# VISUALIZAÇÃO ANALÓGICA DA VENTILAÇÃO NATURAL NA MESA D´ÁGUA: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE TRAÇADORES POR INJEÇÃO DIRETA

**Maria Isabel P. Custódio (1); Alessandra Rodrigues Prata Shimomura (2); Marieli Azoia Lukiantchuki (3).**
(1) Arquiteta e Urbanista, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - PPU/UEM-UEL, custodio.mariaip@gmail.com, Universidade Estadual de Maringá;
(2) Arquiteta e Urbanista. Professora Dra., arprata@usp.br, Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LABAUT), Rua do Lago 876, São Paulo – SP, 05508-080, Tel: (11) 3091 4538;
(3) Arquiteta e Urbanista. Doutorado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia. Professora Adjunta na Universidade Estadual de Maringá, malukiantchuki2@uem.br, Universidade Estadual de Maringá;

## RESUMO
A mesa d'água é um equipamento hidráulico utilizado para visualizações analógicas da ventilação natural em edificações de forma simplificada e didática. Contudo, é necessário um maior aprofundamento sobre seu funcionamento e a influência de diversos parâmetros na visualização do fluxo de ar. Diante disso, o objetivo desse artigo é avaliar o desempenho de diferentes traçadores por injeção direta. Foram escolhidos três traçadores seguindo critérios ambientas. Posteriormente, diferentes concentrações destes materiais foram ensaiadas em uma única frequência (20Hz), a fim de se avaliar o padrão do fluxo de ar em relação à literatura especializada e o contraste para melhor visualização do fenômeno analisado. Após esses primeiros resultados, o traçador selecionado foi submetido à testes de velocidade, utilizando um cubo de isopor, variando a concentração e mantendo a mesma frequência. E por fim, utilizando o traçador e a concentração selecionados foram realizados testes de visualização em diferentes frequências sem a alteração da concentração. Os resultados apresentam desempenho suficiente dos três traçadores, em relação à visualização do fenômeno; é apresentado um desempenho "ótimo" na concentração de 200ml.; e é observado que, o aumento da concentração do traçador, assim como o aumento da frequência, ocasiona padrões de fluxo mais instáveis com maiores formações de vórtices e recirculações internas, o que pode dificultar a leitura do fenômeno.

Palavras-chave: Mesa d'água. Traçador. Ventilação natural.

## ABSTRACT
The water table is a hydraulic equipment used for analog visualizations of natural buildings in a simplified and didactic way. However, it is necessary to go deeper into its operation and the difference in parameters in the visualization of the air flow. Therefore, the objective of this article is to evaluate the performance of different tracers by direct injection. Three tracers were chosen according to environmental criteria. Subsequently, different of these materials were tested at a single frequency (20Hz), in order to assess the airflow pattern in relation to the specialized literature and the contrast for better visualization of the phenomenon. After these first results, the selected tracer was subjected to speed tests, using a polystyrene cube, varying it keeping and maintaining the same frequency. Finally, using the selected tracer and concentration, visualization tests were performed at different frequencies without changing the concentration. The results showing adequate performance of the three tracers, in relation to the visualization of the phenomenon; "optimal" performance at a concentration of 200ml is presented. and it is observed that, the increase in the concentration of the tracer, as well as the increase in the frequency, cause more unstable flow patterns with greater formations of vortices and internal recirculation, which can make it difficult to read the phenomenon.

Keywords:Water table. Tracer. Natural ventilation

## 1. INTRODUÇÃO

A ventilação natural está entre as estratégias projetuais mais efetivas para o alcance do conforto térmico por meios passivos em regiões de clima quente e úmido, que é característico da maior parte do território brasileiro (BITTENCOURT, CÂNDIDO, 2015). Além da obtenção do conforto térmico dos usuários, o uso dessa estratégia projetual possibilita a renovação do ar interno, garantindo a salubridade dos ambientes e, assim, a saúde de seus ocupantes, através da substituição do ar interno viciado, pelo ar fresco do exterior. Essa renovação auxilia na dispersão de poluentes, remoção de odores, partículas, entre outros micro-organismos como cargas virais, destacando ainda mais a sua importância nesse atual momento da pandemia da COVID-19. Por fim, esta estratégia também reduz o consumo de energia elétrica, uma vez que, diminui o uso da ventilação mecânica e do ar condicionado. Segundo Alloca *et al.* (2003), o consumo de energia de um edifício ventilado naturalmente é 40% menor do que de um edifício com ar condicionado.

Contudo, Omrami *et al.* (2017), afirmam que prever o comportamento da ventilação natural nas edificações é um processo complexo devido aos parâmetros físicos envolvidos. Já Pereira e Toledo (2005), afirmam que a análise baseada na visualização qualitativa desse fenômeno se apresenta como uma solução útil e eficaz. De forma geral, a previsão do fluxo de ar pode ser realizada principalmente de duas formas: 1. ensaios experimentais em túnel de vento e em mesas d'água e 2. simulações computacionais com base em dinâmica dos fluidos (CALAUTIT; HUGHES, 2014). O túnel de vento, e os programas de simulação CFD não são utilizados pela maioria dos projetistas atuantes no Brasil, pois, se configuram como ferramentas complexas, além do alto custo inicial e à necessidade de profundo conhecimento técnico (XAVIER *et al.*, 2020). Como alternativa à essas ferramentas, tem-se a possibilidade da utilização da mesa d'água, um equipamento hidráulico utilizado como modelo analógico para a visualização da ventilação natural de forma qualitativa em modelos de escala reduzida (PEREIRA; TOLEDO, 2004).

A mesa d'água consiste em uma caixa de vidro, sustentada por uma base de ferro, composta por uma bomba d'água que tem a capacidade de impulsionar a água do reservatório à jusante para montante, através de uma tubulação transversal. Segundo Toledo e Pereira (2003), essa ferramenta possui vantagens como: baixo custo de execução; facilidade de operação e manutenção; necessidade de pouco espaço físico; facilidade de utilização de maquetes pelos arquitetos; e visualização continuada do escoamento, possibilitando tanto o registro fotográfico como a sua filmagem. No entanto, apresenta algumas limitações, tais como: visualização em apenas duas dimensões do fenômeno que é essencialmente tridimensional; a impossibilidade da mensuração de grandezas aerodinâmicas; e a impossibilidade de avaliar a ventilação natural por diferença de temperatura.

O funcionamento da mesa d'água consiste na visualização do escoamento a partir da passagem da água misturada com um indicador (TOLEDO; PEREIRA, 2003). De acordo com Blessmann (1983), a água acrescida de um indicador em contato com obstáculos (modelo reduzido), permite a visualização dos desvios do fluxo, como a formação de vórtices e esteiras. Os principais indicadores utilizados na mesa d'água são: (a) métodos do traçador (*tracer method*) que pode se utilizar de injeção direta do indicador no fluido, reação química e controle elétrico; (b) método do tufo (*tuft method*), por meio das técnicas de superfície, profundidade e malha; e (c) método óptico (*optical method*), que utiliza técnicas de sombra, Schlieren, interferometria e halografia (PEREIRA; TOLEDO, 2004). Merzkirch (2011), aponta o método do traçador combinado com a injeção direta como um dos mais indicados para experimentos de visualização da ventilação natural em equipamentos hidráulicos. Esses métodos podem se utilizar de tinturas, pigmentos, óleos, leite, bolhas de sabão e partículas luminosas.

A escolha do traçador deve se basear não somente no desempenho de visualização do fenômeno, mas também no impacto ambiental, visto que se tem o descarte da água acrescida desse componente e a relação consciente dos recursos do planeta. Sendo assim, recomenda-se evitar o uso de traçadores com compostos de origem animal. Segundo Moulin (2009), a utilização de recursos de origem animal está diretamente relacionada com impactos ambientais, tais como a extensiva utilização de energia, recursos hídricos, além da relação com o bem estar animal. Assim traçadores que realizam testes em animais, também devem ser evitados seguindo as recomendações do Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), pela lei n° 11.794 (2008), que preconiza, sempre que possível, o uso de métodos alternativos que substituam os animais nos experimentos (PACHECO; SAAD; TREVIZAN, 2012).

Por fim, ressalta-se que é importante evitar também produtos que possuam componentes tóxicos ou demasiados prejudiciais para o meio de descarte (como os detergentes e sabões fabricados com tensoativos não biodegradáveis), ou que necessitem de trocas de água constante da mesa entre os ensaios, como no caso de alguns corantes, tinturas e pigmentos.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar o desempenho de diferentes traçadores em ensaios na mesa d'água, para a visualização da ventilação natural, comparando com resultados em CFD e literatura especializada.

## 3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em quatro etapas:

1. Seleção dos traçadores analisados;
2. Definição do modelo analisado;
3. Ensaios na mesa d'água;
4. Análise dos resultados.

### 3.1. Seleção dos traçadores

Os critérios de seleção dos traçadores buscaram aliar as características apresentadas na Tabela 1. Os traçadores selecionados são do tipo sabão líquido ou detergente comercial doméstico e a verificação dos componentes e ausência de testes em animais são conferidos de acordo com as informações dos fabricantes. As marcas selecionadas se constituem de acordo com a abrangência de distribuição em território nacional no momento da pesquisa, a fim de assegurar acessibilidade para estudos futuros. A Tabela 2 apresenta as informações dos traçados testados neste artigo.

Tabela 1 - Critérios para seleção

| NÚM. DO CRITÉRIO | ASPECTOS AMBIENTAIS | REQUISITOS PRÁTICOS |
|---|---|---|
| 1 | Minimização de componentes tóxicos para o meio de descarte | Possibilidade de reutilização da água; possibilidade de descarte em meio aberto, uso de componentes biodegradáveis. |
| 2 | Ausência de componentes de origem animal ou que realizam testes em animais | Produtos dermatologicamente testados- *cruelty-free* e sem componentes de origem animal. |
| 3 | Facilidade de acesso | Marcas de fácil distribuição |

Tabela 2 – Traçados utilizados

| PRODUTO | TIPO | EMBALAGEM | CUSTO 2021 (R$/ml) | FABRICANTE |
|---|---|---|---|---|
| YPÊ Coco | Detergente Líquido | 500 ML | 0,0033 | YPE representações LTDA |
| Tixan YPÊ | Lava-Roupas Líquido | 1L | 0,0099 | YPE representações LTDA |
| GIRANDO SOL Glicerina | Lava-Roupas Líquido | 2L | 0,0076 | Industria Comercio Produtos de Limpeza Girando Sol LTDA |

### 3.2. Definição do modelo analisado

O modelo ensaiado foi definido através da pesquisa de Xavier *et al.* (2020) que teve a escolha como base em referências de grande importância no tema de ventilação natural (GIVONI, 1976; CHAVEZ; FREIXANET, 2005; BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010), a fim de analisar o impacto da configuração das aberturas no desempenho do fluxo de ar interno. Os modelos apresentam dimensões de 3 módulos x 3 módulos, altura de 1 módulo, sendo 1 módulo = 1,0m (na dimensão real). Nesse artigo analisou-se o modelo com aberturas de entrada e saída de ar, ambas com dimensão de 1,0m e localizadas no centro das vedações. A escolha por modelos simplificados existentes na literatura facilita a comparação entre diferentes ferramentas e o entendimento do fenômeno da ventilação natural. Os modelos foram ensaiados considerando os ventos externos com ângulo de incidência perpendicular aos modelos (0°), conforme a Figura 1.

Após a definição das configurações, foi elaborado um modelo físico reduzido para a realização dos ensaios. O modelo foi planificado, no *software* AutoCAD (2016) e, posteriormente, cortado em uma cortadora a laser. Como a visualização do fenômeno acontece apenas em duas dimensões, podendo ocorrer tanto em planta quanto em corte, neste caso o modelo foi construído em planta baixa usando o acrílico transparente de 2mm, que além de ser um material resistente e impermeável, facilita a visualização do fenômeno analisado. A maquete foi construída com encaixes do tipo macho e fêmea, visando maior flexibilidade na modificação das diferentes configurações está representada na Figura 2.

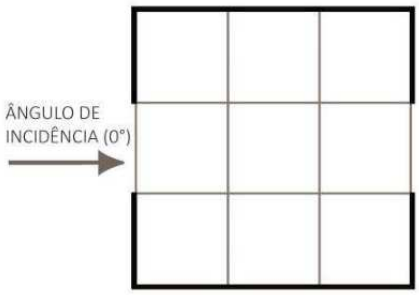



Figura 1: Modelo de referência.



Figura 2: Maquete do modelo de referência.

## 3.2. Ensaios na mesa d´água



Figura 3: Mesa d'água do LACAE-UEM.

A mesa d'água utilizada nesse estudo está localizada no Laboratório de Conforto Ambiental e Ergonomia da Universidade Estadual de Maringá (LACAE-UEM), cuja área de ensaio apresenta 1,53m x 0,82m, revestida por material autoadesivo preto para melhorar o contraste durante os ensaios. O equipamento possui dois tanques de água com capacidade de aproximadamente 110,0 litros cada, conectados por uma bomba 0,75CV e 60Hz. Um inversor de frequência, modelo Weg CFW100 monofásico 0,5CV 220V 2,6A, é responsável por controlar a velocidade e a frequência do fluxo de água (Figura 3).

### *3.2.1. Ensaios com diferentes concentrações de traçadores*

Os ensaios foram realizados com traçadores por injeção direta. Para a realização dos ensaios, o reservatório a jusante foi cheio totalmente (110 litros de água) e o reservatório a montante foi cheio até a altura de 6cm (9,4 litros de água), totalizando aproximadamente 120 litros de água em cada ensaio e 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 do traçador na concentração desejada, cria-se 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.

Primeiramente, para cada traçador, diferentes concentrações foram ensaiadas. Utilizaram-se as concentrações de 50ml, 100ml, 200ml, 300ml e 400ml. A fim de garantir o turbilhonamento necessário para a formação da espuma, a frequência do sistema elétrico foi elevada a 50Hz e, após alguns minutos, a frequência foi ajustada para 20Hz. Esse procedimento, segundo Toledo e Pereira (2003), é adequado para visualizações analógicas de fluxo laminar. Os autores apontam a necessidade do aumento periódico da frequência do inversor e, assim, do turbilhonamento durante os testes, devido à rápida perda de consistência da espuma.

### *3.2.2. Ensaios da velocidade média nas diferentes concentrações de traçadores*

Ensaios para a medição da velocidade do fluxo de água, em cada concentração estudada, foram realizados. Utilizou-se um cubo de isopor de 1,5x1,5x1,5cm. O cubo inicia sua trajetória na horizontal a jusante, posicionado no centro da largura da mesa, e é pego a montante. O tempo da trajetória é cronometrado e repetido em dez vezes, de forma experimental, para se obter a média da velocidade e o desvio padrão. Os

ensaios foram realizados na frequência de 20Hz, mesma velocidade dos ensaios das diferentes concentrações dos traçadores A Figura 4 exemplifica o percurso do cubo de isopor, demonstrando a realização prática do ensaio.




Figura 4: Percurso do isopor

### *3.2.3. Ensaios de diferentes frequências para a mesma concentração do traçador*

Por fim, de posse da concentração do traçador que apresentou a melhor similaridade com a literatura especializada, foram realizados ensaios variando a frequência da mesa d´água, a fim de analisar o padrão de distribuição do fluxo de ar. As frequências ensaiadas foram: 20Hz (padrão); 25Hz; 30Hz; 35Hz e 40Hz.

## 3.3. Forma de análise dos resultados

Primeiramente, tanto a filmagem quanto a captura de imagens dos ensaios na mesa d´água foram garantidas a partir da instalação de uma câmera digital na parte superior da área de ensaio. A câmera foi posicionada a uma altura de 60cm acima do nível da área de ensaio visando garantir o nível horizontal do equipamento. A sala foi iluminada com iluminação natural, evitando o reflexo de lâmpadas artificiais na mesa de ensaio e, assim, dificultar a visualização das imagens. Vídeos foram gerados e, posteriormente, as imagens foram tratadas para as análises.

A análise dos resultados dos experimentos se realiza com uma comparação visual qualitativa, do traçador selecionado nas diferentes concentrações, com exemplos da literatura especializada. Autores como Bittencourt; Cândido (2010) e Givoni (1976), se utilizaram de modelos simplificados para explicar o comportamento da ventilação natural no interior das edificações e as variáveis que influenciam nesse fenômeno. Esses estudos possuem o intuito de explicitar o comportamento do fluxo de ar, no ambiente interno, variando parâmetros, tais como: orientação do edifício e das aberturas, em relação à direção dos ventos dominantes; dimensão e localização das aberturas de entrada e saída do ar; configuração das aberturas usadas, localização de outros elementos arquitetônicos; entre outros.

Para modelos simplificados, tem-se também os estudos realizados por Givoni (1976), cuja relação da localização horizontal das aberturas com o desempenho do fluxo de ar interno é analisada. A Figura 5 apresenta vetores que indicam a distribuição do fluxo de ar nos ambientes internos, e que servirá de comparação para os resultados dos ensaios na mesa d´água.

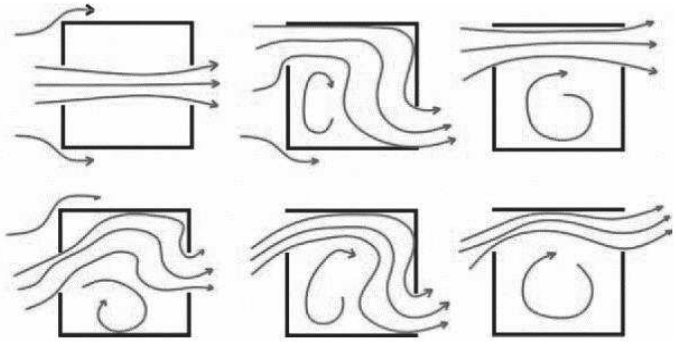


Figura 5: Efeito da localização horizontal das aberturas Fonte: Bittencourt; Cândido (2010).

A análise comparativa com a literatura especializada, então, se dá de forma qualitativa na criação de vetores, utilizando o *software* Adobe® Photoshop 2019 em um sistema de sobreposição de imagens. Estes vetores representam o fluxo conforme a literatura especializada, presente nos resultados dos ensaios em diferentes concentrações do traçador.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Ensaios de diferentes concentrações dos traçadores analisados

As Figuras 6, 7 e 8 apresentam as imagens dos ensaios na mesa d´água dos traçadores analisados, com as diferentes concentrações testadas, para a frequência de 20Hz, comparando com a literatura especializada. De forma geral, os diferentes traçadores seguiram a mesma tendência no padrão do fluxo de ar interno, à medida que a concentração do traçador foi aumentada.

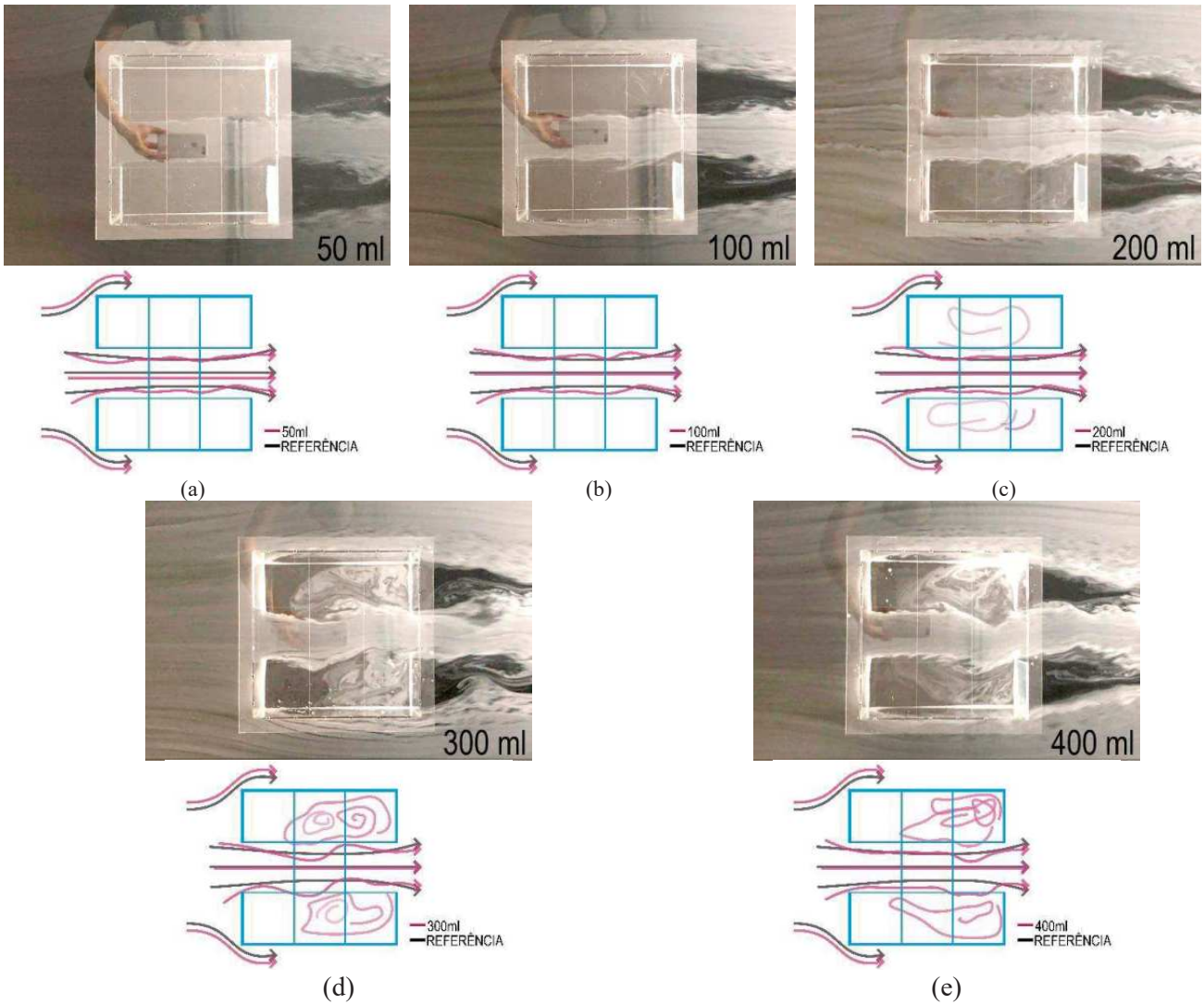



Figura 6 – Resultado dos ensaios e análise visual do traçador Ypê coco para a frequência de 20Hz nas concentrações de (a) 50ml; (b) 100ml; (c) 200ml; (d) 300ml e (e) 400ml

Os ensaios com o traçador detergente líquido Ypê Coco obtiveram um aumento do contraste, ou seja, uma melhora da visualização a partir da concentração de 200ml, diminuindo os reflexos do ambiente. Contudo, com relação ao padrão do fluxo de ar interno, nota-se claramente que nas concentrações de 50ml, 100ml e 200ml esse padrão se mantém próximo ao modelo de referência da literatura especializada, apresentando um comportamento mais retilíneo e sem grandes vórtices. Já nas concentrações de 300ml e 400ml, nota-se um comportamento mais maleável e com vórtices, normalmente esperado com o aumento da velocidade do fluxo de ar interno, percebendo-se que o aumento da concentração do traçador modificou o padrão do fluxo de ar a partir de 300ml.

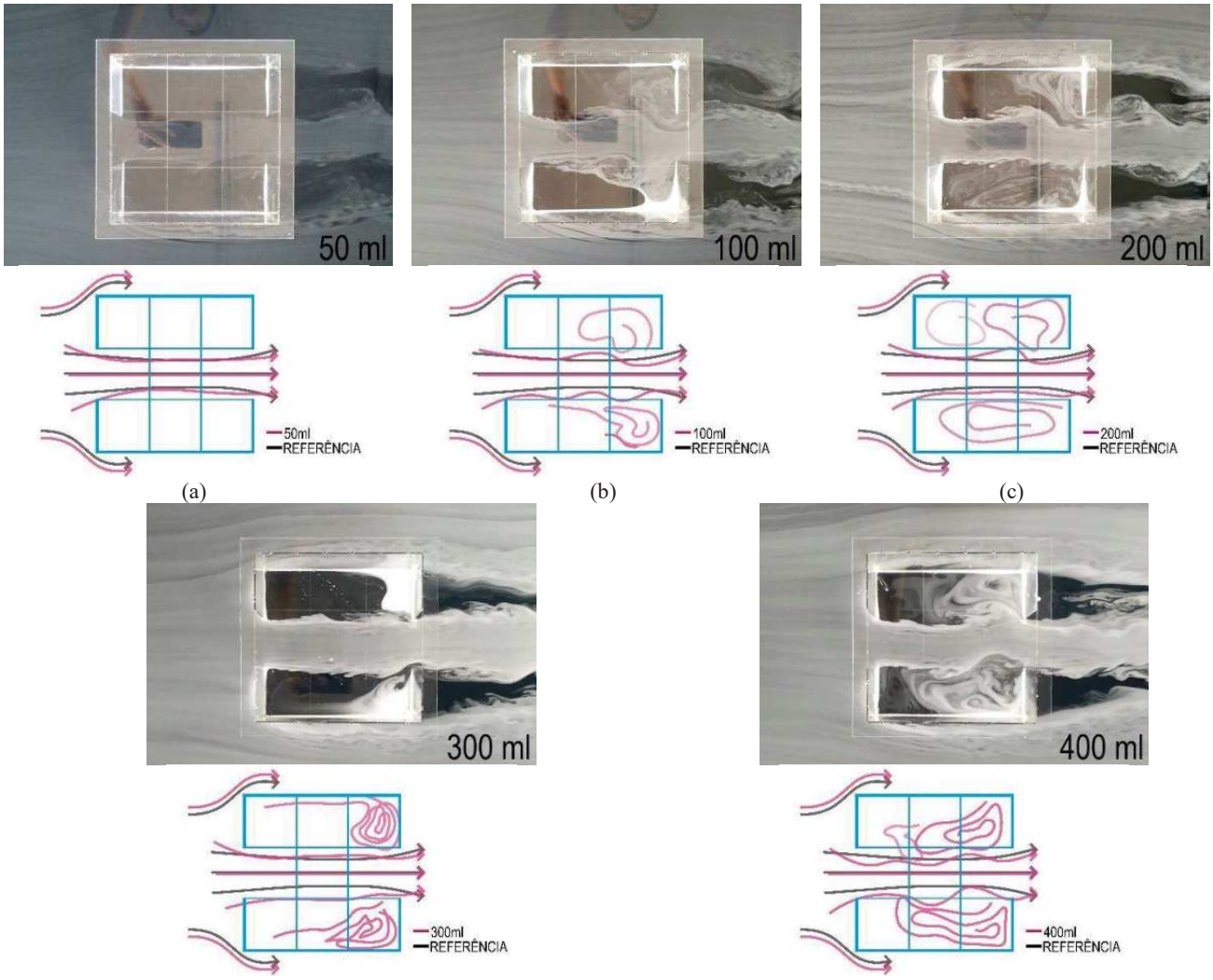



Figura 7 – Resultado dos ensaios e análise visual do traçador Tixan Ypê para a frequência de 20Hz nas concentrações de (a) 50ml; (b) 100ml; (c) 200ml; (d) 300ml e (e) 400ml

O traçador Tixan Ypê, possui comportamento similar ao traçador anterior (Detergente Ypê coco), com uma melhora no contraste e redução dos reflexos nas concentrações a partir de 100ml, o que auxilia na visualização do fenômeno nos ensaios. O padrão de fluxo apresenta comportamento próximo ao modelo de referência até a concentração de 200ml. Novamente tem-se uma diferença com o aumento da concentração do traçador, destacando que em 300ml tem-se o acúmulo de espuma nas laterais internas do modelo, o que dificulta a visualização do fenômeno, podendo ser confundido com alcance no fluxo de ar nessas regiões. Além disso, na concentração de 400ml nota-se claramente a formação de vórtices e a recirculação do ar nas laterais no modelo analisado, o que pode ocasionar divergências na visualização do fenômeno, comparado com a literatura especializada.

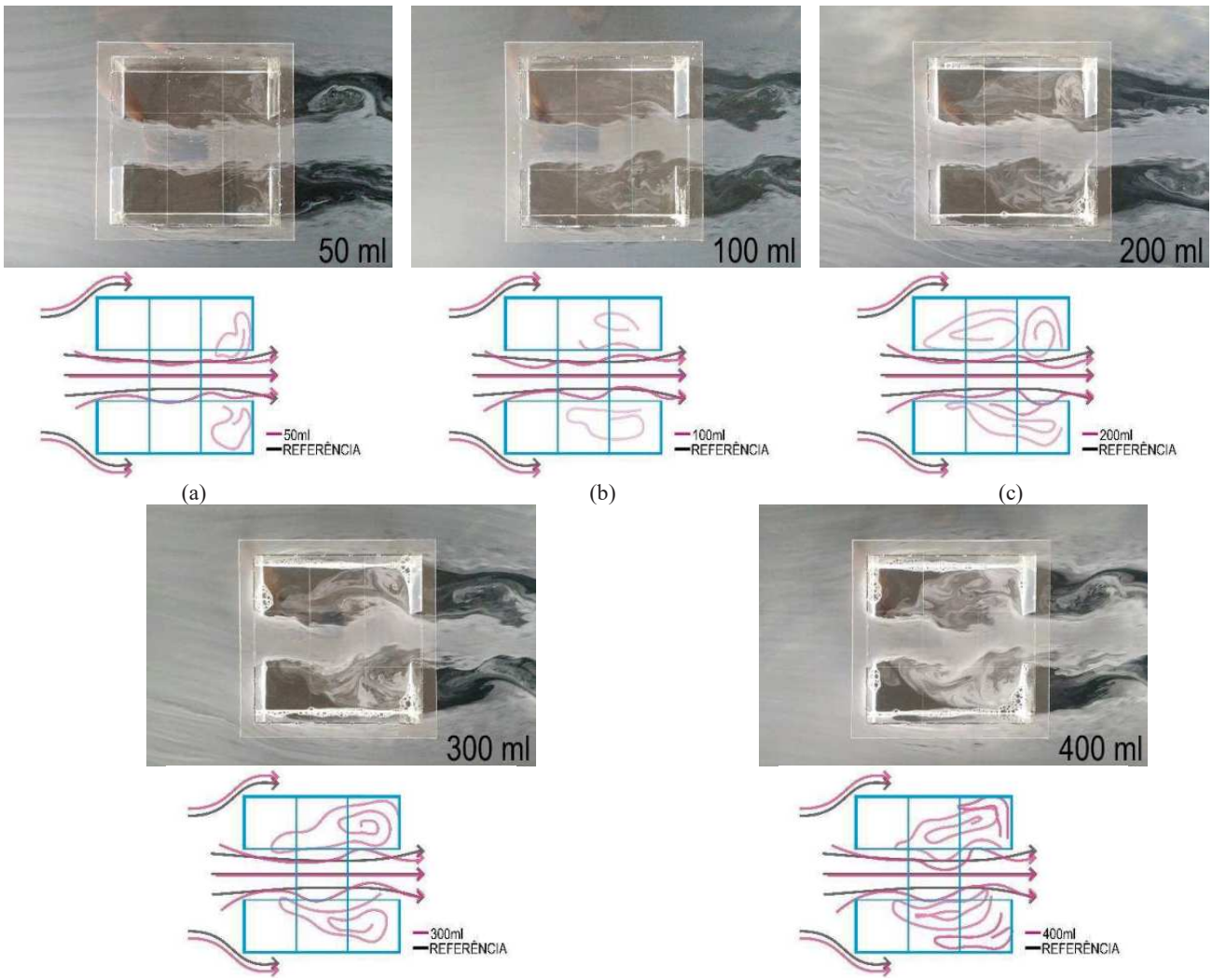



Figura 8 – Resultado dos ensaios e análise visual do traçador Girando sol para a frequência de 20Hz nas concentrações de (a) 50ml; (b) 100ml; (c) 200ml; (d) 300ml e (e) 400ml

O traçador sabão líquido da Girando sol apresenta comportamento intermediário em relação ao contraste de visualização. Possui comportamento próximo ao modelo de referência nas concentrações de 50ml, 100ml e 200ml, seguindo o padrão dos ensaios anteriores, assim como apresenta maiores turbilhonamentos e um fluxo menos retilíneo nas concentrações de 300ml e 400ml. Além disso, ressalta-se que nas concentrações de 300ml e 400ml, tem-se o acúmulo de espuma em toda a lateral do modelo, o que dificulta a visualização do ensaio.

Os ensaios apresentam três boas escolhas de traçadores para ensaios na mesa d'água, visto que as três opções analisadas apresentaram boa formação de espuma e contraste para visualização, sendo que o traçador Tixan Ypê teve uma pequena performance superior e, portanto, será utilizado nos demais ensaios. Em relação às concentrações, percebe-se que com melhor desempenho para ser utilizado nos ensaios seria a concentração de 200ml. Essa concentração possui bom contrate para visualização dos ensaios, comparado aos casos de 50ml e 100ml, sem apresentar grandes depósitos de espuma no interior do modelo, o que ocorre nas concentrações de 300ml e 400ml, além de se aproximar do comportamento do fluxo de ar interno presente na literatura especializada. Por fim, ressalta-se que essa concentração também se apresenta próxima à utilizada por Toledo e Pereira (2003) e Rossi (2019), mostrando ser uma concentração similar a utilizada em outras pesquisas de forma empírica, ou seja, sem que o foco fosse de fato a análise da concentração de diferentes traçados.

## 4.2. Velocidade média em diferentes concentrações

Após a escolha do traçador Tixan Ypê, realizaram-se ensaios variando a frequência da mesa d´água, utilizando o cubo de isopor, conforme descrito no método. A Figura 9 apresenta um gráfico com o valor da

velocidade média percorrida pelo cubo e o Desvio Padrão (DP), apenas para a água pura (0ml de traçador) e para cada concentração do traçador analisada, para a frequência de 20Hz.

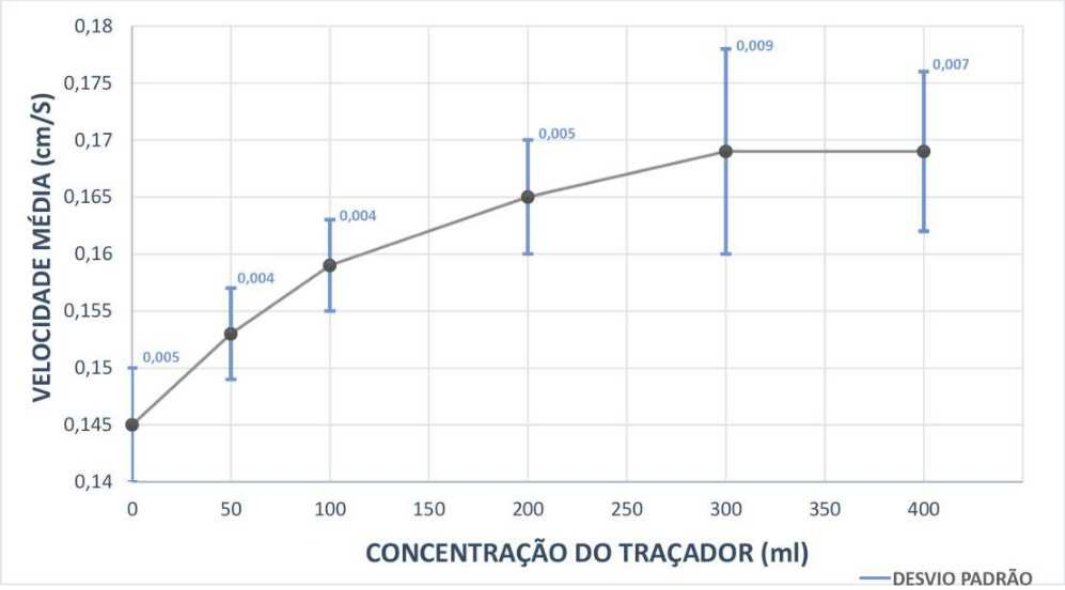
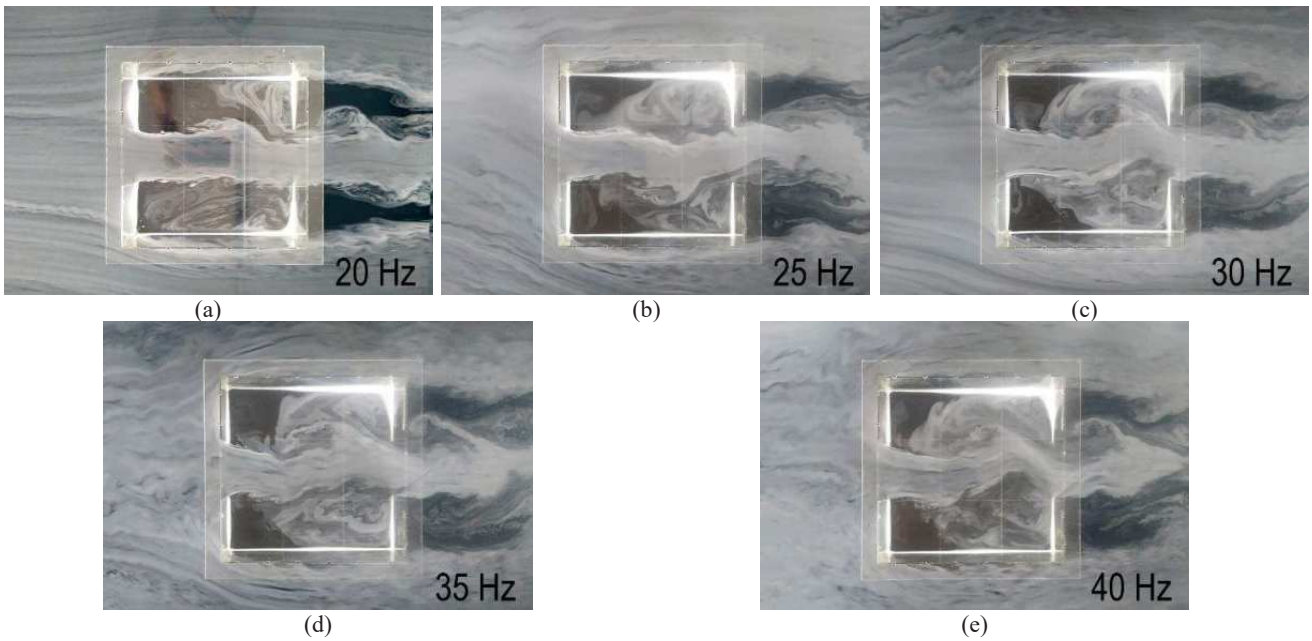



Figura 9 – Gráfico da velocidade média calculada versus a concentração do traçador.

Os resultados mostram que, à medida que se tem o aumento da concentração do traçador, a velocidade do cubo aumenta, mostrando que a concentração do traçado influencia significativamente na velocidade do fluxo de água. Além disso, nota-se claramente que o DP sofre um aumento significativo na concentração de 300ml e 400ml. Isso indica uma instabilidade da velocidade, provavelmente ocasionada pela alteração da tensão superficial e da viscosidade da água, conforme é aumentada a concentração de sabão, ocasionando ensaios mais instáveis. Ressalta-se a importância de realizar medições da viscosidade das diferentes concentrações de traçadores para, posteriormente, verificar a influência no número de Reynolds e que essas serão etapas futuras, visando comprovar o que foi percebido até o momento. Portanto, observa-se, novamente, o melhor desempenho dos ensaios em concentrações até 200ml do traçador selecionado.

## 4.3. Ensaios para diferentes frequências

A Figura 10 apresenta imagens de ensaios realizados com a concentração de 200ml do traçador Tixan Ypê, para diferentes frequências: 20Hz; 25Hz; 30Hz; 35Hz e 40Hz.




(a) (b) (c)

(d) (e)

Figura 10 – Resultado dos ensaios e análise visual do Tixan Ypê na concentração de 200ml para as frequências de (a) 20Hz; (b) 25Hz; (c) 30Hz; (d) 35Hz e (e) 40Hz

Nota-se que, o aumento da frequência torna o padrão do fluxo de ar menos linear e mais maleável, apresentando vórtices e recirculações mais intensas no ambiente interno, sendo esta uma representação que pode ocasionar equívocos na leitura do fenômeno. Esse padrão instável no fluxo pode ser observado logo na frequência de 25Hz, sendo mais intenso a partir de 30Hz, onde é possível ver a mudança no padrão do fluxo de ar, assemelhando-se aos casos cuja concentração do traçado foi maior (300ml e 400ml). Assim, tem-se mais uma confirmação da afirmação realizada anteriormente que de o aumento da concentração do traçador possibilita um padrão de fluxo de ar mais semelhante aos casos com velocidades maiores.

## 5. CONCLUSÕES

Conclui-se que, os traçadores utilizados por injeção direta utilizados nos ensaios apresentam, de forma geral, bom desempenho para visualização do fenômeno análogo a ventilação representada pela mesa d'água. Essa representação se modifica conforme a concentração do traçador.

Foi verificada a concentração de 200ml como a com o melhor desempenho, sendo que esta possui bom contraste; diminuição dos reflexos, sem a alteração de fluxo presente nas concentrações superiores; e o comportamento retilíneo próximo ao presente à literatura especializada, portanto, mostra-se como o "caso ótimo". Contudo, vale ressaltar que o comportamento dessa concentração pode variar conforme o volume da mesa a ser realizados os ensaios, a relação estudada aqui fora de 200ml de traçador para aproximadamente 120litros de água em uma mesa d'água com regime fechado (sem renovação de água dentro do ensaio). As concentrações de 50ml e 100ml apresentam também bom desempenho laminar, apesar do baixo contraste e interferência dos reflexos. Contudo, as concentrações de 300ml e 400ml apresentam mal desempenho por conta do acúmulo de espuma, da instabilidade do regime laminar e da formação de vórtices mostrando, portanto, que concentrações acima de 200ml podem apresentar comportamento ruidoso e com baixa confiabilidade nos ensaios.

Observa-se também que, o aumento da frequência nos ensaios ocasiona um padrão de fluxo mais instável, assim como o aumento da concentração de traçador.

Portanto, se faz necessário estudos que relacionem o cálculo da viscosidade da água nas diferentes concentrações, a fim de se atestar a teoria da alteração do número de Reynolds e, portanto, da alteração do fluxo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


ALLOCCA, C.; CHEN, Q.; GLICKSMAN, L. R. Design analysis of single-sided natural ventilation. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 8, p. 785–795, 2003.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução à Ventilação Natural**. 3. ed. Maceió: EdUFAL, 2008. p. 163.

CALAUTIT, J. K.; HUGHES, B. R. Wind tunnel and CFD study of the natural ventilation performance ofa commercial multi-directional wind tower. **Building and Environment**, v. 80, p. 71–83, 2014.

GIVONI, B. Man, Climate, and Architecture, 1976.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. São Paulo: PW, 2014.

MERZKIRCH, W. **Flow visualization**. Second Edi ed. 2011.

MOULIN, C. C. L. Consumo de animais: o despertar ca consciência. p. 203–234, 2009.

OMRANI, S. *et al.* Natural ventilation in multi-storey buildings: Design process and review of evaluation tools. **Building and Environment**, v. 116, p. 182–194, 2017.

PACHECO, G. F. E.; SAAD, F. M. O. B.; TREVIZAN, L. Aspectos éticos no uso de animais de produção em experimentação científica. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 6, n. 4, p. 260–266, 2012.

PEREIRA, F. O. R.; TOLEDO, A. M. **Visualização analógica da ventilação natural pela ação do vento em edifícios residenciais na mesa d ' água**, 2004.

PEREIRA, F. O. R.; TOLEDO, A. M. Natural ventilation due to wind action: practice knowledge against experi- mental airflow visualization. **Building**, n. May, p. 1009–1014, 2005.

ROSSI, M. M. et al. A mesa d ' água como ferramenta de apoio para a caracterização de um modelo genérico a ser ensaiado em túnel de vento. p. 70–80, 2019.

TOLEDO, A.; PEREIRA, F. Potencial da Mesa D'água para a visualização Analógica da Ventilação Natural em Edifícios. In.: **ENCONTRO NACIONAL DO CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 7., 2003, Curitiba. Anais [...] Curitiba: ANTAC, 2003. P. 1383-1390.

XAVIER, A. C. DE A. *et al.* Visualização da ventilação natural em ensaios na mesa d'água comparado a simulações computacionais. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. e020020-1, p. 1–16, 2020.


## AGRADECIMENTOS


Os autores agradecem à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelos recursos financeiros.