2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

EFEITOS DO USO DE VARANDAS NO DESEMPENHO TÉRMICO DE SALAS DE ESCRITÓRIO EM EDIFÍCIOS VERTICALIZADOS[1]

LOCHE, Íris Maria Costa Fajardo Werneck (1); NEVES, Letícia de Oliveira (2)

(1) Universidade Estadual de Campinas, iris.loche@gmail.com

(2) Universidade Estadual de Campinas, leticia@fec.unicamp.br

RESUMO

Edifícios corporativos apresentam alto consumo energético devido ao uso intenso de computadores, centrais de processamento de dados e sistemas artificiais de condicionamento. Muitas vezes, os sistemas de condicionamento são imprescindíveis para garantir o conforto térmico e a produtividade dos usuários, sendo os principais consumidores de energia. A redução do consumo energético por meio da melhoria do desempenho térmico pode ser obtida, em climas tropicais, com estratégias de ventilação natural e sombreamento. A varanda é um elemento de proteção solar que atua como beiral para o pavimento inferior, bloqueando a incidência de radiação solar direta e possibilitando maiores aberturas para ventilação natural. Esse trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos das varandas no desempenho térmico e na ventilação natural de salas de escritórios. Simulações computacionais foram realizadas para diferentes configurações de varanda de um modelo de referência. A adição da varanda à sala reduziu os graus-hora de resfriamento anuais em até 46%, potencializados pelo aumento na sua profundidade. Em relação à ventilação natural, quando localizadas a barlavento, a presença da varanda aumentou o número de renovações de ar horárias no ambiente. Em contrapartida, quando a sotavento, sua presença e o aumento de sua profundidade diminuíram o número de renovações de ar.

Palavras-chave: *varanda, ventilação natural, desempenho térmico, edifício de escritórios.*

ABSTRACT

Office buildings present high energy consumption due to the intensive use of computers, data centers and air conditioning systems. In most cases, the air conditioning is essential to provide thermal comfort and increase the user's productivity, frequently being the main energy consumer. The energy consumption reduction by increasing the building thermal performance in tropical climates can be achieved through design strategies such as natural ventilation and shading. Balconies are horizontal overhanging structures used as fixed solar shading devices that act as an eave to the lower floor, reducing the incidence of direct solar radiation, while allowing the use of wide inlet openings for natural ventilation. This paper evaluates the effects of balconies on thermal performance and natural ventilation of cellular office rooms. Computer simulations were performed varying the balcony's depth of a reference model. The addition of a balcony to the office room decreased the cooling-degree hours up to 46%, enhanced by the increase of the balcony's depth. As to the natural ventilation performance,

[1]LOCHE, Íris Maria Costa Fajardo Werneck; NEVES, Letícia de Oliveira. Efeitos do uso de varandas no desempenho térmico de salas de escritório em edifícios verticalizados. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

adding a balcony at the windward façade increased the air change rate in the office room, while adding a deep balcony at the leeward façade decreased the air change rate.

***Keywords**: balcony, natural ventilation, thermal performance, office building.*

1 INTRODUÇÃO

O consumo energético no Brasil vem crescendo a cada ano. Em 2019, os edifícios foram responsáveis por 45,8% do consumo total de energia elétrica do país, sendo 5,1% referentes ao setor de serviços. Este setor vem apresentando um crescimento na demanda de energia, tendo aumentado 3,4% em relação ao ano de 2018 (BEN, 2020). Edifícios corporativos apresentam alto consumo energético devido ao uso intenso de computadores, centrais de processamento de dados e sistemas artificiais de condicionamento. Muitas vezes, os sistemas de condicionamento são imprescindíveis para garantir o conforto térmico e a produtividade dos usuários, sendo os principais consumidores de energia (CBCS, 2015).

O sombreamento e a ventilação natural são estratégias de arquitetura bioclimática indicadas para a melhoria do desempenho térmico de edificações em grande parte do território brasileiro. A presença de elementos externos de proteção solar é uma estratégia de projeto que contribui significativamente na redução da carga térmica, na melhoria do desempenho térmico dos ambientes internos e na consequente redução do consumo de energia (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Um levantamento de campo em edifícios de escritórios localizados em São Paulo, realizado por Neves *et al*. (2017), aponta que 23% dos edifícios da amostragem apresentam algum tipo de elemento externo de proteção solar. A varanda foi o elemento de proteção solar mais encontrado, representando 92% desta parcela de edifícios.

A varanda é um tipo de elemento de proteção solar que atua como um beiral para o pavimento inferior, bloqueando a incidência de radiação solar direta, podendo auxiliar na redução do consumo de energia com soluções artificiais de condicionamento (BRANDÃO; MARTINS, 2008). As varandas, embora possibilitem maiores aberturas para ventilação natural nos edifícios, podem modificar a distribuição de pressão do vento incidente, interferindo na direção e intensidade do fluxo de ar e, consequentemente, na taxa de renovação de ar do ambiente interno. Desse modo, dependendo da sua geometria, a varanda pode agir como captadora ou como barreira do vento (MOHAMED *et al.*, 2014).

Ensaios de túnel de vento realizados por Castaño (2017) mostraram que a adição da varanda em uma residência de dois pavimentos diminuiu o fluxo de ar em até 25%, levando a um pequeno aumento na temperatura interna, de 0.1 ◦C. Izadyar *et al.* (2020), Omrani *et al.* (2017) e Mohamed *et al*. (2014) investigaram os efeitos da profundidade da varanda no desempenho da ventilação natural em um edifício residencial verticalizado. Os autores mostraram que os efeitos da profundidade da varanda na ventilação natural estão relacionados aos ângulos dos ventos incidentes. Mohamed *et al*. (2014) identificou que o aumento na profundidade das varandas provoca reduções no desempenho da ventilação natural, principalmente quando os ventos incidem nas varandas em um ângulo de 90º. No entanto, Izadyar *et al*. (2020) concluíram que varandas profundas (2.5 m a 3 m) apresentam melhores cenários de desempenho térmico.

Em vista disso, o objetivo deste artigo é avaliar o impacto do uso de varandas na ventilação natural e no desempenho térmico de salas de escritório de edifícios verticalizados.

2 MÉTODOS

Essa é uma pesquisa de procedimento experimental, baseada em simulações computacionais.

2.1 Definição do modelo de referência e dos cenários

Para definição de um modelo de referência utilizou-se um banco de dados composto por 153 edificações de escritórios localizadas na cidade de São Paulo, desenvolvido por Neves *et al*. (2017) e detalhado por Pereira (2019). Para a construção do modelo, foram considerados os valores médios das variáveis contínuas e o de maior frequência das variáveis categóricas do banco de dados (Tabela 1).

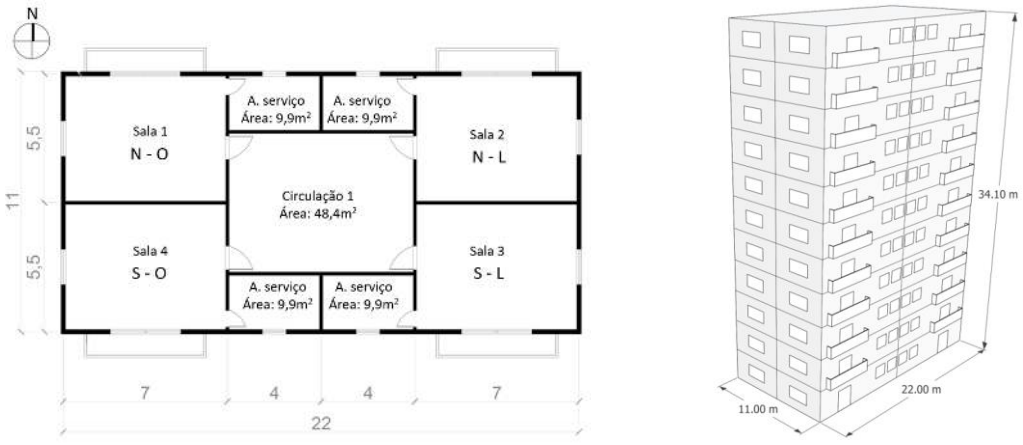
Tabela 1: Parâmetros fixos da geometria do modelo

Parâmetros	**Valores**
Formato do edifício em planta	Retangular
Razão comprimento/largura do edifício em planta	0,5
Posição longitudinal do edifício	L-O
Número de pavimentos	11
Área de circulação por pavimento	48,4 m^2
Área das salas de escritório	48,4 m^2
Pé-direito (piso a piso)	3,1 m
Estratégia de ventilação	Cruzada em fachadas adjacentes
Percentual de abertura nas fachadas (PAF)	30%
Esquadria da janela	Maxim-ar: 64% abertura p/ ventilação
Dispositivo de sombreamento	varandas
Comprimento das varandas	5 m
Profundidade das varandas	0 m (sem varanda) /0,5 m/1 m/1,5 m/ 2 m
Peitoril das varandas	1,1 m
Esquadria porta da varanda	De correr: 45% abertura p/ ventilação

Fonte: os autores

A Figura 1 ilustra a geometria do modelo de referência. Considerou-se o modelo como um edifício isolado, ou seja, sem construções no entorno imediato. Cada escritório é formado por duas zonas térmicas, sendo a sala uma área de permanência prolongada e a área de serviço composta por uma cozinha e um banheiro.

Figura 1: Geometria do modelo de referência

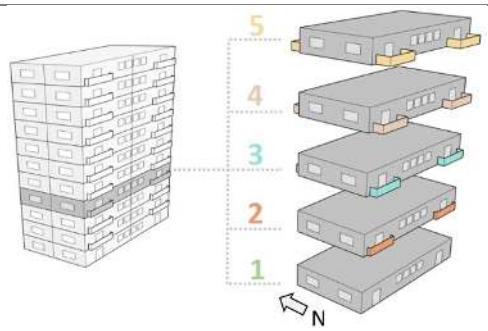


(a) Planta baixa do pavimento tipo (b) Elevação do modelo

Fonte: Os autores

Para a definição dos cenários a serem simulados, um pavimento intermediário da edificação foi escolhido, localizado no quarto andar. Cinco cenários foram definidos a partir da variação da profundidade das varandas, simulados para as quatro salas de escritório do pavimento (Tabela 2).

Tabela 2: Cenários



Cenários	Varandas (comprimento x profundidade)	Orientações das fachadas das salas
1	Sem varandas	Norte e Oeste (N-O); Norte e Leste (N-L); Sul e Oeste (S-O); Sul e Leste (S-L)
2	5 m x 0,5 m	
3	5 m x 1 m	
4	5 m x 1,5 m	
5	5 m x 2 m	

Fonte: Os autores

2.2 Simulações computacionais

Para a realização das simulações computacionais, o *software* de análise de desempenho EnergyPlus v 9.1 foi utilizado. Para a modelagem dos cenários, utilizou-se o *plug-in* Euclid v 0.9.3, disponível para o *software* SketchUp 2019. Nas simulações, utilizou-se o arquivo climático da cidade de São Paulo, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (LABEEE, 2016). De acordo com Pereira *et al*. (2013), para fins de cálculos, o programa considera os componentes construtivos, os padrões de uso e ocupação e as cargas térmicas, que foram definidos baseados nas normas e regulamentações brasileiras. Os dados de entrada utilizados nas simulações foram identificados e referenciados nas Tabelas 3 a 5.

Tabela 3: Componentes construtivos opacos utilizados nas simulações

Componentes construtivos	Espessura (m)	Transmitância térmica (kW/m².K)	Absortância solar	Referência
Parede (bloco concreto)	0,28	2,38	0,36	ABNT, 2005
Piso (concreto)	0,175	4,43	-	
Laje (concreto)	0,175	4,43	-	

Fonte: Os autores

Tabela 4: Componente construtivo translúcido utilizado nas simulações

Componente	Transmitância térmica (kW/m². K)	Fator solar	Referência
Vidro incolor	5,7	0,87	ABNT, 2016

Fonte: Os autores

Tabela 5: Cargas internas utilizadas nas simulações

Parâmetros	Valores	Referência
Equipamentos	10.7 W/m²	ABNT, 2008
Iluminação artificial	9.7 W/m²	INMETRO, 2018
Atividade metabólica	65 W/m²	ASHRAE 55, 2013
Ocupação	14 m²/ pessoa	ABNT 16401, 2008
Período de ocupação	8h às 18h (segunda a sexta)	INMETRO, 2018

Fonte: Os autores

Os coeficientes de pressão foram obtidos no banco de dados de coeficientes de pressão de edifícios providos de varanda disponibilizados por Loche et. al (2020), que consistem em resultados de ensaios em túnel de vento para monitoramento da pressão nos pontos centrais das portas das varandas e janelas, para todos os cenários

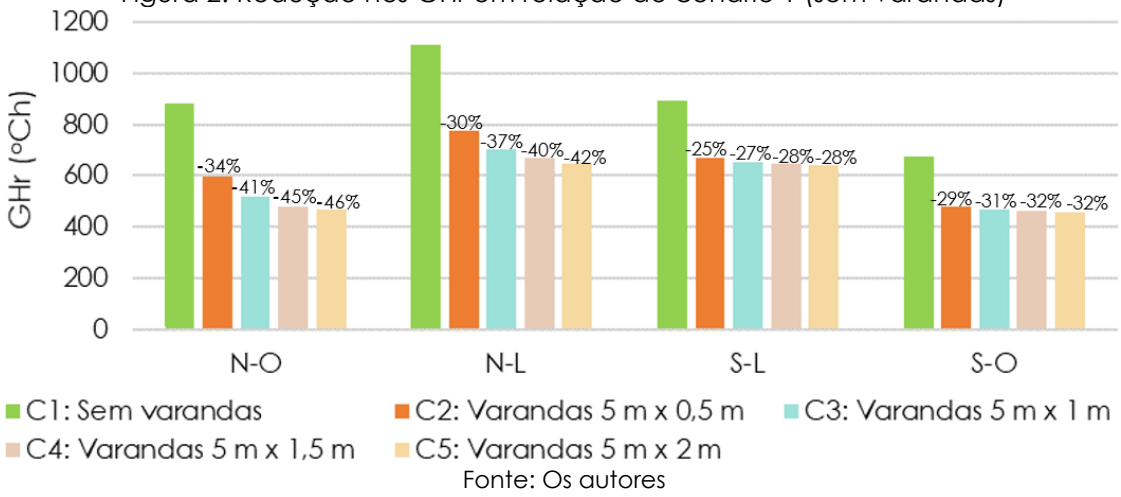
analisados neste artigo[2]. Tais dados foram inseridos manualmente no componente AirFlow Network do Energyplus. Os resultados das simulações foram analisados em termos de número de renovações de ar horárias (ACH) e graus-hora de resfriamento (GHr), determinado a partir da somatória da diferença da temperatura operativa horária, quando superior a 26 °C (INMETRO, 2012), para os horários de ocupação.

3 RESULTADOS

3.1 Graus-hora de resfriamento

Os resultados de graus-hora de resfriamento (GHr) são apresentados na Figura 2. A sala com paredes externas e aberturas localizadas a Sul e Oeste é o caso mais eficiente e a sala com fachadas voltadas para Norte e Leste o caso menos eficiente. Quando as varandas são adicionadas ao modelo, nota-se significativa redução nos valores de Ghr, que continuam a diminuir conforme a profundidade da varanda aumenta, porém em menor proporção. Isso mostra que a inserção da varanda teve maior impacto no desempenho térmico da sala do que a variação em sua profundidade, para todas as orientações solares analisadas.

Figura 2: Redução nos GHr em relação ao cenário 1 (sem varandas)



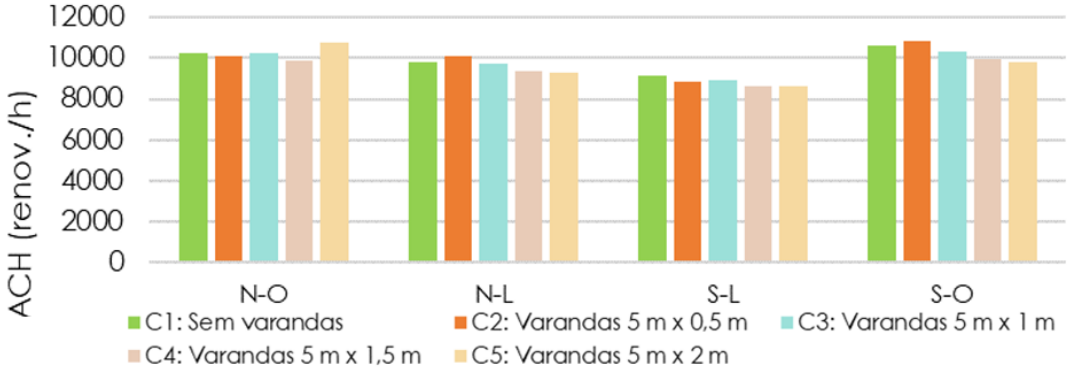
Fonte: Os autores

4.2 Renovações de ar

A ventilação natural do modelo de referência foi analisada a partir do número de renovações do ar, considerando as janelas abertas durante o período de ocupação. Como na ventilação natural por ação dos ventos, a posição das aberturas (a barlavento ou a sotavento) determina a eficácia da estratégia, o impacto causado pela adição das varandas e pela modificação de sua profundidade sobre a ventilação natural das salas de escritório não foi conclusivo pela análise anual de renovações do ar (Figura 3), já que os efeitos da varanda tornaram-se mascarados pela constante variação na direção dos ventos advinda do arquivo climático.

[2] Link do banco de dados disponibilizado por Loche *et al.* (2020): http://www.fec.unicamp.br/~conforto/trabalhos/iris_loche/

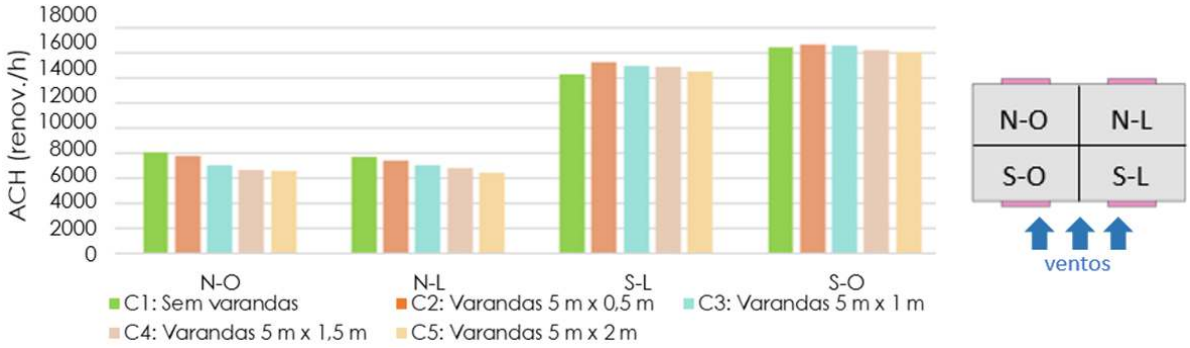
Figura 3: Renovações do ar por ano dos cenários simulados



Fonte: Os autores

Diante disso, recorreu-se a uma modificação no arquivo climático: a direção dos ventos foi limitada a uma incidência perpendicular à varanda, de forma a analisar as varandas a barlavento (fachada frontal) e a sotavento (fachada posterior). Nota-se que os cenários com aberturas localizadas a barlavento (S-L e S-O), apresentam um número maior de renovações de ar do que os cenários com aberturas a sotavento (N-O e N-L). Observa-se também que, nos escritórios com fachada a sotavento, a presença de varandas e o aumento de sua profundidade diminui o número de renovações do ar. Nos modelos com aberturas a barlavento, a presença de varandas potencializa o número de renovações de ar, porém tal potencialização diminui conforme a profundidade das varandas aumenta (figura 4).

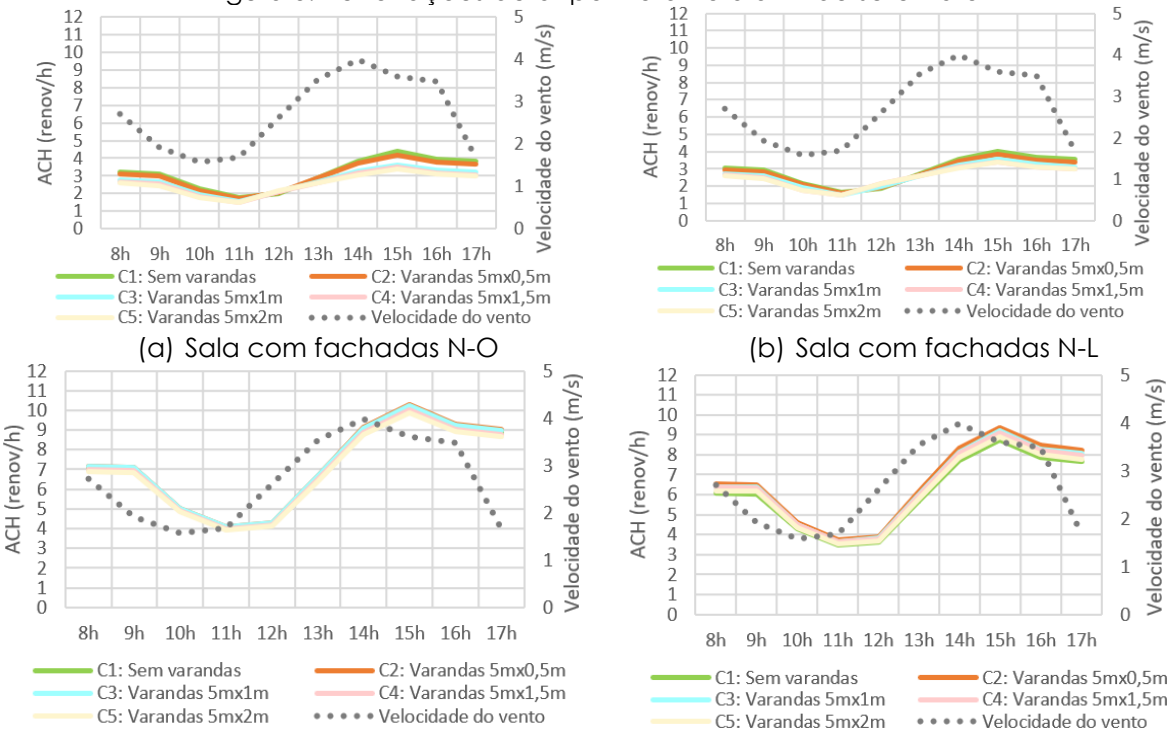
Figura 4: Renovações do ar por ano, com incidência perpendicular dos ventos



Fonte: Os autores

Para analisar o impacto da velocidade dos ventos sobre a ventilação natural das salas, a direção dos ventos limitada a incidência perpendicular na fachada frontal (Sul) e o dia 11 de setembro foi escolhido para a análise, por ser o dia útil mais quente do ano, de acordo com o arquivo climático. Os resultados mostraram um número maior de renovações de ar nas salas com aberturas a barlavento (S-L e S-O). Para estes casos, também é possível notar um leve aumento das renovações de ar nos cenários com varanda, principalmente para as varandas de menor profundidade (0,5 m e 1 m). Para as salas a sotavento, o número de renovações de ar cai conforme a profundidade da varanda aumenta. A velocidade dos ventos influencia diretamente no número de renovações de ar em todos os cenários (Figura 5).

Figura 5: Renovações de ar por hora no dia 11 de setembro



(a) Sala com fachadas N-O

(b) Sala com fachadas N-L

(c) Sala com fachadas S-O

(d) Sala com fachadas S-L

Fonte: Os autores

4 CONCLUSÕES

A presença de varandas na sala de escritório mostrou-se uma estratégia eficaz para melhoria do desempenho térmico do ambiente. A adição de varandas de 0,5 m de profundidade ocasionou uma redução de 25% a 34% nos graus-hora de resfriamento (GHr) anuais, sendo a variação relacionada à orientação solar da sala de escritório. Em concordância com os resultados obtidos por Izadyar *et al.* (2020), o aumento da profundidade das varandas também contribuiu para reduzir o número de GHr, porém em menor escala. Um aumento de 0,5 m para 2 m resultou em uma redução de 3% a 12% nos GHr, sendo a variação também dependente da orientação solar.

As varandas mostraram exercer grande influência na ventilação natural da edificação. Em concordância com os resultados obtidos por Izadyar *et al*. 2020, Omrani *et al*. (2017) e Mohamed *et al.* (2014), os efeitos da profundidade das varandas no desempenho da ventilação natural mostrou-se dependente ao ângulo dos ventos incidentes. Uma análise com incidência dos ventos perpendicular à fachada frontal mostrou que a adição de varandas nas salas de escritório com aberturas a barlavento (neste caso, salas S-L e S-O), potencializou o número de renovações de ar horárias no ambiente, porém tal incremento foi reduzido com o aumento na profundidade das varandas. Por sua vez, o aumento na profundidade das varandas nas salas com aberturas a sotavento (neste caso, salas N-L e N-O) ocasionou uma redução nas renovações de ar.

A utilização da varanda e sua configuração deve ser analisada nas etapas iniciais de projeto, considerando o clima local e sentido predominante dos ventos, uma vez que ela pode tanto contribuir quanto prejudicar a ventilação natural do ambiente. Vale ressaltar que o presente trabalho não considerou o entorno construído, que pode influenciar nos resultados, principalmente no caso de São Paulo, onde o entorno é densamente construído.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo 2019/01579-9, pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE 55-2013** - Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2013.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 15220-3**: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2005.

____.**NBR 16401**-2: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro, 2008.

____.**NBR 7199**: Vidros na construção civil – Projeto, execução e aplicações. Rio de Janeiro, 2016.

BEN. Balanço Energético Nacional – **Relatório Síntese 2019, ano base 2020**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/> Acesso em: 17 agosto 2020.

BRANDÃO, H. C. L.; MARTINS, A. M. M. A varanda e suas contribuições para a sustentabilidade. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL NUTAU,7., 2008, São Paulo. **Anais**... São Paulo, 2008

CASTAÑO, H. F. M. **Impacto de dispositivos de sombreamento externos e muro na ventilação natural e no desempenho térmico de uma habitação de interesse social térrea**. Tese (Doutorado), São Paulo, USP, 2017.

CBCS. **Benchmarking de escritórios corporativos e recomendações para certificação DEO no Brasil**. São Paulo: Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, 2015

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Portaria nº18, 16 de janeiro de 2012. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Rio de Janeiro, 2012.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Instrução Normativa INMETRO para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. Rio de Janeiro, 2018.

IZADYAR, N. *et al*. A numerical investigation of balcony geometry impact on single-sided natural ventilation and thermal comfort. **Building and Environment** v.177, 2020.

LABEEE. **Arquivos climáticos INMET 2016**. Disponível em:<http://www.labeee.ufsc.br>. Acesso em: 10 abril 2019.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª edição. SP, 2014.

LOCHE, I., *et al*. Effects of balconies on the wind pressure coefficients of naturally ventilated high-rise office buildings. In: SIMAUD 2020, Online Conference. **Proceedings**… 2020

MOHAMED, M. F. *et al*. The effects of balconies on the natural ventilation performance of cross-ventilated high-rise buildings. **Journal of Green Building** v. 9, p. 145-160, 2014.

NEVES, L. DE O. *et al*. Envelope design of mixed-mode office buildings: theory versus practice. Edimburgo: PLEA, 2017. p. 2632-2639. **Anais**... Edimburgo, 2017.

PEREIRA, F. A. **Influência da estratégia de ventilação natural no desempenho termoenergético de edifícios de escritórios de modo misto**. Dissertação (Mestrado) - Campinas: UNICAMP, 2019.

PEREIRA, H. A. C. P. *et al*. **Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa EnergyPlus – Versão 8.0**. Florianópolis, 2013.

OMRANI, S. *et al*. On the effect of provision of balconies on natural ventilation and thermal comfort in high-rise residential buildings. **Building and Environment** v. 123, p. 504-516, 2017.