

QUALIDADE DO AR INTERIOR E CONTRIBUIÇÃO NO COMBATE À PANDEMIA DE COVID-19

INDOOR AIR QUALITY AND CONTRIBUTION TO THE FIGHT AGAINST THE COVID-19 PANDEMIC

CALIDAD DEL AIRE INTERIOR Y CONTRIBUCIÓN A LA LUCHA CONTRA LA PANDEMIA DEL COVID-19

Danielle Lima Lopes ¹, Antonio Gabriel Souza Almeida ¹

¹Departamento Acadêmico de Tecnologia Mecânica, Instituto Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil

*Correspondência: Campus Salvador, Instituto Federal da Bahia, Rua Emídio dos Santos, s/n, Barbalho, Salvador, Bahia, Brasil. CEP:40.301-015. e-mail gabrielalmeida@ifba.edu.br.

Artigo recebido em 03/02/2022 aprovado em 25/05/2022 publicado em 28/02/2023.

RESUMO

A qualidade do ar interior (QAI) é tema de saúde pública, tornando fundamental a identificação dos fatores que a influenciam e podem torná-la uma ameaça à saúde humana, favorecendo a propagação de patógenos e o desenvolvimento de doenças. A pandemia de COVID-19 tornou a discussão, a análise e as readaptações ambientais e de práticas ainda mais necessárias. Este artigo, por meio de uma revisão da literatura, objetivou identificar e sintetizar evidências das implicações da qualidade do ar interno para a saúde humana e da sua contribuição para o controle de contaminantes, facilitando assim a compreensão e consequentemente contribuindo para a tomada de decisões no controle da disseminação viral no combate à pandemia de COVID-19. Nesta revisão utilizou-se as bases de dados MEDLINE, LILACS, SciELO, SCIENCE DIRECT, PUBMED E GOOGLE SCHOLAR, além de Resoluções e Portarias Ministeriais Nacionais, Normas e Diretrizes internacionais. No geral, a literatura evidencia que a QAI impacta diretamente na saúde humana, com efeitos a curto e longo prazo. Além disso, os estudos mostraram que a disseminação viral é ainda maior em ambientes fechados, lotados e com ventilação inadequada. Dessa forma, evidencia-se a importância do aprimoramento dos estudos e da implementação de uma gestão integrada e multissistêmica.

Palavras-chave: “Qualidade do ar interno”, “COVID-19” e “ar condicionado”

ABSTRACT

Indoor air quality (IAQ) is a public health issue, making it essential to identify the factors that influence and can become a threat to human health, favoring the spread of pathogens and the development of diseases. The COVID-19 pandemic made the discussion, analysis and re-adaptations of environmental and practices even more necessary. This article, through a literature review, aimed to identify and synthesize evidence of the implications of indoor air quality for human health and its contribution to the control of contaminants, thus facilitating understanding and consequently contributing to decision-

making in the control of viral spread in the fight against the COVID-19 pandemic. In this review, the MEDLINE, LILACS, SciELO, SCIENCE DIRECT, PUBMED and GOOGLE SCHOLAR databases were used, in addition to National Ministerial Resolutions and Ordinances, International Standards and Guidelines. Overall, the literature shows that IAQ directly impacts human health, with short and long-term effects. Furthermore, studies have shown that viral spread is even greater in closed, crowded environments with inadequate ventilation. Thus, the importance of improving studies and implementing an integrated and multisystemic management is highlighted.

Keywords: “Indoor air quality”, “COVID-19” and “air conditioning”

RESUMEN

La calidad del aire interior (IAQ) es un problema de salud pública, por lo que es fundamental identificar los factores que influyen en ella y pueden convertirla en una amenaza para la salud humana, favoreciendo la propagación de patógenos y el desarrollo de enfermedades. La pandemia de COVID-19 hizo aún más necesaria la discusión, el análisis y las readaptaciones de las prácticas ambientales. Este artículo, a través de una revisión de la literatura, tuvo como objetivo identificar y sintetizar evidencia de las implicaciones de la calidad del aire interior para la salud humana y su contribución al control de contaminantes, facilitando así la comprensión y consecuentemente contribuyendo a la toma de decisiones en el control de la propagación viral la lucha contra la pandemia de COVID-19. En esta revisión se utilizaron las bases de datos MEDLINE, LILACS, SciELO, SCIENCE DIRECT, PUBMED y GOOGLE SCHOLAR, además de Resoluciones y Ordenanzas Ministeriales Nacionales, Normas y Directrices Internacionales. En general, la literatura muestra que IAQ impacta directamente en la salud humana, con efectos a corto y largo plazo. Además, los estudios han demostrado que la propagación viral es aún mayor en entornos cerrados y abarrotados con ventilación inadecuada. Así, se destaca la importancia de mejorar los estudios e implementar una gestión integrada y multisistémica.

Descriptores: "Calidad del aire interior", "COVID-19" y "aire acondicionado"

INTRODUÇÃO

A qualidade do ar interno (QAI), tornou-se tema de saúde pública após a descoberta da associação de reduzidas taxas de troca de ar no ambiente com o aumento na concentração de poluentes químicos e biológicos no ar (FERREIRA e CARDOSO, 2013). A maior notoriedade desse assunto se deu a partir da década de 70, com a frequente construção de edifícios cada vez mais vedados, que permitiam uma otimização dos mecanismos de refrigeração e aquecimento por meio da recirculação do ar interno. No entanto, a estratégia desenvolvida para a conservação de energia associada à presença de substâncias químicas voláteis contidas em materiais de forração, acabamento e mobiliário, trouxe consigo o acúmulo de poluentes a níveis elevados e prejudiciais à saúde (DA COSTA et al., 2019; GAWANDE et al., 2020).

Esse modelo de edificação fez surgir uma doença denominada, em 1962 pela Organização Mundial da Saúde (OMS), como Síndrome do Edifício Doente (SED) caracterizada por sinais e sintomas respiratórios, cutâneos e de alteração dos sentidos, tais como dor de cabeça, fadiga, falta de concentração

e irritação da pele e mucosas (OMS, 1999; GAWANDE *et al.*, 2020). Estudos demonstraram que, em ambientes internos, podem haver concentrações de poluentes muito superiores ao ambiente externo (EPA, 2008; JURADO *et al.*, 2020). E, com o estilo de vida urbana, estima-se que grande parte da população das grandes cidades passa cerca de 90% do seu tempo em ambientes fechados (SILVA *et al.*, 2013), sejam eles escolas, escritório, residências, hospitais, shoppings centers ou outros edifícios, tornando a qualidade do ar de interiores um assunto de extrema importância mundial.

Os ambientes internos possuem uma composição do ar altamente complexa, em virtude da presença dos fatores determinantes da qualidade do ar interno, sejam eles componentes químicos, biológicos e condições físicas como umidade relativa, temperatura e ventilação, que interagem entre si (ASHRAE, 1997). Embora haja um crescente aumento do interesse da comunidade científica para a investigação da exposição a agentes biológicos em ambientes internos, estes se limitam bastante à abordagem de fungos e bactérias, tornando a análise da presença de aerossóis virais e sua correlação com a saúde humana ainda incipientes (JURADO *et al.*, 2020).

O fluxo de movimento do vírus quando expelido no ambiente interno é complexo e depende de fatores como mecanismo e velocidade de ejeção das gotículas, concentração de vírus nas secreções respiratórias, além de fatores ambientais como temperatura, umidade, ventilação, aquecimento e sistemas de ventilação (WEI e LI, 2016). A ventilação e o condicionamento do ar são consideradas estratégias primárias no controle de doenças infecciosas em hospitais e outras instalações, porque trata-se de uma combinação de processos (SILVA e NAVARRO, 2013) que promove a diluição do ar ambiente favorecendo a remoção dos agentes infecciosos existentes (ASHRAE, 2014). A operação e manutenção inadequadas do sistema de ventilação passam a ser reconhecidamente fatores que influenciam a transmissão e propagação de poluentes e patógenos pelo ar (QIAN e ZHENG, 2018; SHAJAHAN *et al.*, 2019).

Atualmente, o mundo vem passando pela pandemia de COVID-19 e a célere propagação do vírus, assim como a diversidade de respostas orgânicas para a infecção, tem sido as principais características desse surto (SHIU *et al.*, 2019; HAN *et al.*, 2020). A transmissão de SARS-CoV-2 entre indivíduos é multifatorial e envolve tanto condições ambientais internas quanto o comportamento humano (LIU *et al.*, 2020; ONG *et al.*, 2020; WEST *et al.*, 2020). Como os vírus são causa comum de doenças infecciosas pela fácil transmissão, especialmente em ambientes lotados e mal ventilados (JURADO *et al.*, 2020), o compartilhamento de espaços internos tornou-se um grande risco de infecção por SARS-CoV-2, exigindo adequação das condições ambientais internas visando o bem-estar e a saúde dos ocupantes (AZUMA *et al.*, 2020).

Assim, dada a importância da problemática da qualidade do ar interior como uma questão de saúde pública e diante do contexto da pandemia de COVID-19, este artigo teve como objetivo identificar

e sintetizar evidências das implicações da qualidade do ar interno para a saúde humana e da sua contribuição para o controle de contaminantes, facilitando assim a compreensão dessa questão emergente e conseqüentemente contribuindo para a tomada de decisões no controle da disseminação viral no combate à pandemia do COVID-19.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo se trata de uma revisão da literatura abordando o tema “Qualidade do ar interior”. Foi realizada a coleta de dados no período compreendido entre janeiro e abril de 2021 e, em virtude do alcance multidisciplinar e da especificidade do tema, foram exploradas as publicações científicas contidas nas bases de dados MEDLINE, LILACS, SciELO, SCIENCE DIRECT, PUBMED E GOOGLE SCHOLAR, além de Resoluções e Portarias Ministeriais Nacionais, Normas e Diretrizes internacionais. E para a seleção dos artigos, em cada base de dados, foram utilizadas as combinações dos seguintes termos: qualidade do ar interno, saúde humana, COVID-19, ar condicionado.

Foram utilizados como critérios de inclusão, artigos científicos publicados, completos e disponíveis para *download*, que tinham como fenômeno de interesse central impactos e contribuição da qualidade do ar interno na saúde humana, com limitação temporal o período de 2011 a 2021. Para a inclusão das normas e diretrizes nacionais e internacionais, não foi utilizada a limitação temporal, apenas a sua importância para a contextualização do tema. Foram excluídos estudos que abrangiam qualidade do ar com foco no ambiente externo, por não se relacionar com o objetivo proposto, além de artigos repetidos, não disponíveis e em idiomas diferentes do inglês, português e espanhol.

O processo de escolha foi subdividido em quatro etapas: Identificação, Triagem, Elegibilidade e Inclusão. Na etapa de identificação, foram quantificados todos os trabalhos encontrados através da pesquisa nas bases de dados citadas. Na etapa de triagem, foram excluídos trabalhos duplicados e que não apresentavam correlação com a temática abordada, não atendendo aos critérios de inclusão estabelecidos. No processo de elegibilidade realizou-se a leitura integral dos estudos, aprovando-os e considerando elegíveis aqueles que atendiam a todos os critérios de qualidade.

Posteriormente, na etapa de inclusão, os textos participantes dessa revisão foram agrupados para análise, considerando os enfoques priorizados em: qualidade do ar interior e a presença de contaminantes biológicos; qualidade do ar e a ocorrência de infecções; normas, diretrizes e aspectos legais sobre a QAI e contribuição da qualidade do ar interior na pandemia de COVID-19.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após aplicação dos critérios de exclusão e atendimento aos critérios de inclusão, foram selecionados e utilizados nesta revisão, 51 artigos e 18 normas e diretrizes que atendiam à temática.

Bioaerossóis e fatores ambientais que influenciam a qualidade do ar interior

A qualidade do ar interno (QAI) refere-se ao tipo e concentrações de contaminantes no ar interno que são conhecidos ou suspeitos de afetar o conforto, o bem-estar e a saúde, além de interferirem na aprendizagem e no desempenho das pessoas. A classe primária dos contaminantes incluem material particulado (biológicos, incluindo alérgenos e patógenos, e não-biológicos), gases orgânicos (por exemplo, compostos orgânicos voláteis e semivoláteis) e gases inorgânicos (por exemplo, monóxido de carbono, ozônio e óxidos de nitrogênio), além de fatores como os vapores de água e odores. As concentrações internas destes contaminantes são influenciadas pelas concentrações externas, ventilação, infiltração e emissões internas (ASHRAE, 2020).

Uma variável de influência relevante na qualidade do ar interior é a concentração de microrganismos em suspensão no ar, cuja classe é denominada de bioaerossóis (ROSA, *et al.*, 2016). Os bioaerossóis são um subconjunto de materiais particulados atmosféricos, originários de fontes biológicas naturais ou antrópicas e que podem conter fungos, bactérias, vírus, endotoxinas, pólenes, poeira e outros resíduos metabólicos (SHIRAIWA *et al.*, 2017; GHOSH *et al.*, 2015). Esses poluentes têm um impacto negativo no corpo humano e, objetivando proteger as pessoas de tais poluentes, a qualidade do ar interior surgiu e desenvolveu-se como um campo de pesquisa (ARGUNHAN e AVCI, 2018).

A QAI é significativamente afetada pela qualidade do ar externo, pela atividade humana e pelos materiais empregados na construção dos edifícios, móveis e equipamentos utilizados no ambiente (PENG *et al.*, 2017). As concentrações dos poluentes no ar interior são superiores aos observados no exterior, indicando, portanto, a importância das fontes de emissões internas (FERREIRA e CARDOSO, 2013). Assim, conhecer os mecanismos de propagação dos bioaerossóis virais contribui para o mapeamento das possíveis intervenções no intuito de prevenir infecções perigosas (KUDRYASHOVA *et al.*, 2021).

Na literatura, há registros de estudos que avaliam a propagação viral, dentre eles, do vírus sincicial respiratório (KULKARNI *et al.*, 2016), da MERS-CoV - Síndrome Respiratória do Oriente Médio Coronavírus (BUONANNO *et al.*, 2020) e do vírus influenza (YAN *et al.*, 2018; LINDSLEY *et al.*, 2015, NOTI *et al.*, 2013). Os Coronavírus têm sido implicados em surtos nosocomiais com a contaminação ambiental como via de transmissão, como é o caso do SARS-CoV-2, não estando, no entanto, definido o modo de transmissão pelo ar interior e a extensão dessa contaminação (ONG *et al.*, 2020). Assim, a possibilidade do vírus ser exalado no ambiente interno onde estejam pacientes infectados e a consequente possibilidade de propagação através do ar, torna real o risco de inalação desses vírus por pessoas que compartilham esses ambientes, resultando em infecções e doenças (YAN *et al.*, 2018; KULKARNI *et al.*, 2016; KIM *et al.*, 2016).

A principal fonte de vírus no ambiente interno é o próprio ser humano, com uma possibilidade substancial de que a fala normal possa transmitir vírus pelo ar em ambientes fechados e confinados (STADNYTSKYI *et al.*, 2020). A questão da disseminação viral é ainda mais aguda em ambientes fechados, lotados e com uma ventilação inadequada em relação à sua ocupação, conforme sugeriu Li *et al.* (2021), ao investigar provável transmissão de aerossol em restaurante mal ventilado. Os ambientes lotados, além de aumentarem as chances de contrair infecção, podem favorecer a propagação e a geração de novas cepas resistentes à antibióticos, podendo desencadear o surgimento de doenças mais graves e infecções intratáveis (OMOIGBERALE *et al.*, 2014). No estudo de Kudryashova *et al.* (2021), através de simulação utilizando um gerador de aerossol pulsado e um espaço modelo de configurações complexas, demonstrou-se que os aerossóis finos se propagam muito rapidamente no ar interno de ambientes fechados, mesmo em configurações complexas, representando um perigo para a saúde das pessoas.

Vuorinen *et al.* (2020) ressaltou a distância física e o tempo de exposição em locais fechados, como fatores relevantes na propagação do vírus nesses ambientes. Durante o simples ato de respirar, tanto gotículas finas quanto grandes são exaladas tornando maior o risco de infecção pela respiração, quanto maior a proximidade das pessoas (LI *et al.*, 2021). Enquanto as gotículas que são maiores, caem no solo ou em superfícies próximas, as menores permanecem suspensas no ar (OMOIGBERALE *et al.*, 2014). Para Kudryashova *et al.* (2021), quando uma carga de bioaerossóis é expelida por uma pessoa infectada num espaço interno, durante do ato de espirrar, falar ou tossir, a concentração dessas partículas perigosas só aumenta, mesmo com a manutenção de uma distância social, ao passo que em espaços externos haveria um rápido decréscimo da concentração do aerossol para níveis seguros (KUDRYASHOVA *et al.*, 2021). Já quanto ao tempo de permanência de uma partícula viral ativa, acredita-se que o vírus SARS-CoV-2 pode sobreviver, ser viável e infeccioso em aerossóis por aproximadamente três horas (VAN DOREMALEN *et al.*, 2020; MORAWSKA e CAO, 2020).

As condições termo-higrométricas são importantes para a garantia de ambientes saudáveis, tendo, a temperatura e a umidade, influência direta no conforto térmico e na emissão de poluentes químicos a partir das fontes de contaminação existentes (FERREIRA e CARDOSO, 2013). Assim, deve-se levar em consideração a influência de fatores ambientais como temperatura e umidade relativa na transmissão aérea de aerossóis virais (AHLAWAT *et al.*, 2020). No estudo de Noti *et al.* (2013) foi avaliado o papel da umidade relativa na transmissão por aerossol da gripe, utilizando uma sala de exame simulada e manequins simulando ação de tossir e respirar. Assim, as análises concluíram que uma baixa umidade relativa retém infecciosidade máxima e que a inativação do vírus em alta umidade relativa ocorre rapidamente após a tosse, sugerindo que a manutenção da umidade relativa interna em valores maiores que 40%, reduzirá significativamente a infectividade do vírus aerossolizado (NOTI *et al.*, 2013).

Ao analisar o SARS-CoV-2, estudos ainda indicam que a probabilidade de sua transmissão aérea é maior em ambientes internos secos (UR menor que 40%) do que em ambientes úmidos (UR mais de 90%) (AHLAWAT *et al.*, 2020, BIRYUKOV *et al.*, 2020).

Como, para a OMS (2014), o fluxo de ar é um dos fatores determinantes para o tamanho final do aerossol, para a distância percorrida e para o tempo de permanência em suspensão no ar das partículas, estudos encontraram resultados positivos nas avaliações das saídas de exaustão de ar, sugerindo que pequenas gotículas carregadas de vírus podem ser deslocadas pelos fluxos de ar e depositadas em equipamentos como orifícios de ventilação apontando, portanto, para uma transmissão aérea do vírus (ONG *et al.*, 2020; BIN *et al.*, 2016). Além disso, o vírus pode ser detectado em amostras de ar de quartos de pacientes, banheiros e corredores comuns (KIM *et al.*, 2016). A contaminação ambiental significativa por pacientes com SARS-CoV-2 por meio de gotículas respiratórias e eliminação de fezes sugere o ambiente como um meio potencial de transmissão e apoia a necessidade de adesão estrita à higiene ambiental e das mãos (ONG *et al.*, 2020). Dessa forma, o monitoramento da qualidade do ar interior é de extrema relevância para a saúde humana.

Impacto da qualidade do ar interior na saúde das pessoas

A poluição do ar de interiores é um dos principais riscos ambientais para a saúde pública, especialmente para um grupo de pessoas mais vulneráveis como crianças, idosos e pessoas com problemas imunológicos (FERREIRA e CARDOSO, 2013). O acúmulo desses poluentes no ar interno impacta negativamente na saúde humana, havendo recentes associações entre melhores condições de saúde e ambientes mais saudáveis (CHAN e LIU, 2018). A correlação da qualidade do ar interior e a saúde dos ocupantes de espaços internos, ratificada pelo surgimento da pandemia de COVID-19, reacende a importância da pesquisa sobre geração, evolução, propagação de bioaerossóis contendo partículas virais e seus efeitos adversos (BRITAIN *et al.*, 2020; KUDRYASHOVA *et al.*, 2021).

A exposição diária de uma pessoa à contaminação do ar é uma somatória da sua exposição a diversos ambientes ao longo do dia, e a exposição do indivíduo a cada microambiente é um produto da concentração dos contaminantes pelo tempo de permanência em cada ambiente (HERNÁNDEZ-FLÓREZ *et al.*, 2013). Assim, a deficiência na qualidade do ar interno, pode levar a efeitos na saúde a curto e a longo prazo (HERNÁNDEZ-FLÓREZ *et al.*, 2013; FERREIRA e CARDOSO, 2013). A exposição a uma QAI deficiente durante curtos períodos (horas) pode provocar incômodo, diminuição da atenção e diminuição da capacidade de aprendizagem. E, quando a exposição a poluentes do ar interior se dá de forma prolongada (dias e semanas), podem gerar problemas de saúde, como doenças respiratórias ou alérgicas (FERREIRA e CARDOSO, 2013).

A exposição a aerossóis por inalação no ambiente interno tem sido associada a vários efeitos adversos à saúde, principalmente nos pulmões e outros órgãos-alvo importantes como o coração e o cérebro. (MORAWSKA *et al.*, 2013). Uma pobre qualidade do ar interno pode levar a aumento de problemas respiratórios, tais como rinite alérgica, bronquite e asma e podem afetar o desempenho, a assiduidade, o conforto e a produtividade (FERREIRA e CARDOSO, 2013). Para Tran *et al.* (2020), a exposição a contaminantes biológicos em ambientes internos tem um papel fundamental tanto no desenvolvimento, quanto na exacerbação da asma brônquica. Os sintomas e doenças mais prevalentes em crianças expostas a ambientes escolares com uma inadequada qualidade do ar interno foram crises de espirros, falta de concentração, rinite alérgica, tosse, estertores/sibilos e asma (FERREIRA e CARDOSO, 2014). Crianças menores de 5 anos expostos à contaminação do ar por materiais particulados tem 1,7 vezes mais risco de ausentar-se da escola em decorrência de enfermidades respiratórias agudas (HERNÁNDEZ-FLÓREZ *et al.*, 2013).

Bakó-Biró *et al.* (2012) relacionaram os efeitos da ventilação da sala de aula no desempenho de alunos de 8 escolas primárias na Inglaterra. Foram realizadas intervenções, alterando a taxa de ventilação predominante de 1 l/s de ar por pessoa para cerca de 8 l/s por pessoa. Dessa forma, uma das conclusões deste estudo foi de que baixas taxas de ventilação nas salas de aula reduzem significativamente a atenção e vigilância dos alunos e afetam negativamente a memória e a concentração, comprometendo o ensino e a aprendizagem. Já Ferreira e Cardoso (2014) encontraram uma associação estatisticamente significativa entre a falta de concentração nas crianças e a exposição a níveis elevados de CO₂. No estudo de Peng *et al.* (2017) foi possível identificar correlação da QAI com a poluição do ar ambiente, defeitos de construção dos ambientes e com a atividade dos ocupantes. Ao investigar fatores ambientais, como temperatura interna e iluminação em comparação com testes neurocomportamentais para avaliação do desempenho de trabalhadores de escritório, foi possível determinar que a temperatura ambiental interna impactou 38,56% do desempenho do trabalhador (VIMALANATHAN e RAMESH BABU, 2014).

Chan e Liu (2018) chamam atenção no seu estudo, para o impacto do meio ambiente da vizinhança como fator chave que não pode ser negligenciado ao avaliar a saúde dos ocupantes e o ambiente interno. Esse estudo mostrou por meio de análise de correlação, modelagem de regressão e teste de Sobel, que a saúde dos ocupantes é significativamente afetada pela altura, densidade e limpeza dos edifícios do bairro, além de encontrar correlação entre o espaço verde da vizinhança do edifício com a QAI e, conseqüentemente, com a saúde dos ocupantes (CHAN e LIU, 2018). Desta forma, a qualidade do ar interno se mostra uma questão importante e diretamente relacionada à saúde, ao bem-estar, à produtividade e ao desempenho (GAWANDE *et al.*, 2020; PEKDOGAN *et al.*, 2021).

Legislação em qualidade do ar interior

Várias organizações internacionais em todo o mundo estabeleceram diretrizes, regras e fizeram surgir instrumentos legais e valores referenciais para a manutenção de uma QAI ideal em diversos ambientes. Atualmente, além da OMS, a American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) e a United States Environmental Protection Agency (US EPA), são as organizações mais reconhecidas na regulamentação da QAI. Diretrizes e regulamentações que definem os limites de exposição aos poluentes para a redução dos riscos à saúde como os propostos pela Occupational Safety and Health Association (OSHA) e os propostos pela American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) foram elaborados especificamente para ambientes ocupacionais, não sendo diretamente aplicáveis a ambientes não industriais (CARRER *et al.*, 2018).

Por outro lado, a OMS é uma das entidades mais importantes no que se refere à produção de relatórios e pareceres dos mais diversos temas relacionados à saúde da população em geral, e o vem fazendo desde 1987 (CARRER *et al.*, 2018). Em 2009 e em 2010 a OMS publicou, respectivamente, as diretrizes específicas “WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants”, para a QAI em relação a nove poluentes específicos, e o “WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould” onde resumia evidências científicas dos efeitos da umidade na saúde e as condições determinantes para a presença e controle dos microrganismos em ambientes internos (WHO, 2009; WHO 2010). A OMS defende que todo cidadão tem direito a uma boa QAI e que crescer e viver em ambientes saudáveis é um Direito Humano básico. Assim, diz-se que a OMS fornece a referência mais racional, coerente, cientificamente sólida e consistente para a saúde humana associada à exposição a poluentes (CARRER *et al.*, 2018).

A QAI teve também como marco de referência regulamentadora a posição da ASHRAE que reconheceu a existência da problemática da QAI e publicou a norma ASHRAE Standard 62 em 1973, identificada originalmente como “Standard for Natural and Mechanical Ventilation”. (ASHRAE, 2019a). Hoje, as edições revisadas de 2019, denominadas “Standard 62.1 – 2019: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality” e “Standard 62.2 – 2019: Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings” especificam as taxas mínimas de ventilação e outras medidas para o fornecimento de qualidade do ar interno aceitável para o ser humano e que minimize os efeitos adversos à saúde em edifícios novos e existentes (ASHRAE, 2019a; ASHRAE, 2019b). A QAI tem sido um problema crítico para a ASHRAE em virtude da conexão desta com a ventilação e com outros sistemas HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning), no entanto, é notório o esforço para a abordagem de todos os aspectos da QAI por meio de documentos, posicionamentos, padrões, diretrizes, dentre outros esforços.

No Brasil, ressalta-se o papel do Ministério da Saúde, bem como as normas regulamentadoras da qualidade do ar interior, em especial as estabelecidas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária

(ANVISA). Dessa forma, a qualidade do ar de interiores no Brasil, começou a ser regulamentada a partir da publicação feita pelo Ministério da Saúde, por intermédio da ANVISA, em 28 de agosto de 1998, da Portaria de nº 3.523 (BRASIL, 1998). Considerando a preocupação mundial com a Qualidade do Ar de Interiores em ambientes climatizados e a ampla e crescente utilização de sistemas de ar condicionado no país, em função das condições climáticas, esta portaria instituiu a obrigatoriedade da implantação, disponibilização e aplicação do Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC) por um responsável técnico habilitado, em ambientes com sistema de climatização com capacidade acima de 5 TR (15.000 kcal/h = 60.000 BTU/h). Assim, determinando-se a adoção de medidas básicas de verificação visual do estado de limpeza, remoção de sujidades e manutenção da integridade e eficiência de todos os componentes do sistema de climatização de ambientes (BRASIL, 1998). Em 24 de outubro de 2000, a ANVISA publicou a Resolução nº 176, que abordava as referências de QAI a serem seguidas em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo, sendo posteriormente revisada e atualizada após dois anos de vigência (BRASIL, 2000).

No Brasil há ainda a Resolução – RE nº 09 de 16 de janeiro de 2003, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA (BRASIL, 2003) que estabelece padrões referenciais de qualidade do ar de interiores, em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo, além de instrumentalizar as equipes de profissionais no planejamento, elaboração, análise e execução de projetos e ações de inspeção da qualidade do ar interior desses ambientes. Nesta resolução são elencados valores máximos recomendados (VMR), métodos de coleta e análise para parâmetros físicos de temperatura, umidade, velocidade, taxa de renovação e grau de pureza do ar, além de referências para a contaminação microbiológica, dióxido de carbono e aerodispersóides, mas sem a contemplação de parâmetros imprescindíveis como valores de compostos orgânicos voláteis e formaldeídos (BRASIL, 2003).

No caso de indicadores biológicos de qualidade do ar, a Resolução nº 09 da ANVISA, recomenda um valor máximo para amostragem ativa de 750 ufc/m³ (unidades formadoras de colônia por metro cúbico de ar) de fungos, para a relação I/E = 1,5, onde I é a quantidade de fungos no ambiente interior e E é a quantidade de fungos no ambiente exterior (BRASIL, 2003). Além disso, é determinado que em ambientes climatizados, a temperatura deve variar no verão entre 23°C e 26°C, e no inverno com variação entre 20°C e 22°C, com umidade variando de 40% a 65% e taxa de renovação mínima de 27m³/hora/pessoa, exceto no caso específico de ambientes com alta rotatividade de pessoas, quando é permitida uma taxa de renovação do ar mínima de 17 m³/hora/pessoa. Preconiza-se ainda, períodos para a higienização dos componentes do sistema de climatização (BRASIL, 2003).

As normas técnicas ABNT NBR 14.644-3: Salas Limpas e Ambientes Controlados – Métodos de Ensaio e ABNT NBR 15.848: Sistema de Ar Condicionado e Ventilação, especificam os métodos de ensaio de limpeza do ar para partículas em suspensão e estimulam procedimentos e requisitos relativos

às atividades de operação e manutenção para melhoria da higiene das instalações de ar condicionado e ventilação e conseqüentemente contribuindo para a QAI (ABNT, 2009; ABNT, 2010). Vale ressaltar também, a existência da ABNT NBR 16401: 2008 sob o título geral de “Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários”, que cancela e substitui a ABNT NBR 6401: 1980 e, aborda na sua parte 3 a Qualidade do ar interior. Esta parte da norma especifica os parâmetros básicos e os requisitos mínimos para sistemas de ar-condicionado, visando à obtenção de qualidade aceitável e ar interior para conforto, definindo assim vazões mínimas de ar exterior para ventilação, níveis mínimos de filtragem do ar e requisitos técnicos dos sistemas e componentes relativos à QAI (ABNT, 2008).

A Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA) publicou a Resolução Normativa - RN 02, em 2003, em substituição à RENABRAVA II e estabelecendo diretrizes de projeto, operação e manutenção para obtenção de ar interior de qualidade aceitável em locais providos de sistemas de condicionamento de ar e ventilação de conforto (ABRAVA, 2003).

No entanto, desde a última atualização dessas normas brasileiras, muitos aspectos referentes ao tema da qualidade do ar interior foram desenvolvidos, tornando-se essencial uma nova revisão das legislações existentes. Salienta-se que diversos estudos estão sendo utilizados para avaliação e determinação do efeito de outros poluentes na saúde e no ambiente, bem como para a determinação da qualidade do ar em ambientes não climatizados artificialmente, visto que esses aspectos não são abordados pela legislação vigente. Outro fator essencial e decisivo é a fiscalização do cumprimento das regulamentações vigentes. No entanto, a qualificação de profissionais técnicos para a realização de fiscalização da qualidade do ar interior, bem com a estrutura organizacional dos órgãos oficiais ainda são incipientes. Apenas em 2017 foi realizada a assinatura de um termo de cooperação técnica entre a ABRAVA e a ANVISA para a capacitação de servidores das Coordenações de Vigilância Sanitária de portos, aeroportos, fronteiras e recintos alfandegados quanto aos conceitos básicos, instalação e manutenção dos sistemas de climatização, qualidade do ar interno, normas e legislações, bem como a inspeção técnica *in loco* (BRASIL, 2018).

Contribuição da QAI no combate à pandemia de COVID-19 e recomendações quanto ao uso de condicionadores de ar

Há uma grande preocupação com a possibilidade de transmissão pelo ar de vários patógenos, especialmente o SARS-CoV-2, entre funcionários em instalações de saúde, trabalhadores em ambientes de escritório, funcionários e clientes em estabelecimentos de varejo, trabalhadores na indústria, residentes em instalações particulares e públicas, em ambientes ao ar livre e em transportes públicos (ASHRAE, 2020). Uma das principais discussões durante a pandemia foi quanto à possibilidade de

transmissão aérea do SARS-CoV-2 em ambientes internos e necessidade de adaptações das práticas já existentes (MORAWSKA e CAO, 2020).

Em três estudos não foi detectado o vírus SARS-CoV-2 no ar, não evidenciando sua transmissão aérea (FARIDI *et al.*, 2020; KIM *et al.*, 2020; MASOUMBEIGI *et al.*, 2020). No entanto, houve detecção positiva do vírus nas amostras de ar interno de outros estudos, sugerindo assim a transmissão aérea do vírus (SANTARPIA *et al.*, 2020a; SANTARPIA *et al.*, 2020b; LIU *et al.*, 2020; ORENES-PIÑERO *et al.*, 2020; STADNYTSKYI *et al.*, 2020; KENARKOOHI *et al.*, 2020; CHIA *et al.*, 2020; RAZZINI *et al.*, 2020; GUO *et al.*, 2020). Outros estudos utilizaram métodos de simulação computacionais para avaliar a possibilidade de aerotransporte viral e os parâmetros que influenciam essa ocorrência, visando mitigar a propagação viral em ambientes internos em situações como essa da pandemia de COVID-19 (WANG e YONEDA, 2020; BUONANNO *et al.*, 2020; VUORINEN *et al.*, 2020).

Embora o monitoramento da qualidade do ar interior venha ganhando cada vez mais atenção nas pesquisas atuais, poucos estudos apresentam o desenvolvimento de técnicas para minimizar os efeitos da poluição do ar interior (ROSA *et al.*, 2016). Como a QAI sofre uma influência significativa de fatores como a ventilação inadequada, a falta de filtração de ar e a recirculação do ar em espaços internos, a melhora dos parâmetros de qualidade do ar e a limitação da propagação viral é a primeira estratégia e se dá com o controle da fonte emissora de contaminantes, tanto no ambiente interno quanto externo (CARRER *et al.*, 2018; ASHRAE, 2020b). Posteriormente, a abordagem deve ser através do sistema de ventilação e, como terceira estratégia, deve ser promovida uma limpeza do ar interno por meio de filtração e purificação do ar (ASHRAE, 2020b; BRITAIN *et al.*, 2020; LI *et al.*, 2020; KUMAR e MORAWSKA, 2019; LIU *et al.*, 2020; VAN DOREMALEN *et al.*, 2020).

A adequação da ventilação do ambiente, da filtragem do ar, a regulação da umidade e o controle da temperatura são estratégias-chave que podem ser combinadas para melhorar a qualidade do ar interno e proteger os ocupantes de doenças transmitidas pelo ar (BRITAIN *et al.*, 2020). A ABRAVA não recomenda o uso de ventiladores mecânicos de teto ou de parede que objetive o conforto térmico pois, ao promover a mistura do ar interno contaminado, favorece a proliferação do agente biológico (ABRAVA, 2020).

Assim, ventilar adequadamente os espaços com ar externo limpo e minimizar a recirculação dentro de um edifício são formas fundamentais para reduzir o acúmulo de poluentes, adequar a umidade do ar interno e conseqüentemente diminuir a propagação de vírus transportados pelo ar (KUMAR e MORAWSKA, 2019). A pesquisa de Smieszek *et al.* (2019) sugere que para vírus como o da gripe, uma taxa de troca de volume de ar de 3 mudanças por hora, com ar externo limpo, corresponde à 50-60% da vacinação de determinada população.

Acredita-se que ambientes climatizados por sistemas mecânicos de ar condicionado oferecem melhor qualidade do ar interior aos usuários, visto que espaços não condicionados podem causar estresse térmico às pessoas, e conseqüentemente reduzir a resistência a infecções, representando uma ameaça direta à vida (ASHRAE, 2020). Já para Kudryashova *et al.* (2021), a ventilação e a utilização de condicionadores de ar apenas elevarão a taxa de deslocamento, a propagação e o alcance das partículas, visto que acreditam que as partículas se espalham em função do processo de difusão, consequência da intensidade do fluxo de ar, e não em função da velocidade de ejeção. Corroborando com esta observação, o estudo de Lu *et al.* (2020) demonstrou a possibilidade de contaminação causada pelas correntes de ar desencadeadas pelo aparelho de ar condicionado em um ambiente sem janelas.

Os resultados do estudo de Liu *et al.* (2020) têm implicações importantes para a prevenção de infecções do público e proteção dos profissionais da saúde. Este alerta para a necessidade de ventilação e esterilização de banheiros, medidas de proteção pessoal para o público em geral, como o uso de máscaras e controle das aglomerações para reduzir o risco de exposição a vírus transportados pelo ar; a higienização eficaz das áreas de alto risco do hospital, um eficiente sistema de ventilação e, higienização da superfície do vestuário antes dos EPIs serem retirados. Outra solução para a redução de poluentes no ambiente interno podem ser as práticas de construção sustentável, usando princípios de eficiência energética e acessibilidade, visto que essas construções verdes implica uma preocupação com a ventilação adequada e redução da poluição ao longo do ciclo de vida do edifício. (GAWANDE *et al.*, 2020).

Como foram encontradas taxas elevadas de infecção de COVID-19 em ambientes fechados que faziam uso da recirculação do ar interno, esta prática não é recomendada, ou quando for indispensável a sua realização, deve ser feito um tratamento e filtragem do ar (BLOCKEN *et al.*, 2020; BRITAIN *et al.*, 2020). Para a ASHRAE (2020) o uso altamente eficiente de filtração de partículas em sistema HVAC centralizado, reduz significativamente a carga aérea de partículas infecciosas e o uso de irradiação germicida ultravioleta promove a desinfecção do ar e de superfícies. No estudo de Rosa *et al.* (2016) foi proposto uma metodologia para a minimização de bioaerossóis (bactérias e fungos) presentes no ar de ambientes interno por meio da utilização de nanopartículas de prata (AgNP) impregnadas em filtros. Os resultados mostraram que os filtros impregnados com nanopartículas de prata foram capazes de reduzir significativamente a atividade de microrganismos presentes no material particulado no ar, devido à retenção física do bioaerossol e pela inviabilização dos microrganismos pela ação biocida das AgNP, com valores entre 22 e 83%.

Vários órgãos e sociedades relacionadas ao Sistema HVAC, em todo o mundo se posicionaram e publicaram diretrizes ou documentos em resposta ao surgimento da pandemia de COVID-19, havendo semelhança em alguns pontos e variações quanto ao conteúdo específico de operação do sistema HVAC,

deixando sempre claro a necessidade de atualizações à medida que se avança o conhecimento da doença. A ASHRAE emitiu um documento de posicionamento sobre doenças infecciosas transmitidas pelo ar em 5 de fevereiro de 2020, e em 14 de abril de 2020, esse documento foi atualizado, deixando claro que não recomenda a desativação dos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado como medida para a redução da transmissão do SARS-CoV-2 (ASHRAE, 2020).

A Federação Europeia de Associações de Aquecimento, Ventilação e Ar condicionado (REHVA) também possibilita o uso dos sistemas de ar condicionado orientando cuidados para a reabertura de edifícios, escolas e escritórios. Para a REHVA (2020), a reabertura deve ocorrer evitando fluxo de ar direcionados de uma pessoa para outra, evitando altas velocidades do ar na zona ocupada ($> 0,3\text{m/s}$), verificando a possibilidade de abertura de janelas e grades, mantendo a limpeza e manutenção dos sistemas de ventilação, instalando e configurando sensores de CO_2 para valores inferiores a 1.000 ppm.

A Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA) elaborou protocolos para uso de equipamentos e sistemas de ar condicionado pós-quarentena, para a garantia de uma ocupação segura. Dentre as recomendações constam: a limpeza e higiene dos equipamentos e dos dispositivos como bandejas, sifões, serpentinas e ventiladores de acordo com as orientações do fabricante e PMOC; a limpeza, verificação e troca dos filtros de ar conforme o fabricante; uso dos condicionadores de ar preferencialmente no modo de ventilação; caso não seja possível a instalação de dispositivo de renovação de ar, devem ser abertas janelas e portas do ambiente para garantia da ventilação natural; e, em último caso usar no modo resfriar com baixa velocidade de ventilação com portas e janelas parcialmente abertas (ABRAVA, 2020).

Vale ressaltar ainda que a ABRAVA recomenda a utilização de EPIs pelos funcionários responsáveis pela limpeza/higienização e manutenção dos equipamentos condicionadores de ar. E, recomenda ainda, o uso de máscara do tipo *face shield* acrescida de máscara N-95 ou caseiras, óculos de proteção, luvas de borracha, calça comprida, camisa de manga longa e sapatos fechados, além da execução do serviço atentando-se para o descarte dos filtros substituídos em sacos hermeticamente fechados, retirada da embalagem do filtro novo apenas no momento da troca e recolhimento de equipamentos, ferramentas e materiais utilizados. Antes das vacinas estarem prontas, as principais formas de prevenção e de limitação à exposição da COVID-19 recomendadas pela OMS foram a lavagem das mãos, o uso de máscaras e o distanciamento social (MORAWSKA e CAO, 2020; WHO, 2020b).

CONCLUSÃO

Através desta revisão foi possível identificar evidências de uma associação clara entre a qualidade do ar interno e efeitos na saúde humana, a curto e longo prazo, além de impactos significativos no conforto físico e psicológico das pessoas. Há ainda uma associação cada vez mais sólida entre a inadequada qualidade do ar interno, e um déficit no desempenho profissional e acadêmico, na capacidade de aprendizagem, produtividade, atenção e assiduidade.

Os estudos demonstraram ainda, que a disseminação viral e o acúmulo de contaminantes é ainda maior em ambientes fechados, lotados e com uma ventilação inadequada. Assim, ações que visem um controle da infiltração de contaminantes externos, uma adequação da ventilação e filtragem, um controle das condições termo higrométricas, e das emissões internas de materiais microbiológicos e químicos, estarão contribuindo com a qualidade do ar interior e consequentemente prevenindo e mitigando os contaminantes ambientais.

A pandemia de COVID-19 exige adaptações nas práticas já existentes, principalmente em ambientes climatizados. Estes ambientes oferecem uma melhor qualidade do ar interno aos usuários, visto que espaços não condicionados podem causar estresse térmico às pessoas. Dessa forma, quando um sistema HVAC está em operação, de forma adequada, este pode contribuir para a mitigação da transmissão do vírus SARS-CoV-2. Para isso, deve-se utilizar condicionadores de ar preferencialmente no modo de ventilação, com a instalação de dispositivo de renovação de ar ou com a abertura de janelas e portas. Deve-se evitar ainda, o fluxo de ar direcionados, optando por baixas velocidades nas zonas ocupadas.

No entanto, a manutenção das condições psicométricas adequadas, precisa advir de ações conjuntas que englobem desde o cumprimento da legislação e normatização no projeto, passando pelos cuidados com as instalações e manuseios dos equipamentos e das variáveis, até a realização correta das manutenções periódicas de todo o sistema de condicionadores de ar. Vale ressaltar ainda, que a manutenção da qualidade do ar interior conforme padrões definidos normativamente é uma imposição legal estando o seu descumprimento sujeito ao estabelecimento de sanções legais e à ocorrência de ações conjuntas empregatícias em decorrência de adoecimento devido à inadequada qualidade do ar. Assim, torna ainda mais fundamental o desenvolvimento de uma política preventiva e o fortalecimento das estruturas dos órgãos oficiais. No entanto, essas ações só têm efeito em conjunto com fatores comportamentais do ser humano que envolve o uso correto de máscaras, o distanciamento social e a higienização das mãos, visando mitigar a propagação do coronavírus.

Fica cada vez mais evidente que o conhecimento dessa questão emergente é fundamental para orientar a tomadas de decisões, e nortear as ações de prevenção e controle da pandemia de COVID-19,

exigindo assim, a implementação de uma gestão integrada e multissistêmica e tornando este, um desafio enorme de saúde pública.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16401: Instalações de Ar Condicionado – Sistemas centrais e unitários, 2008.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT/NBR ISO 14644-3 Salas limpas e ambientes controlados associados – Parte 3: métodos de ensaio, 2009.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT/NBR 15848 Sistemas de ar condicionado e ventilação – Procedimento e requisitos relativos às atividades de construção, reformas, operação e manutenção das instalações que afetam a qualidade do ar interior (QAI), 2010.

ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. RECOMENDAÇÃO NORMATIVA RN 02, 2003.

ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. Protocolos para uso dos equipamentos e sistemas de ar condicionado pós-quarentena. 2020.

AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS. Care for your air: a guide to indoor air quality. Washington, EUA; 2008.

AHLAWAT, A.; WIEDENSOHLER, A.; MISHRA, S.K. Uma visão geral sobre o papel da umidade relativa na transmissão aérea de SARS-CoV-2 em ambientes internos. *Aerossol and Air Quality Research*. v. 20, p. 1856–1861, 2020.

ARGUNHAN, Z.; AVCI, A.S. Statistical evaluation of indoor air quality parameters in classrooms of a university. *Advances in Meteorology*. 2018.

ASHRAE. Indoor environmental health. In: *ASHRAE Handbook – Fundamentals*. Cap. 9, 1997

ASHRAE. Position Document on Airborne Infectious Diseases. *Ashrae Stand*. 2014

ASHRAE, 2019a. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2019: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.

ASHRAE, 2019b. ANSI/ASHRAE Standard 62.2-2019: Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings.

ASHRAE. 2020. *ASHRAE Position Document on Infectious Aerosols*. Atlanta: ASHRAE <https://www.ashrae.org/File%20Library/About/Position%20Documents/ASHRAE-Position-Document-on-Infectious-Aerosols---Portuguese.pdf>

ASHRAE, 2020b. ANSI/ASHRAE Position Document on Indoor Air Quality.

AZUMA, K.; KAGI, N.; KIM, H.; HAYASHI, M. Impacto do clima e da poluição do ar ambiente no crescimento epidêmico durante o surto de COVID-19 no Japão. *Environ Res*. v. 190, 2020.

BAKÓ-BIRÓ, Zs.; CLEMENTS-CROOME, D.J.; KOCHHAR, N.; AWBI, H.B.; WILLIAMS, M.J. Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Building and environment*, v. 48, p. 215-223, 2012.

BIN, S.Y.; HEO, J.Y.; SONG, M.S.; LEE, J.; KIM, E.H.; PARK, S.J.; KWON, H.I.; KIM, S.M.; KIM, Y.I.; SI, Y.J.; LEE, I.W.; BAEK, Y.H.; CHOI, W.S.; MIN, J.; JEONG, H.W.; CHOI, Y.K. Environmental Contamination and Viral Shedding in MERS Patients During MERS-CoV Outbreak in South Korea. *Clinical Infectious Diseases*. v. 62, n. 6, p. 755-60, 2016.

BIRYUKOV, J.; BOYDSTON, J.A.; DUNNING, R.A.; YEAGER, J.J.; WOOD, S.; REESE, A.L.; FERRIS, A.; MILLER, D.; WEAVER, W.; ZEITOUNI, N.E.; PHILLIPS, A.; FREEBURGER, D.; HOOPER, I.; RATNESAR-SHUMATE, S.; YOLITZ, J.; KRAUSE, M.; WILLIAMS, G.; DAWSON, D.G.; HERZOG, A.; DABISCH, P.; WAHL, V.; HEVEY, M.C.; ALTAMURA, L.A. Increasing Temperature and Relative Humidity Accelerates Inactivation of SARS-CoV-2 on Surfaces. *mSphere*. v. 5, n. 4, 2020.

BLOCKEN, B.; VAN DRUENEN, T.; VAN HOOFF, T.; VERSTAPPEN, P.; MARCHAL, T.; MARR, L.C. Can indoor sports centers be allowed to re-open during the COVID-19 pandemic based on a certificate of equivalence? *Build. Environ*. v. 180, p. 107022, 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. Portaria nº 3.523, de 28 de agosto de 1998. Aprova regulamento técnico que garante a qualidade do ar de interiores e prevenção de riscos à saúde dos ocupantes de ambientes climatizados. *Diário Oficial da União*. Brasília (DF), 1998.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - Anvisa. Resolução - RE nº 176, de 24 de outubro de 2000. Orientação Técnica elaborada por Grupo Técnico Assessor sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Brasília (DF), 2000.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. Resolução ANVISA-RE nº 09, de 16 de janeiro de 2003. Orientação técnica elaborada por grupo técnico assessor sobre padrões referenciais de qualidade do ar interior, em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. *Diário Oficial da União*. Brasília (DF), 2003.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Extrato acordo de cooperação técnica nº3/2018 – ANVISA/ABRAVA. *Diário Oficial da União*. Brasília (DF), 2018.

BRITTAİN, O.S.; WOOD, H.; KUMAR, P. Prioritising indoor air quality in building design can mitigate future airborne viral outbreaks. *Cities & Health*, 2020.

BUONANNO, G.; MORAWSKA, L.; STABILE, L. Quantitative assessment of the risk of airborne transmission of SARS-CoV-2 infection: perspective and retrospective applications. *medRxiv*, 2020.

CARRER, P.; DE OLIVEIRA FERNANDES, E.; SANTOS, H.; HÄNNINEN, O.; KEPHALOPOULOS, S.; WARGOCKI, P. On the Development of Health-Based Ventilation Guidelines: Principles and Framework. *International journal of environmental research and public health*. v. 15, n.7, p. 1360, 2018.

CHAN, I.; LIU, A. Effects of neighborhood building density, height, greenspace, and cleanliness on indoor environment and health of building occupants. *Building and Environment*. v. 145, p. 213-222, 2018.

CHIA, P.Y.; COLEMAN, K.K.; TAN, Y.K.; ONG, S.W.X.; GUM, M.; LAU, S.K.; LIM, X.F.; LIM, A.S.; SUTJIPTO, S.; LEE, P.H. Detecção de contaminação do ar e da superfície por SARS-CoV-2 em quartos de hospital de pacientes infectados. *Nat. Comum*. v. 11, p. 1-7, 2020.

DA COSTA, R.F.W.; RODRIGUES, M.A.; ROSA, T.C.; SILVA, L.L.; GARCIA, H.G.; MELLO, J.S.; SOUZA, M.P. A qualidade do ar em ambientes comerciais fechados: prevenindo patologias associadas

à permanência diária em espaços com climatização artificiais. *Revista Científica Doctum Multidisciplinar*, v. 1, n. 2, 2019.

FARIDI, S.; NIAZI, S.; SADEGHI, K.; NADDAFI, K.; YAVARIAN, J.; SHAMSIPOUR, M.; JANDAGHI, N.Z.S.; SADEGHNIAT, K.; NABIZADEH, R.; YUNESIAN, M. A field indoor air measurement of SARS-CoV-2 in the patient rooms of the largest hospital in Iran. *Sci. Total Environ.* v. 725, 2020

FERREIRA, A.M.C.; CARDOSO, S.M. Estudo exploratório da qualidade do ar em escolas de educação básica, Coimbra, Portugal. *Revista de Saúde Pública.* v. 47, p. 1059-68, 2013.

FERREIRA, A.M.C.; CARDOSO, S.M. Qualidade do ar interior e saúde nas escolas. *Jornal Brasileiro de Pneumologia.* v. 40, n. 3, p. 259-268, 2014.

GAWANDE, S.; TIWARI, R.R.; NARAYANAN, P.; BHADRI, A. Indoor air quality and sick building syndrome: are green buildings better than conventional buildings? *Indian Journal of Occupational & Environmental Medicine.* v. 24, n. 1, p. 30-32, 2020.

GHOSH, B.; LAL, H.; SRIVASTAVA, A. Review of bioaerossols in indoor environment with special reference to sampling, analysis and control mechanisms. *Environmental International.* v. 85, p. 254-272, 2015.

GUO, Z.D.; WANG, Z.Y.; ZHANG, S.F.; LI, X.; LI, L.; LI, C.; CUI, Y.; FU, R.B.; DONG, Y.Z.; CHI, X.Y.; ZHANG, M.Y.; LIU, K.; CAO, C.; LIU, B.; ZHANG, K.; GAO, Y.W.; LU, B.; CHEN, W. Aerosol and Surface Distribution of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 in Hospital Wards, Wuhan, China, 2020. *Emerg Infect Dis.* v. 26, n. 7, p. 1583-1591, 2020

HAN, Q.; LIN, Q.; NI, Z.; YOU L. Uncertainties about the transmission routes of 2019 novel coronavirus. In *Influenza Other Respir Viruses.* v. 14, n. 4, p. 470-471, 2020.

HERNÁNDEZ-FLÓREZ, L.J.; ARISTIZABAL-DUQUE, G.; QUIROZ, L.; MEDINA, K.; RODRÍGUEZ-MORENO, N.; SARMIENTO, R.; OSORIO-GARCÍA, S.D. Contaminación del aire y enfermedad respiratoria en menores de cinco años de Bogotá, 2007. *Rev. salud pública.* v. 15, n. 4, p. 552-565, 2013.

JURADO, S.R.; ARMELIN, M.V.A.L.; BASSLER, T.C.; FURLAN, M.C.R.; SANCHEZ, A.; VALÉRIO DA SILVA, A. Qualidade do ar interior em hospitais, aeronaves, navios de cruzeiros e o risco de transmissão aérea pelo Coronavírus. *Saúde Coletiva (Barueri)*, v. 10, n. 53, p. 2376-2393, 2020.

KENARKOOHI, A.; NOORIMOTLAGH, Z.; FALAHI, S.; AMARLOEI, A.; MIRZAEI, S.A.; PAKZAD, I. Monitoramento da qualidade do ar interno do Hospital Bastani E. para a detecção do vírus SARS-CoV-2 (COVID-19). *Sci. Total Environ.* p. 141324, 2020.

KIM, S.H.; CHANG, S.Y.; SUNG, M.; PARK, J.H.; KIM, H.B.; LEE, H.; CHOI, J.P.; CHOI, W.S.; MIN, J.Y. Extensive viable Middle East respiratory syndrome (MERS) coronavirus contamination in air and surrounding environment in MERS isolation wards. *Clinical Infectious Diseases.* v. 63, n. 3, p. 363-369, 2016.

KIM, U.J.; LEE, S.Y.; LEE, J.Y.; LEE, A.; KIM, S.E.; CHOI, O.J.; LEE, J.S.; KEE, S.J.; JANG, H.C. Contaminação do ar e do meio ambiente causada por pacientes com COVID-19: um estudo multicêntrico. *J. Kor. Med. Sci.* 35, 2020.

KUDRYASHOVA, O.B.; MURAVLEV, E.V.; ANTONNIKOVA, A.A.; TITOV, S.S. Propagation of viral bioaerossols indoors. *PLOS One.* v. 16, 2021.

KULKARNI H., SMITH C.M., LEE D.D.H., HIRST R.A., EASTON A.J., O'CALLAGHAN C. Evidence of respiratory syncytial virus spread by aerosol: time to revisit infection control strategies? *Am J. Espir Crit Care Med.* v. 194, p. 306-16, 2016.

KUMAR, P.; MORAWSKA, L. Could fighting airborne transmission be the next line of defence against COVID-19 spread? *City and Environment Interactions.* v. 4, p. 100033, 2019.

LI, H.; XU, X.L.; DAI, D.W.; HUANG, Z.Y.; MA, Z.; GUAN, Y.J. Air pollution and temperature are associated with increased COVID-19 incidence: a time series study. *International Journal of infectious diseases.* v. 97, p. 278-282, 2020.

LI, Y.; QIAN, H.; HANG, J.; CHEN, X.; CHENG, P.; LING, H.; WANG, S.; LIANG, P.; LI, J.; XIAO, S.; WEI, J.; LIU, L.; COWLING, B.J.; KANG, M. Probable airborne transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant. *Building and Environment.* v. 196, p. 107788, 2021.

LINDSLEY, W.G.; NOTI, J.D.; BLACHERE, F.M.; THEWLIS, R.E.; MARTIN, S.B.; OTHUMPANGAT, S.; NOORBAKHS, B.; GOLDSMITH W.T.; VISHNU, A.; PALMER, J.E.; CLARK, K.E.; BEEZHOLD, D.H. Viable influenza A virus in airborne particles from human coughs. *Journal of Occupational Environmental Hygiene.* v. 12, p. 107-13, 2015.

LIU, Y.; NING, Z.; CHEN, Y.; GUO, M.; LIU, Y.; GALI, N.K.; SUN, L.; DUAN, Y.; CAI, J.; WESTERDAHL, D.; LIU, X.; XU, K.; HO, K.F.; KAN, H.; FU, Q.; LAN, K. Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals. *Nature.* v. 582, p. 557–60, 2020.

LU, J.; GU, J.; LI, K.; XU, C.; SU, W.; LAI, Z.; ZHOU, D.; YOU, C.; BIN, X.; YANG, Z. COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, 2020. *Emerging Infectious Diseases.* v. 26, n. 7, p. 1628-1631, 2020.

MASOUMBEIGI, H.; GHANIZADEH, G.; ARFAEI, R.Y.; HEYDARI, S.; GOODARZI, H.; SARI, R.D.; TAT, M. Investigação da qualidade do ar interno do hospital quanto   presença de SARS-Cov-2. *Journal of Environmental Health Science and Engineering.* p. 1–5, 2020.

MORAWSKA, L.; AFSHARI, A.; BAE, G.N.; BUONAMO, G.; CHAO, C.Y.H.; HÄNNINEN, O.; HOFMANN, W.; ISAXON, C.; JAYARATNE, E.R.; PASANEN, P.; SALTHAMMER, T.; WARING, M.; WIERZBICKA, A. Indoor aerosol: from personal exposure to risk assessment. *Indoor air.* v. 23, n. 6, p. 462-87, 2013.

MORAWSKA, L.; CAO, J. Airborne transmission of SARS-CoV-2: the world should face the reality. *Environ.int.* v. 139, p. 105730, 2020.

NOTI, J.D.; BLACHERE, F.M.; MCMILLEN, C.M.; LINDSLEY, W.G.; KASHON, M.L.; SLAUGHTER, D.R.; BEEZHOLD, D.H. High Humidity Leads to Loss of Infectious Influenza Virus from Simulated Coughs. *PLoS ONE.* v. 8, n. 2, 2013.

OMOIGBERALE, M.N.O.; AMENGIALUE, O.O.; IYAMU, M.I. Microbiological assessment of Hospital indoor air quality in Ekpoma, Edo State, Nigeria. *Global Research Journal of Microbiology. Edo State* v. 4, n. 1, p. 1-5, 2014.

OMS - ORGANIZAÇ O MUNDIAL DE SAÚDE. Critérios de Qualidade do Ar. Genebra, Su a, 1999.

OMS – Organiza o Mundial da Saúde. Infection prevention and controlo f epidemic – and pandemic – prone acute respiratory infections in health care. Geneva: World Health Organization, 2014.

ONG, S.W.X.; TAN, Y.K.; CHIA, P.Y.; LEE, T.H.; NG, O.T.; WONG, M.S.Y.; MARIMUTHU, K. Air, surface environmental and personal protective equipment contamination by severe acute respiratory syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) from a symptomatic patient. *JAMA*. v. 323, p. 1610–1612, 2020.

ORENES-PIÑERO, E.; BAÑO, F.; NAVAS-CARRILLO, D.; MORENO-DOCÓN, A.; MARÍN, J.M.; MISIEGO, R.; RAMÍREZ, P. Evidências de transmissão aérea do vírus SARS-CoV-2 em ambientes fechados usando várias superfícies intocadas: um estudo piloto. *Sci. Total Environ*. p. 142317, 2020.

PEKDOGAN, T.; TOKUÇ, A.; EZAN, M.A.; BASARAN, T. Experimental investigation of a decentralized heat recovery ventilation system. *Journal of Building Engineering*. v. 35, 2021.

PENG, Z.; DENG, W.; TENÓRIO, R. Investigation of indoor air quality and the identification of influential factors at primary schools in the North of China. *Sustainability*. v. 9, n. 7, p. 1180, 2017.

QIAN, H.; ZHENG, X. Controle de ventilação para transmissão aérea de bioaerossóis exalados humanos em edifícios. *J Thorac Dis*. v. 10 (Suplemento 19), p. 2295–2304, 2018.

RAZZINI, K.; CASTRICA, M.; MENCHETTI, L.; MAGGI, L.; NEGRONI, L.; ORFEO, N.V.; PIZZOCCHERI, A.; STOCCO, M.; MUTTINI, S.; BALZARETTI, C.M. SARS-CoV-2 RNA detecção no ar e em superfícies na enfermaria COVID-19 de um hospital em Milão, Itália. *Sci. Total Environ*. v. 742, p. 140540, 2020.

REHVA. COVID-19 guidance, 2020.

ROSA, P.F.; AGUIAR, M.L.; BERNARDO, A. Avaliação da eliminação de bioaerossóis em filtros de malha modificados com nanopartículas de prata. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v.21, n.4, p. 747-752, 2016.

SANTARPIA, J.L.; RIVERA, D.N.; HERRERA, V.; MORWITZER, M.J.; CREAGER, H.; SANTARPIA, G.W.; CROWN, K.K.; BRETT-MAJOR, D.; SCHNAUBELT, E.; BROADHURST, M.J. Aerosol and Surface Transmission Potential of SARS-CoV-2. *medRxiv*. 2020a.

SANTARPIA, J.L.; RIVERA, D.N.; HERRERA, V.; MORWITZER, M.J.; CREAGER, H.; SANTARPIA, G.W.; CROWN, K.K.; BRETT-MAJOR, D.; SCHNAUBELT, E.; BROADHURST, M.J. Transmission Potential of SARS-CoV-2 in Viral Shedding Observed at the University of Nebraska Medical Center. *medRxiv*. 2020b.

SHAJAHAN, A.; CULP, C.H.; WILLIAMSON, B. Effects of indoor environmental parameters related to building heating, ventilation, and air conditioning systems on patients' medical outcomes: A review of scientific research on hospital buildings. *Indoor Air*. v. 29, n. 2, p. 161-176, 2019.

SHIRAIWA, M.; UEDA, K.; POZZER, A.; LAMMEL, G.; KAMPF, C.J.; FUSHIMI, A.; ENAMI, S.; ARANGIO, A.M.; FROHLICH-NOWOISKY, J.; FUJITANI, Y.; FURUYAMA, A.; LAKEY, P.S.J.; LELIEVELD, J.; LUCAS, K.; MORINO, Y.; PÖSCHL, U.; TAKAHAMA, S.; TAKAMI, A.; TONG, H.; WEBER, B.; YOSHIRO, A.; SATO, K. Aerosol health effects from molecular to global scales. *Environ. Sci. Technol*. v. 51, p. 13545-13567, 2017.

SHIU, E.Y.C.; LEUNG, N.H.L.; COWLING, B.J. Controversy around airborne versus droplet transmission of respiratory viruses: implication for infection prevention. *Curr Opin Infect Dis*. v. 32, n. 4, p. 372-379, 2019.

SILVA, D.P.S.; NAZARÉ, D.L.; MUNIZ, J.W.C.; CÂMARA, C.N.S. Infecções hospitalares associadas à qualidade do ar em ambientes climatizados. *Revista de Epidemiologia e Controle de Infecção*. v. 3, n. 4, p. 153-157, 2013.

SILVA, F.H.A.L.; NAVARRO, M.B.M.A. Biossegurança e prevenção da tuberculose: a importância da qualidade do ar no interior dos serviços de saúde. *Rev. Patol. Trop.* v. 42, n. 2, p. 133-146, 2013.

SMIESZEK, T.; LAZZARI, G.; SALATHÉ, M. Avaliação da dinâmica e controle da gripe transmitida por gotículas e aerossóis usando um sistema de posicionamento interno. *Relatórios científicos*. v. 9, p. 2185, 2019.

STADNYTSKYI, V.; BAX, C.E.; BAX, A.; ANFINRUD, P. O tempo de vida no ar de pequenas gotas de fala e sua importância potencial na transmissão SARS-CoV-2. *Proc. Natl. Acad. Sci.* v. 117, p. 11875–11877, 2020.

TRAN, V.V.; PARK, D.; LEE, Y.C. Indoor air pollution, related human diseases, and recent trends in the control and improvement of indoor air quality. *Int. J. of Environmental Research and Public Health*, v. 17, n. 8, p. 2927, 2020.

VAN DOREMALEN, N.; BUSHMAKER, T.; MORRIS, D.; HOLBROOK, M.G.; GAMBLE, A.; WILLIAMSON, B. Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *N. Engl. J. Med.* v. 382, n.16, p. 1564–1567, 2020.

VIMALANATHAN, K.; RAMESH BABU, T. The effect of indoor office environment on the work performance, health and well-being of office workers. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. v. 12, p. 113, 2014.

VUORINEN, V.; AARNIO, M.; ALAVA, M.; ALOPÆUS, V.; ATANASOVA, N.; AUVINEN, M.; BALASUBRAMANIAN, N.; BORDBAR, H.; ERÄSTÖ, P.; GRANDE, R. Modelagem de transporte de aerossol e exposição a vírus com simulações numéricas em relação para transmissão SARS-CoV-2 por inalação em ambientes fechados. *Saf. Sci.* p.104866, 2020.

WANG, W.; YONEDA, M. Determinação do fator de penetração ideal para avaliar o processo de invasão de aerossóis de um espaço de fonte confinado para uma área não contaminada. *Sci. Total Environ.* p.140113, 2020.

WEI J.; LI Y. Airborne spread of infectious agents in the indoor environment. *Am J Infect Control*. v. 44, n. 9, p. S102-S108, 2016.

WEST, R.; MICHIE, S.; RUBIN, G.J.; AMLÔT, R. Aplicando princípios de mudança de comportamento para reduzir a transmissão de SARS-CoV-2. *Nat Hum Behav*. v. 4, p. 451–9, 2020.

WHO - World Health Organization. "WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould." (2009).

WHO - World Health Organization. "WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants." (2010).

WHO (2020b). Coronavirus Disease (COVID-19) Situation Report – 108, Data as Received by WHO From National Authorities by 10:00 CEST.

YAN, J.; GRANTHAM, M.; PANTELIC, J.; BUENO DE MESQUITA, P.J.; ALBERT, B.; LIU, F.; EHRMAN, S.; MILTON, D.K.; EMIT CONSORTIUM. Infectious vírus in exhaled breath of



symptomatic seasonal influenza cases from a college community. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. v. 115, n. 5. p. 1081-6, 2018.