ELAINE GONÇALVES FERREIRA SANTANA

CONFORTO TÉRMICO E CONCENTRAÇÃO DE CO_2 EM SALAS DE CIRURGIAS E SALAS DE ESPERA PARA PACIENTES, CLIMATIZADAS ARTIFICIALMENTE

São Paulo

2013

ELAINE GONÇALVES FERREIRA SANTANA

CONFORTO TÉRMICO E CONCENTRAÇÃO DE CO_2 EM SALAS DE CIRURGIAS E SALAS DE ESPERA PARA PACIENTES, CLIMATIZADAS ARTIFICIALMENTE

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia

São Paulo

2013

ELAINE GONÇALVES FERREIRA SANTANA

CONFORTO TÉRMICO E CONCENTRAÇÃO DE CO_2 EM SALAS DE CIRURGIAS E SALAS DE ESPERA PARA PACIENTES, CLIMATIZADAS ARTIFICIALMENTE

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia da Construção Civil e Urbana

Orientador: Prof. Dr. Racine Tadeu Araujo Prado

São Paulo
2013

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 21 de maio de 2013.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Santana, Elaine Gonçalves Ferreira
Conforto térmico e concentração de CO_2 em salas de cirurgias e salas de espera para pacientes, climatizadas artificialmente / E.G.F. Santana. – versão corr. -- São Paulo, 2013.
114 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1. Conforto térmico 2. Climatização 3. Concentração de CO2 I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II. t.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe e ao meu esposo pelo apoio e incentivo durante todo o período de realização deste mestrado.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor Dr. Racine T. A. Prado, pelo acolhimento, confiança, orientação e estímulo à concretização das ideias para a realização deste trabalho.

Aos engenheiros, médicos, enfermeiras e profissionais relacionados aos hospitais, os quais, além de viabilizarem o acesso a essas instituições, acompanharam e apoiaram o desenvolvimento das medições de campo realizadas.

Ao meu esposo André Santana e à amiga Monica Camargo pela ajuda no estabelecimento de contatos nos hospitais.

À amiga Eliane Suzuki pelas informações a respeito do manuseio dos instrumentos e realização das medições de campo, além das dicas gerais durante todo o desenvolvimento da pesquisa.

Aos amigos do Laboratório de Sistemas Prediais, em ordem alfabética: Carolina Mendes, Débora Costa, Eliane Suzuki, Maria Rastello, Monica Camargo, Paulo Ara, Thiago Garcia e Vanessa Bessa e aos amigos da antiga Sala Buraco Negro: Adriana Rodrigo, Camila Kato e Ricardo Oviedo, pelo acolhimento, troca de informações e companhias para almoço e café.

À minha mãe, Lídia, pelo apoio e incentivo à vida acadêmica.

Ao meu esposo, André, pelo companheirismo e motivação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa concedida e pelo auxílio à pesquisa.

E a todos que de alguma forma contribuíram para que este trabalho pudesse ser realizado.

RESUMO

Nos últimos anos tem havido um aumento no estudo da qualidade do ar interno relacionado aos sistemas de ventilação mecânica e condicionamento do ar. Isso é especialmente fundamental em hospitais, onde a transmissão da contaminação pelo ar é considerada uma das principais causas de aquisição de doenças por pacientes, profissionais de saúde e visitantes. Além disso, essas instituições por abrigarem diversos setores, cada um com uma especificidade e função, exigem diferentes condições de conforto ambiental, sob os aspectos higrotérmico e de qualidade do ar, além do acústico e luminoso. Com o objetivo de avaliar a qualidade o ar, sob os parâmetros de conforto térmico e da concentração de dióxido de carbono em ambientes hospitalares climatizados artificialmente, realizou-se uma investigação de campo em salas de espera e salas de cirurgias de uma amostra de seis edifícios hospitalares na cidade de São Paulo e região metropolitana. Para coleta dos dados foram utilizados instrumentos de monitoramento, portáteis e de elevada precisão, adequados para a realização da pesquisa. Os resultados obtidos a partir da análise desses dados apontaram relevantes problemas relacionados ao conforto e a qualidade do ar. Dentre esses problemas, destacam-se a ausência de controle do diferencial de pressão entre as salas de cirurgias e os corredores; a divergência entre as temperaturas operativas ideais para promoção do conforto térmico para grupos de pessoas com diferentes vestimentas e nível de atividade, ocupando um mesmo ambiente, no caso, as salas de cirurgias; a insuficiência de renovação de ar, especialmente nas salas de espera equipadas com o sistema de climatização do tipo *split-system*; além da ausência de padronização entre os critérios dos referenciais técnicos mais adotados. Sob esses aspectos, percebeu-se a necessidade de melhoria do conhecimento da interação entre os ocupantes e o ambiente, especialmente naqueles onde o controle se faz necessário para a promoção da saúde.

Palavras-chave: Conforto térmico. Qualidade do ar interno. Ambientes hospitalares.

ABSTRACT

In recent years has been increased interest in thermal comfort and air quality of indoor environments related to mechanical ventilation systems and air conditioning. This is especially crucial in hospitals where contaminated air transmission is considered a major cause of acquiring disease for patients, health care professionals and visitors. Moreover, these institutions having different sectors, each one with a speciality and function, require different conditions of environmental comfort, in terms of hygrothermal, air quality, acoustic and luminous aspects. In order to evaluate the air quality under the parameters of thermal comfort and carbon dioxide concentration in air conditioning hospital environments, it was carried out a field investigation in waiting rooms and operating rooms in six hospitals in São Paulo and metropolitan region. For data collection were used portable monitoring devices, suitable for research. The results from data analysis indicated significant problems related to thermal comfort and indoor air quality. Among these problems, it can be highlighted the lack of the differential pressure control between the operating rooms and corridors; the divergence among the optimal operative temperatures to provide thermal comfort for different groups of people with different clothing and activity level, occupying the same environment, in this case, the operating rooms; the disregard with the air changes required, especially in waiting rooms equipped with the split-system; besides the lack of standardization among the technical references criteria often used. Under these aspects, it is necessary to improve the knowledge of the interaction between the occupants and the environment, especially where the environmental control is decisive to promote the health.

Keywords: Thermal comfort. Indoor air quality. Hospital environments.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Distribuição dos locais de maior frequência da infecção hospitalar. (Fonte: WHO, 2002). 19
Figura 2 – Fontes e rotas da infecção em salas cirúrgicas. (Fonte: Lewis, 1993). 20
Figura 3 - Relação entre PMV e PPD. (Fonte: ISO 7730, 2005) 32
Figura 4 – Desconforto térmico local causando por assimetria de temperatura radiante. (Fonte: ISO 7730, 2005).....35
Figura 5 – Condições de conforto térmico em ambientes condicionados artificialmente. (Fonte: ASHRAE 55) 36
Figura 6 – Correlação entre a sensação térmica e porcentagem de insatisfeitos. (Fonte: Xavier e Lamberts, 2000).....37
Figura 7 – Vista em planta e seção das regiões nas salas de cirurgias, segundo Félix, 2008.....41
Figura 8 – Fluxo unidirecional e a turbulência causada pela ascensão da pluma térmica formada pelos manequins térmicos, no plano vertical. (Fonte: Qian et al., 2008). 43
Figura 9 – Monitor de análises microclimáticas DeltaOhm HD 32.1 (confortímetro). 55
Figura 10 – Sonda combinada entre temperatura e umidade relativa. (Fonte: Manual DeltaOhm, HD 32.1, 2007).....56
Figura 11 – Sonda composta por dois sensores de temperatura para avaliação do gradiente vertical. (Fonte: Manual DeltaOhm, HD 32.1, 2007).....56
Figura 12 – Sonda composta por dois sensores de temperatura para avaliação na altura do nível do pavimento e dos tornozelos. (Fonte: Manual DeltaOhm, HD 32.1, 2007). 57
Figura 13 – Sonda para medição de assimetria de temperatura radiante. (Fonte: Manual DeltaOhm, HD 32.1, 2007). 57
Figura 14 – Sonda para medição de temperatura radiante média. (Fonte: Manual DeltaOhm, HD 32.1, 2007).....58
Figura 15 – Sonda para medição da velocidade do ar. (Fonte: Manual DeltaOhm, HD 32.1, 2007). 58
Figura 16 – Monitor de Dióxido de Carbono (CO_2) TSI 7535. (Fonte: Suzuki, 2010) 60

Figura 17 – Monitor de pressão diferencial TESTO 521-3. (Fonte: Manual monitor de pressão diferencial). 61
Figura 18 – Diferencial de pressão na sala de cirurgia nº 10. 69
Figura 19 – Diferencial de pressão na sala de cirurgia nº 01. 71
Figura 20 – Diferencial de pressão na sala de cirurgia nº 01. 74
Figura 21 – Diferencial de pressão na sala de cirurgia nº 06. 78
Figura 22 – Diferencial de pressão na sala de cirurgia nº 01. 79
Figura 23 – Diferencial de pressão na sala de cirurgia nº 09. 83
Figura 24 – Diferencial de pressão na sala de cirurgia “B”.....86
Figura 25 - Diferencial de pressão na sala de cirurgia nº 05. 89
Figura 26 – PMV calculado a partir das médias das variáveis 90
Figura 27 - PPD calculado a partir das médias das variáveis 90
Figura 28 – PMV calculado a partir das médias das variáveis 91
Figura 29 - PPD calculado a partir das médias das variáveis 91
Figura 30 – PMV calculado a partir das médias das variáveis 91
Figura 31 - PPD calculado a partir das médias das variáveis 91
Figura 32 – Temperatura equivalente da cabeça em função da potência do foco cirúrgico. (Félix et al, 2012) 93
Figura 33 – Correlação entre T_o e PMV para as salas de espera. 95
Figura 34 - Correlação entre T_o e PMV para as salas de cirurgia para os cirurgiões e instrumentadores.....95
Figura 35 - Correlação entre T_o e PMV para as salas de cirurgia para os anestesistas e enfermeiros. 96
Figura 36 – Percentual de salas de espera que atendem aos referenciais internacionais. 97
Figura 37 - Percentual de salas de espera que atendem à Res. 09 da ANVISA.....97
Figura 38 – Concentração de dióxido de carbono nas salas de espera dos hospitais avaliados. 98
Figura 39 - Percentual de salas de cirurgias que atendem à ASHRAE, 2003.....98
Figura 40 - Percentual de salas de cirurgias que atendem à ASHRAE, 2007.....98
Figura 41 - Percentual de salas de cirurgias que atendem à ASHRAE, 2008.....99
Figura 42 - Percentual de salas de cirurgias que atendem ao referencial nacional. .99
Figura 43 - Percentual de salas de cirurgia que atendem à Res. 09 da ANVISA.....99

Figura 44 – Percentual de amostras de salas de espera que atendem a ISO 7730 (2005) para o índice PPD. 100
Figura 45 - Percentual de amostras de salas de espera que atendem a ASHRAE 55 (2004) e ao referencial nacional, para o índice PPD. 100
Figura 46 - Percentual de amostras de salas de cirurgia que atendem a ISO 7730 (2005) para os ocupantes da zona 1. 100
Figura 47 - Percentual de amostras de salas de cirurgia que atendem a ISO 7730 (2005) para os ocupantes da zona 2. 100
Figura 48 - Percentual de amostras de salas de cirurgia que atendem ao referencial nacional para os ocupantes da zona 1 e à ASHRAE 55 (2004). 101
Figura 49 - Percentual de amostras de salas de cirurgia que atendem ao referencial nacional para os ocupantes da zona 2 e à ASHRAE 55 (2004). 101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores da constante “a” 30
Tabela 2 – Escala de sensação térmica.....33
Tabela 3 – Categoria de ambiente térmico.....35
Tabela 4 – Condições de conforto térmico para os meses de verão.....37
Tabela 5 – Comparação dos parâmetros de qualidade do ar entre os referenciais técnicos nacionais e internacionais para salas de cirurgias e salas de espera em hospitais, climatizadas artificialmente. 46
Tabela 6 – Valores máximos para qualidade do ar de ambientes, não especiais, climatizados artificialmente.....47
Tabela 7 – Classificação e métodos de ensaio para filtros de ar. 49
Tabela 8 - Características do Confortímetro.....59
Tabela 9 – Características do Monitor de CO_2 60
Tabela 10 – Características do Monitor pressão diferencial.....61
Tabela 11 – Valores da vestimenta e nível de atividade para equipe cirúrgica. 64
Tabela 12 – Valores máximos, mínimos e médios das variáveis medidas na sala de espera do centro de endoscopia. 68
Tabela 13 – Valores máximos, mínimos e médios das variáveis na sala de cirurgia nº 10. 69
Tabela 14 – Valores máximos, mínimos e médios das variáveis na sala de cirurgia nº 01. 70
Tabela 15 – Valores máximos, mínimos e médios das variáveis na sala de espera dos ambulatórios. 73
Tabela 16 – Valores máximos, mínimos e médios das variáveis na sala de cirurgia nº 01. 74
Tabela 17 – Valores máximos, mínimos e médios das variáveis na sala de espera dos ambulatórios. 76
Tabela 18 - Valores máximos, mínimos e médios das variáveis na sala de cirurgia nº 06. 77
Tabela 19 - Valores máximos, mínimos e médios das variáveis na sala de cirurgia nº 01. 79
Tabela 20 - Valores máximos, mínimos e médios das variáveis na sala de espera dos consultórios. 81

Tabela 21 - Valores máximos, mínimos e médios das variáveis na sala de espera de cirurgia nº 09. 82
Tabela 22 – Valores máximo, mínimos e médios das variáveis medidas na sala de espera do setor de radiologia. 85
Tabela 23 - Valores máximo, mínimos e médios das variáveis medidas na sala de cirurgia “B”. 86
Tabela 24 - Valores máximo, mínimos e médios das variáveis medidas na sala de cirurgia nº 05. 88
Tabela 25 – Ano da construção dos hospitais e da instalação do sistema de climatização.....102
Tabela 26 - Resultado da simulação do consumo de energia pelo sistema de renovação de ar do sistema de ar condicionado em sala de espera.....104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIA	American Institue of Architects
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ASHRAE	American Society of Heating and Air Conditioning Engineers
CAG	Central de Água Gelada
CCIH	Comissão de Controle de Infecção Hospitalar
CDC	Centers for Disease Control and Prevention
CFD	Computational Fluid Dynamics
DIN	Deutsches Institut für Normung
DR	Draught Rate
EAS	Estabelecimentos Assistenciais à Saúde
EUA	Estados Unidos da América
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
HEPA	High Efficiency Particulate Air
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning
ISO	International Standard Organization
LED	Light Emitting Diode
NBR	Norma Brasileira
PD	Percent of Dissatisfied
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percent of Dissatisfied
PPM	Partes Por Milhão
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
SED	Síndrome dos Edifícios Doentes
SDCD	Sistema Digital de Controle Distribuído
ULPA	Ultra Low Penetration Air
UV	Ultra Violeta
UVGI	Ultraviole Germicida Irradiation
VAC	Volume de Ar Constante
VAV	Volume de Ar Variável
WHO	World Health Organization

LISTA DE SÍMBOLOS

CO_2	Dióxido de carbono
T_o	Temperatura operativa (ºC)
T_a	Temperatura do ar (ºC)
V_{ar}	Velocidade do ar (m/s)
M	Taxa de metabolismo (W/m²)
W	Trabalho (W/m²)
f_{cl}	Fator de superfície de área de vestimenta
T_r	Temperatura radiante média (ºC)
T_{cl}	Temperatura da superfície da vestimenta (ºC)
p_a	Pressão parcial de vapor de água (Pa)
I_{cl}	Isolamento da roupa (m².K/W)
h_c	Coeficiente de transferência de calor [W/(m².K)]
Tu	Índice de turbulência (%)
∂v_a	Desvio padrão da velocidade média do ar
$\Delta t_{a,v}$	Diferença vertical de temperatura entre cabeça e tornozelos (ºC)
Δt_{pr}	Assimetria de temperatura radiante (ºC)
UR	Umidade relativa do ar (%)
$T_{sk,req}$	Temperatura média da pele necessária para o conforto térmico (%)
R_t	Resistência total para transferência de calor do sistema de isolamento pela roupa de cama incluindo a camada de ar ao redor do corpo (m².ºC/W)
i_m	Eficiência da infiltração do vapor total (adimensional)
L_r	Taxa de Lewis (K/kpa)
$\rho_{sk,s}$	Pressão de vapor da água saturada à $T_{sk,req}$ (kPa)
L	Carga térmica no corpo
α	Coeficiente de sensibilidade
C_s	Concentração de CO_2 no ambiente interno
C_0	Concentração de CO_2 no ar exterior
N	Taxa de geração de CO_2 por pessoa
V_0	Vazão de ar exterior por pessoa
E_g	Eficiência gravimétrica para pó sintético (%)
E_f	Eficiência para partícula de 0,4 μm (%)

$\mathbf{E_{dop}}$	Eficiência para partículas de 0,3 μm (%)
$\boldsymbol{T_{BU}}$	Temperatura de bulbo úmido (ºC)
$\boldsymbol{T_g}$	Temperatura de globo (ºC)
$\boldsymbol{T_h}$	Temperatura na altura da cabeça (ºC)
$\boldsymbol{T_b}$	Temperatura na altura do abdômen (ºC)
$\boldsymbol{T_k}$	Temperatura na altura dos tornozelos (ºC)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 18
1.1 Fontes e rotas da infecção hospitalar 18
1.2 Poluentes presentes no ar de ambientes hospitalares 21
1.3 Ambientes hospitalares: descrição e regulamentação 22
1.3.1 Salas de cirurgias 23
1.3.2 Salas de espera de pacientes 23
1.4 Estudo dos sistemas de ar condicionado 24
1.4.1 Sistemas de expansão direta 25
1.4.2 Sistemas de expansão indireta 25
2 OBJETIVO 28
2.1 Objetivo geral 28
2.2 Objetivos específicos 28
3 CONFORTO TÉRMICO E QUALIDADE DO AR EM AMBIENTES HOSPITALARES 29
3.1 Conforto térmico 29
3.2 Qualidade do ar 42
3.3 Diferencial de pressão 50
4 MATERIAIS E MÉTODOS 53
4.1 Caracterização da amostra 53
4.2 Instrumentação 54
4.3 Investigação de campo 61
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 65
5.1 Hospital H1 66
5.1.1 Sala de espera do centro de endoscopia 67
5.1.2 Sala de cirurgia nº 10 68
5.2 Hospital H2 71
5.2.1 Sala de espera dos ambulatórios 72
5.2.2 Sala de cirurgia nº 01 73

5.3 Hospital H3 75
5.3.2 Sala de cirurgia nº 06 77
5.3.3 Sala de cirurgia nº 01 78
5.4 Hospital H4 80
5.4.1 Sala de espera dos consultórios 80
5.4.2 Sala de cirurgia nº 09 81
5.5 Hospital H5 83
5.5.1 Sala de espera do setor de radiologia 84
5.5.2 Sala de cirurgia “B” 85
5.6 Hospital H6 87
5.6.1 Sala de cirurgia nº 05 87
5.7 Análise do conforto e desconforto térmico 89
5.8 Correlações entre parâmetros de conforto térmico 93
5.9 Relação das situações dos ambientes com os referenciais técnicos 97
5.10 Simulação do consumo energético nas salas de espera 103
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 105
6.1 Propostas para trabalhos futuros 108
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 109

1 INTRODUÇÃO

Os hospitais, originalmente, eram instituições filantrópicas, de auxílios aos pobres, destinados a amparar pessoas com doenças graves à espera da morte. Desde então, passou por diversas modificações e conceitos, tanto no aspecto funcional quanto no construtivo. Hoje, segundo o Ministério da Saúde apud GÓES (2004), o hospital é a parte integrante de uma organização médica e social, cuja função básica consiste em proporcionar à população assistência médica integral, preventiva e curativa sob qualquer regime de atendimento, inclusive domiciliar, constituindo-se também em centro de educação, capacitação de recursos humanos e de pesquisas em saúde, bem como encaminhamento de pacientes, cabendo-lhe supervisionar e orientar os estabelecimentos de saúde a ele vinculados tecnicamente.

Dessa forma, essas instituições passaram a abrigar diversos setores, cada um com uma especificidade e função, exigindo diferentes condições de conforto ambiental, sob os aspectos higrotérmico e de qualidade do ar, além do acústico e luminoso.

A justificativa para o desenvolvimento dessa pesquisa baseia-se na complexidade de exigência das condições do ambiente interno e no aumento do interesse pela qualidade do ar interno relacionado aos sistemas de ventilação mecânica e condicionamento do ar. Interesse especialmente fundamental em hospitais, onde a transmissão da contaminação pelo ar é considerada umas das principais causas de aquisição de doenças por pacientes, profissionais de saúde e visitantes (CHEONG; PHUA, 2006).

Assim, nesse trabalho, serão estudados os aspectos de conforto térmico e qualidade do ar, por intermédio do sistema de ar condicionado, em salas de cirurgias e salas de espera para pacientes, cujo objetivo é contribuir para uma melhoria nos estudos da edificação hospitalar.

1.1 Fontes e rotas da infecção hospitalar

A World Health Organization (2002) define infecção hospitalar como aquela adquirida, no hospital, pelo paciente que foi admitido por outro motivo que não a

infecção. Incluem-se infecções que apareceram após a alta médica, e também infecções ocupacionais entre os profissionais da instituição.

Uma pesquisa conduzida por essa organização em 55 hospitais de 14 países, com o objetivo de quantificar a incidência de infecção hospitalar apresentou que, em média, 8,7% dos pacientes hospitalizados adquiriram infecção hospitalar.

A Figura 1 apresenta a distribuição dos locais de maior frequência das infecções hospitalares, destas, destacam-se as infecções de ferida operatória, do trato urinário e do trato respiratório.

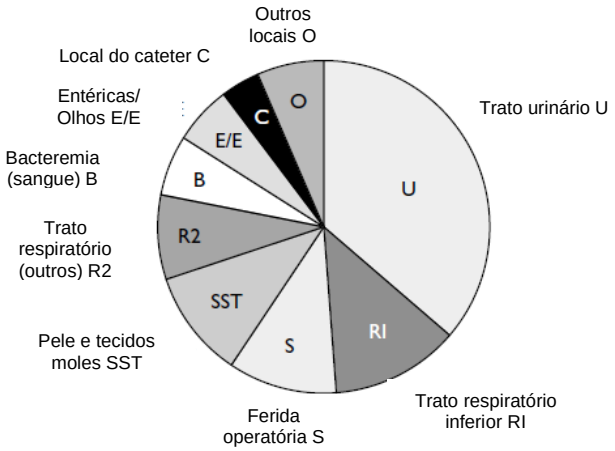

Figura 1 – Distribuição dos locais de maior frequência da infecção hospitalar. (Fonte: WHO, 2002).

As infecções podem ser classificadas em endógenas e exógenas (WHO, 2002). Segundo Mitteldorf, Rasslan e Birolini (2007) os micro-organismos que, num determinado momento, causam doenças num indivíduo, podem ser provenientes da própria flora endógena do paciente ou podem invadir o hospedeiro a partir do meio externo a ele (flora exógena).

No caso das infecções exógenas, os micro-organismos presentes no ambiente hospitalar conseguem infectar o paciente. O mais comum é que a infecção se dê durante procedimentos invasivos, como os que ocorrem em cirurgias (FÉLIX, 2008).

Lewis (1993) apresentou, em sua pesquisa, a interação entre as fontes e rotas da infecção em salas de cirurgia (Figura 2). Segundo o autor, a infecção pode ser proveniente de muitos fatores agindo juntos ou independentes.

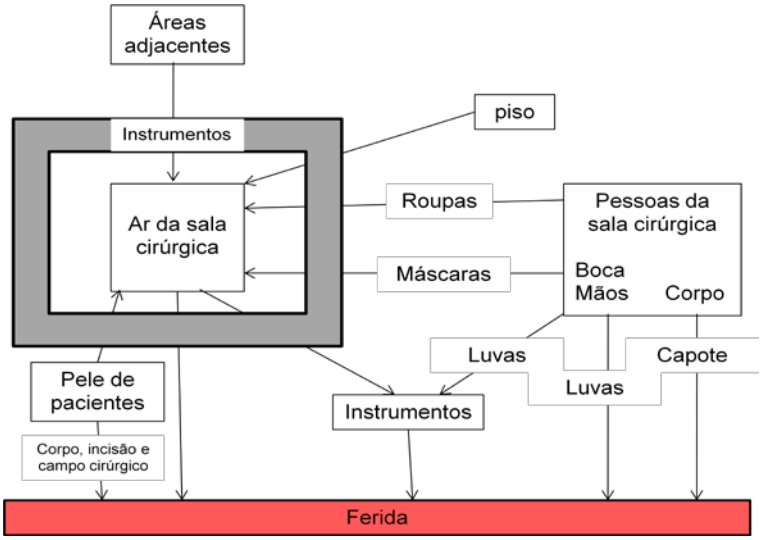

Figura 2 – Fontes e rotas da infecção em salas cirúrgicas. (Fonte: Lewis, 1993).

Pereira (2008) associou a pele como meio de transmissão de micro-organismos no ar devido à atração eletrostática que se dá entre estes e as partículas, como descamações da pele das pessoas, fios de cabelo e outras partículas, inclusive aquelas provenientes do ar condicionado.

Memarzadeh e Manning (2003) encontraram diversas bibliografias que consideram que essas partículas são a fonte primária de bactéria causadora de infecção. Baseado nestas proposições, os autores simularam a deposição de contaminantes em salas cirúrgicas utilizando modelagem CFD (*Computational Fluid Dynamics*). O estudo considerou, como contaminantes, partículas de 10 μm de diâmetro, provenientes da pele da equipe médica e do paciente.

A proteção por roupas, máscaras e capotes, utilizados pelos profissionais da equipe médica durante a cirurgia, têm um efeito significativo na quantidade de descamações da pele transferidas para o ar (Lewis, 1993).

Segundo o estudo de Wang et al. (2006), desenvolvido em diversos ambientes de uma amostra de hospitais da China, a atividade humana também pode ser uma importante fonte de geração de partículas nos hospitais.

As infecções hospitalares provenientes de agentes infecciosos transportados pelo ar continuam sendo um assunto muito discutido em unidades de saúde. Estima-se que a infecção hospitalar é a causa de 88.000 mortes e com um custo hospitalar acima de $3 bilhões, por ano, nos Estados Unidos da América (EUA), sendo de 4% a 5% desses números atribuídos à infecção causada por micro-organismos transportados pelo ar (EMMERICH ET AL, 2013). No Brasil, a taxa de infecção

hospitalar é de 9%, segundo Panorama do Controle da Infecção Hospitalar no Brasil, elaborado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), (SANTOS et al., 2005).

1.2 Poluentes presentes no ar de ambientes hospitalares

As fontes internas de poluentes presentes no ar de ambientes hospitalares são inerentes à própria atividade realizada nesses ambientes e às condições de saúde das pessoas que as ocupam, especialmente, os pacientes. Os principais contaminantes são de origem biológica (bactérias, vírus e fungos), química (CO_2, gases anestésicos, esterilizantes e desinfetantes, entre outros) e materiais particulados (escamações da pele, fios de cabelo, partículas proveniente de dutos de ar condicionado, entre outros).

A ASHRAE (2007) apresenta exemplos de bactérias, vírus e fungos que podem ser transmitidos pelo ar:

- *Mycobacterium* sp. e a *Legionella pneumophila* são bactérias altamente infecciosas. Segundo a ASHRAE (2007) as colônias de bactérias possuem dimensão maior do que 1 μm. Essas colônias podem permanecer indefinidamente em suspensão no ar, portanto, a utilização de filtros eficientes, consegue remover 99,9% desses agentes presentes no ar (ABNT NBR 7256, 2005);
- Os vírus das famílias da *Varicella e da Rubella* são exemplos de vírus que podem ser transportados pelo ar. Como o seu tamanho é submicrométrico, desconhece-se um método eficaz para eliminação dessas partículas;
- Alguns fungos como os *Aspergillus* sp. podem ser fatais para pacientes com leucemia, em casos avançados, em transplantes de medula óssea e para outros pacientes imunodeprimidos.

Quanto aos agentes químicos, são diversos os efeitos na saúde associados à sua exposição. Os gases anestésicos, por exemplo, apresentam 1,5 a 2 vezes mais risco de aborto espontâneo em mulheres expostas ao gás (KARTHIKEYAN; SAMUEL, 2007).

A concentração de CO_2 é considerada um indicador de insuficiência na entrada do ar externo e problemas de ventilação. Segundo a Resolução nº 9 da ANVISA (2003) é admitida uma tolerância de 1.000 ppm.

Estudos mostram que as bactérias podem ser transportadas por meio de materiais particulados, como escamações de pele, fios de cabelo e outras partículas presentes no ambiente, com aproximadamente 10 μm de diâmetro. De acordo com Rui, Guangbei e Jihong (2008), a contaminação microbiana do sítio cirúrgico é um precursor necessário da infecção da ferida operatória.

Os poluentes presentes no ar têm menos importância para o risco de contaminação quando são respeitados os regulamentos técnicos para ventilação e condicionamentos dos ambientes. Devem, ainda, serem observados os cuidados de assepsia, tanto de materiais quanto da equipe médica, bem como os critérios de projeto do espaço físico e funcionalidade dos setores.

1.3 Ambientes hospitalares: descrição e regulamentação

A seguir, faz-se uma descrição dos ambientes hospitalares definidos para o desenvolvimento dessa pesquisa: salas de cirurgias e salas de espera.

Citam-se, também, os referenciais nacionais e internacionais que regulamentam o controle da qualidade do ar desses ambientes:

- ASHRAE/ASHE STANDARD 170/2008. Ventilation of Health Care Facilities;
- ASHRAE Handbook of Fundamentals, 2009;
- ASHRAE HVAC Applications, 2007 – Capítulo 7;
- ASHRAE HVAC Design Manual for Hospital and Clinics, 2003;
- ABNT NBR 7256/2005: Tratamento de ar em estabelcimentos assistenciais a saúde (EAS) – Requisitos para projeto e execução das instalações;
- ANVISA Resolução nº 09/ 2003. Dispõe sobre os Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo, e dá outras providências;
- ANVISA Resolução RDC nº 50, de 21 de fevereiro de 2002. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde.

1.3.1 Salas de cirurgias

De acordo com ASHRAE (2003) os ambientes típicos que constituem os centros cirúrgicos são: salas cirúrgicas, sala de indução anestésica, sala de recuperação e apoio de pessoal. Nos centros cirúrgicos é que são realizados os procedimentos, tanto em pacientes internos quanto em pacientes sem necessidade de internação, denominada cirurgia ambulatorial.

Mora, English e Athienitis (2001) consideram dois grupos de pessoas ocupantes das salas de cirurgias, além do paciente: a equipe de cirurgia (os cirurgiões e os instrumentadores) e a equipe de apoio (os anestesistas e a equipe de enfermagem). Esta última equipe posicionada fora da área do paciente, circulando dentro e fora da sala de cirurgia na maior parte do tempo.

Quanto ao risco de ocorrência de eventos adversos à saúde por exposição ao ar ambiental, a ABNT NBR 7256 (2005) atribui, às salas de cirurgias, o nível “2” [1], numa escala de 0 a 3.

Devido a esse grau de risco, o acesso a essas unidades é restrito aos funcionários e médicos do setor e o local de acesso dos pacientes, denominado zona de transferência, a essas unidades, deve ser provido de barreira física que impeça a entrada de macas e permita a saída dessas (RDC nº 50 da ANVISA, 2002).

1.3.2 Salas de espera de pacientes

Os serviços de admissão de pacientes, tanto para internação quanto para atendimento ambulatorial, é realizado junto aos ambientes de espera, onde pacientes, após admissão, aguardam atendimento médico. A condição clínica dessa população de pacientes e visitantes nessa área pública não é controlada. Entre esses pacientes, aqueles que precisam de isolamento podem estar à espera de atendimento sem utilização de máscaras adequadas, por horas. Especial tratamento do ar de tais espaços, por meio de sistemas de ventilação e climatização, pode ser necessário (ASHRAE, 2003).

---

[1] Nível 2 – áreas onde existem fortes evidências de risco de ocorrência de agravos à saúde relacionados à qualidade do ar, de seus ocupantes ou de pacientes que utilizarão produtos manipulados nestas áreas, baseadas em estudos experimentais, clínicos ou epidemiológicos bem delineados (ABNT NBR 7256, 2005).

Apesar disso, as normas nacionais, ABNT NBR 7256 (2005), RDC nº 50 da ANVISA (2002) e a Resolução nº 9 da ANVISA (2003), não especificam condições de controle ambiental para esse tipo de ambiente, contudo, as normas internacionais, ASHRAE (2008, 2007, 2003), trazem as salas de espera para pacientes no escopo das especificações técnicas para controle desses ambientes.

1.4 Estudo dos sistemas de ar condicionado

A maioria das unidades de condicionamento de ar está associada a aplicações de conforto. Em determinados ambientes, como os hospitalares, por exemplo, esse sistema pode ser fundamental para controle das condições do ar do ambiente interno.

O ar condicionado para conforto é definido como o processo de condicionamento de ar objetivando o controle de sua temperatura, umidade, pureza e distribuição no sentido de proporcionar conforto aos ocupantes do ambiente controlado (STOECKER; JONES, 1985).

No Brasil, a principal finalidade dos sistemas de condicionamento ambiental é o resfriamento do ar e os sistemas mais utilizados são:

- Sistemas de expansão direta;
- Sistemas de expansão indireta;

Para Marte (1995), o sistema de condicionamento ambiental pode ser apontado como aquele que apresenta as maiores possibilidades de sofisticação, pois dos tradicionais controladores de aquecimento, refrigeração e ventilação ambientais, evoluiu-se gradativamente aos controladores locais de temperatura até sistemas de supervisão e controle tão complexos quanto os SDCD’s (Sistemas Digitais de Controle Distribuído) industriais.

Os componentes principais de um sistema de controle, no qual a condição (variável) controlada, temperatura, por exemplo, atuam sobre um sensor que transforma o sinal em pressão ou voltagem, que se compara com a pressão ou voltagem correspondentes à condição desejada. Se não houver coincidência de valores, o atuador aciona uma válvula, registro ou dispositivo semelhante que tenha condições de alterar a temperatura controlada (STOECKER; JONES, 1985).

1.4.1 Sistemas de expansão direta

O princípio de funcionamento desse sistema baseia-se no resfriamento do ar em contato com o refrigerante, contido na serpentina, após evaporação. Esse ar é insuflado por meio de um ventilador, diretamente para o ambiente ou por meio de dutos. Trata-se de um sistema com modo de operação de duas posições (liga / desliga), conforme faixa de temperatura do ar determinada. Pode operar tanto com vazão de ar constante quanto com um sistema de volume de ar variável (VAV), entretanto, nesse caso, as situações de temperaturas baixas devem ser controladas para evitar a desumidificação excessiva do ar no ambiente.

O *split-system* é um dos equipamentos mais comuns devido à sua facilidade de instalação e manutenção, entretanto, esse tipo de sistema, geralmente, não possui sistema de renovação de ar do ambiente.

Entre os equipamentos mais comuns também estão os aparelhos de janela, os condicionadores tipo *self contained* com condensação a ar e os *self contained* com condensação a água.

1.4.2 Sistemas de expansão indireta

Diferente do sistema de expansão direta, o princípio de funcionamento desse sistema é mais complexo, entretanto possui grande capacidade de refrigeração, ideal para edifícios de grande porte.

Nesse sistema, o refrigerante primário resfria um líquido intermediário (refrigerante secundário). O sistema mais utilizado é o sistema de água gelada, em que o refrigerante intermediário, resfriado pelo c*hiller*, unidade de resfriamento de água, é então distribuído pelo edifício até os condicionadores *fan-coils*, compostos basicamente de uma serpentina e um ventilador, por onde passa o ar que se quer resfriar (MARTE, 1995). Além disso, pode ainda haver uma torre de resfriamento, cuja função é dissipar o calor da água de condensação do *chiller* para o ar externo.

Os *fan-coils* podem operar com volume de ar constante (VAC) ou volume de ar variável (VAV). As unidades de volume de ar variável (VAVs) controlam a vazão de ar em função da temperatura de bulbo seco do ambiente, variando a quantidade de suprimento de ar. As variações de vazão de ar alteram as pressões estáticas nos dutos para que sejam garantidas pressões adequadas e suficientes para o fornecimento de ar nas vazões requeridas, devendo ser monitorados e controlados

pelo sistema de controle. A vantagem desse sistema está na conservação de energia quando as cargas térmicas são inferiores às cargas térmicas de projeto. O sistema de volume de ar constante controla a temperatura do ambiente alterando a temperatura do ar insuflado, enquanto mantém a vazão constante.

É importante ressaltar que a grande diversidade de exigências de controle da qualidade do ar, nos ambientes hospitalares, requer um sistema adequado a cada ambiente. Nas áreas críticas[2], deve ser utilizado o sistema de volume de ar constante (VAC) para assegurar a adequada pressão e ventilação. Em áreas não críticas[3] e administrativas pode ser considerado o sistema de volume de ar variável (VAV) para conservação de energia.

O sistema de expansão indireta, apesar de o investimento inicial ser mais alto do que a instalação de um sistema unitário e necessitar de espaço físico para os equipamentos, *shafts*, etc., tem como vantagem fornecer maior controle dos parâmetros de qualidade do ar (ASHRAE, 2003).

Entretanto, no sistema ar-água a desumidificação pode ser um problema onde há alta carga latente, além disso, os *fan-coils* necessitam de manutenção intensiva, troca regular dos filtros e o sistema de drenagem do condensador estão sujeitos ao entupimento e transbordamento e podem apresentar problemas para o controle de infecção. Podem ainda serem ruidosos e apresentar alto custo inicial (ASHRAE, 2003).

A ASHRAE (2003) apresenta, ainda, o sistema todo a ar (*all-air system*) que traz como vantagens:

- Centralização de equipamentos facilitando a manutenção;
- Fornece uma maior flexibilidade para sistema multi-zonas;
- É adequado para um bom controle de pressurização;
- Apresenta bom controle de quantidade de ventilação de ar;
- Oferece oportunidade de altos níveis de filtração.

Nesse sistema, o *chiller* fornece água gelada para uma ou mais unidade de tratamento de ar. Nessas unidades o ar exterior e o ar de retorno são misturados,

---

[2] Áreas críticas são os ambientes onde existe risco aumentado de transmissão de infecção, onde se realizam procedimentos de risco, com ou sem pacientes, ou onde se encontram pacientes imunodeprimidos (BRASIL, RDC nº 50, 2002).

[3] Áreas não críticas são os ambientes dos estabelecimentos assistenciais à saúde não ocupados por pacientes, onde não se realizam procedimentos de riscos (BRASIL, RDC nº 50, 2002).

filtrados, resfriado (e aquecido, em alguns casos) e então insuflados para o ambiente.

Em um sistema de ar condicionado é fundamental o controle de parte dos equipamentos. Nos ambientes hospitalares, eles são essenciais tanto para proporcionar adequada e eficiente operação do sistema de distribuição, como também para a economia de energia do sistema de água gelada (*chiller*), pois essa unidade representa um dos maiores gastos energéticos do sistema. Os controles são utilizados para manter um *setpoint* de uma determinada variável quando algum tipo de perturbação causa a alteração daquela variável. Nos sistemas de ar condicionado, as variáveis mais comuns a serem controladas são: pressão, temperatura, umidade e taxa de fluxo de ar (ASHRAE, 2003).

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

O objetivo da pesquisa é avaliar os parâmetros de conforto térmico e a concentração de dióxido de carbono em ambientes hospitalares climatizados artificialmente, visando estabelecer uma análise da situação encontrada comparando-se com os referenciais nacionais e internacionais estabelecidos para o conforto térmico e o controle da qualidade do ar de edifícios assistenciais à saúde.

2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, para o trabalho, têm-se como proposta:

- Avaliar quantitativamente os parâmetros de conforto: temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, entre outros que julgar necessários, nesses ambientes;
- Avaliar quantitativamente o nível de CO_2;
- Avaliar o diferencial de pressão entre a sala de cirurgia e o corredor;
- Identificar o sistema de ar condicionado existente no ambiente estudado;
- Comparar os resultados da avaliação quantitativa com os preconizados nos referenciais nacionais e internacionais para garantia do conforto e da qualidade do ar de edifícios assistenciais à saúde.

3 CONFORTO TÉRMICO E QUALIDADE DO AR EM AMBIENTES HOSPITALARES

Apesar da existência de um número limitado de trabalhos publicados sobre o conforto térmico e a qualidade do ar em ambientes hospitalares, especialmente de trabalhos que utilizaram métodos de amostragem de campo que permitem quantificar os parâmetros associados ao conforto e qualidade do ar, procurou-se fazer uma revisão bibliográfica de trabalhos que abordam os temas, incluindo os referenciais técnicos, nacionais e internacionais, relacionados com o conforto térmico e com a qualidade do ar de ambientes hospitalares climatizados.

3.1 Conforto térmico

Assim como em outros tipos de edificações, os sistemas de ar condicionado para edifícios assistenciais à saúde têm como objetivo fornecer conforto por meio do controle de temperatura, velocidade do ar, umidade relativa, ruído e odores.

Especialmente nesses edifícios, o controle desses parâmetros é importante não somente para fornecer conforto. Os sistemas de ar condicionado auxiliam uma variedade de funções médicas: controle de infecção, controle ambiental para tratamentos médicos específicos, controle de riscos químicos e segurança de pessoas na detecção e contenção de fumaça em incêndios (ASHRAE, 2003).

A ASHRAE 55 (2004) define conforto térmico como a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico.

De acordo com a ISO 7730 (2005), conforto térmico é um conceito complexo, influenciado por um número de parâmetros e não é sempre percebido da mesma forma por todos os indivíduos. Contudo, várias tentativas têm sido feitas a fim de desenvolver uma relação empírica para relacionar a percepção do conforto com respostas fisiológicas específicas. Entre os diversos modelos e sugestões para uma estimativa quantitativa para o conforto térmico, o mais amplamente utilizado é o sugerido por Fanger (1972). Seu trabalho, conhecido como a teoria *Predicted Mean Vote (*PMV*),* tornou-se um meio para expressar quantitativamente o conforto térmico e a sensação térmica associada ao índice PPD (*Predicted Percent of Dissatisfied*).

O modelo desenvolvido por Fanger (1972) foi objeto de estudo realizado com estudantes em idade universitária, em condição ambiental não variável e climatizada

(câmara climática), conduzido na Universidade Técnica da Dinamarca e na Universidade de Kansas, nos Estados Unidos. Os parâmetros ambientais considerados foram a temperatura, a velocidade e umidade do ar e a temperatura radiante média, enquanto que os parâmetros pessoais foram o metabolismo e a resistência térmica do corpo por meio de vestimenta.

Para dados valores de umidade, velocidade do ar, metabolismo e vestimenta, a ASHRAE 55 (2004) apresenta métodos para determinar a zona de conforto. Ela é definida em termos de uma faixa de temperatura operativa ou em termos da combinação da temperatura do ar e da temperatura radiante média. A temperatura operativa pode ser determinada pela equação 1.

$$T_o = a.T_a + (1-a).T_r \tag{1}$$

Onde:

A constante “a” varia de acordo com a velocidade do ar (Tabela 1):

Tabela 1 – Valores da constante “a”

V_{ar} (m/s)	0 – 0,2	0,2 – 0,6	0,6 – 1,0
a	0,5	0,6	0,7

Fonte: ASHRAE 55, 2004.

O modelo de Fanger (1972) assume que o corpo está no estado de equilíbrio térmico com acumulação de energia desprezível. O equilíbrio térmico é obtido quando a produção de calor interno do corpo é igual à perda para o ambiente. Em um ambiente moderado, o sistema termorregulador humano irá tentar modificar a termperatura da pele e a secreção de suor para manter o equilíbrio térmico (ISO 7730, 2005).

A seguir, apresenta-se a equação geral do conforto (equação 2):

$$\begin{gathered} PMV = [0{,}303 \,.\, exp(-0{,}036.M) + 0{,}028] \,.\{(M - W) - 3{,}05 \,.\, 10^{-3}. \\ [5733 - 6{,}99 \,.\, (M - W) - p_a] - 0{,}42 \,.\, [(M - W) - 58{,}15] - \\ 1{,}7 \,.\, 10^{-5}.M \,.\, (5867 - p_a) - 0{,}0014 \,.\, M \,.\, (34 - T_a) - 3{,}96 \,.\, 10^{-8} \,. \\ f_{cl} \,.\, [(T_{cl} + 273)^4 - (T_r + 273)^4] - f_{cl} \,.\, h_c \,.\, (T_{cl} - T_a)\} \end{gathered} \tag{2}$$

Onde:

M = taxa de metabolismo (W/m²);

W = trabalho (W/m²);

f_{cl} = fator de superfície de área de vestimenta;

T_a = temperatura do ar (ºC);

T_r = temperatura radiante média (ºC);

T_{cl} = temperatura da superfície da vestimenta (ºC);

p_a = pressão parcial de vapor de água (Pa).

Sendo:

$$T_{cl} = 35{,}7 - 0{,}028\,.\,(M - W) - I_{cl}\,.\{3{,}96\,.\,10^{-8}\,.\,f_{cl}\,.\,[(T_{cl} + 273)^4 - (\bar{T}_r + 273)^4 + f_{cl}\,.\,h_c\,.\,(T_{cl} - T_a)\} \quad (3)$$

$$h_c = 2{,}38\,.\,|T_{cl-}\,T_a|^{0{,}25} \quad \text{para} \quad 2.38|T_{cl-}\,T_a|^{0{,}25} > 12{,}1\,.\sqrt{v}_{ar} \quad (4)$$

$$h_c = 12{,}1\,.\,\sqrt{v}_{ar} \quad \text{para} \quad 2{,}38|T_{cl-}\,T_a|^{0{,}25} < 12{,}1\,.\sqrt{v}_{ar} \quad (5)$$

$$f_{cl} = 1{,}00 + 1{,}290 I_{cl} \quad \text{para} \quad I_{cl} \leq 0{,}078\ K/W \quad (6)$$

$$f_{cl} = 1{,}05 + 0{,}645 I_{cl} \quad \text{para} \quad I_{cl} > 0{,}078\ K/W \quad (7)$$

Onde:

I_{cl} = isolamento da roupa (m². K/W);

v_{ar} = velocidade relativa do ar (m/s);

h_c = coeficiente de transferência de calor [W/(m².K)].

As equações para T_{cl} e h_c podem ser resolvidas por interação.

A ISO 7730 (2005) apresenta tabelas e uma rotina para utilização em microcomputador, que permitem determinar o PMV para diferentes atividades, tipos de vestimenta e condições ambientais, aplicáveis aos homens e mulheres saudáveis expostos ao ambiente onde é esperado conforto térmico. Embora desenvolvido especificamente para ambientes de trabalho, o referencial é aplicável a outros tipos de ambientes. No referencial é citada a ISO 14415:2005 - *Ergonomics of the thermal environment -- Application of International Standards to people with special*

requirements em adição à ISO 7730 (2005) para interpretação do conforto térmico para indivíduos com necessidades especiais, como a incapacidade física.

O índice PPD estabelece o percentual estimado de pessoas insatisfeitas termicamente e o seu valor é determinado a partir do PMV (equação 8). O gráfico da

Figura 3igura 3 apresenta relação entre PMV e PPD.

$$PPD = 100 - 95 \,.\, \exp\left(-0{,}03353 \,.\, PMV^4 - 0{,}2179 \,.\, PMV^2\right) \tag{8}$$

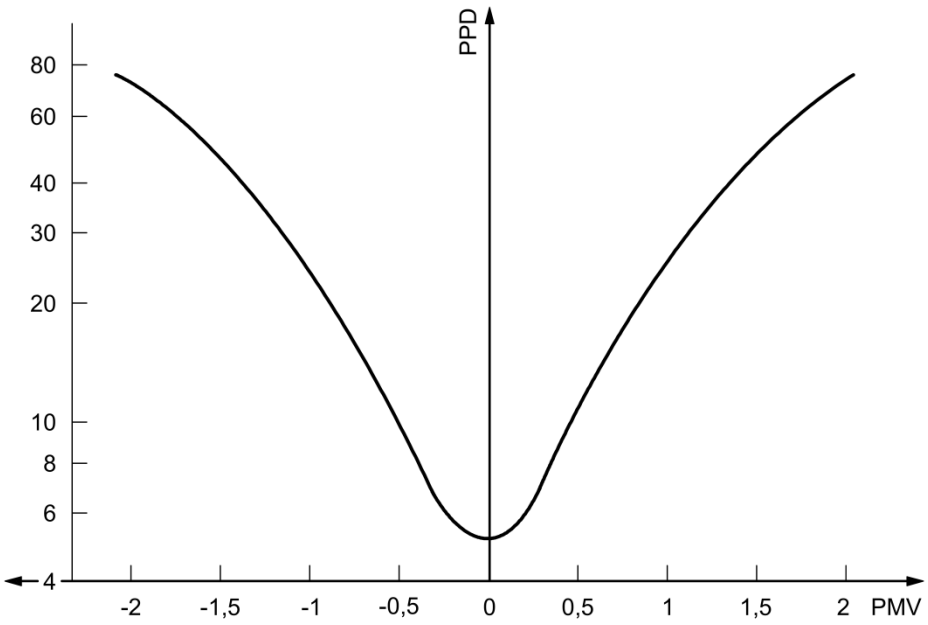

Figura 3 - Relação entre PMV e PPD. (Fonte: ISO 7730, 2005)

O índice PMV estima o valor médio dos votos de um grupo de pessoas por meio de uma escala de sensação térmica, envolvendo os níveis apresentados na Tabela 2 para avaliação do conforto térmico. Os votos das pessoas termicamente insatisfeitas são considerados: muito quente, quente, muito frio e frio. Observa-se que, embora o índice PMV = 0 ainda há uma porcentagem de insatisfeitos igual a 5%.

Tabela 2 – Escala de sensação térmica

Escala	***Sensação***
+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Leve sensação de calor
0	Neutralidade térmica
-1	Leve sensação de frio
-2	Frio
-3	Muito frio

Fonte: ISO 7730, 2005.

O indivíduo pode, ainda, expressar desconforto em uma parte específica do corpo, embora estando em neutralidade térmica para o corpo, no geral. Esse desconforto pode ser causado por:

- *Draught* - *DR* (correntes de ar):
  Esse índice expressa a porcentagem de pessoas incomodadas com a corrente de ar e pode ser calculado pela equação 9.

$$DR = [(34 - T_a).(v_a - 0{,}05)^{0{,}62}.(0.37.v_a.Tu + 3{,}14) \quad (9)$$

Para:

$v_a < 0{,}05\ m/s$, use $v_a = 0{,}05\ m/s$

$DR > 100\%$, use $DR = 100\%$

Onde:

Tu = índice de turbulência (%)

$$Tu = \frac{\partial v_a}{v_a} \quad (10)$$

∂v_a = desvio padrão da velocidade média do ar

v_a = velocidade média do ar

- Diferença vertical de temperatura:

  A alta diferença vertical de temperatura entre a cabeça e tornozelos pode causar desconforto térmico. Para atividade leve, principalmente sedentária, a diferença de temperatura do ar na vertical entre os pés e a cabeça deve ser menor do que 3ºC. A porcentagem de pessoas insatisfeitas pode ser calculada por meio da equação 11.

$$PD = \frac{100}{1 + \exp\,(5{,}76 - 0{,}856\,.\,\Delta t_{a,v})} \qquad (11)$$

  Onde:

  PD = porcentagem de insatisfeitos (%);

  $\Delta t_{a,v}$ = diferença vertical de temperatura entre cabeça e tornozelos (ºC).

  A equação 11 deve ser usada para ($\Delta t_{a,v} < 8°C$).

- Assimetria de radiação:

  A assimetria de radiação pode ser causada por tetos quentes ou frios e paredes quentes ou frias. Entretanto, os indivíduos são mais sensíveis à assimetria de radiação causada por tetos quentes ou paredes frias, conforme pode ser visto na Figura 4.

  Onde:

  PD = porcentagem de insatisfeitos (%)

  Δt_{pr} = assimetria de temperatura radiante (ºC)

  1 = teto quente

  2 = parede fria

  3 = teto frio

  4 = parede quente

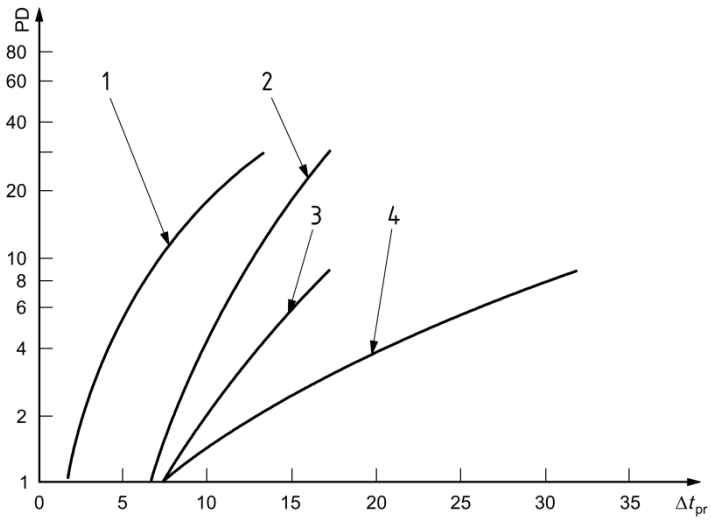

Figura 4 – Desconforto térmico local causando por assimetria de temperatura radiante. (Fonte: ISO 7730, 2005)

Considerando que para um PMV = 0 e PD = 5%, a temperatura radiante assimétrica de superfícies verticais frias deve ser menor do que 10ºC em relação a um pequeno plano vertical a 0,6m do piso (altura do abdômen) e a temperatura radiante assimétrica de superfícies horizontais quentes deve ser menor do que 5ºC em relação a pequeno plano horizontal a 0,6m.

A ISO 7730 (2005) apresenta três categorias de ambientes térmicos (Tabela 3), com percentual máximo de pessoas insatisfeitas, PPD < 15% (-0,7 < PMV <+0,7). As três categorias apresentadas são aplicáveis aos espaços onde os indivíduos estão expostos ao mesmo ambiente térmico (ISO 7730, 2005).

Tabela 3 – Categoria de ambiente térmico.

Categoria	**Estado térmico de um corpo como um todo**		**Desconforto local**			
					PD (%)	
	PPD (%)	**PMV**	**DR (%)**	**Dif. vert. de temperatura**	**Piso quente ou frio**	**Assimetria de radiação**
A	< 6	-0,2 < PMV< +0,2	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	-0,5 < PMV < +0,5	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	-0,7 < PMV < +0,7	< 30	< 10	< 15	< 10

Fonte: ISO 7730, 2005.

Também baseada no trabalho de Fanger (1972), a ASHRAE 55 (2004) estabelece uma combinação de fatores ambientais e pessoais capazes de fornecer condições aceitáveis para a maioria dos ocupantes de um determinado ambiente, cujo tempo de ocupação seja superior a 15 minutos.

O referencial apresenta gráficos para determinar as condições de conforto térmico em ambientes climatizados artificialmente (Figura 5). Nesse gráfico foi considerada porcentagem máxima de pessoas insatisfeitas, PPD < 20% (-0,82 < PMV < +0,82).

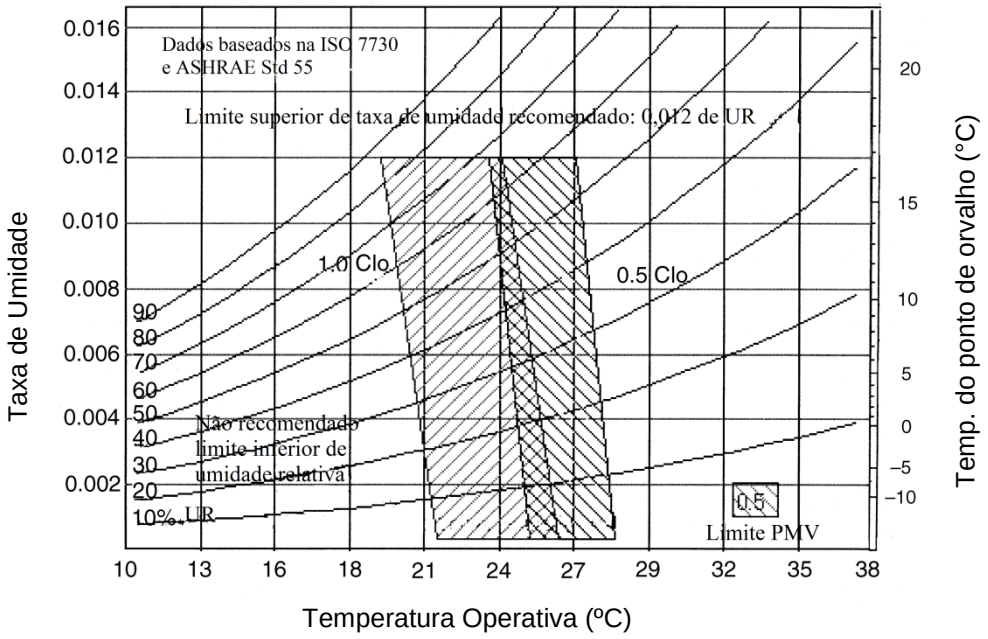

Figura 5 – Condições de conforto térmico em ambientes condicionados artificialmente. (Fonte: ASHRAE 55)

A ABNT NBR 16401 (2008) também apresenta faixas de temperatura e umidade relativa do ar, considerando porcentagem máxima de pessoas insatisfeitas, PPD < 20% (-0,82 < PMV < +0,82), para condições de verão e inverno. A Tabela 4 reproduz as condições de conforto térmico para os meses de verão.

Tabela 4 – Condições de conforto térmico para os meses de verão

	T_o (ºC)	UR (%)
Verão	22,5 ºC a 25,5 ºC	65%
	23,0 ºC a 26 ºC	35%

Fonte: ABNT NBR 16401 (2008).

Diversos pesquisadores, com a finalidade de validar a equação do conforto térmico e a aplicabilidade dos referenciais normativos, desenvolveram suas pesquisas para outras situações, inclusive em hospitais e com indivíduos em condições adversas ao estudo feito por Fanger (1972), (HOOF, 2008).

No Brasil, Xavier e Lamberts (2000) desenvolveram um novo índice para a sensação térmica similar ao PMV, a partir de medições ambientais numa escola em Florianópolis, Brasil, e de votos de sensação térmica dos estudantes, fora de ambiente controlado, como no estudo realizado por Fanger (1972).

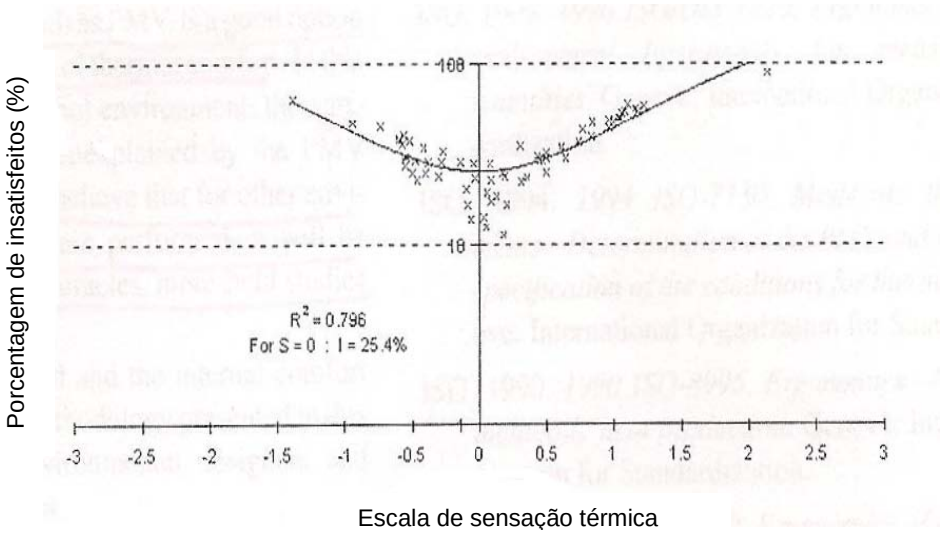

Figura 6 – Correlação entre a sensação térmica e porcentagem de insatisfeitos. (Fonte: Xavier e Lamberts, 2000).

Os autores provaram diferenças entre as reações das pessoas em laboratórios climatizados e àquelas durante suas rotinas normais e sugerem mais estudos de campo para outros ambientes e atividades. A Figura 6 apresenta um deslocamento da curva de insatisfeitos comparada à Figura 3 do estudo de Fanger

(1972). Nesse estudo, para a sensação de neutralidade térmica, há uma porcentagem de insatisfeitos de aproximadamente 25,4%.

Hwang et al. (2007) examinaram o critério de conforto estabelecido na ASHRAE 55 (2004) e sua aplicabilidade em ambientes hospitalares. A pesquisa foi conduzida em enfermarias de um hospital universitário em Taiwan, no inverno e no verão. A avaliação foi realizada de modo subjetivo, por meio de entrevista com pacientes, e de modo objetivo, através de medições de parâmetros ambientais.

Os autores encontraram que mais da metade das amostras coletadas estavam em desacordo com a referência normativa devido ao controle inadequado da umidade do ar; a temperatura do ar encontrou-se dentro da faixa recomendada. Em contrapartida, a aceitabilidade dos pacientes ao ambiente, foi superior ao critério de 80% de satisfeitos, referenciado na ASHRAE 55 (2004). Os autores atribuíram esse resultado ao fato de que os pacientes poderiam estar aclimatados às condições ambientais locais. Além dessa afirmativa, os autores consideraram a metodologia da ASHRAE 55 (2004) apta aos estudos de conforto térmico em ambientes hospitalares, apesar de constatarem a interferência da condição física na sensação térmica: indivíduos debilitados têm preferência por temperaturas mais altas do que em população com condição física normal.

Estudo semelhante ao de Hwang et al. (2007) foi conduzido por Verheyen et al. (2011) em enfermarias de hospitais na Bélgica, entre o inverno e a primavera.

Para os autores, a condição térmica do ambiente pode ser uma importante fonte de indesejável estresse físico no corpo, por isso a necessidade de conhecer a percepção dos pacientes em relação ao conforto térmico.

Esse estudo apontou um índice de 68% de pacientes que indicaram a possibilidade de ajuste das condições térmicas, por meio de vestimentas pessoais e de cama, sem necessidade de ajuda. Cinquenta e quatro por cento seriam capazes de ajustar o ambiente térmico, por intermédio de abertura ou fechamento de janelas, ligando ou desligando aquecedores ou condicionadores de ar, entre outros. Entretanto, 32% dos pacientes seriam incapazes de executar tais operações sem qualquer ajuda.

Verheyen et al. (2011) encontraram, como resultado, que os ambientes hospitalares estudados, foram considerados aceitáveis para 95% dos pacientes, apesar de 29% desses ambientes estarem em desacordo com a ASHRAE 55 (2004) em relação aos parâmetros temperatura e umidade relativa. Os autores concluíram

que o motivo pode ser a exigência demasiada do referencial normativo ou que a possibilidade de adaptação do indivíduo ao ambiente permite uma faixa mais ampla do que aquela recomendada.

Os autores também fazem referência à ISO 14415:2005 em adição à ISO 7730 (2005) para interpretação do conforto térmico para indivíduos com necessidades especiais. Entretanto, afirmam, com os resultados encontrados, que o índice PMV, pode ser adequadamente calculado por meio da ISO 7730 (2005) e da equação de conforto proposta por Lin and Deng (2008) apud Verheyen et al. (2011), para pacientes acamados (equação 12).

$$M - W = \frac{T_{sk,req} - T_o}{R_t} + \frac{0{,}06 i_m L_r \left(\rho_{sk,s} - \rho_a\right)}{R_t} + 0{,}014M(30 - T_a) + 0{,}0173M(5{,}87 - \rho_a) \quad (12)$$

Onde:

M, W, T_o, ρ_a e T_a, definidos anteriormente; e

$T_{sk,req}$ = temperatura média da pele necessária para o conforto térmico (ºC) = $35{,}7 - 0{,}028(M - W)$;

R_t = resistência total para transferência de calor do sistema de isolamento pela roupa de cama incluindo a camada de ar ao redor do corpo (m² ºC/W);

i_m = eficiência da infiltração do vapor total (adimensional) = 0,38;

L_r = taxa de Lewis (K/kpa) = 16,5 K/kPa;

$\rho_{sk,s}$ = pressão de vapor da água saturada à T_{sk} (kPa).

A partir dessa equação, Lin and Deng (2008) apud Verheyen et al. (2011), definiram o índice PMV para pacientes acamados (equação 13).

$$PMV = [0{,}303 \,.\, \exp(-0{,}036M) + 0{,}028]L = \alpha L \quad (13)$$

Onde:

L = carga térmica no corpo = resultado da equação 12;

α = coeficiente de sensibilidade.

Além do estudo com pacientes, Skoog, Fransson e Jagemar (2005) envolveram a equipe médica para avaliação do conforto térmico e fizeram uma comparação da percepção do conforto entre os dois grupos em um hospital na Suíça, no inverno e no verão. A motivação para essa comparação deveu-se ao fato da diferença de atividade física desenvolvida (metabolismo) e do tipo de vestimenta utilizada por ambos os grupos, além da diferença de condição física em que se encontram. Os autores compararam os resultados obtidos, a partir da avaliação objetiva, utilizando as tabelas da ISO 7730 (2005) para estimativa da temperatura operativa, com a avaliação subjetiva, por meio de questionário sobre a percepção do conforto térmico.

Ao comparar os valores encontrados nas duas metodologias, os autores encontraram grandes diferenças na percepção do conforto térmico com o valor dado pelas tabelas, tanto para a equipe médica quanto para o paciente. Eles afirmaram que a hipótese de tratar pacientes e equipe médica como um só grupo está incorreta e atribuem como razão dessa diferença ao fato do paciente deixar o ambiente dentro de certo período de tempo, fazendo com que ele aceite mais a condição térmica do que os trabalhadores que têm a percepção da condição ambiental há mais tempo. Outra razão apontada pelos autores é que os pacientes têm mais facilidade de controlar sua vestimenta do que os trabalhadores controlarem o nível de atividade. Outra conclusão que os autores chegaram é que apesar dos valores encontrados nos diagramas dados pela ISO 7730 (2005) não estarem incoerentes, eles não foram elaborados para ambientes hospitalares.

Felix, 2008, estudou o conforto térmico em salas de cirurgias por meio de avaliações experimentais e avaliação subjetiva, por meio de questionários, simultaneamente. O autor dividiu as salas em duas zonas, de acordo com a posição onde se encontra cada membro da equipe cirúrgica. A região denominada zona 1 é referente ao espaço em torno da mesa cirúrgica, onde se encontram somente os cirurgiões, instrumentadores e o paciente. Esta zona é considerada zona limpa da sala cirúrgica caracterizada pelo grau de assepsia. A região denominada zona 2 é o espaço externo à zona 1, que compreende o restante da sala. Nesta zona é onde ficam posicionados os anestesistas e os enfermeiros circulantes. Esta zona é considerada uma região menos limpa comparada com a zona 1 (Figura 7). Além das zonas 1 e 2 consideradas por Felix (2008), para Mora, English e Athienitis (2001) ainda existe mais uma zona que é aquela ocupada pelo paciente. Entretanto, devido

ao controle da assepsia, não foi possível realizar medições na zona ocupada pelo paciente, resumindo-se também em duas zonas para as medições.

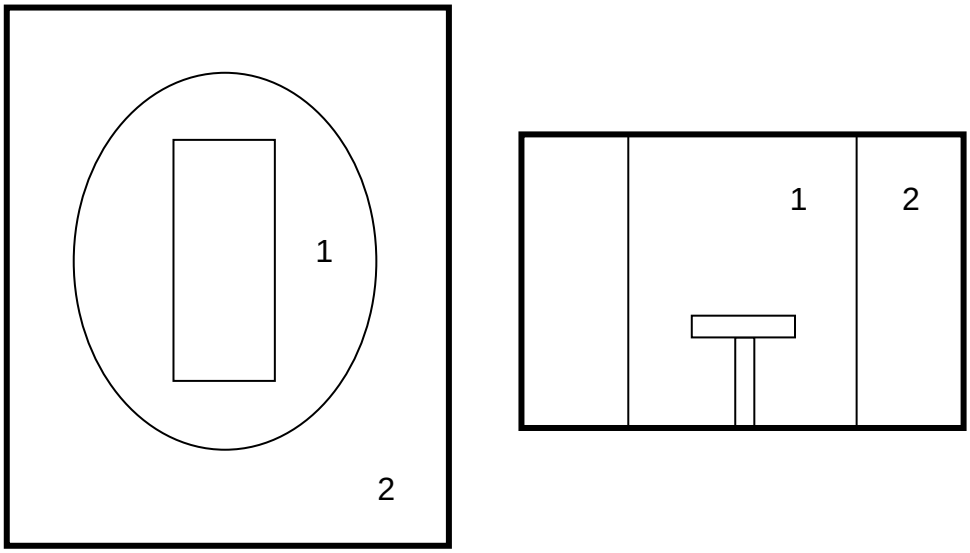

Figura 7 – Vista em planta e seção das regiões nas salas de cirurgias, segundo Félix, 2008.

O autor verificou que é muito difícil fornecer condições de conforto térmico para toda a equipe cirúrgica, principalmente devido a fatores pessoais como o tipo de vestimenta e o nível de atividade, bem como de fatores específicos do ambiente cirúrgico, como o calor liberado pelas lâmpadas que constituem o foco cirúrgico.

Dessa forma, o projeto para ambientes cirúrgicos é um desafio. Ele tem por objetivo prevenir infecções de ferida operatória causadas por micro-organismos presentes no ar enquanto mantém a equipe cirúrgica e o paciente ambientalmente confortáveis. Diferente de edifício de escritórios, em hospitais, o conforto térmico é considerado um tema secundário. Contudo, deve ser assegurado o conforto térmico para os cirurgiões e sua equipe para que possam desenvolver o trabalho sob a melhor condição possível para o sucesso do procedimento cirúrgico (MORA; ENGLISH; ATHIENITIS, 2001).

Além disso, os parâmetros de conforto térmico podem interferir na saúde dos indivíduos. De acordo com Khalil e Khalil (2012) altas temperaturas podem causar aumento da emissão de gases provenientes de mobiliário, materiais construtivos e de acabamento, etc. Por outro lado, ambientes com temperaturas muito baixas podem causar desconforto, como tremores, falta de atenção, tensão nos músculos e articulações. Da mesma forma, a umidade relativa do ar também afeta o conforto.

Em condições de baixa umidade do ar ocorrem queixas de secura em nariz, garganta, olhos e pele. A revisão bibliográfica de Khodakarami e Nasrollahi (2012) destaca a importância da realização de um estudo original sobre a relação entre a condição de conforto térmico e a produtividade dos profissionais que trabalham em hospitais.

Os parâmetros de conforto térmico, além de interferir no conforto e na qualidade do ar dos ambientes climatizados, especialmente nos ambientes hospitalares, afetam o potencial de energia consumido na operação desses edifícios. Nos países de clima quente e úmido, como é o caso do Brasil, por exemplo, de acordo com Khalil e Khalil (2012), o uso de 100% de ar condicionado, como exigido nos centros cirúrgicos representa um importante fator no consumo energético.

3.2 Qualidade do ar

Nos últimos anos tem havido um aumento no estudo da qualidade do ar interno relacionado aos sistemas de ventilação mecânica e condicionamento do ar. Isso é especialmente fundamental em hospitais, onde a transmissão da contaminação pelo ar é a segunda causa mais comum de aquisição de doenças por pacientes, profissionais de saúde e visitantes (CHEONG; PHUA, 2006).

Para Dascalaki et al. (2009) fornecer ventilação é o objetivo primário para a segurança e saúde no ambiente cirúrgico a fim de preservar a qualidade do ar interno, reduzindo a concentração de bactérias, vírus e poeiras para níveis aceitáveis, além da remoção de gases anestésicos e odores. E, ainda, fornecer condições confortáveis de trabalho para os profissionais durante uma cirurgia.

Assunção (1997) apud Moraes (2006) destaca a importância da ventilação no controle da SED (Síndrome dos Edifícios Doentes) para a garantia da qualidade do ar em ambientes interiores, pois altera a presença de gases e partículas, bem como a fim de diminuir os sintomas de doenças apresentados pelos usuários nas edificações.

Karthikeyan e Samuel (2008) simularam a localização dos equipamentos de ar condicionado, por meio da modelagem CFD, e o fluxo de ar em termos dos parâmetros: velocidade do ar, temperatura do ar e a dispersão de CO_2 em ambiente cirúrgico, como indicador da qualidade do ar. Compararam os resultados com a investigação de campo realizada em dez salas cirúrgicas equipadas com sistemas

de condicionamento de ar. Do número total de amostras, quatro apresentaram problemas com relação aos parâmetros mensurados.

Dascalaki et al. (2008) revisaram diversas referências bibliográficas, destacando desafios, problemas e soluções para a qualidade do ar em salas cirúrgicas. Encontraram a concentração média de gases anestésicos, e de desinfetantes / esterilizantes como, formaldeído e glutaraldeído, acima dos limites de exposição estabelecidos.

Contudo, requisitos específicos tais como a troca de ar por hora, eficiência dos filtros e fluxo laminar são amplamente recomendados para redução de partículas e contaminantes químicos do ar (DASCALAKI et al., 2008).

Embora o modelo de fluxo unidirecional seja recomendado em diversos referenciais, tais como ASHRAE e CDC (*Centers for Disease Control and Prevention*) para reduzir o risco de infecção provenientes de micro-organismos em suspensão no ar, o estudo experimental e o resultado numérico de Qian et al. (2008) em dois leitos de enfermaria, mostraram que o modelo é impossível de ser alcançado, devido à turbulência causada pela pluma térmica[4] (Figura 8).

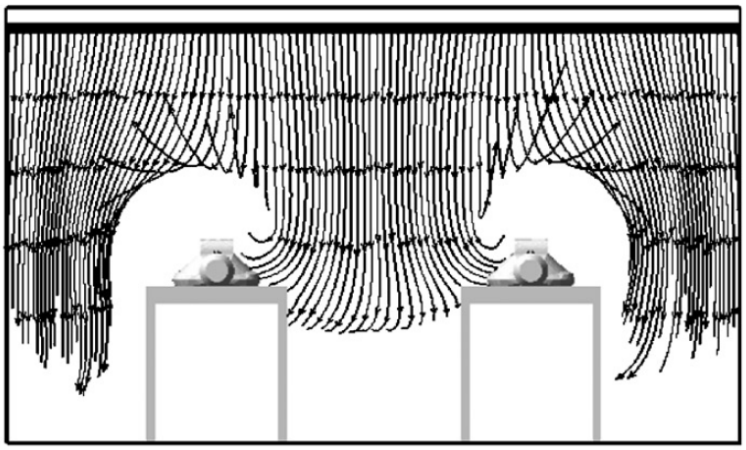

Figura 8 – Fluxo unidirecional e a turbulência causada pela ascensão da pluma térmica formada pelos manequins térmicos, no plano vertical. (Fonte: Qian et al., 2008).

Khalil e Khalil (2012) estudaram o efeito da interferência da equipe cirúrgica, do paciente e do ângulo de inclinação do foco cirúrgico na passagem do ar insuflado por grelhas localizadas no teto. Além de serem tratados como barreiras, também foram consideradas como candidatos a fonte de calor e turbulência do ar. Os

[4] A pluma térmica acontece devido à perda de calor do indivíduo. O ar aquecido tende a subir em função das correntes de convecção (SETTLES et al, 2001, apud PEREIRA, 2008).

autores estudaram também a possibilidade de condução do ar por meio de introdução de pequenas paredes, localizadas até 50 cm do teto, em torno das grelhas, a fim de prevenir recirculação do ar. Como resultado, encontraram que, com as barreiras, a umidade relativa do ar diminui, enquanto a temperatura do ar aumenta, além de tornar o fluxo de ar mais turbulento. As pequenas paredes verticais atuaram como uma barreira, tornando o fluxo de ar mais centralizado, além disso, obtiveram uma temperatura e uma umidade relativa do ar mais baixos em torno da cabeça dos cirurgiões.

Conforme constatado em diversos estudos, os sistemas de ar condicionado desempenham um papel mais importante do que apenas a promoção do conforto. Em muitos casos, o condicionamento adequado do ar é um fator de terapia para o paciente: em alguns casos, é o tratamento principal (ASHRAE, 2007). Nesse sentido, os sistemas de ventilação e de ar condicionado devem tornar-se importantes aliados no controle das condições do ar interno, fornecendo renovação, por meio de trocas com o ar externo e filtragem adequada, reduzindo partículas do ar recirculado.

Para Ho, Rosario e Rahman (2009) o projeto de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC) para uma sala de cirurgia tem como objetivo prevenir o risco de infecções durante intervenções cirúrgicas, mantendo uma condição de conforto adequada para o paciente e a equipe médica.

Assim, certos ambientes hospitalares exigem cuidados específicos com o ar interno, incluindo salas cirúrgicas, unidades de terapia intensiva e quartos de isolamentos. Para isso, os parâmetros: temperatura do ar, umidade relativa, diferença de pressão entre ambientes e fluxo do ar devem ser controlados. A ASHRAE (2003, 2007, 2008) determina os critérios específicos de projetos para cada grupo de ambiente.

No Brasil, a norma que regulamenta a climatização em estabelecimentos assistenciais à saúde é a ABNT NBR 7256 – Tratamento de Ar em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS).

A ASHRAE (2007) divide o hospital em sete setores de cuidados: (1) cirurgia e cuidados críticos, (2) berçário, (3) serviços auxiliares, (4) administração, (5) diagnóstico e tratamento, (6) esterilização e suprimento, e (7) serviços gerais. Conforme a finalidade do ambiente é feita uma recomendação para os parâmetros:

temperatura, umidade relativa, velocidade do ar, quantidade de trocas de ar por hora e relação da pressão com ambientes adjacentes.

A diferença fundamental entre o sistema de condicionamento de ar convencional e o sistema para hospitais é a necessidade da existência de pressão diferencial entre ambientes específicos, desse modo, o projeto do sistema de ventilação deve, tanto quanto possível, proporcionar o movimento do ar das áreas limpas para a menos limpas. Nas áreas críticas, o sistema de volume constante deve ser usado para assegurar a adequada pressão e ventilação. Em áreas não críticas e administrativas pode ser considerado o sistema de volume de ar variável para conservação de energia (ASHRAE, 2007).

A Tabela 5 resume as especificações de projeto para a qualidade do ar para os ambientes: salas de cirurgias e salas de espera, climatizadas artificialmente, de hospitais, recomendados pelos referenciais nacionais e internacionais específicos para ambientes assistenciais à saúde.

Tabela 5 – Comparação dos parâmetros de qualidade do ar entre os referenciais técnicos nacionais e internacionais para salas de cirurgias e salas de espera em hospitais, climatizadas artificialmente.

	Salas de cirurgias (sistema de recirculação de ar) [5,6]	**Salas de espera**
Pressão Diferencial[7]		
HVAC Design Manual (ASHRAE, 2003)	**+**	**-**
Handbook HVAC app. Cap. 7 (ASHRAE, 2007)	**+**	**-**
ASHRAE Std 170, 2008	**+**	**-**
ABNT NBR 7256, 2008	**+**	
UR (%)[8]		
HVAC Design Manual (ASHRAE, 2003)	30-60	30-60
Handbook HVAC app. Cap. 7 (ASHRAE, 2007)	30-60	30-60
ASHRAE Std 170, 2008	30-60	Max 60
ABNT NBR 7256, 2008	45-55	
$T_{projeto}$ (ºC)[9]		
HVAC Design Manual (ASHRAE, 2003)	20-23.9	21.1-23.9
Handbook HVAC app. Cap. 7 (ASHRAE, 2007)	17-27	21-24
ASHRAE Std 170, 2008	20-24	21-24
ABNT NBR 7256, 2008	18-22	

[5] Cirurgiões ou procedimentos cirúrgicos podem exigir temperatura, taxa de ventilação, faixa de umidade relativa do ar e/ou métodos de distribuição do ar que excedam a faixa indicada (ASHRAE, 2008).
[6] Temperatura controlável a critério da equipe médica, dentro da faixa estipulada (ABNT NBR 7256, 2005).
[7] Sem indicação, controle não exigido. Todos os referenciais determinam uma pressão diferencial mínima de 2,5 Pa entre o ambiente e o corredor.
[8] Sem indicação, controle não exigido.
[9] Sem indicação, controle não exigido.

Além do controle dos parâmetros ambientais citados, a Resolução n° 9 da ANVISA (2003) estabelece padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo, no que diz respeito à definição de valores máximos recomendáveis para contaminação biológica, química e parâmetros físicos do ar interior, a identificação das fontes poluentes de natureza biológica, química e física, métodos analíticos e as recomendações para controle. Entretanto, para os ambientes climatizados de uso restrito, com exigências de filtros absolutos ou instalações especiais, tais como instalações hospitalares, a resolução sugere que sejam aplicadas as normas e regulamentos específicos.

A Tabela 6, apresenta os valores máximos para parâmetros físicos em ambientes climatizados conforme a Resolução nº 9 da ANVISA (2003):

Tabela 6 – Valores máximos para qualidade do ar de ambientes, não especiais, climatizados artificialmente

Taxa de renovação do ar (m^3/h/pessoa)		**T_{ar} (ºC)**			**UR (%)**			**V_{ar} (m/s) a 1,5m do piso**
		verão	**inverno**	**faixa máxima**	**verão**	**inverno**	**valor máximo**	
27	17 (ambientes de alta rotatividade)	23 a 26	20 a 22	26 a 27	40 a 65	35 a 65	65	0,25

Fonte: Resolução nº 9 da ANVISA (2003).

Como indicador de renovação de ar externo, a resolução recomenda o valor máximo de 1.000 ppm para a concentração de CO_2 no ambiente interno. A ABNT 16401 (2008) e a ASHRAE 62.1 (2008) propõem uma equação para o cálculo da vazão de ar necessária para manter a concentração volumétrica de CO_2, no ambiente, abaixo de determinado nível (equação 14):

$$C_s - C_0 = \frac{N}{V_0} \tag{14}$$

Onde:

C_s = concentração de CO_2 no ambiente interno;

C_0 = concentração de CO_2 no ar exterior;

N = taxa de geração de CO_2 por pessoa;

V_0 = vazão de ar exterior por pessoa

A concentração de CO_2 no ar exterior oscila entre 400 ppm e 600 ppm, apesar de assumir-se arbitrariamente o valor de 300 ppm. Um ambiente ocupado por pessoas sedentárias ou em atividade leve (1,2 met), a taxa de produção de CO_2, por pessoa, é de 0,31 l/min. Com uma vazão de 7,5 l/s (450 l/min) de ar exterior por pessoa, tem-se a elevação da concentração no ambiente em relação ao ar exterior, em condições de equilíbrio estável (ABNT NBR 16401, 2008) (equação 15).

$$C_s - C_0 = \frac{0{,}31}{450} = 0{,}000689\ l/min \cong 700\ ppm \qquad (15)$$

Assim, uma medição acima de 1.000 ppm não indica que o critério não é satisfeito, desde que a medição não ultrapasse em mais de 700 ppm a concentração do ar exterior (ABNT NBR 16401, 2008).

As taxas mínimas de ventilação necessárias para garantia de qualidade do ar interior são também fixadas por meio das normas ASHRAE 62 (2004) e da ABNT NBR 16401 (2008).

Associados a esses cuidados, um dos fatores mais importantes para garantia da qualidade do ar em ambientes climatizados é o processo de filtragem do ar (TRIBESS, 2011).

O objetivo do sistema de filtragem do ar é impedir a passagem de poluentes de origem química, física ou biológica, conforme a necessidade do ambiente.

Tribess (2011) afirma que em um sistema de climatização existe a necessidade de filtragem do ar em duas posições:

- No ar externo de renovação; e
- Na mistura do ar de recirculação.

Os filtros são classificados em grossos, finos e absolutos. Um filtro fino deve ser sempre precedido por um filtro grosso, assim como um absoluto deve sempre colocado depois de um fino. Os filtros absolutos têm poder de filtragem de até 95% sobre particulados de até 0,3 μm (BICALHO, 2010).

A classificação dos filtros e as normas adotadas na ABNT NBR 7256 (2005) estão estabelecidas na Tabela 7.

Tabela 7 – Classificação e métodos de ensaio para filtros de ar.

Classe de filtros		Eficiência (%)
Grossos	G1	$50 \leq E_g < 65$
	G2	$65 \leq E_g < 80$
	G3	$80 \leq E_g < 90$
	G4	$90 \leq E_g$
Finos	F5	$40 \leq E_f < 60$
	F6	$60 \leq E_f < 80$
	F7	$80 \leq E_f < 90$
	F8	$90 \leq E_f < 95$
	F9	$95 \leq E_f$
Absolutos	A1	$85 \leq E_{dop} < 94,9$
	A2	$95 \leq E_{dop} < 99,96$
	A3 (HEPA)	$99,97 \leq E_{dop}$

NOTAS:

1- Filtros grossos e finos:

- Classificados de acordo com a EM 779:2002;
- E_g – eficiência gravimétrica para pó sintético padrão ASHRAE 52.1 Arrestance;
- E_f – eficiência para partículas de 0,4 μm.

2- Filtros absolutos:

- E_{dop} – eficiência para partículas de 0,3 μm, de acordo com a norma U.S. Military Standard 282 (Teste DOP).

Fonte: ABNT NBR 7256 (2005).

A Resolução nº 9 da ANVISA (2003) recomenda a utilização do filtro G1 na captação de ar externo e do filtro G3 para minimizar o acúmulo de sujidades nos dutos.

Para ambientes hospitalares, os filtros mais eficientes e que são recomendados são os filtros HEPA (*High efficiency Particulate Air*) com eficiência de 99,97% na coleta de partículas e aerossóis de até 0,3 μm (ABNT NBR 7256, 2005) e o ULPA (*Ultra Low Penetration Air*) com eficiência de 99,999% na coleta de partículas e aerossóis de até 0,12 μm (BICALHO, 2010).

De acordo com Emmerich et al (2013), o sistema de irradiação germicida por ultravioleta (*UVGI – Ultraviolet germicidal irradiation*), associado ao sistema de filtragem, fornece uma maior proteção efetiva contra os agentes infecciosos, pois reduz os níveis de micro-organismos transportados pelo ar. Ainda conforme o autor,

existem três tipos de sistema de UVGI: irradiação da zona mais elevada do ambiente (teto) que depende da movimentação do ar para transferir os agentes em suspensão para as lâmpadas de UV (ultra violeta), blindadas, para não expor os ocupantes do ambiente; irradiação em dutos, que utiliza um conjunto de lâmpadas de UV dentro de dutos para desativar os micro-organismos; e irradiação no ambiente, que associa um sistema de ventilação nas unidades de recirculação do ar. Os dois últimos sistemas podem ser usados tanto em salas de cirurgias quanto em ambientes de espera para pacientes.

3.3 Diferencial de pressão

A ASHRAE (2009) define diferencial de pressão como sendo aquele que utiliza como referência uma pressão diferente da atmosférica e do vácuo. Um exemplo comum de diferencial de pressão é a existente entre ambientes adjacentes.

O estabelecimento do fluxo direcional para dentro ou para fora de ambientes é alcançado por meio do diferencial de pressão entre espaços adjacentes. O fluxo direcional para fora do ambiente (pressão positiva) é utilizado quando há necessidade de proteção dos ocupantes contra a contaminação que pode ser transportada pelo ar dos ambientes externos para os ambientes de controle. O fluxo para dentro do ambiente (pressão negativa) é utilizado quando se deseja prevenir que os contaminantes presentes no ambiente espalhem-se para áreas adjacentes. O alcance da pressão diferencial depende da impermeabilidade construtiva do ambiente, além da configuração dos fluxos de insuflamento, retorno e exaustão (ASHRAE, 2003).

As entidades americanas, a *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE) e a *American Institute of Architects* (AIA) estabelecem, para assegurar o alcance do fluxo direcional entre ambientes que devem ser controlados, um mínimo de 2,5 Pa de pressão diferencial. Referenciais de outros países, como Austrália e Irlanda do Norte, exigem outros níveis de diferencial de pressão, como 15 Pa (ADAMS; JOHNSON; LYNCH, 2011).

Com o objetivo de avaliar a eficiência do diferencial de pressão em um quarto de isolamento, devidamente projetado com antessala, em cujo ambiente se exige pressão negativa, Adams, Johnson e Lynch (2011) realizaram um experimento, dentro da faixa de 2,5 Pa a 20 Pa, para pressão diferencial, simulando condições de presença e ausência de tráfego (entrada e saída de pessoas desse ambiente) e

medindo a concentração de contaminantes no ar por meio de simulação por gotículas de microesferas fluorescentes. Como resultado, encontraram que a eficiência do ambiente diminui com o movimento de pessoas e aumenta com o aumento da pressão diferencial.

Entretanto, nesse estudo, não foi levado em consideração a interferência da velocidade do ar no conforto térmico dos indivíduos, especialmente em pacientes, para se obter um fluxo de ar suficiente para fornecer essa faixa de pressão diferencial.

Humpreys (2004) revisou diversos estudos, regulamentos e documentos oficiais americanos a respeito do impacto da pressão positiva na prevenção da aspergilose em ambientes de isolamento para pacientes imunodeprimidos. Nesse ambiente, a pressão do ar deve ser maior do que nos adjacentes a ele com o objetivo de prevenir a entrada de ar potencialmente contaminado. O mesmo requisito é exigido para salas cirúrgicas, conforme previsto na ASHRAE (2003, 2007, 2008). O autor concluiu, a partir da revisão bibliográfica realizada, que, para fornecer adequada pressão positiva no ambiente, requer manutenção regular, monitoramento e vigilância da pressão do ar.

Com o objetivo de enfatizar a necessidade de monitoramento dos níveis de pressão em ambientes hospitalares controlados, Rice, Streifel e Vesley (2001) realizaram uma investigação de campo em três tipos de ambientes: quarto padrão para pacientes que não precisam de isolamento, cujo ambiente não é exigido controle de pressão; isolamento para pacientes com doença contagiosa, com exigência de pressão negativa; e isolamento para pacientes imunodeprimidos, onde é exigido controle de pressão positiva. A amostra foi constituída de 18 ambientes e realizada em 3 andares consecutivos. A investigação foi conduzida durante as estações de verão e inverno nos Estados Unidos, com duração de cerca de 30 dias para cada estação, repetitividade de três vezes para cada ambiente, na mesma semana e, aproximadamente, no mesmo horário, a fim de obter maior confiabilidade.

Os resultados mostraram que o quarto padrão, o único que não foi projetado para haver controle de pressão, apresentou-se como o mais estável entre os três. O isolamento com pressão negativa encontrou-se dentro da faixa de variação de projeto e no isolamento com pressão positiva foi encontrada a maior faixa de variação de pressão e, até mesmo, em algumas ocasiões, pode-se verificar valores de pressão negativa.

De acordo com o mesmo autor, o efeito da ventilação com pressão positiva pode contribuir para redução da infecção, associadas a outras medidas de rotina de controle. Todas essas medidas se aplicam, especialmente, durante os períodos de demolição ou construção, quando a necessidade de filtração de alta eficiência (*high efficiency particulate air* - HEPA) é maior. Ao passo que a adição de fluxo laminar, além de aumentar consideravelmente as despesas de construção e manutenção, apresenta grande incoveniência quando se trata de conforto, uma vez que apresenta ruído e alta corrente de ar.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A motivação para esse estudo foi, além do trabalho desenvolvido por Fanger (1972) para avaliação do conforto térmico em ambientes climatizados, o interesse na qualidade do ar de ambientes hospitalares.

A dificuldade de encontrar estudos que abordassem o comportamento de variáveis de conforto térmico e qualidade do ar, em ambientes hospitalares reais, devido ao acesso restrito a esse tipo de edificação, foi a justificativa para a adoção do método utilizado nessa pesquisa.

Inicialmente, houve interesse no estudo de salas de cirurgias, devido à exigência de controle dos parâmetros de qualidade abordada nos referenciais técnicos e a necessidade da promoção de conforto térmico para a equipe médica. Após visita às instalações dos hospitais e pesquisa em trabalhos publicados nos periódicos internacionais científicos, a respeito do assunto, percebeu-se a necessidade de avaliar também as condições térmicas e de qualidade ambientais que se encontram as salas de espera para pacientes, já que os referenciais nacionais não tratam do assunto especificamente.

4.1 Caracterização da amostra

A partir da revisão bibliográfica, definiu-se o hospital do tipo geral, para a amostragem, por envolver uma complexa estrutura e apresentar diversos tipos de serviços na mesma edificação, exigindo diferentes condições de conforto térmico e qualidade do ar.

Esse tipo de hospital atua em várias especialidades médicas-cirúrgicas em um sistema de atendimento de emergência, apoio ao diagnóstico e ao tratamento e internação, inclusive em unidades de tratamento intensivo. Além disso, abrange uma complexa área industrial (lavanderia, serviço de nutrição, central de esterilização, caldeiras e suprimentos energéticos em geral). Os hospitais especializados (de doenças infectocontagiosas, geriátricos, oncológicos, pediátricos, psiquiátricos e universitários), normalmente, tornam-se gerais, no decorrer do seu funcionamento (GÓES, 2004).

Após definido o tipo de estabelecimento assistencial à saúde, começou-se o contato com médicos e engenheiros clínicos ligados direto ou indiretamente a esses edifícios a fim de se obter uma autorização para a realização das medições.

Assim, foram realizadas diversas reuniões para explanação dos objetivos e metodologia da pesquisa, além de elaboração de um documento oficial de autorização para acesso às instalações.

Concedida à autorização, foram feitas visitas às instalações a fim de definir os ambientes a serem estudados. Essa definição foi norteada pela presença de climatização nos mesmos ambientes, em todas as amostras. Desse modo, as salas de cirurgias possuíam sistema de climatização, de diversos tipos, em todos os hospitais. Além de salas cirúrgicas, sempre havia pelo menos uma sala de espera climatizada. Os outros ambientes que possuíam climatização em um hospital, podiam não possuir em outros. Ficaram definidas, então, salas de cirurgias e salas de espera climatizadas para o estudo das características de conforto térmico e qualidade do ar em edifícios hospitalares.

Dessa forma, foi realizada uma amostragem em 6 edifícios hospitalares em São Paulo e região metropolitana, de âmbitos público e privado.

4.2 Instrumentação

Para avaliação quantitativa, foi utilizado o confortímetro da marca DeltaOhm, modelo HD 32.1, obtido com o recurso do projeto nº 08/10662-0 - FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), para o Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. O confortímetro de análise microclimática é constituído de um tripé, hastes para apoio das sondas, cabos, sondas para medição dos parâmetros ambientais e de desconforto local, além de um *datalogger* para armazenamento dos dados (Figura 9). Esse equipamento possui dois sistemas operacionais: Programa “A” – para análise de microclima e Programa “B” - para análise de desconforto térmico.

Figura 9 – Monitor de análises microclimáticas DeltaOhm HD 32.1 (confortímetro).

A seguir, será feita uma descrição dos sensores utilizados na investigação de campo.

Para a medição da temperatura do ar foram utilizados os sensores do tipo termorresistência Pt100 (resistência de 100Ω a 0ºC). Esse tipo de sensor depende de uma mudança na resistência elétrica de um elemento sensor (normalmente de metal) com uma alteração na temperatura. O metal do elemento sensor, desse instrumento, é a platina. Ela caracteriza-se por ser extremamente estável e resistente à corrosão (ASHRAE, 2009).

A determinação da umidade relativa é dada pela medida da variação na capacidade elétrica do sensor (ISO 7726, 1998).

Uma sonda combinada entre temperatura (Pt100) e umidade relativa (sensor capacitivo), apresentada na Figura 10, foi utilizada tanto para a medida da temperatura do ar quanto para a medida da umidade relativa do ar.

Figura 10 – Sonda combinada entre temperatura e umidade relativa. (Fonte: Manual DeltaOhm, HD 32.1, 2007).

Uma sonda composta por dois sensores de temperatura Pt100 (Figura 11) foi utilizada para avaliação do gradiente vertical de temperatura em indivíduos em pé (a 1,10 m e a 1,70 m do solo) ou sentados (a 0,6 m e a 1,10 m do solo).

Figura 11 – Sonda composta por dois sensores de temperatura para avaliação do gradiente vertical. (Fonte: Manual DeltaOhm, HD 32.1, 2007).

E, para obtenção da temperatura no pavimento e na altura dos tornozelos foram utilizados dois sensores de temperatura, também do tipo Pt100 (Figura 12).

Figura 12 – Sonda composta por dois sensores de temperatura para avaliação na altura do nível do pavimento e dos tornozelos. (Fonte: Manual DeltaOhm, HD 32.1, 2007).

Para medição da assimetria da temperatura radiante ou temperatura radiante plana foi utilizada uma rede de radiômetros, cujo sensor consiste de disco reflexivo (polido) e um disco absorvente (pintado de preto), conforme Figura 13.

Figura 13 – Sonda para medição de assimetria de temperatura radiante. (Fonte: Manual DeltaOhm, HD 32.1, 2007).

A temperatura radiante média é medida em relação ao corpo humano (ASHRAE, 2009). As sondas utilizadas para a medição são: termômetro de globo (Figura 14) que consiste em uma esfera oca, normalmente 150 mm de diâmetro com um sensor Pt100 no seu interior, associada a uma sonda para medição de temperatura do ar e uma sonda a fio quente, para medição da velocidade do ar (Figura 15).

Figura 14 – Sonda para medição de temperatura radiante média. (Fonte: Manual DeltaOhm, HD 32.1, 2007).

A velocidade do ar foi medida por meio de um anemômetro térmico ou fio quente (Figura 15) que consiste em uma termorresitência aquecida, junção termopar ou sensor termistor colocado na ponta de uma sonda. Ele é projetado para fornecer um método simples e direto para determinar a velocidade do ar num ponto no campo de fluxo (ASHRAE, 2009).

Figura 15 – Sonda para medição da velocidade do ar. (Fonte: Manual DeltaOhm, HD 32.1, 2007).

As características dos sensores: modelo, unidade, intervalo de medição e incerteza de medição estão descritas na Tabela 8.

Tabela 8 - Características do Confortímetro

Sonda / Sensor	Modelo	Un. de medição	Intervalo de medição	Incerteza de medição
Sonda globotermômetro / sonda Pt100	TP3275	ºC	-10ºC a 100ºC	Classe 1/3 DIN[10]
Conjunto composto por 2 sondas de temperatura para estratificação vertical de temperatura / sensor Pt100	TP3227K	ºC	-10ºC a 100ºC	Classe 1/3 DIN
Conjunto composto por 2 sondas de temperatura para medições de temperatura no pavimento e ao nível dos tornozelos / sensor Pt100	TP3227PC	ºC	-10ºC a 100ºC	Classe 1/3 DIN
Sonda combinada para medição de assimetria de temperatura radiante / sensor tipo: piranômetro NTC	TP3207TR	ºC	-10ºC a 100ºC	NTC ± 0,15
Sonda a fio quente omnidirecional	AP3203	m/s	0ªC a 80ªC 0 m/s a 5 m/s	± 0,02 m/s (0 a 1 m/s) ± 0,1 m/s (1 a 5 m/s)
Sonda a bulbo único a ventilação natural / sensor Pt100	HP3201TR	ºC	4ºC a 80ºC	Classe A[11]
Sonda combinada temperatura e umidade relativa / Pt100 para temperatura e sensor capacitivo para umidade relativa	HP3217	ºC / %	-10ºC a 100ºC 5% a 98%	Temperatura: 1/3 DIN Umidade relativa: ± 2,5 %

Fonte: Manual DeltaOhm, HD 32.1 (2007).

[10] Classe 1/3 DIN = $\pm\frac{1}{3}.(0{,}3 + 0{,}05\ T_a)$.
[11] Classe A = $\pm\ (0{,}15 + 0{,}002\ .T_{BU})$
Onde:
T_{BU} = temperatura de bulbo úmido (ºC).

A concentração de CO_2 presente nos ambientes foi mensurada utilizando-se o monitor de CO_2, do tipo infravermelho, não dispersivo, da marca TSI, modelo 7535, também adquirido com o recurso do projeto nº 08/10662-0 – FAPESP. A leitura é realizada de forma direta e os registros são armazenados no *datalogger*, acoplado ao sensor (Figura 16). As características do equipamento encontram-se na Tabela 9.

Figura 16 – Monitor de Dióxido de Carbono (CO_2) TSI 7535. (Fonte: Suzuki, 2010)

Tabela 9 – Características do Monitor de CO_2

Equipamento	Unidade de medição	Intervalo de medição	Incerteza de medição
Monitor de CO_2 (modelo TSI 7535)	Partes por milhão (ppm)	0 a 5.000 ppm	± 3% ou ± 50 ppm, o que for maior.

Fonte: manual do Monitor de CO_2.

Para avaliação da diferença de pressão entre o ambiente controlado e o adjacente a ele, foi utilizado o manômetro TESTO, modelo 521-3 (Figura 17). O equipamento é constituído de um *datalogger*, capaz de armazenar os dados para posterior transferência a um computador pessoal, e uma mangueira de silicone, de 7 m de comprimento, diâmetro interno de 4 mm e externo de 6 mm, para acoplamento nos conectores (positivo ou negativo), conforme estratégia de medição.

O equipamento possui sensor de pressão piezorresistivo. Este tipo de sensor pode utilizar como matéria prima o silício, já que este possui boas propriedades mecânicas combinadas com a tecnologia de circuitos integrados (GOMES, 2009).

Este instrumento foi adquirido com o projeto de auxílio à pesquisa FAPESP nº 2011/09059-2, junto ao Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Figura 17 – Monitor de pressão diferencial TESTO 521-3. (Fonte: Manual monitor de pressão diferencial).

A Tabela 10, a seguir, apresenta as características do equipamento.

Tabela 10 – Características do Monitor pressão diferencial

Equipamento	**Unidade de medição**	**Intervalo de medição**	**Incerteza de medição**
Monitor de pressão diferencial TESTO (modelo 521-3)	Pa	0 a 250 Pa	± 0,5 Pa (0 a 20 Pa) ± 0,5 Pa ± 0,5% v.m. (20,1 a 250) Pa

Fonte: manual do Monitor de pressão diferencial.

4.3 Investigação de campo

A coleta dos dados em campo foi realizada entre os meses de dezembro de 2011 e fevereiro de 2012, no verão brasileiro, em que há maior necessidade de um sistema mecânico para resfriamento e ventilação, embora a necessidade de controle das condições em certos ambientes hospitalares seja constante.

Definidos os objetivos e com a instrumentação necessária e devidamente calibrada, a avaliação foi desenvolvida em conformidade com a ASHRAE 55 (2004), cujo documento determina as condições de avaliação do ambiente térmico por meio da definição do local da medição, período, condições climáticas, condições do ambiente da avaliação e dos equipamentos de ar condicionado e da ocupação do espaço por pessoas. Além disso, ainda, esteve em conformidade com a ISO 7726 (1998), que define os critérios para instrumentação. A Resolução n° 9 da ANVISA (2003) foi utilizada como referência para orientação da avaliação do nível de CO_2.

Para a avaliação do diferencial de pressão, por não ter encontrado normalização técnica que determinasse os critérios de avaliação, os estudos encontrados nos periódicos internacionais científicos, especialmente o trabalho de Rice, Streifel e Vesley (2001) foram utilizados como orientação.

As normas citadas não estabelecem tempo mínimo de medição para todos os parâmetros, apenas para a velocidade do ar, que se deve medir em um intervalo de tempo de pelo menos 3 minutos (ASHRAE, 2009; ASHRAE 55, 2004), e para a temperatura de globo, que tem um tempo de resposta de 20 a 30 minutos (ISO 7726, 1998). Assim, tomou-se como referência a pesquisa de Suzuki, 2010, sobre avaliação de conforto térmico e qualidade do ar em edifícios de escritório, em que o tempo de amostragem ficou estabelecido, após rigoroso estudo estatístico, em 120 minutos para cada ponto, 80 minutos para o programa A e 40 minutos para o programa B, do confortímetro, sendo coletado um dado por minuto para cada variável em estudo. O transdutor de pressão diferencial e o monitor de CO_2 acompanharam o tempo de medição do programa A, para viabilização do estudo.

Os equipamentos foram programados para iniciarem e desligarem automaticamente, exceto o monitor de dióxido de carbono, por não possuir temporizador.

Como as salas de cirurgias têm acesso restrito, optou-se por realizar a medição apenas no programa A do confortímetro, pois a mudança de programa deveria ser feita manualmente e nem sempre foi permitida a presença da pesquisadora nas salas, ficando alguma pessoa, interna ao setor, responsável por colocar e retirar os equipamentos.

Quando o tempo da cirurgia ultrapassava os 80 minutos programados, as amostras excedentes do monitor de dióxido de carbono eram excluídas. Quando o

tempo da cirurgia era menor do que 80 minutos, a análise era feita baseando-se no tempo em que os equipamentos ficaram posicionados na sala durante a cirurgia.

Para maior confiabilidade, foram realizadas, quando possível, três repetições das medições nos ambientes, na mesma semana e aproximadamente nos mesmos horários. Nas salas de espera de pacientes, as repetições das medições dos parâmetros de conforto (programa A), desconforto térmico (programa B) e o nível de CO_2, foram realizados conforme programado. Nas salas de cirurgia, foi feito o possível para realização da repetição dos parâmetros de conforto térmico (programa A), nível de CO_2 e diferencial de pressão, entretanto, nem sempre havia procedimento na sala onde havia realizada a primeira medição. Quando isso acontecia, procurava-se medir numa sala ao lado ou a que era concedida autorização para a medição. Outro inconveniente foi o clima externo, pois os meses de verão, em algumas regiões do Brasil, inclusive São Paulo, são marcados por chuvas intensas, dificultando ou até inviabilizando o transporte dos equipamentos de medição, sob o risco de danificá-los. Assim, algumas medições tiveram que ser desmarcadas.

A escolha dos ambientes, o local de posicionamento dos equipamentos e o horário das medições estiveram de comum acordo entre o responsável pelo acompanhamento da pesquisadora no trabalho de campo e essa última, respeitando os referenciais citados e levando em consideração sempre a pior situação: salas cirúrgicas onde havia reclamações; dias e horários onde as salas de espera concentravam o maior número de pessoas.

Todas as sondas foram posicionadas a uma altura de 1,10 m do piso, seguindo as recomendações da ASHRAE 55 (2009), apesar da Resolução nº 9 da ANVISA (2002) recomendar o posicionamento do monitor de CO_2 a 1,50 m do piso, pois todas as sondas foram agrupadas ao tripé do confortímetro para facilitar a instalação dos equipamentos nos ambientes de medição. A mangueira do monitor de pressão diferencial foi instalada do lado de fora do ambiente também a uma altura de 1,10 m do piso, aproximadamente a altura da maçaneta da porta, conforme pesquisa de Rice, Streifel e Vesley (2001). Para a medição da estratificação de temperatura, nas salas de espera, as sondas TP3227K, foram posicionadas a uma altura de 0,6 m e 1,10 m do solo, para avaliação dos indivíduos na posição sentada.

Nas salas de cirurgias os equipamentos foram posicionados na zona 2, devido ao controle de assepsia exigido na zona 1. Contudo, de acordo com o

trabalho de Mora, English e Athienitis (2001), não se verificou significativa variação da temperatura e umidade do ar ao longo dessas zonas, durante o procedimento cirúrgico.

Além disso, foi feita uma entrevista com o responsável pelo sistema de climatização das instituições, onde as medições foram realizadas, a fim de obter as informações necessárias a respeito das características do sistema de cada ambiente avaliado.

As vestimentas e o nível de atividade dos indivíduos ocupantes dos ambientes estudados foram observados durante as medições para definição dos seus respectivos valores. Assumiu-se, então, de acordo com a ISO 7730 (2005), para os indivíduos nas salas de espera, resistência térmica por meio de vestimenta: 0,5 clo (traje leve de verão: calça, sapato e camisa de manga curta) e isenção de atividade: 1,0 met (sentado ou reclinado, sem atividade). As vestimentas e o nível de atividade, adotados para a equipe cirúrgica, foram os considerados por Mora, English e Athienitis (2001) em seu estudo (Tabela 11).

Tabela 11 – Valores da vestimenta e nível de atividade para equipe cirúrgica[12].

Membros da equipe cirúrgica	**Vestimenta (clo)**	**Nível de atividade (met)**
Cirurgiões e instrumentadores	0,86	1,6
Anestesistas e enfermeiros	0,42	1,4

Ressalta-se que não houve qualquer alteração da operação normal dos ambientes para o desenvolvimento desta pesquisa. Assim, os resultados obtidos apresentam as condições em que se encontram os cenários estudados, fornecendo informações sobre os aspectos de conforto térmico e do nível de CO_2, relacionados aos problemas do ambiente interno, encontrados nas referências bibliográficas.

Os dados coletados, por meio dos instrumentos, foram transferidos para o computador portátil e analisados posteriormente.

[12] 1 *metabolic unit* = 1 met = 58,2 W/m²; 1 *clothing unit* = 1 clo = 0,155 m².ºC/W.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresentam-se, a seguir, os valores máximos, mínimos e médios dos dados coletados nos hospitais H1, H2, H3, H4, H5 e H6, respectivamente, assim denominados para assegurar a confidencialidade de informações a respeito dos edifícios. As medições de campo foram realizadas nas salas de cirurgias e nas salas de espera dos edifícios hospitalares definidos como amostra.

Considerando o tempo de medição: 80 minutos nas salas de cirurgias e 120 minutos nas salas de espera, repetidos durante três vezes para cada ambiente; o número de amostra: 8 salas de cirurgias e 5 salas de espera para pacientes; e as 7 variáveis: T_{BU}, T_g, T_a, T_r, UR, V_{ar} e CO_2, além das 3 variáveis coletadas para o estudo do desconforto térmico nas salas de espera: T_h, T_b, T_k, para este trabalho, foram coletados e tratados da ordem de 13.000 dados, para as salas de cirurgias e 18.000 dados, para as salas de espera, aproximadamente 2.000 dados para cada variável coletada.

Onde:

T_a = temperatura de bulbo seco (°C);

T_r = temperatura radiante média (°C);

UR = umidade relativa do ar (%);

V_{ar} = velocidade do ar (m/s);

CO_2 = concentração de dióxido de carbono (ppm).

T_{BU} = temperatura de bulbo úmido (°C);

T_g = temperatura de globo (ºC);

T_h = temperatura na altura da cabeça (ºC);

T_b = temperatura na altura do abdômen (ºC);

T_k = temperatura na altura dos tornozelos (ºC).

Sendo a T_o (temperatura opertiva, ºC) obtida indiretamente, por meio da velocidade do ar, temperatura do ar e temperatura radiante média, discutida no capítulo 3.

Posteriormente, foi exposta a análise do conforto e desconforto térmico, por meio dos índices PMV, PPD, PD, DR e assimetria de radiação, também discutidos no capítulo 3.

E, por fim, a discussão e a relação dos parâmetros coletados em campo com os referenciais nacionais e internacionais para a qualidade do ar interno e o conforto térmico.

5.1 Hospital H1

Esse hospital, de caráter privado, localiza-se num complexo arquitetônico situado na zona sul da cidade de São Paulo. O entorno à edificação é constituído por edifícios residenciais e caracterizado por um tráfego de veículo de média intensidade.

O bloco onde foram realizadas as medições faz parte da expansão física do complexo com data de 2009 e possui 15 andares. O sistema de climatização, desse bloco, especificamente do pavimento onde foram realizadas as medições é do tipo expansão indireta, com *fan-coils* independentes por sala, com água proveniente de uma Central de Água Gelada (CAG) unificada para todo o bloco. O sistema possui automação e o *setpoint* de temperatura é liberado para alteração do usuário. A distribuição do ar nas salas de cirurgias é por fluxo laminar, com difusores localizados no teto, imediatamente acima da mesa de cirurgia. Na sala de espera, a distribuição do ar é por filtro terminal, com difusores localizados no teto, distribuídos ao longo do ambiente e no contorno do balcão da recepção. Nos dois casos, a distribuição é por volume constante do ar, controlado por um variador de frequência.

Os ambientes a serem medidos e os pontos para posicionamento dos equipamentos foram determinados pelo engenheiro clínico em conformidade com o responsável da área: o médico, no caso de salas de cirurgias, e a enfermeira, no caso da sala de espera, interferindo o mínimo possível no andamento dos serviços no setor, mas sempre respeitando os referenciais técnicos com orientação da pesquisadora. Além disso, não foi obtida autorização para a entrada nas salas de cirurgias e nem acompanhamento dos procedimentos do lado de fora, sendo os equipamentos colocados e retirados pela equipe da engenharia clínica da instituição.

Houve uma dificuldade, também, em encontrar uma sala de cirurgia para realização do estudo, pois pelas características do monitor de pressão é necessário haver uma fresta para a passagem da mangueira acoplada ao equipamento e nem todas as portas permitiam essa passagem.

Escolhidos os ambientes, iniciaram-se a realização das medições em uma sala de cirurgia no período da manhã e em outra, no período da tarde. A medição na sala de espera do centro de endoscopia foi realizada, aproximadamente, entre 10h e 12h. No segundo dia de repetição não houve cirurgia na sala 10, onde as medições aconteceram no período da manhã.

5.1.1 Sala de espera do centro de endoscopia

Esse ambiente localiza-se no correspondente ao 10º andar do edifício e possui 113 m² de área.

O sistema de climatização possui filtros do tipo G4 + F3 e possui 40 trocas de ar por hora.

Essa sala de espera comunica-se com diversos ambientes: corredores, salas de exames, outras salas de espera e elevadores. Assim, o número de pessoas variou muito ao longo do tempo de medição e a porta principal de acesso ao ambiente, próxima do local onde os equipamentos de medição foram posicionados, foi aberta inúmera vezes para entrada e saída de funcionários e de alguns pacientes, ainda que o acesso principal para esses últimos fosse feito por meio dos elevadores. O número de pessoas aguardando na sala de espera (pacientes e acompanhantes) variou entre 10 e 18 pessoas por dia e o tempo de permanência dessas pessoas, observou-se que variava em torno de 2h.

Os equipamentos foram posicionados no mesmo local, nos três dias de medição, próximo à porta automática, de acesso ao ambiente.

Os valores máximos, mínimos e médios de cada variável, por dia, foram os seguintes (Tabela 12):

Tabela 12 – Valores máximos, mínimos e médios das variáveis medidas na sala de espera do centro de endoscopia.

	Sala de espera								
	1º dia			2º dia			3º dia		
	Mín	**Máx**	**Méd**	**Mín**	**Máx**	**Méd**	**Mín**	**Máx**	**Méd**
T_a	23,4	23,9	23,6	23,4	23,7	23,5	22,8	23,1	23,0
T_r	23,6	24,0	23,8	23,7	24,1	23,9	23,2	23,7	23,4
T_o	23,5	24,0	23,7	23,6	23,9	23,7	23,0	23,4	23,2
UR	55,7	58,4	56,7	55,2	57,2	56,2	57,2	61,0	59,0
V_{ar}	0,00	0,06	0,02	0,00	0,07	0,02	0,00	0,08	0,02
CO_2*				713	797	740	714	889	760

* Os dados referentes ao nível de CO_2 do primeiro dia foram perdidos.

Observa-se, a partir da Tabela 12, que a temperatura operativa mínima foi 23ºC, no terceiro dia, e a máxima 24ºC, no primeiro dia, apesar desse parâmetro ter variado pouco nos três dias de medição.

O nível de CO_2 esteve abaixo do limite máximo, 1000 ppm, estabelecido pela Resolução nº 09 da ANVISA (2003) durante todo período de medição.

5.1.2 Sala de cirurgia nº 10

Esse ambiente também localiza-se no correspondente ao 10º andar do edifício e possui 32m² de área.

O sistema de climatização possui filtros do tipo G4 + F3 + H3 e possui 50 trocas de ar por hora.

Os equipamentos foram posicionados ao lado da porta de entrada para facilitar a passagem da mangueira do monitor de pressão diferencial.

Durante as cirurgias, cinco pessoas da equipe médica permaneceram na sala e esse número foi o mesmo nos dois dias de estudo, pois o tipo de procedimento cirúrgico foi similar. As medições foram realizadas no início da manhã e, no segundo dia não houve procedimento, nessa sala, nesse horário. A Tabela 13 apresenta os valores máximos, mínimos e médios de cada variável, por dia.

Tabela 13 – Valores máximos, mínimos e médios das variáveis na sala de cirurgia nº 10.

Sala de cirurgia n º 10						
	1º dia			3º dia		
	Mín	**Máx**	**Méd**	**Mín**	**Máx**	**Méd**
T_a	17,9	22,0	19,7	21,1	24,0	23,0
T_r	19,1	22,0	20,0	21,1	24,3	23,2
T_o	18,5	22,0	20,3	21,1	24,2	23,1
UR	54,5	62,5	58,4	49,1	62,9	53,4
V_{ar}	0,00	0,12	0,05	0,00	0,08	0,02
CO_2	474	1228	688	494	805	599

Os valores da temperatura operativa mínima, máxima e média no primeiro dia estiveram abaixo dos valores obtidos no terceiro dia. A umidade relativa do ar atingiu níveis acima de 60% nos dois dias de medição. Além disso, o nível de CO_2 excedeu o limite de 1000 ppm no primeiro dia, o valor máximo foi atingido ao final do procedimento cirúrgico, conforme consta nos dados processados pelo monitor de CO_2.

O resultado do diferencial de pressão na sala 10 é apresentado na Figura 18.

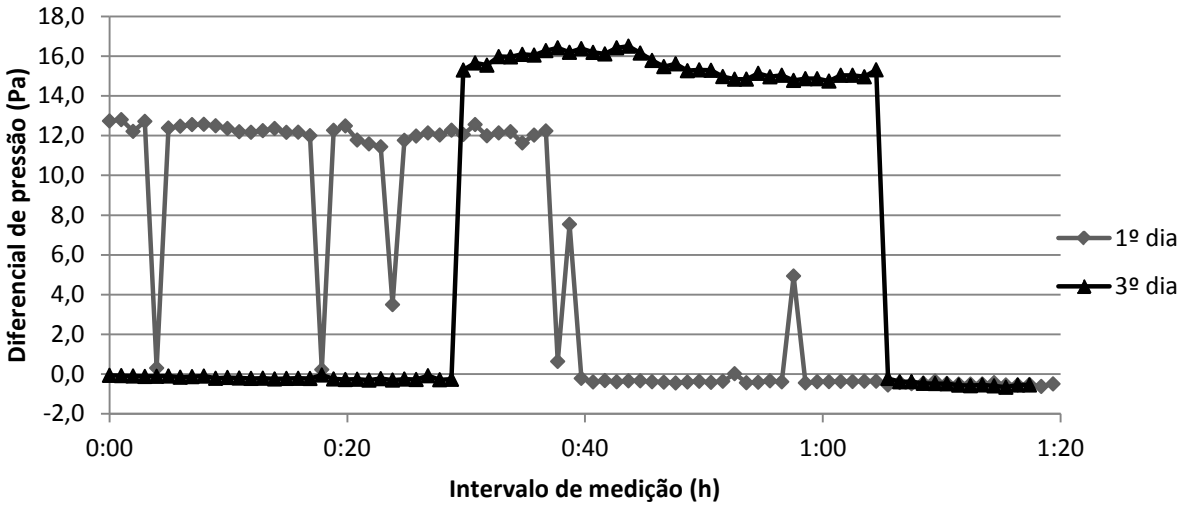

Figura 18 – Diferencial de pressão na sala de cirurgia nº 10.

A partir da Figura 18 é possível observar que não há garantia de pressão positiva nos ambientes, seja pela falha construtiva na estanqueidade do ambiente, seja pela abertura das portas ao entrar ou sair pessoas da sala, e até mesmo a permanência da porta aberta.

5.1.3 Sala de cirurgia nº 01

Também localizado no correspondente ao 10º andar do edifício, essa sala de cirurgia possui 32,5 m² de área.

O sistema de climatização possui filtros do tipo G4 + F3 + H3 e realiza 56 trocas de ar por hora.

Os equipamentos também foram posicionados ao lado da porta de entrada para facilitar a passagem da mangueira do monitor de pressão diferencial.

Durante as cirurgias o número de pessoas da equipe médica variou nos três dias de coleta de dados, pois o procedimento não foi o mesmo: no primeiro dia a equipe era composta por cinco pessoas, no segundo com sete e no terceiro com seis pessoas.

As medições foram realizadas no início da tarde. A Tabela 14 apresenta os valores máximos, mínimos e médios de cada variável, por dia.

Tabela 14 – Valores máximos, mínimos e médios das variáveis na sala de cirurgia nº 01.

Sala de cirurgia n º 01									
	1º dia			**2º dia**			**3º dia**		
	Mín	**Máx**	**Méd**	**Mín**	**Máx**	**Méd**	**Mín**	**Máx**	**Méd**
T_a	22,9	23,1	23,0	18,4	23,2	19,8	19,4	23,8	22,0
T_r	23,9	24,5	24,0	19,5	24,5	21,2	20,3	24,1	22,6
T_o	23,4	23,8	23,5	19,0	23,9	20,5	19,9	24,0	22,3
UR	50,7	53,5	52,0	52,9	62,9	58,4	53,0	60,1	55,6
V_{ar}	0,00	0,05	0,00	0,00	0,19	0,05	0,00	0,11	0,02
CO_2*				598	1138	745	549	974	670

* Os dados referentes ao nível de CO_2 do primeiro dia foram perdidos.

No segundo dia, obteve-se a menor temperatura operativa, 19ºC. O valor máximo variou pouco, até 0,2ºC, entre os três dias.

A velocidade do ar, no segundo dia, atingiu o valor de 0,19 m/s, podendo estar relacionado à alta sensibilidade do anemômetro de fio quente, devido à proximidade dos equipamentos em relação à porta de entrada do ambiente e ao fluxo de pessoas.

Também no segundo dia, em que havia sete pessoas na sala, o nível de CO_2, foi superior ao terceiro dia, em que a equipe médica era constituída de seis integrantes.

O resultado do diferencial de pressão na sala 01 é apresentado na Figura 19.

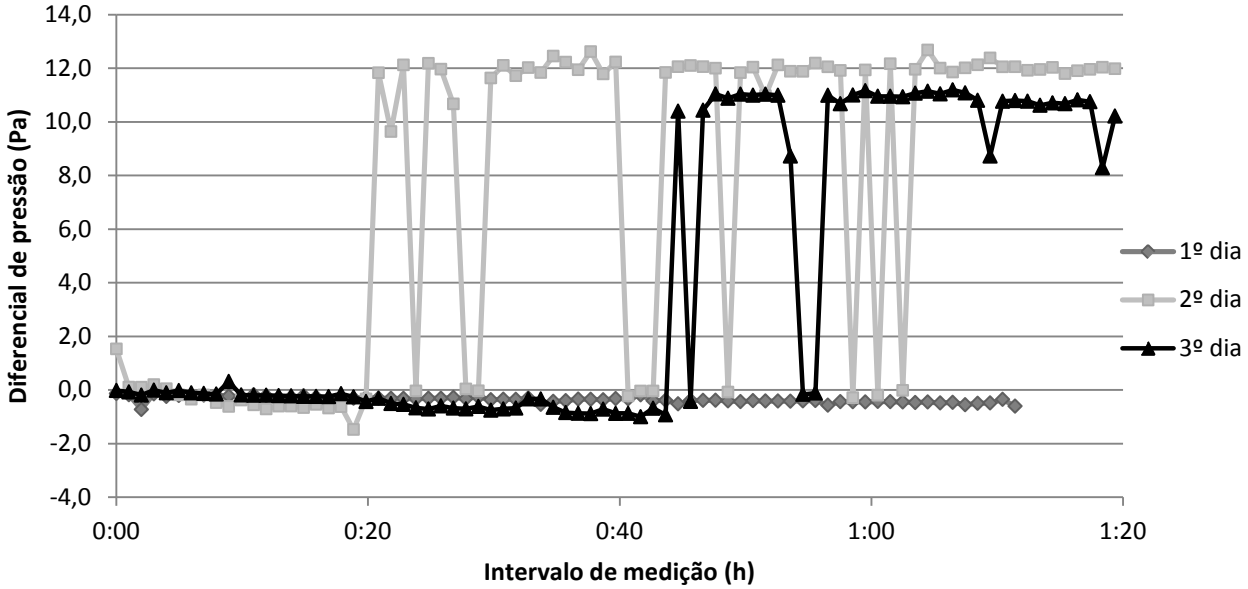

Figura 19 – Diferencial de pressão na sala de cirurgia nº 01.

No primeiro dia, percebe-se pelo comportamento do gráfico apresentado na Figura 19 que, praticamente, não houve diferença de pressão. Não se sabe se a porta permaneceu aberta, pois nesse centro cirúrgico a pesquisadora não foi autorizada a acompanhar de perto os procedimentos, mas pela experiência adquirida em medições nos outros hospitais, esse comportamento acontece quando a porta permanece aberta ou quando o ar condicionado não está ligado. Nos segundo e terceiro dia, o comportamento dos gráficos foram parecidos um com o outro, não apresentando diferença de pressão, em alguns momentos, provavelmente quando a porta era aberta para entrada ou saída de pessoas da sala.

5.2 Hospital H2

O hospital H2 localiza-se na região metropolitana de São Paulo e é totalmente dedicado ao atendimento dos usuários do serviço público. Foi fundado em 1998 e passou por uma recuperação das instalações físicas recentemente. O edifício principal possui 6 andares e o edifício, anexo, possui 3 andares. Está localizado em um bairro residencial e seu entorno possui baixo tráfego de veículos.

Apesar da reforma, o sistema de climatização do centro cirúrgico é da data de fundação do hospital. Esse sistema é do tipo expansão indireta, com distribuição de ar por volume constante e *setpoint* de temperatura variável entre 18ºC e 25ºC, com

sistema de liga/ desliga do lado de fora das salas de cirurgia, controlado pelos usuários. Nas salas de cirurgias, o insuflamento do ar é realizado pelo teto, por meio de um difusor de formato quadrado e o retorno do ar na parede lateral em posição inferior. O sistema de filtragem de ar conta com filtros grosso, fino e absoluto.

A sala de espera dos ambulatórios localiza-se numa edificação anexa ao hospital. O sistema de climatização é do tipo expansão direta, *split-system*, instalados em 2010. O ambiente possui 3 equipamentos, além de 2 ventiladores de parede e um sistema de exaustão localizado acima da porta de entrada, apesar deste último permanecer, frequentemente, desligado em função do ruído gerado.

Os equipamentos de medição foram posicionados pelas enfermeiras responsáveis pelos setores (centro cirúrgico e ambulatórios), em locais de mínima interferência nos serviços e incômodo de pessoas, todos com orientação da pesquisadora.

As medições na sala de espera aconteceram no período da manhã, entre 9h e 11h e as medições na sala de cirurgia, no período da tarde. Devido à proximidade com as festas de final de ano, a quantidade de cirurgias no período foi pequena, impossibilitando a realização de medição em mais de uma sala de cirurgia por dia.

Nesse centro cirúrgico, foi possível o acompanhamento dos procedimentos do lado de fora das salas, no corredor de serviço, em área não controlada. Entretanto, como há duas portas de acesso à sala, não foi possível saber quando a outra porta era aberta para entrada ou saída de pessoas.

5.2.1 Sala de espera dos ambulatórios

Os ambulatórios, desse hospital, localizam-se no térreo da edificação anexa de 3 andares. A sala de espera possui 186 m² de área, com capacidade aproximada para 100 pessoas sentadas, entretanto, no segundo dia de medição esse número foi ultrapassado. O ambiente é equipado com 3 aparelhos de ar condicionado do tipo *split-system*, com temperatura programada pelos funcionários do local, variando entre 23ºC e 24ºC, nos dias de medição.

A porta de entrada do ambiente permanece, frequentemente, aberta, pois o fluxo de pessoas no local é intenso, tanto para entrada ao local, quanto para saída.

Para a medição, os equipamentos foram posicionados próximo à porta de entrada, local de menor interferência possível, nos três dias de medição.

A Tabela 15, a seguir, apresenta os dados coletados nos três dias de medição.

Tabela 15 – Valores máximos, mínimos e médios das variáveis na sala de espera dos ambulatórios.

	Sala de espera								
	1º dia			2º dia			3º dia		
	Mín	**Máx**	**Méd**	**Mín**	**Máx**	**Méd**	**Mín**	**Máx**	**Méd**
T_a	24,2	25,1	24,7	26,0	26,7	26,4	25,1	26,0	25,6
T_r	24,8	26,6	25,5	26,3	27,1	26,7	25,4	26,3	26,0
T_o	24,5	25,9	25,1	26,2	25,9	26,5	25,2	26,1	25,8
UR	58,8	66,9	63,5	50,5	56,5	54,1	61,6	64,9	63,5
V_{ar}	0,08	0,63	0,13	0,03	0,61	0,26	0,05	0,58	0,28
CO_2	1700	2235	2011	2500	3016	2729	1619	1984	1816

Percebe-se o alto índice da velocidade do ar, durante os três dias de medições, atingido o valor máximo de 0,63 m/s. Esse fato pode estar relacionado tanto à posição dos equipamentos de medição (próximo à porta de entrada do ambiente), sofrendo interferência do ambiente externo, quanto aos ventiladores ligados. Além dessa constatação, observou-se que a temperatura operativa média foi superior a 24ºC nos três dias.

No segundo dia, a alta concentração de CO_2 registrada, chegando a 3.016 ppm, deve-se ao fato do elevado número de pessoas no ambiente durante as medições.

5.2.2 Sala de cirurgia nº 01

O centro cirúrgico localiza-se no 3º pavimento do edifício principal e a sala nº 01, onde foram realizadas as medições, possui 16 m² de área.

As medições foram realizadas durante dois dias consecutivos da mesma semana, pois no terceiro dia de medição a demanda por cirurgia reduziu-se, devido à proximidade com as festa de final de ano, e não houve cirurgia, no período da tarde, na sala nº 01, no horário em que estavam sendo realizadas as medições.

No primeiro dia, os equipamentos de medição foram posicionados próximo ao exaustor da sala e no segundo dia, próximo à porta do corredor interno, devido ao posicionamento dos equipamentos necessários à cirurgia.

Além disso, o número da equipe médica também variou nos dois dias devido ao tipo de procedimento cirúrgico e a exigência de número de pessoas na equipe: no primeiro dia havia cinco pessoas em sala e no segundo dia, duas pessoas.

Os valores máximos, mínimos e médios de cada variável, nos dois dias, resumem-se na Tabela 16.

Tabela 16 – Valores máximos, mínimos e médios das variáveis na sala de cirurgia nº 01.

Sala de cirurgia n º 01						
	1º dia			**2º dia**		
	Mín	**Máx**	**Méd**	**Mín**	**Máx**	**Méd**
T_a	22,2	24,2	22,7	22,1	23,4	22,3
T_r	23,0	25,1	23,9	22,6	25,7	23,4
T_o	22,6	24,7	23,3	22,4	24,6	22,8
UR	53,1	56,4	54,8	53,5	58,7	56,0
V_{ar}	0,00	0,29	0,11	0,01	0,31	0,13
CO_2	500	728	542	477	503	488

O parâmetro que mais variou foi a velocidade do ar, chegando a atingir o valor de 0,31 m/s, no segundo dia de medição. A concentração de CO_2, apesar do número de pessoas na sala não ter sido o mesmo, esse parâmetro teve pouca variação, comparando-se os dois dias de medição.

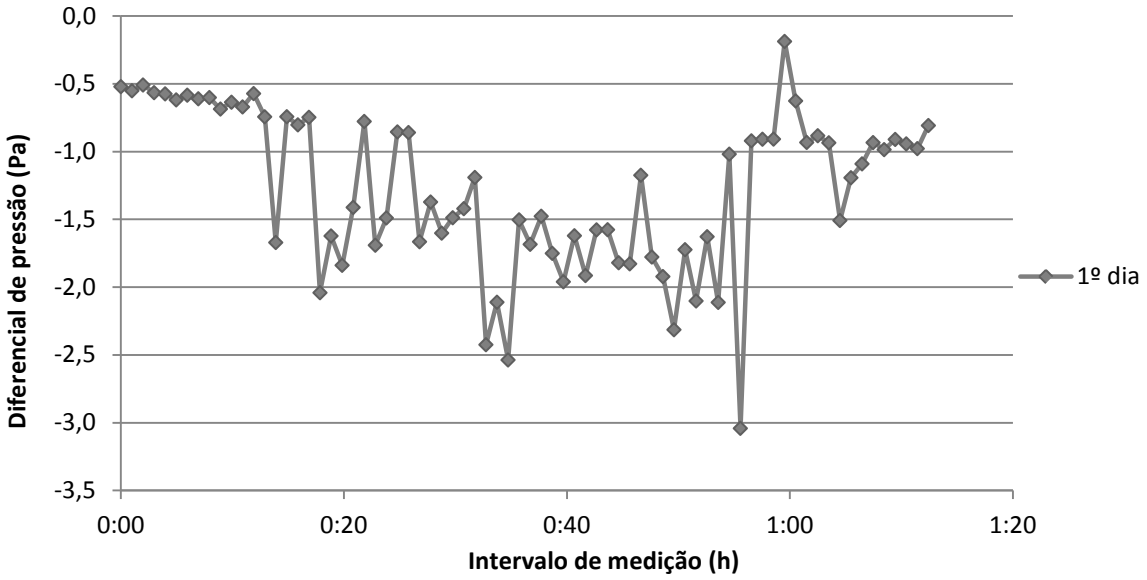

Figura 20 – Diferencial de pressão na sala de cirurgia nº 01.

A Figura 20 apresenta a pressão diferencial na sala nº 01, no primeiro dia de medição. Observa-se que durante todo o tempo de medição, a sala manteve-se com pressão negativa. Sabe-se que a porta para o corredor, cujo acesso foi permitido à pesquisadora, foi aberta poucas vezes, entretanto, o ambiente possui outra porta de acesso controlado, que não se sabe se permaneceu aberta.

5.3 Hospital H3

Inaugurado em 1961, o hospital H3 localiza-se na zona sul da capital paulista e tem por finalidade prestar assistência médica e hospitalar aos seus contribuintes e beneficiários. O edifício principal possui 15 pavimentos, além desse edifício, o conjunto hospitalar é composto por mais 7 edificações anexas. O complexo está localizado numa região de tráfego intenso de veículo, além de ser constituída por edifícios tanto residenciais, comerciais e hospitalares.

No 6º pavimento do edifício principal, localiza-se o centro cirúrgico. O sistema de climatização artificial do pavimento é do tipo expansão indireta, instalado em 1991 e passado por uma revitalização recentemente. Apenas a unidade de resfriamento da água possui automação, mas há previsão para automação dos *fan-coils* que, atualmente, opera de modo manual sem, entretanto, acesso ao controle pelos usuários. O insuflamento é realizado pelo teto, por meio de 6 difusores de formato retangular, em torno da mesa cirúrgica. O retorno do ar é realizado por meio de 2 exaustores localizados no piso, próximo às paredes, em direção oposta na sala.

A sala de espera da farmácia ambulatorial, localizada em uma edificação anexa, possui sistema de climatização do tipo expansão direta, *split-system.* O ambiente conta com 3 equipamentos, além de 9 ventiladores posicionados ao longo das paredes do ambiente.

Como o acesso às salas de cirurgias foi permitido, a pesquisadora pode posicionar os equipamentos e acompanhar os procedimentos do lado de fora, no corredor, facilitando a posterior interpretação dos dados coletados. Na sala de espera da farmácia não foi possível posicionar os equipamentos próximos aos pacientes que aguardavam atendimento, devido à limitação de espaço físico, então, os equipamentos foram posicionados próximos aos guichês de atendimento.

Assim, foram realizadas as medições em uma sala de cirurgia no período da manhã (sala nº 06) e em uma sala no período da tarde (sala nº 01). A medição na sala de espera da farmácia ambulatorial foi realizada, aproximadamente, entre 10h e

12h. No terceiro dia de repetição, como não havia previsão de cirurgia na sala nº 06, no período da manhã, inverteu-se a ordem de horários das medições entre as salas nº 01 e nº 06.

5.3.1 Sala de espera da farmácia ambulatorial

A farmácia ambulatorial localiza-se no térreo da edificação anexa ao edifício principal. A sala de espera possui 241 m² de área e durante os dias de medição, o número de pessoas no ambiente foi de, aproximadamente, 200 pacientes e 10 funcionários no atendimento. O ambiente é equipado com 3 aparelhos de ar condicionado do tipo *split-system*, com temperatura programada pelos funcionários do local, variando entre 19ºC, no primeiro dia de medição e 24ºC, nos outros dois dias.

Além dos equipamentos de climatização, o ambiente possui 9 ventiladores de parede e janelas com possibilidade de acesso para abertura. Dessa forma, os próprios pacientes que aguardavam atendimento, abriam as janelas.

Grande dificuldade para posicionamento dos equipamentos foi encontrada, assim, eles foram colocados na área de atendimento, atrás do balcão.

A Tabela 17, a seguir, apresenta os dados coletados nos três dias de medição.

Tabela 17 – Valores máximos, mínimos e médios das variáveis na sala de espera dos ambulatórios.

	Sala de espera								
	1º dia			**2º dia**			**3º dia**		
	Mín	**Máx**	**Méd**	**Mín**	**Máx**	**Méd**	**Mín**	**Máx**	**Méd**
T_a	23,8	24,4	24,1	23,8	24,0	23,9	23,5	23,9	23,7
T_r	24,5	25,2	24,7	24,2	24,6	24,4	24,0	24,4	24,2
T_o	24,2	24,8	24,4	24,0	24,3	24,2	23,8	24,2	23,9
UR	56,9	64,2	60,9	53,4	62,6	57,7	47,5	57,4	53,0
V_{ar}	0,00	0,09	0,01	0,00	0,08	0,01	0,00	0,08	0,02
CO_2	1168	1679	1382	2162	2704	2435	1212	2227	1593

Percebe-se a alta concentração de CO_2 em todos os dias de medição, índice diretamente relacionado ao grande número de pessoas no ambiente. Além disso, o índice de umidade relativa do ar atingiu valores superiores a 60%, nos dois primeiros dias.

5.3.2 Sala de cirurgia nº 06

As medições na sala de cirurgia nº 06 foram realizadas durante três dias consecutivos da mesma semana, entretanto, no terceiro dia, como não havia previsão de cirurgia no período da manhã, a medição, nesse dia, foi realizada no período da tarde.

O ambiente possui 40 m² de área e o número de integrantes da equipe médica variou nos três dias: seis pessoas no primeiro dia, quatro pessoas no segundo e cinco no terceiro dia, devido ao tipo de procedimento realizado. Os valores máximos, mínimos e médios de cada variável, resumem-se na Tabela 18 e a Figura 21 apresenta a variação do diferencial de pressão nos três dias de medição.

Tabela 18 - Valores máximos, mínimos e médios das variáveis na sala de cirurgia nº 06.

Sala de cirurgia nº 06									
	1º dia			**2º dia**			**3º dia**		
	Mín	**Máx**	**Méd**	**Mín**	**Máx**	**Méd**	**Mín**	**Máx**	**Méd**
T_a	23,2	23,5	23,3	19,3	23,0	22,1	17,9	20,3	18,3
T_r	23,3	23,6	23,5	20,9	23,3	22,6	18,9	22,3	19,6
T_o	23,3	23,6	23,4	20,1	23,2	22,3	18,4	21,3	18,9
UR	54,2	62,4	59,4	50,2	67,6	61,4	48,5	55,1	53,4
V_{ar}	0,00	0,10	0,01	0,00	0,12	0,03	0,00	0,20	0,04
CO_2	901	1260	1097	816	1606	1167	930	1009	963

Percebe-se uma diferença nos valores dos parâmetros nos dias de medição, a temperatura operativa média, por exemplo, variou 4,5 ºC entre o primeiro e o terceiro dia de medição e a temperatura do ar, no último dia, chegou a um valor mínimo de 17,9 ºC.

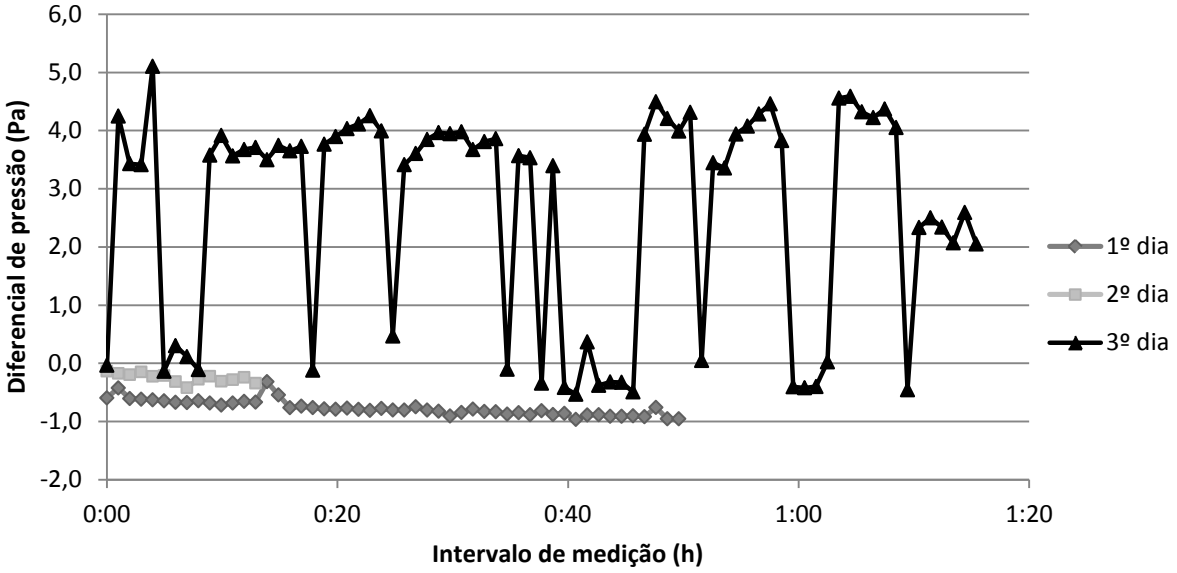

Figura 21 – Diferencial de pressão na sala de cirurgia nº 06.

No primeiro dia de medição, a porta da sala de cirurgia permaneceu aberta durante todo período em que o equipamento estava na sala. No segundo dia, grande parte da amostra foi excluída, devido a uma obstrução na mangueira do monitor de diferencial de pressão, observada somente na retirada dos equipamentos. No terceiro dia, a porta permaneceu fechada, entretanto, as quedas no valor da pressão diferencial, representam as aberturas de portas, para entrada ou saída de pessoas na sala.

5.3.3 Sala de cirurgia nº 01

A sala de cirurgia nº 01 ocupa um espaço de 30 m². Durante os três dias de medição, o número de pessoas da equipe médica variou conforme o tipo de cirurgia realizada, no primeiro dia havia cinco pessoas, no segundo e terceiro dia, havia seis e três pessoas, respectivamente.

O horário de medição no terceiro dia foi trocado com o horário de medição na sala nº 06 devido à programação de cirurgias. Dessa forma, no primeiro e segundo dias, as medições ocorreram no período da tarde e no terceiro dia, no período da manhã.

A Tabela 19 apresenta os valores máximos, mínimos e médios de cada variável e a Figura 22, a variação do diferencial de pressão nos três dias de medição.

Tabela 19 - Valores máximos, mínimos e médios das variáveis na sala de cirurgia nº 01.

Sala de cirurgia nº 01									
	1º dia			2º dia			3º dia		
	Mín	**Máx**	**Méd**	**Mín**	**Máx**	**Méd**	**Mín**	**Máx**	**Méd**
T_a	20,4	23,1	21,4	22,1	23,5	22,6	18,6	20,2	19,1
T_r	21,2	23,1	22,0	22,3	24,0	22,8	19,4	21,7	19,8
T_o	20,8	23,1	21,7	22,2	23,8	22,7	19,0	21,0	19,5
UR	50,1	60,9	52,9	60,6	77,8	72,0	51,9	54,9	53,1
V_{ar}	0,00	0,25	0,03	0,00	0,13	0,03	0,00	0,17	0,02
CO_2	873	1471	1133	907	1276	1057	994	1611	1104

Observou-se, no segundo dia de medição, que a taxa de umidade relativa do ar média foi de 72,0%, chegando a uma máxima de 77,8%.

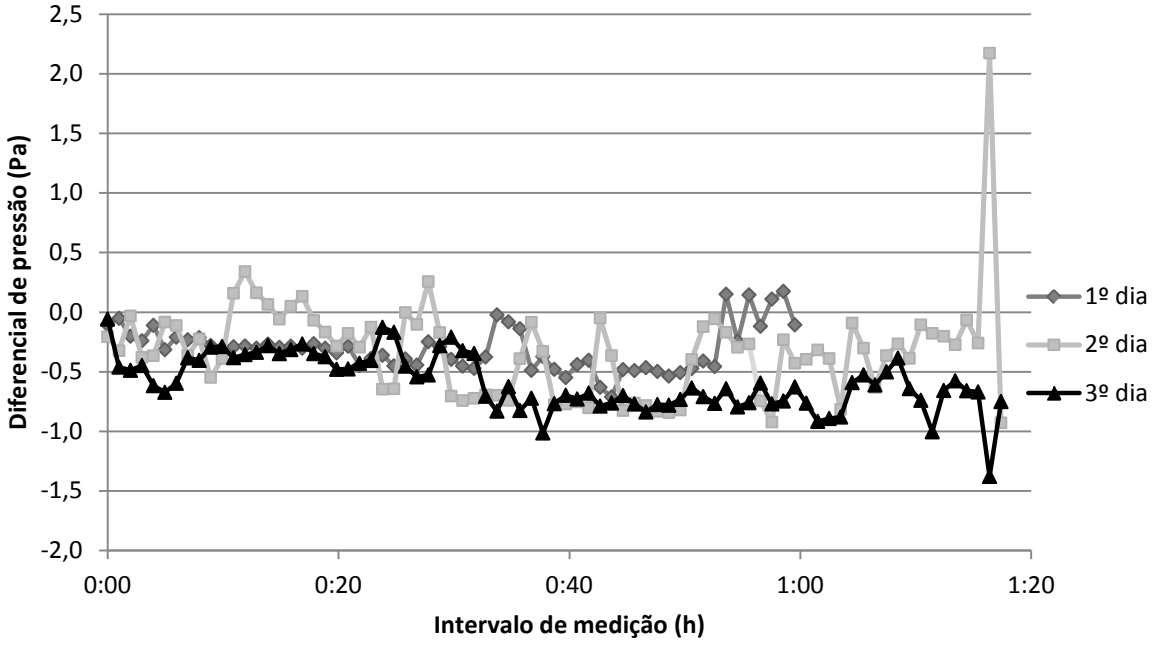

Figura 22 – Diferencial de pressão na sala de cirurgia nº 01.

Pelo comportamento do gráfico, apresentado na Figura 22, não há garantia de diferença de pressão nessa sala. No segundo dia de medição, observou-se que a circulante de sala, permaneceu parte do tempo da cirurgia do lado de fora da sala, com a porta aberta. Entretanto, nos outros dias, não se observou nenhum outro fator que pudesse justificar o resultado encontrado.

5.4 Hospital H4

O hospital H4, localizado na região centro-oeste da cidade de São Paulo, é um hospital público, de alta complexidade, constituído de dois edifícios interligados, o primeiro foi construído em 1977, com 11 andares, e o segundo, em 1996, com 17 andares. Essa região é caracterizada por alto tráfego de veículos e é constituída por grande concentração de edifícios comerciais.

As medições, nesse hospital, foram realizadas no bloco cirúrgico e na sala de espera dos consultórios do edifício mais novo. O centro cirúrgico é divido em dois blocos, pertencentes a cada um dos dois edifícios, também interligados, localizado no 3º pavimento. A sala de espera dos consultórios localiza-se no subsolo do edifício mais novo.

Como o tempo de duração dos procedimentos cirúrgicos realizados, nesse hospital, é bastante longo, só foi possível a realização de medição em apenas uma sala de cirurgia.

Quanto ao sistema de climatização, tanto do centro cirúrgico quanto da sala de espera dos consultórios, onde foram realizadas as medições, são do tipo expansão indireta, instalados nos anos 2000 e 1996, respectivamente. O sistema possui automação e a distribuição do ar é por volume constante.

As medições na sala de cirurgia aconteceram no início da manhã e na sala de espera entre 10h e 12h. Os equipamentos foram posicionados pela pesquisadora, tanto na sala de cirurgia quanto na sala de espera, sendo possível o acompanhamento dos procedimentos realizados.

5.4.1 Sala de espera dos consultórios

A sala de espera dos consultórios localiza-se no subsolo da edificação mais nova, não havendo, assim, aberturas para o ambiente externo. Possui, aproximadamente, 175 m² de área de espera, comunicando-se com corredores e consultórios.

O sistema de climatização possui filtros grosso e fino. A distribuição e o retorno do ar, nesse ambiente, são realizados por meio de 6 insufladores e 3 exaustores, de formato quadrado, localizados no teto.

A escolha dessa sala de espera foi definida pela enfermeira responsável pela administração predial por ser esse o ambiente climatizado considerado o mais

crítico, devido ao grande número de pessoas que o ocupam diariamente. Durante o tempo de medição, o número de pessoas variou entre 80 e 90 pessoas, repetindo-se nos três dias. Observou-se, ainda, que o tempo de permanência de pacientes nessa sala é de, aproximadamente, 30 minutos.

Devido a essa aglomeração de pessoas, os equipamentos foram posicionados próximo à parede da face norte da edificação, para menor incômodo na circulação de pessoas e para proteção do próprio equipamento.

A Tabela 20 apresenta os valores máximos, mínimos e médios de cada variável avaliada, por dia:

Tabela 20 - Valores máximos, mínimos e médios das variáveis na sala de espera dos consultórios.

Sala de espera dos consultórios									
	1º dia			**2º dia**			**3º dia**		
	Mín	**Máx**	**Méd**	**Mín**	**Máx**	**Méd**	**Mín**	**Máx**	**Méd**
T_a	22,7	23,9	23,5	23,2	24,1	23,6	23,3	23,9	23,6
T_r	23,4	24,2	23,9	23,5	24,2	23,8	23,8	24,6	24,2
T_o	23,1	24,1	23,7	23,4	24,2	23,7	23,6	24,3	23,9
UR	52,0	56,6	53,6	53,6	55,6	54,5	50,0	53,0	51,7
V_{ar}	0,00	0,14	0,03	0,00	0,16	0,02	0,00	0,19	0,04
CO_2	959	1431	1201	1075	1536	1320	1001	1444	1198

A partir da Tabela 20, percebe-se a pouca variação da temperatura operativa ao longo dos três dias de medição. Além disso, as médias dos parâmetros: temperatura operativa, umidade relativa do ar e velocidade do ar estão dentro das faixas recomendadas nas legislações referenciadas.

Com relação à concentração de CO_2 no ambiente interno, os valores médios ultrapassam o limite máximo recomendado pela Resolução nº 09 da ANVISA (2003).

5.4.2 Sala de cirurgia nº 09

As medições foram realizadas na sala nº 09, do bloco cirúrgico da nova edificação, escolhida pela enfermeira responsável pela administração predial, pois essa é a sala mais crítica desse bloco, com reclamações de calor constante. Essa sala localiza-se no 3º pavimento, com acesso ao bloco cirúrgico da edificação mais antiga e possui, aproximadamente, 40 m² de área.

Em todas as salas do bloco cirúrgico o sistema de climatização possui troca de ar total com ar externo e, além dos filtros grosso e fino, ainda possui o filtro absoluto. O ar é insuflado pelo teto por meio de 4 grelhas posicionadas paralelas à mesa cirúrgica, em pares, imediatamente acima da posição ocupada pela equipe cirúrgica. A exaustão é realizada por dois equipamentos localizados na parede, em dois cantos opostos da sala.

Os equipamentos de medição foram posicionados na sala próximos à porta de acesso, local também escolhido pela equipe de enfermagem do centro cirúrgico, por se esse o local de menor interferência na circulação da sala.

A pedido da equipe de enfermagem, no segundo dia de medição, os equipamentos foram posicionados antes de o paciente entrar na sala, pois o procedimento envolvia uma criança e o cuidado, nesse caso, era ainda maior. Dessa forma, as medições iniciaram 20 minutos antes da entrada do paciente. Durante os três dias de medição, os equipamentos foram retirados sem que o procedimento tivesse finalizado, devido ao longo tempo dos procedimentos realizados.

Durante as cirurgias, o número de pessoas variou. No primeiro dia, havia 6 pessoas, sendo 2 sentadas e 4 em torno da mesa, no segundo dia, inicialmente entraram 10 pessoas, entretanto, 8 delas permaneceram e, no terceiro dia, 9 pessoas.

O resultado das medições está apresentado na Tabela 21.

Tabela 21 - Valores máximos, mínimos e médios das variáveis na sala de espera de cirurgia nº 09.

Sala de cirurgia nº 09									
	1º dia			**2º dia**			**3º dia**		
	Mín	**Máx**	**Méd**	**Mín**	**Máx**	**Méd**	**Mín**	**Máx**	**Méd**
T_a	19,0	19,5	19,1	19,7	20,6	20,2	19,3	20,3	19,8
T_r	19,6	20,6	19,8	20,0	20,7	20,4	20,0	20,9	20,3
T_o	19,3	20,1	19,5	19,9	20,7	20,3	19,7	20,6	20,0
UR	55,5	57,1	56,6	55,2	66,6	62,3	51,6	60,5	56,6
V_{ar}	0,00	0,17	0,02	0,00	0,11	0,02	0,00	0,18	0,03
CO_2	513	559	538	522	655	590	550	663	613

Percebe-se, por meio da Tabela 21, que o máximo valor atingido pela temperatura operativa foi 20,7 ºC, sendo a média variando de 19,5 ºC, no primeiro dia e 20,3 ºC, no segundo dia. A umidade relativa do ar ultrapassou 60%, no

segundo e terceiro dias de medição. A concentração de CO_2 esteve abaixo de 1000 ppm durante toda medição.

O resultado do diferencial de pressão, na sala nº 09, é apresentado na Figura 23.

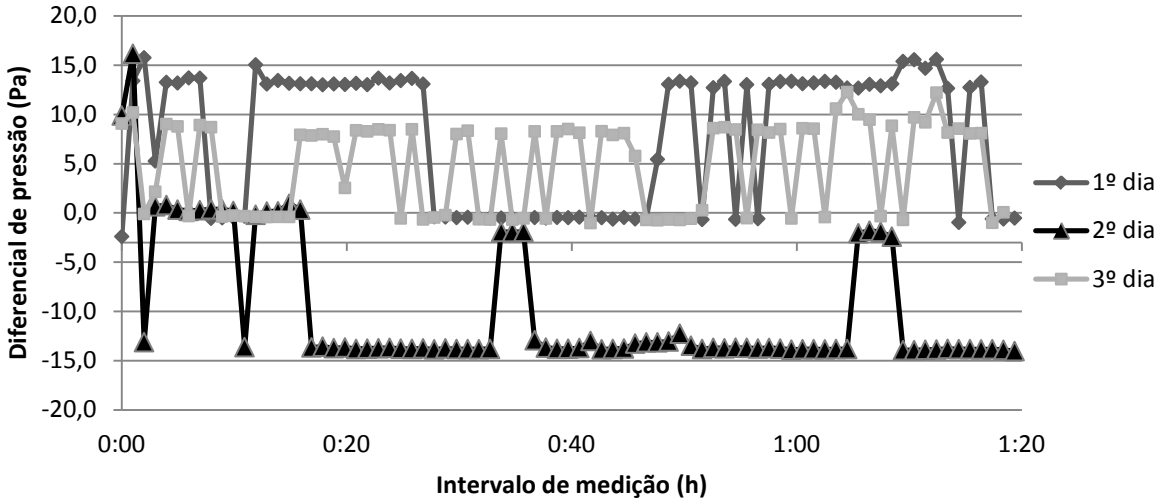

Figura 23 – Diferencial de pressão na sala de cirurgia nº 09.

No primeiro e no terceiro dias, observou-se que, com a porta fechada, o diferencial de pressão entre o ambiente interno em relação ao externo era positivo, entretanto, ao entrar ou sair pessoas da sala pode-se observar que a porta ficava entreaberta e o diferencial de pressão tornava-se nulo ou negativo. No segundo dia de medição, como os equipamentos foram posicionados antes de o paciente entrar na sala, as medições iniciaram 20 minutos antes da entrada do paciente, momento este em que a porta é aberta para entrada da equipe e paciente. Além disso, ela permanece entreaberta durante todo tempo de medição. Percebe-se que, a partir desse momento, que o valor do diferencial de pressão da sala em relação ao corredor fica negativo.

5.5 Hospital H5

Esse hospital, de média complexidade, está situado na zona oeste da capital paulista e o seu atendimento é de caráter público. O edifício possui 6 andares e foi construído na década de 80. A região possui baixa concentração de tráfego de veículos e afastada de centros comerciais, residenciais e industriais.

O sistema de climatização do centro cirúrgico, do tipo expansão indireta com torre de resfriamento, foi instalado em 1999.

A sala de espera do setor de radiologia foi escolhida para a realização das medições por ser a única sala de espera climatizada. O sistema também é do tipo expansão indireta e foi instalado no ano de 2008. O sistema de distribuição do ar, em ambos os setores, é realizado por volume de ar constante.

Conforme orientação das respectivas enfermeiras responsáveis pelo centro cirúrgico e pelo setor de radiologia, os equipamentos foram posicionados nos locais de menor interferência na circulação de pessoas, tanto na sala de espera quanto na sala de cirurgia. Depois de posicionados os equipamentos, as medições foram iniciadas, sendo permitido à pesquisadora o acesso aos ambientes para acompanhamentos dos acontecimentos ao longo das medições.

Assim, as medições, na sala de cirurgia, aconteceram no início da manhã, período em que havia cirurgias agendadas, e entre 9h e 30min e 11h e 30min na sala de espera do setor de radiologia, período provável de haver maior concentração de pessoas, conforme orientação da enfermeira responsável pelo setor.

Nesse hospital, foram feitas apenas duas repetições devido à chuva ocorrida após o segundo dia de medição, inviabilizando o transporte dos equipamentos de medição, sob o risco de danificá-los.

5.5.1 Sala de espera do setor de radiologia

Esse ambiente localiza-se no 2º andar do edifício e possui 110 m² de área, com acesso para corredores climatizados e não climatizados, por meio de portas que se abrem constantemente para entrada ou saída de pessoas.

O insuflamento de ar é realizado pelo teto, por meio de 10 difusores e 3 grelhas de retorno do ar. O sistema conta com filtros do tipo grosso e fino.

No início das medições do primeiro dia, havia 10 pessoas na sala, variando de 3 a 12 pessoas, durante o tempo de medição. No segundo dia, inicialmente, havia 20 pessoas, sendo esse número reduzido para 5, ao final do período das medições.

Os equipamentos foram posicionados próximo à parede, entre as portas de acesso às salas de exames e entre duas grelhas de retorno do ar.

O resultado das medições encontra-se na Tabela 22.

Tabela 22 – Valores máximo, mínimos e médios das variáveis medidas na sala de espera do setor de radiologia.

Sala de espera do setor de radiologia						
	1º dia			2º dia		
	Mín	**Máx**	**Méd**	**Mín**	**Máx**	**Méd**
T_a	21,3	21,9	21,5	21,6	21,9	21,8
T_r	22,3	23,9	23,2	22,7	24,0	23,5
T_o	21,8	22,9	22,4	22,2	23,0	22,6
UR	58,4	62,2	60,1	57,5	60,4	58,8
V_{ar}	0,02	0,31	0,18	0,03	0,33	0,17
CO_2	722	783	748	722	783	748

Os valores da umidade relativa do ar ultrapassaram o limite estabelecido, tanto no primeiro dia, quanto no segundo. A velocidade do ar atingiu o valor de 0,33 m/s, no segundo dia. Quanto à concentração de CO_2 manteve-se abaixo do limite de 1000 ppm nos dois dias de medição.

5.5.2 Sala de cirurgia "B"

O centro cirúrgico também localiza-se no 2º andar e a sala "B", escolhida para a realização das medições, possui, aproximadamente, 33,5 m² de área.

O insuflamento e o retorno do ar são realizados pelo teto, por meio de grelhas localizadas em cantos opostos da sala. O sistema possui filtros grosso, fino e absoluto.

Por esse sistema de climatização ser manual, permite que a equipe médica decida o momento de ligá-lo. Normalmente, a solicitação é feita após o paciente ser anestesiado.

O número de pessoas na sala manteve-se o mesmo, tanto no primeiro quanto no segundo dia de medição, apesar dos procedimentos realizados terem sido diferentes.

Assim como nos outros hospitais, a orientação para posicionamento dos equipamentos foi que não interferisse, ou interferisse o mínimo possível, na circulação da equipe médica. Dessa forma, os equipamentos foram posicionados no espaço livre existente entre as duas portas, dispostas frontalmente, de entrada no ambiente.

Os valores máximos, mínimos e médios de cada variável, por dia, foram os seguintes (Tabela 23).

Tabela 23 - Valores máximo, mínimos e médios das variáveis medidas na sala de cirurgia “B”.

Sala de cirurgia “B”						
	1º dia			2º dia		
	Mín	**Máx**	**Méd**	**Mín**	**Máx**	**Méd**
T_a	22,2	23,5	22,4	22,4	24,2	23,0
T_r	23,0	24,5	23,5	23,0	25,2	24,0
T_o	22,5	23,9	22,9	22,7	24,7	23,5
UR	61,9	73,0	69,8	56,8	69,7	65,5
V_{ar}	0,10	0,35	0,21	0,00	0,42	0,18
CO_2	503	827	564	486	930	597

Observa-se que também na sala de cirurgia “B” os valores da umidade relativa do ar ultrapassaram o limite estabelecido, tanto no primeiro, quanto no segundo dia. A velocidade do ar também alcançou valores altos, chegando a atingir 0,42 m/s, no segundo dia.

A concentração de CO_2, no ambiente, manteve-se dentro do limite recomendado.

A Figura 24 apresenta o resultado do diferencial de pressão na sala “B”.

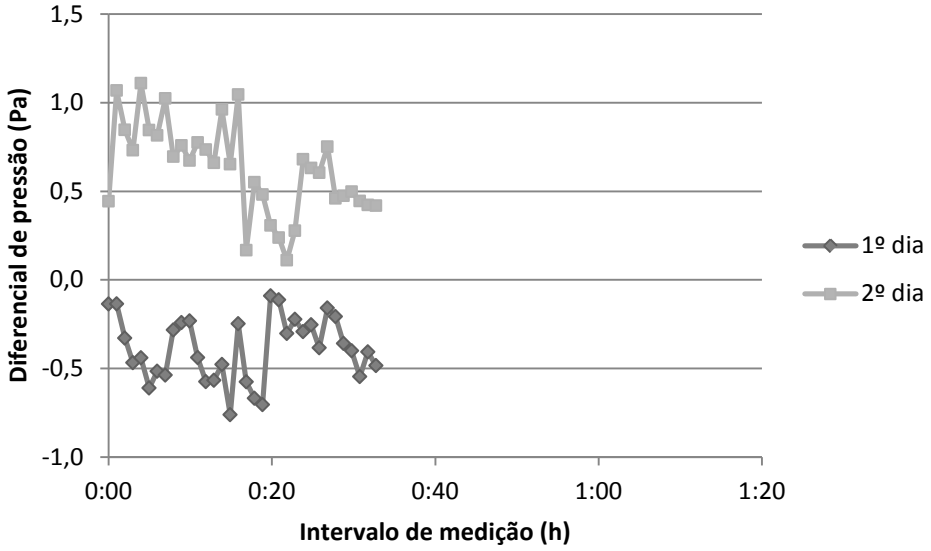

Figura 24 – Diferencial de pressão na sala de cirurgia “B”.

A partir da Figura 24, observa-se que não há alteração significativa no valor do diferencial de pressão desde o momento em que o ar condicionado é ligado, poucos minutos após o início das medições, apesar do tempo de duração dos procedimentos ter sido pequeno.

5.6 Hospital H6

O hospital H6 faz parte de um complexo hospitalar, constituído de 2 edifícios, da rede pública de saúde, localizado, no ABC Paulista. O edifício, onde foram realizadas as medições, construído em 1973, tem 6 andares, incluído o térreo. Em 2010, o edifício passou por uma reforma e, durante o período das medições, ele estava passando por uma obra para interligação com o novo hospital do complexo, ainda em obras, e reestruturação das suas dependências. A região é constituída por edifícios residenciais e comerciais e possui tráfego moderado de veículos.

Nesse edifício, apenas o centro cirúrgico, localizado no 1º pavimento do edifício, possui sistema de climatização. Tanto as salas de cirurgia, quanto o corredor do centro cirúrgico, possuem climatização do tipo direta, *split-system* e exaustores para retorno do ar.

5.6.1 Sala de cirurgia nº 05

A sala de cirurgia nº 05, com área de 23 m², aproximadamente, foi escolhida por ser a sala mais utilizada do centro cirúrgico e para que a pesquisa pudesse ser concluída com o número de amostras previsto. Entretanto, as cirurgias realizadas durante o período da pesquisa foram cirurgias de baixa complexidade com tempo de duração inferior ao planejado. Assim, o tempo de medição no primeiro dia foi de 32 minutos, no segundo dia de 10 minutos, sendo excluída essa última amostra, por não ser representativa e, no terceiro dia, de 65 minutos. As medições ocorreram no início da manhã, período de maior agendamento de cirurgias.

Os equipamentos de medição foram posicionados próximos à parede que divide a sala com o corredor interno, entre a porta de entrada e a parede do lado direito, onde está fixado o equipamento de ar condicionado. O exaustor localiza-se no alto da parede oposta ao ponto de posicionamento dos equipamentos de medição.

No primeiro dia de medição, 3 pessoas da equipe médica permaneceram na sala durante o procedimento, entretanto, além das 3 pessoas, o anestesista encontrava-se na sala no momento em que os equipamentos foram posicionados e retirados do ambiente. O ar condicionado foi ligado no momento de posicionamento dos equipamentos de medição com *setpoint* de 18 ºC.

No terceiro dia de medição, o paciente encontrava-se anestesiado no momento em que os equipamentos de medição foram posicionados. O ar condicionado estava ligado no início da medição, sendo desligado logo em seguida e religado após 13 minutos de medição. A porta ficou aberta durante todo procedimento e havia 8 pessoas no ambiente.

Os resultados das medições são apresentados na Tabela 24 e Figura 25.

Tabela 24 - Valores máximo, mínimos e médios das variáveis medidas na sala de cirurgia nº 05.

Sala de cirurgia nº 05						
	1º dia			**3º dia**		
	Mín	**Máx**	**Méd**	**Mín**	**Máx**	**Méd**
T_a	22,6	24,6	23,4	23,4	25,5	24,2
T_r	23,9	25,8	24,9	24,9	26,8	25,7
T_o	23,3	25,2	24,1	24,2	26,2	24,9
UR	34,4	48,2	40,8	39,0	52,6	45,1
V_{ar}	0,00	0,08	0,03	0,00	0,13	0,03
CO_2	1205	1438	1367	1017	1408	1269

Observa-se que os valores da umidade relativa do ar encontram-se baixos, atingindo o valor mínimo de 34,4%, no primeiro dia, apesar de estarem dentro dos limites estabelecidos nos referenciais internacionais para qualidade do ar interior para salas de cirurgias.

A concentração de CO_2, em contrapartida, ultrapassou o limite de 1000 ppm em todo período.

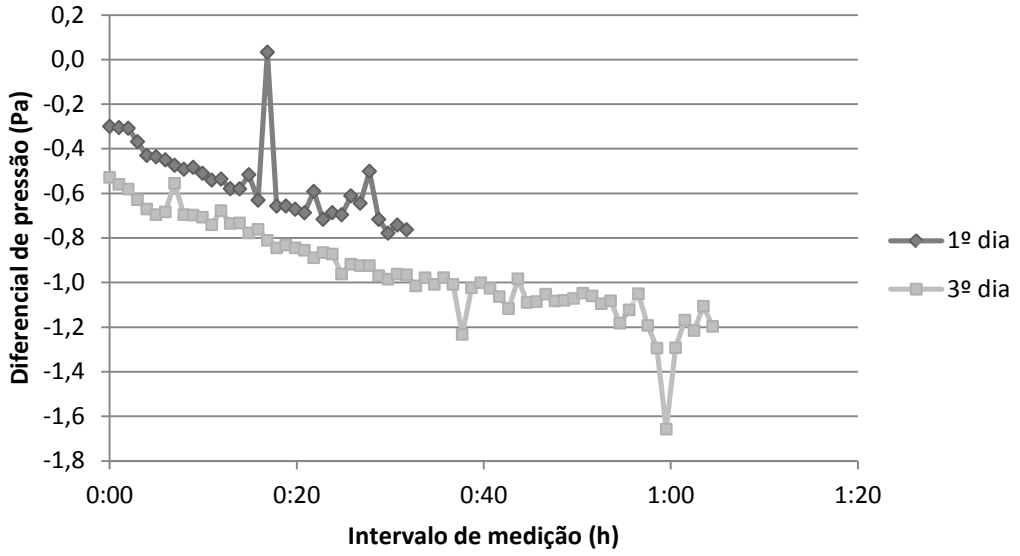

Figura 25 - Diferencial de pressão na sala de cirurgia nº 05.

A partir da Figura 25, observa-se que não há controle adequado, por meio do sistema de climatização existente, para o diferencial de pressão entre a sala de cirurgia e o ambiente adjacente, no caso, o corredor interno. Praticamente em todo o período, a sala de cirurgia permanece com pressão negativa em relação ao corredor.

5.7 Análise do conforto e desconforto térmico

A análise do conforto e desconforto térmico consistiu na avaliação objetiva dos parâmetros ambientais coletados nos ambientes hospitalares climatizados, objeto da pesquisa, por meio dos índices discutidos no capítulo 3: PMV, PPD, DR, PD e assimetria de radiação.

As Figuras 26 e 27 representam, respectivamente, o voto médio estimado (PMV) e o percentual estimado de insatisfeitos termicamente (PPD) das pessoas presentes nas salas de espera dos hospitais. Assumindo, de acordo com a ISO 7730 (2005), para resistência térmica por meio de vestimenta, 0,5 clo (traje leve de verão: calça, sapato e camisa de manga curta) e isenção de atividade, 1,0 met (sentado ou reclinado, sem atividade).

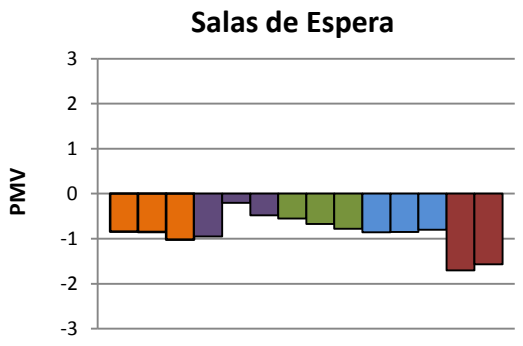

Figura 26 – PMV calculado a partir das médias das variáveis

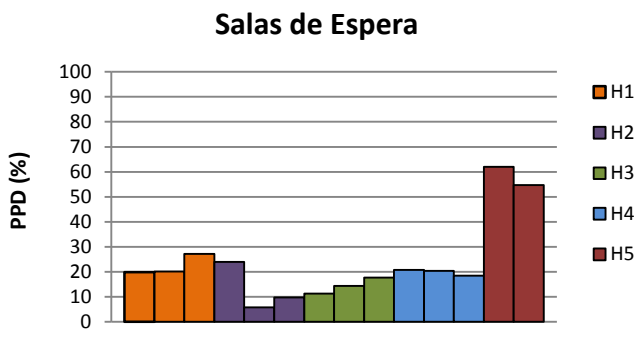

Figura 27 - PPD calculado a partir das médias das variáveis

A partir dessas figuras observa-se que, de acordo com a escala térmica, as pessoas apresentam leve sensação de frio.

A pior situação foi encontrada na sala de espera do setor de radiologia do hospital H5, onde, conforme o resultado do cálculo do PPD, mais da metade da população apresenta insatisfação com ambiente térmico, além de apresentar, aproximadamente, 10% de pessoas incomodadas com a corrente de ar. Esses índices podem estar relacionados à alta velocidade do ar, cujos valores médios foram de 0,18 m/s, no primeiro dia de medição, e 0,17 m/s, no segundo dia de medição, chegando a velocidade máxima de 0,33 m/s (Tabela 22).

A sala de espera dos ambulatórios do hospital H2 também apresentou um índice de 9% a 14% da população incomodadas com a corrente de ar. O fato de ter encontrado esses valores pode estar relacionado tanto à posição dos equipamentos de medição, próximo à porta de entrada do ambiente, sofrendo interferência do ambiente externo, quanto aos 2 ventiladores ligados. Os valores médios da velocidade do ar no primeiro, segundo e terceiro dias, foram, respectivamente: 0,13 m/s, 0,26 m/s e 0,28 m/s, atingindo a máxima de 0,63 m/s, no primeiro dia de medição (Tabela 15).

Contudo, os percentuais de pessoas incomodadas com a corrente de ar encontram-se inferiores ao limite de 15%, que é o percentual limite utilizado nas normas ASHRAE 55 (2004), ISO 7730 (2005) e ABNT NBR 16401 (2008).

As salas de espera dos demais hospitais utilizados na amostra obtiveram as médias das velocidades do ar inferiores a 0,05 m/s, portanto, o índice DR, na Equação 9, anula-se.

Quanto à assimetria de radiação e a diferença vertical de temperatura, todas as amostras satisfizeram ao critério estabelecido nos referenciais e discutido no capítulo 3 e, portanto, não reproduzidos aqui.

Para a avaliação do conforto térmico nas salas de cirurgias, tomou-se como base a divisão das salas em duas zonas, 1 e 2, do estudo de Félix (2008). Além disso, as vestimentas e o nível de atividade, adotados, foram os considerados por Mora, English e Athienitis (2001) em seu estudo, apresentados na Tabela 11.

A partir das Figuras 28, 29, 30 e 31, percebe-se a diferença de sensação térmica entre os ocupantes da zona 1 e os ocupantes da zona 2.

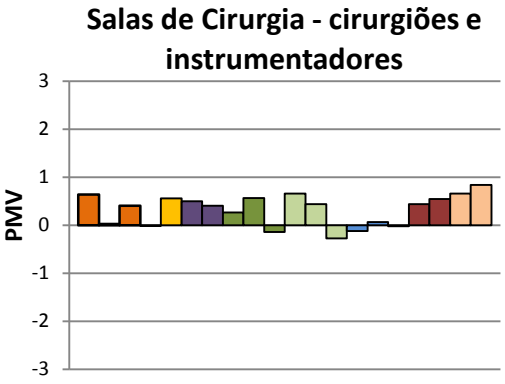

Figura 28 – PMV calculado a partir das médias das variáveis

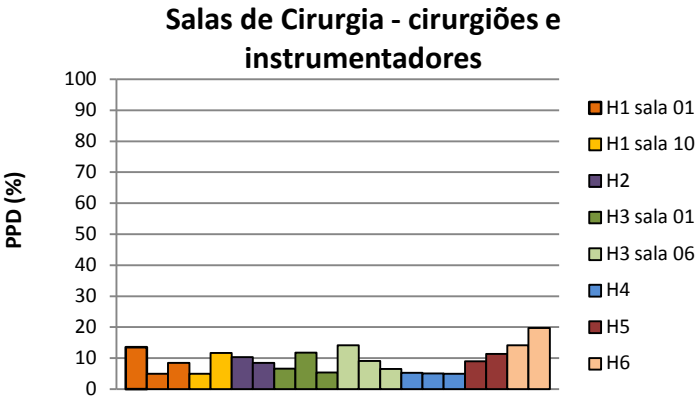

Figura 29 - PPD calculado a partir das médias das variáveis

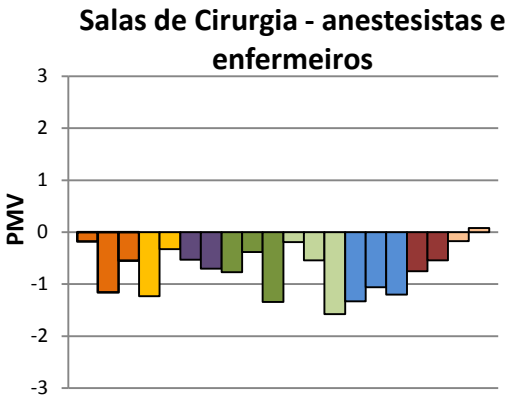

Figura 30 – PMV calculado a partir das médias das variáveis

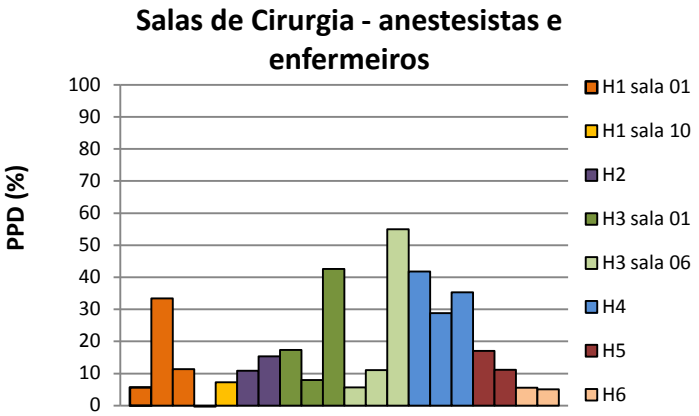

Figura 31 - PPD calculado a partir das médias das variáveis

Essa diferença é devida, principalmente aos fatores pessoais (resistência da roupa e nível de atividade). Enquanto os cirurgiões e instrumentadores, na maior

parte das amostras, apresentam neutralidade térmica a leve sensação de calor, os anestesistas e enfermeiros apresentam sensação de neutralidade térmica a leve sensação de frio. Assim, esses profissionais, apresentam um índice de insatisfação térmica, em parte das amostras, superior a 20%.

Apenas as salas de cirurgias avaliadas do hospital H2 e H5 apresentaram um índice de população incomodada com a corrente de ar. A sala de cirurgias do hospital H2 apresentou um índice de 6% a 7% de pessoas incomodadas com a corrente de ar e as salas de cirurgias do hospital H5 um índice de 10% a 12%, aproximadamente. Os índices encontrados também são inferiores ao limite de 15%.

Nas Tabela 16 e 23 pode-se observar que os valores das velocidades médias, nesses ambientes, são 0,11 m/s e 0,13 m/s, para a sala de cirurgia do hospital H2 e 0,21 m/s e 0,18 m/s, para a sala de cirurgia do hospital H5.

As demais salas de cirurgias dos hospitais utilizados na amostra obtiveram as médias das velocidades do ar inferiores a 0,05 m/s, portanto, o índice DR, na Equação 9, anula-se.

Devido às dificuldades de realização de medições nas salas de cirurgias, não foi realizada a medição com o programa B, do confortímetro, portanto, não foram analisados os índices PD e assimetria de radiação. Além disso, pelo mesmo motivo, os equipamentos foram posicionados apenas na zona 2, assim, os resultados de conforto térmico para os cirurgiões e instrumentadores podem não corresponder exatamente à sensação térmica daqueles profissionais, principalmente pela interferência da radiação térmica do foco cirúrgico.

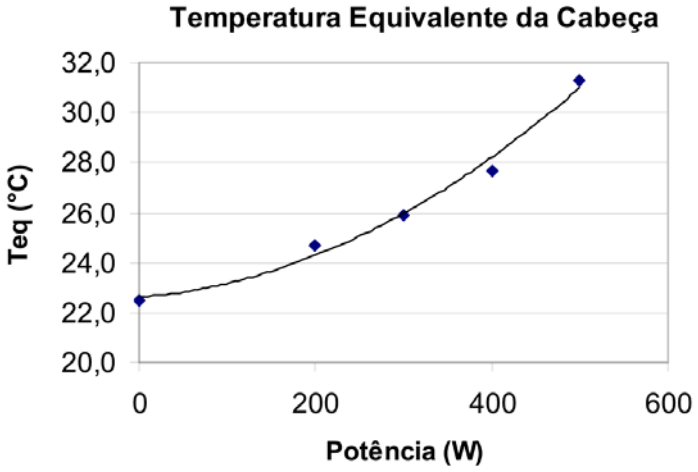

Figura 32 – Temperatura equivalente da cabeça em função da potência do foco cirúrgico. (Félix et al, 2012).

O trabalho realizado por Félix et al (2012) apresenta uma avaliação da interferência da radiação térmica emitida pelo foco cirúrgico, por meio da utilização de manequim térmico, na posição ocupada pelos cirurgiões e instrumentadores, com diferentes potências (0W, 200W, 300W, 400W e 500W). Destacou-se o aumento significativo da temperatura equivalente[13] para a cabeça em função do aumento da potência dissipada pelo foco cirúrgico no desconforto local dos cirurgiões e instrumentadores (Figura 32), comprovado pelo resultado da análise subjetiva (nível de insatisfação de 35%) realizada por meio de entrevista com a equipe cirúrgica ao final dos procedimentos.

5.8 Correlações entre parâmetros de conforto térmico

A fim de se estabelecer uma correlação entre os parâmetros de conforto térmico: temperatura operativa e umidade relativa do ar com o índice PMV utilizaram-se 14 pares de valores para as salas de espera e 20 pares para as salas de cirurgia, representando a média, desses valores, encontrada em cada medição.

Desse modo, os valores foram plotados nos gráficos de dispersão apresentados nas Figuras 33, 34 e 35 e as equações 16, 17 e 18, representam a expressão da sensação térmica (Y), obtida pelo índice PMV, como função da

[13] Para ambientes onde diferentes partes do corpo experimentam diferentes condições térmicas, o conceito mais amplamente utilizado para avaliação de condições de conforto térmico também é o de temperatura equivalente (Teq), definida como sendo a temperatura de um invólucro imaginário, com a temperatura radiante média igual à temperatura do ar e ar parado, no qual a pessoa troca a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que nas condições reais.

variável, temperatura operativa (X), para as salas de espera, salas de cirurgia (cirurgiões e instrumentadores) e salas de cirurgia (anestesistas e enfermeiros), respectivamente.

$$Y = 0{,}295X - 7{,}97 \quad (16)$$

$$Y = 0{,}182X - 3{,}67 \quad (17)$$

$$Y = 0{,}258X - 6{,}40 \quad (18)$$

Assim, correlacionando-se a temperatura operativa com o índice PMV, por meio do gráfico percebe-se, em todos os casos, que o índice PMV é diretamente proporcional à temperatura operativa. Esse fato pode ser comprovado pelo coeficiente de correlação linear de Pearson ou coeficiente de correlação, r, um número adimensional, que varia de -1 a +1, cujo valor revela o grau e o sinal da correlação. Quanto mais próximo de -1 ou de +1, mais forte é a correlação (COSTA NETO, 2002).

Nota-se também que, a partir do R^2 [14] encontrado, especialmente para as salas de cirurgias, no caso dos cirurgiões e instrumentadores, onde $R^2 = 0{,}976$, que 97,6% da variação do PMV estão relacionados a T_o, sendo a porcentagem de predição satisfatória.

O mesmo não se pode dizer para a relação entre o índice PMV e a umidade relativa do ar, não representado aqui, pela irrelevância do resultado.

[14] O coeficiente R^2 revela o percentual da variância de uma das variáveis que pode ser explicado a partir do valor da outra (coeficiente de determinação) e varia de 0 a 1 (COSTA NETO, 2002).

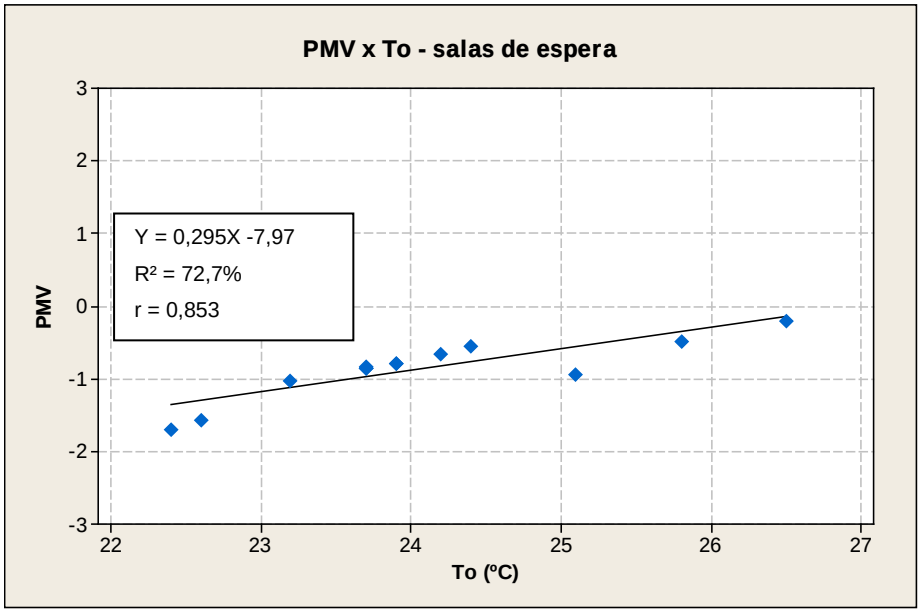

Figura 33 – Correlação entre T_o e PMV para as salas de espera.

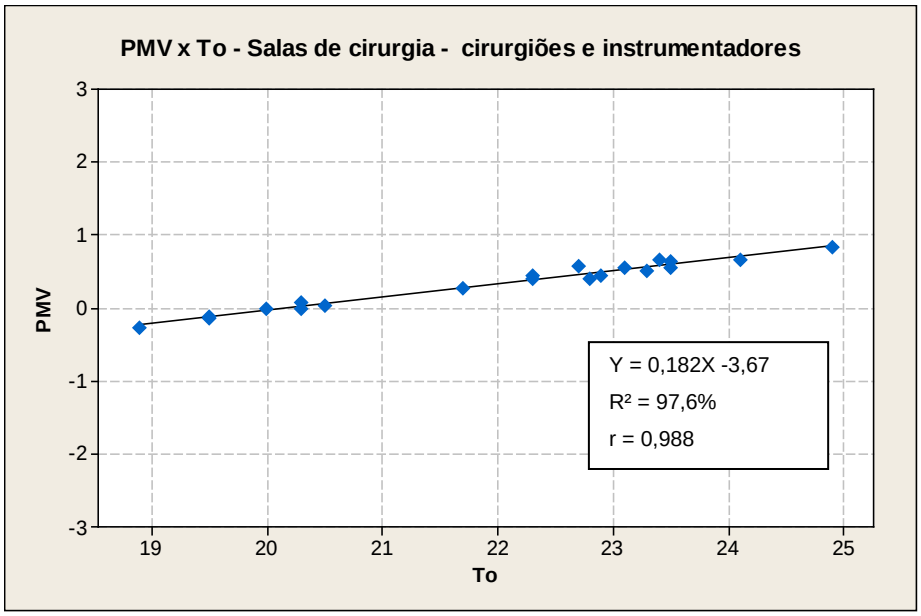

Figura 34 - Correlação entre T_o e PMV para as salas de cirurgia para os cirurgiões e instrumentadores.

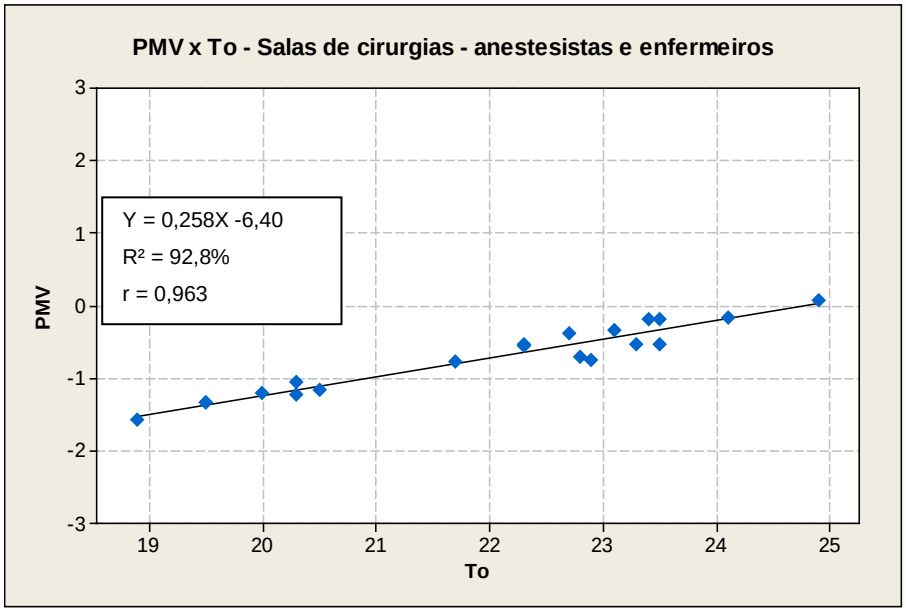

Figura 35 - Correlação entre T_o e PMV para as salas de cirurgia para os anestesistas e enfermeiros.

De acordo com o processamento dos dados e a teoria do conforto de Fanger, conforme apresentado acima, os cirurgiões e instrumentadores sentir-se-iam mais confortáveis termicamente quando a temperatura operativa se encontrasse em torno de 20ºC. A mesma correlação foi realizada para os anestesistas e enfermeiros, obtendo-se o valor de temperatura operativa ideal de 24,5ºC, aproximadamente, para os ocupantes da sala de espera, a sensação de neutralidade térmica fica mais próxima quando o valor aproximado da temperatura operativa é de 27ºC.

Resultado semelhante foi encontrado por Mora, English e Athienitis (2001) para o conforto térmico dos anestesistas e enfermeiros, a faixa de temperatura entre 23ºC e 24ºC, e para a equipe de cirurgia (aqui considerados os cirurgiões e instrumentadores), temperatura entre 18ºC e 19ºC. Os autores encontraram, também, uma faixa de assimetria radiante de 6ºC a 7ºC sobre a mesa cirúrgica e 10ºC a 12ºC a uma altura de 1,10m.

Melhado e Beyer (2004) atrelaram a situação de desconforto dos anestesistas encontrada nas salas de cirurgia à sua atividade física, sua vestimenta e, principalmente, à velocidade do ar. Além desses fatores, durante a realização da investigação de campo, pode ser observado o posicionamento dos profissionais na sala: enquanto os cirurgiões e instrumentadores permanecem de pé, próximos ao foco cirúrgico, considerado uma fonte de calor, os anestesistas e enfermeiros alteram o seu posicionamento entre sentados, na zona 2, afastados do foco cirúrgico

ou de qualquer outra fonte considerável de calor, e fora da sala, em alguns momentos.

5.9 Relação das situações dos ambientes com os referenciais técnicos

A Tabela 5 resume as especificações de projeto dos referenciais internacionais, ASHRAE (2003, 2007, 2008) e nacional, a ABNT NBR 7256 (2005) para a qualidade do ar interno das salas de cirurgias e das salas de espera para pacientes. Além desses referenciais, a Resolução nº 9 da ANVISA (2003) estabelece o valor máximo para a concentração de CO_2 no ambiente interno.

As Figuras 36 e 37 expõem a situação de atendimento à ASHRAE (2003, 2007 e 2008) para as salas de espera dos hospitais, quanto aos parâmetros temperatura e umidade do ar e a concentração de CO_2 pela Resolução nº 09 da ANVISA, 2003, respectivamente. Apenas quarenta por cento das salas de espera estão adequados aos requisitos dos referenciais internacionais e do parâmetro CO_2, para a qualidade do ar interno. Além disso, apenas a sala de espera do hospital H1 atende a todos os referenciais para a qualidade do ar. As salas de espera dos hospitais H2 e H3 não estão em conformidade com nenhum referencial. A sala de espera do hospital H4 não atende apenas à Resolução nº 09 da ANVISA, 2003 e a sala de espera do hospital H5 não atende ao requisito de umidade relativa do ar dos referenciais internacionais. Ainda, ressalta-se o fato de a ABNT NBR 7256/2005 não fazer referência às salas de espera.

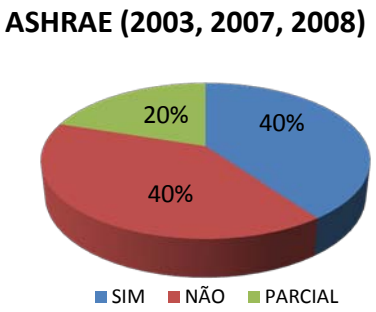

Figura 36 – Percentual de salas de espera que atendem aos referenciais internacionais.

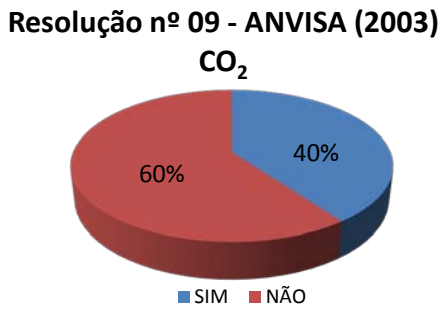

Figura 37 - Percentual de salas de espera que atendem à Res. 09 da ANVISA.

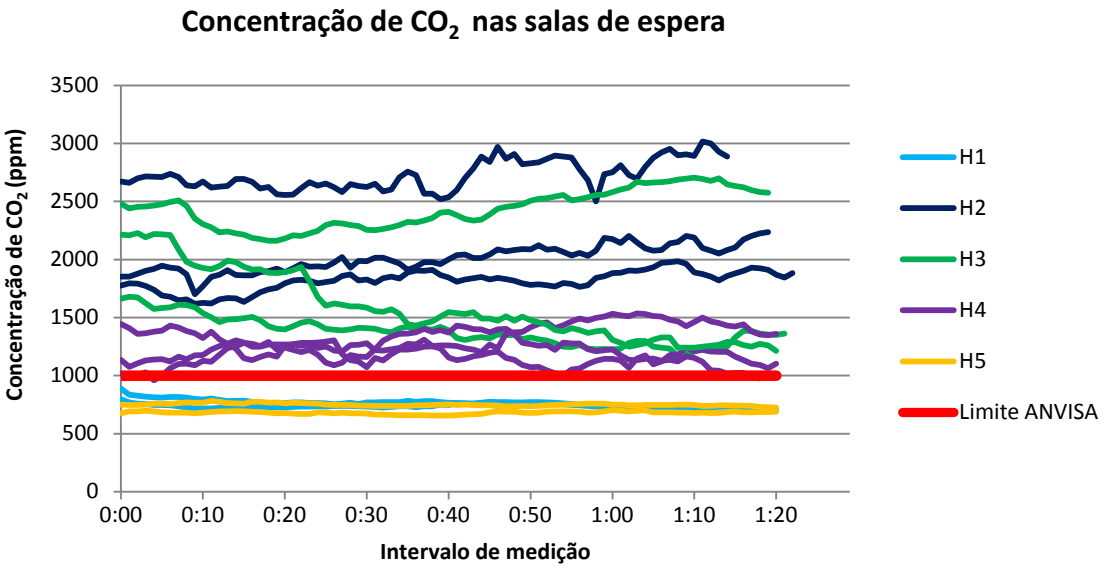

Figura 38 – Concentração de dióxido de carbono nas salas de espera dos hospitais avaliados.

A Figura 38 apresenta a relação entre a concentração de dióxido de carbono encontrada nas amostras dos hospitais avaliados e o limite estabelecido pela Resolução nº 9 da ANVISA, 2003. Constata-se que apenas em duas salas de espera (40% das amostras) a concentração de dióxido de carbono encontrava-se abaixo de 1000 ppm.

Quanto ao atendimento das salas de cirurgias aos referenciais técnicos, 50% desses ambientes atendem à ASHRAE, 2007, quanto aos parâmetros temperatura e umidade do ar (Figura 40), 75% das amostras, não atendem à ABNT NBR 7256 (2005) e nenhum dos ambientes estão em conformidade com o referencial nacional para os parâmetros temperatura e umidade do ar, simultaneamente (Figura 42). Sessenta e dois por cento dos ambientes atendem ao limite estabelecido para o parâmetro CO_2 (Figura 43).

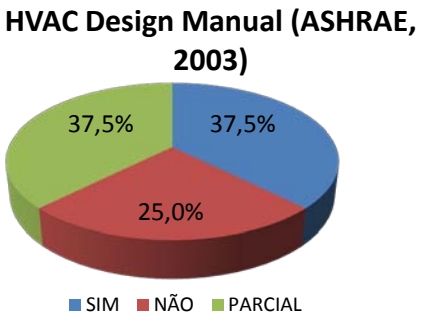

Figura 39 - Percentual de salas de cirurgias que atendem à ASHRAE, 2003.

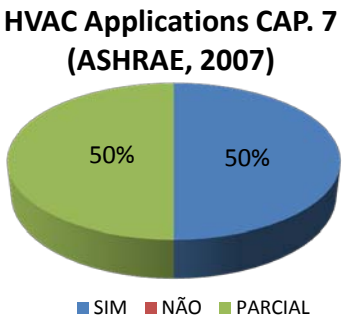

Figura 40 - Percentual de salas de cirurgias que atendem à ASHRAE, 2007.

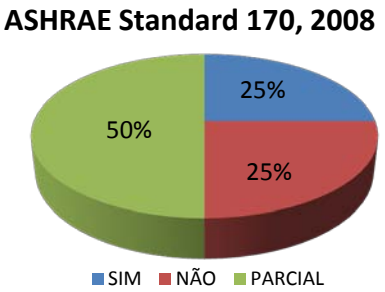

Figura 41 - Percentual de salas de cirurgias que atendem à ASHRAE, 2008.

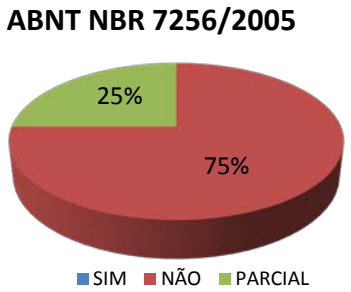

Figura 42 - Percentual de salas de cirurgias que atendem ao referencial nacional.

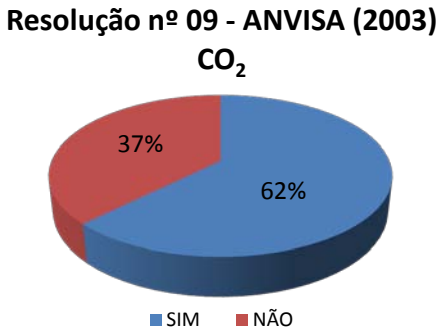

Figura 43 - Percentual de salas de cirurgia que atendem à Res. 09 da ANVISA.

Além disso, a sala de cirurgia nº 01 do hospital H1 é a que mais atende aos referenciais, não atendendo apenas o parâmetro de umidade relativa do ar preconizado na ABNT NBR 7256 (2005). As salas de cirurgia dos hospitais H3 e H6 não atendem aos limites para temperatura e umidade relativa, simultaneamente de nenhum referencial, também não atendem ao limite estabelecido para o parâmetro CO_2.

O atendimento parcial significa que o ambiente está em conformidade com apenas um dos requisitos de temperatura ou umidade do ar.

As Figuras 44 e 45 apresentam o percentual de amostras de salas de espera que atendem aos referenciais para conforto térmico: ISO 7730 (2005), ASHRAE 55 (2004) e ABNT NBR 16401 (2008).

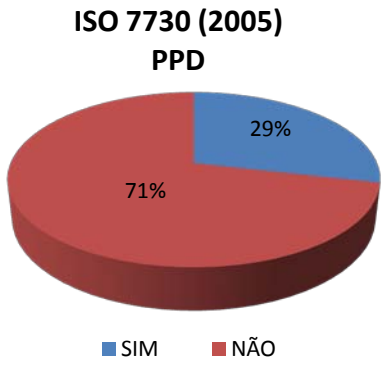

Figura 44 – Percentual de amostras de salas de espera que atendem a ISO 7730 (2005) para o índice PPD.

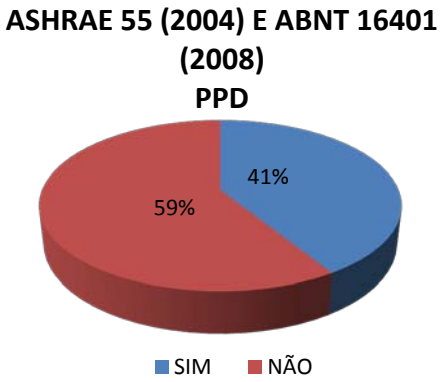

Figura 45 - Percentual de amostras de salas de espera que atendem a ASHRAE 55 (2004) e ao referencial nacional, para o índice PPD.

A partir dessas figuras, percebe-se que a maior parte das amostras não está adequada aos referenciais citados, apesar da queixa, informal, durante as medições serem contrárias aos resultados obtidos por meio do método objetivo, adotado nessa pesquisa. Informalmente, as pessoas, queixavam-se de sensação de calor, exceto nos hospitais H1 e H5, enquanto que os resultados apontaram para sensação de frio, conforme pode ser visto na Figura 26, por meio do índice PMV.

As Figuras 46 a 49 expressam o resultado do percentual de amostras de salas de cirurgia que atendem aos mesmos referenciais, para os ocupantes da zona 1 e zona 2, separadamente, devido às características das vestimentas e nível de atividade.

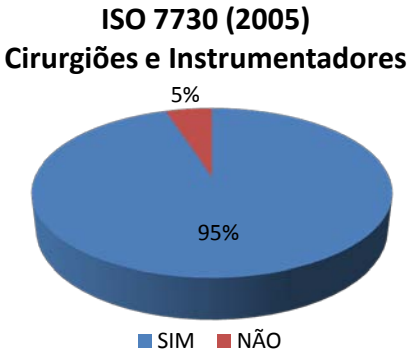

Figura 46 - Percentual de amostras de salas de cirurgia que atendem a ISO 7730 (2005) para os ocupantes da zona 1.

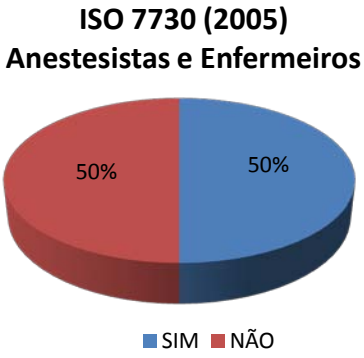

Figura 47 - Percentual de amostras de salas de cirurgia que atendem a ISO 7730 (2005) para os ocupantes da zona 2.

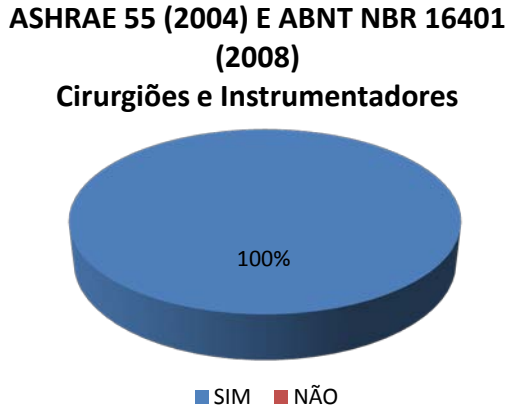

Figura 48 - Percentual de amostras de salas de cirurgia que atendem ao referencial nacional e à ASHRAE 55 (2004), para os ocupantes da zona 1.

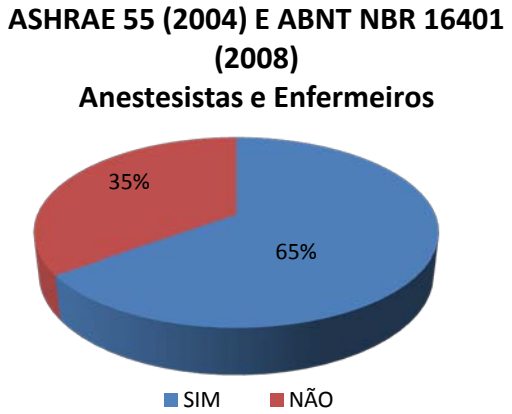

Figura 49 - Percentual de amostras de salas de cirurgia que atendem ao referencial nacional e à ASHRAE 55 (2004), para os ocupantes da zona 2.

Diferente das salas de espera, as amostras das salas de cirurgia apresentaram maior adequação aos referenciais para conforto, principalmente para os ocupantes da zona 1, apesar também das queixas, informais, serem constantemente de sensação de calor.

Todas as amostras, para os ocupantes dessa zona, apresentaram-se adequadas com o referencial nacional e à ASHRAE 55 (2004), cujo limite para o percentual de insatisfação (PPD) é o mais amplo (20%) (Figura 48).

Para os ocupantes da zona 2, o percentual de atendimento aos referenciais foi menor do que para os ocupantes da zona 1, sendo o percentual de adequação à ISO 7730 (2005) o menor deles.

A fim de estabelecer uma relação dos resultados encontrados com os sistemas de climatização existentes nos ambientes estudados, apresenta-se a Tabela 25, a seguir. Ela relaciona o ano da construção dos hospitais à data de instalação do sistema de climatização e ao tipo desse sistema.

Tabela 25 – Ano da construção dos hospitais e da instalação do sistema de climatização.

Hospital	Ano de construção	Data de instalação do sistema de climatização			
		Centro cirúrgico	Sistema	Sala de espera	Sistema
H1	2009	2009	Central	2009	Central
H2	1998	1998	Central	2010	Split-system
H3	1961	1991	Central	Sem informação	Split-system
H4	1996	2000	Central	1996	Central
H5	1982	1999	Central	2008	Central
H6	1973	2010	Split-system	-	-

A partir dessa tabela, observa-se que as salas de espera dos hospitais H1 e H5, com sistema de climatização do tipo sistema de expansão indireta, foram as que apresentaram os melhores resultados, sendo a sala de espera do hospital H1 a única em conformidade com todos os referenciais, tomando como base os valores médios dos parâmetros mensurados. Os piores resultados para a qualidade do ar foram encontrados nas salas de espera dos hospitais H2 e H3 que além do tipo de sistema de climatização adotados, foram os ambientes com maior concentração de pessoas.

A sala de cirurgia do hospital H6, que também possui como sistema de climatização o do tipo *split-system*, também foi o que apresentou a pior situação quanto à média da concentração de CO_2, apesar do hospital H3 ter apresentado a maior máxima. Além disso, foi onde se encontrou o índice de umidade relativa mais baixo, 40,8%.

Graudenz et al. (2002) com o objetivo de relacionar as queixas respiratórias com a idade do sistema de climatização, realizaram um estudo em edifícios de escritórios, climatizados, na cidade de São Paulo. Os autores encontram maior agravamento dos sintomas respiratórios no edifício com sistema de climatização mais antigo (>20 anos de uso). Nesse edifício os autores constataram filtração ineficiente e baixos valores de temperatura e umidade relativa do ar.

Adequada manutenção dos sistemas de climatização deve ser realizada para que o sistema possa operar em conformidade com o especificado em projeto. A ausência dessa conformidade pode acarretar em um aumento na concentração de poluentes no ambiente interno, além de um aumento também no gasto energético na edificação.

5.10 Simulação do consumo energético nas salas de espera

Para a simulação do consumo energético associado à vazão de ar para renovação em salas de espera, para pacientes, utilizaram-se as equações 19 e 20 da Britsh Standard (1991)[15], variando-se a concentração de CO_2, do ambiente interno, utilizada como indicador de qualidade e renovação do ar interno.

Considerou-se, para um caso de um ambiente hipotético, temperatura externa de 27ºC, umidade relativa do ar externo de 60%, dados aproximados da condição do ambiente externo durante o período de medição, e concentração de CO_2 no ambiente externo de 400 ppm, conforme faixa de concentração descrita na ABNT NBR16401 (2008). Para o ambiente interno, considerou-se 24º C de temperatura e 55% de umidade relativa.

Além disso, foi levado em consideração apenas o tempo em que o ambiente é plenamente ocupado, isto é, durante o dia, atingindo uma concentração de 100 pessoas durante 8h por dia.

$$Q_{ren} = \dot{m} \,.\, \Delta h \tag{19}$$

$$Q = q.\frac{1 - C_e}{C_E - C_e} \tag{20}$$

Sendo:

Q_{ren} = vazão de ar para renovação (kcal/h);

Δh = variação de entalpia do ar externo e interno (kcal/kg ar seco);

Q = vazão de ar exterior (l/s);

q = vazão de poluentes (l/s);

C_E = taxa de equilíbrio dos poluentes (kg/kg);

C_e = concentração de poluentes no ar exterior (kg/kg).

A Tabela 26 apresenta o resultado da simulação do consumo de energia pelo sistema de renovação de ar do sistema de ar condicionado, em uma sala de espera para paciente, em edifício hospitalar.

[15] Na ausência de informações mais precisas sobre a renovação do ar na sala, foi utilizada esta formulação, que é mais adequada à ventilação natural.

Tabela 26 - Resultado da simulação do consumo de energia pelo sistema de renovação de ar do sistema de ar condicionado em sala de espera.

Concentração de CO_2 no ambiente interno (ppm)	***Consumo de energia total anual (kWh)***
500	43026
600	21513
700	14342
800	10757
900	8605
1000	7171
1500	3911
2000	2689
2500	2048
3000	1654

A partir dessa tabela, verifica-se que apesar do acréscimo considerável no consumo de energia com a renovação de ar, em mais de três vezes, para manter a concentração de CO_2 abaixo dos níveis recomendados pela Resolução nº 9 da ANVISA (2003), essa medida é fundamental para fornecer a qualidade do ar interno, especialmente em ambientes hospitalares.

Considerando uma tarifa anual de consumo de energia elétrica média de R$300,00/MWh[16], tem-se um aumento de R$1.655,00 por ano no consumo de energia com a renovação do ar, para manter a concentração de CO_2 abaixo de 1000ppm, nesse ambiente. Este valor é insignificante em razão dos benefícios da renovação de ar adequada nos ambientes, especialmente naqueles onde a qualidade do ar é uma condição fundamental para auxílio no controle da infecção hospitalar.

[16]Em:http://rad.aneel.gov.br/reportserverSAD?%2fSAD_REPORTS%2fSAMP_TarifaMedCConsumoRegiao&rs:Command=Render. Acesso: 18/10/2012.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Procurou-se, nesta pesquisa, estabelecer uma relação entre os aspectos de conforto térmico e qualidade do ar encontrados nos ambientes hospitalares estudados, os sistemas de climatização adotados e os critérios determinados pelos referenciais normativos, nacionais e internacionais que regulamentam o tema, por meio de uma avaliação objetiva, utilizando-se instrumentos para monitoramentos dos dados em campo.

Os referenciais utilizados com a finalidade de estabelecer uma análise da situação encontrada com os critérios de conforto térmico e qualidade do ar de edifícios assistenciais à saúde apresentaram-se divergentes quanto à determinação desses critérios. Sendo o referencial nacional (ABNT NBR 7256, 2005) o mais rigoroso para as salas de cirurgia, no aspecto de qualidade do ar, entretanto, não faz referência às salas de espera. Quanto ao aspecto de conforto térmico, o referencial nacional (ABNT NBR 16401, 2008) e a ASHRAE 55 (2004) são menos rigorosos, cujo limite para o percentual de insatisfação (PPD < 20%) é mais amplo do que o percentual estabelecido pela ISO 7730 (2005), portanto o percentual das amostras que estão em conformidade com os referenciais é maior. Além disso, destaca-se o fato de não ter encontrado referencial técnico para orientação da avaliação do diferencial de pressão, tomando-se como base os estudos encontrados nos periódicos científicos a respeito do assunto.

A ausência de padronização entre os referenciais aumentam as faixas que limitam os parâmetros de conforto e qualidade do ar, desse modo, dificultando uma análise mais objetiva. Além disso, essa padronização pode ser necessária para uma efetiva orientação do controle desses aspectos no ambiente.

Neste trabalho, também se pôde observar que mesmos nas salas de cirurgias onde a pressão diferencial apresentava valores entre 14 Pa e 16 Pa, havia momentos em que a diferença de pressão com o ambiente adjacente a ele (corredor) era nula ou abaixo de zero. Constatando-se a ausência de garantia de pressão positiva nas salas de cirurgias, seja pela falha construtiva ou de projeto para assegurar adequada estanqueidade do ambiente.

Nas salas de cirurgias dos hospitais analisados, pode-se constatar que os valores de temperatura do ar encontrados não ultrapassaram as faixas preconizadas

nos referenciais técnicos para a qualidade do ar, em nenhum momento. A umidade relativa do ar, entretanto, mesmo quando os valores médios enquadraram-se dentro das faixas, em algum momento essa faixa era extrapolada. O hospital H3 apresentou os maiores índices de umidade: na sala nº 06, a média foi de 61,4%, com máxima registrada de 67,6% e na sala nº 01, a média foi de 72% e a máxima de 77,8%, todos, no segundo dia de medição. O máximo valor encontrado para o nível de dióxido de carbono foi 1.611 ppm, na sala nº 01 do hospital H3.

Nas salas de espera, entretanto, a concentração de CO_2 ultrapassou o limite estabelecido pela Resolução nº 9 da ANVISA, especialmente em ambientes com alta concentração de pessoas associado ao sistema de climatização do tipo *split-system*. Na sala de espera dos ambulatórios do hospital H2 encontrou-se um índice de 3.016 ppm, no segundo dia de medição.

Quanto ao sistema de climatização adotado em cada ambiente, pode-se observar que as salas de espera com sistema de expansão indireta, foram as que apresentaram os melhores resultados. Os piores resultados para a qualidade do ar foram encontrados nas salas de espera dos hospitais H2 e H3 que além do tipo de sistema de climatização, do tipo *split-system* adotado, foram os ambientes com maior concentração de pessoas.

A sala de cirurgia do hospital H6, que também possui como sistema de climatização o tipo *split-system*, também foi o que apresentou a pior situação quanto à média da concentração de CO_2, apesar do hospital H3 ter registrado a maior máxima. Além disso, foi onde se encontrou o índice de umidade relativa do ar mais baixo, 40,8%.

Diante do exposto, percebeu-se que na maior parte dos ambientes estudados não se considerou importante a renovação do ar interno, atingindo elevadas concentrações de CO_2, que acabam comprometendo a saúde das pessoas, especialmente em salas de espera, para paciente, onde a condição clínica dessa população pública não é controlada, o que pode aumentar o risco de contaminações.

Com a ausência de manutenção preventiva, e mesmo a corretiva, por falta de conhecimento técnico e dos males que estas condições podem causar, o sistema pode operar em desconformidade com o especificado em projeto, acarretando em um aumento na concentração de poluentes no ambiente interno, além de um aumento também no gasto energético. Desta forma, no caso do sistema de

expansão indireta, a manutenção inadequada em cada componente pode contribuir para a diminuição da eficiência do sistema.

Esse estudo também permitiu estimar os valores de temperatura operativa para promoção do conforto dos ocupantes das salas de espera, em torno de 27ºC e das salas de cirurgia, aproximadamente, 20ºC para cirurgiões e instrumentadores, e 24,5ºC para anestesistas e enfermeiros, obtidos a partir da equação originada pelo resultado da correlação entre o PMV e a temperatura operativa.

Nessa pesquisa de mestrado não foram encontradas altas velocidades do ar nas salas de cirurgias que justificasse o desconforto térmico encontrado para os anestesistas e enfermeiros. A máxima velocidade média do ar foi encontrada no hospital H5, 0,21 m/s, sendo o limite da ISO 7730 (2005) e ASHRAE 55 (2004) de 0,20 m/s.

Desse modo, como a resistência térmica da vestimenta e o nível de atividade da equipe de cirurgia são maiores do que os dos anestesistas e enfermeiros, considerando estarem sob as mesmas condições ambientais, para que todos os indivíduos encontrem-se em neutralidade térmica, uma solução simplificada seria aumentar a resistência térmica da vestimenta do segundo grupo, uma vez que os outros parâmetros são mais difíceis de serem alterados, seja por motivos de assepsia exigida no ambiente ou pelo nível de atividade requerida para cada profissional.

Além disso, o motivo do resultado do cálculo do PMV para os cirurgiões e instrumentadores ter se aproximado da neutralidade térmica, apesar de queixas informais de sensação de calor pode ter sido o fato de se ter desconsiderado o calor emitido pelo foco cirúrgico e, consequentemente, os efeitos sobre os cirurgiões e instrumentadores.

Quanto ao resultado da temperatura operativa ideal encontrada para os anestesistas e enfermeiros observou-se que esta se encontra dentro do intervalo de conforto térmico estabelecido nos referenciais assim como o resultado encontrado para a temperatura operativa ideal para os ocupantes das salas de espera.

Nesse trabalho, porém, não foi levado em consideração o conforto térmico do paciente por ser um assunto que envolve outras condições de estado físico do indivíduo, sendo este tema outro foco de pesquisa. Além disso, para a avaliação do conforto térmico foi aplicado o modelo de Fanger (1972) que foi desenvolvido para determinação do conforto térmico para um grupo de pessoas de adultos e

saudáveis, apesar da grande aplicação para determinação do conforto térmico para indivíduos de outras faixas etárias e outras condições físicas.

Percebeu-se, com o trabalho desenvolvido, a necessidade de melhoria no conhecimento da interação entre os ocupantes e o ambiente, especialmente em ambientes onde o controle se faz necessário para a promoção da saúde, sem desconsiderar-se, entretanto, os padrões de conforto térmico e os seus benefícios para a saúde.

Além disso, atenção com o desperdício de energia e a qualidade do ar de ambientes internos deve ser considerada não somente na fase de projeto, mas, especialmente, nas fases de operação e uso de uma edificação.

6.1 Propostas para trabalhos futuros

Com o objetivo de ampliar o estudo realizado para obtenção de informações que, associadas aos resultados existentes, possam fornecer soluções para os problemas encontrados, sugere-se, para trabalhos futuros:

- Parceria com instituições interessadas no assunto a fim de propor uma padronização de normas;
- Avaliar detalhadamente a queda de pressão nas salas de cirurgias com diferentes situações de interferência no ambiente e estudar uma proposta construtiva que satisfaça as exigências do ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, N. J.; JOHNSON, D. L.; LYNCH, R. A. The effect of pressure differential and care provider movement on airborne infectious isolation room containment effectiveness. **American Journal of Infection Control***,* n. 39, v. 2, p. 91-97, 2011.

AIA. American Institute of Architects. **Guidelines for the Design and Construction of Hospital and Health Care Facilities**. Washington, 2001.

ANSI/ASHRAE STANDAD 55. American National Standards Institute. American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers. **Thermal Environmental Conditions of Human Occupancy.** Atlanta, 2004.

ASHRAE/ASHE STANDARD 170 - American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers. American Society for Healthcare Engineering. **Ventilation of Health Care Facilities.** Atlanta, 2008.

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers. **Handbook of Fundamentals.** Atlanta, 2009.

_____. **HVAC Applications.** Atlanta, 2007.

_____. **HVAC Design Manual for Hospital and Clinics.** Atlanta, 2003.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – **NBR 7256**: Tratamento de ar em estabelcimentos assistenciais a saúde (EAS) – Requisitos para projeto e execução das instalações. Rio de Janeiro, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – **NBR 16401**: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro, 2008. 91 p.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. **Resolução – nº 9 de 16 de janeiro de 2003**. Dispõe sobre os Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo, e dá outras providências. Brasília, 2003.

_____. **Resolução RDC nº 50, de 21 de fevereiro de 2002**. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde. Brasília, 2002.

BICALHO, F. C.; **A arquitetura e a engenharia no controle de infecções.** Rio de Janeiro: Rio Books, 2010.

BRITISH STANDARD. **Code of Practice for Ventilation Principles and Designing for Natural Ventilation**. U.K, 1991.

COSTA NETO, P. L. O.; **Estatística**. São Paulo: Edgar Blücher, 2002.

CHEONG, K. W. D.; PHUA, S. Y. Development of ventilation design strategy for effective removal of pollutant in the isolation room of a hospital. **Building and Environment** n. 41, p. 1161-1170, 2006.

DASCALAKI, E.; LAGOUDI, A.; BALARAS, C.; GAGLIA, A. Air quality in hospital operating rooms. **Building and Environment** n. 43, p. 1945-1952, 2008.

_____. Indoor environmental quality in Hellenic hospital operating rooms. **Energy and Buildings,** n. 41, p. 551-560, 2009.

DELTAOHM. **Manual Confortímetro HD 32.1.** Microclima Termal Brasileiro. [Itália], 2007. 148 p.

EMMERICH, S. J. ,HEINZERLING, D., CHOI J. , PERSILY A. K. Multizone modeling of strategies to reduce the spread of airborne infectious agents in healthcare facilities. **Building and Environment,** n. 60, p. 105-115, 2013.

FANGER, O. **Thermal comfort – Analysis and application in environmental engineering**. Copenhagen: McGraw-Hill, 1972. 244p.

FELIX, V. B. **Condições de conforto térmico e desconforto local em salas cirúrgicas.** 2008. 110p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

FELIX, V. B.; PEREIRA, M. L.; MOURA, D.; TRIBESS, A. Análise de desconforto térmico local em ambientes cirúrgicos com o uso de manequim, medição de variáveis ambientais e avaliação subjetiva**. Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 115-129, 2012.

GRAUDENZ, G.S., KALIL, J., SALDIVA, P.H., GAMBALE, W., LATORRE, M.D.R.D.O., MORATO-CASTRO, F.F. Upper respiratory symptoms associated with aging of the ventilation system in artificially ventilated offices in São Paulo, Brazil. **Chest**, n. 122 v. 2, p. 729-735, 2002.

GOMES, A. F. **Calibração e compensação de sensores de pressão piezorresistivos.** 2009. 109p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

GÓES, R. **Manual prático de arquitetura hospitalar.** São Paulo: Edgard Blücher, 2004. 193 p.

HO, S.; ROSARIO, L.; RAHMAN, M. Three-dimensional analysis for hospital operating room thermal comfort and contaminant removal. **Applied Thermal Engineering** n. 29, p. 2080-2092, 2009.

HOOF, Van J. Forty years of Fanger's model of thermal comfort: Comfort for all? **Indoor Air**, n. 18, p. 182-201, 2008.

HUMPREYS, H. Positive-pressure isolation and the prevention of invasive aspergillosis. What is the evidence? **Journal of Hospital Infection**, n. 56, v. 2, p. 93-100, 2004.

HWANG, R. L.; LIN, T. P.; CHENG, M. J.; CHIEN, J. H. Patient thermal comfort requirement for hospital environments in Taiwan. **Building and Environment**, n. 42, p. 2980-2987, 2007.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726: thermal environments-instruments and methods for measuring physical quantities**. Switzerland, 1998.

_____. **ISO 7730: Ergonomics of thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**. Geneva, 2005. 56 p.

KARTHIKEYAN, C. P.; SAMUEL, A. A. CO_2-dispersion studies in an operation theatre under transient conditions. **Energy and Buildings** n. 40, p. 231-239, 2008.

KHALIL, R. A.; KHALIL, E. E. Indoor air quality in hospitals applications. In: Proceedings of the 5th IBCP, 2012, Japão. **Anais.** Japão: 2012. p. 997-1004.

KHODAKARAMI, J.; NASROLLAHI, N. A literature review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 16, p. 4071-4077, 2012.

LEWIS, J. R. Operating room air distribution effectiveness. **ASHRAE Transactions**, v. 99, n. 2, p. 1191-1199, 1993.

MARTE, C. L. Automação Predial. **A Inteligência Distribuída nas edificações**. São Paulo: Carthago. 1995.

MELHADO, M. A.; BEYER, P. O. Avaliação do conforto térmico em salas cirúrgicas. In: Congresso de ar condicionado, refrigeração, aquecimento e ventilação do MERCOSUL, 2004, Curitiba. **Anais do Mercofrio**, Curitiba: 2004.

MEMARZADEH, F.; MANNING, A. Reducing risks of surgery. **ASHRAE Journal**, n. 45, v. 2, p.28-33, 2003.

MITTELDORF, C.; RASSLAN, S.; BIROLINI, D. **Infecção e cirurgia**. São Paulo: Atheneu, 650 p, 2007.

MORA, R.; ENGLISH, M.J.M.; ATHIENITIS, A. K. Assessment of thermal comfort during surgical operations. **ASHRAE Transactions***,* n. 107, v. 1, p.52-60, 2001.

MORAES, A. P. **Qualidade do ar interno com ênfase na concentração de aerodispersóides nos edifícios.** 2006. 159 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PEREIRA, M. L.; **Medição, predição e análise de partículas aéreas em salas cirúrgicas**. 2008. 196p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

QIAN, H.; LI, Y.; NIELSEN, P. V.; HYLDGAARD, C. E. Dispersion of exhalation pollutants in a two-bed hospital ward with a downward ventilation system. **Building and Environment** n. 43, p. 344-354, 2008.

RICE, N.; STREIFEL, A.; VESLEY, D. An evaluation of hospital special-ventilation-room pressures. **Infection Control and Hospital Epidemiology**, n. 22, v. 1, p. 19-23, 2001.

RUI, Z.; GUANGBEI, T.; JIHONG, L. Study on biological contaminant control strategies under different ventilation models in hospital operating room. **Building and Environment** n. 43, p. 793-803, 2008.

SANTOS, A. A. M.; LOPES, F. F. P.; CARDOSO, M. R. A.; SERUFO, J. C. **Diagnóstico do controle da infecção hospitalar no Brasil**. Brasília: ANVISA. 2005.

SKOOG, J.; FRANSSON, N.; JAGEMAR, L. Thermal environment in Swedish hospitals: Summer and winter measurements**. Energy and Buildings**, n. 37, p. 872-877, 2005.

STOECKER, W.; JONES, J. **Refrigeração e ar condicionado.** São Paulo: McGraw-Hill. 1985.

SUZUKI, E. H. **Avaliação do conforto térmico e do nível de CO_2 em edifícios de escritório com climatização artificial na cidade de São Paulo.** 2010. 146 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

TRIBESS, A. **Ventilação, qualidade do ar e conforto térmico**. São Paulo: Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011. Notas de aula.

VERHEYEN, J.; THEYS, N.; ALLONSIUS, L.; DESCAMPS, F. Thermal comfort of patients: Objective and subjective measurements in patient rooms of a Belgian healthcare facility. **Building and Environment**, n. 46, p. 1195-1204, 2011.

XAVIER, A. A. P.; LAMBERTS, R. Indices of termal comfort developed from field survey in Brasil. **ASHRAE Transactions**, n. 196, v.1, p. 45-58, 2000.

WORLD HEALTH ORGANIZATION WHO. **Prevention of hospital-acquired infections**: A practical guide. 2002.

WANG, X.; BI, X.; CHEN, D.; SHENG, G.; FU, J. Hospital indoor respirable particles and carbonaceous composition. **Building and Environment** n. 41, p. 992-1000, 2006.