

## **SHEDS EXTRATORES E CAPTADORES DE AR: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA ATRAVÉS DE ENSAIOS ANALÓGICOS NA MESA D'ÁGUA**

**Katiúcia Megda Ramos (1); Pedro Henrique Silva Mattia (2); Marieli Azoia Lukiantchuki (3)**

(1) Acadêmica do curso de Arquitetura e Urbanismo da UniCesumar, Maringá – PR. Aluna de iniciação científica PIC, katiucia.megda@gmail.com

(2) Funcionário do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Carlos –SP, pedro.mattia@usp.br

(3) Professora doutora do curso de Arquitetura e Urbanismo da UEM, Maringá – PR, mlukiantchuki@yahoo.com.br

### **RESUMO**

A ventilação natural pela ação dos ventos é uma das principais estratégias para o alcance do conforto térmico por meios passivos, além de proporcionar a salubridade dos ambientes internos e a economia da energia elétrica. Diversas estratégias têm sido utilizadas para a incorporação dos ventos nos espaços internos. Dentre estas podemos citar os *sheds*, aberturas na cobertura que funcionam para extração ou para captação do ar, dependendo de sua orientação em relação aos ventos externos dominantes. O comportamento qualitativo e quantitativo da ventilação natural pode ser analisado por meio de diversas ferramentas como simulação computacional CFD, ensaios experimentais no túnel de vento e ensaios em mesa d'água. As simulações CFD e os ensaios no túnel de vento são pouco acessíveis e de difícil utilização pelos arquitetos. Já os ensaios de escoamentos hidráulicos é uma alternativa viável devido seu baixo custo e fácil operacionalidade, possibilitando análises compatíveis com a realidade de forma simplificada. O objetivo geral deste artigo é analisar o desempenho qualitativo de diferentes geometrias de *sheds*, com relação à ventilação natural por ação dos ventos. Foram confeccionados três modelos em escala reduzida de cortes verticais para realização de ensaios com o equipamento da mesa d'água a fim de estudar o fluxo de ar nos ambientes internos. Os modelos foram avaliados para a situação de extração (0°) e captação (180°) do ar. Os resultados mostraram que, para todas as geometrias analisadas, esses dispositivos como extratores de ar apresentaram um melhor desempenho do que como captadores. Isso aconteceu principalmente, pois, apesar dos *sheds* captadores apresentarem um maior número de aberturas de entrada de ar, apenas o primeiro *shed* funciona como captador, sendo que os outros *sheds* funcionam como extratores, reduzindo o fluxo de ar interno.

Palavras-chave: ventilação natural, *sheds*, ensaios na mesa d'água, análises qualitativas.

### **ABSTRACT**

Natural ventilation is one of the main strategies to achieve the thermal comfort, besides providing internal environment's health and the saving of electrical energy. Different strategies have been used to incorporate the air in the internal spaces. Among them it highlights the *sheds*, openings on the roof that work for air extraction or collecting, depending on their location in relation to the prevailed winds. The qualitative and quantitative behaviour of natural ventilation can be investigated through Computer Fluid Dynamic simulations, the wind tunnel and water table tests. CFD simulations and wind tunnel are difficult to use by architects. Already, the water table tests are a viable alternative, due to low costs and easy application, making possible compatible analyses with the reality in a simple way. The objective of this article is to analyse the qualitative performance of different shed's geometries, in relation to the natural ventilation by the action of the winds. Three small scale models of vertical cuts were made to perform tests with the water table equipment, to study the airflow in the indoor environments. These models were evaluated for the air extraction s (0°) and collection (180°). The results showed that the air extractors sheds presented a better performance than as air collectors sheds, for all the analysed geometries. It is occurs because, although the sheds as collectors present a greater number of air inlet openings, only the first shed functions as a collector.

Keywords: natural ventilation, sheds, water table tests, quantitative analyses

## 1. INTRODUÇÃO

A ventilação natural dos edifícios é uma das principais estratégias passivas para o resfriamento do edifício. Para Araújo (2011), muitas vezes a aplicação da ventilação natural é negligenciada, pois, requer estratégias projetuais mais elaboradas se comparados com aquelas que utilizam somente ventilação mecânica ou artificial como forma de resfriamento dos ambientes. Levin (2011), lista alguns dos maiores desafios para o controle da qualidade do ar circundante pela ventilação natural, dentre eles: condições locais (ventos, temperatura, umidade), tipologia arquitetônica e controle de aberturas. Por outro lado, para Edwards (2013) destaca que os profissionais da arquitetura vêm aprimorando o aproveitamento das condicionantes naturais nos projetos uma vez que essas são de fundamental importância para promover o conforto térmico dos usuários, a salubridade dos ambientes internos e, conseqüentemente, a economia da energia elétrica. De acordo com Givoni (1976), o aproveitamento da ventilação natural como meio de resfriamento passivo dos ambientes permite manter a qualidade do ar, além de promover o bem-estar térmico dos ocupantes uma vez que acelera o processo de evaporação do corpo humano, auxiliando na regulação biológica desse, e ainda, resfria a superfície do edifício.

Diversas estratégias têm sido utilizadas para a incorporação dos ventos nos ambientes internos. Dentre estas podemos citar os *sheds*, aberturas na cobertura que funcionam para extração de ar quente ou para captação do ar, direcionando-o para o interior do edifício, dependendo de sua orientação em relação aos ventos externos dominantes, auxiliando também na entrada de iluminação natural. Apesar do grande potencial dessa estratégia projetual Bittencourt e Cândido (2006) destacam que os *sheds* são pouco utilizados pelos projetistas. Lobô e Bittencourt (2003) ressaltam que, apesar do Brasil possuir características favoráveis para o aproveitamento dos ventos para a obtenção de conforto térmico, observa-se que tal estratégia não é empregada, e isso se deve muitas vezes ao fato do pouco conhecimento científico por parte dos projetistas. De acordo com Lukiantchuki (2015), isso ocorre devido à falta de dados técnicos acessíveis ao projetista, o que talvez justifique o fato de que, muitos trabalhos abordam o uso dos *sheds* apenas para obtenção de luz natural, não avaliando assim, a ventilação natural. Segundo Araújo (2011), o aproveitamento desses dispositivos se torna mais eficaz quando esses são incorporados desde o início do projeto, integrando-se organicamente ao edifício. Nesse quesito, destaca-se o trabalho do arquiteto João Filgueiras Lima, o Lelé, cujos *sheds* são utilizados na maioria dos seus projetos, visando à incorporação da luz natural e dos ventos dominantes nos ambientes internos. O grande destaque de suas obras são os hospitais da Rede Sarah Kubitschek, que buscam o conforto térmico através do aproveitamento das condicionantes naturais por meio do uso de *sheds*.

É de suma importância tornar o uso da ventilação natural acessível ao profissional por meio de recursos eficazes e de fácil aplicação (ARAÚJO, 2011). A análise da distribuição do fluxo de ar no ambiente urbano e nos edifícios pode ser realizada através de diversas ferramentas e por duas abordagens distintas, porém complementares: a quantitativa, a qual inclui medições *in loco* e em modelos (em escala real ou reduzida) e a qualitativa, a qual inclui a utilização dos métodos e técnicas de visualização de escoamentos (TOLEDO, LAURENTINO, 2010). Dentre elas podemos citar: 1) experimentos em túnel de vento com modelos reduzidos; 2) experimentos em mesas d'água com modelos reduzidos; 3) experimentos em tamanho real; 4) simulação computacional utilizando a dinâmica dos fluidos computacional – CFD e 5) fórmulas analíticas e semi-empíricas (CHEN, 2009). Esses diversos métodos apresentam vantagens e desvantagens que deve embasar a escolha da ferramenta que será utilizada na pesquisa. Para a correta seleção de alternativas de projeto que visam melhorar o aproveitamento da ventilação natural, torna-se necessário o conhecimento do comportamento do escoamento do ar pelo exterior e interior dos edifícios.

Segundo Etheridge e Sandberg (1996) os programas CFD permitem a avaliação qualitativa e quantitativa dos fenômenos físicos da ventilação natural. No entanto, essas ferramentas são pouco acessíveis e de difícil utilização pelos projetistas, por exigirem alto investimento inicial e conhecimentos específicos de modelagem computacional, além de implicarem elevado tempo de processamento dos dados (CHEN, 2004, BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2005). O túnel de vento também é uma ferramenta que permite análises qualitativa e quantitativa do fluxo de ar, mas também é pouco acessível aos projetistas, encontrando-se disponíveis somente em laboratórios especializados. Além disso, o custo de execução é elevado, não possui facilidade de operação - exigindo um grande conhecimento por parte do projetista - e tem-se a necessidade de um grande espaço físico (MATSUMOTO, 2011).

Nas primeiras etapas do desenvolvimento do projeto, o estudo qualitativo direciona a escolha da geometria, o posicionamento da edificação e a localização de aberturas nas superfícies. À medida que os projetos vão sendo desenvolvidos, os ensaios quantitativos ajustam na definição dos detalhes construtivos com maior precisão, pois pequenas alterações podem modificar o comportamento do vento. Os ensaios no

túnel de vento podem ser realizados quando as metodologias simplificadas não fornecem resultados com detalhes suficientes para auxiliar as decisões de projeto, ou para validar os resultados de outras ferramentas. É uma importante ferramenta de auxílio ao projetista na concepção do projeto (MATSUMOTO, 2011).

A mesa d'água constitui-se como um equipamento hidráulico, utilizado como modelo analógico para a visualização da ventilação natural em modelos de escala reduzida (TOLEDO, 2006), e possui um grande potencial de utilização para fins didáticos e práticos, avaliando o escoamento natural do ar pela ação do vento. Essa ferramenta permite a visualização dos desvios do fluxo e a formação de vórtices e esteiras, utilizando sabão líquido. Segundo Toledo e Pereira (2003) as vantagens do equipamento são: a) baixo custo de execução, b) facilidade de operação e manutenção; c) necessidade de pouco espaço físico; d) facilidade de utilização de maquetes pelos arquitetos; e) caracterização instantânea das aberturas de entrada e de saída e f) visualização continuada do escoamento, possibilitando tanto o registro fotográfico como a sua filmagem. No entanto, existem algumas limitações, como: a) visualização em apenas duas dimensões, simplificando a visualização do fenômeno real que é essencialmente tridimensional; b) impossibilidade de mensuração de grandezas aerodinâmicas, como pressão, velocidades e taxas de vazão e c) simulação de escoamentos apenas isotérmicos, não servindo para analogia de ventilação natural por diferença de temperatura. A escolha por essa ferramenta de análise foi devido ao fato de que o uso de ferramentas de análises simplificadas, como a mesa d'água, permite que o projetista submeta seu projeto a situações semelhantes ao real, analisado as potencialidades e possibilidades de melhoria quanto a incorporação dos elementos naturais de ventilação para promoção do conforto térmico dos usuários. Toledo et al. (2014) ressalta que, equipamentos tais quais a mesa d'água são pouco explorados para a visualização da ventilação natural, apesar de constatações de que os efeitos visuais são muito semelhantes àqueles obtidos em experimento mais complexos, como os aerodinâmicos.

## 2. OBJETIVO

O objetivo geral deste artigo é analisar o desempenho qualitativo de diferentes geometrias de sheds extratores e captadores de ar, com relação à ventilação natural por ação dos ventos.

## 3. MÉTODO

Para atingir os objetivos desse trabalho, utilizou-se uma metodologia dividida em quatro etapas: 1. Definição dos modelos avaliados, 2. Planificação e construção dos modelos físicos de escala reduzida, 3. Ensaios experimentais através da mesa d'água do IAU (Instituto de Arquitetura e Urbanismo) – USP

### 3.1. Definição dos modelos avaliados

Três diferentes geometrias de sheds projetados pelo arquiteto Lelé nos hospitais da Rede Sarah foram avaliadas, por ser o arquiteto brasileiro que mais utiliza esses dispositivos para captação e para extração de ar e com a maior variação geométrica, sendo elas: 1) Hospital Sarah de São Luís (CR): *sheds* de formato ortogonal, semelhante ao desenho mais comum desses dispositivos, conhecidos como dente-de-serra. Essa geometria serve de referência para analisar as inúmeras evoluções que ocorreram nas geometrias dos *sheds* projetados por Lelé até chegar aos formatos aerodinâmicos, visto que é um dos primeiros hospitais da Rede; 2) Hospital Sarah de Salvador (G02): o formato dos *sheds* muda com proposta do Sarah de Salvador, surgindo os *sheds* aerodinâmicos para melhorar o desempenho da ventilação e da iluminação naturais. Essa geometria e variações a partir dela foi a mais utilizada nos hospitais Sarah (Brasília, Rio de Janeiro, entre outros) e 3) Hospital Sarah de Fortaleza (G01): em função do clima local surgem os *sheds* com formato de um meio arco. A forma côncava de Salvador se transformou em uma superfície convexa visando melhoras nas questões climáticas locais (figura 1). Esses três modelos foram os escolhidos por serem os mais divergentes dentre os *sheds* projetados por Lelé, representando claramente a variação geométrica existente nos seus edifícios.



Figura 1 – Hospitais da Rede Sarah de São Luís, Salvador e Fortaleza, respectivamente (Marieli A. Lukiantchuki, 2012).

Baseado na pesquisa de Lukiantchuki (2015) os modelos analisados apresentam um formato retangular com 5,00m de largura e altura e 7,50m de comprimento. O edifício tem 3 sheds, cuja distância entre eles é de 2,50m. Todas as aberturas têm a mesma dimensão 5 x 0,625m e a distância vertical entre elas é de 3,75m (figura 2).

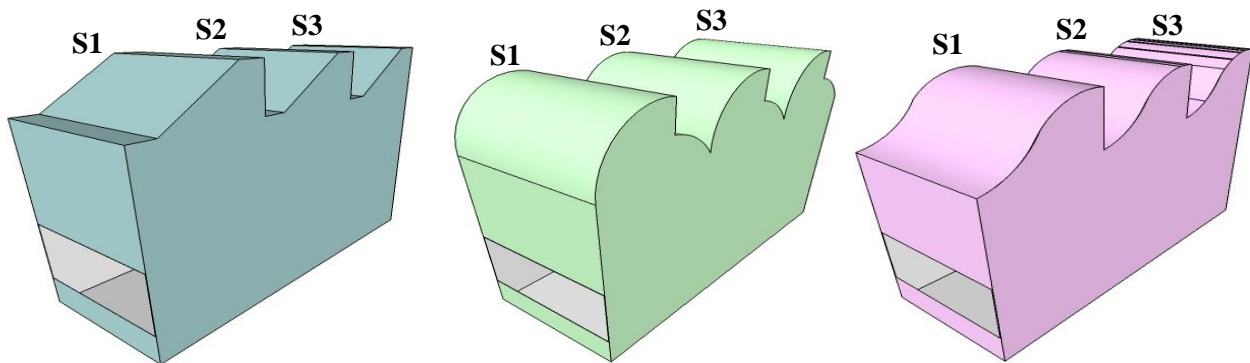


Figura 2 – Modelos avaliados: Sarah São Luís (CR), Fortaleza (G01) e Salvador (G02), respectivamente (LUKIANTCHUKI, 2015)

### 3.2. Planificação e construção dos modelos físicos de escala reduzida

A construção do modelo físico requer uma avaliação interativa entre os requisitos do modelo e as limitações impostas pela mesa d'água (dimensões da área de ensaio), considerando uma escala conveniente. O modelo deve ser rígido e reproduzir, o mais fielmente possível, a geometria do edifício analisado e os seus detalhes. A confecção do modelo é realizada a partir das recomendações da mesa d'água utilizada nessa pesquisa. A maquete é visualizada apenas em duas dimensões, simplificando a visualização do fenômeno real que é essencialmente tridimensional. Diante disso, a maquete é construída em corte com uma altura mínima de 2cm. O modelo físico ensaiado deve ter no máximo 44 cm de largura, deixando 15cm livre nas bordas laterais para evitar um efeito de blocagem e, conseqüentemente, interferência nos resultados. Como o interesse é analisar o comportamento do fluxo de ar nos ambientes internos, o modelo pode ter no máximo 60cm de profundidade. Diante dessas recomendações os modelos foram construídos na escala 1:13, sendo detalhados na tabela 1.

Tabela 1 – Cálculo da escala para as maquetes.

Dados do modelo	Dimensões originais (m)	Dimensões do modelo (m)
Altura	0,65 (corte)	0,05
Largura	5,00	0,38
Comprimento	7,50	0,58
Escala		1:13
Obstrução da seção de ensaio		2,4%

Os modelos foram planificados, no software AutoCAD que prepara dos desenhos de forma compatível com a cortadora a laser desenvolvida pela empresa Persona Máquinas, do modelo "Bee". O uso dessa máquina além de acelerar e facilitar essa etapa possibilita uma alta precisão no corte de peças curvas, como os *sheds*. O material utilizado para a construção das maquetes foi o MDF cru de espessura 3mm e os *sheds* de modelos curvos, (b) e (c), foram feitos em acetato transparente (figura 3).



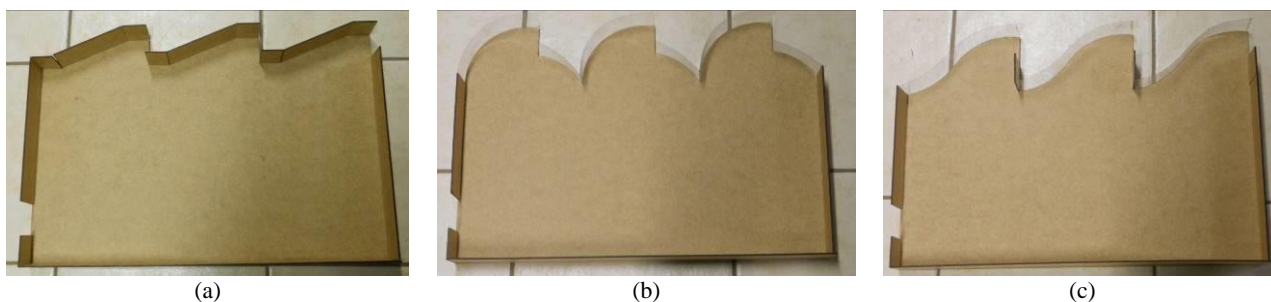


Figura 3 – Maquetes dos edifícios escolhidos, (a) Modelo CR (caso de referência) ortogonal, Sarah São Luís, (b) Modelo GR 01 - meio arco, Sarah Fortaleza e (c) Modelo GR 02 - aerodinâmico, Sarah Salvador

### 3.3. Ensaios experimentais na mesa d'água

Geralmente, os equipamentos utilizados para a quantificação e visualização dos efeitos do escoamento em meio aquoso são: os túneis, os tanques e os canais. Segundo Toledo et al. (2014), os tanques e os túneis permitem a visualização do escoamento em modelos tridimensionais, já os canais permitem apenas a visualização em modelo bidimensional. Segundo Toledo (2006), experimentos quantitativos exigem tempo e podem acabar interferindo nas atividades do ambiente a ser analisado, com exceção dos túneis de vento, pois necessitam de laboratórios bem equipados para a prática. Segundo o autor, para os experimentos qualitativos os métodos tradicionais de visualização, como os ensaios em mesa d'água, exigem menos tempo, são mais baratos e mais fáceis de manusear, sendo uma boa alternativa aos CFD. A mesa d'água é uma ferramenta que possui um grande potencial de utilização para fins didáticos e práticos, avaliando o escoamento natural do ar pela ação do vento, além de permitir a visualização dos desvios do fluxo e a formação de vórtices e esteiras, utilizando sabão líquido. Segundo Toledo e Pereira (2003) as vantagens do equipamento são: a) baixo custo de execução, b) facilidade de operação e manutenção; c) necessidade de pouco espaço físico; d) facilidade de utilização de maquetes pelos arquitetos; e) caracterização instantânea das aberturas de entrada e de saída e f) visualização continuada do escoamento, possibilitando tanto o registro fotográfico como a sua filmagem.

No entanto, existem algumas limitações: a) visualização em apenas duas dimensões, simplificando a visualização do fenômeno real que é essencialmente tridimensional; b) impossibilidade de mensuração de grandezas aerodinâmicas, como pressão, velocidades e taxas de vazão e c) simulação de escoamentos apenas isotérmicos, não servindo para analogia de ventilação natural por diferença de temperatura.

Essa etapa foi realizada no Laboratório de Conforto Ambiental do Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos da Universidade de São Paulo (IAU/USP). A mesa d'água é composta por dois reservatórios de água com as dimensões de 74x25x50 cm, totalizando 92,5 litros cada, conectados por uma bomba de 0,75CV e 60 Hz, cuja velocidade e a vazão do fluxo de água são controladas por um inversor de frequências, modelo CFW08 da WEG que está conectada à bomba. A largura da área de trabalho é de 0,74m e o comprimento de 1,10m, totalizando uma área de 0,814m<sup>2</sup> (figura 4).



Figura 4 – Mesa d'água do IAU-USP, utilizada nos ensaios.

Para a realização do ensaio, adiciona-se água no reservatório com o acionamento da bomba e, assim, cria-se um ciclo entre os dois reservatórios, passando uma película d'água pela área de ensaio. Quando o plano da área de ensaio termina, é formada uma pequena queda d'água, que após a adição de detergente líquido, serve para criar uma espuma que facilita a visualização do escoamento do fluido, através do contraste entre a espuma branca e o fundo escuro da área de ensaio.

Os experimentos foram realizados para dois ângulos de incidência dos ventos externos: extratores de

ar ( $0^\circ$ ) e captadores de ar ( $180^\circ$ ) para cada modelo analisado, totalizando 6 ensaios. Uma câmera digital da marca Nikon, modelo D5100, com tripé foi instalada na parte superior da mesa para a filmagem dos ensaios para uma análise posterior.

#### 4. RESULTADOS

De modo geral, a distribuição do fluxo de ar interno é influenciada pela orientação de suas aberturas aos ventos dominantes, uma vez que a maneira como o vento incide na edificação modifica os campos de pressões no entorno e, conseqüentemente, a forma como o fluxo interno percorre o espaço. Aliado a esses fatores, modificações na geometria do edifício também exercem uma influência significativa no desempenho da ventilação no espaço interno. A seguir, três diferentes geometrias de *sheds* projetadas pelo arquiteto Lele são analisadas, qualitativamente, para a situação de extração e captação de ar, a fim de identificar a trajetória do fluxo de ar dentro e ao redor do edifício.

##### 4.1. *Sheds* extratores de ar

Em todos os casos analisados, nota-se claramente que o fluxo de ar que incide pela abertura frontal a barlavento (A1) possui um direcionamento para baixo com velocidades elevadas, propagando-se em seguida pelo espaço interno e evidenciando a recirculação de ar com velocidades reduzidas no centro do ambiente. Têm-se velocidades mais altas na abertura de entrada de ar, notado pela maior concentração de espuma nessa região e ausência de fluxo de ar abaixo dessa abertura. Logo após entrar no espaço, nota-se uma redução da velocidade do fluxo de ar (redução da espuma) devido à expansão da corrente de ar e da recirculação central interna. Essa trajetória possibilita uma maior corrente de ar na zona de ocupação dos usuários, formando um único vórtice central em CR e G01 (figuras 5 e 6), ao contrário da G02 que, devido o formato dos *sheds* em duplo arco, impõe uma ondulação em torno de dois eixos (figura 7).

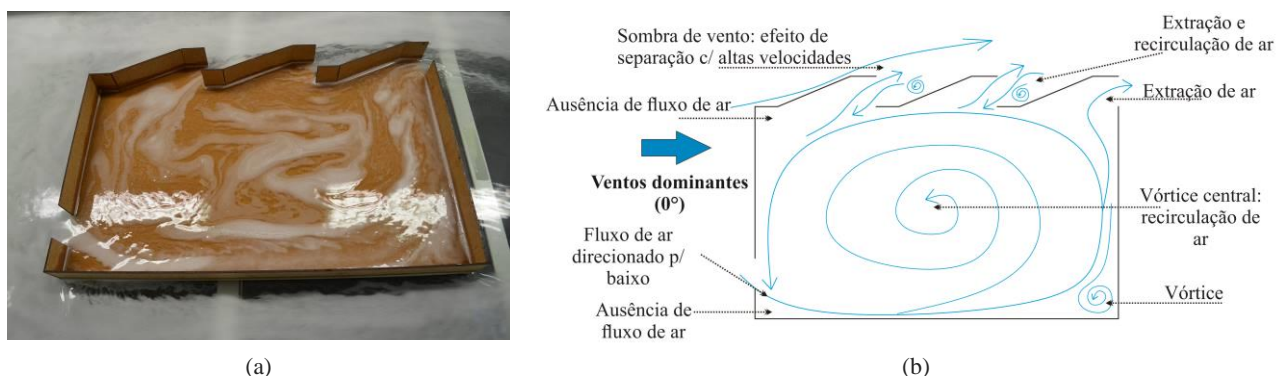


Figura 5 – (a) Distribuição do fluxo de ar, em corte, ao longo do espaço interno, do modelo CR e (b) croqui explicativo com setas direcionais de escoamento do vento – *sheds* extratores de ar

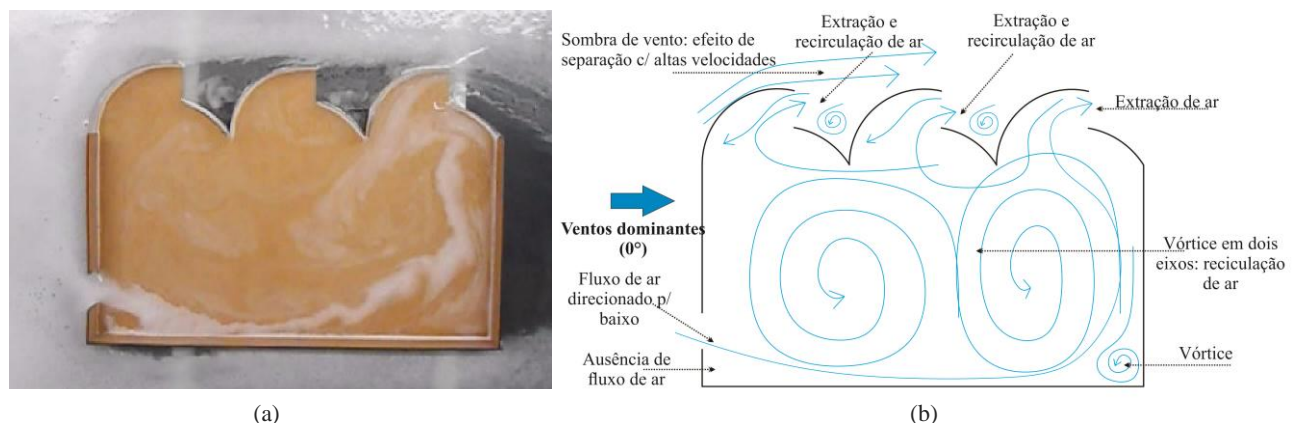


Figura 6 – (a) Distribuição do fluxo de ar, em corte, ao longo do espaço interno, do modelo G01 e (b) croqui explicativo com setas direcionais de escoamento do vento – *sheds* extratores de ar

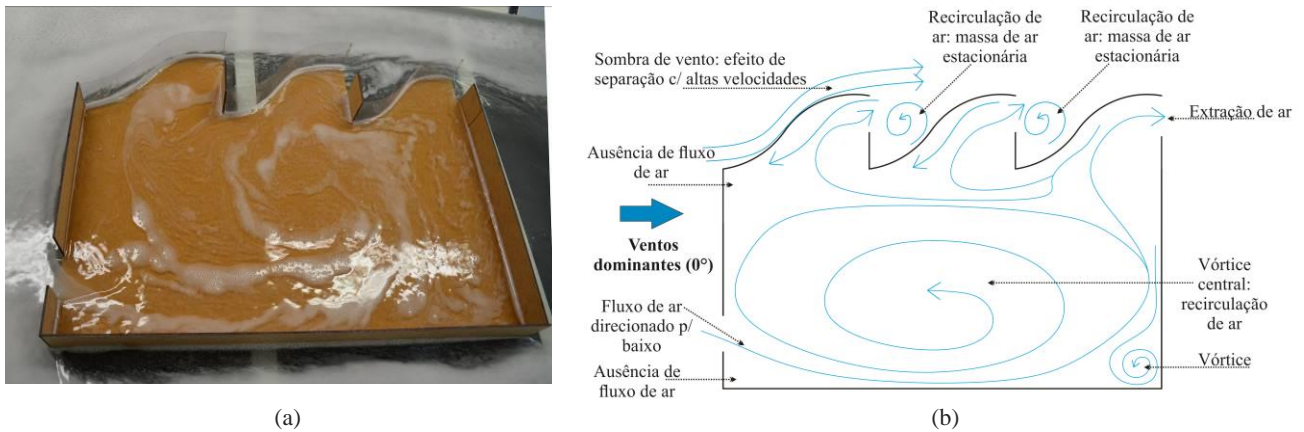


Figura7 – (a) Distribuição do fluxo de ar, em corte, ao longo do espaço interno, do modelo G02 e (b) croqui explicativo com setas direcionais de escoamento do vento – sheds extratores de ar

Quando o fluxo de ar incide nos *sheds*, tem-se um aumento de sua velocidade. Isso ocorre devido ao vento externo que tangencia a cobertura com altas velocidades, gerando uma zona de separação fortemente depressionária junto às aberturas dos *sheds* e, conseqüentemente, a aceleração do fluxo de saída, junto à face superior. Desse efeito resultam campos de pressão assimétricos nas aberturas, que em conjunto com a influência do *shed* seguinte, dá origem a uma zona de recirculação nos *sheds*, com entrada e saída de ar pela mesma abertura. No entanto, essa recirculação permanece nessa região, ocasionando uma massa de ar estacionária que não penetra no espaço interno e que reduz a quantidade de ar que é extraída pelo 1° e 2° dispositivos, ou seja, cria-se apenas uma zona de recirculação de ar entre esses dois primeiros *sheds* que pouco contribuem para o efeito da ventilação no interior da edificação. Já no último *shed*, isso não ocorre, existindo apenas extração do ar e de uma forma mais intensa. Uma ausência de fluxo de ar foi registrada na região a jusante do edifício, representada pela total ausência de espuma (figuras 5, 6 e 7).

No caso da G01 o seu formato ocasiona o duplo vórtice interior que gera a extração mais intensa pelo 3° *shed*, a recirculação no 1° e, no 2° *shed*, devido à parede inferior curva que canaliza a recirculação exterior para esses dispositivos (figura 6). Além disso, é importante ressaltar que o vórtice a barlavento possui uma recirculação de menor intensidade que o segundo a sotavento. Já na G02, nota-se fluxo reverso no 2° *shed*. Apesar de ocorrerem recirculações próximos ao 1° *shed*, a velocidade da corrente de ar que tangencia esse primeiro dispositivo é mais forte do que as que ocorrem nos *sheds* posteriores, proporcionando a extração do ar de forma mais intensa e por toda a abertura. Dessa forma, não nota-se a entrada da massa de ar estacionária localizada na região abaixo da abertura dos *sheds* de forma tão intensa quanto no 2° *shed* (figura 6).

A forma arquitetônica interfere diretamente na distribuição das pressões nas superfícies dos edifícios e a maneira como o escoamento contorna as geometrias aerodinâmicas (G01 e G02) reduz a separação, o que aumenta localmente as velocidades e, portanto, diminui as pressões. No entanto, a curvatura da G02, devido ao formato aerodinâmico, o escoamento do fluido tangencia uma maior superfície do primeiro *shed*, o que aumenta a velocidade e pode ocasionar uma queda de pressão mais significativa nas aberturas posteriores e, conseqüentemente, a extração do ar de forma mais intensa (figura 7). Ressalta-se a importância de complementar esses dados com ensaios experimentais ou numéricos para extrair dados quantitativos e, assim, ter uma análise mais completa.

#### 4.2. Sheds captadores de ar

Nas análises feitas na mesa d'água, em todos os casos analisados, quando os *sheds* funcionam como captadores de ar, a corrente de ar incide na cobertura com altas velocidades ocasionando uma zona de separação com a formação de uma grande sombra de vento com baixas velocidades nos *sheds* localizados posteriormente. Esse efeito é percebido claramente por uma grande massa de espuma circulando sobre a cobertura. Na região de ocupação dos usuários, próxima ao *shed* localizado a barlavento, tem-se uma zona de calmaria, com baixas velocidades, indicando que o ar que penetra por esse dispositivo não alcança a altura dos usuários com altas velocidades. Na abertura a sotavento, nota-se a saída do fluxo de ar direcionada para baixo e com maiores velocidades, devido a grande concentração de espuma (figuras 8, 9 e 10).

Para todas as geometrias dos *sheds* analisadas, apenas o dispositivo frontal a barlavento funciona como captador de ar. O fluxo de ar incidente na cobertura com altas velocidades gera uma forte zona de



separação com a formação de uma sombra de vento que ocasiona a queda dos valores de pressão nas aberturas dos *sheds* localizados na região posterior (Cps negativo). Esse efeito aumenta a probabilidade de ocorrência de um fluxo reverso nas aberturas dos *sheds* S1 e S2, que ao contrário de captarem o ar, passam a extraí-lo.

Nota-se claramente pelas imagens que o ar captado pelos *sheds* atinge apenas a região superior do espaço, uma vez que o ar que entra pelo primeiro dispositivo é extraído pelos outros *sheds*, não atingindo a zona de ocupação com altas velocidades. A intensidade com que o vento incide sobre esses dispositivos e gera a sombra de vento nos *sheds* posteriores, pode ocasionar uma redução mais intensa nos valores de Cps e, conseqüentemente, maiores  $\Delta Cps$  entre as aberturas. No CR o fluxo de ar captado pelo primeiro *shed* é direcionado para frente sendo parcialmente extraído pelos *sheds* posteriores. O fluxo com maior velocidade permanece na zona superior do espaço e na região mais afastada do *shed* captador, apresentando a aceleração do ar e a saída pela abertura mais baixa. Em função disso, forma-se uma recirculação oblíqua em torno de um eixo próximo ao canto inferior sob a entrada e à medida que o ar vai se direcionando para o fundo do ambiente, a velocidade sofre uma redução, atingindo valores mais baixos próximos ao *shed* captador. Esses valores reduzidos indicam que o ar que penetra por esse dispositivo não chega com grandes velocidades à altura do usuário (figura 8).

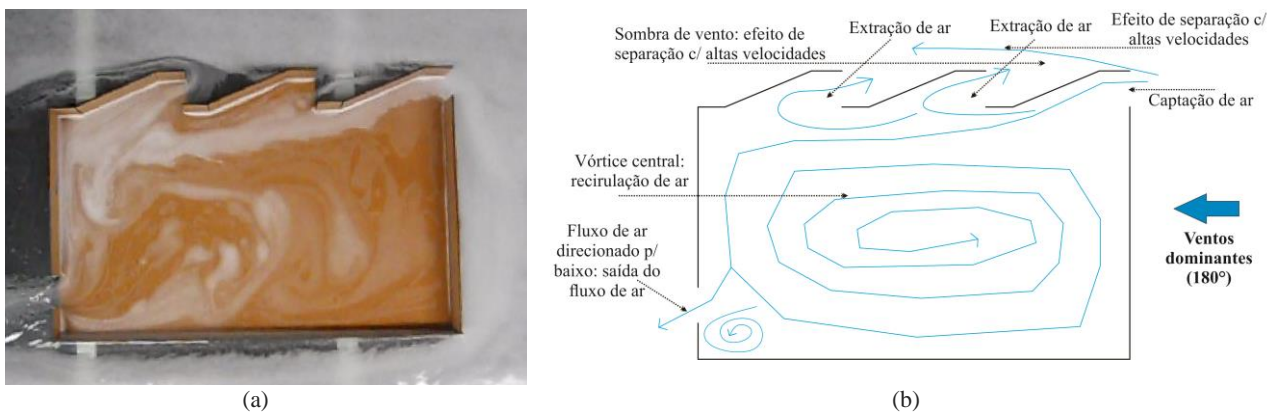


Figura 8 – (a) Distribuição do fluxo de ar, em corte, ao longo do espaço interno, do modelo CR e (b) croqui explicativo com setas direcionais de escoamento do vento – *sheds* captadores de ar

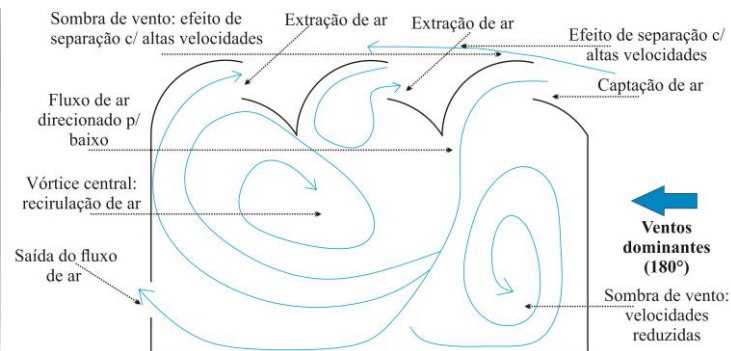
Nas outras geometrias analisadas (G01 e G02), devido à curvatura aerodinâmica acentuada, o fluxo é desviado para baixo de forma mais intensa, o que aumenta a velocidade na zona de ocupação dos usuários. Isso faz com que um fluxo com maiores velocidades atinja locais mais distantes do *shed* captador (figuras 9 e 10). Cria-se um vórtice no sentido oposto ao vórtice central. Por outro lado, a trajetória do fluxo de ar interno forma uma região de sombra de vento com velocidades reduzidas logo abaixo do *shed* captador (figura 10). Já a G01, devido ao seu formato em meio arco, o ar com maiores velocidades é direcionado para baixo, atingindo o centro do ambiente e sendo extraído, posteriormente, pela abertura a sotavento e pelos *sheds* localizados na região posterior ao *shed* captador. Essa configuração ocasiona uma circulação do ar interno em 2 eixos de modo que o fluxo que entra com altas velocidades pela cobertura gera uma zona de calmaria com valores reduzidos também na região próxima ao *shed* captador (figura 9).

Analisando as regiões de calmaria localizadas logo abaixo do *shed* captador nas geometrias G01 e G02, nota-se uma maior intensidade na velocidade da recirculação de ar no caso da geometria G01, além do vórtice cobrir uma área menor do modelo (figura 9). No modelo G02, tem-se um fluxo de ar mais canalizado e que atinge o fundo do modelo em uma angulação menos incisiva que e no modelo GR01, isso ocorre devido ao seu formato mais aerodinâmico.





(a)

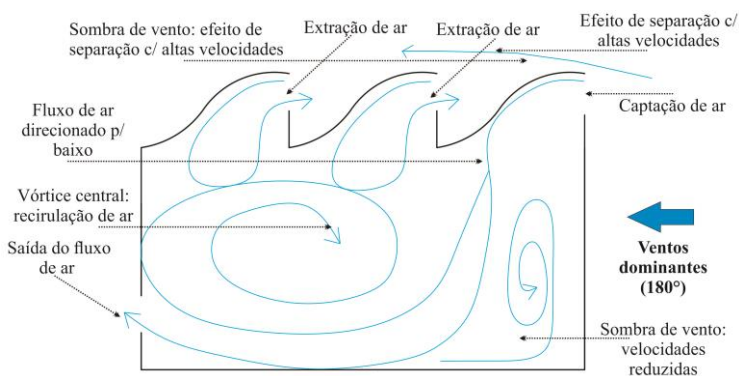


(b)

Figura 9 – (a) Distribuição do fluxo de ar, em corte, ao longo do espaço interno, do modelo G01 e (b) croqui explicativo com setas direcionais de escoamento do vento – *sheds* captadores de ar



(a)



(b)

Figura 10 – (a) Distribuição do fluxo de ar, em corte, ao longo do espaço interno, do modelo G02 e (b) croqui explicativo com setas direcionais de escoamento do vento – *sheds* captadores de ar

## 5. CONCLUSÕES

De maneira geral, nos ensaios na mesa d'água variando a geometria dos *sheds*, para todos os casos analisados, esses dispositivos como extratores apresentaram um melhor desempenho do que como captadores de ar. Isso aconteceu, pois, apesar dos *sheds* como captadores apresentarem um maior número de aberturas de entrada de ar, apenas o 1º shed funciona como captador. O vento incidente na cobertura, forma uma sombra de vento acarretando em regiões de massa de ar estacionadas localizados na região posterior e, conseqüentemente, a extração do ar. Ainda nesse caso, nos dois *sheds* posteriores há uma recirculação de ar, não havendo uma diferença de pressão significativa o que acarreta em pouca influência na circulação no interior dos modelos, Quando os *sheds* atuam com extratores de vento, há uma maior recirculação de ar por todo o modelo, não havendo grandes zonas de calmarias. Nota-se que na zona de percepção do usuário, que fica na parte inferior da edificação, há uma maior renovação de ar, com velocidades dos ventos mais pronunciadas.

Ainda no caso de atuarem como extratores, a grande diferença entre as geometrias analisadas é que, embora em todo o fluxo de ar passe na zona do usuário e seja extraído pelo 1º shed, no caso da geometria G01, devido ao seu formato de meia curva, há a formação de um segundo grande vórtice na área central. Já no caso das outras duas geometrias (GR e G02) há a formação apenas de uma grande zona de recirculação de ar, mas com uma boa movimentação em praticamente toda a área de análise e, principalmente, na zona de ocupação do usuário.

Para os *sheds* atuando como captadores percebe-se que a conformação arquitetônica possui uma influência maior na circulação interna dos modelos, uma vez que o direcionamento dos fluxos de acordo com formato do *shed* a barlavento pode ser direcionado para cima, como no caso do CR, ou para baixo na região do usuário como no caso do modelo G01. Esse direcionamento também acarreta em zonas de calmarias, podendo possuir uma maior ou menor área, como nos casos do CR e G01 respectivamente.

Por fim, com esses resultados nota-se mais uma vez a eficácia da mesa d'água como ferramenta para a análise das variações no comportamento da ventilação natural de ambientes. Apesar das limitações da

ferramenta trata-se de um equipamento viável à análise de diferentes geometrias e conformações de edifícios, tanto no nível urbano quanto para os espaços internos das construções. Vale ressaltar que, existem outros parâmetros projetuais de análise no que diz respeito ao aproveitamento de ventilação natural em *sheds*, dentre eles: o tamanho das aberturas, outras geometrias dos *sheds*, localização e número das aberturas nas fachadas, inclusão de protetores solares nas aberturas, entre outros, que são muito importantes para análise do desempenho da ventilação natural por meio de *sheds*. No entanto, o objetivo da presente pesquisa foi analisar três diferentes geometrias projetadas por Lelé, a fim de compreender de que maneira essas mudanças influenciam na extração e na captação de ventilação natural através de *sheds* na cobertura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, C. V. de A. “Análise de componentes arquitetônicos para potencialização da ventilação natural com ênfase em captadores de vento”. 2011. 130 f. Dissertação (Mestrado em Conforto no Ambiente Construído; Forma Urbana e Habitação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.
- BITTENCOURT, L.; S. CÂNDIDO, C. “Introdução à ventilação natural”. Maceió: EDUFAL. 2005.
- CHEN, Q. “Ventilation performance predictin for buildings: a method overview and recent applications”. In: “Building and environment”, 44 (2009) 848-858.
- CHEN, Q. “Using computational tools to factor wind into architectural environment design”. Energy and Buildings, v. 36, 2004.
- EDWARDS, Brian. Contexto Ambiental, educacional e profissional. In: EDWARDS, B. “O guia básico para a sustentabilidade”. Barcelona. Ed. Gustavo Gilli, 2008.
- ETHERIDGE, D.; SANDBERG, M. “Building ventilation : theory and measurement”. Chichester: John Wiley & Sons, 1996.
- GIVONI, B. “Man, climate and architecture”. Londres: Applied Science Publishers, 1976
- LEVIN, H. “Natural ventilation: A sustainable solution to infection control in healthcare settings?” IAQ Conference. Anais... . p.10, 2011.
- LOBÔ, D.F., BITTENCOURT, L.S. “A influência dos captadores de vento na ventilação natural de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 57-67, abr./jun. 2003. ISSN 1415-8876
- LUKIANCHUKI, M. A. “Sheds extratores e captadores de ar para indução da ventilação natural em edificações”. 2015. Tese (doutorado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.
- MATSUMOTO, E; LABAKI, L. Túnel de vento. In: KOWALTOWSKI, D. C. C. K. “O processo de projeto em arquitetura: da teoria à tecnologia”. São Paulo: Editora Singer, 2011.
- TOLEDO, A. M.; PEREIRA, F. O. R. “O potencial da mesa d’água para a visualização analógica da ventilação natural em edifícios”. In: “ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – COTEDI”. 2003.
- TOLEDO, A. M.; PEREIRA F. O. R.; RUTTKAY, F. O. “Visualização analógica da ventilação natural pela ação do vento em edifícios residenciais na mesa d’água”. In: “I CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO”. São Paulo, 2014.
- TOLEDO, A. M. “Avaliação do desempenho da ventilação natural pela ação do vento em apartamentos: uma aplicação em Maceió/AL”. Tese (Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- TOLEDO, A. M.; LAURENTINO, N.; “Análise da ventilação natural em apartamentos reversíveis por meio de ensaios analógicos na mesa d’água”. 2010.