



Documento de Posição da ASHRAE sobre Aerossóis Infecciosos

Traduzido sob licença da ASHRAE

Aprovado pelo Conselho de Administração da ASHRAE
14 de abril de 2020

Expira em
14 de abril de 2023

MEMBROS DO COMITÊ

O Documento de Posição da ASHRAE sobre Aerossóis Infecciosos foi desenvolvido pelo Comitê de Documentos de Posição de Saúde Ambiental da Associação, formado em 24 de abril de 2017, com Erica Stewart como presidente.

Erica J. Stewart
Kaiser Permanente
Pasadena, CA, USA

Lawrence J. Schoen
Schoen Engineering Inc.
Columbia, MD, USA

Kenneth Mead
National Institute for Occupational Safety and Health
Cincinnati, OH, USA

Chandra Sekhar
National University of Singapore
Singapore, Singapore

Russell N. Olmsted
Trinity Health
Livonia, MI, USA

Walter Vernon
Mazzetti
San Francisco, CA, USA

Jovan Pantelic
University of California at Berkeley
Berkeley, CA, USA

Ex-membros e colaboradores:

Yuguo Li
The University of Hong Kong
Hong Kong, China

Zuraimi M. Sultan
Berkeley Education Alliance for Research
in Singapore (BEARS) Ltd.
Singapore, Singapore

Os presidentes do Comitê de Saúde Ambiental também atuaram como membros extra oficiais.

Wade Conlan
Environmental Health Committee
Hanson Professional Services
Maitland, FL, USA

HISTÓRICO DE DATAS DE REVISÃO/REAFIRMAÇÃO/REVOGAÇÃO

A seguir, são apresentadas as datas de revisão, reafirmação e revogação deste documento:

6/24/2009—BOD aprova o Documento de Posição intitulado *Doenças Infecciosas no Ar*

1/25/2012—Conselho de Tecnologia aprova reafirmação do Documento de Posição intitulado *Doenças Infecciosas no Ar*

1/19/2014—BOD aprova o Documento de Posição revisado intitulado *Doenças Infecciosas no Ar*

1/31/2017—Conselho de Tecnologia aprova reafirmação do Documento de Posição intitulado *Doenças Infecciosas no Ar*

2/5/2020—Conselho de Tecnologia aprova reafirmação do Documento de Posição intitulado *Doenças Infecciosas no Ar*

4/14/2020—BOD aprova o Documento de Posição revisado intitulado *Aerossóis Infecciosos*

Nota: o Conselho de Tecnologia da ASHRAE e o comitê competente recomendam revisão, reafirmação ou revogação a cada 30 meses.

This position document has been translated by permission © 2020 ASHRAE. Translation by Thiago Portes, Viviane Nunes, and Eduardo Yamada of the ASHRAE Brasil Chapter. ASHRAE assumes no responsibility for accuracy of the translation. To purchase the English-language edition, contact ASHRAE, 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329-2305 USA, www.ashrae.org.

Esse documento de posição foi traduzido com permissão © 2020 ASHRAE. Traduzido por Thiago Portes, Viviane Nunes, e Eduardo Yamada ASHRAE Brasil Chapter. A ASHRAE não assume nenhuma responsabilidade pela precisão da tradução. Para adquirir a edição em inglês, entre em contato com a ASHRAE, 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329-2305 USA, www.ashrae.org.

Nota: Os documentos de posição da ASHRAE são aprovados pelo Conselho de Administração e expressam as opiniões da associação sobre um assunto específico. O objetivo desses documentos é fornecer informações de base objetivas e autorizadas a pessoas interessadas em questões da especialidade da ASHRAE, particularmente em áreas em que essas informações serão úteis na elaboração de políticas públicas sólidas. Um objetivo relacionado é também servir como uma ferramenta educacional que esclarece a posição da ASHRAE para seus membros e profissionais, em geral, promovendo as artes e as ciências do HVAC&R.

SUMÁRIO

Documento de Posição da ASHRAE sobre Aerossóis Infecciosos

SEÇÃO	PÁGINA
Resumo	1
Resumo Executivo	2
1 O Problema	4
2 Revisão da Literatura	4
2.1 Disseminação Aérea	5
3 Implicações Práticas Para Proprietários de Edifícios, Operadores e Engenheiros	6
3.1 Abordagens Variadas por Tipo de Instalação	6
3.2 Estratégias de Ventilação e Limpeza do Ar	7
3.3 Temperatura e Umidade	8
3.4 Patógenos Emergentes e Preparação para Emergências	9
4 Conclusões e Recomendações	9
4.1 Posições da ASHRAE	10
4.2 Compromissos da ASHRAE	11
5 Referências	12
6 Bibliografia	16

RESUMO

Os patógenos que causam doenças infecciosas são transmitidos de um hospedeiro primário para o secundário, por várias rotas diferentes. Sabe-se que algumas doenças se espalham por aerossóis infecciosos; para outras doenças, a via de transmissão é incerta. O risco de propagação de patógenos e, portanto, o número de pessoas expostas, pode ser afetado tanto positiva quanto negativamente pelos padrões de fluxo de ar no espaço e pelos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC) e ventilação local por exaustão (LEV). A ASHRAE é a líder global e principal fonte de informações técnicas e educacionais sobre o projeto, instalação, operação e manutenção desses sistemas. Embora os princípios discutidos neste documento de posição se apliquem principalmente a edifícios, eles também podem ser aplicáveis a outras ocupações, como aviões, trens e automóveis.

A ASHRAE continuará apoiando pesquisas que desenvolvam a base de conhecimento das estratégias de gerenciamento do ar interno destinadas a reduzir a exposição dos ocupantes a aerossóis infecciosos. As principais estratégias relacionadas à ventilação são: diluição, padrões de fluxo de ar, pressurização, distribuição e controle de temperatura e umidade, filtragem e outras estratégias, como irradiação germicida ultravioleta (UVGI). Embora o nível exato de eficácia da ventilação varie de acordo com as condições locais e os patógenos envolvidos, a ASHRAE acredita que essas técnicas, quando aplicadas adequadamente, podem reduzir o risco de transmissão de doenças infecciosas por aerossóis.

Para especificar melhor os níveis de certeza, por trás das posições políticas da ASHRAE aqui declaradas, optamos por adotar a rubrica da Agência de Pesquisa e Qualidade em Saúde (AHRQ) para expressar a certeza científica por trás de nossas recomendações (Burns et al. 2011). Esses níveis de certeza, adaptados para este documento de posição, são os seguintes:

Nível de evidência	Descrição
A	Recomendar fortemente; boa evidência
B	Recomendar; pelo menos evidência justa
C	Nenhuma recomendação a favor ou contra; muito equilíbrio entre benefícios e danos para justificar uma recomendação
D	Recomendar contra; evidência justa é ineficaz ou o dano
E	As evidências são insuficientes para recomendar a favor ou contra; faltam evidências ou são de baixa qualidade; benefícios e malefícios não podem ser determinados

A posição da ASHRAE é que instalações de todos os tipos devem seguir, no mínimo, os mais recentes padrões e diretrizes publicados e as boas práticas de Engenharia. Os padrões ANSI/ASHRAE 62.1 e 62.2 (ASHRAE 2019a, 2019b) incluem requisitos para ventilação do ar externo na maioria dos espaços residenciais e não residenciais, e o Padrão ANSI/ASHRAE/ASHE 170 (ASHRAE 2017a) abrange a ventilação de ar externo e total em instalações de saúde. Com base nas avaliações de risco ou nos requisitos de projeto do proprietário, os projetistas de instalações novas e existentes podem ir além dos requisitos mínimos desses padrões, usando técnicas abordadas em várias publicações da ASHRAE, incluindo os volumes do *ASHRAE Handbook*, relatórios finais de projetos de pesquisa, artigos e guias de projeto, para estarem ainda melhor preparados para controlar a disseminação de aerossóis infecciosos.

RESUMO EXECUTIVO

Com doenças infecciosas transmitidas por aerossóis, os sistemas HVAC podem ter um efeito importante na transmissão do hospedeiro primário para o secundário. A diminuição da exposição de hospedeiros secundários é um passo importante para reduzir a propagação de doenças infecciosas.

Os projetistas de sistemas mecânicos devem estar cientes de que a ventilação não é capaz de abordar todos os aspectos do controle de infecções. Os sistemas HVAC¹, no entanto, afetam a distribuição e a carga biológica de aerossóis infecciosos. Pequenos aerossóis podem persistir na zona respiratória, disponíveis para inalação diretamente nas vias respiratórias superiores e inferiores ou para assentamento em superfícies, onde podem ser indiretamente transmitidos por ressuspensão ou contato com fômite².

Aerossóis infecciosos podem representar um risco de exposição, independentemente de uma doença ser classicamente definida como uma "doença infecciosa transportada pelo ar". Este documento de posição abrange estratégias através das quais os sistemas HVAC controlam a distribuição do aerossol³ e podem, portanto, aumentar ou diminuir a exposição a gotículas infecciosas⁴, núcleos de gotículas⁵, superfícies e fômites intermediários⁶ em vários ambientes.

Este documento de posição fornece recomendações sobre o seguinte:

- O projeto, instalação e operação de sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC), incluindo limpeza a ar e sistemas de ventilação local por exaustão (LEV), para diminuir o risco de transmissão de infecções.
- Estratégias de controle não relacionadas ao HVAC para diminuir o risco de doença.
- Estratégias para apoiar o gerenciamento de instalações para operações diárias e emergências.

As doenças infecciosas podem ser controladas interrompendo as rotas de transmissão usadas por um patógeno. Os profissionais de HVAC desempenham um papel importante na proteção dos ocupantes do edifício, interrompendo a disseminação interna de aerossóis infecciosos com os sistemas de HVAC e LEV.

Declarações sobre COVID-19

Independente da aprovação deste documento de posição, o Comitê Executivo e a Força-Tarefa Epidêmica da ASHRAE aprovaram as seguintes declarações específicas, para a resposta contínua à pandemia do COVID-19. As duas declarações são anexadas aqui, devido à relação especial entre elas e as estratégias protetivas de projeto discutidas neste documento de posição:

¹ Diferentes sistemas HVAC são descritos no *ASHRAE Handbook–HVAC Systems and Equipment* (ASHRAE 2020).

² Um objeto (como um prato ou uma maçaneta) que pode estar contaminado com organismos infecciosos e auxiliar na sua transmissão.

³ Um aerossol é um sistema de partículas líquidas ou sólidas uniformemente distribuídas através de um gás, geralmente ar. Eles são pequenos e flutuantes o suficiente para se comportar como um gás.

⁴ Neste documento, entende-se que as gotículas são grandes o suficiente para cair em uma superfície de 1 a 2 metros e, portanto, não se tornarem aerossóis.

⁵ Núcleos de gotículas são formados a partir de gotículas que se tornam menos massivas por evaporação e, portanto, podem se tornar aerossóis.

⁶ A transmissão por fômite é uma forma de contato indireto que ocorre através do toque em um objeto inanimado contaminado, como uma maçaneta, grade da cama, controle remoto da televisão ou superfície do banheiro.

Declaração sobre a transmissão aérea do SARS-CoV-2: A transmissão do SARS-CoV-2 pelo ar é suficientemente provável para que a exposição aérea ao vírus seja controlada. Alterações nas operações prediais, incluindo a operação de sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, podem reduzir as exposições pelo ar.

Declaração sobre a operação de sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado para reduzir a transmissão de SARS-CoV-2: A ventilação e a filtragem, fornecidas pelos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, podem reduzir a concentração de SARS-CoV-2 no ar e, portanto, o risco de transmissão pelo ar. Espaços não condicionados podem causar estresse térmico a pessoas que podem ter a vida diretamente ameaçada e também podem diminuir a resistência à infecção. Em geral, desabilitar os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado não é uma medida recomendada para reduzir a transmissão do vírus.

1. O PROBLEMA

O potencial de disseminação aérea de patógenos infecciosos é amplamente reconhecido, embora ainda exista incerteza sobre a importância relativa das diversas vias de transmissão de doenças, como o transporte pelo ar, gotículas, contato direto ou indireto e multimodal (uma combinação de mecanismos). A transmissão da doença varia de acordo com a infectividade do patógeno, reservatórios, vias de transmissão e suscetibilidade do hospedeiro secundário (Roy e Milton 2004; Shaman e Kohn 2009; Li 2011). A variável mais relevante para o projeto e controle dos sistemas de HVAC é a interrupção das vias de transmissão de aerossóis infecciosos.

Os profissionais de controle de infecções descrevem a cadeia de infecção como um processo no qual um patógeno (um microrganismo que causa doença) é transportado em um hospedeiro ou reservatório inicial, ganha acesso a uma rota de transmissão contínua, e com virulência suficiente encontra um hospedeiro secundário suscetível. Sistemas de ventilação, filtragem e distribuição de ar e tecnologias de desinfecção têm o potencial de limitar a transmissão de patógenos pelo ar e, assim, quebrar a cadeia de infecção.

Os profissionais da ciência da construção devem reconhecer a importância das operações prediais e dos sistemas de ventilação, na interrupção da transmissão de doenças. As medidas não relacionadas ao HVAC para quebrar a cadeia de infecções, como limpeza eficaz de superfícies, precauções de contato e isolamento exigidas por políticas de funcionários e estudantes e programas de vacinação, são estratégias eficazes que estão além do escopo deste documento. Diluição e extração de ventilação, pressurização, distribuição e otimização do fluxo de ar, filtração mecânica, irradiação germicida ultravioleta (UVGI) e controle de umidade são estratégias eficazes para reduzir o risco de disseminação de aerossóis infecciosos em edifícios e meios de transporte.

Embora este documento de posição seja aplicável principalmente a doenças virais e bacterianas, que podem usar a rota aérea para transmissão de pessoa para pessoa, os princípios de contenção também podem se aplicar à infecção de reservatórios prediais, como sistemas de água com *Legionella* spp. e matéria orgânica contendo esporos do mofo (na medida em que os microrganismos se espalhem pelo ar). O primeiro passo no controle dessas doenças é eliminar a fonte antes que ela se torne transmissível pelo ar.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A ASHRAE fornece orientação e desenvolve normas destinadas a mitigar o risco de transmissão de doenças infecciosas no ambiente construído. Tais documentos fornecem estratégias de engenharia para reduzir o risco de transmissão de doenças e, portanto, poderiam ser empregados em uma variedade de outros espaços, como aviões, trens e automóveis.

Este documento de posição abrange a disseminação de aerossóis infecciosos e transmissão indireta por ressuspensão, mas não rotas de contato direto de transmissão. O *contato direto* geralmente refere-se ao contato corporal, como toque, beijo, contato sexual, contato com secreções orais ou lesões cutâneas além de transfusões de sangue ou injeções intravenosas.

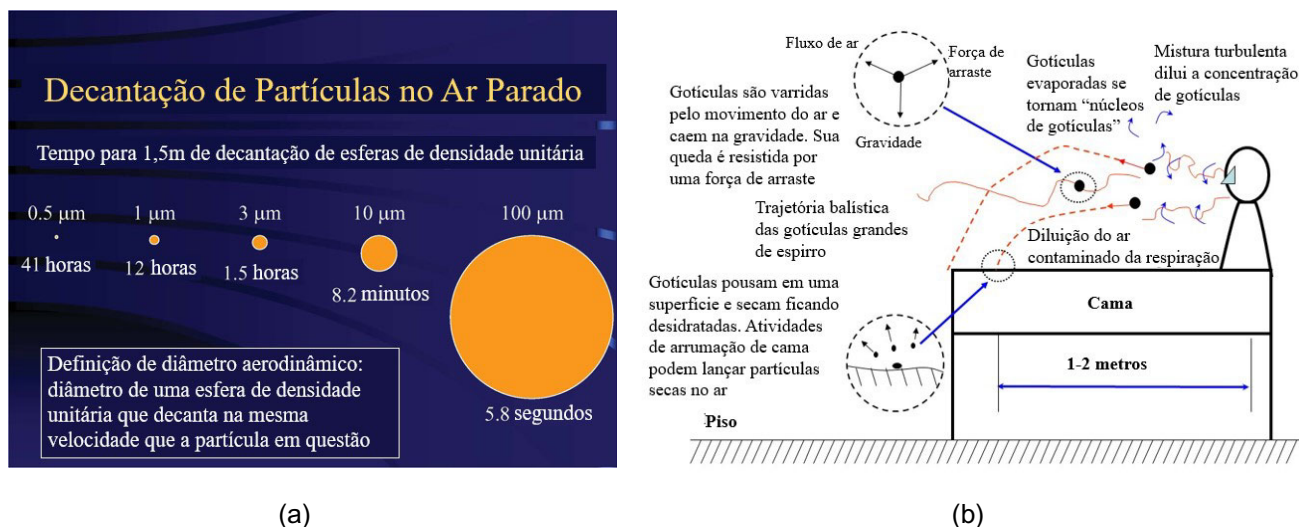


Figura 1 (a) Tempos de assentamento comparativos por diâmetro de partículas para partículas que se instalam no ar parado (Barão n.d.) e (b) aerobiologia teórica da transmissão de gotículas e pequenas partículas transportadas pelo ar produzidas por um paciente infectado com uma infecção aguda (cortesia Yuguo Li).

2.1 Disseminação Aérea

A disseminação do patógeno pelo ar ocorre através de gotículas e aerossóis tipicamente gerados pela tosse, espirro, gritos, respiração, descarga do banheiro, alguns procedimentos médicos, canto e conversa (Bischoff et al. 2013; Yan et al. 2018). A maioria das gotículas maiores emitidas são atraídas pela gravidade para pousar em superfícies a cerca de 1-2 metros da fonte (ver Figura 1). Ventilação por diluição e diferenciais de pressão geralmente não influenciam significativamente a transmissão de curto alcance. Por outro lado, a disseminação de aerossóis infecciosos menores, incluindo núcleos de gotículas resultantes da dessecação, pode ser afetada pelos padrões de fluxo de ar no espaço em geral e pelos padrões de fluxo de ar em torno da fonte em particular. De especial interesse são os pequenos aerossóis (<10 µm), que podem permanecer infecciosos no ar por períodos prolongados (vários minutos, horas ou dias) e, assim, podem percorrer distâncias mais longas e infectar hospedeiros secundários que não tiveram contato com o hospedeiro primário.

Muitas doenças são conhecidas por terem altas taxas de transmissão através de gotículas maiores quando indivíduos suscetíveis estão próximos, cerca de 1–2 metros (Nicas 2009; Li 2011). Dependendo dos fatores ambientais, essas gotículas grandes (100 µm de diâmetro) podem encolher por evaporação antes de se instalarem, tornando-se assim um aerossol (aproximadamente <10 µm). O termo *núcleos de gotículas* tem sido usado para descrever tal dessecação de gotículas em aerossóis (Siegel et al. 2007). Embora os sistemas de ventilação não possam interromper a rápida fixação de grandes gotículas, eles podem influenciar a transmissão de aerossóis infecciosos de núcleos de gotículas. O fluxo de ar direcional pode criar padrões de fluxo limpo-para-sujo e mover aerossóis infecciosos para serem capturados ou exauridos.

3. IMPLICAÇÕES PRÁTICAS PARA PROPRIETÁRIOS DE EDIFÍCIOS, OPERADORES E ENGENHEIROS

Mesmo o sistema de HVAC mais robusto não pode controlar todos os fluxos de ar e impedir completamente a disseminação de um aerossol infeccioso ou transmissão de doenças por gotículas ou aerossóis. O impacto de um sistema HVAC dependerá da localização da fonte, força da fonte, distribuição do aerossol liberado, tamanho das gotículas, distribuição do ar, temperatura, umidade relativa e filtragem. Além disso, existem múltiplas formas e circunstâncias nas quais ocorrem a transmissão da doença. Assim, estratégias de prevenção e mitigação de riscos exigem colaboração entre projetistas, proprietários, operadores, higienistas industriais e especialistas em prevenção de infecções.

3.1 Abordagens Variadas por Tipo de Instalação

As unidades de saúde possuem critérios para o projeto de ventilação para mitigar a transmissão aérea de doenças infecciosas (ASHRAE 2013, 2017a, 2019a; FGI 2010); no entanto, as infecções também são transmitidas em estabelecimentos comuns na sociedade e não apenas em estabelecimentos industriais ou de saúde. A ASHRAE fornece requisitos gerais de ventilação e qualidade do ar nas normas 62.1, 62.2 e 170 (ASHRAE 2019a, 2019b, 2017a); a ASHRAE não fornece requisitos específicos para o controle de doenças infecciosas em residências, escolas, prisões, abrigos, transportes ou outras instalações públicas.

Nas unidades de saúde, a maioria das intervenções de controle de infecções é voltada para a redução da transmissão de patógenos por contato direto ou indireto. Essas intervenções para limitar a transmissão aérea (Aliabadi et al. 2011) enfatizam a educação e a vigilância de comportamentos como higiene das mãos e cumprimento de protocolos de *checklist* e têm sido em grande parte restritas a uma lista relativamente pequena de doenças de patógenos que se espalham apenas pelo ar. Agora, que os microbiologistas entendem que muitos patógenos podem viajar através de rotas de contato e aéreas, o papel do gerenciamento do ar interior tornou-se fundamental para o sucesso dos esforços de prevenção. Tendo em vista a compreensão mais ampla dos modos flexíveis de transmissão de patógenos, as unidades de saúde agora utilizam múltiplas medidas simultaneamente (referidas como *pacotes de medidas de controle de infecções*) (Apisarnthanarak et al. 2009, 2010a, 2010b; Cheng et al. 2010). Por exemplo, nos casos de duas doenças que utilizam claramente a transmissão aérea, tuberculose e sarampo, o pacote de medidas inclui regulamentações administrativas, controles ambientais e protocolos de uso de equipamentos de proteção individual em ambientes de saúde. Esta abordagem mais abrangente é necessária para controlar patógenos, que podem usar tanto vias de contato quanto de transmissão aérea. Estratégias semelhantes podem ser adequadas para outros tipos de espaços, não relacionados a cuidados de saúde, como transporte público e aviões, escolas, abrigos e prisões, que também podem estar sujeitos a contato próximo dos ocupantes.

Muitos edifícios são totalmente ou parcialmente ventilados. Estes podem usar janelas operáveis e contar com aberturas intencionais e não intencionais na envoltória do prédio. Essas estratégias criam diferentes riscos e benefícios. Obviamente, o fluxo de ar nesses edifícios é variável e imprevisível, assim como os padrões de distribuição de ar resultantes, de modo que a capacidade de gerenciar ativamente o risco em tais edifícios é muito reduzida. No entanto, edifícios naturalmente ventilados podem ir além da abertura aleatória de janelas e ser projetados intencionalmente para alcançar estratégias de ventilação e, assim, reduzir o risco de aerossóis infecciosos. De modo geral, projetos que atinjam taxas de ventilação mais altas

reduzirão o risco. No entanto, esses edifícios serão mais afetados pela qualidade do ar externo local, incluindo o nível de alérgenos e poluentes externos, condições variadas de temperatura e umidade e insetos voadores. A Organização Mundial da Saúde publicou diretrizes para edifícios naturalmente ventilados que devem ser consultados em tais projetos (Atkinson et al. 2009).

3.2 Estratégias de Ventilação e Limpeza do Ar

O projeto e operação dos sistemas de HVAC podem afetar o transporte de aerossóis infecciosos, mas eles são apenas uma parte de um pacote de medidas de controle de infecção. As seguintes estratégias de HVAC têm o potencial de reduzir os riscos de disseminação do aerossol infeccioso: padrões de distribuição de ar, pressurização diferencial do ambiente, ventilação personalizada, ventilação com captura na fonte, filtragem (central ou local) e controle de temperatura e umidade relativa. Embora o uso de UVGI seja bem pesquisado e validado, muitas novas tecnologias não são (ASHRAE 2018). (Nível de Evidências B)

A ventilação com padrões de fluxo de ar efetivos (Pantelic e Tham 2013) é uma estratégia primária de controle de doenças infecciosas, através da diluição do ar ambiente em torno de uma fonte e remoção de agentes infecciosos (CDC 2005). No entanto, ainda não está claro o quanto as cargas de partículas infecciosas devem ser reduzidas para alcançar uma redução mensurável nas transmissões de doenças (as doses infecciosas variam amplamente entre diferentes patógenos) e se essas reduções justificam os custos associados (Pantelic e Tham 2011; Pantelic e Tham 2012). (Nível de Evidências B)

Os diferenciais de pressão no ambiente e o fluxo de ar direcional são importantes para controlar o fluxo de ar entre zonas em um edifício (CDC 2005; Siegel et al. 2007) (Nível de Evidência B). Alguns projetos para salas de isolamento de infecções transmitidas pelo ar (AIIRs) incorporam diluição suplementar ou ventilação de exaustão/captura (CDC 2005). Curiosamente, os critérios para as AIIRs diferem substancialmente entre regiões e países de várias maneiras, incluindo o fornecimento de ar em antecâmaras, a exaustão do ambiente e as quantidades necessárias de ar de ventilação (Fusco et al. 2012; Subhash et al. 2013). Um recente Projeto de Pesquisa da ASHRAE encontrou evidências convincentes de que uma antecâmara devidamente configurada e operada é um meio eficaz para manter diferenciais de pressão e criar contenção em quartos hospitalares (Siegel et al. 2007; Mousavi et al. 2019). Quando um risco significativo de transmissão de aerossóis for identificado por avaliações de risco de controle de infecção, o desenho das AIIRs deve incluir antecâmaras. (Nível de Evidências A)

O uso de filtragem de partículas altamente eficiente, em sistemas centralizados de HVAC, reduz a carga aérea de partículas infecciosas (Azimi e Stephens 2013). Essa estratégia reduz o transporte de agentes infecciosos de uma área para outra quando essas áreas compartilham o mesmo sistema central de HVAC através do fornecimento de ar recirculado. Quando apropriadamente selecionadas e implantadas, as unidades terminais de filtragem de alta eficiência (montadas no teto ou portáteis) podem ser altamente eficazes na redução das concentrações de aerossóis infecciosos em um ambiente. Elas também garantem o controle direcional do fluxo de ar que fornece proteção de exposição ao lado da cabeceira do paciente (Miller-Leiden et al. 1996; Mead e Johnson 2004; Kujundzic et al. 2006; Mead et al. 2012; Dungj et al. 2015). A filtragem não eliminará todos os riscos de transmissão de partículas transmitidas pelo ar, pois muitos outros fatores além da concentração de aerossóis infecciosos contribuem para a transmissão da doença. (Nível de Evidências A)

Todo o espectro ultravioleta (UV) pode matar ou inativar microrganismos, mas a energia UV-C (nos comprimentos de onda de 200 a 280 nm) fornece o efeito mais germicida, com 265 nm sendo o comprimento de onda ideal. A maioria das lâmpadas UVGI modernas criam energia UV-C a um comprimento de onda próximo de 254 nm. A UVGI inativa microrganismos danificando a estrutura de ácidos nucleicos e proteínas com a eficácia dependente da dose UV e da suscetibilidade do microrganismo. A segurança do UV-C é bem conhecida. Ele não penetra profundamente no tecido humano, mas pode penetrar nas superfícies externas dos olhos e da pele, com os olhos sendo mais suscetíveis a danos. Portanto, a proteção é necessária para evitar a exposição direta aos olhos. Embora o Documento de Posição da ASHRAE sobre Filtragem e Limpeza do Ar (2018) não faça uma recomendação a favor ou contra o uso de energia UV em sistemas aéreos para minimizar os riscos de aerossóis infecciosos, o Centers for Disease Control and Prevention (CDC) aprovou a UVGI como um complemento à filtragem para redução do risco de tuberculose e publicou uma diretriz sobre sua aplicação (CDC 2005, 2009).⁷ (Nível de Evidências A)

Sistemas de ventilação personalizados, que fornecem controle local da exaustão e/ou fornecem 100% de ar externo, altamente filtrado ou desinfetado por UV diretamente para a zona respiratória do ocupante (Cermak et al. 2006; Bolashikov et al., 2009; Pantelic et al. 2009, 2015; Licina et al. 2015a, 2015b) podem oferecer proteção contra exposição ao ar contaminado. A ventilação personalizada pode ser eficaz contra aerossóis, que percorrem longas distâncias em curtos intervalos (Li 2011). Sistemas de ventilação personalizados, quando associados a dispositivos de exaustão locais ou individualizados, aumentam ainda mais a capacidade geral de mitigar a exposição em zonas respiratórias, como visto tanto em estudos experimentais quanto computacionais de dinâmica de fluidos (CFD) em ambientes de saúde (Yang et al. 2013, 2014, 2015a, 2015b; Bolashikov et al. 2015; Bivolarova et al. 2016). No entanto, não há estudos epidemiológicos conhecidos que demonstrem uma redução na transmissão de doenças infecciosas. (Nível de Evidências B)

Técnicas avançadas, como a análise da dinâmica dos fluidos computacionais (CFD), se realizadas adequadamente com conhecimento adequado, podem prever padrões de fluxo de ar e prováveis caminhos de fluxo de contaminantes aéreos em um ambiente. Tais análises podem ser empregadas como uma ferramenta orientadora durante os estágios iniciais de um ciclo de projeto (Khankari 2016, 2018a, 2018b, 2018c).

3.3 Temperatura e Umidade

Os sistemas de HVAC são tipicamente projetados para controlar a temperatura e a umidade, o que por sua vez pode influenciar a transmissibilidade de agentes infecciosos. Embora os sistemas de HVAC possam ser projetados para controlar a umidade relativa (UR), existem desafios práticos e potenciais efeitos negativos da manutenção de certos set-points de UR em todas as zonas climáticas. No entanto, uma vez que as evidências neste momento (Derby et al. 2016), incluindo um recente estudo usando análise metagenômica (Taylor e Tasi 2018), sugerem que o controle da UR reduz a transmissão de certos organismos infecciosos no ar, incluindo algumas cepas de influenza, este documento de posição encoraja os projetistas a considerarem cuidadosamente a temperatura e a UR.

⁷ Além do UVGI, a radiação óptica em comprimentos de onda mais longos de até 405 nm é uma tecnologia emergente de desinfecção que também pode ter eficácia germicida útil.

Adicionalmente, os imunobiologistas têm correlacionado níveis intermediários de umidade com melhor imunidade de mamíferos contra infecções respiratórias (Taylor e Tasi 2018). Mousavi et al. (2019) relatam que a literatura científica geralmente reflete uma condição desfavorável para sobrevivência dos microrganismos quando a UR está entre 40% e 60% (Nível de Evidência B). A introdução de vapor de água no ambiente interno para atingir os níveis de umidade intermediários associados à diminuição das infecções requer a seleção adequada, operação e manutenção de equipamentos de umidificação. Climas frios de inverno requerem isolamento da edificação adequado para evitar pontes térmicas que podem levar à condensação e ao crescimento de mofo (ASHRAE 2009). Outros estudos recentes (Taylor e Tasi 2018) identificaram a UR como um importante condutor de infecções de pacientes. Esses estudos mostraram que o UR abaixo de 40% está associado a três fatores que aumentam as infecções. Primeiro, como discutido anteriormente, aerossóis infecciosos emitidos de um hospedeiro primário encolhem rapidamente até se tornarem núcleos de gotículas, e esses patógenos adormecidos, mas ainda infecciosos, permanecem suspensos no ar e são capazes de percorrer grandes distâncias. Quando encontram um hospedeiro secundário hidratado, eles se hidratam e são capazes de propagar a infecção. Em segundo lugar, muitos vírus e bactérias são resistentes a anidros (Goffau et al. 2009; Stone et al. 2016) e realmente aumentaram a viabilidade em condições de baixa UR. E, finalmente, os imunobiologistas já esclareceram os mecanismos através dos quais a UR ambiente abaixo de 40% prejudica as barreiras da membrana mucosa e outras etapas na proteção do sistema imunológico (Kudo et al. 2019). (Nível de Evidências B)

Este documento de posição não faz uma recomendação definitiva sobre setpoints de temperatura e umidade interior com o objetivo de controlar a transmissão infecciosa de aerossóis. Os profissionais podem usar as informações aqui fornecidas para tomar decisões de projeto e operação predial caso a caso.

3.4 Patógenos Emergentes e Preparação para Emergências

Os surtos de doença (ou seja, epidemias e pandemias) estão aumentando em frequência e alcance. Pandemias do passado tiveram efeitos devastadores sobre as populações afetadas. Novos microrganismos que possam ser disseminados por aerossóis infecciosos necessitam de bom projeto, construção, comissionamento, manutenção, planejamento avançado e simulações de emergência para facilitar a ação rápida para mitigação da exposição. Em muitos países, estratégias comuns incluem edifícios naturalmente ventilados e isolamento. Controle por faixas é uma estratégia de gestão de riscos que deve ser considerada para a aplicação da hierarquia de controles a patógenos emergentes, com base na probabilidade e duração da exposição e na infectividade e virulência do patógeno (Sietsema 2019) (Nível de Evidência B). Agentes biológicos que podem ser usados em ataques terroristas são abordados em outros lugares (USDHHS 2002, 2003).

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Aerossóis infecciosos podem ser disseminados através de edifícios por vias que incluem sistemas de distribuição de ar e fluxos de ar entre zonas. Várias estratégias têm sido eficazes no controle da transmissão, incluindo padrões otimizados de fluxo de ar, fluxo de ar direcional, pressurização de áreas, ventilação para diluição, sistemas de limpeza de ar nos ambientes, exaustão geral, ventilação personalizada, exaustão local na fonte de contaminantes, sistema de filtragem central, UVGI e controle da temperatura interna e umidade relativa. Os engenheiros de

projeto podem contribuir essencialmente para reduzir a transmissão infecciosa de aerossóis através da aplicação dessas estratégias. Pesquisas sobre o papel da disseminação pelo ar e da ressuspensão das superfícies na transmissão de patógenos estão evoluindo rapidamente. O gerenciamento do ar interno para controlar a distribuição de aerossóis infecciosos é uma intervenção eficaz que adiciona uma outra estratégia aos tratamentos médicos e intervenções comportamentais na prevenção de doenças.

4.1 Posições da ASHRAE

- As equipes de projeto de HVAC, para empreendimentos de todos os tipos, devem seguir, no mínimo, as mais recentes normas e diretrizes publicadas e boas práticas de Engenharia. Com base em avaliações de risco ou requisitos de projeto de proprietários, os projetistas de instalações novas e existentes poderiam ir além dos requisitos mínimos dessas normas, usando técnicas abordadas em várias publicações ASHRAE, incluindo os volumes do *ASHRAE Handbook*, relatórios finais de Projetos de Pesquisa e artigos e guias de projeto, para estarem ainda mais preparados para controlar a disseminação de aerossóis infecciosos.
- A mitigação da disseminação de aerossóis infecciosos deveria ser considerada no projeto de todas as instalações e, nas identificadas como instalações de alto risco, o projeto de mitigação adequado deve ser incorporado.
- A equipe de projeto e construção, incluindo os projetistas de HVAC, deve se envolver em um processo de projeto integrado, a fim de incorporar o pacote de medidas de controle de infecções apropriado desde os estágios iniciais do projeto.
- Com base em avaliações de risco, edifícios e veículos de transporte devem considerar projetos que promovam padrões mais limpos de fluxo de ar, fornecendo caminhos eficazes para a saída das partículas aéreas dos espaços para zonas menos limpas e usem sistemas de limpeza de ar apropriados. (Nível de Evidências A)
- Quando um risco significativo de transmissão de aerossóis for identificado por avaliações de risco de controle de infecções, o desenho das AIIRs deve incluir antecâmaras. (Nível de Evidências A)
- Com base em avaliações de risco, deve ser considerado o uso de estratégias específicas de HVAC apoiadas pela literatura baseada em evidências, incluindo as seguintes:
 - Filtragem aprimorada (aumentar o valor mínimo de eficiência [MERV] dos filtros acima dos mínimos normativos em espaços densamente ocupados e/ou de maior risco) (Nível de evidência A)
 - UVGI na parte superior da parede do ambiente (com possíveis ventiladores no quarto) como um complemento para o sistema de insuflamento de ar (Nível de Evidência A)
 - Exaustão local para controle da fonte de contaminantes (Nível de evidência A)
 - Sistemas de ventilação personalizados para certas tarefas de alto risco (Nível de Evidência B)
 - Filtros de ar particulado de alta eficiência (HEPA) portáteis e autônomos (NÍVEL B)
 - Controle de temperatura e umidade (Nível de Evidência B)
- Os edifícios de saúde⁸ devem considerar o projeto e a operação para fazer o seguinte:
 - Capturar aerossóis expiratórios com exaustão de parede próximo a cabeceira, tenda ou *snorkel* com exaustão, divisórias piso-teto com fornecimento de ar próximo a porta e exaustão próxima ao paciente, filtragem local de ar de grau HEPA.

⁸ Supõe-se que as unidades de saúde já possuem planos de resposta a emergências.

- Exaustão de banheiros e expurgos (mandatório).
- Manter a temperatura e a umidade de acordo com o aerossol infeccioso em questão.
- Entregar ar limpo aos cuidadores.
- Manter unidades de terapia intensiva (UTI) negativamente pressurizadas aerossóis infecciosos puderem estar presentes.
- Manter pressão negativa nos quartos onde haja preocupações com aerossóis infecciosos.
- Fornecer 100% de exaustão dos quartos dos pacientes.
- Usar UVGI.
- Aumentar a taxa de trocas de ar externo (por exemplo, aumente os quartos dos pacientes de 2 para 6 trocas por hora).
- Estabelecer as contribuições do HVAC para um plano de rotatividade de quartos de pacientes antes da reocupação.
- Os edifícios não utilizados para cuidados de saúde devem ter um plano para uma resposta de emergência. As seguintes modificações na operação do sistema HVAC devem ser consideradas:
 - Aumentar a ventilação de ar exterior (desabilitar a ventilação controlada por demanda e abrir dampers de ar externo em 100% conforme as condições internas e externas permitam).
 - Melhorar a filtragem central de ar e outros tipos de filtragem do sistema de HVAC para MERV-13 (ASHRAE 2017b) ou o maior nível alcançável.
 - Manter os sistemas funcionando por mais horas (24/7, se possível).
 - Adicionar limpadores de ar de sala portáteis com filtros HEPA ou high-MERV com a devida consideração em relação às taxas de entrega de ar limpo (AHAM 2015).
 - Adicionar dispositivos UVGI montados em dutos ou nos equipamentos de climatização, na parte superior da parede do ambiente e/ou dispositivos UVGI portáteis em conexão com ventiladores internos em espaços de alta densidade, como salas de espera, prisões e abrigos.
 - Manter a temperatura e a umidade de acordo com o aerossol infeccioso em questão.
 - Desativar e desviar sistemas de recuperação de energia que podem vazar ar de exaustão potencialmente contaminado de volta para o suprimento de ar exterior.
- Projetar e construir recursos inerentes para responder às ameaças emergentes, além de planejar e praticar para isso. (Nível de Evidências B)

4.2 Compromissos da ASHRAE

- Abordar lacunas de pesquisa com projetos de pesquisa futuros, incluindo aqueles sobre os seguintes tópicos:
 - Investigação e desenvolvimento de variáveis relacionadas à fonte de geração para uso em um procedimento atualizado de definição das taxas de ventilação
 - Entendimento dos impactos das taxas de troca de ar nas salas de cirurgia sobre os resultados dos pacientes
 - Determinação da efetividade da instalação dos registros de ar de insuflamento, retorno e exaustão nos quartos de pacientes
 - Realizar estudos intervencionais controlados para quantificar o desempenho relativo do controle de infecções aéreas e o custo-benefício de estratégias específicas de

engenharia, individualmente e em combinação, em aplicações para ocupações de alto risco

- Avaliar e comparar opções para criar espaços de isolamento para surtos de contaminação aérea e espaços temporários de isolamento com pressão negativa e os impactos na operação geral de construção
- Entender a aplicação adequada das estratégias de controle de umidade e temperatura em zonas climáticas na transmissão de aerossóis infecciosos
- Investigar como as técnicas de faixas de controle podem ser aplicadas para gerenciar o risco de disseminação dos aerossóis infecciosos
- Parceria com especialistas em prevenção de infecções, doenças infecciosas e saúde ocupacional e com proprietários de edifícios para avaliar estratégias de controle emergentes e fornecer recomendações baseadas em evidências.
- Educar os stakeholders e disseminar as melhores práticas.
- Criar um banco de dados para rastrear e compartilhar conhecimentos sobre estratégias de projeto de engenharia eficazes e protetivas.
- Atualizar padrões e diretrizes para refletir estratégias protetivas baseadas em evidências.

5. REFERÊNCIAS

- AHAM. 2015. ANSI/AHAM AC-1-2015, *Method For Measuring Performance Of Portable Household Electric Room Air Cleaners*. Washington, DC: Association of Home Appliance Manufacturers.
- Aliabadi, A.A., S.N. Rogak, K.H. Bartlett, and S.I. Green. 2011. Preventing airborne disease transmission: Review of methods for ventilation design in health care facilities. *Advances in Preventive Medicine*. Article ID 12406. DOI: 10.4061/2011/124064.
- Apisarnthanarak, A., P. Apisarnthanarak, B. Cheevakumjorn, and L.M. Mundy. 2009. Intervention with an infection control bundle to reduce transmission of influenza-like illnesses in a Thai preschool. *Infection Control and Hospital Epidemiology* 30(9):817–22. DOI: 10.1086/599773.
- Apisarnthanarak, A., P. Apisarnthanarak, B. Cheevakumjorn, and L.M. Mundy. 2010a. Implementation of an infection control bundle in a school to reduce transmission of influenza-like illness during the novel influenza A 2009 H1N1 pandemic. *Infection Control and Hospital Epidemiology* 31(3):310–11. DOI: 10.1086/651063.
- Apisarnthanarak, A., T.M. Uyeki, P. Puthavathana, R. Kitphati, and L.M. Mundy. 2010b. Reduction of seasonal influenza transmission among healthcare workers in an intensive care unit: A 4-year intervention study in Thailand. *Infection Control and Hospital Epidemiology* 31(10):996–1003. DOI: 10.1086/656565.
- ASHRAE. 2009. *Indoor Air Quality Guide: Best Practices for Design, Construction and Commissioning*. Atlanta: ASHRAE.
- ASHRAE. 2013. *HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics*, 2d ed. Atlanta: ASHRAE.
- ASHRAE. 2017a. ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2017, *Ventilation of Health Care Facilities*. Atlanta: ASHRAE.
- ASHRAE. 2017b. ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2017, *Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size*. Atlanta: ASHRAE.
- ASHRAE. 2018. *ASHRAE Position Document on Filtration and Air-Cleaning*. Atlanta: ASHRAE. www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/filtration-and-air-cleaning-pd.pdf.

- ASHRAE. 2019a. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2019, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Atlanta: ASHRAE.
- ASHRAE. 2019b. ANSI/ASHRAE Standard 62.2-2019, *Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings*. Atlanta: ASHRAE.
- ASHRAE. 2020. *ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment*. Atlanta: ASHRAE.
- Atkinson J., Y. Chartier, C.L. Pessoa-Silva, P. Jensen, and W.H. Seto. 2009. *Natural Ventilation for Infection Control in Health-Care Settings*. Geneva: World Health Organization. www.who.int/water_sanitation_health/publications/natural_ventilation/en.
- Azimi, P., and B. Stephens. 2013. HVAC filtration for controlling infectious airborne disease transmission in indoor environments: Predicting risk reductions and operational costs. *Building and Environment* 70:150–60.
- Baron, P. n.d. Generation and Behavior of Airborne Particles (Aerosols). Presentation published at CDC/NIOSH Topic Page: Aerosols, National Institute for Occupational Safety and Health, Centers for Disease Control and Prevention, Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services, Cincinnati, OH. www.cdc.gov/niosh/topics/aerosols/pdfs/Aerosol_101.pdf.
- Bischoff, W.E., K. Swett, I. Leng, and T.R. Peters. 2013. Exposure to influenza virus aerosols during routine patient care. *Journal of Infectious Diseases* 207(7):1037–46. DOI: 10.1093/infdis/jis773.
- 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.
- Bolashikov, Z.D., A.K. Melikov, and M. Krenek. 2009. Improved performance of personalized ventilation by control of the convection flow around occupant body. *ASHRAE Transactions* 115(2):421–31.
- Bolashikov, Z.D., M. Barova, and A.K. Melikov. 2015. Wearable personal exhaust ventilation: Improved indoor air quality and reduced exposure to air exhaled from a sick doctor. *Science and Technology for the Built Environment* 21(8):1117–25.
- Burns, P.B., R.J. Rohrich, and K.C. Chung. 2011. Levels of evidence and their role in evidence-based medicine. *Plast Reconstr Surg* 128(1):305–10.
- CDC. 2005. *Guidelines for Preventing the Transmission of Mycobacterium tuberculosis in Health-Care Settings*. Morbidity and Mortality Weekly Report (MMWR) 54(RR17):1–140. Atlanta: Centers for Disease Control and Prevention. www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/rr5417a1.htm.
- CDC. 2009. *Environmental Control for Tuberculosis: Basic Upper-Room Ultraviolet Germicidal Irradiation Guidelines for Healthcare Settings*. Atlanta: Centers for Disease Control and Prevention. www.cdc.gov/niosh/docs/2009-105/pdfs/2009-105.pdf.
- Cermak, R., A.K. Melikov, L. Forejt, and O. Kovar. 2006. Performance of personalized ventilation in conjunction with mixing and displacement ventilation. *HVAC&R Research* 12(2):295–311.
- Cheng, V.C., J.W. Tai, L.M. Wong, J.F. Chan, I.W. Li, K.K. To, I.F. Hung, K.H. Chan, P.L. Ho, and K.Y. Yuen. 2010. Prevention of nosocomial transmission of swine-origin pandemic influenza virus A/H1N1 by infection control bundle. *Journal of Hospital Infection* 74(3):271–77. DOI: 10.1016/j.jhin.2009.09.009.

- Derby, M., S. Eckels, G. Hwang, B. Jones, R. Maghirang, and D. Shulan. 2016. *Update the Scientific Evidence for Specifying Lower Limit Relative Humidity Levels for Comfort, Health and IEQ in Occupied Spaces*. ASHRAE Research Report 1630. Atlanta: ASHRAE.
- Dungi, S.R., U. Ghia, K.R. Mead, and M. Gressel. 2015. Effectiveness of a local ventilation/filtration intervention for health-care worker exposure reduction to airborne infection in a hospital room. Paper no. CH-15-C017. *2015 ASHRAE Winter Conference—Papers* [download].
- FGI. 2010. *Guidelines for Design and Construction of Health Care Facilities*. St Louis, MO: Facility Guidelines Institute.
- Fusco, F.M., S. Schilling, G. De Iaco, H.R. Brodt, P. Brouqui, H.C. Maltezou, B. Bannister, R. Gottschalk, G. Thomson, V. Puro, and G. Ippolito. 2012. Infection control management of patients with suspected highly infectious diseases in emergency departments: Data from a survey in 41 facilities in 14 European countries. *BMC Infectious Diseases* January 28:12–27.
- de Goffau, M.C., X. Yang, J.M. van Dijk, and H.J. Harmsen. 2009. Bacterial pleomorphism and competition in a relative humidity gradient. *Environmental Microbiology* 11(4):809–22. DOI: 10.1111/j.1462-2920.2008.01802.x.
- Khankari, K. 2016. Airflow path matters: Patient room HVAC. *ASHRAE Journal* 58(6).
- Khankari, K. 2018a. Analysis of spread index: A measure of laboratory ventilation effectiveness. Paper no. HO-18-C043. *2018 ASHRAE Annual Conference—Papers* [download].
- Khankari, K. 2018b. CFD analysis of hospital operating room ventilation system part I: Analysis of air change rates. *ASHRAE Journal* 60(5).
- Khankari, K. 2018c. CFD analysis of hospital operating room ventilation system part II: Analyses of HVAC configurations. *ASHRAE Journal* 60(6).
- Kudo, E., E. Song, L.J. Yockey, T. Rakib, P.W. Wong, R.J. Homer, and A. Iwasaki. 2019. Low ambient humidity impairs barrier function, innate resistance against influenza infection. *PNAS* 116(22):10905–10. <https://doi.org/10.1073/pnas.1902840116>.
- Kujundzic, E., F. Matalkah, D.J. Howard, M. Hernandez, and S.L. Miller. 2006. Air cleaners and upper-room air UV germicidal irradiation for controlling airborne bacteria and fungal spores. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 3:536–46.
- Lax, S., and J.A. Gilbert. 2015. Hospital-associated microbiota and implications for nosocomial infections. *Trends in Molecular Medicine* 21(7):427–32. www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S147149141500074X.
- Lax, S., D. Smith, N. Sangwan, K. Handley, P. Larsen, M. Richardson, S. Taylor, E. Landon, J. Alverdy, J. Siegel, B. Stephens, R. Knight, and J.A. Gilbert. 2017. Colonization and Succession of Hospital-Associated Microbiota. *Sci Transl Med*. 9(391):eaah6500. DOI: 10.1126/scitranslmed.aah6500. www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5706123.
- 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. DOI: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):672–82. DOI:10.1111/ina.12177.
- Li, Y. 2011. The secret behind the mask. (Editorial.) *Indoor Air* 21(2):89–91.

- Mead, K., and D. Johnson. 2004. An evaluation of portable high-efficiency particulate air filtration for expedient patient isolation in epidemic and emergency response. *Annals of Emergency Medicine* 44(6):635–45.
- Mead, K.R., A. Feng, D. Hammond, and S. Shulman. 2012. *In-depth report: Expedient methods for surge airborne isolation within healthcare settings during response to a natural or manmade epidemic*. EPHB Report no. 301-05f. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. www.cdc.gov/niosh/surveyreports/pdfs/301-05f.pdf.
- Miller-Leiden, S., C. Lobascio, J.M. Macher, and W.W. Nazaroff. 1996. Effectiveness of in-room air filtration for tuberculosis control in healthcare settings. *Journal of the Air & Waste Management Association* 46:869–82.
- Mousavi, E., R. Lautz, F. Betz, and K. Grosskopf. 2019. *Academic Research to Support Facility Guidelines Institute & ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170*. ASHRAE Research Project CO-RP3. Atlanta: ASHRAE.
- Nicas, M., and R.M. Jones. 2009. Relative contributions of four exposure pathways to influenza infection risk. *Risk Analysis* 29:1292–303.
- Pantelic, J., and K.W. Tham. 2011. Assessment of the ability of different ventilation systems to serve as a control measure against airborne infectious disease transmission using Wells-Riley approach. *IAQ 2010: Airborne Infection Control—Ventilation, IAQ, and Energy [CD]*. Atlanta: ASHRAE.
- 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. *HVAC&R Research* 18(4):562–74.
- Pantelic, J., and K.W. Tham. 2013. Adequacy of air change rate as the sole indicator of an air distribution system's effectiveness to mitigate airborne infectious disease transmission caused by a cough release in the room with overhead mixing ventilation: A case study. *HVAC&R Research* 19(8):947–61.
- 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):683–93.
- Roy, C.J., and D.K. Milton. 2004. Airborne transmission of communicable infection—The elusive pathway. *New England Journal of Medicine* 350:17.
- Shaman, J., and M. Kohn. 2009. Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106(0):3243–48.
- Siegel J.D., E. Rhinehart, M. Jackson, and L. Chiarello. 2007. *2007 Guideline for Isolation Precautions: Preventing Transmission of Infectious Agents in Healthcare Settings*. Atlanta: Centers for Disease Control and Prevention, The Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee.
- Sietsema, M., L. Radonovich, F.J. Hearl, E.M. Fisher, L.M. Brosseau, R.E. Shaffer, and L.M. Koonin. 2019. A control banding framework for protecting the US workforce from aerosol transmissible infectious disease outbreaks with high public health consequences. *Health Security* 17(2):124–32. <http://doi.org/10.1089/hs.2018.0103>.

- Stone, W., O. Kroukamp, D.R. Korber, J. McKelvie, and G.M. Wolfaardt. 2016. Microbes at surface-air interfaces: The metabolic harnessing of relative humidity, surface hygroscopicity, and oligotrophy for resilience. *Frontiers in Microbiology* 7:1563. DOI: 10.3389/fmicb.2016.01563.
- Subhash, S.S., G. Baracco, K.P. Fennelly, M. Hodgson, and L.J. Radonovich, Jr. 2013. Isolation anterooms: Important components of airborne infection control. *American Journal of Infection Control* 41(5):452–55. DOI: 10.1016/j.ajic.2012.06.004.
- Taylor, S., and M. Tasi. 2018. Low indoor-air humidity in an assisted living facility is correlated with increased patient illness and cognitive decline. *Proceedings, Indoor Air 2018* 744:1–8.
- USDHHS. 2002. *Guidance for Protecting Building Environments from Airborne Chemical, Biological, or Radiological Attacks*. NIOSH Publication No. 2002-139. Washington, DC: United States Department of Health and Human Services.
- USDHHS. 2003. *Guidance for Filtration and Air-Cleaning Systems to Protect Building Environments from Airborne Chemical, Biological, or Radiological Attacks*. NIOSH Publication No. 2003-136. Washington, DC: United States Department of Health and Human Services.
- Yan, J., M. Grantham, J. Pantelic, P.J.B. de Mesquita, B. Albert, F. Liu, S. Ehrman, D.K. Milton, and EMIT Consortium. 2018. Infectious virus in exhaled breath of symptomatic seasonal influenza cases from a college community. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115(5):1081–86. DOI: 10.1073/pnas.1716561115.
- Yang, J., C. Sekhar, D. Cheong Kok Wai, and B. Raphael. 2013. CFD study and evaluation of different personalized exhaust devices. *HVAC&R Research* 19(8):934–46.
- Yang, J., C. Sekhar, D. Cheong, and B. Raphael. 2014. Performance evaluation of an integrated personalized ventilation-personalized exhaust system in conjunction with two background ventilation systems. *Building and Environment* 78:103–10. DOI:10.1016/j.buildenv.2014.04.015.
- Yang, J., S.C. Sekhar, K.W. Cheong, and B. Raphael. 2015a. Performance evaluation of a novel personalized ventilation-personalized exhaust system for airborne infection control. *Indoor Air* 25(2):176–87. DOI:10.1111/ina.12127.
- Yang, J., C. Sekhar, D.K.W. Cheong, and B. Raphael. 2015b. 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):172–78. DOI:10.1080/10789669.2014.976511.

6. BIBLIOGRAFIA

- ASHRAE. 2000. ASHRAE Guideline 12-2000, *Minimizing the Risk of Legionellosis Associated with Building Water Systems*. Atlanta: ASHRAE.
- ASHRAE. 2010. ASHRAE Research Strategic Plan 2010–2018. Atlanta: ASHRAE. www.ashrae.org/technical-resources/research/research-strategic-plan.
- ASHRAE. 2018. *ASHRAE Position Document on Limiting Indoor Mold and Dampness in Buildings*. Atlanta: ASHRAE. www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/ashrae---limiting-indoor-mold-and-dampness-in-buildings.pdf.
- ASHRAE. 2017. ANSI/ASHRAE Standard 55-2017, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta: ASHRAE.

- Belongia, E.A., B.A. Kieke, J.G. Donahue, R.T. Greenlee, A. Balish, A. Foust, S. Lindstrom, and D.K. Shay. 2009. Effectiveness of inactivated influenza vaccines varied substantially with antigenic match from the 2004–2005 season to the 2006–2007 season. *Journal of Infectious Diseases* 199(2):159–67. DOI: 10.1086/595861.
- BOMA. 2012. *Emergency Preparedness Guidebook: The Property Professional's Resource for Developing Emergency Plans for Natural and Human-Based Threats*. Washington, DC: Building Owners and Managers Association International.
- Brankston, G., L. Gitterman, Z. Hirji, C. Lemieux, and M. Gardam. 2007. Transmission of influenza A in human beings. *Lancet Infectious Disease* 7:257–65.
- Bucher, S.J., P.W. Brickner, C. Wang, R.L. Vincent, K. Becan-McBride, M.A. James, M. Michael, and J.D. Wright. 2008. Safety of upper-room ultraviolet germicidal air disinfection for room occupants: Results from the tuberculosis ultraviolet shelter study. *Public Health Reports* 123:52–60.
- Catanzaro, A. 1982. Nosocomial tuberculosis. *American Review of Respiratory Diseases* 125:559–62.
- CDC. 2001. Recognition of illness associated with the intentional release of a biologic agent. *Journal of the American Medical Association* 286:2088–90.
- CDC. 2003. *Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities*. Atlanta: Center for Disease Control and Prevention.
- CDC. 2014. NIOSH-approved N95 particulate filtering facepiece respirators. Atlanta: Center for Disease Control and Prevention. www.cdc.gov/niosh/npptl/topics/respirators/disp_part/n95list1.html.
- Chu, C.M., V.C. Cheng, I.F. Hung, K.S. Chan, B.S. Tang, T.H. Tsang, K.H. Chan, and K.Y. Yuen. 2005. Viral load distribution in SARS outbreak. *Emerging Infectious Diseases* 11(12):1882–86.
- Cole, E.C., and C.E. Cook. 1998. Characterization of infectious aerosols in health care facilities: An aid to effective engineering controls and preventive strategies. *American Journal of Infection Control* 26(4):453–64.
- D'Alessio, D.J., C.K. Meschievitz, J.A. Peterson, C.R. Dick, and E.C. Dick. 1984. Short-duration exposure and the transmission of rhinoviral colds. *Journal of Infectious Diseases* 150(2):189–94.
- Dick, E.C., C.R. Blumer, and A.S. Evans. 1967. Epidemiology of infections with rhinovirus types 43 and 55 in a group of University of Wisconsin student families. *American Journal of Epidemiology* 86(2):386–400.
- Dick, E.C., L.C. Jennings, K.A. Mink, C.D. Wartgow, and S.L. Inhorn. 1987. Aerosol transmission of rhinovirus colds. *Journal of Infectious Diseases* 156:442–8.
- Duguid, J.P. 1946. The size and duration of air-carriage of respiratory droplets and droplet nuclei. *The Journal of Hygiene (London)* 44:471–79.
- Fennelly, K.P., J.W. Martyny, K.E. Fulton, I.M. Orme, D.M. Cave, and L.B. Heifets. 2004. Cough-generated aerosols of Mycobacterium tuberculosis: A new method to study infectiousness. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 169:604–609.
- Gao, N.P., and J.L. Niu. 2004. CFD study on micro-environment around human body and personalized ventilation. *Building and Environment* 39:795–805.
- Gao, X., Y. Li, P. Xu, and B.J. Cowling. 2012. Evaluation of intervention strategies in schools including ventilation for influenza transmission control. *Building Simulation* 5(1):29, 37.

- Gwaltney, J., and J.O. Hendley. 1978. Rhinovirus transmission: One if by air, two if by hand. *American Journal of Epidemiology* 107(5):357–61.
- Han, K., X. Zhu, F. He, L. Liu, L. Zhang, H. Ma, X. Tang, T. Huang, G. Zeng, and B.P. Zhu. 2009. Lack of airborne transmission during outbreak of pandemic (H1N1) 2009 among tour group members, China, June 2009. *Emerging Infectious Diseases* 15(10):1578–81.
- Harriman, L., G. Brundrett, and R. Kittler. 2006. *Humidity Control Design Guide for Commercial and Institutional Buildings*. Atlanta: ASHRAE.
- Hoge, C.W., M.R. Reichler, E.A. Dominguez, J.C. Bremer, T.D. Mastro, K.A. Hendricks, D.M. Musher, J.A. Elliott, R.R. Facklam, and R.F. Breiman. 1994. An epidemic of pneumococcal disease in an overcrowded, inadequately ventilated jail. *New England Journal of Medicine* 331(10):643–8.
- Klontz, K.C., N.A. Hynes, R.A. Gunn, M.H. Wilder, M.W. Harmon, and A.P. Kendal. 1989. An outbreak of influenza A/Taiwan/1/86 (H1N1) infections at a naval base and its association with airplane travel. *American Journal of Epidemiology* 129:341–48.
- Ko, G., M.W. First, and H.A. Burge. 2002. The characterization of upper-room ultraviolet germicidal irradiation in inactivating airborne microorganisms. *Environmental Health Perspectives* 110:95–101.
- Kujundzic, E., M. Hernandez, and S.L. Miller. 2007. Ultraviolet germicidal irradiation inactivation of airborne fungal spores and bacteria in upper-room air and in-duct configurations. *Journal of Environmental Engineering and Science* 6:1–9.
- Li, Y., G.M. Leung, J.W. Tang, X. Yang, C.Y.H. Chao, J.Z. Lin, J.W. Lu, P.V. Nielsen, J. Niu, H. Qian, A.C. Sleight, H-J. J. Su, J. Sundell, T.W. Wong, and P.L. Yuen. 2007. Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in the built environment—A multi-disciplinary systematic review. *Indoor Air* 17(1):2–18.
- Li, Y., H. Qian, I.T.S. Yu, and T.W. Wong. 2005. Probable roles of bio-aerosol dispersion in the SARS outbreak in Amoy Gardens, Hong Kong. Chapter 16. In *Population Dynamics and Infectious Disease in the Asia-Pacific*. Singapore: World Scientific Publishing.
- Li, Y., X. Huang, I.T.S. Yu, T.W. Wong, and H. Qian. 2005. Role of air distribution in SARS transmission during the largest nosocomial outbreak in Hong Kong. *Indoor Air* 15:83–95.
- Lowen, A.C., S. Mubareka, J. Steel, and P. Palese. 2007. Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature. *PLOS Pathogens* 3:1470–76.
- Mahida, N., N. Vaughan, and T. Boswell. 2013. First UK evaluation of an automated ultraviolet-C room decontamination device (Tru-D). *Journal of Hospital Infection* <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhin.2013.05.005>.
- Mandell, G. 2010. *Mandell, Douglas, and Bennett's Principles and Practice of Infectious Diseases*, 7th ed. London: Churchill Livingstone.
- McLean, R.L. 1961. The effect of ultraviolet radiation upon the transmission of epidemic influenza in long-term hospital patients. *American Review of Respiratory Diseases* 83(2):36–8.
- MDH. 2013. *Airborne Infectious Disease Management Manual: Methods for Temporary Negative Pressure Isolation*. St Paul, MN: Minnesota Department of Health.
- Memarzadeh, F. 2011. Literature review of the effect of temperature and humidity on viruses. *ASHRAE Transactions* 117(2).

- Memarzadeh, F., R.M. Olmsted, and J.M. Bartley. 2010. Applications of ultraviolet germicidal irradiation disinfection in healthcare facilities: Effective adjunct, but not stand-alone technology. *American Journal of Infection Control* 38:S13–24.
- Miller, S.L., J. Linnes, and J. Luongo. 2013. Ultraviolet germicidal irradiation: Future directions for air disinfection and building applications. *Photochemistry and Photobiology* 89:777–81.
- Moser, M.R., T.R. Bender, H.S. Margolis, G.R. Noble, A.P. Kendal, and D.G. Ritter. 1979. An outbreak of influenza aboard a commercial airliner. *American Journal of Epidemiology* 110(1):1–6.
- Myatt, T.A., S.L. Johnston, Z. Zuo, M. Wand, T. Kebabze, S. Rudnick, and D.K. Milton. 2004. Detection of airborne rhinovirus and its relation to outdoor air supply in office environments. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 169:1187–90.
- Nardell, E.A., S.J. Bucher, P.W. Brickner, C. Wang, R.L. Vincent, K. Becan-McBride, M.A. James, M. Michael, and J.D. Wright. 2008. Safety of upper-room ultraviolet germicidal air disinfection for room occupants: Results from the tuberculosis ultraviolet shelter study. *Public Health Reports* 123:52–60.
- Nicas, M., W.W. Nazaroff, and A. Hubbard. 2005. Toward understanding the risk of secondary airborne infection: Emission of respirable pathogens. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2:143–54.
- NIOSH. 2009. *Environmental Control for Tuberculosis: Basic Upper-Room Ultraviolet Germicidal Irradiation Guidelines for Healthcare Settings*. DHHS (NIOSH) Publication No. 2009-105. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. www.cdc.gov/niosh/docs/2009-105.
- Noti, J.D., F.M. Blachere, C.M. McMillen, W.G. Lindsley, M.L. Kashon, D.R. Slaughter, and D.H. Beezhold. 2013. High humidity leads to loss of infectious influenza virus from simulated coughs. *PLOS ONE* 8(2):e57485.
- OSHA. 1999. *OSHA Technical Manual*. Washington, DC: Occupational Safety & Health Administration.
- Osterholm, M.T., N.S. Kelley, A. Sommer, and E.A. Belongia. 2012. Efficacy and effectiveness of influenza vaccines: A systematic review and meta-analysis. *Lancet Infectious Diseases*. 12(1):36–44. DOI: 10.1016/S1473-3099(11)70295-X.
- Peccia, J., H. Werth, S.L. Miller, and M. Hernandez. 2001. Effects of relative humidity on the ultraviolet-induced inactivation of airborne bacteria. *Aerosol Science & Technology* 35:728–40.
- Reed, N.G. 2010. The history of ultraviolet germicidal irradiation for air disinfection. *Public Health Reports* 125(1):15–27.
- Riley, R.L., and E.A. Nardell. 1989. Clearing the air: The theory and application of ultraviolet air disinfection. *American Review of Respiratory Diseases* 139(5):1286–94.
- Riley, R.L., C.C. Mills, F. O'Grady, L.U. Sultan, F. Wittstadt, and D.N. Shivpuri. 1962. Infectiousness of air from a tuberculosis ward—Ultraviolet irradiation of infected air: Comparative infectiousness of different patients. *American Review of Respiratory Diseases* 85:511–25.
- Riley, E.C., G. Murphy, and R.L. Riley. 1978. Airborne spread of measles in a suburban elementary school. *American Journal of Epidemiology* 107:421–32.

- SA Health. 2013. *Guidelines for Control of Legionella in Manufactured Water Systems in South Australia*. Rundle Mall, South Australia: SA Health.
- Schaffer, F.L., M.E. Soergel, and D.C. Straube. 1976. Survival of airborne influenza virus: Effects of propagating host, relative humidity, and composition of spray fluids. *Archives of Virology* 51:263–73.
- Schoen, L.J. 2020. Guidance for building operations during the COVID-19 pandemic. *ASHRAE Journal Newsletter*, March 24, 2020. www.ashrae.org/news/ashraejournal/guidance-for-building-operations-during-the-covid-19-pandemic.
- Sun, Y., Z. Wang, Y. Zhang, and J. Sundell. 2011. In China, students in crowded dormitories with a low ventilation rate have more common colds: Evidence for airborne transmission. *PLOS ONE* 6(11):e27140.
- Sylvain, D., and L. Tapp. 2009. UV-C exposure and health effects in surgical suite personnel. Health hazard evaluation report: HETA-2007-0257-3082. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. www.cdc.gov/niosh/nioshtic-2/20035372.html.
- Tang, J.W. 2009. The effect of environmental parameters on the survival of airborne infectious agents. *Journal of the Royal Society Interface* 6:S737–S746.
- Tang, J.W., Y. Li, I. Eames, P.K.S. Chan, and G.L. Ridgway. 2006. Factors involved in the aerosol transmission of infection and control of ventilation in healthcare premises. *Journal of Hospital Infection* 64(2):100–14.
- Tellier, R. 2006. Review of aerosol transmission of influenza a virus. *Emerging Infectious Disease* 12(11):1657–62.
- VanOsdell, D., and K. Foarde. 2002. *Defining the Effectiveness of UV Lamps Installed in Circulating Air Ductwork—Final Report*. Arlington, VA: Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute.
- Wainwright, C.E., M.W. Frances, P. O'Rourke, S. Anuj, T.J. Kidd, M.D. Nissen, T.P. Sloots, C. Coulter, Z. Ristovski, M. Hargreaves, B.R. Rose, C. Harbour, S.C. Bell, and K.P. Fennelly. 2009. Cough-generated aerosols of *Pseudomonas aeruginosa* and other gram-negative bacteria from patients with cystic fibrosis. *Thorax* 64:926–31.
- Wang, B., A. Zhang, J.L. Sun, H. Liu, J. Hu, and L.X. Xu. 2005. Study of SARS transmission via liquid droplets in air. *Journal of Biomechanical Engineering* 127:32–8.
- Wang, Y., C. Sekhar, W.P. Bahnfleth, K. W. Cheong, and J. Firrantello. 2016. Effectiveness of an ultraviolet germicidal irradiation system in enhancing cooling coil energy performance in a hot and humid climate. *Energy and Buildings* 130, pp. 321–29. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.08.063.
- Wat, D. 2004. The common cold: A review of the literature. *European Journal of Internal Medicine* 15:79–88.
- Wells, W.F. 1948. On the mechanics of droplet nuclei infection; Apparatus for the quantitative study of droplet nuclei infection of animals. *Am J Hyg.* 47(1):1–10. DOI: 10.1093/oxfordjournals.aje.a119176.
- Wells, W.F. 1955. *Airborne Contagion and Air Hygiene*. Cambridge: Harvard University Press, pp. 191.
- WHO. 2007. *Legionella and the prevention of Legionellosis*. Geneva: World Health Organization.

- WHO. 2009. *Natural Ventilation for Infection Control in Health-Care Settings*. Geneva: World Health Organization.
- WHO. 2014. Influenza: Public health preparedness. Geneva: World Health Organization. www.who.int/influenza/preparedness/en.
- Wong, B.X., N. Lee, Y. Li, P.X. Chan, H. Qiu, Z. Luo, R.X. Lai, K.X. Ngai, D.X. Hui, K.X. Choi, and I.X. Yu. 2010. Possible role of aerosol transmission in a hospital outbreak of influenza. *Clinical Infectious Diseases* 51(10):1176–83.
- Xie, X.J., Y.G. Li, H.Q. Sun, and L. Liu. 2009. Exhaled droplets due to talking and coughing. *Journal of The Royal Society Interface* 6:S703–S714.
- Xie, X., Y. Li, A.T.Y. Chwang, P.L. Ho, and H. Seto. 2007. How far droplets can move in indoor environments—Revisiting the Wells evaporation-falling curve. *Indoor Air* 17:211–25.
- Xu, P., E. Kujundzic, J. Peccia, M.P. Schafer, G. Moss, M. Hernandez, and S.L. Miller. 2005. Impact of environmental factors on efficacy of upper-room air ultraviolet germicidal irradiation for inactivating airborne mycobacteria. *Environmental Science & Technology* 39:9656–64.
- Xu, P., J. Peccia, P. Fabian, J.W. Martyny, K. Fennelly, M. Hernandez, and S.L. Miller. 2003. Efficacy of ultraviolet germicidal irradiation of upper-room air in inactivating bacterial spores and mycobacteria in full-scale studies. *Atmospheric Environment* 37:405–19.
- Xu, P., N. Fisher, and S.L. Miller. 2013. Using computational fluid dynamics modeling to evaluate the design of hospital ultraviolet germicidal irradiation systems for inactivating airborne mycobacteria. *Photochemistry and Photobiology* 89(4):792–8.
- Yang, W., and L. Marr. 2012b. Mechanisms by which ambient humidity may affect viruses in aerosols. *Applied and Environmental Microbiology* 78(19):6781. DOI: 10.1128/AEM.01658–12.
- Yang, W., S. Elankumaran, and L.C. Marr. 2012. Relationship between humidity and influenza A viability in droplets and implications for influenza's seasonality. *PLOS ONE* 7(10):e46789. DOI:10.1371/journal.pone.0046789.
- Yu, I.T., Y. Li, T.W. Wong, W. Tam, A.T. Chan, J.H. Lee, D.Y. Leung, and T. Ho. 2004. Evidence of airborne transmission of the severe acute respiratory syndrome virus. *N Engl J Med* 350:1731–39.