MESA D'ÁGUA COMO FERRAMENTA PARA A SIMULAÇÃO DO DESLOCAMENTO DE AEROSSÓIS EM AMBIENTES INTERNOS

Pedro Henrique Silva Mattia (1); Karin Maria Soares Chvatal (2)
(1) Bacharel em física, estudante de pós-graduação e técnico de laboratório de conforto ambiental, pedro.mattia@usp.br, Instituto de Arquitetura e Urbanismo - USP, (16) 3373-8299.
(2) Doutora, Professora associada, karin@sc.usp.br, Instituto de Arquitetura e Urbanismo – USP.

RESUMO

Este trabalho resulta de parte das discussões realizadas no âmbito da disciplina Tópicos Especiais - Ventilação e Salubridade do Ar, oferecida pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, no ano de 2020, na qual foram abordados aspectos correlacionados às questões de saúde do ar no contexto da pandemia COVID-19. Partindo deste enfoque, o texto aborda como o ensino de arquitetura, e mais especificamente de projeto, incorporam as temáticas da ventilação natural e salubridade do ar, e como a mesa d´água pode se tornar uma ferramenta capaz de facilitar a compreensão sobre o assunto. Apreciando a revisão da literatura sobre as formas de contágios de algumas doenças, em especial a epidemia de SARS que ocorreu na China e outros países asiáticos entre 2002 e 2004, considerou três aspectos da ventilação que atuam para mitigar o contágio por vias aéreas através de patógenos, os quais foram utilizados para a realização de ensaios na mesa d´água, buscando estratégias para o processo de ensino-aprendizagem acerca dos impactos na renovação de ar no ambiente, da direção da ventilação e do fluxo do vento. Por fim, o artigo apresenta alternativas para a visualização dos ensaios através de corantes que simulam a dissipação de patógenos em ambientes internos.

Palavras-chave: Salubridade do ar, mesa d'água, mitigação de contágio, COVID-19.

ABSTRACT

This work results of part of the discussions held within the scope of the Special Topics - Air Ventilation and Health discipline, offered by the Postgraduate Program in Architecture and Urbanism of the Institute of Architecture and Urbanism of the University of São Paulo, in 2020, at which aspects correlated to air health issues in the context of the COVID-19 pandemic were addressed. Based on this approach, the text addresses how the teaching of architecture, and more specifically of design, incorporates the themes of natural ventilation and healthy air, and how the water table can become a tool capable of facilitating the understanding of the subject . Assessing the literature review on the ways in which some diseases are transmitted, in particular the SARS epidemic that occurred in China and other Asian countries between 2002 and 2004, was considered three aspects of ventilation that act to mitigate airway contagion through pathogens , which were used to carry out tests on the water table, seeking strategies for the teaching-learning process about the impacts on ambient air renewal, ventilation direction and wind flow. Finally, the article presents alternatives for the visualization of tests through dyes that simulate the dissipation of pathogens in indoor environments.

Keywords: Air health, water table, contagion mitigation, COVID-19.

1. INTRODUÇÃO

Desde março de 2020 o mundo vem enfrentando uma pandemia de proporções inéditas para a história recente, num contexto em que praticamente todas as pessoas estão conectadas à internet. Juntem-se a isso, cidades com grandes densidades populacionais que propiciam e priorizam adensamentos (shoppings, boates, shows, igrejas, megaeventos etc.), e cuja conjuntura econômica reforça o trânsito nacional e internacional de pessoas e de mercadorias. É possível afirmar que esta situação contribuiu para o agravamento e isso impacta na forma com que lidamos com a pandemia COVID-19.

Antes do SARS-COV-2, surgiram diferentes tipos de doenças respiratórias com potencial de pandemia, dentre as quais vale citar a SARS (2003), a MERS (2012), a gripe aviária (2005) e a gripe suína H1N1 (2008). Embora esses surgimentos tenham sido recorrentes, não se pode afirmar que seja uma tendência, mas o crescimento das cidades e o adensamento populacional faz com que os riscos aumentem (QIAN; ZHENG, 2018). Não há um consenso na comunidade cientifica sobre a forma de contágio dessas doenças respiratórias. Embora a própria Organização Mundial de Saúde (OMS) afirme que a principal forma de contágio se dê através de gotículas de saliva, que são pesadas, com diâmetro de no mínimo 100µm, e caem após poucos metros, há evidências de transmissão por aerossóis através da via aérea, cujo diâmetro é menor que 5µm (MORAWSKA; MILTON, 2020; MORAWSKA; CAO, 2020; QIAN; ZHENG, 2018). E, apesar do apelo de cartas e artigos científicos, a OMS ainda não adotou esta informação em suas recomendações de prevenção do contágio da COVID-19.

Hoje é aceito que gotículas de saliva com dimensões de 100µm possuem uma carga viral capaz de transmitir a infecção, porém estudos e relatos de casos sobre contágio de pessoas que frequentavam um mesmo local e não estiveram no raio próximo ao infectado estão cada vez mais frequentes e merecem ênfase. Destaca-se, por exemplo, casos como o do restaurante de Guangzhou (LU et al., 2020), ou o evento em que um coral composto por 61 pessoas, em que havia um contaminado assintomático, resultou em 57 indivíduos que testaram positivo para COVID-19 (G1, 2020). Estes fatos colocam em cheque as atuais proposições e recomendações da OMS. As medidas recomendadas pela OMS - distanciamento social, lavar as mãos frequentemente, uso de álcool gel e limpeza de alimentos comprados - não impedem a forma de contágio por aerossóis. A OMS já solicitou a utilização de máscaras como forma de barrar as partículas, mas ainda há problemas com relação ao uso obrigatório das mesmas (WHO, 2020). Outra recomendação que deve ser primordial é a de "deixar o ambiente arejado", ou seja, com janelas e portas abertas. Embora seja uma recomendação simples, será fundamental na retomada de atividades suspensas, e esse aspecto deve ser considerado como uma nova realidade, especialmente por parte dos projetistas.

Diretrizes de conforto ambiental se impõem como fundamentais nas práticas de projeto, mas a situação atual reforça a necessidade de se priorizar espaços mais saudáveis e com adequada ventilação. Segundo a NBR 15220 (2005), sete das oito zonas bioclimáticas brasileiras possuem a ventilação natural como estratégia de resfriamento. O Brasil é um país de proporções continentais e a maior parte de seu território está localizada entre os trópicos, com clima predominantemente quente e úmido. Mesmo as regiões que estão abaixo do trópico sendo consideradas frias, em algumas épocas do ano possuem temperaturas elevadas, ou seja, há necessidade de estratégias de resfriamento, sendo a ventilação uma possibilidade (NBR 15220, 2005).

Por outro lado, diferentes estudos têm abordado a dificuldade de se vincular as diretrizes e práticas de conforto ao ensino de projeto, e como elas estimulam os estudantes a solucionar problemas que antes não estavam postos em uma disciplina. Sobre o ensino de projeto Kowaltowski et al. (1998) aponta que o projeto arquitetônico, quando apresentado em sala de aula, não contempla necessariamente as potencialidades de conforto térmico e acústico. Por vezes, no processo de ensino, a necessidade de conceitos de outras áreas pode representar um desafio que eventualmente não será apresentado de forma clara, podendo ficar em segundo plano. Apesar da existência de ferramentas que visam corrigir e melhorar a inclusão das diretrizes de conforto, a complexidade dos elementos projetados impõe dificuldades à incorporação de práticas de conforto ambiental nas orientações dos desenvolvimentos projetuais no âmbito acadêmico.

Os problemas gerados pela pandemia COVID-19 parecem indicar a necessidade de aprofundamento e adoção de soluções projetuais que priorizem o respeito à adequada ventilação, com o objetivo de tornar os ambientes internos e externos mais salubres. A preocupação com a renovação do ar interno, mediante a quantidade de indivíduos no local, deve se tornar uma diretriz importante de projeto. Nesse sentido, torna-se fundamental a busca por estratégias de ensino e de aprimoramento dos valores a serem impostos nas diretrizes projetuais. Este trabalho visa contribuir com uma abordagem no ensino de ventilação natural em ambientes construídos, a partir da utilização de métodos que simulam a dispersão de agentes patógenos nos ambientes, utilizando a mesa d´água como ferramenta com importante potencial de comunicação no processo de ensino-aprendizagem.

1.1. Ensino de ventilação natural e a mesa d´água como ferramenta de uso em projeto

Cóstola (2006), em sua revisão da literatura, explica as dificuldades de se quantificar os dados de ventilação em ambientes construídos. Mesmo em trabalhos cujo principal foco é a ventilação natural em edificações e meios urbanos, as determinações de análises são complexas e não necessariamente significativas, deixando claras as dificuldades de se determinar de maneira quantitativa questões fundamentais relativas ao tema. Este autor afirma ainda que boa parte dos trabalhos não apresenta uma clareza da forma de avaliação da ventilação como agente responsável por diminuir a carga térmica do ambiente e conclui que muitos dos projetos que usam a ventilação natural a tratam de maneira subjetiva.

Kowaltowski et al. (1998) relatam que a implementação de técnicas de conforto como prática de projeto é eficiente e tende a fixar o conteúdo no repertório do estudante. No caso da ventilação, a mesa d´água, além da fácil utilização, promove uma visualização dos conceitos de modo claro e eficiente (XAVIER et al., 2020).

O equipamento mesa d´água é caracterizado por possuir dois reservatórios de água interligados pela zona de ensaio, composta por uma superfície lisa, totalmente nivelada, na qual se coloca o modelo a ser estudado, e por onde a água proveniente de um dos tanques passa como uma lâmina. Os tanques são conectados na parte inferior por uma tubulação e uma bomba d´água, que mantém esse fluxo. A velocidade de trabalho da bomba é controlada por um inversor de frequência.



Figura 1 - Mesa d´água do LCA do IAU- USP.

A análise produzida por essa ferramenta pode ser realizada em duas dimensões, portanto as maquetes produzidas devem ser em corte ou em planta, com as aberturas de circulação de ar sem obstrução (TOLEDO; PEREIRA, 2003). A ferramenta possui uma boa capacidade de simular o comportamento do ar em um ambiente e diversos estudos de comparação entre essa ferramenta e outras têm indicado que a mesa d´água tem apresentado resultados satisfatórios (XAVIER et al., 2020). Toledo e Pereira (2003) destacaram vantagens e desvantagens dos ensaios em mesa d'água (Tabela 1):

Tabela 1- Vantagens e desvantagens do uso da mesa d'água segundo Toledo e Pereira (2003)

Vantagens	Desvantagens
• Baixo custo de execução; • Facilidade de utilização e manutenção; • Facilidade de execução de maquetes por parte dos estudantes; • Visualização do processo de forma contínua.	• Visualização em apenas duas dimensões; • Parâmetros relacionados à ventilação não são medidos (exemplo de coeficientes de pressão), sendo apenas uma análise qualitativa e visual; • Efeito chaminé e circulação por convecção térmica não são visualizados.

1.2. Padrões de ventilação natural para ambientes salubres e análises na mesa d´água

Qian e Zheng (2018) identificaram três parâmetros que influenciam na transmissão de um vírus por via aérea em ambientes internos, quando considerada a emissão de aerossóis: impacto da taxa média de ventilação; impacto da direção do vento; e impacto do padrão do fluxo de ar em tradução livre. Com a descrição desses parâmetros, foi possível indicar possibilidades e realizar simulações utilizando a mesa d´água, demonstrando como eles interferem na contaminação das pessoas nos ambientes.

1.2.1. Impacto da taxa média de ventilação

O aumento da vazão de ar que circula em um ambiente diminui a possibilidade de contaminar outros indivíduos, uma vez que esse acréscimo diminui a concentração de patógenos no ambiente. Esse método é conhecido e, por vezes, o único levado em consideração nas concepções de projeto. Vale ressaltar que *softwares* mais simples tendem a usar métodos simplificados que só levam em consideração a taxa de renovação de ar para garantir a salubridade do local.

Geralmente, construções que utilizam ventilação e refrigeração mecânica, possuem um controle maior da quantidade de ar que é renovado em cada ambiente, porém quando se usa ventilação natural como estratégia de salubridade, não se pode afirmar com clareza a quantidade de ar que se renova no ambiente. Dependendo dos tamanhos das aberturas, das características de ventos da região e do entorno da edificação, os valores de renovações de ar por hora tendem a superar os obtidos por ação mecânica.

Para incrementar esse aspecto no projeto, algumas estratégias são importantes, destacando-se a ventilação cruzada, fazendo com que os valores de taxas de renovações ultrapassem os valores mínimos estabelecidos. Janelas maiores, ventilação cruzada, posicionamento de aberturas nos ambientes, efeitos chaminés, brises para direcionamento do ar, *sheds*, torres de ventos, peitoris ventilados são algumas das estratégias construtivas que podem ampliar as renovações de ar nos ambientes.

1.2.2. Impacto da direção do vento

O caminho que o fluxo de ar percorre entre os cômodos de uma construção impacta na salubridade de um edifício e, por isso, o ar contaminado deve ir para um local de dispersão, diminuindo a probabilidade de contaminação. Segundo Qian e Zheng (2018), esse fato tem um impacto significativo, principalmente em edifícios hospitalares, e deve ser controlado. O sistema ideal deve retirar os patógenos do local, jogando-os para áreas onde não haverá muitas pessoas, dissipando os aerossóis.

Quando se utiliza ventilação mecânica, há a possibilidade de se trabalhar com variações de pressões entre os cômodos, utilizando sistemas de insuflamento ou exaustão. Por exemplo, pressões negativas para locais onde estão internadas pessoas doentes e que podem transmitir os aerossóis, assim os patógenos produzidos pelos pacientes serão extraídos pelo sistema de ventilação e captados pelos filtros, evitando ir para outros locais. Já em salas isoladas, nas quais não pode haver contaminação proveniente de outro cômodo, estas deverão ter pressão positiva, assim todo ar que entra nessa sala é proveniente dos ductos de ventilação, diminuindo os riscos de contaminantes. No caso de edifícios comerciais, normalmente essa estratégia é realizada criando uma pressão positiva nas salas e uma pressão negativa nos banheiros.

No caso de ventilação natural, esse tipo de estratégia é mais complexo, devendo-se atentar para como o vento vai interagir no ambiente e direcioná-lo de forma a levar os patógenos para áreas onde não poderá contaminar outras pessoas, sempre levando em consideração os ventos predominantes da região.

1.2.3. Impacto do padrão do fluxo de ar

Neste tópico, Qian e Zheng (2018) analisaram como a entrada e a saída de ar em um mesmo ambiente impactam na circulação dos aerossóis, quais possuem uma menor perspectiva de contágio. Para isso, fizeram uma revisão de diferentes estudos que utilizaram técnicas variadas como gás traçadores, testes de fumaças e uso de *softwares* de análise de fluidos (CFDs). Três tipos de ventilação são mais comumente utilizados em hospitais: *mixing ventilation, downward ventilation* e *displacement ventilation* (Figura 2).

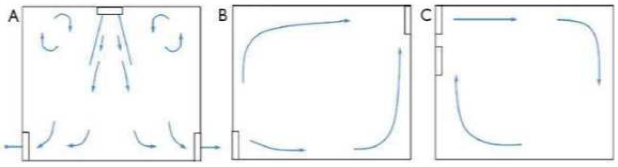


Figura 2 - Tipos comuns de ventilação em ambiente de enfermaria: A) *mixing ventilation*; B) *downward ventilation;* C) *displacement ventilation*. Fonte: Qian e Zheng (2018).

A ventilação descendente (*mixing ventilation*) é recomendada por diversas normativas para enfermarias ou salas de hospitais que devem ser isoladas. Sua vantagem é que o ar mais frio, e consequentemente mais denso, desça sobre o ambiente onde será coletado na parte inferior da sala. Junto com o ar serão levados também os patógenos exalados no ambiente, evitando que estes circulem.

Quando se utiliza a ventilação descendente, usualmente trabalha-se com a pressão positiva da sala e o sistema de ar é colocado em salas de cirurgias e de recuperação de pacientes imunocomprometidos. A ventilação *displacement ventilation* teve um comportamento similar ao da ventilação descendente, quando analisada a dispersão dos agentes contaminantes. Porém, quando analisada a ventilação *downward ventilation,* os resultados dependiam da posição do paciente.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é propor uma forma de análise utilizando maquetes e a mesa d´água para visualização da dispersão de aerossóis em ambientes internos de edificações e, posteriormente, analisar através deste método os parâmetros descritos por Qian e Zheng (2018) que mitigam a transmissão de patógenos que estão em suspensão na forma de aerossóis.

3. MÉTODO

A metodologia consistiu em três etapas: a certificação das condições de ensaio na mesa d´água, velocidade do fluxo (item 3.1); a análise e determinação do melhor marcador para o ensaio da dissipação de aerossóis (item 3.2); e a simulação das diferentes formas de ventilação descritas, de maneira a avaliar os três fatores que influem na dissipação dos patógenos descritos por Qian e Zheng (2018), como comprovação da viabilidade dos ensaios (item 3.3).

3.1. Condições de ensaio na mesa d´água

Como etapa inicial, foram descritas as condições em que foram realizadas as simulações na mesa d'água. Os ensaios ocorreram com a marcação de 20 hz no inversor de frequência, prática usual no laboratório. Para o cálculo da velocidade de deslocamento do fluido foi colocado uma bola de isopor no início da área de ensaio e, neste instante, se iniciou o cronômetro. No momento em que esse corpo finalizou a travessia da área de ensaio, foi interrompida a contagem do tempo. Esse procedimento foi repetido dez vezes para eliminar possíveis erros de amostragem. Por fim, calculou-se a velocidade média e o desvio padrão.

3.2. Teste de viabilidade dos marcadores para simulação dos aerossóis contaminantes no ambiente

Para simular a produção e remoção dos aerossóis em um ambiente ou em uma construção, utilizou-se um método experimental simples para o uso na mesa d´água. Consistiu em empregar um marcador de inserção local, que foi analisado, para ajudar na determinação da trajetória de dissipação dos aerossóis. Foram elencados dois tipos de marcadores: solução com gliter e corante concentrado de tintas. Esses dois marcadores foram testados de diversas maneiras com o objetivo de analisar qual teria o melhor desempenho. A Tabela 2 apresenta a descrição dos testes realizados.

Tabela 2 - Testes de marcadores

Gliter		Corante de tinta	
Dissolvido em água com detergente	Aplicado direto na área de ensaio	Aplicado direto na área de ensaio	Diluído e com "contact" para alterar a cor de fundo

Com a mesa d'água funcionando, e uma maquete na área de ensaio, aplicou-se o marcador para que ocorresse dispersão. A partir daí foi possível visualizar a trajetória no modelo e locais de concentração dos marcadores, o que indica uma possível área de concentração de elementos contaminantes. Os materiais utilizados foram uma maquete utilizada no trabalho de Rossi et al. (2019), na qual as linhas de grid já estavam marcadas, pipeta graduada para inserção da solução e a solução estudada (Figura 3).

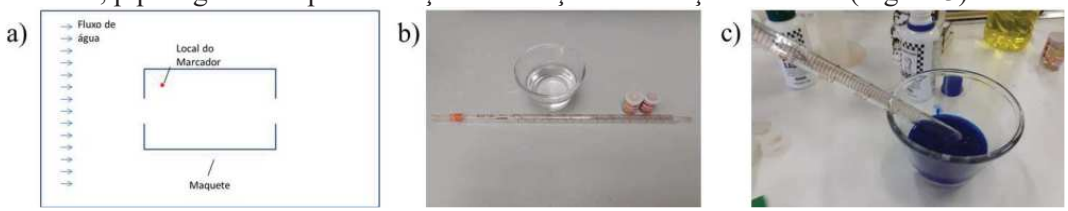


Figura 3 - a) Modelo de ensaio proposto. b) Gliter como marcador e pipeta. c) Corante diluído como marcador em água.

Foram realizados dois testes com as tintas para a melhor verificação do contraste entre os marcadores, uma com a superfície de ensaio já existente na mesa d'água, ou seja, com o fundo preto, e posteriormente com um fundo branco, para isso foi colada na área de ensaio um papel *contact* na cor branca. Os critérios de avaliação da eficiência da dispersão foram subjetivos, inclusive o local no qual foi introduzido o marcador. Mas o contraste e a fácil visualização da dissipação do marcador estão descritos, além de imagens da evolução do experimento.

3.3. Visualização das formas impactantes na concentração de aerossóis nos ambientes utilizando a mesa d'água

Após a determinação qualitativa do melhor marcador para a simulação do espalhamento de patógenos no ambiente utilizando a mesa d'água, foram iniciados ensaios para visualização dos três critérios que influenciam a contaminação cruzada por via aérea descrita por Qian e Zheng (2018).

a) **Visualização do impacto da taxa de renovação de ar**

O objetivo deste ensaio foi visualizar como as renovações de ar impactam na diluição dos aerossóis e sua eliminação no cômodo estudado. Foi realizada apenas a variação das dimensões de abertura. Para

trabalhos futuros, há possibilidade de se variar as posições de abertura e, assim, analisar a diluição do marcador utilizado, verificando quais são as melhores alternativas para a utilização dessa estratégia.

b) **Visualização do impacto da direção do fluxo de ar entre os ambientes**

Para indicar a direção do vento, colocou-se uma maquete – protótipo inspirado em uma habitação de interesse social (HIS) – com diferentes ambientes e depositou-se o marcador em um local onde os autores determinam como sendo "sujo". Não foi possível simular o aumento de pressão por insuflamento ou por descompressão, estratégias exemplificadas pelos autores e comuns para projetistas quando se usa ventilação mecânica. A Figura 4a é uma representação do modelo construído, cujo dimensionamento foi concebido com base nos módulos de um trabalho realizado no LCA do IAU-USP (QUEIROZ; DORNELLES, 2019). No ensaio, o local onde foi gotejada a solução simulando a contaminação é um dos quartos, pois é um local de grande permanência e possivelmente um local de repouso em caso de sintomas; esses experimentos foram realizados quatro vezes, cada uma com o vento incidindo perpendicularmente em uma das quatro fachadas da maquete (Figura 4b).

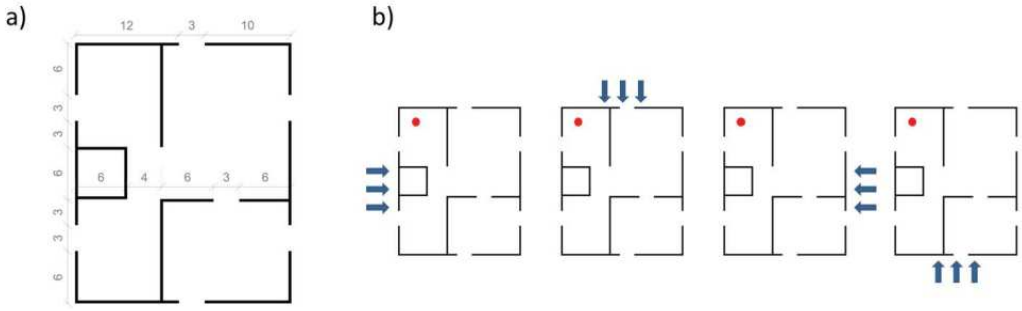


Figura 4 - a) Desenho do modelo ensaiado (unidade de medidas em cm). b) Variações da incidência do fluxo de vento ensaiados.

c) **Visualização do impacto da direção do vento**

A forma como a ventilação ocorre no recinto impacta diretamente na salubridade do mesmo. Assim, para este ensaio, foi necessário analisar os locais que o marcador percorre e como ocorre a evolução do sistema, de modo a perceber como diferentes composições de entrada e saída de vento dos ambientes impactam na salubridade. Dos exemplos citados por Qian e Zheng (2018) que estão elucidados na Figura 2, apenas as composições A e B (*mixing ventilation* e *downward ventilation*) são facilmente ensaiadas na mesa d´água. Para isso, posicionou-se a entrada de ar no ambiente a barlavento e a saída a sota-vento e, por fim, gotejou-se o marcador para verificação do comportamento do mesmo (Figura 5).

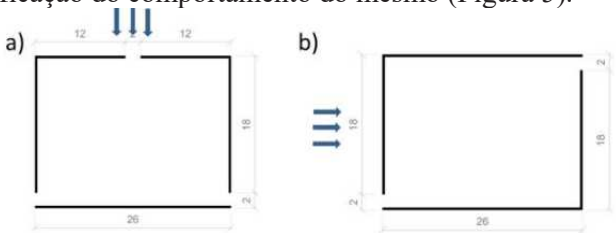


Figura 5 – Desenhos do modelo (medidas em cm): a) *mixing ventilation;* b) *downward ventilation*.

4. RESULTADOS

A descrição dos resultados foi dividida em três partes: resultados das condições de uso da mesa d'água (item 4.1), resultados de diferentes marcadores utilizados (item 4.2), e visualização dos parâmetros que impactam na concentração de aerossóis nos ambientes (item 4.3).

4.1. Resultados das condições de uso da mesa d´água

Foram realizadas dez tomadas de tempo para calcular a velocidade média com que o fluido percorre toda a área de ensaio da mesa. Posteriormente foi calculado a velocidade média e o desvio padrão, além de realizada a medição da distância da área de ensaio da mesa d´água. Os dados foram compilados na Tabela 3.

Tabela 3 - Medições do tempo para percorrer a área de ensaio da mesa d´água e dos cálculos da velocidade média e do desvio padrão

Tempo (s)									
5,68	**5,20**	**5,60**	**5,58**	**5,52**	**5,26**	**5,52**	**5,64**	**5,46**	**5,32**
Distância área de ensaio 1,5 m			**Velocidade Média 0,273 m/s**				**Desvio padrão da velocidade 0,008 m/s**		

4.2. Resultados dos marcadores utilizados

A forma de apresentação dos resultados, como por exemplo, o da situação exemplificada na Figura 3a é realizado através da justaposição de imagens que evoluem no tempo. A intenção é notar os caminhos que o marcador percorre e como ele deve se diluir com o incremento da quantidade de renovação por hora. Assim, podem-se perceber áreas onde há um maior risco de concentração de aerossóis e, como consequência, um maior risco de contaminação.

4.2.1 Gliter

Conforme explicado na metodologia esse ensaio foi dividido em tópicos, primeiro o gliter dissolvido em água com detergente, já o segundo, foi colocado direto com a mão na área de ensaio.

a) Dissolvido em água com detergente

No primeiro teste, quando inserido o gliter, houve uma precipitação do marcador e não ocorreu a circulação prevista, assim se mostrou ineficaz para a simulação proposta no estudo (Figura 6).

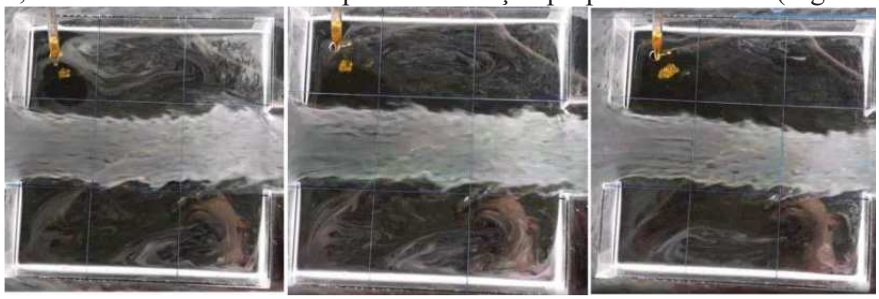


Figura 6 - Evolução do ensaio com o marcador gliter dissolvido em água.

b) Aplicado diretamente na área de ensaio

No momento em que o gliter cai no fluido de ensaio, o marcador fica na superfície e não dilui no local, ou seja, aglutina-se, tornando-se uma massa coesa que se deslocava em bloco sem haver uma dissolução característica prevista, se mostrando ineficiente para o ensaio proposto (Figura 7). Portanto, os testes utilizando o gliter se mostraram ineficientes para o modelo pretendido.



Figura 7 - evolução do ensaio com o marcador gliter colocado diretamente no fluido de ensaio.

4.2.2 Corante de tinta

Para os ensaios, os corantes de tintas utilizados foram da marca Xadrez concentrado. Para o ensaio sem o papel "contact", foi utilizado o da cor amarela, com o objetivo de maior contraste com o fundo da mesa d'água preto, já no ensaio com o fundo da mesa encapado com o papel *"contact",* foi utilizado um corante de cor azul, com o mesmo objetivo.

a) Aplicado diretamente na área de ensaio

Neste caso, o corante colocado na área de ensaio não se dissolveu, precipitando e ficando imóvel no local onde foi inserido, não se tornando um método apto para esse tipo de simulação (Figura 8).

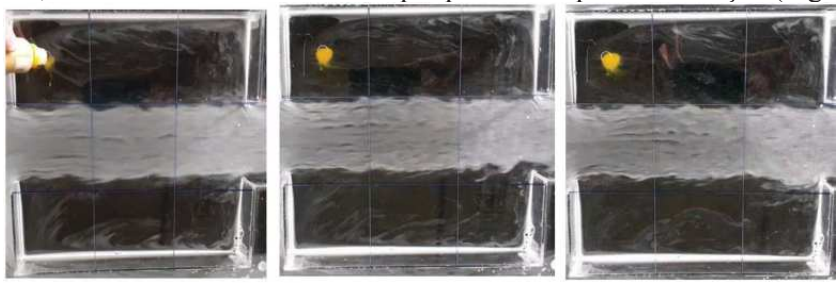


Figura 8 - Evolução do ensaio com corante amarelo colocado diretamente no fluido de ensaio

b) Diluído em água e aplicado o papel "contact"

Primeiro, foi implantado o papel "contact" branco na área de ensaio com o objetivo de aumentar o contraste com o marcador utilizado, porém devido às falhas na execução da colagem, partes do papel ficaram com bolhas e dobras que atrapalhavam o ensaio. Foi visualizado que a solução preparada com o corante se desloca no fluido em uma camada mais baixa do que as bolhas de sabão que normalmente eram utilizadas como traçador, e detalhes no fundo da área de ensaio alteram os resultados (Figura 8).

A solução foi preparada com 30 ml de água e 10 gotas do corante da marca anteriormente mencionada na cor azul. A solução se comportou de maneira satisfatória diluindo e se espalhando no ambiente, algo desejável para uma boa visualização (Figura 9). Devido ao contraste, as bolhas de sabão produzidas não aparecem nas imagens, inviabilizando o uso de dois marcadores distintos, um para o fluxo do vento no ambiente e outro para a simulação da dissipação de aerossóis.



Figura 9 - Evolução do ensaio com corante azul diluído no fluido de ensaio.

4.3 Simulações das três formas impactantes na concentração de aerossóis nos ambientes utilizando a mesa d'água

Para a simulação dos fatores de ventilação que impactam a circulação e a concentração de aerossóis nos ambientes descritos por Qian e Zheng (2018), foi utilizada a estratégia de ventilação que se demonstrou mais eficiente para visualizar esses fatores. Os ensaios foram realizados utilizando a proposta descrita no item 4.2.2 subitem b.

4.3.1 Visualização do impacto na quantidade de renovações de ar por hora

Foram ensaiadas duas condições, uma com a maquete com duas aberturas de 10 cm e outra com aberturas de 8 cm tanto a barlavento quanto a sotavento. As Figuras 10 e 11 mostram as evoluções de ambos os ensaios. A maquete utilizada foi a mesma do trabalho de Rossi et al. (2019), e as linhas de grid já estavam marcadas para uma melhor visualização do processo de escoamento.

a) Abertura de 10 cm

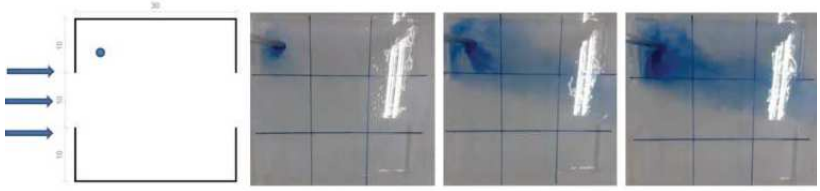


Figura 10 - Evolução do ensaio com corante azul em aberturas de 10 cm cada lado

b) Abertura de 8 cm

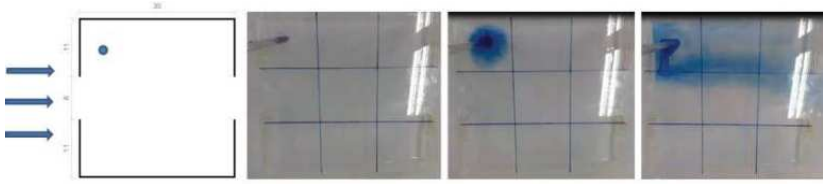


Figura 11 - Evolução do ensaio com corante azul em aberturas de 8 cm cada lado

Os resultados foram inconclusivos para os tamanhos das aberturas utilizadas. Em uma análise visual não houve grandes mudanças perceptíveis no comportamento, e devido ao agravamento da pandemia, não foi possível dar continuidade com novos ensaios para aprimorar os resultados, tarefa que deverá ser efetivada em trabalhos futuros.

4.3.2 Visualização do impacto da direção do fluxo de ar entre os ambientes

As dissipações do ar contaminado para outros ambientes foram percebidas de forma clara e a influência da direção da ventilação foi significativa, demonstrando o potencial de contaminação de pessoas em ambientes

distintos de uma casa (Figura 12). Esse resultado abre possibilidades para estudos de ambientes mais complexos.

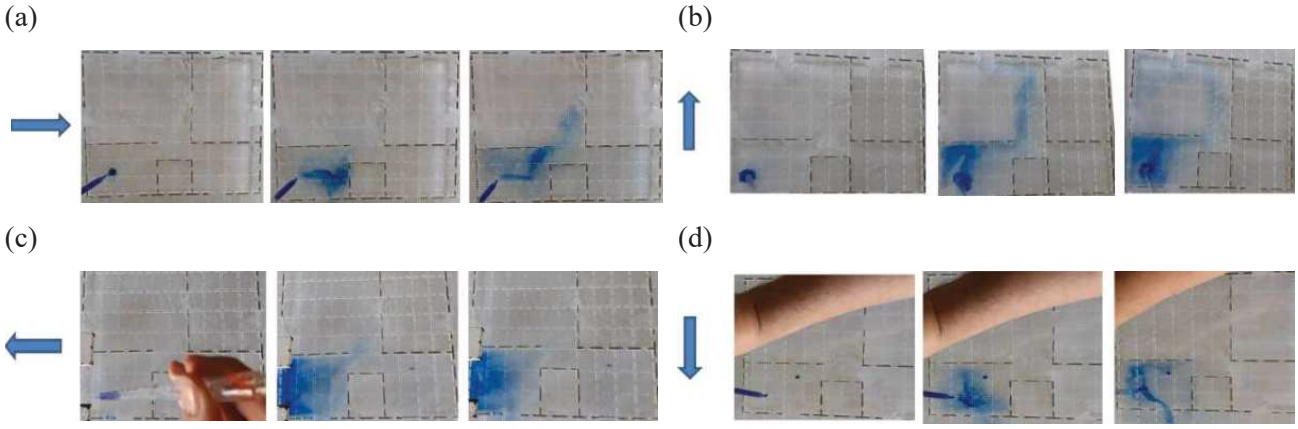


Figura 12 – Evolução do deslocamento do marcador entre ambientes com o vento incidindo em diferentes fachadas. A flecha azul indica o sentido da incidência do fluxo da mesa d'água: (a) Oeste; (b)Sul; (c) Leste; (d) Norte.

4.3.3 Visualização do impacto da direção do vento

Foram ensaiadas duas das três formas de ventilação descritas no artigo de Qian e Zheng (2018) dentro de um ambiente: ventilação descendente (*mixing ventilation*) e ventilação inferior (*downward ventilation)*.

a) **Ventilação descendente (*mixing ventilation*)**

Os resultados deste teste foram perceptíveis e satisfatórios no que diz respeito à visualização dos percursos dos aerossóis simulados no ambiente, demonstrando e confirmando o que foi dito por Qian e Zheng (2018), que essa é uma estratégia bem eficiente para trocas de ar e mitigação de contágio. Houve alguma recirculação, mas pouco se comparado às outras formas ensaiadas (Figura 13).

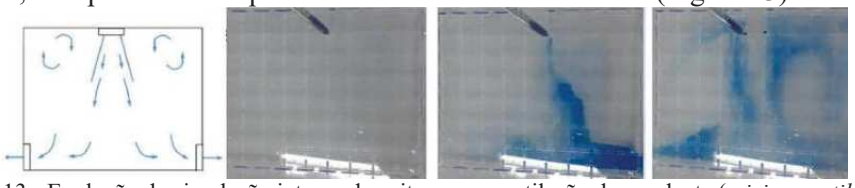


Figura 13 - Evolução da circulação interna descrito como ventilação descendente (*mixing ventilation).*

b) **Ventilação descendente (*downward ventilation)***

Para este ensaio vale ressaltar que a circulação no centro da maquete se mantém pouco eficiente, não removendo o ar do local, concentrando assim o marcador no local. Foi bastante eficiente a visualização do ensaio (Figura 14). Houve uma diferença nas linhas de fluxo entre o observado e o esquema apresentado por Qian e Zheng (2018).

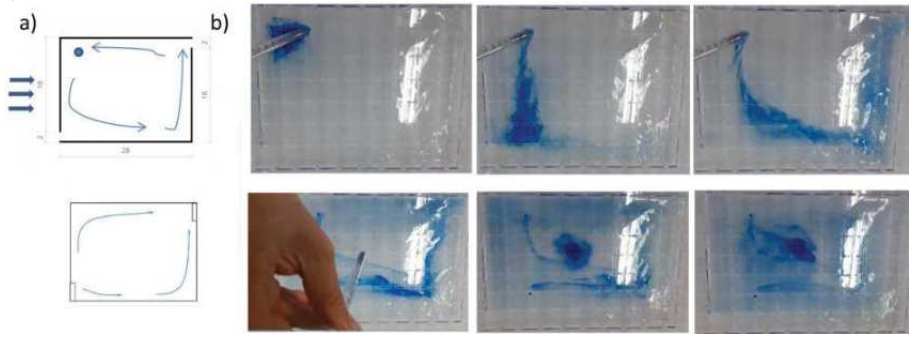


Figura 14 – a) Comparação entre o que se observou da circulação no espaço e o desenho esquemático proposto por Qian e Zheng (2018); b)Evolução da circulação interna descrito como ventilação descendente (*downward ventilation*).

5. CONCLUSÕES

Os resultados dos marcadores foram bem distintos, mas a opção de se utilizar o corante dissolvido em água com a utilização de papel *contact* foi superior aos demais, indicando uma potencialidade de método para simular a concentração de aerossóis nos ambientes. Três formas de análises descritas por Qian e Zheng

(2018) foram testadas e os resultados foram perceptíveis na mesa d'água. Mesmo que o impacto da taxa de renovação de ar por hora não tenha sido constatado, a visualização da extração do ar ficou evidente.

O estudo do real comportamento dos aerossóis em ambientes deve ser feito com base em fluidodinâmica e simulação computacional de fluidodinâmica (CFDs), uma vez que a mesa d'água possui limitações intrínsecas já abordadas. No entanto, o caráter didático e visual dessa ferramenta pode instruir de forma clara sobre o comportamento complexo desses deslocamentos, e esse trabalho visa ajudar alunos e docentes a analisarem e entenderem esses processos. Para os desdobramentos deste trabalho, seria importante um comparativo dos estudos de deslocamento de aerossóis com CFDs e mesa d'água.

Novos ensaios na mesa d´água poderão resultar na construção de um protocolo eficiente, auxiliando no planejamento de atividades didáticas a serem desenvolvidas por docentes e discentes do Curso de Arquitetura e Urbanismo do IAU-USP. Espera-se que essas práticas contribuam para a disseminação do conhecimento e possam auxiliar projetistas na incorporação de estratégias de ventilação (natural ou mecânica) enquanto diretrizes fundamentais de projeto. De maneira imediata, espera-se incentivar os discentes a refletir sobre a importância das estratégias de ventilação para a salubridade do ar, fornecendo um repertório técnico de maneira visual. Por fim, a proposta busca também aprofundar as potencialidades da mesa d'água enquanto instrumento didático de visualização das práticas de ventilação, mas, sobretudo enquanto ferramenta que pode contribuir para a garantia de espaços mais saudáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: Desempenho Térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

CÓSTOLA, D. Ventilação Por Ação do Vento no Edifício: procedimentos para quantificação. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Construção) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, **Universidade de São Paulo**, São Paulo, 2006.

JIANG, S.; HUANG, L.; CHEN, X; et al. Ventilation of wards and nosocomial outbreak of severe acute respiratory syndrome among healthcare workers. *Chin Med j,* v.116, n.9, p.1293-1297, 2003.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. ; LABAKI, L. C.; PINA, S. M. G.; BERTOLLI, S. R. A visualização do conforto ambiental no projeto arquitetônico. IN: **VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 1998, Florianópolis/SC. Anais...Florianópolis/SC:ANTAC, 1998.

LU, J.; GU, J.; LI, K.; ET AL. COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, **Emerging Infectious Diseases**, v.26, n.7, p.1628-1631, 2020.

LUKIANTCHUKI, M. A.; CARAM, R. M.; LABAKI, L. C. A arquitetura bioclimática e a obra de João Filgueiras Lima (Lelé). In: KOWALTOWSKI, D. et. al. (Org.). **O processo de projeto em arquitetura**: **da teoria à tecnologia**. São Paulo: Oficina de textos, 2011, p.323-348.

MORAWSKA, Lidia; CAO, Junji. Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. *Environment International*, v.139, p.1-3, 2020.

MORAWSKA, L.; MILTON, D. K. It is Time to Address Airborne Transmission of COVID-19. *Clinical Infectious Diseases*, ciaa939. 2020.

QIAN, Hua; ZHENG, Xiaohong**.** Ventilation control for airborne transmission of human exhaled bio-aerosols in buildings. **Journal of Thoracic Disease,** v.10, p.2295 -2304, 2018.

QUEIROZ, A. B. P. ; DORNELLES, K. A. EXECUÇÃO DE MODELOS PARA A ANÁLISE DE VENTILAÇÃO NATURAL UTILIZANDO A MESA D'ÁGUA. In: 27° SIICUSP, 2019, São Paulo. Anais do 27° Simpósio Internacional de Iniciação Científica e Tecnológica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2019.

ROSSI, M. M.; VALE, F. I.; SHIMOMURA, A. R. P.; CHVATAL, K.M.S. A mesa d'água como ferramenta de apoio para a caracterização de um modelo genérico a ser ensaiado em túnel de vento. **Revista IPT: Tecnologia e inovação**, v. 3, p. 89, 2019.

TOLEDO, A. M.; PEREIRA, F. O. R. O potencial da Mesa d' água para a visualização analógica da ventilação natural em edifícios. In: VII ENCAC - **Encontros Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, 2003, Curitiba. Anais... do VII ENCAC., 2003.

XAVIER, A. C. A.; GULARTE, I. H.; MIZGIER, M. O. ; LUKIANTCHUKI, M. A. . Ventilação natural: ensaios na mesa d´água e simulações computacionais. **PARC: PESQUISA EM ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO**, v. 11, p. 1/e020020-16, 2020.

G1. Coronavírus: médico de Harvard mostra como bares, aniversários e até corais podem ser superpropagadores de covid-19. **G1. Globo**, 2020. Disponível em: < https://glo.bo/3gPmhy3> Acesso em: 13 set. 2020.

WHO. Modes of transmission of virus causing COVID-19: implications for IPC precaution recommendations**.** **scientific brief**, 27 March 2020.