



Shaping Tomorrow's  
Built Environment Today

Traduzido com autorização da ASHRAE

## Posições da ASHRAE sobre Aerossóis Infecciosos

Aprovado pelo Conselho de Diretores da ASHRAE em 13 de outubro de 2022

Reafirmado pelo Conselho de Tecnologia da ASHRAE em 25 de junho de 2025

Expira em 25 de junho de 2028

A ASHRAE é uma sociedade profissional global com mais de 55.000 membros, comprometida em servir a humanidade por meio do avanço das artes e ciências do aquecimento, ventilação, ar-condicionado, refrigeração e áreas correlatas (AVAC&R). Os documentos de posição da ASHRAE são aprovados pelo Conselho de Diretores e expressam as opiniões da Sociedade sobre questões específicas. Esses documentos proporcionam informações objetivas e confiáveis para pessoas interessadas em assuntos dentro da expertise da ASHRAE, particularmente em áreas onde tais informações serão úteis na elaboração de políticas públicas sólidas. Os documentos também esclarecem a posição da ASHRAE para seus membros e profissionais da construção.

### Aerossóis infecciosos são uma questão de interesse público

A magnitude dos riscos oriundos de patógenos dispersos sob a forma de aerossol tornou-se cada vez mais óbvia, especialmente durante a crise do COVID. Tais riscos são particularmente elevados em edifícios fechados.

Autoridades de saúde pública, elaboradores de políticas, proprietários de prédios, projetistas e público em geral precisam de orientação precisa e confiável quanto às formas apropriadas de mitigar os riscos destes patógenos. As estratégias de mitigação de riscos disponíveis incluem intervenções farmacêuticas, controles não relacionados à engenharia e controles de engenharia. Dada a crise climática atual, o conjunto ótimo de intervenções para a mitigação deve alcançar a maior redução de riscos com as menores emissões resultantes possíveis.

### Por que a ASHRAE se posiciona sobre aerossóis infecciosos

As normas de consenso e os guias de projeto da ASHRAE fornecem a base técnica para práticas de construção internacionais e códigos de energia que equilibram a necessidade de eficiência energética com a necessidade de manter o ambiente interno saudável e confortável para os ocupantes. O projeto, a instalação e a operação dos sistemas mecânicos dos edifícios podem melhorar—ou dificultar— a capacidade dos edifícios de mitigar o risco de aerossóis infecciosos.

Consequentemente, as posições, normas e orientações de projeto da ASHRAE podem ajudar a evitar riscos à saúde associados à aerossóis infecciosos.

**A ASHRAE assume as posições que:**

- A exposição a aerossóis infecciosos é um fator importante na transmissão de infecções dentro de ambientes fechados entre uma fonte e um indivíduo suscetível.
- Os controles de engenharia que demonstraram reduzir o risco de exposição a aerossóis infecciosos incluem a diluição com ar externo fornecido por ventilação mecânica ou natural, filtragem de ar interno, padrões de fluxo de ar interno e desinfecção por luz ultravioleta germicida e outras tecnologias comprovadamente eficazes e seguras.
- As estratégias de redução de riscos que usam controles de engenharia para gerenciar o risco de aerossóis infecciosos devem concentrar-se na redução da exposição a aerossóis infecciosos na zona respiratória.
- Projeto, instalação, manutenção e operação eficazes dos controles de ventilação são essenciais para alcançar a mitigação de risco necessária.
- As evidências existentes sobre os efeitos da temperatura e umidade no risco de infecção não justificam mudanças nas normas, regulamentos e diretrizes de ventilação e qualidade do ar interno (QAI) neste momento.
- A eficácia de qualquer estratégia de mitigação de risco depende de muitos fatores. Usar múltiplas estratégias de mitigação de riscos geralmente será mais eficaz do que confiar em uma estratégia única.
- As medidas de mitigação de risco devem ser adaptáveis aos níveis de risco de um determinado espaço.
- Combinações de controles de engenharia e controles não relacionados à engenharia podem ser otimizadas para efetividade, custo e uso de energia.

**A ASHRAE recomenda que:**

Um grupo de trabalho multidisciplinar de pesquisa e desenvolvimento (P&D) seja estabelecido, com o objetivo de melhorar a coordenação entre engenheiros, cientistas e profissionais de saúde e priorizar e acelerar a agenda de pesquisa, processo de desenvolvimento e disseminação. Esta pesquisa deve incluir, pelo menos, os seguintes tópicos:

- Estudos de intervenção monitorada para quantificar o impacto na transmissão de infecção resultante de vários controles de engenharia considerados isoladamente e em combinação com outros controles não provenientes da engenharia com relação a aerossóis infecciosos de características variadas.
- Metodologias de detecção em tempo real com o objetivo de aprimorar os ajustes variáveis de controles AVAC responsivos a diferentes níveis de risco.
- Métodos para reduzir o custo do ciclo de vida e as emissões de carbono dos controles de engenharia em todas as condições.
- Estudos para caracterizar a taxa de emissão resolvida por tamanho de aerossóis infecciosos para diferentes patógenos e diferentes atividades respiratórias e intensidades metabólicas, determinar a relação entre tamanho e risco de transmissão e prever o destino e transporte dessas partículas de aerossol presentes em ambientes internos.
- Ferramentas quantitativas de avaliação de risco de infecção para aerossóis infecciosos (a avaliação quantitativa de risco microbiano é amplamente utilizada para água e alimentos, mas muito menos para aerossóis).
- Impacto dos padrões de fluxo de ar interno na transmissão de aerossóis infecciosos e o risco

resultante de infecção.

**A ASHRAE se compromete a:**

- Apoiar códigos e normas modelo que tratam da exposição a aerossóis infecciosos, equilibrando a qualidade das evidências, mitigação de riscos, custo de instalação e operação, uso de energia e emissões de carbono.
- Apoiar códigos e normas modelo usando quantidades variáveis de fornecimento de ar externo/limpo em resposta à medição da qualidade do ar para otimizar a qualidade do ar interno de maneira eficiente.
- Promover pesquisas para aprimorar tecnologias e conhecimentos de AVAC para mitigar o risco de infecção por transmissão aérea.
- Desenvolver protocolos para melhor teste e certificação de tecnologias de controle.
- Incentivar a publicação de dados de testes indicando a eficiência de remoção por tamanho de partícula para cada filtro como parte do processo de certificação. Esses dados devem incluir informações sobre os efeitos de desempenho associados ao carregamento do filtro e à carga eletrostática (se aplicável).

## Apêndice A: Informações Básicas

Este documento não é um guia de projeto. O objetivo é aconselhar elaboradas de políticas a identificar estratégias de controle de engenharia apropriadas para vários ambientes, vários estados de doenças normais/epidêmicas e em combinação com estratégias não relacionadas à engenharia, com base no que há de mais desenvolvido na ciência, o número de benefícios e custos resultantes da aplicação de várias estratégias, incluindo as implicações relacionadas ao carbono, usando os princípios da medicina baseada em evidências (*evidence-based medicine, EBM*).

### Risco de Aerossóis Infecciosos

As doenças respiratórias estão entre as causas mais comuns de doenças graves e mortes em todo o mundo (Forum of International Respiratory Societies 2017). As infecções respiratórias agudas (*Acute respiratory infection, ARI*) são a principal causa de morbidade e mortalidade por doenças infecciosas em todo o mundo. Quase quatro milhões de pessoas morrem de ARIs a cada ano, com 98% dessas mortes sendo devido a infecções do trato respiratório inferior (WHO 2014). A atual pandemia de COVID-19, causada pelo vírus SARS-CoV-2, e a taxa crescente de infecções virais respiratórias emergentes nos últimos anos são motivo de grande preocupação, pois algumas das ARIs propensas a serem epidêmicas podem criar emergências globais de saúde pública.

Os patógenos são classificados em diferentes grupos de risco, descrevendo o perigo relativo apresentado por agentes infecciosos ou toxinas. As considerações usadas em uma avaliação de risco biológico incluem a “patogenicidade do agente e dose infecciosa, potencial resultado devido à exposição, via natural de infecção, outras rotas de infecção resultantes por meio de manipulações, estabilidade do agente no ambiente, informações disponíveis em estudos com animais (...), e a disponibilidade de profilaxia eficaz ou intervenções terapêuticas” (WHO 2004).

Enquanto vários fatores devam ser considerados para avaliação de risco, o projeto de medidas de mitigação de engenharia e relativas aos ambientes deve ser conduzido tendo como base a rota específica de transmissão ou disseminação de contaminantes. A transmissão da infecção é um processo complexo; o risco de doença é determinado por numerosos fatores que apresentam variabilidade considerável e incerta, incluindo as características do patógeno em questão, a infecciosidade do hospedeiro, o meio através do qual o agente infeccioso passa da fonte para o novo hospedeiro e a resposta imune do novo anfitrião (Noakes e Sleight 2009). A transmissão ou disseminação pelo ar adiciona complicações ao adicionar outros fatores de influência (Sze To e Chao 2010).

### Mecanismos de Transmissão de Aerossóis Infecciosos

Um aerossol infeccioso é um agrupamento de partículas carregadas de patógenos no ar. Normalmente, os aerossóis infecciosos são liberados por uma pessoa infectada como parte de atividades respiratórias, como respirar, falar, cantar, tossir e espirrar. Todas as pessoas, infectadas ou não, liberam gotículas de fluido respiratório (muco, escarro ou saliva) compreendendo uma ampla gama de tamanhos de gotículas durante as atividades respiratórias citadas. Algumas gotas são tão grandes que não podem permanecer suspensas por mais de alguns segundos no jato expirado. Algumas gotículas são pequenas o suficiente para serem consideradas partículas de aerossóis que podem permanecer suspensas no ar por um período prolongado. Sob todas as condições, exceto as

mais úmidas, as menores gotículas evaporam rapidamente, deixando para trás resíduos sólidos ou semissólidos que consistem em componentes não voláteis do fluido respiratório. Se uma pessoa está infectada, suas gotículas e aerossóis respiratórios podem transportar patógenos e podem ser infecciosos.

As definições tradicionais de transmissão “pelo ar” e por “gotículas” demonstraram-se errôneas; e as definições revisadas dos meios de transmissão estão mais alinhadas aos mecanismos reais pelos quais os patógenos são transferidos de uma pessoa para outra (Marr e Tang 2021). Esses meios de transmissão revisados são (1) inalação de aerossóis, (2) pulverização de grandes gotículas e (3) contato com uma superfície contaminada. A primeira suplanta o conceito de tradicional de transmissão aérea, que se supunha ser aplicada apenas a longa distância, enquanto a segunda e a terceira correspondem às rotas tradicionais de gotículas e fômites (ou contato). Para facilitar a leitura e compreensão, este comitê concordou em fazer uso da terminologia proposta recentemente.

A inalação de aerossóis infecciosos pode causar infecção, embora o risco de contaminação de qualquer indivíduo seja uma função da infectividade do organismo em particular, sua capacidade de permanecer infeccioso no ar, a suscetibilidade da pessoa exposta à infecção, o número de partículas inaladas, a quantidade de vírus infeccioso nas partículas inaladas, onde as partículas são depositadas ao longo do trato respiratório, entre outros fatores.

No passado, pensava-se que a transmissão da maioria dos patógenos respiratórios estava associada principalmente a gotículas maiores, preocupantes apenas para pessoas próximas a uma pessoa infectada. Agora está claro que a transmissão de COVID-19 e outras infecções respiratórias provavelmente é dominada pela inalação de aerossóis infecciosos tanto a curta distância quanto a longa distância (Wang et al. 2021)

As gotículas portadoras de patógenos e partículas em aerossol precipitadas em uma superfície podem ser uma fonte de infecção por meio do contato físico e subsequente toque nos olhos ou nariz ou por uma ressuspensão seguida de inalação.

## Fatores que afetam o risco de infecção respiratória

Tanto a proximidade quanto a duração da exposição à fonte—ou seja, uma pessoa que exala aerossóis infecciosos—são fatores de risco. A proximidade a outras pessoas influencia o risco porque os patógenos transportados pelo ar estão mais concentrados nos jatos expiratórios próximos ao ponto de liberação (Cortellessa et al. 2021). A concentração de aerossóis diminui com a distância. À medida que os aerossóis infecciosos se movem por um espaço, eles podem perder a infectividade com o tempo. O risco de transmissão também aumenta com a duração da exposição (Buonanno et al. 2020).

Do ponto de vista das potenciais intervenções de mitigação de risco, existem quatro fatores principais que influenciam a cadeia de infecção de patógenos aerossolizados: fonte, via, exposição e vulnerabilidade.

A *fonte* abrange os emissores do patógeno, a quantidade de patógeno produzida por cada hospedeiro infectado e a infectividade do patógeno. No caso de patógenos em aerossol, a fonte normalmente será uma pessoa infectada. Em alguns casos, a fonte pode consistir em uma superfície na qual as partículas caíram e podem ser ressuspensas devido à agitação. Em alguns casos, material fecal e patógenos transmitidos pela água podem suspender-se no ar, criando-se um terceiro tipo de fonte.

Muitos fatores influenciam o risco de uma fonte específica, mas o mais importante é a infecciosidade de um determinado patógeno (por exemplo, transmissibilidade).

As exalações liberam gotículas de vários tamanhos, incluindo aquelas pequenas o suficiente para serem consideradas aerossóis. O número, tamanho e velocidade dessas gotículas e aerossóis variam amplamente de acordo com o indivíduo, tipo de atividade respiratória e/ou intensidade metabólica, volume de vocalização e estágio da doença, caso a pessoa estiver infectada. Falar alto, cantar e respirar profundamente em conjunto à atividade física e similares aumentam o número e a velocidade das gotículas e aerossóis descarregados no ar (Coleman et al. 2021; Pöhlker et al. 2021; Tomisa et al. 2021; Wang et al. 2021).

A *via* refere-se ao movimento físico do patógeno entre a fonte e o novo hospedeiro, a duração de tempo em que a fonte e novo hospedeiro estejam próximos, o meio de transferência da fonte para o novo hospedeiro e as características do meio (no caso do ar, umidade, temperatura, padrões de fluxo de ar interior etc.).

A *exposição* depende da taxa de inalação (volume por unidade de tempo), que varia com a atividade física (Wang et al. 2021).

*Vulnerabilidade* refere-se às defesas que o possível novo hospedeiro tem ao patógeno específico que está sendo transmitido. Isso se refere à resposta imune e ao comportamento. A vulnerabilidade em um nível populacional é afetada pelo número de novos potenciais hospedeiros próximos a uma fonte. Portanto, o risco é maior em “centros de transmissão comunitária.” A vulnerabilidade em um nível populacional é similarmente elevada em locais com um grande número de pessoas que são mais suscetíveis que o normal à infecção e com um risco maior de desenvolver alguma doença grave quando infectadas (Bueno de Mesquita et al. 2021).

## Gestão de Risco

O risco de propagação de patógenos pode ser reduzido por intervenções não relacionadas à engenharia (isto é, intervenções farmacêuticas, controles administrativos etc.) e controles de engenharia. É improvável que o risco de exposição à infecção de vários patógenos aerossolizados seja reduzido a zero. O objetivo, portanto, deve ser selecionar um conjunto de estratégias ligadas ou não à engenharia que minimize da forma mais prática o risco e o desperdício.

Dada a variabilidade de fatores que influenciam no risco de infecção em qualquer circunstância, nenhum conjunto único de estratégias de mitigação consegue abarcar a evidência, eficácia, oportunidade e custo em relação a todas as combinações possíveis de fatores de risco.

Em geral, os elaboradores de políticas enfrentam dois grandes conjuntos de condições operacionais: circunstâncias normais, em que há um nível de riscos relativamente regular, e estados epidêmicos, nos quais existem níveis de riscos temporariamente mais altos.

Dentro das condições normais, em grande parte por causa das medidas de saúde pública implementadas ao longo do tempo, experimenta-se um risco relativamente baixo e semelhante de transmissão de todas as doenças transmitidas por aerossóis infecciosos na maioria dos edifícios. Alguns edifícios e espaços, como edifícios de serviços de saúde, normalmente contêm um número maior de pessoas infectadas e imunocomprometidas ou vulneráveis. Portanto, esses espaços garantem níveis mais altos de mitigação de risco em circunstâncias normais.

Em um estado epidêmico, os riscos aumentam, geralmente devido à presença de um determinado patógeno com uma taxa de reprodução particularmente alta e com pouco ou nenhum controle médico amplamente disponível. Os riscos irão variar de acordo com a adesão do público a vários protocolos de comportamento (ou seja, fechamento de bares e shoppings, distanciamento social, uso de máscara etc.).

Para mitigar os riscos de infecção, os elaboradores de políticas têm à sua disposição diferentes medidas de saúde pública. Essas medidas incluem controles de fontes e de vias de transmissão, e controles para proteger pessoas vulneráveis. Os controles de fontes incluem controles administrativos (limitando o acesso a determinado espaço, exigindo triagem etc.), controles farmacêuticos (vacinação), equipamento de proteção individual (EPI), isolamento/separação, rastreamento de contato para facilitar o isolamento/separação e, às vezes, limpeza ou gerenciamento de água. Os controles dos vias de transmissão incluem controles de engenharia (ventilação elétrica ou natural, filtragem passiva e ativa, limpeza do ar, padrões de fluxo de ar interno e controles de temperatura e umidade) e controles não relacionados à engenharia (luz do dia, desinfecção de superfícies e barreiras). Os controles para proteger pessoas vulneráveis incluem controles administrativos, controles farmacêuticos, EPIs e isolamento/separação. Usualmente, a resposta correta para uma situação específica será um conjunto de estratégias de cada uma dessas categorias, que são propensas a variar longo do tempo em resposta à evolução dos níveis de risco.

Um fator complicador é a *velocidade* de variação do risco combinada com a *incerteza* sobre as características de uma nova doença. A mudança de um estado normal para um estado epidêmico pode ocorrer tão rapidamente que danos significativos podem ocorrer antes que os controles sejam implementados. No entanto, evidências definitivas dos modos de transmissão podem não estar disponíveis por muito tempo, e a insistência em evidências incontestáveis pode causar grandes atrasos na resposta. Consequentemente, há um forte argumento para invocar o “princípio da precaução” em tais casos, ou seja, “deve-se tomar medidas razoáveis para evitar ameaças que sejam graves e plausíveis” (Resnik 2004). A aplicação do princípio da precaução exigiria que controles de engenharia capazes de lidar com o pior evento provável já estivessem presentes e prontos para uso quando necessário ou que existissem planos para implantar controles eficazes rapidamente. A importância do princípio da precaução também se estende à orientação de saúde pública que é essencial iniciar uma resposta no tempo correto à uma ameaça grave.

Uma consideração importante para todo os elaboradores de políticas é a necessidade de prescrever controles para os variáveis estados de risco que cada edifício enfrentará. Em geral, operar em um estado apropriado para uma epidemia o tempo todo acarretará desperdício de recursos. A política ideal será aquela que define os controles apropriados para um estado normal (incluindo aqueles espaços com níveis de risco acima do normal) com a flexibilidade de aumentá-los uma velocidade apropriada para corresponder a uma epidemia em desenvolvimento.

Uma dificuldade significativa que os elaboradores de políticas enfrentam ao prescrever o pacote ideal de medidas de mitigação de risco é a resposta variável aos controles administrativos e medidas de EPI e a dificuldade de equilibrar “liberdades.” Ou seja, em alguns casos as pessoas podem se recusar a se distanciar socialmente, vacinar-se e/ou usar máscaras. A necessidade de controles de engenharia em tais casos é muito maior como uma barreira, mas forçar todos os proprietários de edifícios a gastarem valores monetários em controles de engenharia extensivos para permitir a outros a liberdade de não usar máscaras é uma colisão fundamental de direitos.

Este documento de posição pressupõe uma implementação razoável de controles não relacionados à engenharia para mitigar riscos à população em geral, e os elaboradores de políticas estarão aconselhados a usar sua influência para encorajar tal implementação.

Os elaboradores de políticas definirão os níveis aceitáveis de risco e proporão respostas ideais de mitigação de risco. A resposta ideal ao gerenciamento de riscos começará com a suposição de um nível razoável de adoção pública de comportamentos de saúde pública recomendados. Com base nos níveis de risco antecipados e nos recursos disponíveis (incluindo o tempo de resposta), a resposta será um conjunto escalonado de intervenções de engenharia e não engenharia, escalonadas desde o menor custo e o maior benefício/evidência até que o nível apropriado de mitigação seja alcançado.

## CONTROLES DE ENGENHARIA PARA MITIGAÇÃO DA TRANSMISSÃO POR AEROSSOL

Este documento de posição usa o termo “controles de engenharia” para se referir a um grupo de medidas normalmente associadas à “ventilação,” as quais incluem a introdução de ar externo e/ou remoção de ar contaminado por meios mecânicos ou naturais, controle do fluxo de ar dentro de um espaço ou entre espaços, limpeza do ar (inativação de aerossóis infecciosos), controle de temperatura e controle de umidade. Os controles de engenharia bloqueiam as vias de transmissão do aerossol.

A aplicação efetiva da maioria dos controles de engenharia requer experiência técnica e profissional no projeto, instalação, validação, operação e manutenção desses controles, implicando na necessidade de um ecossistema e recursos financeiros para aplicações custo-efetivas (Shen et al. 2021). Sistemas que não operam corretamente podem criar uma falsa sensação de segurança, semelhante ao Efeito Peltzman (Iyengar et al. 2021), levando os ocupantes a assumir riscos evitáveis, assumindo que os controles de engenharia os protegerão.

Controles de engenharia para os quais há forte base de evidência tanto para eficácia como segurança, bem como métodos quantitativos de projeto estabelecidos, incluem ventilação, filtragem, certas tecnologias de limpeza de ar e inativação de aerossóis e padrões efetivos de fluxo de ar interno. Outras tecnologias que não são possuem o mesmo nível de comprovação também podem ser aplicáveis.

### Ventilação

*A ventilação é o processo de fornecer ar ou removê-lo de um espaço por meios naturais ou mecânicos para fins que incluem o controle dos níveis de contaminantes do ar.* A ventilação pode envolver o fornecimento de ar externo, ar recirculado que foi filtrado ou tratado de outra forma, ou uma combinação destes processos. Sua principal função é diluir e deslocar o ar contaminado em um espaço, substituindo-o/misturando-o com o ar menos contaminado ou não contaminado. A ventilação está intimamente ligada à distribuição de ar no ambiente porque os padrões de fluxo de ar afetam a eficácia do fornecimento de ar de ventilação e pode afetar a exposição dos ocupantes.

Em muitos estudos, as taxas de ventilação de ar externo tratado mostraram uma correlação positiva com a qualidade do ar interno, incluindo menor incidência de sintomas da síndrome do edifício doente, absenteísmo e melhor desempenho na realização de tarefas e de aprendizado (Sundell et al. 2011). Da mesma forma, taxas de ventilação mais altas estão associadas a menor incidência de doenças transmitidas pelo ar. No entanto, revisões sistemáticas de pesquisas sobre a relação quantitativa entre risco de infecção e taxa de ventilação concluíram que não existem dados

suficientes para especificar taxas mínimas de ventilação para controle de infecções (Li et al. 2007).

A Norma 62.1 da ANSI/ASHRAE afirma que as taxas na *Ventilation Rate Procedure Table* (Tabela 6-1 na Norma) não se destinam ao controle de infecção: “Os requisitos desta tabela fornecem QAI aceitável. Os requisitos desta tabela não abordam a transmissão aérea de vírus, bactérias e outros contágios infecciosos” (ASHRAE 2019b).

No entanto, taxas de ventilação com base empírica para fins de controle de infecção foram propostas e até implementadas em normas e códigos no passado. Nos primeiros anos do século 20, Billings propôs, e a sociedade predecessora da ASHRAE, ASHVE, recomendou a vazão de ar externo de 30 cfm/pessoa (14,2 l/s por pessoa) com base em considerações de prevenção de infecções (Janssen 1999). As taxas mínimas atuais de fluxo de ar externo encontradas nos padrões são tipicamente de cerca de 15 cfm/pessoa (ASHRAE 2019b). Durante a pandemia de COVID-19, a Organização Mundial da Saúde (*World Health Organization. WHO*) recomendou taxas mínimas de fluxo de ar externo de 10 l/s por pessoa (21,2 cfm/pessoa) para instalações não relacionadas à saúde e 60 l/s por pessoa (127 cfm/pessoa) para a maioria dos espaços em unidades de saúde (WHO 2021). O que parece indiscutível é que as taxas mínimas relacionadas à ventilação de ar externo existentes são significativamente mais baixas do que os níveis recomendados para controle de infecção. Isso se deve ao uso de uma definição de qualidade do ar interno que não aborda a mitigação do risco de infecção.

Edifícios naturalmente ventilados, sem ventilação mecânica, são comuns em grande parte do mundo. O uso de uma estratégia “*push-pull*” (com recursos projetados tanto para introduzir ar externo como incentivar a remoção de ar contaminado) nesses edifícios ajudará a fornecer um suprimento contínuo de ar externo com o mínimo de zonas internas estagnadas (Gilkeson et al. 2013). Essa estratégia também ajudará a fornecer pressurização positiva ou negativa em relação ao ambiente externo para diferentes modos de operação.

Os sistemas de ventilação natural apresentam custos iniciais e operacionais relativamente baixos, se adequadamente integrados a um edifício durante a fase de projeto. Esses sistemas também possuem uma pegada de carbono baixa. No entanto, são difíceis de controlar com precisão; não permitem controle de temperatura ou umidade e não filtram o ar que entra no ambiente. Os sistemas de ventilação mecânica possuem custos significativamente mais altos, tanto para instalação inicial quanto para manutenção e operação contínua. Dependendo da matriz de combustível utilizada, esses sistemas também têm uma pegada de carbono global relativamente alta. No entanto, dada a evidência e a eficácia dos sistemas de ventilação mecânica, a chave para a implantação com sucesso é garantir a máxima eficácia sem incorrer em custos excessivos e sem aumentar as emissões de carbono ao ventilar mais do que o necessário para reduzir o risco de transmissão.

## Filtragem

A filtragem remove partículas do ar dentro de um espaço ou do ar que é recirculado por componentes do sistema AVAC central ou distribuído. Os filtros usados em aplicações AVAC são tipicamente filtros mecânicos feitos de fibras que capturam partículas maiores principalmente por interceptação e impação, e partículas mais finas principalmente por difusão. Os filtros são classificados por vários padrões, como a escala *Minimum Efficiency Reporting Value* (MERV) definida na Norma ANSI/ASHRAE 52.2 (2017). A escala MERV vai de 1 a 16, com números maiores indicando maior eficiência. O desempenho do filtro é avaliado em três faixas de tamanho: 0,3 a 1  $\mu\text{m}$  (E1), 1 a 3  $\mu\text{m}$  (E2) e 3 a 10  $\mu\text{m}$  (E3). A norma ASHRAE 62.1 em geral requer filtros em sistemas AVAC pelo menos de classificação

MERV 8, que não tem eficiência mínima especificada na faixa 1, 20% na faixa 2 e 70% na faixa 3. Dada a distribuição de tamanho dos aerossóis respiratórios, os filtros MERV 8 têm baixa eficácia na redução da exposição à aerossóis infecciosos. A orientação sobre COVID-19 da ASHRAE recomenda aprimorar os filtros para MERV 13, se possível. Os filtros MERV 13 têm requisitos mínimos de eficiência de 50%, 85% e 90% nas faixas 1, 2 e 3, respectivamente. Na área da saúde e em outras aplicações críticas, filtros MERV mais altos e até mesmo filtros de ar particulados de alta eficiência (*high-efficiency particulate air, HEPA*) testados para 99,97% ou maior eficiência para partículas de 0,3 µm podem ser usados. É importante entender que, embora as classificações do filtro sejam geralmente baseadas em partículas de 0,3 µm e maiores, elas podem, de fato, capturar partículas muito menores.

Uma vez que a filtração é um mecanismo projetado para permitir a recirculação do ar já aquecido/resfriado, ela pode ser implantada para mitigar o risco de aerossóis infecciosos enquanto evita um aumento na quantidade de energia necessária para aquecimento/resfriamento. Um filtro fornece resistência ao movimento do ar, portanto mover o ar através de um filtro requer quantidades maiores de energia do ventilador em comparação com o ar não filtrado. Visto que a filtração e a recirculação do ar evitam a necessidade de aquecer/arrefecer o ar, estas proporcionam uma forma de mitigar os riscos com um custo operacional menor se comparado à simplesmente captar ar exterior e tratá-lo antes do uso. O benefício relativo da filtração varia de acordo com o clima e sazonalidade, já que a energia necessária para aquecimento e resfriamento varia.

Foi demonstrado que a filtração remove de forma eficaz partículas que podem ser infecciosas (Bueno de Mesquita et al. 2021). Além disso, à medida que a rede elétrica se torna cada vez mais renovável, a pegada de carbono desta medida diminuirá, além de reduzir a necessidade de energia inicial para aquecimento ou resfriamento, que geralmente deriva da combustão no local com sua maior pegada de carbono.

A filtração pode ser realizada no interior dos dutos de um sistema ou em uma sala com sistema de recirculação. A força de evidência da eficácia da filtração para ar recirculado é relativamente alta (Bueno de Mesquita et al. 2021). Como em outras intervenções relativas à ventilação, a questão da filtração não é se ela funciona, mas sim o quanto é necessário para quanto impacto. Liu et al. (2022) realizaram uma revisão científica sistemática e relataram que há evidências científicas suficientes de que purificadores de ar em ambiente (*in-room air cleaners, IACs*) podem eliminar o SARS-CoV-2 transportado pelo ar. Além da eficácia de um IAC quanto à remoção de aerossóis carregados de vírus, o tamanho e o número de unidades precisam ser escolhidos de acordo com o volume do espaço que estão limpando. Semelhante a outros sistemas de filtração, os IACs estão associados ao aumento do consumo de energia.

## Outras Tecnologias de Limpeza do Ar

Além da ventilação e da filtração, existem outras tecnologias que inativam microrganismos transportados pelo ar ou aumentam a taxa de remoção de aerossóis infecciosos do ar por efeitos eletrostáticos. Estes incluem desinfecção ultravioleta germicida (*germicidal ultraviolet disinfection, GUV*), também conhecida como irradiação germicida ultravioleta (*ultraviolet germicidal irradiation, UVGI*), e vários “purificadores de ar eletrônicos” que produzem várias espécies reativas como íons, radicais de hidroxila e peróxidos, entre outros. Exceto para GUV, que tem sido extensivamente estudado e aplicado por quase um século (Kowalski 2010) e é aprovado pelos Centros de Controle e Prevenção de Doenças dos EUA como um controle para tuberculose em ambientes de saúde (Jensen

et al. 2005; Whalen 2009), a maioria dessas tecnologias não é bem caracterizada devido a uma combinação de qualidade de evidência e, para alguns, preocupações com a produção de subprodutos. O status atual das tecnologias de limpeza do ar é revisado no Documento de Posição da ASHRAE sobre Filtragem e Limpeza do Ar (ASHRAE 2021).

O principal subproduto de preocupação para purificadores de ar eletrônicos é o ozônio, que pode ser produzido por descarga corona e certos comprimentos de onda de luz ultravioleta (UV). Uma das duas colocações do Documento de Posição da ASHRAE sobre Filtragem e Limpeza do Ar aborda a produção de ozônio. Ele declara que purificadores de ar à base de ozônio não devem ser usados, e extremo cuidado deve ser tomado se os purificadores de ar produzirem ozônio como subproduto. Essa preocupação e posição são refletidas na Norma ASHRAE 62.1 (ASHRAE 2019b), a qual exige que todos os purificadores de ar eletrônicos sejam aprovados na Norma UL 2998, que limita a não mais do que cinco ppb de concentração de ozônio nas emissões de um purificador de ar (UL 2020). Tanto as fontes UV germicidas quanto alguns tipos de purificadores de ar de espécies reativas receberam esta certificação. No entanto, o ozônio não é o único subproduto preocupante. Pesquisas recentes relataram a produção de vários contaminantes químicos e aerossóis quando purificadores de ar de espécies reativas são usados (Joo et al. 2021; Ye et al. 2021). As próprias espécies reativas (por exemplo, íons, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, etc.) também podem ser potencialmente perigosas (Collins et al. 2021). Se a quantidade de tal produção representa um risco significativo requer estudos adicionais, e atualmente é um fator que defende cautela na aplicação de purificadores de ar conhecidos por criar subprodutos.

A radiação UV na banda UV-C inativa os microrganismos afetando seus componentes genômicos e estruturais. A suscetibilidade de centenas de microrganismos foi determinada experimentalmente (Kowalski 2010). O comprimento de onda germicida mais comumente usado é 254 nm UV-C, produzido por vapor de mercúrio ou lâmpadas de amálgama. Como esse comprimento de onda pode causar irritação de curto prazo nos olhos e na pele e até mesmo danos graves e duradouros aos olhos, ele é aplicado de maneira a prevenir ou minimizar a exposição dos ocupantes do edifício. Os sistemas ultravioleta germicidas podem ser aplicados de várias maneiras. A implementação mais antiga do GUV para desinfetar o ar é o sistema de “quarto superior”, no qual luminárias suspensas ou montadas na parede criam uma zona de desinfecção acima da zona ocupada. Esses sistemas foram usados pela primeira vez na década de 1930 e se demonstraram muito eficazes contra o sarampo e outras doenças infantis nas escolas (Wells et al. 1942). O UV germicida também é eficaz para a desinfecção do fluxo de ar em sistemas AVAC e purificadores de ar fechados (ASHRAE 2019a). Os sistemas de desinfecção do fluxo de ar instalados em unidades de tratamento de ar podem impedir simultaneamente o crescimento microbiano nas serpentinas de resfriamento, resultando em reduções no custo de manutenção e no uso de energia (Bahnfleth 2017). GUV também tem sido usado para desinfetar superfícies em espaços desocupados para controlar patógenos de infecção associada a serviços de saúde (*healthcare-associated infection, HAI*) em estabelecimentos assistenciais à saúde (Weber et al. 2016; Wong et al. 2016).

Tecnologias emergentes de fonte UV germicida (LEDs e lâmpadas *excimer*) têm o potencial de permitir novas aplicações de GUV. Em particular, “*far UV-C*” em comprimentos de onda mais curtos na faixa UV-C (aproximadamente 200 nm a 230 nm) demonstraram boa eficácia germicida e potencial para segurança para exposição dos ocupantes. Isso permitiria a irradiação sobre o volume total dos espaços ocupados para desinfetar simultaneamente o ar e as superfícies, fornecendo proteção contra transmissão aérea e fômite (Buonanno et al. 2020).

## Padrões de Fluxo de Ar Interno

Os padrões de circulação do ar interno podem afetar o caminho do fluxo de aerossóis a partir da fonte. A zona de respiração dos ocupantes é o espaço mais crítico onde a concentração e movimento de aerossóis podem afetar diretamente o risco de infecção. A eficácia da ventilação em espaços internos depende de vários fatores relacionados ao projeto e operação de sistemas AVAC, que podem impactar os padrões de fluxo de ar em espaços internos. Idealmente, o ar limpo insuflado no ambiente deve varrer os contaminantes da zona de respiração sem que haja recirculação significativa e estagnação que forme bolsões de alta concentração. O ar limpo não deve escapar do espaço sem coletar contaminantes da zona de respiração. Os padrões de fluxo do ar interno, o caminho de fluxo resultante de contaminantes transportados pelo ar e o risco de infecção podem depender de vários fatores, incluindo número, localização e tipo de difusores de insuflamento no espaço; vazões de ar de insuflamento, taxas de troca de ar e jatos dos difusores associados; temperatura do ar de insuflamento; número, tamanho e localização das grelhas de retorno/exaustão; a localização e intensidade de várias fontes de calor em uma sala; arranjo de móveis e outras possíveis obstruções do fluxo de ar; localização, tipo e capacidade dos filtros de ar internos; e, importante, as posições relativas das fontes contaminantes no espaço. A seleção estratégica e o *layout* dos difusores de insuflamento de ar e das grelhas de exaustão podem formar zonas de contenção aerodinâmica do padrão de fluxo de ar interno que podem ajudar a reduzir o risco de exposição a contaminantes em espaços internos (Khankari 2021).

Testes físicos e medições em tempo real de todos os parâmetros que afetam o desempenho da ventilação de espaços fechados geralmente são demorados e trabalhosos, se não impossíveis. Em tais situações, as análises de Dinâmica de Fluidos Computacional (*computational fluid dynamics, CFD*) fornecem uma alternativa viável para obter informações abrangentes sobre o desempenho da ventilação. Se realizadas adequadamente com adequada expertise, as análises de CFD podem ajudar os projetistas a entender os perfis complexos de fluxo de ar interno e o caminho do fluxo de aerossóis. Essas percepções obtidas durante os estágios iniciais do processo de projeto e *retrofit* podem ajudar a melhorar o desempenho da ventilação e reduzir o risco de infecção em espaços internos (Khankari 2016, 2021).

Padrões efetivos de fluxo de ar interno (Bolashikov e Melikov 2009; Khankari 2021) são um fator primário que impulsiona a diluição e não apenas a quantidade de ar fornecida ao espaço. Nenhum estudo forneceu dados suficientes para quantificar a quantidade de ventilação necessária para alcançar a mitigação eficaz do risco (Bueno de Mesquita et al. 2021; Li et al. 2007). A principal razão fundamental é a falta de dados relacionados à intensidade da fonte infecciosa e resposta à dose para estimar o nível necessário de diluição (Li et al. 2007; Pantelic e Tham 2012).

Houve uma maior conscientização de QAI no microambiente durante a pandemia do COVID-19, o que levou à exploração de sistemas inovadores de ventilação e estratégias de fluxo de ar interno. Sistemas de ventilação personalizados que fornecem ar 100% externo, filtrado ou desinfetado por UV diretamente para a zona de respiração do ocupante podem oferecer proteção contra a exposição ao ar contaminado e mitigar o risco de transmissão de aerossóis infecciosos (Bolashikov et al. 2009; Cermak et al. 2006 ; Danca et al. 2022; Ghaddar e Ghali 2022; Licina et al. 2015a, 2015b; Pantelic et al. 2009, 2015). Quando combinados com dispositivos de exaustão localizados ou personalizados, os sistemas de ventilação personalizados aumentam ainda mais a capacidade geral de mitigar a exposição em zonas respiratórias, como visto em estudos experimentais e de CFD em ambientes de

saúde (Bivolarova et al. 2016; Bolashikov et al. 2015; Yang et al. al. 2013, 2014a, 2014b, 2015). Não há estudos epidemiológicos conhecidos que demonstrem claramente uma redução na transmissão de doenças infecciosas a partir dos perfis de fluxo de ar interno.

A comprovação da eficácia do controle do fluxo de ar interno na mitigação do risco de aerossóis infecciosos é moderada (Bueno de Mesquita et al. 2021).

O controle do padrão de fluxo de ar interno incorre em pouco custo adicional ou carbono além das estratégias básicas de ventilação, mas pode exigir experiência de projeto mais extensa com custos correspondentes.

## Controle de Umidade e Temperatura

Pesquisas sugerem que a persistência de vários patógenos infecciosos em aerossóis pode ser afetada por condições ambientais, incluindo temperatura e umidade (Tang 2009). Patógenos diferentes respondem de maneira diferente a condições variáveis de temperatura e umidade. Portanto, tentar alterar o risco por meio desses mecanismos é problemático. Bahnfleth e Degraw descobriram que “embora existam evidências de que o tempo de sobrevivência do vírus SARS-CoV-2 é maior em baixa temperatura e umidade, não está claro se a manipulação da temperatura ou da umidade como medidas de mitigação de risco acarretaria um grande impacto se comparado com outros controles.” (Bahnfleth e Degraw 2021).

A umidificação impõe custos significativos para instalação e operação e gera uma pegada significativa de energia e carbono. Ademais pode criar outros problemas microbianos (por exemplo, crescimento de fungos) dentro do ambiente construído.

## Ventilação Controlada por Demanda

A ventilação há muito se baseia em estimativas do número de pessoas em um espaço ou no volume do espaço. Essas são estimativas estáticas da vazão necessária e nem sempre se ajustam à medida que a ocupação muda. A concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como indicação para a taxa de ventilação por ocupante é comumente usada para modular o fluxo de ar de ventilação (Bhagat et al. 2020; Franco e Schito 2020; Zivelonghi e Lai 2021). No entanto, há desafios com essa abordagem já que as medições de CO<sub>2</sub> podem nem sempre ser representativas da demanda real em um determinado espaço, especialmente com sistemas VAV do tipo recirculação multizona. Além disso, é importante observar que a concentração de CO<sub>2</sub> não é afetada pela filtragem e pela maioria dos outros métodos de limpeza do ar, e portanto não deve ser usada como um indicador direto de risco de infecção. A ASHRAE desenvolveu um documento de posição distinto e documentos de orientação que abordam o uso de CO<sub>2</sub> para controlar a qualidade do ar interno, incluindo o risco de infecção transmitida pelo ar (ASHRAE 2022).

Novas tecnologias de sensores permitem a medição direta de partículas finas em suspensão no ar (PM<sub>2,5</sub>), que podem incluir aerossóis infecciosos (Kaliszewski et al. 2020). A disponibilidade crescente e a queda no custo dos sensores de material particulado (*particulate matter, PM*) sugerem que seu uso para controle de ventilação pode ser viável. Sensores QAI de baixo custo para monitoramento contínuo (Zhang et al. 2021) e sistemas de alerta precoce para infecções por COVID-19 (Peladarinos et al. 2021) foram apresentados. Embora os sensores não possam diferenciar entre aerossóis infecciosos e outros tipos de material particulado, a concentração de particulados finos é uma medida

importante da qualidade do ar que pode ser usada para modular o fluxo de ventilação ou controle de sistemas de purificação do ar. Pesquisas adicionais e protocolos de aplicação são necessários, incluindo o desenvolvimento de protocolos para validar o desempenho.

## CONTROLES DE TRANSMISSÃO DE AEROSSOL NÃO RELACIONADOS À ENGENHARIA

Os controles não relacionados à engenharia usualmente visam a redução da fonte e a proteção de novos hospedeiros vulneráveis.

### Controles Farmacêuticos

Os controles farmacêuticos incluem vacinação, profilaxia, tratamento e outras estratégias. Em geral, essas estratégias funcionam para reduzir a fonte (por exemplo, número de pessoas infectadas, quantidade de patógenos em aerossol) e proteger o novo hospedeiro vulnerável. Essas estratégias geralmente não funcionam para intervir na via de transmissão.

Duas características dos controles farmacêuticos os tornam problemáticos em alguns aspectos. Primeiro, os controles farmacêuticos dependem da adesão pública e acesso adequado. A experiência mostra que nenhum dos dois é perfeito e, por si só, os controles farmacêuticos podem ser insuficientes para a tarefa. Em segundo lugar, especialmente no contexto de uma epidemia, onde a velocidade de mudança do risco é alta, esses controles podem não ser adequados para a necessidade de mitigação do risco.

Portanto, como acontece com outras medidas de controle não relacionadas à engenharia, os controles farmacêuticos são de vital importância, mas frequentemente insuficientes por si mesmos.

### Eliminação do Risco

A eliminação do risco significa a separação das fontes de infecção da população não infectada. Exemplos de tais intervenções podem incluir ordens de permanência em casa para evitar que as pessoas entrem em contato umas com as outras para minimizar o risco de transmissão ou o fechamento de prédios ou espaços para algumas ou todas as pessoas. Outros exemplos desse tipo de estratégia de eliminação do risco são o distanciamento social (ou seja, separar a fonte de infecção por uma distância calculada para mitigar o risco de transmissão) e barreiras entre pessoas em um espaço. No caso de gotículas, mas não de aerossóis, as barreiras entre as pessoas em um espaço podem mitigar o risco de transmissão (Wang et al. 2021).

As estratégias de eliminação do perigo são fortemente dependentes do cumprimento por parte da população; portanto, eles dependem fortemente do cumprimento voluntário. Durante tempos normais, os níveis de ameaça são baixos o suficiente para que a aceitação e adesão de forma frouxa sejam relativamente sem importância. A variação no cumprimento durante epidemias e em locais de alto risco pode ser altamente problemática e exigirá que os líderes liderem de forma responsável e eficaz.

A experiência recente com o COVID-19 mostra de forma dramática a variação potencial na adoção de tais medidas e os resultados para populações locais, regionais, nacionais e internacionais.

De certa forma, as ordens para permanência em casa podem ser vistas como intervenções de baixo custo e baixo consumo de energia. No entanto, eles também têm sérias implicações econômicas para

certos segmentos da população trabalhadora, bem como para a economia como um todo. Alguns trabalhadores, considerados essenciais, devem continuar trabalhando em um momento de risco elevado, ocasionando grandes desigualdades em termos de exposição ao risco. Esses fatores se acumulam à medida que sua aplicação perdura ao longo do tempo.

## Controles Administrativos

Os controles administrativos são exercidos pelas entidades que controlam o acesso e uso de determinados espaços. Essas estratégias incluem fechar prédios ou espaços; limitar o número de pessoas e a duração da ocupação em edifícios ou espaços; e a implementação de requisitos para vacinações, testes e EPI.

A estratégia de fechar completamente edifícios ou espaços, por definição, elimina o risco dentro desses edifícios e espaços. O custo e os impactos de energia/carbono são relativamente baixos em termos de custo direto. No entanto, o custo para uma entidade econômica, para as pessoas que obtêm suas rendas trabalhando nesta entidade, para as pessoas que não recebem serviços que proviriam das atividades no prédio e o custo para a economia como um todo pode ser enorme.

Uma abordagem mais sutil é usar controles administrativos para limitar o número e a distância entre as pessoas em um edifício ou espaço, inclusive limitando a quantidade de tempo que uma ou mais pessoas podem permanecer em um espaço. A eficácia desta estratégia variará em função das taxas de reprodução do patógeno e dos detalhes e eficácia da implementação. No entanto, de forma geral essa abordagem pode mitigar os custos da estratégia de fechamento do prédio, capturando muitos dos benefícios e impondo custos adicionais à entidade que implementa os controles administrativos.

Uma terceira classe de controles administrativos é sobre os comportamentos pessoais dos ocupantes do edifício. Ou seja, a entidade que controla o acesso a um edifício ou espaço pode exigir comprovação de vacinação, teste ou uso de EPI como condição precedente para uma pessoa entrar em um espaço. Essa abordagem utiliza a alta eficácia das estratégias individuais com uma sobreposição adicional do controle administrativo para impor certos níveis de mitigação de risco. Em geral, esse tipo de estratégia tem um custo maior do que controles administrativos focados estritamente em números, porém com maior eficácia. Os proprietários de prédios devem responder pelas leis que regulam a divulgação de informações pessoais de saúde ao exigir comprovação de vacinação ou teste.

## Limpeza

A limpeza pode gerar benefício quando patógenos aerossolizados ou gotículas possam estar depositados sobre superfícies onde eles têm uma vida longa o suficiente para entrar em contato, seja fisicamente ou por reinserção no ar, com uma pessoa não infectada. A limpeza rigorosa em suas diversas formas pode atenuar o risco nos locais onde ocorre. No entanto, as evidências dos benefícios da limpeza para reduzir a transmissão de patógenos aerossolizados são fracas (Bueno de Mesquita et al. 2021).

## Uso de máscaras e EPI

O uso de máscaras pode conter um patógeno se o usuário estiver infectado ou proteger o usuário contra um patógeno em caso de pessoas não infectadas. As evidências mostram que essa estratégia pode ser altamente eficaz e apresenta custos e impactos de carbono muito baixos (Wang et al. 2021).

## Barreiras

O uso de barreiras plásticas dentro de um espaço pode propiciar certa mitigação com relação à pulverização de gotículas em distâncias curtas, mas apenas com modificações correspondentes nos sistemas de ventilação (Capron et. Al 2022). Em alguns casos, barreiras plásticas dentro dos ambientes aumentam o risco (Bueno de Mesquita 2021). A altura das barreiras é mais impactante do que a largura das barreiras. As comprovações da eficácia das barreiras são baixas, contudo os custos e os custos de energia também são baixos.

## Apêndice B: Análise de Taxonomia de Força de Recomendações

### Introdução

Este apêndice tenta criar uma ponte entre o mundo da medicina baseada em evidências (*evidence-based medicine, EBM*) e o imperativo de usar as evidências disponíveis para fazer as recomendações necessárias no mundo prático da aplicação de sistemas de ventilação. Historicamente, o mundo da aplicação de sistemas de ventilação não teve os tipos de investimentos em pesquisa necessários para atingir os níveis exigidos pelos rigores da EBM. Entretanto, as decisões devem ser tomadas com base nas melhores evidências disponíveis. Unir esses dois mundos traz um nível de transparência e rigor para a necessidade prática por orientação dos elaboradores de políticas, ao mesmo tempo que representa também uma chamada para mais pesquisas a fim de fornecer melhores dados no futuro.

Os elaboradores de políticas enfrentam inúmeros desafios para determinar como alocar incentivos e penalidades para orientar o público em direção a resultados que melhor equilibram riscos e compensações. A ciência da ventilação ainda é imprecisa no que diz respeito à especificação de taxas mínimas para controlar a transmissão de aerossóis infecciosos. Assim, os elaboradores de políticas precisam ter as informações mais criteriosas e transparentes à sua disposição para tomar as decisões necessárias. Estes elaboradores de políticas também precisam priorizar a pesquisa para melhor determinar a eficácia das várias estratégias com o objetivo de viabilizar melhores prescrições no futuro. A metodologia usada neste exercício dá um passo importante para atender a essa necessidade.

Como estamos lidando com intervenções voltadas para resultados de saúde—estamos usando a ventilação como uma intervenção para reduzir o risco de infecção—optamos por desenvolver uma versão de uma ferramenta comumente usada na EBM.

A essência da EBM é fornecer orientação aos profissionais e elaboradores de políticas integrando as melhores evidências de pesquisa com experiência clínica e valores do paciente (Sackett et al. 2000), bem como o cenário e as circunstâncias em que as intervenções de saúde estão sendo realizadas (Guyatt et al. 2015). Uma metodologia central para a EBM é o uso da Taxonomia de Força de Recomendação (*Strength of Recommendation Taxonomy, SORT*). Em geral, as metodologias SORT tentam avaliar as evidências que sustentam o uso de uma determinada intervenção, balanceadas com os aspectos indesejáveis da intervenção, como efeitos colaterais (Guyatt et al. 2015).

A tradução direta das metodologias de EBM para a ciência da ventilação é difícil devido ao tipo de evidência geralmente disponível para informar as decisões de ventilação. Esse esforço usa uma SORT apropriada para fornecer acurácia e transparência de maneiras que devem elevar a credibilidade das recomendações.

### Medindo a qualidade da evidência

A SORT começa com uma avaliação das evidências disponíveis. Aqui, a qualidade da evidência foi avaliada usando a seguinte metodologia descrita. Um questionário foi desenvolvido para cada intervenção, comparando o resultado com e sem a medida de engenharia específica, ou seja: em áreas com transmissão de patógenos aéreos (população), qual é o efeito da limpeza do ar (UVGI) (intervenção) na transmissão de patógenos respiratórios (Resultado) em comparação com configurações sem tecnologia UVGI (Controle)? Com o PICO (*Population, Intervention, Control,*

*Outcome*) desenvolvido, uma pesquisa bibliográfica foi feita na biblioteca digital JSTOR, PubMed e ScienceDirect.

Apenas revisões sistemáticas abordando a intervenção específica e patógenos respiratórios foram incluídas. Apenas os seis artigos seguintes foram finalmente incluídos:

- Dandnayak, D., L. Zhong, and L. Hartling. 2021. The impact of heating, ventilation, and air conditioning design features on the transmission of viruses, including the 2019 novel coronavirus: A systematic review of ultraviolet radiation. <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2021.10.12.21264904v1.full.pdf>.
- Liu, D.T., K.M. Philips, M.M. Speth, G. Besser, C.A. Mueller, and A.R. Sedaghat. 2021. Portable HEPA Purifiers to Eliminate Airborne SARS-CoV-2: A Systematic Review. *Otolaryngology—Head and Neck Surgery* 166(4). <https://doi.org/10.1177/01945998211022636>.
- NCCHE. 2021. A rapid review of the use of physical barriers in non-clinical settings and COVID-19 transmission. Vancouver, BC, Canada: National Collaborating Center for Environmental Health. <https://nccch.ca/documents/evidence-review/rapid-review-use-physical-barriers-non-clinical-settings-and-covid-19>.
- Talic, S., S. Shah, H. Wild., D. Gasevic, A. Maharaj, Z. Ademi, X. Li, W. Xu, I. Mesa-Eguiagaray, J. Rostron, E. Theodoratou, X. Zhang, A. Motee, D. Liew, and D. Ilic. 2021. Effectiveness of public health measures in reducing the incidence of covid-19, SARS-CoV-2 transmission, and covid-19 mortality: systematic review and meta-analysis. *BMJ* 2021:375. <https://doi.org/10.1136/BMJ-2021-068302>.
- Thornton, G.M., B.A. Fleck, E. Kroeker, D. Dandnayak, N. Fleck, L. Zhong, and L. Hartling. 2021. The impact of heating, ventilation, and air conditioning design features on the transmission of viruses, including the 2019 novel coronavirus: a systematic review of ventilation and coronavirus. *MedRxiv* 2021.10.08.21264765. <https://doi.org/10.1101/2021.10.08.21264765>.
- WHO. 2019. Non-pharmaceutical public health measures for mitigating the risk and impact of epidemic and pandemic influenza. Geneva: World Health Organization <https://www.who.int/publications/i/item/non-pharmaceutical-public-health-measures-for-mitigating-the-risk-and-impact-of-epidemic-and-pandemic-influenza>.

Embora a qualidade da evidência a partir da perspectiva estrita da EBM seja baixa, outra classe de estudos, devidamente classificada como *experimentos naturais*, ganhou atenção em áreas onde os ensaios controlados são difíceis (DiNardo 2008, 2010). De fato, o Prêmio Nobel de Economia de 2021 foi concedido a pioneiros no uso de experimentos naturais. Em certo sentido, os tipos de estudos geralmente disponíveis com relação ao valor da ventilação na mitigação de riscos, conforme fortemente exemplificado pelo trabalho da Força-Tarefa de Epidemia da ASHRAE durante a crise do COVID, se enquadram exatamente nesse domínio. E, enquanto os mundos da ciência e do direito possam ter uma relação difícil, vários padrões legais para a tomada de decisões usam uma preponderância de tais evidências em face da incerteza —o tipo de incerteza que inevitavelmente os elaboradores de políticas enfrentam. Ao chegar às suas conclusões, esses especialistas criteriosamente reunidos para este Documento de Posição devem confiar fortemente em tais experimentos naturais, juntamente com as leis fundamentais e invioláveis da física combinadas com uma compreensão da exposição e dose para informar seus julgamentos. E, assim, nós expressamos as evidências disponíveis da estrita perspectiva da EBM e das evidências indiretas dos experimentos naturais e da ciência fundamental atualmente disponíveis para nós.

## Avaliação do Benefício, Custo e Impactos de energia/carbono de uma Intervenção

Uma percepção chave para a SORT é o equilíbrio entre “as consequências desejáveis e indesejáveis de estratégias alternativas de gerenciamento, com base nas melhores estimativas dessas consequências” (Guyatt et al. 2008). No presente caso, os benefícios são impossíveis de quantificar. Ou seja, dada a ampla gama de patógenos de diferentes virulências e infectividade, juntamente com a adoção incerta de outras intervenções não relacionadas à ventilação, o problema de desenho de linha (*line-drawing problem*) associado a estratégias de ventilação, (por exemplo, quão melhores são quatro trocas de ar por hora do que duas?), e a dificuldade de prever a frequência de ocorrência, torna impossível afirmar com precisão os benefícios. Portanto, contamos com uma estimativa de eficácia multidisciplinar, baseada em consenso de especialistas, usando a técnica Delphi (Yousuf 2007).

A Técnica Delphi obtém consenso dentro de um painel de especialistas através uma série de questionários que são alimentados de volta ao painel após cada rodada subsequente. Foi o método mais adequado para esta comissão porque:

- A técnica Delphi reúne opiniões sem a necessidade de reunir de forma presencial os panelistas, o que seria especialmente problemático com um grupo de especialistas dispersos geograficamente.
- Os questionários são preenchidos de forma independente e confidencial, evitando o domínio de indivíduos em particular e permitindo que os participantes expressem suas ideias sem a preocupação de serem associados a essas ideias. Isso não poderia ser alcançado usando a discussão do grupo focal.
- O processo de feedback encoraja os participantes a considerar itens levantados por outros que eles próprios podem ter perdido e os permite mudar de opinião ao longo do processo (Couper 1984). Também apresenta a opinião coletiva do grupo de maneira não adversarial (Hasson et al.2000). Este tipo de mecanismo de feedback está ausente nas entrevistas diretas (Smithson 2000).

A técnica envolve três etapas básicas.

A primeira pesquisa ou questionário enviado ao painel de especialistas (neste caso, os membros deste comitê) pede uma lista de opiniões envolvendo experiências e julgamentos e uma lista de previsões. Na segunda rodada, uma cópia da lista coletiva é enviada a cada especialista, e o especialista é solicitado a avaliar cada item pelo critério de importância fornecido na pesquisa. O terceiro questionário inclui a lista, as classificações indicadas e o consenso. É solicitado aos especialistas que revisem suas opiniões ou discutam suas razões para não alcançar um consenso entre o grupo.

O custo de cada item foi avaliado como uma “média” do custo do ciclo de vida, incluindo os custos iniciais e contínuos. Esses custos são uma espécie de média agregada e não refletem necessariamente os custos relativos em qualquer local específico. Note que esta estimativa é relativa porque faz distinção entre custos absolutos e não custos no contexto dos recursos disponíveis. Assim, por exemplo, uma estratégia pode ser considerada de baixo custo em um ambiente relativamente abastado, mas de alto custo em um ambiente de recursos relativamente baixos. No entanto, em ambos os casos, terá um custo menor do que outras alternativas, por isso é avaliada como uma estratégia de baixo custo.

A segunda dimensão do custo é o custo do consumo de energia e as emissões de carbono resultantes. Reconhecendo a ciência e a urgência da necessidade de abordar a mudança climática, juntamente com a forte influência do ambiente construído sobre esta questão crítica, a ASHRAE criou recentemente uma equipe para estudar maneiras de descarbonizar os edifícios. Consistente com a ciência e a direção desta organização, fornecemos estimativas relativas do potencial de emissões ao longo da vida das estratégias em consideração. Obviamente, a urgência de uma epidemia pode superar os impactos muito mais difusos e de longo alcance das mudanças climáticas associadas a uma estratégia específica. No entanto, também reconhecemos que a implantação em massa de uma estratégia específica com maior potencial de aquecimento global (*global warming potential, GWP*) criará uma fonte permanente de emissões. Portanto, ao comparar duas potenciais estratégias, cada uma com evidências e benefícios semelhantes, deve-se dar preferência à solução com menor GWP.

## Recomendações

A etapa final de uma SORT é alcançar uma recomendação com base na força de evidência e no equilíbrio entre os aspectos desejáveis e indesejáveis de uma determinada intervenção.

Algumas versões da SORT usam algoritmos para derivar a força de recomendação do Benefício, Custo e Força da Evidência. Na nossa avaliação, devido à relativa falta de pesquisas definitivas, novamente fizemos uso da Técnica Delphi para melhor determinar o consenso do comitê de especialistas. A tabela resultante expressa nossa melhor tentativa de classificar nossas medidas recomendadas para mitigação de risco com base nas melhores evidências que pudemos reunir. Este exercício indica a necessidade de uma pesquisa multidisciplinar e aprofundada envolvendo essas técnicas e um grande grupo de especialistas no assunto de uma ampla variedade de disciplinas.

## Sumário de estratégias

A evidência atual da associação entre taxa de ventilação e infecção aérea é fraca em termos de projeto de estudo. No entanto, há evidências indiretas sólidas para mostrar que o aumento da ventilação e estratégias relacionadas discutidas aqui estão associadas a um risco reduzido de infecção transmitida pelo ar (Li et al. 2007). A ventilação reduz o risco, mas os requisitos mínimos de ventilação para mitigar o risco de aerossóis infecciosos exigem uma investigação mais aprofundada.

Reconhecemos que, do ponto de vista estrito da medicina baseada em evidências rigorosas, as evidências disponíveis são de baixa qualidade devido ao conjunto específico de métodos e procedimentos usados para coletar e analisar dados em estudos ecológicos e retrospectivos. As limitações éticas, os múltiplos fatores envolvidos nos mecanismos aéreos e a especificidade da dinâmica da ventilação interna urgem uma metodologia inovadora para produzir evidências sólidas para informar os órgãos reguladores do ambiente predial e as instituições de saúde pública.

<b>Estratégia</b>	<b>Qualidade de Evidência (da perspectiva da EBM)</b>	<b>Evidência indireta</b>	<b>Magnitude do Benefício</b>	<b>Custo de ciclo de vida</b>	<b>Energia e carbono</b>	<b>Força de recomendação</b>
Distanciamento físico	Moderado	Alto*	Moderado	Baixo	Baixo	Forte recomendação
Barreiras entre ocupantes	Baixo	Baixo*	Baixo	Moderado	Baixo	Recomendação condicional
Limpeza de superfícies e objetos	Baixo	Moderado*	Baixo	Baixo	Baixo	Recomendação condicional
Máscara facial	Moderado	Alto *	Alto	Baixo	Baixo	Forte recomendação
Ventilação corretamente dimensionada—natural	Baixo	Alto **	Moderado	Baixo	Baixo	Forte recomendação
Ventilação corretamente dimensionada—mecânica	Baixo	Alto**	Alto	Alto	Alto	Forte recomendação
Filtração (requer ventilação mecânica)	Moderado	Alto**	Moderado	Moderado	Alto	Recomendação
Limpeza do ar (UVGI)	Moderado	Alto **	Moderado	Alto	Moderado	Recomendação condicional
Limpeza do ar (Outro)	Nenhum	Alto **	Baixo	Alto	Moderado	Recomendação fraca
Padrões de fluxo de ar interno	Moderado	Alto**	Alto	Moderado	Baixo	Recomendação
Controle de umidade (requer ventilação mecânica)	Nenhum	Baixo**	Baixo	Alto	Alto	Forte recomendação

\* Capron et al. 2022

\*\* de Mesquita et al. (2022)

## REFERÊNCIAS

- ASHRAE. 2017. ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2017, *Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size*. Peachtree Corners, GA: ASHRAE.
- ASHRAE. 2019a. Chapter 62, "Ultraviolet Air and Surface Treatment." In *ASHRAE Handbook—2019 AVAC Applications*. Peachtree Corners, GA: ASHRAE.
- ASHRAE. 2019b. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2019, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Peachtree Corners, GA: ASHRAE.
- ASHRAE. 2021. *ASHRAE Position Document on Filtration and Air Cleaning*. Peachtree Corners, GA: ASHRAE.
- ASHRAE. 2022. *ASHRAE Position Document on Indoor Carbon Dioxide*. Peachtree Corners, GA: ASHRAE.
- Bahnfleth, W., and J. Degraw. 2021. Reducing Airborne Infectious Aerosol Exposure. *ASHRAE Journal* 63(5):18–21.
- Bahnfleth, W.P. 2017. Cooling coil ultraviolet germicidal irradiation. *ASHRAE Journal* 59(10):72–74.
- Bhagat, R. K., M.S. Davies Wykes, S.B. Dalziel, and P.F. Linden. 2020. Effects of ventilation on the indoor spread of COVID-19. *Journal of Fluid Mechanics* 903 F1. Cambridge Core.  
<https://doi.org/10.1017/jfm.2020.720>.
- Bivolarova, M.P., A.K. Melikov, C. Mizutani, K. Kajiwara, and Z.D. Bolashikov. 2016. Bed-integrated local exhaust ventilation system combined with local air cleaning for improved IAQ in hospital patient rooms. *Building and Environment* 100:10–18. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.02.006>.
- Bolashikov, Z.D., M. Barova, and A. Melikov. 2015. Wearable personal exhaust ventilation (WPEV): Improved indoor air quality and reduced exposure to air exhaled from a sick doctor. *Science and Technology for the Built Environment* 21(8): 1117–125. <https://doi.org/10.1080/23744731.2015.1091270>.
- Bolashikov, Z.D., and A.K. Melikov. 2009. Methods for air cleaning and protection of building occupants from airborne pathogens. *Proceedings of the 6th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation & Energy Conservation in Buildings (IAQVEC 2007), Sendai, Japan, October 28-31, 2007*, 44(7), 1378–1385. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.09.001>.
- Bueno de Mesquita, P.J., W.W. Delp, W.R. Chan, W.P. Bahnfleth, and B.C. Singer. 2021. Control of airborne infectious disease in buildings: Evidence and research priorities. *Indoor Air* 32(1).  
<https://doi.org/10.1111/ina.12965>.
- Buonanno, G., L. Morawska, and L. Stabile. 2020. Quantitative assessment of the risk of airborne transmission of SARS-CoV-2 infection: Prospective and retrospective applications. *Environment International* 145:106112. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106112>.
- Buonanno, M., D. Welch, I. Shuryak, and D.J. Brenner. 2020. Far-UVC light (222 nm) efficiently and safely inactivates airborne human coronaviruses. *Scientific Reports* 10(1):10285.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-67211-2>.
- Capron, A., P. Garc, and E. Schenk. 2022. *Public Health Lessons for Non-Vaccine Influenza Interventions: Looking Past COVID-19*. Washington, DC: The National Academies Press.  
<https://doi.org/10.17226/26283>.
- Cermak, R., A.K. Melikov, L. Forejt, and O. Kovar. 2006. Performance of Personalized Ventilation in Conjunction with Mixing and Displacement Ventilation. *AVAC&R Research* 12(2): 295–311.  
<https://doi.org/10.1080/10789669.2006.10391180>.
- Coleman, K. K., D.J.W. Tay, K.S. Tan, S.W.X. Ong, T.S. Than, M.H. Koh, Y.Q. Chin, H. Nasir, T.M. Mak, J.J.H. Chu, Milton, D. K., Chow, V. T. K., Tambyah, P. A., Chen, M., & Tham, K. W. (2021). Viral Load of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) in Respiratory Aerosols Emitted by Patients With Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) While Breathing, Talking, and Singing. *Clinical Infectious Diseases* 74(10):1722–1728. <https://doi.org/10.1093/cid/ciab691>.
- Collins, Douglas B., and Farmer, Delphine K., (2021). Unintended Consequences of Air Cleaning Chemistry. *Environmental Science & Technology* 55(18):12172-12179.
- Cortellessa, G., Stabile, L., Arpino, F., Faleiros, D. E., van den Bos, W., Morawska, L., & Buonanno, G. (2021). Close proximity risk assessment for SARS-CoV-2 infection. *The Science of the Total Environment* 794:

148749–148749. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148749>.

- Couper, M. 1984. The Delphi technique: Characteristics and sequence model. *ANS Adv Nurs Sci* 7(1), 72–77. <https://doi.org/10.1097/00012272-198410000-00008>.
- Danca, P., C.I. Coşoiu, I. Nastase, F. Bode, and M.R. Georgescu. 2022. Personalized Ventilation as a Possible Strategy for Reducing Airborne Infectious Disease Transmission on Commercial Aircraft. *Applied Sciences* 12(4). <https://doi.org/10.3390/app12042088>.
- Dinardo, J. 2010. Natural Experiments and Quasi-Natural Experiments. In S. N. Durlauf & L. E. Blume (Eds.), *Microeconometrics*: 139–153. Palgrave Macmillan UK. [https://doi.org/10.1057/9780230280816\\_18](https://doi.org/10.1057/9780230280816_18).
- Forum of International Respiratory Societies. 2017. *The Global Impact of Respiratory Disease—Third Edition*. European Respiratory Society. [https://www.firsnet.org/images/publications/FIRS\\_Master\\_09202021.pdf](https://www.firsnet.org/images/publications/FIRS_Master_09202021.pdf)
- Franco, A., and E. Schito, E. 2020. Definition of Optimal Ventilation Rates for Balancing Comfort and Energy Use in Indoor Spaces Using CO<sub>2</sub> Concentration Data. *Buildings* 10(8). <https://doi.org/10.3390/buildings10080135>.
- Ghaddar, N., and K. Ghali. 2022. Ten questions concerning the paradox of minimizing airborne transmission of infectious aerosols in densely occupied spaces via sustainable ventilation and other strategies in hot and humid climates. *Building and Environment* 214:108901. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108901>.
- Gilkeson, C.A., M.A. Camargo-Valero, L.E. Pickin, and C.J. Noakes. 2013. Measurement of ventilation and airborne infection risk in large naturally ventilated hospital wards. *Building and Environment* 65(July 2013):35–48. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.03.006>
- Guyatt, G., A.D. Oxman, R. Kunz, Y. Falck-Ytter, G.E. Vist, A. Liberati, and H.J. Schünemann. 2008. Going from evidence to recommendations. *BMJ* 336(7652):1049. <https://doi.org/10.1136/bmj.39493.646875.AE>.
- Guyatt, G., D. Rennie, M. Meade, and D. Cook. 2015. *Users' guides to the medical literature: A manual for evidence-based clinical practice, Third Edition*. New York: McGraw Hill.
- Hasson, F., S. Keeney, and H. McKenna. 2000. Research guidelines for the Delphi survey technique. *Journal of Advanced Nursing* 32(4): 1008–1015.
- Iyengar, K.P., P. Ish, R. Botchu, V.K. Jain, and R. Vaishya. 2021. Influence of the Peltzman effect on the recurrent COVID-19 waves in Europe. *Postgraduate Medical Journal* 98:e110–e111. <https://doi.org/10.1136/postgradmedj-2021-140234>.
- Janssen, J.E. 1999. The history of ventilation and temperature control: The first century of air conditioning. *ASHRAE Journal* 41(10): 48–52.
- Jensen, P.A., L.A. Lambert, M.F. Iademarco, and R. Ridzon. 2005. Guidelines for preventing the transmission of Mycobacterium tuberculosis in health-care settings. *MMWR. Recommendations and Reports: Morbidity and Mortality Weekly Report. Recommendations and Reports / Centers for Disease Control*. 2005; 54(RR-17):1-141., 54(17). <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/6659>.
- Joo, T., J.C. Rivera-Rios, D. Alvarado-Velez, S. Westgate, and N.L. Ng. 2021. Formation of Oxidized Gases and Secondary Organic Aerosol from a Commercial Oxidant-Generating Electronic Air Cleaner. *Environmental Science & Technology Letters* 8(8):691–98. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00416>.
- Kaliszewski, M., M. Włodarski, J. Młyńczak, and K. Kopczyński. 2020. Comparison of Low-Cost Particulate Matter Sensors for Indoor Air Monitoring during COVID-19 Lockdown. *Sensors* 20(24). <https://doi.org/10.3390/s20247290>.
- Khankari, K. 2016. Patient room AVAC. *ASHRAE Journal* 58(6):16–26.
- Khankari, K. 2021. Analysis of spread of airborne contaminants and risk of infection. *ASHRAE Journal* 63(7):14–20.
- Kowalski, W. 2010. *Ultraviolet germicidal irradiation handbook: UVGI for air and surface disinfection*. Berlin: Springer Science and Business Media.
- Li, Y., G.M. Leung, J. Tang, X. Yang, C. Chao, J.Z. Lin, J. Lu, P.V. Nielsen, J. Niu, and H. Qian. 2007. Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in the built environment—a multidisciplinary

- systematic review. *Indoor Air* 17(1):2–18.
- Licina, D., A. Melikov, C. Sekhar, and K.W. Tham. 2015a. Human convective boundary layer and its interaction with room ventilation flow. *Indoor Air* 25(1):21–35. <https://doi.org/10.1111/ina.12120>.
- Licina, D., A. Melikov, J. Pantelic, C. Sekhar, and K.W. Tham. 2015b. Human convection flow in spaces with and without ventilation: Personal exposure to floor-released particles and cough-released droplets. *Indoor Air* 25(6), 672–682. <https://doi.org/10.1111/ina.12177>.
- Liu, D.T., K.M. Phillips, M.M. Speth, G. Besser, C.A. Mueller, and A.R. Sedaghat. 2022. Portable HEPA Purifiers to Eliminate Airborne SARS-CoV-2: A Systematic Review. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery* 166(4):615–622. <https://doi.org/10.1177/01945998211022636>.
- Noakes, C.J., and P.A. Sleight. 2009. Mathematical models for assessing the role of airflow on the risk of airborne infection in hospital wards. *Journal of the Royal Society Interface* 6(suppl\_6):S791–S800.
- Pantelic, J., G.N. Sze-To, K.W. Tham, C.Y. Chao, and Y.C.M. Khoo. 2009. Personalized ventilation as a control measure for airborne transmissible disease spread. *Journal of the Royal Society Interface* 6(suppl\_6):S715–S726.
- Pantelic, J., and K.W. Tham. 2012. Assessment of the mixing air delivery system ability to protect occupants from the airborne infectious disease transmission using Wells–Riley approach. *AVAC&R Research* 18(4):562–574. <https://doi.org/10.1080/10789669.2012.647230>.
- Pantelic, J., K.W. Tham, and D. Licina. 2015. Effectiveness of a personalized ventilation system in reducing personal exposure against directly released simulated cough droplets. *Indoor Air* 25(6):683–693. <https://doi.org/10.1111/ina.12187>.
- Peladarinos, N., V. Cheimaras, D. Piromalis, K.G. Arvanitis, P. Papageorgas, N. Monios, I. Dogas, M. Stojmenovic, and G. Tsaramirsis. 2021. Early Warning Systems for COVID-19 Infections Based on Low-Cost Indoor Air-Quality Sensors and LPWANs. *Sensors* 21(18). <https://doi.org/10.3390/s21186183>.
- Pöhlker, M.L., O.O. Krüger, J.-D. Förster, T. Berkemeier, W. Elbert, J. Fröhlich-Nowoisky, U. Pöschl, C. Pöhlker, G. Bagheri, and E. Bodenschatz. 2021. Respiratory aerosols and droplets in the transmission of infectious diseases. *ArXiv Preprint ArXiv:2103.01188*.
- Shen, J., M. Kong, B. Dong, M.J. Birnkrant, and J. Zhang. 2021. Airborne transmission of SARS-CoV-2 in indoor environments: A comprehensive review. *Science and Technology for the Built Environment* 27(10):1331–1367. <https://doi.org/10.1080/23744731.2021.1977693>.
- Smithson, J. 2000. Using and analysing focus groups: Limitations and possibilities. *International Journal of Social Research Methodology* 3(2):103–119. <https://doi.org/10.1080/136455700405172>.
- Sundell, J., H. Levin, W.W. Nazaroff, W.S. Cain, W.J. Fisk, D.T. Grimsrud, F. Gyntelberg, Y. Li, A.K. Persily, A.C. Pickering, J.M. Samet, J.D. Spengler, S.T. Taylor, and C.J. Weschler. 2011. Ventilation rates and health: Multidisciplinary review of the scientific literature. *Indoor Air* 21(3):191–204. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2010.00703.x>.
- Sze To, G.N., and C.Y.H. Chao. 2010. Review and comparison between the Wells-Riley and dose-response approaches to risk assessment of infectious respiratory diseases. *Indoor Air* 20(1):2–16. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2009.00621.x>.
- Tang, J.W. 2009. The effect of environmental parameters on the survival of airborne infectious agents. *Journal of the Royal Society Interface* 6(suppl\_6):S737–S746.
- Tomisa, G., A. Horváth, Á. Farkas, A. Nagy, E. Kis, and L. Tamási. 2021. Real-life measurement of size-fractionated aerosol concentration in a plethysmography box during the COVID-19 pandemic and estimation of the associated viral load. *Journal of Hospital Infection* 118:7–14. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2021.08.025>.
- UL. 2020. UL 2998, *Environmental Claim Validation Procedure (ECVP) for Zero Ozone Emissions from Air Cleaners, Third Edition*. Northbrook, IL: Underwriters Laboratories, Inc.
- Wang, C.C., K.A. Prather, J. Sznitman, J.L. Jimenez, S.S. Lakdawala, Z. Tufekci, and L.C. Marr. 2021. Airborne transmission of respiratory viruses. *Science* 373(6558). <https://doi.org/10.1126/science.abd9149>.
- Weber, D. J., W.A. Rutala, D.J. Anderson, L.F. Chen, E.E. Sickbert-Bennett, and J.M. Boyce. 2016. Effectiveness of ultraviolet devices and hydrogen peroxide systems for terminal room decontamination: Focus on

- clinical trials. *Disinfection, Sterilization and Antisepsis: Principles, Practices, Current Issues, New Research and New Technologies* 44(5, Supplement):e77–e84.  
<https://doi.org/10.1016/j.ajic.2015.11.015>.
- Wells, W., M. Wells, and T. Wilder. 1942. The environmental control of epidemic contagion. I. *An Epidemiologic Study of Radiant Disinfection of Air in Day Schools* *Am J Hyg* 35:97–121.
- Whalen, J. J. 2009. *Environmental control for tuberculosis; basic upper-room ultraviolet germicidal irradiation guidelines for healthcare settings guide*. <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/5306>.
- Wong, T., T. Woznow, M. Petrie, E. Murzello, A. Muniak, A. Kadora, and E. Bryce. 2016. Postdischarge decontamination of MRSA, VRE, and *Clostridium difficile* isolation rooms using 2 commercially available automated ultraviolet-C-emitting devices. *American Journal of Infection Control* 44(4):416–420. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2015.10.016>
- Woods, J., N. James, E. Kozubal, E. Bonnema, K. Brief, L. Voeller, and J. Rivest. 2022. Humidity's impact on greenhouse gas emissions from air conditioning. *Joule* 6(4):726–741.  
<https://doi.org/10.1016/j.joule.2022.02.013>.
- WHO. 2004. *Laboratory Biosafety Manual, Third Ed*. Geneva: World Health Organization.
- WHO. 2014. *Infection prevention and control of epidemic-and pandemic-prone acute respiratory infections in health care*. Geneva: World Health Organization.
- WHO. 2021. *Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19*. Geneva: World Health Organization.
- Yang, J., C. Sekhar, D. Cheong, and B. Raphael. 2014a. Performance evaluation of an integrated Personalized Ventilation—Personalized Exhaust system in conjunction with two background ventilation systems. *Building and Environment* 78:103–110. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.04.015>.
- Yang, J., C. Sekhar, D.K.W. Cheong, and B. Raphael. 2014b. Performance Evaluation of a Novel Personalized Ventilation – Personalized Exhaust System for Airborne Infection Control. *Indoor Air* 25 (2):176–187. <https://doi.org/10.1111/ina.12127>.
- Yang, J., C. Sekhar, D.K.W. Cheong, and B. Raphael. 2015. A time-based analysis of the personalized exhaust system for airborne infection control in healthcare settings. *Science and Technology for the Built Environment* 21(2):172–178. <https://doi.org/10.1080/10789669.2014.976511>.
- Yang, J., C. Sekhar, D.C.K. Wai, and B. Raphael. 2013. Computational fluid dynamics study and evaluation of different personalized exhaust devices. *AVAC&R Research* 19(8):934–946.  
<https://doi.org/10.1080/10789669.2013.826066>.
- Yang, W., and L.C. Marr. 2011. Dynamics of Airborne Influenza A Viruses Indoors and Dependence on Humidity. *PLOS ONE* 6(6): e21481. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021481>.
- Ye, Q., J.E. Krechmer, J.D. Shutter, V.P. Barber, Y. Li, E. Helstrom, L.J. Franco, J.L. Cox, A.I.H. Hrdina, M.B. Goss, N. Tahsini, M. Canagaratna, F.N. Keutsch, and J.H. Kroll. 2021. Real-Time Laboratory Measurements of VOC Emissions, Removal Rates, and Byproduct Formation from Consumer-Grade Oxidation-Based Air Cleaners. *Environmental Science & Technology Letters* 8(12):1020–1025.  
<https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00773>.
- Yousuf, M. I. 2007. Using expert opinions through Delphi technique. *Practical Assessment, Research, and Evaluation* 12(1): Article 4.
- Zhang, H., R. Srinivasan, and V. Ganesan. 2021. Low Cost, Multi-Pollutant Sensing System Using Raspberry Pi for Indoor Air Quality Monitoring. *Sustainability* 13(1). <https://doi.org/10.3390/su13010370>.
- Zivelonghi, A., and M. Lai. 2021. Mitigating aerosol infection risk in school buildings: The role of natural ventilation, volume, occupancy and CO<sub>2</sub> monitoring. *Building and Environment* 204:108139.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108139>.

## **EQUIPE DO COMITÊ DE REVISÃO DE DOCUMENTOS**

*O Documento de Posição da ASHRAE sobre Aerossóis Infecciosos foi desenvolvido pelo Comitê de Revisão de Documentos de Posição da Sociedade formado por Walt Vernon como seu presidente.*

**William P. Bahnfleth, PhD, PE**  
Pennsylvania State University  
State College, Pennsylvania,  
United States

**Luca Fontana**  
World Health Organization  
Geneva, Switzerland

**Kishor Khankari, PhD, FASHRAE**  
Ansiht LLC Ann Arbor,  
MI, United States

**Yuguo Li, PhD**  
The University of Hong Kong  
Hong Kong, China

**Linsey Marr, PhD**  
Virginia Tech Blacksburg,  
Virginia, United States

**Jovan Pantelic, PhD**  
Well Living Laboratory  
Rochester, MN

**Chandra Sekhar, PhD, FASHRAE**  
National University of Singapore  
Singapore

**Wayne Thomann, PhD**  
Duke University  
Durham, North Carolina, United States

**Walt Vernon, PE, MBA, JD, LLM**  
Mazzetti  
San Francisco, California, United States

## **Comitê Conhecedor**

*O presidente da Comissão de Saúde Ambiental também atuou como membro ex-officio.*

**Luke Leung**  
Comitê de Saúde Ambiental, Presidente  
Skidmore Owings & Merrill  
Clarendon Hills, IL

## HISTÓRICO DO DOCUMENTO

### Histórico de publicação e revisão

O seguinte resume as datas de revisão, reafirmação ou retirada:

**24/06/2009**— BOD aprova Documento de Posicionamento intitulado *Doenças Infecciosas Transmitidas pelo Ar*

**25/01/2012**— BOD aprova Documento de Posicionamento intitulado *Doenças Infecciosas Transmitidas pelo Ar*

**19/01/2014**— BOD aprova Documento de Posicionamento intitulado *Doenças Infecciosas Transmitidas pelo Ar*

**31/01/2017**— Conselho de Tecnologia aprova a reafirmação do Documento de Posicionamento intitulado *Doenças infecciosas transmitidas pelo ar*

**05/02/2020**— O Conselho de Tecnologia aprova a reafirmação do Documento de Posição intitulado *Doenças Infecciosas Transmitidas pelo Ar*

**14/04/2020**— BOD aprova Documento de posição revisado intitulado *Aerossóis Infecciosos*

**13/10/2022**— BOD aprova Documento de posição revisado intitulado *Aerossóis Infecciosos*

**06/25/2025**— O Conselho de Tecnologia aprova a reafirmação do Documento de Posição intitulado *Doenças Infecciosas Transmitidas pelo Ar*

This publication was translated with permission in 2023 from the English edition published by ASHRAE © 2022. Translation by Gabriel Berlatto, CTTC chair of the ASHRAE South Brazil Chapter, Tiago Ludtke and Saulo Cicci. ASHRAE assumes no responsibility for the accuracy of the translation. To download the English edition, visit <https://www.ashrae.org/about/position-documents>.

Essa publicação foi traduzida com permissão em 2023 da edição em inglês publicada pela ASHRAE © 2022. Tradução por Gabriel Berlatto, CTTC chair do ASHRAE South Brazil Chapter, Tiago Ludtke e Saulo Cicci. A ASHRAE não assume responsabilidade pela precisão da tradução. Para fazer o download da edição em inglês, visite <https://www.ashrae.org/about/position-documents>.