

## DESEMPENHO TÉRMICO DE QUARTOS DE INTERNAÇÃO HOSPITALAR POR MEIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

**Ana Paula Magalhães Jeffe (1); Fernando Simon Westphal (2)**

(1) Arquiteta Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, apjeffe@hotmail.com

(2) Dr. Professor do Departamento de Arquitetura e urbanismo, fernandosw@arq.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto Ambiental, Florianópolis - SC, 88040-900, Tel.: (48) 3331-7080

### RESUMO

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar o desempenho térmico de um modelo computacional de quartos de internação hospitalar localizados na cidade de São Paulo, a fim de verificar o potencial de aproveitamento da ventilação natural, respeitando requisitos de conforto térmico e qualidade do ar interno. O modelo computacional foi feito com base no projeto arquitetônico do Pavilhão Vicky e Joseph Safra, uma das unidades hospitalares do Complexo Hospitalar Albet Einstein, selecionado como o objeto de estudo desta pesquisa. A pesquisa foi realizada em nível de mestrado em desenvolvimento, por meio de um estudo de caso de caráter exploratório. Para avaliação do desempenho térmico foi utilizado o software de simulação computacional *EnergyPlus*. Como indicador de desempenho foi considerado o número de horas ao longo do ano, num total de 8760 horas. A análise do conforto térmico com o uso da ventilação natural foi realizada considerando os limites para 90% de aceitabilidade, com base no modelo adaptativo da ASHRAE Standard 55 (2013). Para análise da qualidade do ar interno foram considerados dois limites de taxa de vazão de ar nas zonas, um pela ASHRAE Standard 62.1 (2007) de 16litros/s/pessoa, e outro pelo guia da Organização Mundial da saúde (WHO, 2009) de 60litros/s/paciente. Diferentes alternativas foram simuladas com a variação de alguns parâmetros de simulação: setpoint de controle da ventilação natural em 24°C e 26°C, fator de abertura de 30% e 60%. De acordo com as alternativas simuladas foi possível observar que a ventilação natural atende em boa parte das horas no ano aos limites para 90% de aceitabilidade. Porém as taxas de vazão de ar nas zonas não conseguem atender aos requisitos mínimos estabelecidos nesta pesquisa para garantir a qualidade do ar interno.

Palavras-chave: Simulação Computacional, Desempenho Térmico, Ventilação Natural.

### ABSTRACT

This work has as main objective to evaluate the thermal performance of a computational model of hospital rooms located in the city of São Paulo in order to verify the potential use of natural ventilation, thermal comfort requirements respecting and indoor air quality. The computational model was based on the design project of Vicky Hall and Joseph Safra, one of the hospitals of the Hospital Complex Albert Einstein, selected as the object of study of this research. The research was conducted at Masters Level, developing, through an exploratory case study. To evaluate the thermal performance we used the computer simulation software *EnergyPlus*. As a performance index was considered as the number of times throughout the year, a total of 8760 hours. The analysis of the thermal comfort in the use of natural ventilation was performed considering the limits of acceptability to 90%, based on the adaptive model ASHRAE Standard 55 (2013). For analysis of indoor air quality were considered two limits air flow rate zones, one by ASHRAE Standard 62.1 (2007) 16liters / s / person, and another by the guide of the World Health Organization (WHO, 2009) of 60liters / s / patient. Different alternatives have been simulated with the simulation varying some parameters: natural ventilation control setpoint at 24 ° C and 26 ° C, aperture factor 30% and 60%. According to the simulated alternatives was observed that natural ventilation serves in most of the hours in the year to limit to 90% of acceptability. But the air flow rates in zones fail to meet the minimum requirements established for this research to ensure indoor air quality.

Keywords: Computer Simulation, Thermal performance, Natural Ventilation

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, os hospitais representam uma parcela significativa do consumo total de energia para o setor comercial, respondendo por 8,9% da energia elétrica, o que corresponde a 7.182 GWh do consumo final de energia elétrica do setor no ano de 2012. (SZKLO; SOARES; TOLMASQUIM, 2004). Embora o percentual seja baixo, este consumo representa o consumo médio de 1.127.574 moradias no Brasil. Estes dados mostram a importância de edifícios hospitalares eficientes energeticamente, e a urgência em iniciativas que promovam projetos com esta finalidade, contribuindo para a redução do consumo final de energia deste setor.

De acordo com Góes (2011) um dos fatores de maior destaque e influência no impacto ambiental causado pelas edificações hospitalares é o consumo de energia, devido à grande demanda existente na complexidade das instalações. O que passou a preponderar no Brasil cada vez mais é a priorização em incorporar as novas tecnologias com a utilização de sistemas de condicionamento e iluminação artificiais mais eficientes energeticamente. A arquitetura como uma ferramenta para a qualidade ambiental pouco está podendo oferecer aos hospitais da atualidade, ou o chamado hospital tecnológico (TOLEDO, 2006).

Tendo em vista a questão ambiental e econômica, vários países têm publicado diretrizes de projeto para melhorias no desempenho dos edifícios hospitalares, devido ao fato de que as atividades do setor da saúde causam grandes impactos ambientais. Estas diretrizes são apresentadas por meio de normas, certificações e iniciativas por partes de órgãos governamentais e não governamentais. Como parte da meta em atender as normas ou obter uma certificação, em países da Europa e nos Estados Unidos observa-se nos projetos de edificações hospitalares a aplicação de estratégias que promovam um melhor desempenho energético do edifício, seja novo ou *retrofit*. Dentre essas estratégias destaca-se a adoção de soluções passivas para o condicionamento ou aquecimento dos ambientes, como o uso da ventilação e iluminação natural.

Segundo Adamu, Price e Cook (2012) a utilização da ventilação natural é atraente devido ao seu potencial em proporcionar um menor consumo de energia. Entretanto, utilizá-la e ao mesmo tempo manter as taxas de vazão de ar para manter a qualidade do ar interno e o conforto térmico é um desafio. A Organização Mundial da Saúde (OMS), por outro lado, publicou um guia com orientações específicas para o uso da ventilação natural em hospitais, em que se recomenda a taxa de 60 litros/s/paciente em quartos de internação hospitalar (WHO, 2009). A *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* também publicou a ANSI/ASHRAE Standard 62.1 (2007), já incorporada por algumas normas e certificações, que determina requisitos para qualidade do ar interno recomendando a taxa de 16 litros/s/paciente para quartos de internação hospitalar.

Entretanto, alcançar esta taxa de forma constante com ventilação natural é um desafio porque, ao contrário de ventilação mecânica, as forças motrizes, ou seja, o vento e a flutuabilidade, tendem a variar dependendo de fatores climáticos (ADAMU; PRICE; COOK, 2012). Há, portanto, uma necessidade de investigações baseadas em evidências para apoiar estas disposições em benefício dos profissionais.

O conforto térmico como um parâmetro de qualidade do ar interior no hospital afeta as condições de trabalho, bem-estar, segurança e saúde tanto da equipe médica quanto dos pacientes. A qualidade do ar interior nestes ambientes é tratada do ponto de vista dos riscos de infecções no processo de cura dos pacientes. A boa qualidade do ar interior pode ser parte do tratamento.

Esta pesquisa foi realizada em nível de mestrado, ainda em desenvolvimento, por meio de um estudo de caso de caráter exploratório. Esta pesquisa faz parte de uma etapa parcial da exploração, que avalia o desempenho térmico do uso da ventilação natural, da ventilação mecânica e da ventilação mecânica em conjunto com o ar-condicionado, por meio de um modelo de simulação computacional de quartos de internação hospitalar.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho térmico de um modelo computacional de quartos de internação hospitalar localizados na cidade de São Paulo, a fim de verificar o potencial de aproveitamento da ventilação natural, respeitando requisitos mínimos para a qualidade do ar interno.

## 3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em três etapas principais:

1. Escolha de uma edificação hospitalar como objeto de estudo e seleção das áreas desta edificação que podem ser ventiladas naturalmente.

2. Definição de um modelo computacional representativo dos quartos de internação, com base no objeto de estudo, utilizando o programa *EnergyPlus* versão 8.1.0.009

3. Análise do potencial do uso da ventilação natural por meio da manutenção de condições aceitáveis de conforto térmico interno e taxas de renovação de ar.

### 3.1. Escolha da Edificação Hospitalar

A edificação selecionada como objeto de estudo foi o Pavilhão Vicky e Joseph Safra, localizado no complexo hospitalar Albert Einstein, no bairro do Morumbi, na cidade de São Paulo (Figura 1). O edifício é de tipologia verticalizada, com o total de 16 pavimentos, com área total construída de 70.000m<sup>2</sup>, e conta com 41 apartamentos de internação (Figura 2). Tornou-se o maior edifício de assistência à saúde no mundo a possuir o nível de certificação LEED Gold (CASTILHO, 2013). Um dos principais fatores que motivou a escolha deste edifício foi a constatação de ser uma edificação com certificação LEED, cujo projeto do edifício priorizou o uso apenas do sistema artificial para o condicionamento do edifício. Não considerando também como estratégia de projeto o uso da ventilação natural, sombreamento ou massa térmica.

Para esta pesquisa foi selecionado o pavimento de internação para avaliar o desempenho térmico dos quartos, por meio de um modelo computacional com características semelhantes à edificação real. Porém, considerando o uso da ventilação natural em conjunto com o sombreamento das janelas e massa térmica nas paredes internas.



Figura 1 – Localização do Pavilhão Vicky e Joseph Safra/ Complexo Hospitalar Albert Einstein.  
Fonte: Google Earth, 2014.

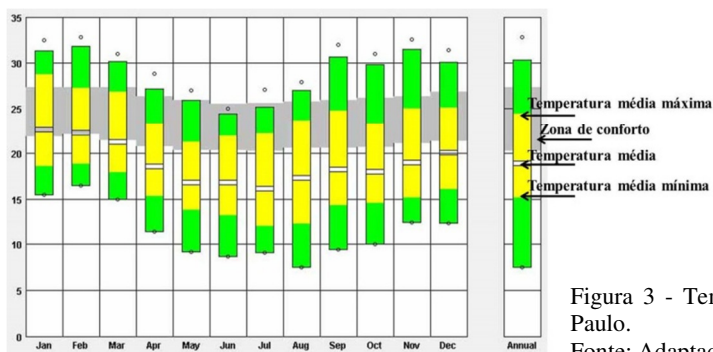


Figura 2 – Planta baixa do pavimento de internação/ Hospital-dia.

### 3.2. Características climáticas da cidade de São Paulo

Na análise do arquivo climático feita com uso do *Climate Consultant* v.5.4 (2012), os meses de verão na cidade de São Paulo apresentam temperaturas médias em torno de 22°C, tendo as médias das máximas em torno de 25°C, chegando até 28°C, e as médias das mínimas em 18°C. Os meses de inverno têm temperaturas médias em torno dos 16°C, médias das máximas de até 25°C e médias das mínimas em torno de 13°C (Figura 3). A umidade relativa varia entre 60% e 80%. No final do outono, inverno e início da primavera as temperaturas médias e médias das mínimas estão consideravelmente abaixo da zona de conforto, demonstrando a necessidade de se elevar a temperatura dos ambientes, por meio de ganho de calor. No verão, como as temperaturas máximas podem passar dos 30°C, existe a necessidade de reduzir o ganho e permitir perdas de calor dos ambientes.

De acordo com o Zoneamento Bioclimático Brasileiro da norma NBR 15220 (2005), a cidade de São Paulo está localizada na zona bioclimática 3. De acordo com a norma as diretrizes que devem ser atendidas



para um melhor desempenho térmico de edificações residenciais, para o clima de São Paulo são: aberturas para ventilar no verão com áreas médias, sombreamento das aberturas no verão de modo a permitir sol no inverno, vedações externas leves e refletoras para reduzir o ganho de calor pela envoltória, e vedações internas com inércia térmica.

Figura 3 - Temperaturas médias, máximas e mínimas da cidade de São Paulo.

Fonte: Adaptado de *Climate Consultant* v.5.4, 2012.

Considerando a análise bioclimática feita por meio dos dados fornecidos pelo *Climate Consultant* v.5.4 (2012) e considerando as diretrizes bioclimáticas da NBR 15220 (2005), adotou-se para esta pesquisa avaliar por meio da simulação computacional no software *EnergyPlus* o uso da ventilação natural em conjunto com outras estratégias. Conforme o esquema da Tabela 1, assumindo que os quartos de internação possuem características de uso e ocupação semelhantes aos quartos de uma residência.

Tabela 1 – Estratégias Bioclimáticas

Estratégia de Controle	Estratégias	Parâmetros de simulação
Promover perdas de calor por convecção	Ventilação Natural	Fator de abertura da janela- 30% e 60% Setpoint da ventilação natural – 24°C e 26° Schedule ventilação natural – 24 horas Tipo de controle da ventilação natural – por temperatura (24°C)
Evitar o ganho – minimizar o ganho de calor pela radiação solar	Sombreamento das janelas Vidros com baixa emissividade Vedação externa com baixa transmitância térmica	Brise horizontal com aletas flexíveis de alumínio com fechamento máximo em 45° Vidro <i>Low-E</i> – FS 38% Parede de alvenaria com revestimento de porcelanato encaixilhado (“Fachada ventilada”)
Evitar perdas – minimizar fluxo de calor por condução	Inércia térmica	Paredes internas – Bloco concreto

### 3.3. Definição do Modelo Computacional

Definiu-se o modelo de simulação dos quartos de internação com características semelhantes às do objeto de estudo selecionado. Tanto no que diz respeito à volumetria e orientação solar quanto aos materiais contrutivos, componentes e aberturas. A geometria deste modelo foi criada a partir do pavimento da unidade de internação do Pavilhão Vicky e Joseph Safra. Delimitou-se uma parcela do pavimento de internação situado no 4º pavimento da edificação, e por meio da área selecionada foi definida a geometria do modelo (Figura 4). Para a simulação da rede de ventilação natural foram modeladas 3 zonas térmicas, cada uma representando os seguintes ambientes: quarto de internação voltado para orientação nordeste, quarto de internação voltado para orientação sudoeste e área de circulação. Somente foi avaliado o desempenho térmico dos quartos de internação. A Figura 4 mostra a planta desse modelo com suas dimensões, e a Figura 5 mostra uma perspectiva do Pavilhão Vicky e Joseph Safra.

As simulações utilizaram um arquivo climático do tipo TRY com dados da cidade de São Paulo. As simulações ocorreram para o período de um ano inteiro, num total de 8.760 horas, considerando as horas ocupadas.

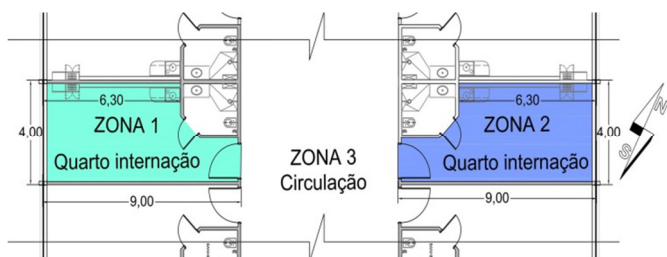


Figura 4 – Planta baixa do modelo de simulação.



Figura 5 – Perspectiva do Pavilhão Vicky e Joseph Safra.

Os quartos possuem cada um uma área de 22,90m<sup>2</sup> e pé-direito de 2,60m. Cada quarto possui uma janela com dimensões de 3,45m de largura por 1,20m de altura e peitoril 1,10m, com sistema de abertura do tipo maxim-ar. Além de uma porta contígua ao corredor de dimensões 1,10m de largura e 2,10m de altura. Os padrões de uso dos quartos de internação foram confeccionados com base nas características reais de como é o funcionamento do hospital Albert Einstein. As cargas internas foram definidas de acordo com a ASHRAE Standard 90.1 (2007). O pavimento de internação com seus apartamentos e suas circulações tem ocupação 24 horas por dia e 7 dias na semana. A iluminação dos quartos de internação tem o padrão de funcionamento da seguinte forma, diariamente: das 6h às 18h 10% da iluminação é utilizada; das 18h às 22h 50% do sistema está funcionando; das 22h às 24h funciona 75%; e das 24h às 6h apenas 10%. O padrão de funcionamento dos equipamentos é 24 horas todos os dias da semana.

Os componentes construtivos foram adotados com base no projeto arquitetônico do referido Pavilhão, embora nesta pesquisa os materiais utilizados nas paredes internas sejam diferentes do projeto original. Os

materiais que compõem as paredes internas foram obtidos na norma NBR 15220 (ABNT, 2005a; 2005b). Estes dados são apresentados na Tabela 2 e Tabela 3.

Outro item modelado foram as persianas existentes nas janelas. Elas foram inseridas no *EnergyPlus* como objeto do tipo “*Blind*”, sendo o material de aletas metálicas com média refletividade. Os dispositivos de sombreamento funcionam de acordo com a incidência da radiação solar direta, tendo sido estabelecido um valor de setpoint de 300W/m<sup>2</sup>.

Tabela 2– Características dos materiais utilizados na simulação computacional.

Material	Condutividade térmica [W/m.K]	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	Calor específico [J/kg.K]	Absortância
Bloco cerâmico 2 furos (14mm)	0,9	3732	920	0,5
Argamassa reboco (25mm)	1,15	2000	1000	0,5
Placa de gesso (15mm)	0,35	875	840	0,5
Bloco concreto (32mm)	1,75	2300	1000	0,4
Laje concreto (200mm)	1,75	2200	1000	0,5
Revestimento cerâmico (10mm)	0,9	1600	920	0,4
Porta de madeira (30mm)	0,15	614	2300	0,9

Tabela 3– Características dos materiais utilizados na simulação computacional.

Material	Resistência térmica [m <sup>2</sup> .K/W]
Câmara de ar: cavidade do bloco cerâmico (20-50mm)	0,17
Câmara de ar com fluxo horizontal: parede externa (20mm)	0,16

### 3.4. Análise do Potencial de Uso da Ventilação Natural

Tendo em vista a falta de uma norma brasileira específica que aborda um método ou modelo para se avaliar as condições de conforto térmico em ambientes de saúde, assim como requisitos e parâmetros específicos de conforto térmico para pacientes, optou-se por adotar o modelo adaptativo de conforto térmico da ASHRAE Standard 55 (2013). Consideraram-se como resultados os dados horários de temperatura operativa nas zonas térmicas no período de um ano, verificando se estão dentro ou fora da faixa de conforto de 90% de aceitabilidade conforme o modelo adaptativo. Estes resultados também foram confrontados com os dados horários de temperatura de bulbo seco, por meio dos dados fornecidos pelo arquivo climático.

A ventilação natural foi avaliada em conjunto com as outras estratégias utilizadas: sombreamento das janelas, massa térmica nas paredes internas, vidros *low-e*, materiais de baixa transmitância térmica na fachada, conforme a Tabela 3. Foram simuladas diferentes alternativas com a variação dos seguintes parâmetros de simulação: controle da ventilação por meio de diferentes setpoint de temperatura; fator de abertura e orientação das zonas térmicas. São apresentados os resultados para a variação do parâmetro de fator de abertura em 30% e 60%, ou seja, para um percentual de área da janela por onde é possível ventilar.

Para avaliar a qualidade do ar interior para os quartos de internação, foram adotadas duas taxas de vazão de ar: uma estabelecida pela ASHRAE Standard 62.1 (2007) com valor de 13litros/s/pessoa, e outro estabelecido pelo guia da Organização Mundial da Saúde (OMS) para o controle de infecção hospitalar por meio do uso da ventilação natural em estabelecimentos de saúde com o valor de 60litros/s/paciente (WHO, 2009). Convertidos para os valores de 46,8m<sup>3</sup>/h/pessoa (ASHRAE Standard 62.1, 2007), e o valor de 216m<sup>3</sup>/h/pacientes (WHO, 2009). Foram obtidos os resultados dos dados horários de vazão em cada zona que estão fora ou atendendo aos limites de taxas de vazão de 46,8m<sup>3</sup>/h e 216m<sup>3</sup>/h. Também foram obtidos os percentuais de horas no ano que estão dentro da faixa de 90% de aceitabilidade, que atendem ou não aos limites de vazão estabelecidos nesta pesquisa para garantir a qualidade do ar interno.

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

De todos os casos simulados, o parâmetro de maior influência nos resultados do potencial de aproveitamento da ventilação natural foi o fator de abertura da janela. Observou-se que quanto maior é a área de abertura que permite a ventilação natural maior são os dados horários com temperaturas operativas dentro da faixa de 90% de aceitabilidade, aumentando o potencial de uso da ventilação natural como demonstrado no gráfico da figura 6. Para uma área efetiva de janela em 60%, os resultados demonstram que mais de 80% do percentual dos dados horários de temperatura operativa nas zonas estão dentro dos limites de 90% de aceitabilidade (Figura 8).



Para o fator de abertura de 30% aumentam o número de horas em que as temperaturas operativas ficam acima dos limites máximos de temperatura para 90% de aceitabilidade, como demonstrado no gráfico das figuras 7. Observou-se que os casos simulados com fator de abertura de 30% apresentam mais horas no ano desconforto por calor em relação aos resultados com fator de abertura de 60%.

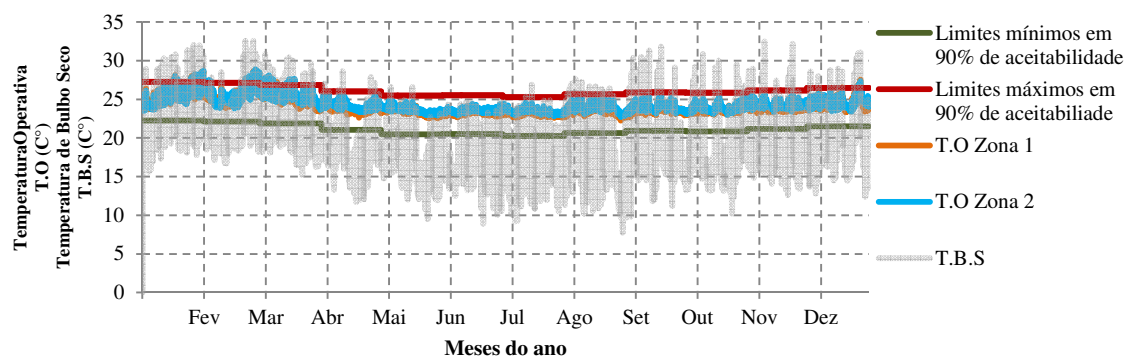


Figura 6 – Dados horários de temperaturas operativas (T.O), temperaturas de bulbo seco (T.B.S) no período de um ano e limites de 90% de aceitabilidade, para o controle da V.N no setpoint 24°C e fator de abertura de 60%.

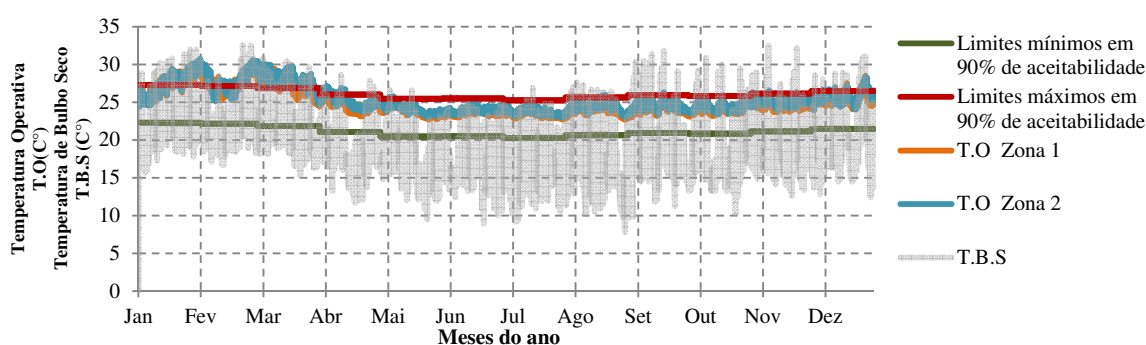


Figura 7 – Dados horários de temperaturas operativas (T.O), temperaturas de bulbo seco (T.B.S) no período de um ano e limites de 90% de aceitabilidade, para o controle da V.N no setpoint 24°C e fator de abertura de 30%.

Verificam-se por meio dos resultados dos gráficos das Figuras 6 e 7 que os meses de verão são os que possuem maior número de dados horários de temperatura de bulbo seco acima dos limites máximos de temperatura operativa para 90% de aceitabilidade. As temperaturas mais altas do ar externo, mais o ganho de calor pelas cargas internas e a radiação solar, faz com que parte dos dados horários das temperaturas operativas nas zonas nos meses mais quentes fique acima do limite máximo para 90% de aceitabilidade nos casos simulados. Isso demonstra que a estratégia de ventilação natural em conjunto com as outras estratégias adotadas para reduzir o ganho de calor não foi suficiente para reduzir as temperaturas nas zonas nestas horas durante os meses de verão. Portanto o uso de condicionamento artificial ou por meio mecânico será necessário nestas horas em que estas estratégias não conseguem manter as temperaturas das zonas dentro dos limites de 90% de aceitabilidade.

Os meses de agosto, setembro, outubro e abril também possuem dados horários de temperatura de bulbo seco acima do limite máximo de 90% de aceitabilidade (Figuras 6 e 7). Entretanto os resultados percentuais mostram que a ventilação natural em conjunto com as outras estratégias adotadas para reduzir o ganho de calor nas zonas, como o sombreamento das janelas, os vidros *low-e* e a utilização de materiais na envoltória de baixa transmitância térmica garantiu um bom desempenho térmico das zonas na maior parte das horas no ano em todos os casos simulados (Figuras 8 e 9). Sendo assim os resultados demonstram que as estratégias adotadas mantiveram as temperaturas operativas nas zonas dentro da faixa de 90% de aceitabilidade na maior parte dos meses, exceto nos meses de verão.

Considerando os dados percentuais com um fator de abertura de 30%, 42% das horas no ano as temperaturas operativas ficam acima da faixa de 90% de aceitabilidade na zona 2 e 28% na zona 1, como demonstrado no gráfico da figura 9. Isso demonstra uma diferença de 29 pontos percentuais para a zona 2, e 21 pontos percentuais para a zona 1, em relação aos resultados com o fator de abertura de 60% (Figura 8). Verificou-se que diminuindo a área de abertura efetiva para ventilação se reduz a possibilidade de retirar o calor da zona térmica por meio da ventilação natural, reduzindo o seu potencial de aproveitamento. Isso demonstra a necessidade de uma maior participação do condicionamento artificial ou mecânico para reduzir as temperaturas internas nas zonas, e mantê-las dentro da faixa de 90% de aceitabilidade em mais horas no ano do que para os casos com fator de abertura em 60%.

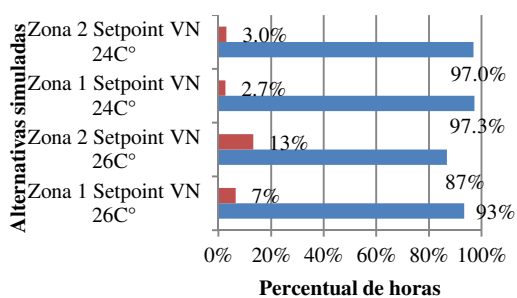


Figura 8 – Percentual do nº de horas de temperaturas operativas nas zonas, dentro e acima dos limites de 90% de aceitabilidade, no setpoint de disponibilidade de V.N de 24°C e 26°C e fator de abertura de 60%.

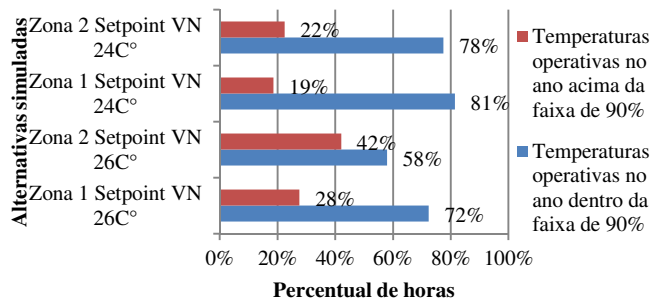


Figura 9 – Percentual do nº de horas de temperaturas operativas nas zonas, dentro e acima dos limites de 90% de aceitabilidade, no setpoint de disponibilidade de V.N de 24°C e 26°C e fator de abertura de 30%.

Contatou-se que o tipo de abertura a ser utilizada no quarto de internação é um fator importante para um melhor aproveitamento da ventilação natural e para o conforto térmico, contribuindo para reduzir o uso do ar condicionado. No caso dos edifícios hospitalares, principalmente nas tipologias verticalizadas, observa-se uma maior utilização de janelas com pouca possibilidade de abertura ou até mesmo as janelas lacradas devido ao amplo uso do condicionamento artificial. Isto também ocorre pela necessidade de segurança, controle da poluição e do ruído. Para um melhor aproveitamento da ventilação natural, é necessária a utilização de tipos de abertura que permitam uma área efetiva da janela com mais de 50% de fator de abertura, mas que ao mesmo tempo proporcione segurança, assepsia e controle de ruídos.

Em todas as alternativas simuladas os dados percentuais demonstram um bom desempenho térmico das zonas como mostram as figuras 8 e 9. Mais de 58% dos dados horários de temperaturas operativas no ano estão dentro dos limites para 90% de aceitabilidade, considerando as alternativas com os resultados percentuais mais baixos. Nas alternativas com os melhores resultados os dados horários com temperaturas operativas dentro dos limites de 90% de aceitabilidade chegaram a 97%. Portanto, por meio da análise somente levando em consideração apenas o potencial da ventilação natural para garantir o conforto térmico nas zonas, sem considerar os requisitos de qualidade do ar interno, houve um bom potencial de aproveitamento da ventilação natural em todos os casos simulados.

#### 4.1. Ventilação Natural e Qualidade do Ar Interno

Em ambos os setpoint de temperatura de 24°C e 26°C, a quantidade de número de horas no ano com vazão acima do limite de 216m³/h aumenta com o fator de abertura em 60% em ambas as zonas, em relação ao fator de abertura de 30% (Figuras 10 e 11). Verifica-se uma diferença de 511 horas a mais na zona 1 e 745 horas a mais na zona 2, com o setpoint da ventilação natural em 24°C (Figura 10). Para o setpoint 26°C na zona 1 há uma diferença de 265 horas a mais, e na zona 2 a diferença é de 817 horas (Figura 11).

A alternativa com os melhores resultados de número de horas com vazão de ar dentro dos limites da Standard 62.1 (2007) e OMS (2009) foi com fator de abertura de 60% demonstrado no gráfico da Figura 10, com um total de 4315 horas no ano na zona 1 e 3858 horas no ano na zona 2, distribuídas dentro destes limites.

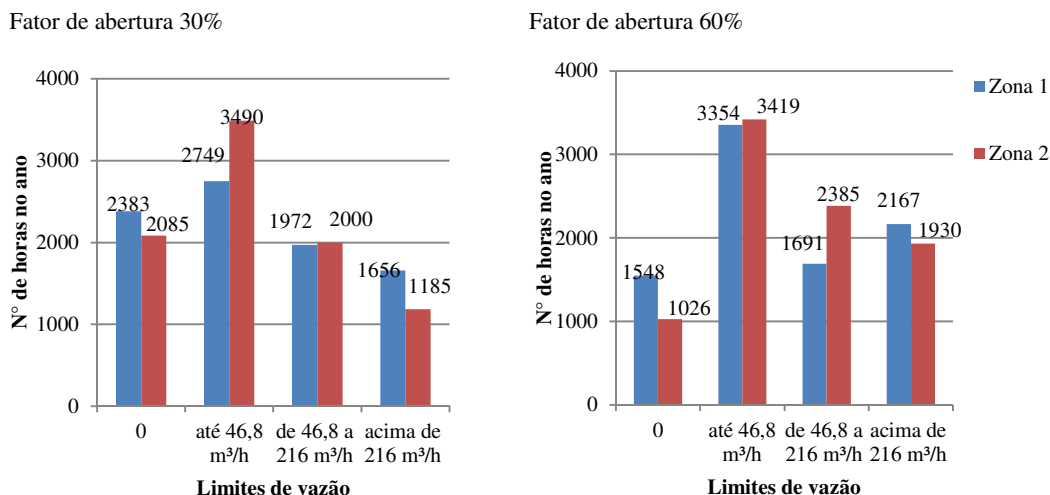


Figura 10 – Número de horas no ano para intervalos de vazão de ar com 46,8m³/h e 216m³/h, quando a ventilação é acionada para o setpoint da V.N em 24°C.

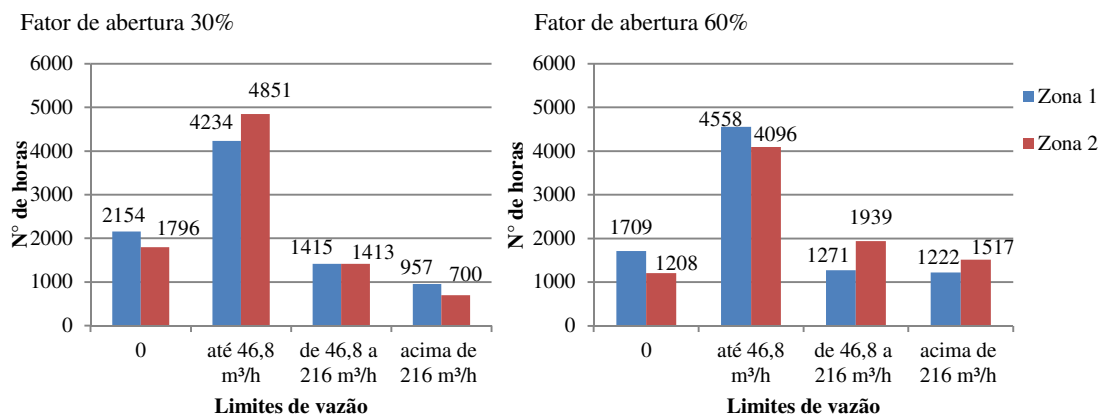


Figura 11 – Número de horas no ano para intervalos de vazão de ar com 46,8m³/h e 216m³/h, quando a ventilação é acionada para o setpoint da V.N em 26C°.

Os resultados apresentados na Figura 11 demonstram que com o setpoint de controle da ventilação natural em 26°C para ambos os fatores de abertura, aumentam o número de horas com vazão até 46,8m³/h, com mais de 4.000 horas no ano em todas as zonas abaixo dos limites da Standard 62.1(2007) e OMS (2009), e diminuem as horas com vazão dentro destes limites. Em comparação com todos os casos simulados o com fator de abertura de 30% apresenta os menores dados horários com taxas de vazão nas zonas dentro dos limites da Standard 62.1 (2007) e OMS (2009). As alternativas com fator de abertura de 30% apresentam uma diferença de mais de 1000 horas a menos no ano de vazão de ar dentro dos limites estabelecidos, com relação à alternativa com os melhores resultados (Figura 10).

Em todos os casos simulados tanto a variação do setpoint de controle da ventilação natural, quanto à variação do fator de abertura influenciaram nos resultados do número de horas no ano com vazão de ar nas zonas para os limites da Standard 62.1 (2007) e da OMS (2009). Contudo apesar dos resultados das simulações terem apresentado um bom aproveitamento da ventilação natural nas zonas pela análise para 90% de aceitabilidade com base no modelo adaptativo de conforto térmico, os limites de vazão requeridos para garantir a qualidade do ar interno não foram atendidos satisfatoriamente em nenhuma dos casos simulados.

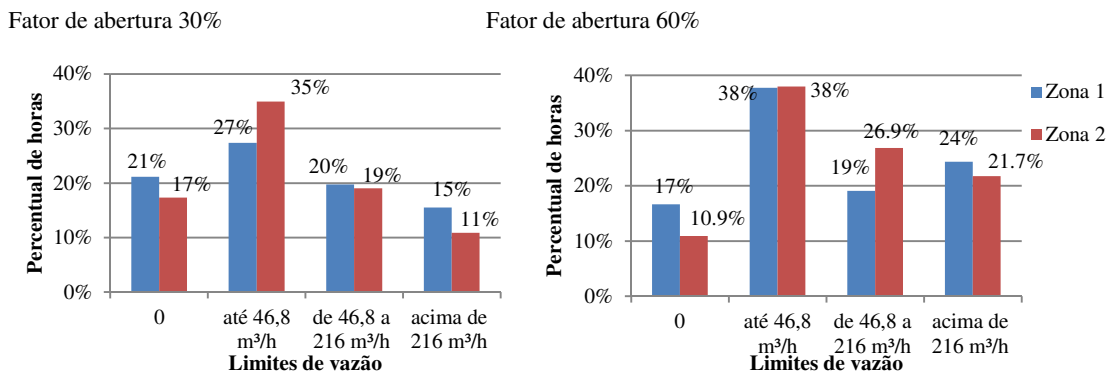


Figura 12– Percentual do número de horas no ano dentro dos limites de 90% de aceitabilidade, para os intervalos de vazão de ar com 46,8m³/h e 216m³/h, quando a ventilação é acionada para o setpoint da V.N em 24C°.

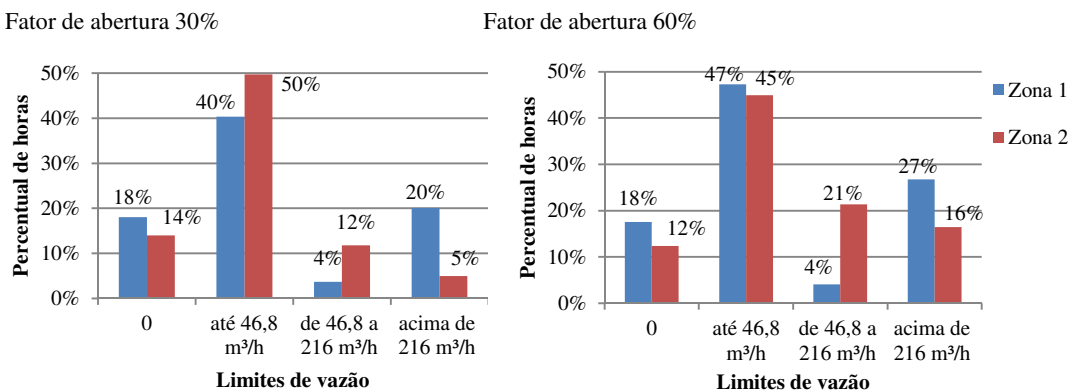


Figura 13 – Percentual do número de horas no ano dentro dos limites de 90% de aceitabilidade, para os intervalos de vazão de ar com 46,8m³/h e 216m³/h, quando a ventilação é acionada para o setpoint da V.N em 26C°.



Os resultados demonstram que na maior parte das horas no ano em que tem vazão de ar nas zonas em todos os casos simulados, grande parte dos dados horários no ano fica abaixo dos limites mínimos de vazão estabelecidos para manter a qualidade do ar interno. Os gráficos das alternativas com o setpoint de controle da ventilação natural em 26°C na figura 13, apresentam os maiores valores percentuais de horas no ano abaixo dos limites mínimos de vazão de ar estabelecidos pela Standard 62.1 (2007) e OMS (2009), com mais de 40% tanto na zona 1 quanto na zona 2. Os resultados percentuais dos gráficos da figura 12 e 13 mostram que para todas as zonas, em todos os casos simulados, verifica-se que menos de 30% das horas no ano atendem aos padrões mínimos de vazão do ar estabelecidos pela Standard 62.1(2007) e pela OMS (2009), para manter a qualidade do ar interno em um quarto de internação hospitalar.

Mesmo com uma área efetiva de abertura de 60% não foi possível atender as taxas de vazão de ar necessárias para manter a qualidade do ar interno. Enquanto que pelos resultados da análise de conforto térmico o aproveitamento da ventilação natural para este fator de abertura chegou em 97% dos dados horários de temperaturas operativas na faixa de 90% de aceitabilidade (Figura 8), considerando as taxas de vazão de ar que atendem a Ashrae Standard 62.1 (2007) este percentual caiu para 13,3% na zona 2 e para 11% na zona 1 (Figura 12). O que demonstra uma diferença de mais de 80 pontos percentuais. E para poder atender ao limite mínimo de taxas de vazão de ar pela OMS (2009), os resultados percentuais caíram para 24% na zona 1 e 21,7% na zona 2 (Figura 6), apresentando uma redução de mais de 70 pontos percentuais no número de horas em conforto que conseguem atender aos níveis de qualidade do ar interno.

Além dos fatores de abertura não permitirem vazão suficiente, outro fator que contribui para isso são as baixas velocidades dos ventos. Por meio dos dados do arquivo climático da cidade de São Paulo, verifica-se que em 49% dos dados horários no ano as velocidades dos ventos ficam em torno de 2 a 4m/s, e apenas 10% dos dados horários no ano as velocidades dos ventos estão acima de 6m/s (Figura 14). Na maior parte das horas no ano os ventos, mesmo os de maior predominância, não conseguem gerar vazão de ar suficiente nas zonas devido às baixas velocidades. Portanto fazendo com que o percentual de horas no ano que atendem aos limites da standard 62.1 (2007) e OMS (2009) seja baixo e insatisfatório, reduzindo ainda mais o potencial do uso da ventilação natural.

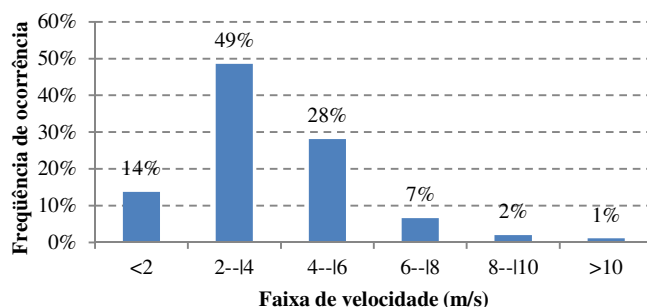


Figura 14 – Percentual do número de horas no ano de acordo com as faixas de velocidades dos ventos para o clima de São Paulo.

Mesmo que a ventilação natural em conjunto com as outras estratégias adotadas tenham apresentado bons resultados de desempenho térmico nas zonas para os limites de 90% de aceitabilidade, neste caso ela não é suficiente para manter os níveis de qualidade do ar interno. Portanto para poder garantir níveis mínimos de renovação do ar nas zonas, de modo a garantir a qualidade do ar interno, obrigatoriamente se faz necessário à utilização de meios mecânicos como a ventilação mecânica, exaustão mecânica, ou uso do condicionamento artificial com sistema de renovação de ar.

Como os resultados das simulações nas zonas de quarto de internação apresentaram maior necessidade de resfriamento no verão, um sistema híbrido ou misto (*mixed-mode*) pode ser utilizado como estratégia, por meio do uso da ventilação seletiva com o uso do ar condicionado ou de um sistema mecânico. Sistemas automatizados com sensores de temperatura podem ser usados para que as janelas e os sistemas de ar condicionado, de ventilação e exaustão mecânica sejam acionados até mesmo pelo próprio usuário, de acordo com a estratégia de funcionamento estabelecida.

## 5. CONCLUSÕES

Esta pesquisa apresentou uma análise do potencial do uso da ventilação natural em quartos de internação hospitalar, por meio da abordagem adaptativa de conforto térmico e de requisitos de qualidade do ar interno. Foram simuladas diferentes alternativas de aproveitamento da ventilação natural em conjunto com outras estratégias como o sombreamento das janelas por meio de persianas, inércia térmica das paredes internas,

utilização de vidros *Low-E* e materiais de baixa transmitância térmica nas fachadas. As simulações foram conduzidas no software *Energyplus*, para o arquivo climático da cidade de São Paulo.

Em todos os casos simulados os resultados mostram que, se avaliado somente pela perspectiva do conforto térmico com base no modelo adaptativo, a utilização da ventilação natural em conjunto com as outras estratégias bioclimáticas adotadas atende ao limite de 90% de aceitabilidade na maior parte das horas no não, havendo um bom potencial para aplicação destas estratégias.

Contudo a partir dos resultados obtidos, verificou-se que mesmo que haja o uso da ventilação natural por meio de janelas operáveis, esta não consegue atender as taxas mínimas de vazão de ar necessárias para renovação do ar. Somente a utilização da ventilação natural não é o suficiente para garantir a qualidade do ar interno.

Portanto constata-se que por mais que o projeto do edifício hospitalar utilize a ventilação natural como estratégia de condicionamento passivo, obrigatoriamente é necessário que também exista um sistema mecânico para promover vazão de ar suficiente garantindo a qualidade do ar interno e reduzindo o risco de infecção hospitalar. A ventilação natural terá de ser utilizada em conjunto com a ventilação mecânica, exaustão mecânica, ou com o uso de condicionamento artificial com sistema de renovação de ar.

Como uma variável de condições de conforto térmico, o movimento do ar interior pode controlar ou espalhar a infecção em hospitais. Portanto, em tais edifícios o sistema de tratamento de ar deve fornecer padrões de movimento de ar que minimizam a propagação da contaminação. A falta de ventilação ou as taxas baixas de vazão de ar estão associadas com o aumento da infecção e com surtos de doenças transmitidas pelo ar. Uma maior taxa de ventilação é capaz de fornecer uma maior capacidade de diluição de agentes contaminadores, consequentemente, reduzindo o risco de infecções transportadas pelo ar (WHO, 2009).

A escolha da taxa de fluxo de ventilação mínima pode ser influenciada pela necessidade de reduzir o consumo de energia. Em um projeto de um hospital a interação entre as pessoas, sistemas e projeto arquitetônico ainda é um campo em que são necessários mais trabalhos para melhorar o conhecimento de como projetar edifícios e sistemas que consigam conciliar vários fatores conflitantes para as pessoas que ocupam esses edifícios. Algumas pesquisas têm discutido sobre as condições térmicas desejadas em edifícios hospitalares, mas estes estudos em sua grande maioria ainda não refletem na forma de normas, principalmente no Brasil.

Mais pesquisas são necessárias para se verificar com mais profundidade os efeitos da utilização da ventilação natural em unidades de saúde, principalmente no que diz respeito aos requisitos mínimos necessários para garantir bons níveis de conforto térmico e qualidade do ar interno.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento Bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **Standard 90.1**: Energy Standards for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. SI Edition ed. Atlanta, Georgia: ASHRAE, 2007.
- AMERICAN SOCIETY OF REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **Standard 55**. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA, 2013.
- AMERICAN SOCIETY OF REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **Standard 62.1**. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA, 2013.
- ADAMU, Z. A.; PRICE, A. D. F.; COOK, M. J. **Performance evaluation of natural ventilation strategies for hospital wards – A case study of Great Ormond Street Hospital**. Building and Environment, v. 56, p. 211–222, out. 2012.
- CASTILHO, Rose. **Sustentabilidade é saúde**. Revista Green Building, São Paulo, v. 3, p.27-29, 2013. Disponível em: <<http://www.revistagreenbuilding.com.br/revista/gb03.php?id=3>>. Acesso em: 10 fev, 2014.
- DEPARTMENT OF ARCHITECTURE AND URBAN DESIGN. **Climate Consultant 5.4**. Los Angeles: University of California, 2012. Disponível em: <<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/>>. Acesso em: 15 mar, 2014
- GÓES, R. de. **Manual prático da arquitetura hospitalar**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.
- SALEM SZKLO, A.; BORGHETTI SOARES, J.; TIOMNO TOLMASQUIM, M. **Energy consumption indicators and CHP technical potential in the Brazilian hospital sector**. Energy Conversion and Management, v. 45, n. 13-14, p. 2075–2091, ago. 2004.
- TOLEDO, L.C. **Feitos Para Curar: arquitetura hospitalar e processo projetual no Brasil**. Rio de Janeiro: ABDEH, 2006.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, WHO. **Natural Ventilation for Infection Control in Health-care Settings**. Suíça, 2009.