

UMA BREVE DISCUSSÃO SOBRE A AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO  
DE AR PARA SALAS CIRÚRGICAS

**Mônica do Amaral Melhado, PhD**

Arquiteta no MoAM Archi + Design

e-mail: monica\_melhado@yahoo.com.br

A2 – Aplicações Indústrias e Especiais

**Resumo.** *Diferentes sistemas de distribuição de ar têm sido utilizados em salas cirúrgicas. Estes sistemas devem prover adequada qualidade do ar interior, minimizar o risco de infecção, e estabelecer condições de conforto para a equipe médica e condições térmicas que não representem risco ao paciente que poderia desenvolver hipotermia. O objetivo deste artigo é discutir o estado-da-arte dos sistemas de ventilação e introduzir a metodologia de avaliação proposta em Melhado (2012). O método de estudo foi conduzido através de revisão bibliográfica. Sete sistemas de distribuição de ar com diferentes designs e aplicações foram identificados. Vantagens e desvantagens do uso de cada sistema são discutidas. A metodologia desenvolvida considera as seguintes etapas: (1) os grupos de interesse envolvido na fase de projeto e no uso do sistema são identificados; (2) os requerimentos e respectivos indicadores de desempenho são descritos, e as áreas de interesse a serem investigadas; (3) o método de avaliação combina o uso da simulação computacional, e situações a serem simuladas são sugeridas. A metodologia proposta tem como objetivo apoiar projetistas no desenvolvimento de sistemas de ventilação mais eficientes e os tomadores de decisão em hospitais a escolherem um sistema que melhor atenda suas necessidades. Resultados demonstram que há necessidade de pesquisas futuras e áreas a serem focalizadas durante o processo de projeto e de decisão dos sistemas de distribuição de ar de salas cirúrgicas.*

**Palavras-chave:** *Sistemas de distribuição de ar; salas cirúrgicas; HVAC; simulação computacional; projeto baseado em evidências.*

## 1. INTRODUÇÃO

Estabelecimentos de assistência à saúde (EAS) destinados à população incluem hospitais gerais e especializados, clínicas e centros de saúde. Certos ambientes e unidades de EAS requerem condições especiais de tratamento de ar através de instalações de ar condicionado e ventilação mecânica. (ABNT, 2005; Ministério da Saúde, 2002) Neste artigo o ambiente de estudo será a sala cirúrgica.

Salas cirúrgicas são ambientes complexos e dinâmicos que requerem atenção especial em termos do controle do ambiente onde o sistema de distribuição de ar tem importante função. (WHO, 2016; Kowalski, 2012) Os sistemas de distribuição de ar utilizados em salas cirúrgicas contribuem para a redução do risco da infecção pós-cirúrgica. (Lehto e Buck, 2008; Kameel e Khalil, 2003; Lewis, 1993) Não obstante a eficiência de alguns sistemas de distribuição de ar, combinados à métodos de controle de infecção, a equipamentos de alta tecnologia e o uso de antibióticos, a incidência de infecções pós-cirúrgicas permanece alta em alguns tipos de cirurgia. A partir de um extenso levantamento bibliográfico realizado pela Organização Mundial da Saúde em 2016 verificou-se que as infecções pós-cirúrgicas podem afetar até um terço dos pacientes submetidos a procedimentos cirúrgicos, sendo que a incidência diferiu segundo o tipo de cirurgia e países avaliados. As infecções representam significativo ônus na morbidade e mortalidade dos pacientes, na eficiência de antibióticos com microorganismos mais resistentes e nos custos diretos e indiretos. (<http://www.who.int/infection-prevention/en/>; Barros, 2016; Knobben, 2006; Bigal *et al.*, 2001)

Além de minimizar o risco de infecção pós-cirúrgica, o sistema de ventilação deve também prover qualidade do ar interior e condições térmicas adequados ao uso do ambiente. Sistemas com desempenho inadequado podem ocasionar outros problemas, incluindo perda de produtividade e ausência do trabalho da equipe médica, risco de hipotermia para o paciente e queixas de desconforto térmico da equipe, e custos adicionais. (Wu, 2011; Dascalaki *et al.*, 2008; CDC, 2003; Mora, 2001; Olesen e Bovenzi, 1985)

Segundo Melhado (2012) possíveis causas do desempenho inadequado dos sistemas de distribuição de ar incluem: (a) a complexidade em salas cirúrgicas e algumas necessidades funcionais de diferentes pessoas envolvidas envolvidas na fase de uso não serem consideradas durante o desenvolvimento do projeto; (b) as avaliações simplificadas, verificando um número limitado de requerimentos e indicadores de desempenho; (c) a ausência de um método de avaliação que padronize o processo de projeto e que apoie as decisões tomadas por projetistas e clientes; (d) a comunicação entre diretores de hospitais, diretores de projeto e arquitetos algumas vezes não é clara em relação às necessidades dos usuários, limitações e possibilidades de projeto; (e) o uso inadequado do sistema por parte da equipe médica.

Uma maneira de evitar os problemas citados acima consiste em incentivar as boas práticas desde a fase inicial do desenvolvimento do projeto, tornando o processo mais claro e objetivo. Na seção 4 serão discutidos importantes aspectos que devem ser considerados no desenvolvimento e avaliação de sistemas de distribuição de ar para salas cirúrgicas.

## 2. OBJETIVOS

Este artigo tem como objetivo elencar os sistemas de distribuição de ar utilizados em salas cirúrgicas e discutir a metodologia de avaliação do desempenho destes sistemas proposta em Melhado (2012).

## 3 MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa inclui revisão de bibliografias nacionais e internacionais (livros, literatura, trabalhos acadêmicos e normas). Este levantamento permitirá verificar o estado da arte dos sistemas de distribuição em salas cirúrgicas e a aplicabilidade de cada sistema. Na sequência, a metodologia inicial de avaliação proposta por Melhado (2012) será discutida brevemente.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente é importante ter uma visão global dos diferentes sistemas de distribuição de ar disponíveis para salas cirúrgicas e verificar as implicações do uso de cada sistema. Os dados coletados estão resumidos na Tab. 1, e uma breve discussão é apresentada abaixo.

**Tabela 1.** Sistemas de distribuição de ar utilizados em salas cirúrgicas

Sistemas de Distribuição de Ar	Vantagens	Desvantagens	Referências revisadas
Sistemas com Fluxo de Ar Unidirecional / "Fluxo Laminar (LAF)"	Reduz o nível de contaminação na área da cirurgia; Apresenta potencial de proteção para o paciente;	o efeito da temperatura do fluxo de ar insuflado na área de cirurgia do paciente quando não monitorado pode resultar em risco de desenvolver hipothermia; Não há evidências suficientes que indiquem a eficiência do sistema em cirurgias de artroplastia total de quadril e cirurgias abdominais; O fluxo de ar pode ser alterado, por exemplo, pelo foco cirúrgico (nos sistemas verticais) e pela equipe (nos sistemas de distribuição de ar horizontais); Resultará no aumento de dispersão de partículas devido a ação do ar na cabeça e corpo da equipe médica; Apresenta alto custo de instalação e operacional; Requer grande área para as instalações;	Bischoff et al, 2017; WHO, 2016; Lu Yang et al., 2015; Anderson et al., 2014; Kowalski, 2012; Loomans et al., 2008; Memarzadeh & Manning, 2002; Friberg, 2002; Dharan & Pittet, 2002; Friberg, 1998; Lidwell et al., 1983; Lidwell et al., 1982
Sistemas com Fluxo Turbulento	Propiciam condições uniformes na sala cirúrgica;	Resulta no aumento de risco de infecção em algumas cirurgias; Movimento de partículas irregular no ambiente; Não propicia um ambiente com condições de assepsia;	WHO, 2016; Memarzadeh & Manning, 2002; Awbi, 1991; Lidwell et al., 1983; Lidwell et al., 1982
Sistema com fluxo unidirecional vertical + cortinas de ar	Propiciam uma barreira de proteção na área limpa (área onde ficará o paciente)	Apresenta alto custo de instalação e operacional;	Swift et al., 2007; Cook and Int-Hout, 2007; Melhado, 2003; Memarzadeh and Manning, 2002
Sistema de fluxo Laminar + vestimenta de proteção com sistema de exaustão	Reduzem o nível de contaminação devido o controle na fonte geradora; - Apresenta um impacto significativo no controle de infecção pós-cirúrgica;	Reduz o conforto, a mobilidade e a flexibilidade da equipe médica durante a cirurgia	Friberg, 1998; Technology Assessment Team, 1997; Lidwell, 1982
Sistema de fluxo turbulento + Sistema de fluxo laminar móvel	Reduzem a concentração de partículas na área do paciente; Permite obter o mesmo (e em alguns casos superior) nível de proteção de um sistema laminar ultra limpo; Pode ser utilizado com estratégia complementar de proteção quando o sistema convencional não reduz o nível de contaminação requerido em certos tipos de cirurgias;	Não propicia proteção na mesa de instrumentos	Loomans et al., 2016; 37. Sadrizadeh et al., 2014; Sossai et al, 2011; Friberg et al., 2003; Friberg et al., 2002
Sistema de distribuição do ar pelo piso	Propiciam melhores condições de conforto; Reduz a concentração de gases na sala cirúrgica	Resulta no aumento da concentração de partículas no ambiente e no risco de infecção	Memarzadeh & Manning, 2002; Friberg et al., 1996

[Fonte: adaptada de Melhado, 2012]

Os sistemas de fluxo unidirecional (vertical, horizontal e diagonal) tiveram maior atenção de pesquisadores e são considerados promissores em relação a função de proteção do paciente. Em alguns países estes sistemas também são conhecidos com “fluxo laminar” (LAF) e “plenum”. De acordo com Awbi (1991) para minimizar a dispersão de contaminantes no ambiente é essencial que este sistema apresente reduzida turbulência do ar. Este sistema combinado ao uso de filtro HEPA (*High Efficiency Particulate Air filters*) definirá duas zonas na sala cirúrgica, uma zona “limpa” e uma “ultra-limpa”. O filtro HEPA pode ser integrado ao difusor. (Dan Int-Hout, 2013) O sistema de fluxo unidirecional vertical pode ser encontrado em diversas dimensões e formas, como por exemplo quadrada, retangular, octogonal e em forma “T”. O difusor “T” foi desenvolvido com o objetivo de definir diferentes zonas térmicas (“2-T” e “3-T”) e duas zonas de proteção. (Melhado, 2012) Embora pesquisas tenham demonstrado a eficiência do sistema de fluxo unidirecional, WHO (2016) e Brandt *et al.* (2008) questionam a aplicabilidade do sistema LAF em certos tipos de cirurgia, além das desvantagens indicadas na Tab. 1. O sistema de distribuição de ar unidirecional vertical tem sido utilizado também em combinação com o sistema de cortinas de ar. Os difusores lineares criam uma barreira de ar entre a área “ultra-limpa” da cirurgia e a área ao redor do difusor. (ASHRAE, 2005) Alguns hospitais também incorporam cortinas de vidro ao sistema como uma barreira física.

Os sistemas de fluxo turbulento são conhecidos também como sistemas convencionais. Neste sistema a temperatura do ar e a concentração de contaminantes tende a ser uniforme no ambiente, sendo a maior concentração próxima às fontes geradoras. Estudos indicam que o sistema convencional pode aumentar o risco de infecção cruzada em comparação com sistemas de fluxo unidirecional vertical, especialmente na mesa de instrumentos e área do paciente. Porém, o sistema permite a diluição do ar ambiente, diminuindo a concentração de contaminantes na sala cirúrgica. O sistema convencional tem sido também utilizado em combinação com outros sistemas, por exemplo, com o sistema móvel de fluxo laminar e com vestimentas de proteção com sistema de exaustão. Segundo estudos, a combinação destes sistemas resulta em um potencial de proteção equivalente ao sistema LAF com filtro HEPA a um custo reduzido. A desvantagem citada na Tab. 1 sobre o risco na mesa de instrumentos poderá ser resolvida com o uso de outra unidade LAF móvel nesta área de interesse, prática utilizada em alguns países.

Além dos sistemas discutidos na Tab. 1, recentemente um novo sistema de ventilação de fluxo de ar com controle de temperatura foi proposto por Alsved *et al.* (2018) com resultados iniciais promissores no controle de partículas.

Diferentes tipos de sistemas de distribuição de ar e designs foram identificados em uso em salas cirúrgicas. Neste levantamento foi verificado que os procedimentos de avaliação do desempenho de sistemas de distribuição tendem a diferir significativamente em pesquisas e na prática, e determinados requerimentos e indicadores de desempenho não são considerados nas avaliações. (Melhado, Loomans, Hensen e Lamberts, 2016) Portanto, determinar qual destes sistemas e design melhor atenderá às necessidades dos clientes, em que situações e se terá o desempenho requerido é um desafio para projetistas e pesquisadores.

Melhado (2012) propõe uma metodologia de apoio à projetistas para avaliar diferentes sistemas de distribuição de ar para sala cirúrgica de forma objetiva e com o uso de simulação computacional. De forma sintetizada, abaixo são listadas algumas etapas da avaliação. A descrição detalhada de cada etapa e como foram definidas, e informações adicionais estão disponíveis no documento de origem.

- Etapa 1: Identificar o grupo de interesse e suas necessidades

Nesta etapa são definidos os grupos de interesse envolvidos no processo de projeto e na fase de uso do produto. Foram identificados os seguintes grupos: paciente, membros da equipe médicas, diretores de hospitais, representante da equipe médica, os seguros de saúde, as agências reguladoras, a equipe responsável pelo controle de infecção e o departamento técnico. Embora alguns grupos não participem diretamente das reuniões e discussões do projeto, os valores associados e as necessidades funcionais devem estar claros e definidos. Com base nestas informações e ciente dos custos e benefícios envolvidos, os tomadores de decisões junto com projetistas definirão os aspectos a serem contemplados durante o processo.

- Etapa 2: Definir os indicadores de desempenho e os valores a serem alcançados

Definidas as necessidades funcionais, os requerimentos e indicadores de desempenho foram identificados e listados abaixo. Assim como os parâmetros de projeto, os valores dos indicadores de desempenho são estabelecidos por normas. Bibliografias complementares, podem ser utilizadas quando necessárias; porém, tendo o cuidado de utilizar referências reconhecidas por seu valor técnico-científico. Na Tab. 2 estão ilustrados alguns exemplos de indicadores que deverão ser verificados na avaliação do desempenho dos sistemas de distribuição de ar para salas cirúrgicas.

- Requerimentos e respectivos indicadores de desempenho:

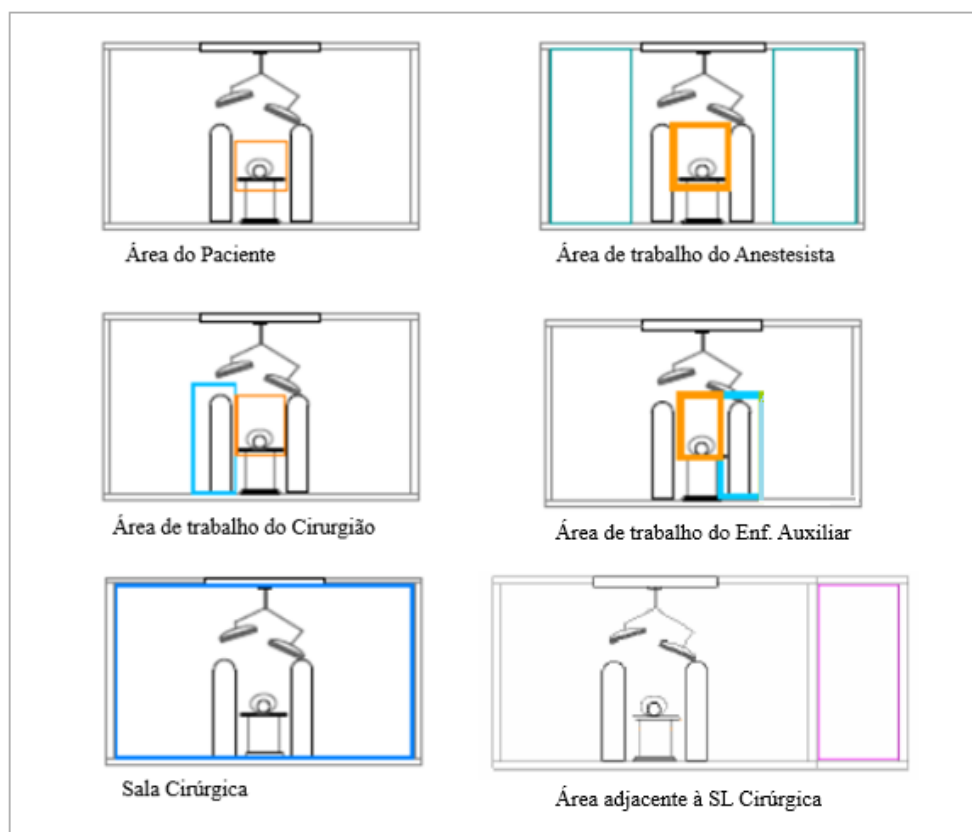
- Qualidade do ar interior. Indicadores: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar, concentração de contaminantes (partículas não biológicas e bioaerossóis, componentes químicos e gases), idade média do ar no ambiente e eficiência da ventilação.
- Condições térmicas. Indicadores: temperatura operativa, PMV-index, PPD, desconforto local (por assimetria, correntes de ar, diferença na temperatura no sentido vertical e temperatura do piso), temperatura da pele e temperatura interna do corpo.

**Tabela 2.** Exemplos de indicadores de desempenho e de valores a serem alcançados

Indicadores de Desempenho	Valores
Temperatura do Ar	e.g., 18-22°C (NBR 7256, 2005); 20-24°C (ASHRAE - Standard 170); 22°C (VDI 2167); 27°C para cirurgias pediátricas (DGKH, 2002)
Concentração de Partículas	e.g., 35 cfu/m <sup>3</sup> (sala vazia) and 180 cfu/m <sup>3</sup> (em atividade) (Dharan and Pittet, 2002); em cirurgias (sistema + HEPA) => Classe 1: < 10 cfu/m <sup>3</sup> ; e Classe 2: <200 cfu/m <sup>3</sup> (Loomans <i>et al.</i> , 2008)
Concentração de componentes químicos	e.g., 10 ppm of N <sub>2</sub> O na zona de respiração do anestesista (NIOSH, 1977); <25 ppm de N <sub>2</sub> O no ambiente (NIOSH, 1977);
PMV-index	e.g., intervalo -0.5 - +0.5 (para aplicação típica e quando outras informações não estão disponíveis) (ASHRAE Standard 55)
PPD	e.g., <10% (para aplicações típicas) (ASHRAE - Standard 55)
Diferença na temperatura no sentido vertical	e.g., < 3°C diferença entre 1.1m e 0.1m acima do nível do piso (ISO 7730, 2005)

[Fonte: adaptada de Melhado, 2012]

Nesta etapa, de acordo com o indicador de desempenho, deverão ser definidas as zonas de interesse a serem avaliadas, por exemplo, a sala cirúrgica, a mesa cirúrgica, mesa de instrumentos, zona de respiração da equipe médica e as zonas de trabalho de diferentes membros da equipe médica. Na Fig. 1 são ilustradas algumas importantes áreas de interesse.



**Figura 1.** Exemplo de áreas de interesse em uma sala cirúrgica [Fonte: Melhado, 2012]

- Etapa 3: Definir o método de avaliação e situações a serem analisadas

Os métodos disponíveis para avaliar o desempenho de sistemas de distribuição de ar incluem os métodos experimentais (ambiente real ou em escala), os cálculos e o uso de ferramentas computacionais. Devido às restrições de tempo e custos, os experimentos são utilizados principalmente na fase de uso e na validação da simulação computacional. A simulação computacional mostrou-se uma importante ferramenta de auxílio para prever o desempenho do(s) sistema(s)

investigado. As simulações possibilitam identificar problemas e otimizar o design nas fases iniciais do projeto, evitando possíveis falhas no conceito, sistemas com desempenho inadequados e custos adicionais. Durante a fase de uso do sistema também são necessárias verificações rigorosas para determinar se os objetivos de desempenho foram atingidos. Três ferramentas computacionais são consideradas: “Building Energy Simulation (BES)”, “Airflow Network (AFN)” e “Computational Fluid Dynamic (CFD)”. Fig. 3 ilustra a avaliação dos indicadores de desempenho e um instrumento de apoio de decisão pelo método mais apropriado de avaliação. Para decidir o tipo de ferramenta que será utilizada para calcular o(s) indicador(s) de desempenho é essencial identificar as condições de contorno e a dinâmica do ar nas zonas de interesse.

De forma simplificada, na Fig. 2 são elucidados três sistemas de distribuição de ar, o sistema de exaustão e a dinâmica do ar resultante na sala e em uma zona de interesse. Nestes exemplos não foram consideradas as influências da movimentação de pessoas, fontes de calor, elementos e equipamentos na sala cirúrgica. Na situação I é exemplificado um sistema de ventilação vertical em todo o forro da sala cirúrgica e o fluxo de ar observado é uniforme e unidirecional. No exemplo II é exemplificado um sistema similar ao I, porém, com dimensões reduzidas resultando em áreas com o fluxo de ar uniforme ou turbulento e em algumas áreas os fluxos combinados. No exemplo III é ilustrado um sistema convencional e o fluxo de ar resultante será turbulento e uniforme em todas as áreas.

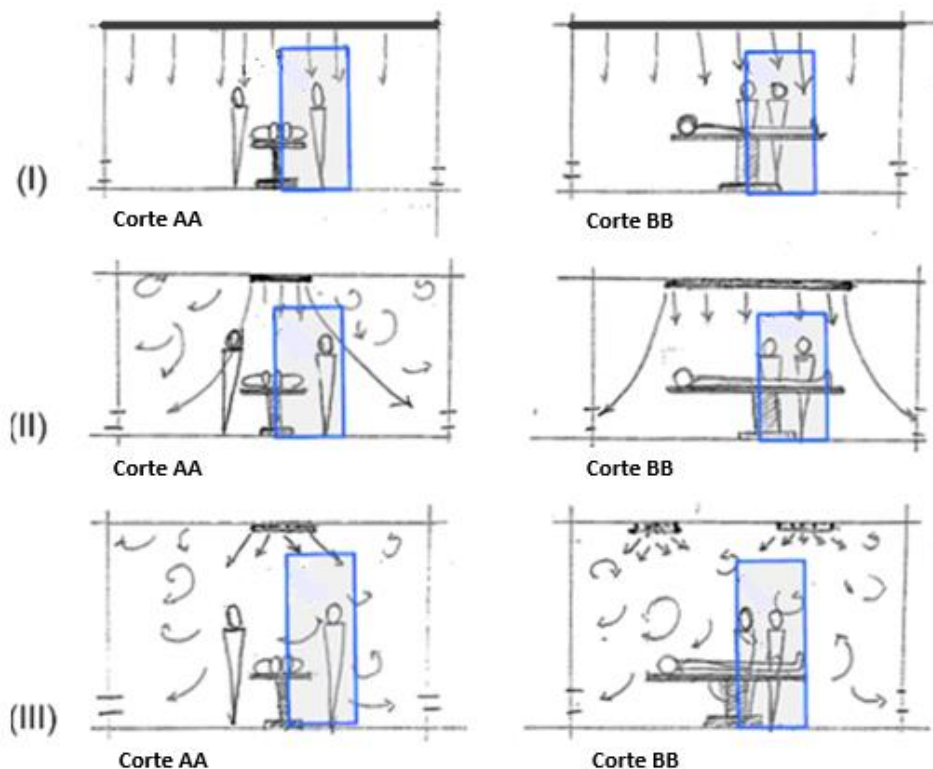


Figura 2. Ilustração da dinâmica do ar em três designs de sistemas de distribuição de ar. [Fonte: Melhado, 2012]

Na avaliação inicial do(s) indicador(s) de desempenho uma situação/cenário modelo deve ser definida pelo projetista ou pelo cliente para ser avaliada, ou um modelo pré-definido (exemplo, o apresentado na VDI 2167) poderá ser utilizado. Informações tais como dimensões e características da sala cirúrgica, layout, número de pessoas e posições, equipamentos e foco cirúrgico deverão ser definidas. Este modelo inicial representa uma situação simples. Outras avaliações com cenários de maior complexidade devem ser consideradas ao longo do processo de projeto, por exemplo, alterando o tipo de foco cirúrgico, o número de pessoas, ou layout. Este tipo de investigação permitirá identificar a influência de diferentes cenários no desempenho do sistema de distribuição de ar. O uso de simulação computacional também permite comparar o desempenho do sistema utilizando diferentes parâmetros de projeto a exemplo do estudo descrito por Khankari (2018), e o movimento de pessoas no ambiente descrito por Brohus, Balling e Jeppesen (2006). Outras situações são discutidas em Melhado (2012). Considerando que o projeto avaliado tenha o desempenho requerido, o design pode ir para a próxima etapa do processo de projeto. Caso contrário, os ajustes ou a definição de um novo sistema de distribuição de ar serão necessários.

A metodologia proposta por Melhado (2012) e o método apresentado na Fig. 3 foram avaliados por especialistas. Os resultados desta investigação inicial indicaram uma reação positiva em relação à configuração geral da metodologia de apoio ao projeto e no que diz respeito à avaliação dos sistemas de distribuição de ar para salas cirúrgicas. No entanto, algumas barreiras entre teoria e prática foram identificadas, por exemplo, as restrições de recursos (tempo, conhecimento e financeiro). Opções e instruções para melhorias foram especificadas. A confirmação adicional da melhoria real do projeto aplicando a abordagem em um caso prático é recomendada em trabalhos futuros.

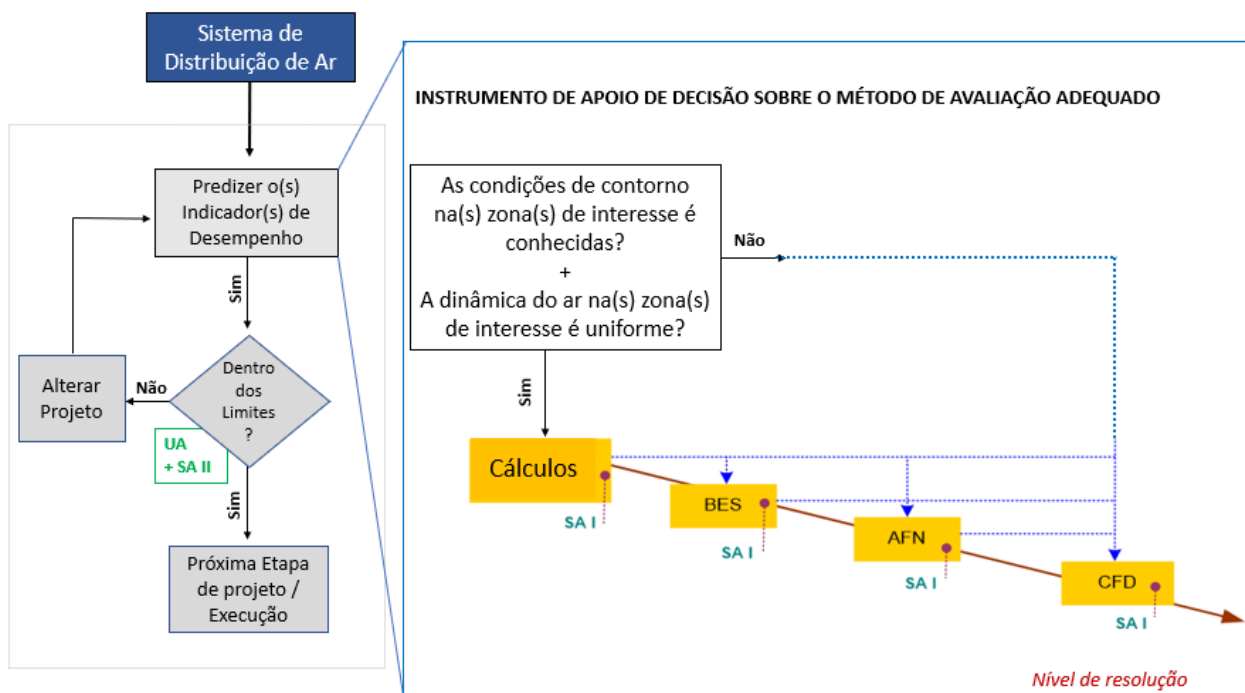


Figura 3. Avaliação do desempenho de sistemas de distribuição de ar [Fonte: Melhado, 2012]

## 5 CONCLUSÕES

Os dados coletados permitiram visualizar a complexidade do problema de projeto estudado, a identificar o estado da arte dos sistemas de distribuição de ar e introduzir uma metodologia de avaliação para sistemas de distribuição de ar para salas cirúrgicas. Na avaliação inicial da metodologia proposta verificou-se a importância do instrumento no desenvolvimento e na avaliação do projeto, e os aspectos que precisam ser melhorados. Como sugestão de trabalhos futuros recomenda-se verificar a aplicabilidade da metodologia proposta por Melhado (2012) na prática por projetistas e como uma ferramenta de apoio aos tomadores de decisão em hospitais.

## 6 RECONHECIMENTO

A metodologia de avaliação discutida neste artigo foi desenvolvida por Melhado em 2012 no Doutorado realizado na *Technische Universiteit Eindhoven*. A autora recebeu apoio das bolsas de estudo “Programa Alban” e da “Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)”.

### *Agradecimentos*

Sinceros agradecimentos aos Supervisores Dr. Jan J.L.M. Hensen, Roberto Lamberts, PhD e Dr. Marcel M.G.L.C. Loomans e à Instituição *Technische Universiteit Eindhoven*.

## 7 REFERÊNCIAS

- ABNT, 2005. Tratamento de Ar em Unidades Médico-assistenciais. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma NBR 7256, Rio de Janeiro.
- Alsved, M., Civilis, A., Ekolind, P., Tammelin, A., Andersson, A., Jakobsson, J., Svensson, T., Ramstorp, M., Sadri-zadeh, S., Larsson, P.A., Bohgard, M., Šantl-Temkiv, T. e Löndahl, J., 2018. Temperature-controlled airflow ventilation in operating rooms compared with laminar airflow and turbulent mixed airflow. *J. Hospital Infection*, 2018 Feb;98(2):181-190.
- Andersson, E.A., Petzold, M., Bergh, I., Karlsson, J., Eriksson, B.I. e Nilsson, K., 2014. Comparison between mixed and laminar airflow systems in operating rooms and the influence of human factors: experiences from a Swedish orthopedic center. *Am J Infect Control*. 2014 Jun;42(6):665-9.
- ASHRAE, 2017. Ventilation of Health Care Facilities. ANSI/ASHRAE *Standard* 170-2017.

- ASHRAE, 2005. Handbook – Fundamentals; Chapter 34. Atlanta.
- ASHRAE, 2004. Thermal Environment Conditions for Human Occupancy. ANSI/ASHRAE Standard 55.
- Barros, C.S.M.A., 2016. Custos atribuídos às infecções de sítio cirúrgico em um Hospital Universitário em Salvador-Bahia. Tese de Doutorado em Biotecnologia em Saúde e Medicina Investigativa - Fundação Oswaldo Cruz.
- Brandt, C., Hott, U., Sohr, D., Daschner, F., Gastmeier, P. e Rüden, H., 2008. Operating room ventilation with laminar airflow shows no protective effect on the surgical site infection rate in orthopaedic and abdominal surgery. *Ann Surg*; 248 (5):695-700.
- Bischoff P, Kubilay NZ, Allegranzi B., Egger, M. e Gastmeier, P., 2017. Effect of Laminar airflow ventilation on surgical site infections: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Infect Dis*. 2017; 17(5):553–61.
- Bigal, M.E., Moraes, F.A., Fernandes, L.C., Bordini, C.A. e Speciali, J.G., 2001. Indirect Costs of Migraine in a Public Brazilian Hospital”. *Headache: The Journal of Head and Face Pain*; Vol. 41(5); pp. 503-508
- Brohus, H., Balling, K.D., Jeppesen, D., 2006. Influence of movements on contamination transport in an operating room. *Indoor Air*; 16: 356-372.
- CDC and HICPAC, 2003; Centers for Disease Control and Prevention and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee. “Guidelines for environmental infection control in health-care facilities“. U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta
- Cook, M., 2007. The design quality manual: improving building performance. Oxford: Blackwell
- Dan Int-Hout, 2013. Air Distribution in the OR. ASHRAE Journal. Disponível em: [https://www.krueger-hvac.com/files/white%20papers/article\\_air\\_distribution\\_in\\_the\\_OR.pdf](https://www.krueger-hvac.com/files/white%20papers/article_air_distribution_in_the_OR.pdf)
- Dharan S e Pittet D, 2002. Environmental controls in operating theatres. *Journal of Hospital Infection* 51(2):79-84.
- Dascalaki, E.G., Lagoudi, A., Balaras, C.A. e Gaglia, A.G., 2008. “Air quality in hospital operating rooms”. *Building and Environment*; Vol. 43, Issue 11, pp. 1945-1952.
- DGKH, 2002. Designing and Operating Heating, Ventilation and Air-Conditioning in Hospitals”. *Deutsche Gesellschaft fur Krankenhaushygiene. Guidelines. Hyg Med* (27).
- Friberg S, Ardnor B, Lundholm R e Friberg B, 2003. The addition of a mobile ultraclean exponential laminar airflow screen to conventional operating room ventilation reduces bacterial contamination to operating box levels. *Journal of Hospital Infection*. Vol. 55, Issue 2, pp. 92-97.
- Friberg, B., Lindgren, M., Karlsson, C., Bergström, A. e Friberg, S., 2002. Mobile zoned/exponential LAF screen: a new concept in ultra-clean air technology for additional operating room ventilation. *Journal of Hospital Infection*; 50: 286-292.
- Friberg, B., 1998. Ultraclean laminar airflow operating rooms. *AORN Journal*. Volume 67, Issue 4, Pages 841-851.
- Friberg, B., Friberg, S., Burman, L.G., Lundholm, R. e Ostensson, R., 1996. Inefficiency of upward displacement operating theatre ventilation. *Journal of Hospital Infection*; 33 (4): 263-272.
- ISO, 2005. Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of PMV and PPD indices and local thermal comfort. *Nederlands Normalisatie-instituut (NEN-ENISO 7730)*. Delft
- Kameel, R. e Khalil, E.E., 2003. “Different HVAC airside system designs of the surgical operating theatres: their impact on the surgery staff and patient health”. In: *Proceedings 7th International Conference Healthy Buildings - Vol. 3*, pp. 108-113
- Khankari, K., 2018. CFD Analysis of Hospital Operating Room Ventilation System Part 1: Analysis of Air Change Rates. *ASHRAE Journal* vol. 60, no. 6
- Khankari, K., 2018. CFD Analysis of Hospital Operating Room Ventilation Systems Part 2: Analyses of HVAC Configurations. *Journal Article by ASHRAE*, 2018.
- Knobben, B.A.S., 2006. Intra-operative bacterial contamination: control and consequences. PhD Thesis, Groningen, Rijksuniversiteit Groningen, the Netherlands.
- Kowalski, W. 2012. Hospital airborne infection control. Taylor & Francis, Boca Raton
- Lehto, M.R. e Buck, J.R., 2008. Introduction to human factors and ergonomics for engineers. New York: Lawrence Erlbaum Associates
- Lewis, J.R., 1993. Operating room air distribution effectiveness. *ASHRAE Transactions*; 99(2): 1191-1200
- Lidwell, O.M., Lowbury, E.J.L., Whyte, W., Blowers, R., Stanley, S.J. and Lowe, D., 1983. Airborne contamination of wounds in joint replacement operations: the relationship to sepsis rates. *Journal of Hospital Infection*; 4, 111-131.
- Lidwel, O.M., Lowbury, E.J.L., Whyte, W., Blowers, R., Stanley, S.J. e Lowe, D., 1982. “Effect of ultraclean air in operating rooms on deep sepsis in the joint after hip or knee replacement: a randomized study”. *British Medical Journal*; Vol 28, pp. 10-14.
- Loomans, M. G. L. C., de Visser, I. M., Loogman, J. G. H. e Kort, H. S. M., 2016. Alternative ventilation system for operating theaters: parameter study and full-scale assessment of the performance of a local ventilation system. *Jornal Building and Environmen.*, 102, p. 26-38
- Loomans, M.G.L.C, van Houdt, W., Lemaire, A.D. e Hensen, J.L.M., 2008. Performance assessment of an operating theatre design using CFD simulation and tracer gas measurements. *Indoor and Building Environment*; 17(4):299–312.
- Melhado, M.A., Loomans, M.G.L.C., Hensen, J.L.M e Lamberts, R., 2016. Design of air distribution system in operating rooms - theory versus practice. *IndoorAir2016 Conference*, Ghent, Belgium.

- Melhado, M.A., 2012. Towards a Performance Assessment Methodology using Computational Simulation for Air Distribution System Designs in Operating Rooms. PhD Thesis, Technische Universiteit Eindhoven, Holanda. Disponível em: <https://pure.tue.nl/ws/files/3500747/734694.pdf>
- Melhado, M.A., 2003. Estudo do Conforto Térmico, do Consumo Energético e da Qualidade do Ar Interior em Salas Cirúrgicas, através da Simulação Computacional e Análise Arquitetônica. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Memarzadeh, F. e Manning, A., 2002. Comparison of operating room ventilation systems in the protection of the surgical site. ASHRAE Transaction; Vol. 108(2): 3-15.
- Ministério da Saúde, 2002. Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde. RDC nº 50, Agência Nacional de Vigilância Sanitária.
- Mora, R., 2001. Assessment of Thermal Comfort during Surgical Operations. ASHRAE Winter Meeting Program.
- NIOSH, 1977. Criteria for a recommended standard: occupational exposure to waste anesthetic gases and vapors. Ed. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health; No. 77-140.
- Olesen, B.W. e Bovenzi, M., 1985. Assessment of the indoor environment in a hospital. Proceedings of the world congress on heating, ventilating and air-conditioning; Ed. Fanger, P.O, Copenhagen, Denmark; Vol.4: 195-200.
- Sadrizadeh, S., Tammelin, A., Nielsen, P.V. e Holmberg S., 2014. Does a mobile laminar airflow screen reduce bacterial contamination in the operating room? A numerical study using computational fluid dynamics technique. Patient Saf. Surg.;8:27
- Sossai, D., Dagnino, G., Sanguineti, F. e Franchin, F., 2011. Mobile laminar air flow screen for additional operating room ventilation: reduction of intraoperative bacterial contamination during total knee arthroplasty. J Orthop Traumatol. 12(4): 207-211.
- Swift, J., Avis, E., Millard, B. e Lawrence, T.M., 2007. Air distribution strategy impact on operating room infection control. In: Proceedings of Clima - WellBeing Indoors. Helsinki.
- VDI 2167, 2007; Verein Deutscher Ingenieure: Technische Gebäudeausrüstung von Krankenhäusern (Building services in hospitals); Dusseldorf, Germany.
- WHO, 2016. Global Guidelines for the prevention of surgical site infection. Disponível em: <http://www.who.int/gpsc/global-guidelines-web.pdf?ua=1>
- Wu, Z., 2011. Evaluation of a sustainable hospital design based on its social and environmental outcomes. MSc thesis, Cornell University, USA
- Yang L, Huang, C.Y., Zhou, Z.B., Wen, Z.S., Zhang, GR., Liu, K.X. e Huang, W.Q., 2015. Risk factors for hypothermia in patients under general anesthesia: Is there a drawback of laminar airflow operating rooms? A prospective cohort study. Int J Surg; 21: 14-17  
<http://www.who.int/infection-prevention/en/>

## ASSEMENT OF AIR DISTRIBUTION SYSTEMS FOR OPERATING ROOMS – A BRIEF DISCUSSION

**Abstract.** *The purpose of this paper is to present an overview of operating room air distribution systems and a brief introduction of the methodology developed by Melhado (2012) to assist design engineers in developing more efficient systems. The study was done by conducting a literature review. Several air distribution systems have been applied in operating rooms. These systems need to secure an adequate indoor air quality, minimize the risk of surgical site infections, prevent the patient from suffering hypothermia and establish suitable working conditions for the surgical team through the thermal comfort. The results of this exploratory review show the applicability, the vantages e the disadvantages of using each system and of combining strategies. In terms on the methodology proposed, it uses the performance base approach to identify important aspects that should be considered during the design process and assessment, including stakeholders and performance requirements and important performance indicators. The evaluation method describes the steps that are required to evaluate the performance indicator using engineering calculation and numerical simulation tools. The results will permit to identify which type of numerical simulation tools is best applicable for the assessment of a specific performance indicator and how the assessment should be performed. The paper also indicates which research areas require particular focus and recommendations for future work.*

**Keywords:** *air distribution systems; operating rooms; numerical simulation; performance based design*