



XVIII CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR
São Paulo Expo – 13 à 15 de setembro de 2023

QUALIDADE DO AR EXTERNO PARA PROJETOS DE ARQUITETURA EM TRÊS CIDADES BRASILEIRAS: MACAPÁ-AP, BRASÍLIA-DF E FLORIANÓPOLIS-SC

PAPER 40

RESUMO

O contexto pandêmico trouxe à luz preocupações sobre a qualidade do ar dos ambientes, reflexões em relação a renovação deste ar e também sobre aspectos que ultrapassam a COVID-19 como o impacto da poluição do ar na saúde humana e no desempenho de atividades. Objetiva-se entender o nível de qualidade do ar externo associado ao contexto climático para propor uma melhora do nível de renovação do ar interno dos ambientes. Levantou-se dados do clima e da poluição atmosférica em três climas distintos, utilizando-se das cidades de Macapá-AP, Brasília-DF e Florianópolis-SC. Adotou-se os dados de arquivos climáticos e dados monitorados pelo Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) por satélite, referente aos poluentes: PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂ e O₃. A classificação das cidades foi feita com base no site Plume Labs (2021), de acordo com as recomendações da OMS, sendo utilizada como métrica o Air Quality Index – AQI. Com base nas estimativas realizadas, o ar exterior é considerado aceitável em grande parte do ano para uso da ventilação natural, por apresentar valores médios e bons. A partir das análises nas três cidades é possível indicar que o uso do ar externo para ventilação natural ou artificial pode ocorrer, porém haverá horas no ano nas quais não será possível utilizá-lo diretamente devido a concentrações elevadas de poluentes na atmosfera. Como solução nesses horários aponta-se o uso de ventilação artificial associada a filtros para purificação do ar externo.

Palavras-chave: Qualidade externa do ar. HVAC. Ventilação natural. Ventilação artificial

ABSTRACT

The pandemic context has brought to light concerns about the quality of air in environments, reflections on the renewal of this air and also on aspects that go beyond COVID-19: the impact of air pollution on human health and on the performance of activities. The objective is to understand the level of outdoor air quality associated with the climatic context in order to propose an improvement in the level of indoor air renewal in environments. Data on climate and air pollution were collected in three different climates, using the cities of Macapá-AP, Brasília-DF and Florianópolis-SC. We adopted climate data from climate files and data monitored by the Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) by satellite, referring to pollutants: PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂ and O₃. The classification of cities was based on the Plume Labs website (2021), in accordance with WHO recommendations, using the Air Quality Index – AQI as a metric. Based on the estimates made, outdoor air is considered acceptable for most of the year for the use of natural ventilation, as it presents average and good values. From the analyzes in the three cities, it is possible to indicate that the use of external air for natural or artificial ventilation can occur, but there will be times in the year when it will not be possible to use it directly, due to concentrations of pollutants in the atmosphere. The use of artificial ventilation associated with filters to purify the outside air is suggested as a solution at these times.

Keywords: Outdoor air quality. HVAC. Natural ventilation. Mechanical ventilation.

1 INTRODUÇÃO

Episódios de poluição do ar atmosférico atingiram algumas cidades da Europa e Estados Unidos, o caso que possuiu maior repercussão foi em Londres, em 1952, a inversão térmica impediu a dispersão de poluentes gerados pelas indústrias e aquecedores domiciliares, aumentando o número de óbitos em período semelhante para 4.000. A partir desses casos e alguns subsequentes, foi iniciado um processo de estudo e delineamento de medidas para redução de emissão de poluentes na atmosfera (BRAGA et al., 2001).

Grandes cidades tendem a experimentar problemas relacionados a poluição atmosférica, acarretando doenças agudas e crônicas no trato respiratório (BRAGA et al., 2001). O estudo de Peng, Deng e Tenorio (2017) avalia a qualidade do ar externo em relação ao IAQ, demonstrando que a poluição interfere significativamente na forma como os projetistas e engenheiros irão pensar no sistema HVAC para os ambientes internos. Os autores afirmam que para grandes centros urbanizados, com taxas de poluição atmosférica elevadas, indica-se o uso de sistemas que isolem melhor o edifício, ao adotar ventilação mecânica associada a filtros para tratamento do ar internamente. Em contraste a essa estratégia, estudos apontam na direção oposta quando a poluição do ar atmosférico não apresenta uma ameaça à saúde na região, ao adotar um aumento da permeabilidade entre o ar interno e externo para melhoria do IAQ (AVIV et al., 2021; BAKÓ-BIRÓ et al., 2007; OLIVEIRA; RUPP; GHISI, 2021).

Quando não existe um sistema correto de renovação de ar, o aumento da vedação entre o ambiente interno e externo, pode ocasionar um aumento nas concentrações de CO₂ nos ambientes internos gerando um decaimento da qualidade interna do ar, pelo aumento das partes por milhão (PPM) e por estar associado à liberação de agentes biológicos na expiração (ABNT, 2008; PENG; DENG; TENORIO, 2017).

Por outro ponto de vista, o Brasil possui grande variação no clima devido a sua extensão e, assim, diferentes exposições em relação ao sol, regime de ventos e outras variáveis macroclimáticas e microclimáticas (ROMERO, 2001). Atualmente o Brasil apresenta 8 zonas bioclimáticas NBR 15.220 (ABNT, 2005). As classificações variam em climas tropicais e temperados, úmidos e secos, variações de altitude entre outras características que podem gerar diferentes escalas de desconforto a partir da exposição do indivíduo ao clima. Para solucionar essas variações, garantir um clima interno adequado e assim direcionar para criar os edifícios mais eficientes energeticamente, criou-se a ideia de maior isolamento do edifício, para torna-lo hermético (PASSARELLI, 2009).

As diferenças climáticas provocam uma diferença no padrão de abertura das janelas para ventilação natural, isto devido a necessidade de fechamento quando as temperaturas são muito elevadas ou muito baixas. Com uma variação na operação das aberturas, há uma diferença no número de renovações para cada local.

Além disso, apesar de representar uma estratégia importante para o

decaimento dos níveis de CO₂, a ventilação natural não representa, isoladamente, uma estratégia ótima para eliminar a poluição do ar interno ao considerar que o fluxo pode ser interrompido, ocasionando um decaimento dos níveis de IAQ. Os autores indicam a introdução da ventilação mecânica como garantia efetiva do IAQ Segundo (YU; HE; FENG, 2015).

É um desafio elaborar métricas e diretrizes para o Brasil diante de sua complexa variedade de condicionantes climáticas. O clima e a poluição atmosférica são eixos delimitadores na elaboração de estratégias para ambientes internos, logo a pesquisa traz a luz características que devem ser consideradas ao pensar o projeto, a qualidade do ar externo e as medidas para renovação do ar.

Ressalta-se que para cada caso, é necessária avaliação física ou simulação sobre a ótica do conforto térmico e IAQ, o escopo da pesquisa se estrutura nos parâmetros externos para condicionar e orientar as estratégias para projetos HVAC. A pesquisa pauta-se no uso do ar externo para renovação do ar interno, seja por meio da ventilação natural ou mecânica.

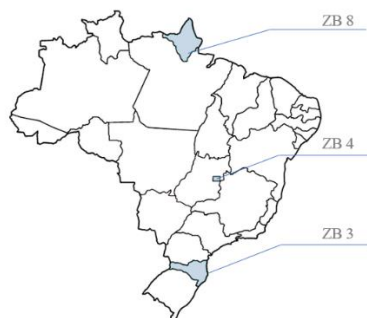
2 METODOLOGIA

Neste item são apresentadas as cidades que foram escolhidas para o escopo de análise, destacando sua localização, classificação climática e a forma de avaliação da poluição atmosférica. A pesquisa busca avaliar a partir de parâmetros externos a edificação, embasar características a serem consideradas no desenvolvimento de projetos para as três cidades. Ao considerar aspectos do IAQ e do conforto térmico, influenciados pela ventilação pelo ar externo.

2.1 Recorte da pesquisa

É estabelecido um recorte geográfico em três cidades com diferentes climas e em diferentes zonas climáticas (Figura 1): Florianópolis-SC (ZB 3), Brasília-DF (ZB 4) e Macapá-AP (ZB 8), correspondentes às regiões Sul, Centro-Oeste e Norte, respectivamente. Como elementos para a escolha da amostra, foram consideradas a maior variação possível de latitudes, visto sua influência no ganho de radiação solar, e assim variando as temperaturas externas que influenciam tanto no conforto térmico quanto no IAQ.

Figura 1 - Estados analisados e suas respectivas Zonas bioclimáticas.



Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

2.2 Caracterização climática

A classificação climática é descrita de acordo com a NBR 15.220 (ABNT, 2005) e Köppen-Geiger, além disso serão apontadas as horas em conforto de acordo com a ASHRAE (2017) considerando limites de aceitabilidade de 80%. Serão apresentadas como as variáveis climáticas as temperaturas médias encontradas nas cidades, a radiação global, direção e velocidade dos ventos. A caracterização climática foi realizada através do Climate Consultant 6.0.

Florianópolis com latitude $-27,60$ e longitude $-48,55$, com altitude de aproximadamente 2,00m. De acordo com a NBR 15.220 (ABNT, 2005), Florianópolis está inserida na ZB3. Segundo a classificação de Köppen-Geiger, Florianópolis se classifica como subtropical úmido (C) clima oceânico, sem estação seca (f) com verão temperado (b)– Cfb (ALVARES et al., 2013). De acordo com a ASHRAE (2017) considerando os limites de aceitabilidade de 80%, 51% das horas do ano em na capital os moradores estão em situação de desconforto, em sua maioria por frio.

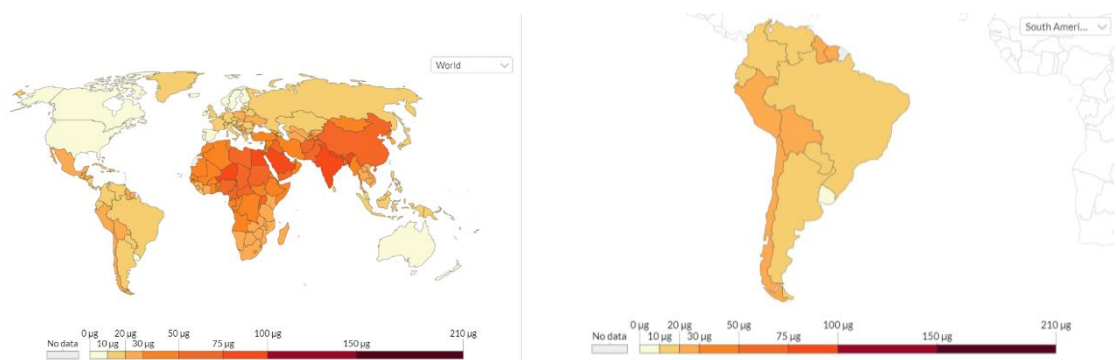
Brasília, com latitude $-15,77$ e longitude $-47,92$, com altitude de aproximadamente 1.160,00m. Está inserida na ZB4, para a qual a NBR 15.220 (ABNT, 2005). Segundo a classificação de Köppen-Geiger, Brasília se classifica como tropical (A) de savana (w) – Aw. Brasília é considerada pela classificação como tropical com inverno seco (ALVARES et al., 2013). De acordo com a ASHRAE (2017) considerando os limites de aceitabilidade de 80%, Brasília apresenta 59% das horas do ano em situação de desconforto, em sua maioria por frio.

Macapá, com latitude 0 e Longitude $-51,07$ e altitude 15,00m. De acordo com a NBR 15.220 (ABNT, 2005), está inserida na ZB 8. Segundo a classificação de Köppen-Geiger, Macapá se classifica como tropical (A) de monção (m) – Am (ALVARES et al., 2013). A cidade apresenta 29% de desconforto ao longo do ano, em sua maioria por calor, considerando o modelo adaptativo para 80% de aceitabilidade.

2.3 Método de análise

A possibilidade de utilizar o ar externo para a renovação interna do ar depende da poluição do ar externo no local de implantação do edifício. Na figura 2 nota-se que as concentrações de PM 2,5 são baixas no Brasil, não ultrapassando 20 µg o que é considerada como um Índice de qualidade do ar (Air Quality Index – AQI) moderado (Quadro 1).

Figura 2 - Poluição do ar atmosférico no mundo e no Brasil em 2017



Fonte: ("Combating An Invisible Killer: New WHO Air Pollution Guidelines Recommend Sharply Lower Limits", 2021)

Quadro 1 - Escala de poluição do ar atmosférico – WHO

Baixa poluição 0-20	O ar é límpido e os níveis de poluição estão abaixo dos limites de exposição para um ano de exposição à poluição.
Poluição moderada 21-50	A qualidade do ar é considerada aceitável, embora acima do limite recomendado por um ano. Indica que somente terá efeitos adversos à saúde se essa condição se manter durante um ano inteiro.
Alta poluição 51-100	O ar está altamente poluído, acima das recomendações de exposição de 24 horas. Todos podem começar a sentir efeitos adversos à saúde, e aqueles com sensibilidade devem ter cuidado ao realizar atividades ao ar livre.
Poluição muito elevada >100	Todos podem começar a sentir efeitos mais graves para a saúde nesses níveis, e a exposição a longo prazo constitui um risco real para a saúde. Os níveis excederam o limite de exposição recomendado por uma hora. Em níveis mais altos de poluição acima de 200 ou até 300, os avisos constituem condições de emergência. Pode haver impactos prejudiciais para o público em geral, mesmo no caso de exposição de curta duração. Todos os indivíduos devem evitar atividades físicas até que a poluição diminua, independentemente das sensibilidades.

Fonte: Plume Labs (2021) com base nas recomendações da WHO

Levantou-se dados da poluição atmosférica nas cidades analisadas com o objetivo de ter um parâmetro dos níveis de qualidade do ar atmosférico. Entretanto somente na cidade de Macapá-AP foi possível encontrar um sensor físico (CONTRIBUIDORES DO OPENSTREETMAP, 2021) com medições de PM 2,5. Dada esta limitação, para Brasília, Florianópolis e também Macapá, adotou-se os dados monitorados pelo Copernicus Atmosphere Monitoring Service

(CAMS) por satélite e modificado pela página na web Plume Labs (2021). Desta forma é possível realizar uma avaliação com mais poluentes: PM2.5, PM10, NO2 e O3.

A classificação das cidades foi feita com base no site Plume Labs (2021), de acordo com as recomendações da WHO (Quadro 1). Para a cidade de Macapá foi realizada uma classificação de acordo com a taxa de poluição de acordo com PM 2,5, na qual o índice utilizado para calcular a qualidade do ar foi da United States Environmental Protection Agency - US EPA PM2.5 AQI, descrito pelo quadro 2. Foi adotada esta classificação pois a plataforma Purple air (2021) apresenta esta métrica para avaliação. Além disso, a agência americana especifica quando a qualidade do ar atmosférico está favorável à atividade física externa em escolas. Nesta pesquisa, esse indicador foi considerado como favorável ao uso do ar externo para renovação do ar dentro das salas de aula.

Quadro 2- Escala de poluição do ar atmosférico – US EPA (continua)

	PM2.5 [24-hour] µg/m ³	Influência nos seres humanos	Atividades escolares ao ar livre
Bom 0-50	0 – 12.0	A qualidade do ar é satisfatória e a poluição do ar apresenta pouco ou nenhum risco com 24 horas de exposição.	Favorável à atividade física externa
Moderado 51-100	12.1 – 35.4	A qualidade do ar é aceitável. No entanto, pode haver um risco para algumas pessoas com 24 horas de exposição, especialmente aquelas que são excepcionalmente sensíveis à poluição do ar.	Estudantes que são excepcionalmente sensíveis à poluição podem desenvolver sintomas
Insalubre para grupos sensíveis 101-150	35.5 – 55.4	Membros de grupos sensíveis podem experimentar efeitos na saúde com 24 horas de exposição. O público em geral tem menos probabilidade de ser afetado.	É possível realizar atividades ao ar livre curtas. Evitando atividades mais longas, como a prática de esportes, faça mais pausas e atividades menos intensas.
Insalubre 151-200	55.5 – 150.4	Alguns membros do público em geral podem experimentar efeitos na saúde com 24 horas de exposição; membros de grupos sensíveis podem experimentar efeitos mais graves para a saúde.	Para todas as atividades ao ar livre, faça mais pausas e atividades menos intensas, com curto prazo de duração
Muito prejudicial à saúde 201-300	150.5 – 250.4	Alerta de saúde: O risco de efeitos para a saúde aumenta para todos com 24 horas de exposição.	Não é aconselhado atividades ao ar livre
Perigoso >301	250.5 – 500.4	Alerta de saúde para condições de emergência: todos têm maior probabilidade de serem afetados com 24 horas de exposição.	

Fonte: (US EPA, 2014, 2015, 2018)

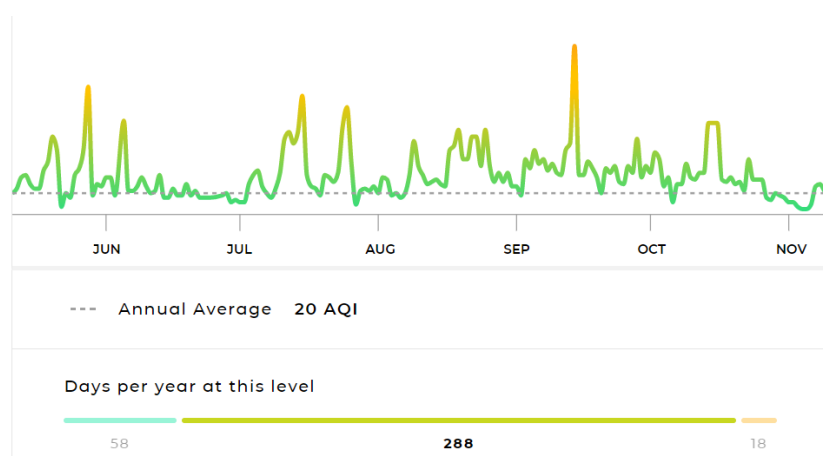
3 RESULTADOS

Apresentam-se os resultados para Florianópolis, Brasília e Macapá respectivamente.

Florianópolis – SC

Para Florianópolis, analisando o período de um ano, a média de AQI é igual a 20, como mostra a figura 3, indicando uma boa qualidade do ar. Em 346 dias do ano se mantém níveis bons de AQI e assim um potencial para renovação do ar interno a partir do ar externo como visto no quadro 1. Em 18 dias do ano é possível encontrar altas concentrações de poluentes.

Figura 3 - AQI da cidade de Florianópolis

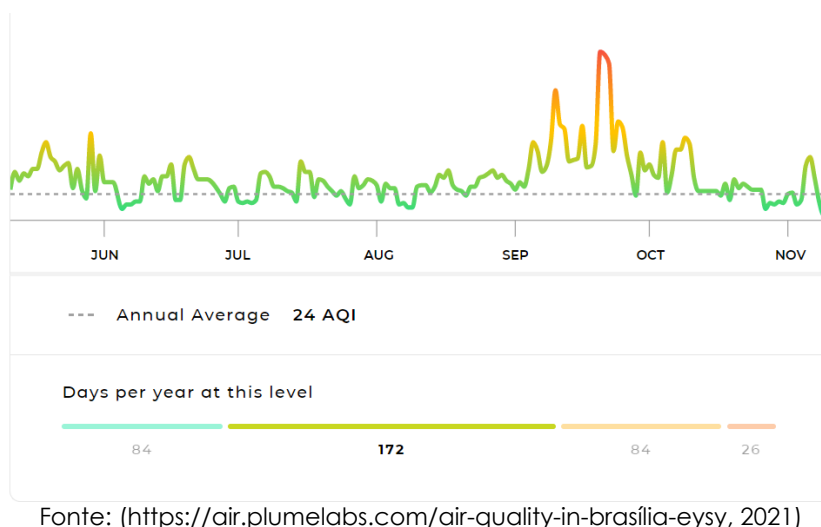


Fonte: (<https://air.plumelabs.com/air-quality-in-florianópolis-ewwf>, 2021)

Brasília – DF

Analisando o período de um ano em Brasília, a média de AQI é de 24 como mostra a figura 4, indicando uma qualidade do ar média moderada, de acordo com o quadro 1, representado por 172 dias do ano no total. Essa condição só irá influenciar negativamente se ela se manter durante todo o ano, o que não ocorre. Em 84 dias do ano a qualidade do ar atmosférico é considerada boa e assim, é possível somar um total de 256 dias com um potencial para uso do ar externo para renovação do ar dos ambientes internos como visto no quadro 1. Em 84 dias é possível indicar valores de alta poluição, e 26 dias de poluição muito elevada, nesses casos, é necessária uma avaliação para suspensão das aulas nesses dias específicos ou alguma medida para amenizar a entrada de ar externo poluído.

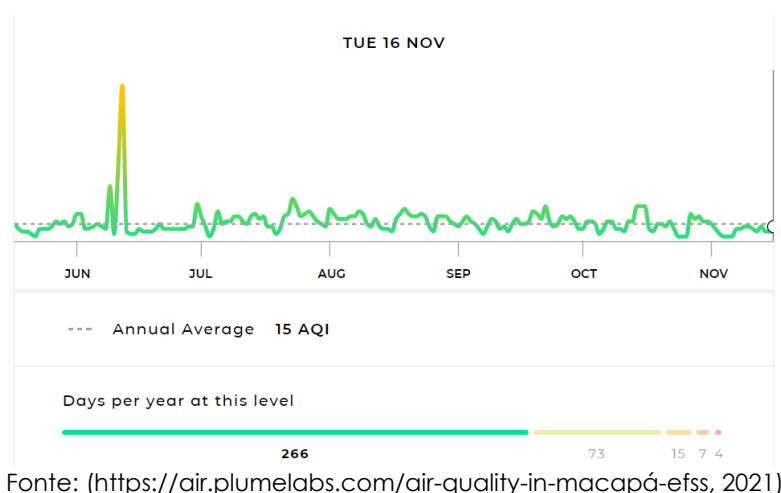
Figura 4 - AQI da cidade de Brasília



Macapá – AP

A cidade de Macapá apresentou os melhores resultados ao analisar o período de um ano, no qual a média ficaria em 15 AQI como mostra a figura 5, indicando uma boa qualidade do ar média de acordo com o quadro 1. Ainda com base neste quadro, em 266 dias do ano se mantém níveis bons de AQI e assim um potencial para uso do ar externo para os ambientes internos. Valores de poluição moderada podem ser vistos, em apenas 73 dias do ano, não representando parcela significativa do ano considerando que essa condição só poderá influenciar negativamente se ela se manter durante todo o ano. É possível destacar 15 dias de poluição alta, 11 de poluição muito elevada.

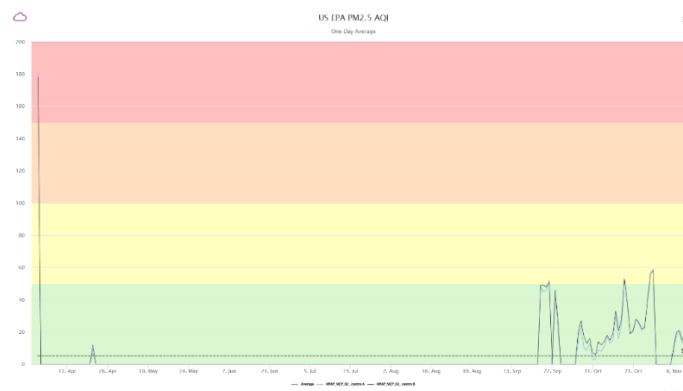
Figura 5 - AQI da cidade de Macapá - Satélite



Ao avaliar as medições do sensor físico de uma estação de avaliação da qualidade do ar localizada no centro da cidade de Macapá (Figura 6), foi possível perceber valores incompatíveis. As medições indicam baixas concentrações material particulado (PM2.5) sendo a média de 5.2 no período

de 1º de abril a 11 de novembro, se mantendo na maior parte do período nos níveis de concentração considerados como bons (Quadro 2), ultrapassando em poucos dias para a concentração considerada moderada (CONTRIBUIDORES DO OPENSTREETMAP, 2021). Isto pode indicar que pode haver uma variação e maior concentração dos outros poluentes analisados pelo satélite da CAMS, o que não é detectado pelo medidor físico de Macapá ou que realmente há uma falha na coleta de dados de um dos meios.

Figura 6 - AQI da cidade de Macapá – Medidor físico



3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com base nos dados explicitados, foi elaborado o quadro 3, contendo as características climáticas das três cidades e a média de poluição do ar.

Quadro 3 – Resumo dos fatores externos.

	Florianópolis-SC	Brasília-DF	Macapá-AP
Horas em desconforto	Frio - 51%	Frio - 59%	Calor - 29%
Média da poluição do ar atmosférico (Satélite)	Baixa poluição 20 AQI	Poluição moderada 24 AQI	Baixa poluição 15 AQI
Sensor PM 2,5			Nível Bom 5,2 AQI

* Subtropical úmido (C) clima oceânico, sem estação seca (f) com verão temperado

** tropical (A) de savana (w)

***tropical (A) de monção (m)

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

De acordo com os arquivos climáticos as cidades de Brasília e Florianópolis possuem mais de 50% das horas em desconforto, em sua maioria por frio, o uso da ventilação através do ar externo nesses períodos representaria expor os usuários a um clima externo desfavorável a realização das atividades, ao considerar que a ventilação irá retirar calor do ambiente interno. O que também pode ser desfavorável para Macapá, que possui 29% de horas de desconforto por calor, devido a probabilidade da temperatura do ar externo

estar mais elevada, que a temperatura do ar dos ambientes internos nesses períodos.

A partir da caracterização da poluição do ar atmosférico, é estabelecido para esta pesquisa que o ar exterior é considerado aceitável para uso como renovação do ar interno, por apresentar valores médios e na maior parte do ano em níveis aceitáveis. Nos casos de poluição moderada ou elevada, é necessária alguma medida para evitar o ar externo poluído.

4 CONCLUSÃO

Ao considerar o fator qualidade externa do ar, tem-se a construção de características que direcionam para o não uso contínuo da ventilação, nas cidades de Florianópolis, Brasília e Macapá, devido horários sem um nível de qualidade do ar externo aceitável. Aponta-se como solução: o uso de ventilação artificial associada a filtros para purificação do ar externo, quando a qualidade do ar externo indicar níveis elevados.

Em análises futuras pretende-se avaliar ambientes internos através de simulação computacional para avaliar o consumo energético na adoção da ventilação mecânica.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR15220-3-2005: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, p. 1–23, 2005.

ABNT. NBR 16401-3: Instalações de ar-condicionado — Sistemas centrais e unitários Parte 3: Qualidade do ar interior. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, p. 8, 2008.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ASHRAE. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). Standard 55. Thermal environmental conditions for human occupancy. **ANSI/ASHRAE Standard - 55**, v. 7, p. 6, 2017.

AVIV, D. et al. A fresh (air) look at ventilation for COVID-19: Estimating the global energy savings potential of coupling natural ventilation with novel radiant cooling strategies. **Applied Energy**, v. 292, n. February, p. 116848, 2021.

BAKÓ-BIRÓ, Z. et al. **Ventilation rates in schools and pupils' performance**. Proceedings of Clima. **Anais...2007**

BRAGA, A. et al. Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, v. 0, n. 51, p. 58, 2001.

Combatting An Invisible Killer: New WHO Air Pollution Guidelines Recommend Sharply Lower Limits. Disponível em: <https://givingcompass.org/article/combattling-an-invisible-killer-new-who-air-pollution-guidelines-recommend-sharply-lower-limits/?gclid=CjwKCAiA7dKMBhBCEiwAO_crFABVJF5LCz9mm9p75Ch7KGmwOlrypUJKWNELyCrzXoxuJq9MOXT-RxoCqM0QAvD_BwE>. Acesso em: 19 nov. 2021.

CONTRIBUIDORES DO OPENSTREETMAP. **US EPA PM2.5 AQI**. Disponível em:

CONBRAVA 2023 – São Paulo Expo, 13 à 15 de setembro de 2023 - São Paulo, Brasil

<<https://map.purpleair.com/1/a/lb/mAQI/a1440/p2592000/cC0?select=102456#12.51/0.01739/-51.07427>>. Acesso em: 12 nov. 2021.

[HTTPS://AIR.PLUMELABS.COM/AIR-QUALITY-IN-BRASÍLIA-EYSY](https://air.plumelabs.com/air-quality-in-Brasília-eySY). **Qualidade do ar em Brasília**. Disponível em: <<https://air.plumelabs.com/air-quality-in-Brasília-eySY>>. Acesso em: 15 nov. 2021.

[HTTPS://AIR.PLUMELABS.COM/AIR-QUALITY-IN-FLORIANÓPOLIS-EWWF](https://air.plumelabs.com/air-quality-in-Florianópolis-ewWF). **Qualidade do ar em Florianópolis**. Disponível em: <<https://air.plumelabs.com/air-quality-in-Florianópolis-ewWF>>. Acesso em: 15 nov. 2021.

[HTTPS://AIR.PLUMELABS.COM/AIR-QUALITY-IN-MACAPÁ-EFSS](https://air.plumelabs.com/air-quality-in-Macapá-efSS). **Qualidade do ar em Macapá**. Disponível em: <<https://air.plumelabs.com/air-quality-in-Macapá-efSS>>. Acesso em: 15 nov. 2021.

OLIVEIRA, C. C. DE; RUPP, R. F.; GHISI, E. Influence of environmental variables on thermal comfort and air quality perception in office buildings in the humid subtropical climate zone of Brazil. **Energy and Buildings**, v. 243, p. 110982, 2021.

PASSARELLI, G. R. Sick building syndrome: An overview to raise awareness. **Journal of Building Appraisal**, v. 5, n. 1, p. 55–66, 2009.

PENG, Z.; DENG, W.; TENORIO, R. Investigation of indoor air quality and the identification of influential factors at primary schools in the north of China. **Sustainability (Switzerland)**, v. 9, n. 7, 2017.

Plume Labs. Disponível em: <<https://plumelabs.com/en/>>.

Purple air. 2021.

ROMERO, M. A. B. Principios bioclimaticos para o desenho urbano. 2001.

US EPA. Air Quality and Outdoor Activity Guidance for Schools Air Quality Index Outdoor Activity Guidance. 2014.

US EPA. Air Quality Guide for Particle Pollution. p. 1–2, 2015.

US EPA. Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI). **Environmental Protection**, p. 22, 2018.

YU, S.; HE, L.; FENG, G. The Transient Simulation of Carbon Dioxide Emission from Human Body Based on CONTAM. **Procedia Engineering**, v. 121, p. 1613–1619, 2015.