ANÁLISE DA VENTILAÇÃO NATURAL POR FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL (CFD): ESTUDO DE CASO EM CENTRO ESPECIALIZADO DE REABILITAÇÃO

Lucas Maranhão (1); Rejane Viegas (2); João Renato Carneiro (3); Caio Silva (4)
(1) Graduando em Arquitetura e Urbanismo, lucas.maranhao@hotmail.com, UnB
(2) Doutoranda em Arquitetura e Urbanismo, Arquiteta e Urbanista, rejanemviegas@gmail.com, UnB
(3) Doutorando em Arquitetura e Urbanismo, Arquiteta e Urbanista, joao.re@hotmail.com, UnB
(4) Professor do PPG FAU UnB, Doutor em Arquitetura e Urbanismo, caiosilva@unb.br, UnB

RESUMO
A ventilação natural é uma estratégia que pode garantir a qualidade do ar dos ambientes internos, além de ser apresentada pela Organização Mundial da Saúde como um dos principais recursos para a contenção da Covid-19. Neste sentido, o objetivo deste estudo é analisar o desempenho da ventilação natural em ambientes de Centros Especializados de Reabilitação em Patos de Minas, MG, a partir do método de simulação computacional pela dinâmica de fluidos (CFD). Foram criados 3 cenários com variações de área de abertura na esquadria principal. São eles: J145, que apresentou uma média de velocidade do vento na área de interesse de 0,60m/s, J300 com uma média de 1,33m/s e J587 com 1,95m/s. Desta forma observou-se um aumento da velocidade média do ar interno proporcional ao aumento da área de abertura para as saídas de ar do ambiente.

Palavras-chave: Ventilação natural, Simulação computacional, Qualidade do ar; CFD.

ABSTRACT
Natural ventilation is a passive design strategy for controlling temperature and air quality, in addition to being presented by the World Health Organization as one of the main resources for the containment of Covid-19. Therefore, the aim of this article is to analyze natural ventilation inside the Specialized Rehabilitation Center Totó Veloso, in Patos de Minas, MG, using the Computational Fluid Dynamics (CFD) method. 3 scenarios were created with variations of the opening area in the main facade. They are: J145, which presented an average wind speed in the area of interest of 0.60m/s, J300 with an average of 1.33m/s and J587 with 1.95m/s. It was possible to observe an increase in the average speed of the internal wind with the increase in the opening area for the air outlets.

Keywords: Natural ventilation, Computational simulation, Air Quality, CFD.

RESUMEN
La ventilación natural es una estrategia de proyecto pasivo para el control de la temperatura y la calidad del aire, además de ser presentada por la Organización Mundial de la Salud como uno de los principales recursos para la contención del Covid-19. Por lo tanto, el objetivo de este artículo es analizar la ventilación natural en el interior del Centro Especializado de Rehabilitación Totó Veloso, en Patos de Minas, MG, utilizando el método dinámica de fluidos computacional (CFD). Se crearon 3 escenarios con variaciones del área de apertura en la fachada principal. Ellos son: J145 que presentó una velocidad de viento promedio en el área de interés de 0,60 m/s, J300 con un promedio de 1,33 m/s y J587 con 1,95 m/s. Se pudo observar un aumento en la velocidad promedio del viento interno con el aumento del área de apertura de las salidas de aire.

Palabras clave: Ventilación natural, Simulación computacional, Calidad del aire, CFD.

1. INTRODUÇÃO

A ventilação natural é uma estratégia de projeto importante para promover uma melhor qualidade do ambiente interior. No atual contexto de pandemia, a temática da ventilação natural e qualidade do ar em edifícios foi amplamente evidenciada na sociedade, ao serem apresentados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como um dos principais recursos para a contensão da Covid-19. Além da sua efetividade contra a disseminação do coronavírus e da influência direta na saúde dos ocupantes dessas edificações, a qualidade do ar também se apresenta intimamente relacionada com as condições de desempenho desses ocupantes em suas atividades.

A baixa qualidade do ar em edifícios pode resultar em manifestações como o da Síndrome do Edifício Doente (SED), definida pela OMS como "um conjunto de doenças causadas ou estimuladas pela poluição do ar em espaços fechados". Esses espaços mal ventilados podem promover uma contaminação generalizada a partir da proliferação de vírus, fungos e bactérias e também interferem diretamente na produtividade e no desempenho dos ocupantes. Desta forma, a taxa de fluxo de ar em edifícios é de extrema importância para a renovação da qualidade do ar respirável, diminuindo assim o contato com possíveis substâncias nocivas a saúde e aumentando as condições de produtividade para as pessoas que usufruem desse espaço.

A ventilação natural pode ser definida como o movimento do ar causado pela diferença de pressão e/ou diferença de temperatura, se apresentando como potencial regulador das condições ambientais do projeto. O proveito dessa potencialidade deve ser empregue pelo profissional responsável de modo a promover uma eficiência energética, ao se diminuir a utilização de ferramentas climáticas ativas, que dependam do uso de energia elétrica, como: ar condicionado, ventiladores e aquecedores. Dessa forma, o uso de ventilação natural adequada pode trazer benefícios aos moradores desses edifícios.

A Qualidade do Ar Interno (QAI) está relacionada com a taxa de renovação de ar, que é determinada pelo número de renovações do volume de ar no interior de uma sala, em um determinado período de tempo, promovendo a redução da quantidade de partículas concentradas no ar (AGUIAR, 2017; ATKINSON et al., 2009; SALES, 2016). No contexto de Estabelecimentos Assistenciais de Saúde, onde a alta taxa de ocupação interfere no aumento da temperatura e na probabilidade de contágio por vírus, fungos ou bactérias, o estudo da taxa de renovação de ar se mostra-se importante na prevenção de doenças respiratórias, na regulação da temperatura do ambiente, na diminuição dos gastos energéticos do edifício e no fornecimento de um espaço saudável e adequado para o tratamento e recuperação de pacientes.

Para a análise do desempenho da ventilação natural, o método de simulação por fluidodinâmica computacional, vindo do inglês, *Computational Fluid Dynamics* (CFD) prevê o escoamento de um fluido considerando a transferência de massa e calor, reações químicas, geometria, umidade e outras diversas variáveis.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é analisar o desempenho de ambientes internos de Centros de Especializados de Reabilitação com ventilação natural.

3. MÉTODO

O método utilizado nesta pesquisa compreende o levantamento de um ambiente de saúde e logo, um estudo por simulação computacional da dinâmica de fluidos no *software* Ansys, com a avaliação comparativa dos resultados às recomendações existentes para tipologia projetual de estabelecimentos assistenciais de saúde.

3.1. Objeto de estudo

A pesquisa foi baseada no estudo de caso de um ambiente do Centro Especializado de Reabilitação localizado em Patos de Minas, Minas Gerais (Latitude: 18° 34' 46" Sul, Longitude: 46° 31' 6" Oeste, Altitude: 815m). O edifício encontra-se na Zona Bioclimática 4, conforme a NBR 15220 parte 3, de 2003. Em fevereiro de 2022 foi realizada uma visita técnica afim de fazer um levantamento do local.





Figura 1: Vista aérea do edifício, foto tirada pela equipe Lasus em fevereiro de 2022
Figura 2: Ambiente interno do objeto de estudo simulado, foto tirada pela equipe LaSUS em fevereiro de 2022

3.2. Simulação no *Ansys*

Para a simulação do ambiente escolhido, foi utilizado o software Ansys Discovery Student 2023 R1, devido a eficácia da simulação computacional na solução de problemas de escoamento de fluidos, sendo um dos softwares mais conhecido e confiável mundialmente (SALES, 2016).

Inicialmente, foram criados 3 (três) diferentes cenários, referentes à modulação de 3 (três) tipos de esquadrias na fachada principal do ambiente analisado. Os cenários foram criados com diferentes áreas efetivas de ventilação, de modo a fornecerem um panorama das alterações na velocidade do vento em cada tipo de esquadria.

3.2.1. Cenário 1: J145

O primeiro cenário, **J145**, representa a esquadria existente no edifício com as janelas intermediárias abertas. Esse cenário foi verificado na visita técnica, onde a área efetiva de ventilação é de1,45m².

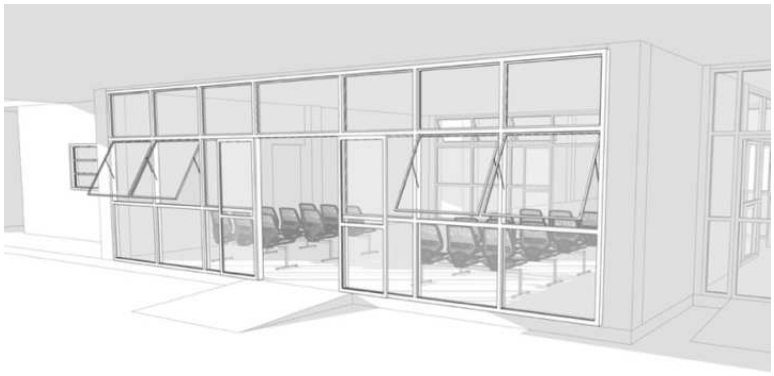


Figura 3: Modelagem 3D do cenário J145

3.2.2. Cenário 2: J300

O segundo cenário, **J300**, representa a esquadria existente no edifício com todas as janelas abertas (área efetiva de ventilação de 3m²). Foi levado em consideração a configuração existente da porta de correr, que impede a abertura de 2 janelas.

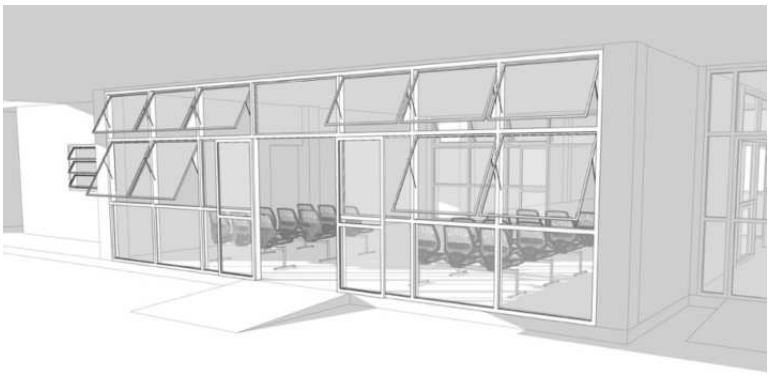


Figura 4: Modelagem 3D do cenário J300

3.2.3. Cenário 3: J587

O terceiro cenário, **J587,** representa a esquadria proposta pelo autor, com janelas do tipo basculante (área efetiva de ventilação de 5,87m²). Nas janelas propostas, optou-se pelo uso de janelas conectadas por alavancas, permitindo a abertura simultânea por sessões da esquadria. Dessa forma, é facilitado ao usuário a abertura total das janelas, proporcionando mais facilmente uma maior área de ventilação. Observa-se também a troca da porta de entrada por portas de abrir, que desobstruem a abertura das janelas laterais.

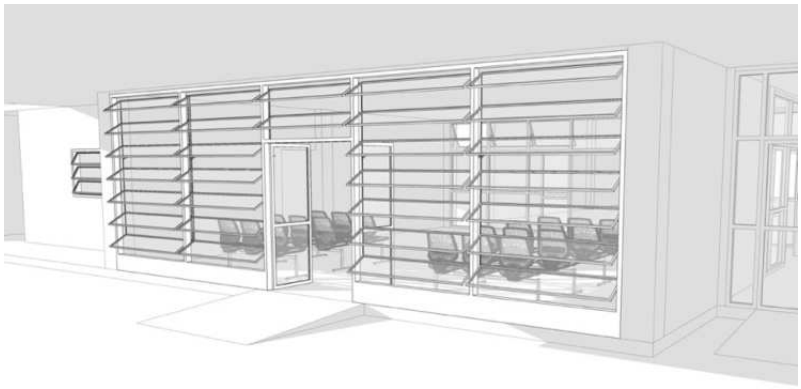


Figura 5: Modelagem 3D do cenário J587

3.3. Área efetiva de ventilação

As tabelas a seguir mostram a área útil dos tipos de esquadrias (LAMBERTS *et. al*, 2014)

Tabela 1 - Área útil de ventilação para esquadrias basculantes, máximo-ar e pivotantes

Inclinação	**Área Útil**
0º (fechada)	0%
30º	13%
45º	30%
60º	50%
90º (totalmente aberta)	100%

Tabela 2 - Área útil de ventilação para esquadrias de correr, abrir e guilhotina

Tipo de abertura	**Área Útil**
Guilhotina	50%
Correr	50%
Abrir	100%

Para o cálculo da área efetiva de cada cenário de esquadria proposto foi utilizada a equação a seguir:

$$AE_{JX} = (A_{A1}.AU_{A1}) + (A_{A2}.AU_{A2}) + (A_{A2}.AU_{A2})... + (A_{Ax}.AU_{Ax}) \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:
AE_{JX} é a área efetiva de ventilação da esquadria proposta [m²];
A_{Ax} é a área total da abertura x [m²];
AU_{Ax} é a área útil ventilação referente ao tipo de janela (identificado nas tabelas 1 e 2) [%].

3.3.1: Cálculo da área efetiva da esquadria J145:

Aberturas da esquadria:
4 Janelas Máximo Ar (Inclinação 45º) de 1,2075m²
1 Porta de correr 2 folhas (100% de abertura) de 3,36m²

Área total J145: 8,19m²

AEJ145 = (1,2075 m².30%) + (1,2075 m².30%) + (1,2075 m².30%) + (1,2075 m².30%) + (3,36 m².100%)
AEJ145 = 4,809 m²

3.3.2: Cálculo da área efetiva da esquadria J300:

Área das aberturas:
4 Janelas Máximo Ar (Inclinação 45º) de 1,2075m²
6 Janelas Máximo Ar (Inclinação 45º) de 0,8625m²
1 Porta de correr 2 folhas (100% de abertura) de 3,36m²
Área total J300: 13,365m²

AE_{J300} = (1,2075 m².30%) + (1,2075 m².30%) + (1,2075 m².30%) + (1,2075 m².30%) + (0,8625 m².30%) + (0,8625 m².30%) + (0,8625 m².30%) + (0,8625 m².30%) + (0,8625 m².30%) + (0,8625 m².30%) + (3,36 m².100%)
AE_{J300} = 6,3615 m²

3.3.3: Cálculo da área efetiva da esquadria J587:

Área das aberturas:
28 Janelas Basculantes (Inclinação 45º) de 0,65625m²
2 Janelas Basculantes (Inclinação 45º) de 0,6m²
1 Porta de abrir 2 folhas (100% de abertura) de 3,36m²

AE_{J587} = (0,65625m².30%) + (0,6 m².30%) + (0,6 m².30%) + (3,36 m².100%)
AEJ587 = 9,2325 m²

3.4. Rosa dos Ventos

Para a definição das velocidades de entrada de ventos nas esquadrias, toma-se como referência a Rosa dos Ventos da cidade de Patos de Minas. A figura 7 mostra o gráfico da Rosa dos Ventos durante o dia e noite, respectivamente com dados referentes a velocidade do ar (m/s) e frequência de ocorrência (%).

Para a simulação, optou-se por considerar os dados diurnos, levando em consideração o horário de funcionamento do edifício. É possível perceber a maior ocorrência dos ventos sentido Nordeste, com velocidades de 2m/s a 4m/s. Para a simulação, foi adotada a velocidade de 2m/s para todas as entradas de ar.

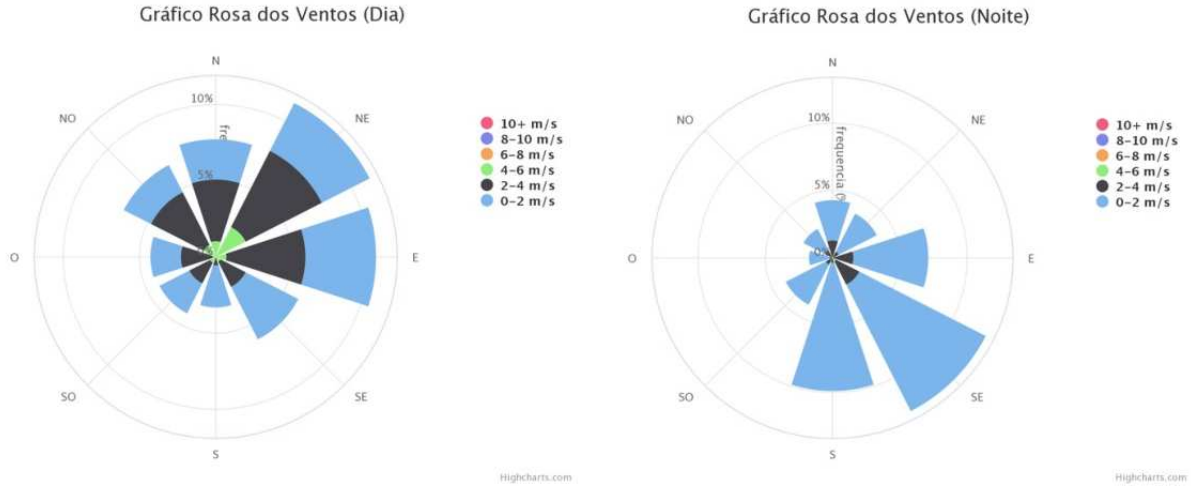


Figura 6: Rosa dos Ventos Diurna e Noturna de Patos de Minas. Fonte Site Projeteee

3.5. Zona de interesse para análise:

Para o cálculo da velocidade média do vento em cada simulação, foi delimitada uma zona de interesse na sala da recepção. A zona foi demarcada considerando as cadeiras de espera dos ocupantes do edifício, sendo a principal área de permanência identificada no ambiente.

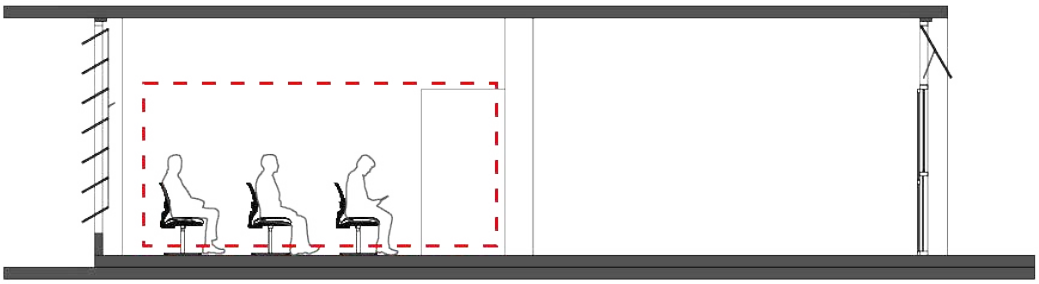


Figura 7: Corte da recepção com delimitação da zona de interesse

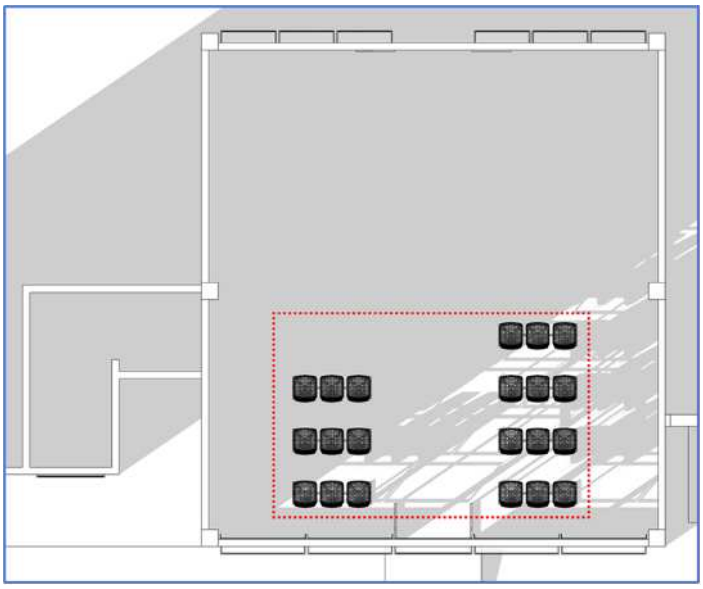


Figura 8: Planta baixa da recepção com delimitação da zona de interesse

4. RESULTADOS

Tabela 3 - Tabela resumo com resultados das simulações

Esquadria	Tipo de Abertura	Área útil de ventilação das janelas	Área útil de ventilação total da esquadria	Velocidade média do vento na zona de interesse
J145	Máximo-ar parcialmente aberta	1,45 m^2	4,80 m^2	0,60 m/s
J300	Máximo-ar totalmente aberta	3,00 m^2	6,36 m^2	1,33 m/s
J587	Basculantes totalmente abertas	5,87 m^2	9,23 m^2	1,95m/s

Na tabela resumo, os 3 cenários criados são separados com base no tipo de abertura, área útil de ventilação das janelas, área útil total da esquadria e velocidade média do vento na área de interesse. A partir do resultado das simulações, foi verificado no cenário 3 da esquadria J587 a maior velocidade do fluxo de ar resultante na zona de interesse.

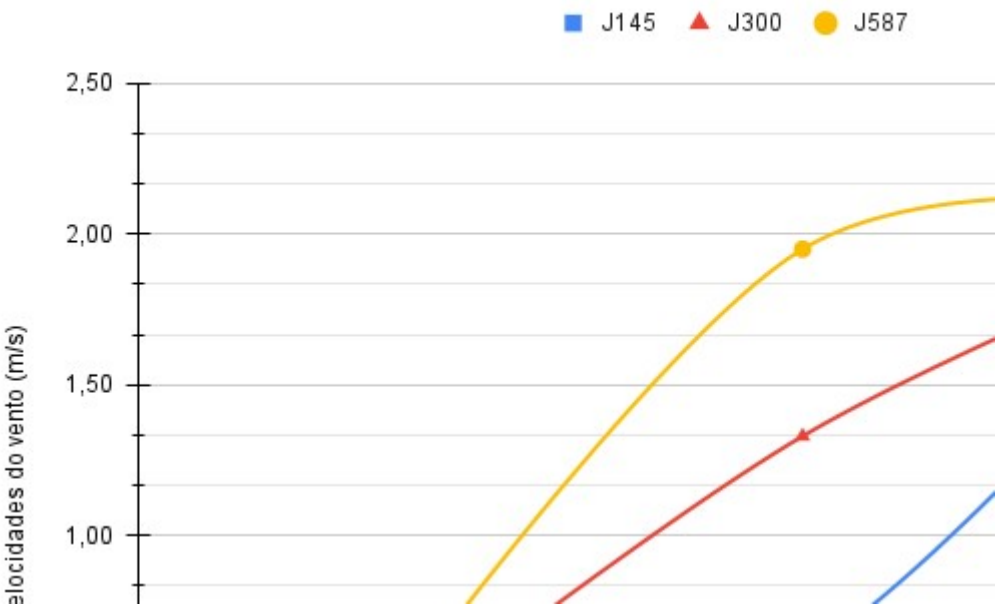
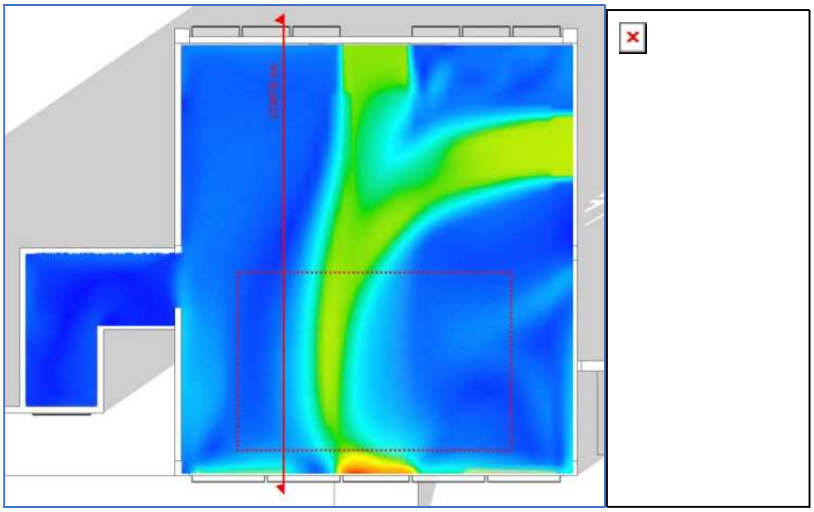
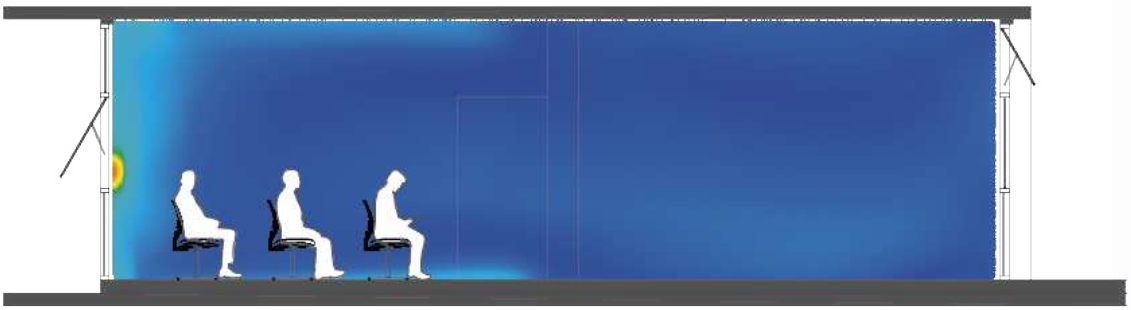


Figura 9: Gráfico com velocidades do vento mínimas, máximas e médias

Na figura 9, são apresentadas graficamente as velocidades do vento mínimas, máximas e médias encontradas na zona de interesse delimitada.

4.1. Cenário 1: Esquadria J145


Figura 10: Planta baixa da recepção com fluxo de ar J145


Figura 11: Corte AA da recepção com fluxo de ar J145

No primeiro cenário **J145**, foi obtido uma média de velocidade de 0,60m/s para o vento na zona de interesse delimitada, podendo ser observadas áreas com sombras de vento. A planta baixa de simulação foi gerada a partir de uma altura de 1,5m. Esse foi o pior cenário pois a janela existente é do tipo máximo ar, conforme Morais (2013) afirma, as esquadrias máximas ar, são as que possuem pior desempenho, pois além de

possuírem a área efetiva de abertura extremamente reduzida, sua folha quando aberta, barra o vento e impedem sua entrada no ambiente, obstruindo o fluxo de ar.

4.3. Cenário 2: Esquadria J300

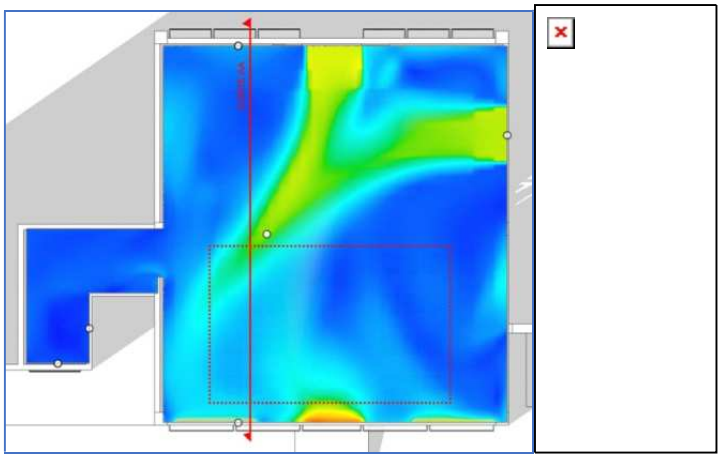


Figura 12: Planta baixa da recepção com fluxo de ar J300



Figura 13: Corte AA da recepção com fluxo de ar J300

No cenário **J300**, foi obtido uma média de velocidade de 1,33m/s na zona de interesse e as sombras de ventos foram consideravelmente diminuídas.

4.4. Cenário 3: Esquadria J587

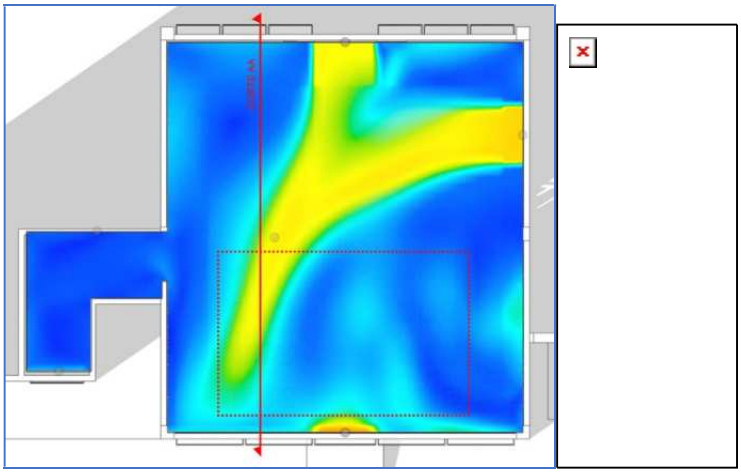


Figura 14: Planta baixa da recepção com fluxo de ar J587

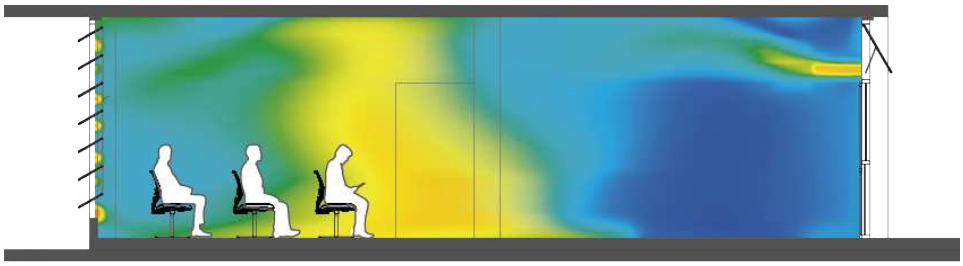


Figura 15: Corte AA da recepção com fluxo de ar J587

No cenário **J587**, foi obtido uma média de velocidade de 1,95m/s na zona de interesse. Foi possível perceber um aumento geral na velocidade do vento na recepção, aumentando assim também as taxas de renovação do ar interno.

5. CONCLUSÕES

Os cenários definidos para as simulações foram importantes para identificar a interferência do usuário na ventilação dos ambientes a partir da abertura parcial ou total das esquadrias. Dessa forma, foi dado destaque às esquadrias conectadas por alavancas, que a partir do funcionamento conjunto, facilitam a abertura total das janelas. Essa característica diminui a probabilidade de uma ventilação insuficiente causada pela inação humana.

Foi constatado que a ampliação da área de abertura das saídas de ar resultou em um acréscimo na velocidade média do ar interno. Esse método de simulação mostrou-se eficiente para a etapa de projeto pois resultou nos fluxos de ar gerados no ambiente pelas janelas existentes e planejadas e, assim, auxiliar na escolha de janelas adequadas. Assim, esse trabalho coopera com diretrizes projetuais para diversas edificações de saúde e seus espaços.

A qualidade do ar é influenciada pela velocidade do vento interno, especialmente em ambientes de saúde. Aumentar a velocidade do vento resulta em uma taxa mais alta de renovação do ar interno, o que é essencial para evitar a propagação de doenças por vias aéreas.

A simulação por meio da fluidodinâmica computacional se mostrou proveitosa para avaliar e analisar as condições de ventilação em ambientes internos. Esse tipo de simulação se demonstrou conveniente para situações de projeto, de modo a prever o fluxo resultante das esquadrias previstas, podendo influenciar na escolha de materiais e equipamentos. A simulação por CFD também se mostrou benéfica em situações de avaliação de pós ocupação, para avaliar as condições existentes em um edifício e propor possíveis alterações na configuração espacial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas. Rio de Janeiro, 2003.

AFLAKI, Ardalan; MAHYUDDIN, Norhayati; MAHMOUD, Zakaria; BAHARUM Mohamad. **A review on natural ventilation applications through building façade components and ventilation openings on tropical climates.** Center for Urban Conservation and Tropical Architecture (UCTA), Faculty of Built Environment, University of Malaya, Malaysia, 2015.

ALHINDAWI, I.; JIMENEZ-BESCOS, C. **Investigating Natural Ventilation Behaviour of Passivhaus PHPP Using CFD Building Simulations.** National University of Ireland, Galway, 2020.

ASHRAE AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR- CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Standard 62**: Ventilation for acceptable Indoor Air Quality. Atlanta, 1999.

BRASIL. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária **Resolução RDC Nº 50**, 21 de fevereiro de 2002.

DAI, Hui; ZHAO Bin. **Association of infected probability of COVID-19 with ventilation rates in confined spaces:** a Wells-Riley equation-based investigation. – Department of Building Science, School of Architecture, Tsinghua University Beijing, China 2020.

GHASEMPOURABADI, M.; HASSANZADEH, H; SHAHRIGHARAHKOSHAN, S.; TARAZ, H. **Covid-19 dissemination assessment through natural ventilation in hospital patient room by CFD analisys.** Department of Architecture and Urban Planning, Faculty of Fine Arts, Tehran, 2021.

KEK, H. Y.; TAN, H.; CHIN, D. D.; YI, Lee; ISMAIL, N. D.; DERIS, M. S; KAMAR, H. M.; WONG, K. Y.; **A CFD**

assessment on ventilation strategies in mitigating healthcare-associated infection in single patient ward. Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, 2023.
LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiencia energética na arquitetura**. 3. ed. São Paulo: Eletrobras/PROCEL, 2014.
MORAIS, J. M. S. C. **ventilação natural em edificios multifamiliares do "programa minha casa minha vida.** Tese de Doutorado, Campinas, 2013.
PIMENTA, João; et.al. **Guia para reabertura de escolas e universidades:** ASHRAE Epidemic Task Force. Brasília, 2020.
QUADROS, M. E. **Qualidade do ar em ambientes internos hospitalares:** parâmetros físico-químicos e microbiológicos. 2008. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.
SALES, G. L. **Diagrama de ventilação natural:** ferramenta de análise do potencial da ventilação natural no estudo preliminar de projeto. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília. 2016.
WIDIASTUTI, Ratih; HASAN, M. I.; BRAMIANA, Chely; PRAMESTI, Previari. **CFD Simulation on the Natural Ventilation and building thermal performance.** Faculty of Integrated Technologies, Indonesia, 2020.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao grupo de pesquisa SiCAC (Simulação Computacional no Ambiente Construído), LaSUS (Laboratório de Sustentabilidade Aplicado à Arquitetura e ao Urbanismo) e ao Ministério da Saúde.