outro lado, o conhecimento dos padrões de escoamento do ar no exterior e interior do edifício, possibilitado pelas técnicas de visualização, parece ser muito mais útil aos projetistas. Entretanto, equipamentos que permitem a visualização do comportamento de escoamentos nem sempre são acessíveis; estando disponíveis apenas em laboratórios especializados, como os túneis de vento e as câmaras de fumaça.

Os CFDs (*Computational Fluid Dynamics*), apesar de sua diversificada aplicabilidade, também se constituem em interessante ferramenta para a visualização da ventilação natural em edifícios; entretanto, ainda apresentam elevado custo de aquisição, exigem conhecimentos aprofundados de modelagem computacional e alta capacidade de processamento (ETHERIDGE e SANDBERG, 1996).

Como exceção, pode ser citado o desenvolvimento de interface simplificada (*Simple CFD Interface - SCI*), por pesquisadores do Massachusetts Institute of Technology (BRODERICK e CHEN, 2000 e 2001), visando a utilização de CFDs por arquitetos e engenheiros, porém de divulgação ainda restrita.

Nesse contexto, o equipamento mesa d'água, apesar de se constituir em modelo analógico hidráulico, surge como uma opção possível.

O Objetivo do presente artigo é apresentar o potencial do equipamento mesa d'água para a visualização analógica da ventilação natural em edifícios, através de experimentações já realizadas no LabCon da UFSC. A metodologia consistiu na avaliação dos resultados de trabalhos produzidos pelos alunos de graduação do curso de arquitetura e urbanismo da UFSC no ano de 2001, bem como de testes realizados com o equipamento em 2002.

2. MODELOS E TÉCNICAS DE VISUALIZAÇÃO DE ESCOAMENTO

A visualização de escoamentos pode ser feita tanto por modelagem matemática – desenvolvida através de simulações computacionais –, como através de modelos físicos ou analógicos.

A modelagem matemática computadorizada para o estudo da ventilação natural pode ser dividida em dois grupos: os modelos de rede e os CFDs.

Os modelos de rede utilizam a equação de Bernoulli (para escoamento constante, não viscoso e incompressível) e fornecem como saídas: taxas de renovação de ar, velocidade média do escoamento e velocidades de passagem pelas aberturas (SANTAMOURIS, 1998). Entretanto, não permitem a visualização do escoamento.

Os CFDs utilizam a equação de Navier-Stokes (continuidade, movimento e energia), acoplado a modelo de turbulência $k-\epsilon$ (HONG, CHOU e BONG, 2000) e permitem a visualização do escoamento e o comportamento das temperaturas, através de saídas gráficas, expressa em vetores de velocidade e direção do escoamento nas células.

Os modelos físicos reproduzem as mesmas propriedades físicas do fenômeno real, em escala natural ou reduzida; enquanto que os modelos analógicos por não reproduzirem as características físicas do sistema real, fazem uso de sistema físico análogo (PEREIRA e BITTENCOURT, 1996).

Os modelos físicos aerodinâmicos mais conhecidos, que permitem a visualização de escoamentos, são os túneis de vento e as câmaras de fumaça. Ambos trabalham com modelos em escala reduzida. As técnicas de visualização mais comuns são: a utilização de fumaça – para escoamentos no interior e exterior do edifício – e de bolinhas de isopor, para escoamentos no exterior do edifício. Alguns

resultados de visualização de escoamentos com esses equipamentos podem ser encontrados em OLGYAY (1998), BOUTET (1987) e SILVA (1999).

Os modelos analógicos hidráulicos mais conhecidos e utilizados, para simulação da ventilação natural, são o tanque de água e a caixa de vidro, que também utilizam modelos em escala reduzida. As técnicas de visualização mais comuns são: a utilização de indicadores sólidos (talco, serragem ou pó de alumínio) ou injeção de gases. Alguns resultados de visualização de escoamentos com esses equipamentos podem ser encontrados em STRAATEN (1967) e em BERTE e FROTA (2002).

A mesa d'água – apesar de ser bastante empregada para fins hidráulicos – ainda é pouco utilizada como modelo analógico para visualização da ventilação natural em edifícios. Ela consiste em um equipamento que possibilita a passagem da água acrescida de um indicador (contraste), através de um canal plano e homogêneo (mesa), em circuito aberto ou fechado. Em contato com os obstáculos colocados sobre a mesa, permite a visualização dos desvios do fluxo, bem como da formação de vórtices e esteiras – efeitos visuais muito semelhantes aos verificados em ensaios aerodinâmicos (BLESMANN, 1990).

Podem ser encontrados tanto modelos de mesa d'água com canal aberto e mesa na posição horizontal, como as do LabTERMO e do LabCon da UFSC, como também modelos com canal fechado e mesa na posição vertical, como as do Museu de Ciência e Tecnologia da PUC, de Porto Alegre, e a do Carnegie Science Center de Pittsburg (OMS, TORRES e AMON, 1997).

3. A MESA D'ÁGUA DO LABCON DA UFSC

O equipamento Mesa d'Água do Laboratório de Conforto Ambiental do Departamento de Arquitetura da UFSC foi construído em 2001, visando à implementação de práticas didáticas em ventilação natural dos edifícios. Como modelo de referência foi adotada a mesa d'água do Laboratório de Ciências Térmicas (LabTERMO) do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC.

3.1 Descrição do Equipamento

A Mesa d'Água do LabCon consiste em uma placa horizontal de vidro transparente (mesa) sobre a qual a água escoava em velocidade uniforme, ao longo de sua largura, e que constitui o campo de observação e ensaio (medindo 1.10 x 0.67 m, comprimento e largura, respectivamente). Essa placa está montada numa estrutura de perfis metálicos (gabinete), apoiada sobre rodízios e niveladores, que permitem seu deslocamento (medindo 1.70 x 0.81 x 1.10 m, largura, profundidade e altura, respectivamente).

Nas laterais da estrutura, também fechados com vidros transparentes, situam-se os dois reservatórios: o reservatório montante, de onde a água provém, e o reservatório jusante, para onde a água escoava; com capacidade para 90 litros cada, conforme Figura 1.

Complementam o equipamento um sistema hidráulico e outro elétrico.

O sistema hidráulico é composto por uma tubulação principal de 1" que interliga os reservatórios pela parte inferior. A tubulação se inicia com uma boca de entrada (flange de 1"), protegida por tela, no reservatório jusante e termina em um tubo transversal com vários furos, direcionados para o fundo do reservatório montante..

Há dois registros de passagem: um para a água (1") – situado na tubulação principal – e outro para entrada de ar no sistema (3/4") – situado numa derivação da tubulação principal –, ambos localizados antes do motor

O sistema elétrico é composto por um motor de 0.75 HP de potência e 60 Hz de frequência máxima, que equivale a uma vazão de 9,60 m³/h; e por um inversor de 200-240 VAC de potência e 50/60 Hz de frequência máxima, que impulsionam a água do reservatório jusante para o montante, passando pelo tubo transversal.

O esgotamento da água dos reservatórios é feito por uma torneira de 1/2", situada na tubulação principal, logo após o motor.

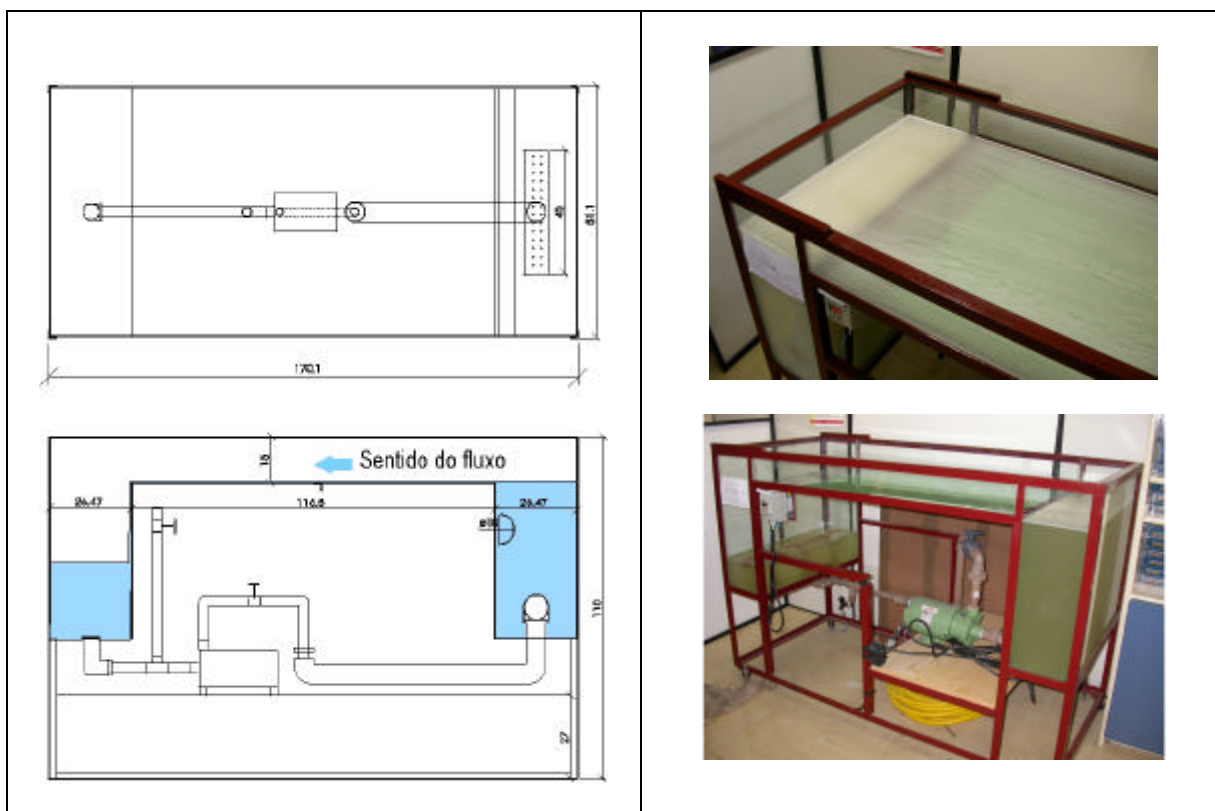


Figura 1 – Esquema e fotos da Mesa d'Água do LabCon

3.2 Esquema Geral de Funcionamento

A operação inicial consiste em encher os reservatórios. O equipamento trabalha com 120 litros de água, que devem ser assim distribuídos: 90 l (capacidade total), no reservatório jusante, e 30 l (1/3 da capacidade), no reservatório montante – aos quais deve ser acrescido o indicador, para visualização das linhas de fluxo. O indicador utilizado tem sido o detergente lava-louças, em torno de 200 ml.

A seguir deve ser acionado o sistema elétrico, regulando o inversor para uma frequência de 40 Hz, a fim de gerar o turbilhonamento necessário para misturar o detergente à água e elevar o nível do reservatório montante até a altura da mesa, quando passa a escoar em regime turbulento pelo campo de observação até o reservatório jusante. Após uns 5 minutos de operação, a espuma já adquire a consistência desejável para iniciar os experimentos.

Para visualização de fluxo laminar, a frequência de 20 Hz tem-se mostrado adequada, podendo-se conseguir resultados semelhantes com frequências menores; entretanto, com tendência de perda rápida da consistência da espuma e, por conseguinte, menor visualização das linhas de fluxo. Esse fato pode ser contornado com o aumento periódico da frequência do inversor (a fim de aumentar o turbilhonamento na base do reservatório montante, voltando a gerar fluxo turbulento) e retornando à frequência de trabalho escolhida.

A altura da lâmina d'água é bastante variável e função da frequência do inversor. Na frequência máxima (60 Hz), chega próximo de 2,00 cm, em regime turbulento. E na frequência de regime laminar, a altura da lâmina d'água pode chegar até a 0,50 cm.

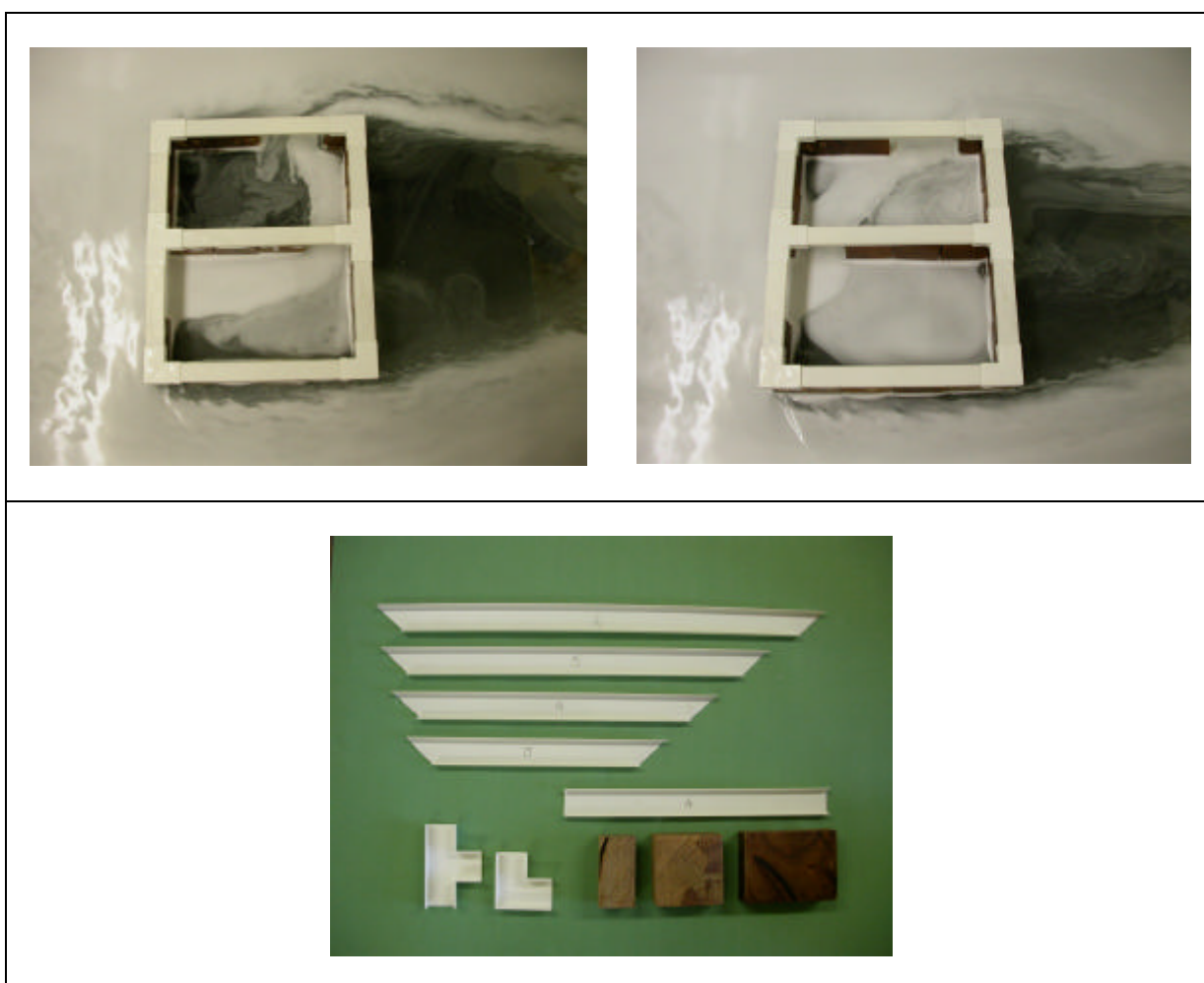
3.3 Características Desejáveis das Maquetes

Os modelos reduzidos (maquetes) precisam atender a alguns requisitos, decorrentes das propriedades dos materiais, de execução e de escala. Para a visualização do escoamento no exterior do edifício ou em grupamento de edifícios, podem ser utilizadas formas compactas; já no interior do edifício, devem ser utilizadas seções com aberturas até a base da mesa, devido à pequena altura da lâmina d'água.

Maiores densidade e rigidez e menor permeabilidade são propriedades desejáveis para impedirem o deslizamento da maquete no campo de observação, quando sujeita à ação do escoamento, e para evitar a deformação das peças, devido ao contato com a água. Também é desejável uma boa maleabilidade para pequenas modificações da geometria das maquetes a fim de favorecer a experimentação de diferentes opções de localização de aberturas e colocação de captadores ou barreiras para o escoamento.

A escala das maquetes deve obedecer às limitações da largura da mesa (0,69 m), a fim de impedir a interferência das paredes laterais do canal no escoamento. Para simulações no exterior do edifício as escalas de 1:100 a 1:500, podem ser adequadas; para o interior, as escalas de 1:20 a 1:100 – nesse caso, quanto maiores os espaços interiores, melhor será a visualização do escoamento.

Para fins de demonstração, tem sido utilizado no LabCon um sistema modular que permite a rápida montagem de modelos simplificados. O sistema é composto por três tipos de peças de madeira: um módulo de 5,0 x 5,0 x 1,8 cm (largura, altura e profundidade, respectivamente), um sub-módulo de 2,5 x 5,0 x 1,8 cm e uma peça de canto de 6,8 x 5,0 x 1,8 cm; além de canaletas de plástico (com medidas de 30,0; 25,0; 20,0 e 15,0 cm) e conexões tipo “joelho” e tipo “te”, conforme Figuras 2 a 4.



Figuras 2, 3 e 4 – Fotos dos modelos de demonstração e componentes do sistema modular

3.4 Vantagens e Limitações do Equipamento

O equipamento mesa d'água apresenta uma série de vantagens, porém algumas limitações.

3.3.1 Vantagens do equipamento

- Baixo custo de execução (cerca de R\$ 1.000,00 – hum mil reais);

- Facilidade de operação e manutenção;
- Necessidade de pouco espaço físico (cerca de 2,00 m² de área efetiva de uso);
- Facilidade de utilização de maquetes, instrumento comumente utilizado pelos arquitetos;
- Caracterização instantânea das aberturas de entrada e de saída;
- Visualização continuada do escoamento, possibilitando tanto o registro fotográfico como a sua filmagem;

3.3.2 Limitações do Equipamento

- Visualização apenas em duas dimensões, simplificando a visualização do fenômeno real que é essencialmente tridimensional;
- Impossibilidade de mensuração de grandezas aerodinâmicas, como pressão e velocidade, e em decorrência, as taxas de vazão;
- Simulação de escoamentos apenas isotérmicos – não servindo para analogia de ventilação natural por diferenças de temperatura;

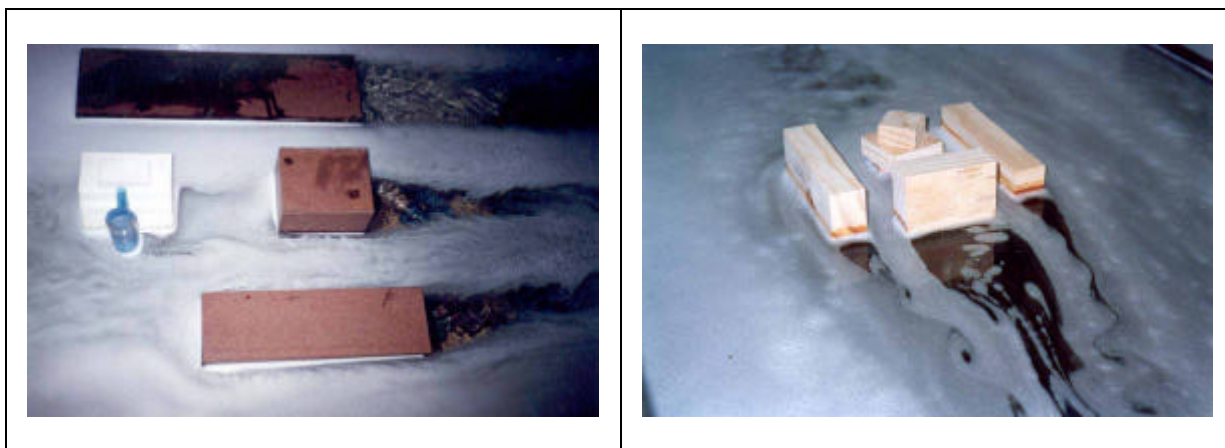
4. RESULTADOS JÁ OBTIDOS

Alguns trabalhos práticos já foram realizados – tanto no interior, quanto no exterior do edifício – com os alunos da disciplina Conforto Ambiental: Térmica, do curso de arquitetura e urbanismo, em 2001, e alguns testes na disciplina Tópicos Especiais: Ensino de Conforto Ambiental do Pós-ARQ, em 2002.

4.1 Escoamento no exterior do edifício

O objetivo prático desse tipo de experimento é a visualização dos efeitos do escoamento no exterior do edifício e entorno construído e/ou natural: as zonas de estreitamento do fluxo (aumento de velocidade do escoamento) ou de abertura do fluxo (redução de velocidades do escoamento); e a distribuição dos campos de pressão, com caracterização de zonas de alta pressão (incidência direta do fluxo) e zonas de baixa pressão (formação de esteira e vórtices).

Desdobramentos desse experimento podem ser: a disposição de barreiras para proteção ou captação do fluxo; e a escolha mais adequada para o sistema de aberturas de entrada e saída de ar. Alguns resultados podem ser visualizados nas Figuras 5 e 6.

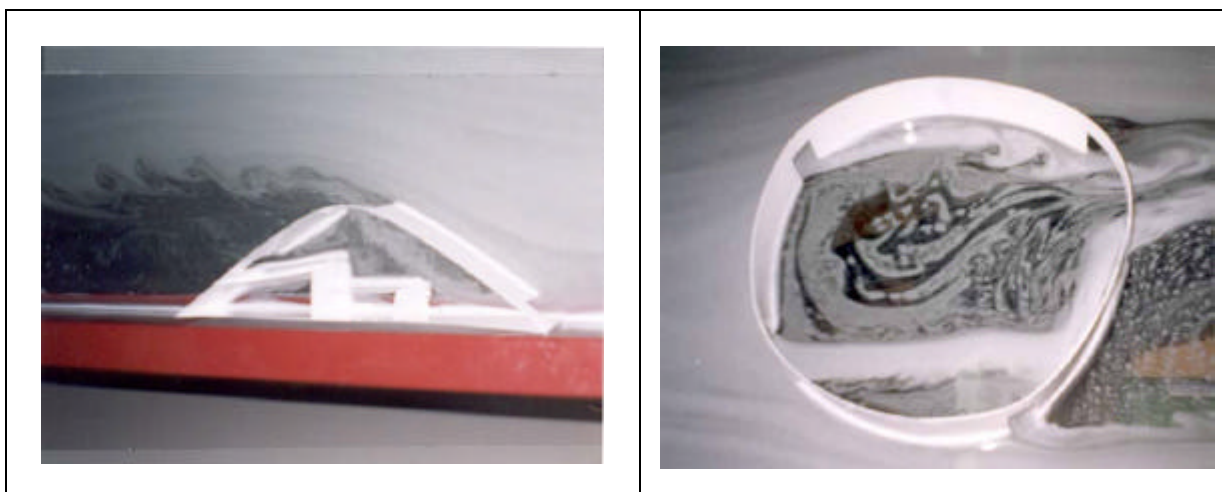


Figuras 5 e 6 – Fotos de escoamentos no exterior do edifício

4.2 Escoamento no interior do edifício

O objetivo prático desse tipo de experimento é a visualização dos efeitos do escoamento no interior do edifício: as zonas de estreitamento ou de abertura do fluxo e a formação de áreas de vórtices internas; bem como o percurso e a identificação das aberturas de entrada e saída do escoamento.

Desdobramentos desse experimento podem ser: a escolha mais adequada para o posicionamento das aberturas de entrada e saída de ar e das passagens internas; e a setorização mais eficiente para áreas secas (estar e dormitórios) e molhadas (cozinha, área de serviços e banheiros). Alguns resultados podem ser visualizados nas Figuras 7 e 8.



Figuras 7 e 8 – Fotos de escoamento no interior do edifício (cortes vertical e horizontal)

5. SUGESTÕES PARA APRIMORAMENTO DO EQUIPAMENTO

- A aresta formada pelo reservatório montante e pela mesa deveria ser abaulada, a fim de reduzir o atrito. A ausência desse detalhe tem gerado pequenas turbulências no início do campo de observação nas frequências mais baixas, que simulam o fluxo laminar.
- A altura do equipamento poderia ser mais baixa, para facilitar a visualização e o registro dos escoamentos, ou dispor de uma escada com patamar por um dos lados, para facilitar o registro fotográfico ou filmagem dos experimentos.
- O sistema de esgotamento da água do equipamento ainda precisa ser aperfeiçoado, pois atualmente não permite a retirada da totalidade da água pela torneira de limpeza, tendo em vista que o nível da entrada do reservatório jusante e o tubo perfurado do reservatório montante se encontram acima do nível do fundo dos mesmos.

6. CONCLUSÕES

A visualização do escoamento, possibilitada pela mesa d'água, é sem dúvida, de grande utilidade para a análise das alternativas de ventilação natural por ação do vento em edifícios. O baixo custo de execução, as facilidades de operação e manutenção, além da visualização continuada do escoamento – com possibilidade de registro fotográfico ou filmagem – em maquetes, que são bastante familiares aos arquitetos, constituem vantagens na utilização do equipamento.

Os resultados já obtidos bem ilustram o potencial desse equipamento para a visualização analógica da ventilação natural no interior e no exterior do edifício. Entretanto, alguns aperfeiçoamentos ainda precisam ser realizados tanto no equipamento quanto nas técnicas de ensaio e registro dos experimentos.

Apesar das limitações impostas pela analogia hidráulica e simplificação bidimensional do fenômeno, conclui-se pelo grande potencial de utilização da mesa d'água para fins didáticos e práticos em ventilação natural dos edifícios por ação do vento.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTE, V.; FROTA, A.B. (2002) Uso de técnica de micro-bolhas como modelo experimental de flutuabilidade (buoyancy) em átrios centrais de edifícios. In: *NUTAU 2002*, São Paulo. p.611-615.
- BLESSMANN, J. (1990) *Aerodinâmica das construções*. Porto Alegre: Sagra.
- BOUTET, T. (1987) *Controlling air movement*. New York: McGraw-Hill.
- BRODERICK, C.R.; CHEN, Q. (2000) A simple interface to Computational Fluid Dynamics programs for building environment simulations. *Indoor+Built Environment*, v.9, p.317-324.
- BRODERICK, C.R.; CHEN, Q. (2001) A simple interface to CFD codes for building environment simulations. In: 7th Building Simulation, Rio de Janeiro. *Proceedings*, p.577-584.
- HONG, T.; CHOU, S.K.; BONG, T.Y. (2000) Building simulation: an overview of developments and information sources. *Building and Environment*, v. 35, n. 4, p. 347-361.
- ETHERIDGE, D.; SANDBERG, M. (1996) *Building ventilation : theory and measurement*. Chichester: John Wiley & Sons.
- OLGYAY, V. (1998) *Arquitectura y clima*. Barcelona: Gustavo Gili.
- OMS, L.J.; TORRES, E.; AMON, C. (1997) The water table: a fluid exhibit for the Carnegie Science Center. In: 27th Annual Conference on Frontiers in Education, Pittsburgh. *Proceedings*. IEEE. p. 515-520.
- PEREIRA, F.O.R.; BITTENCOURT, L.S.; (1996) *Justificativa e proposta de constituição de laboratórios na área de conforto ambiental em escolas de arquitetura e urbanismo*. ABEA. Relatório Técnico.
- SANTAMOURIS, M. (1998) Prediction methods. In: ALLARD, F. (Ed.) *Natural ventilation in buildings*. London: James & James.
- SILVA, F.A.G.da. (1999) O vento como ferramenta no desenho do ambiente construído : uma aplicação ao Nordeste do Brasil. São Paulo, 234f. Tese (Doutorado em Arquitetura) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.
- STRAATEN, J.F. van. (1967) *Thermal performance of buildings*. London: Elsevier.