VICTOR BARBOSA FELIX

CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO E
DESCONFORTO LOCAL EM SALAS CIRÚRGICAS

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

São Paulo

2008

VICTOR BARBOSA FELIX

CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO E
DESCONFORTO LOCAL EM SALAS CIRÚRGICAS

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

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica

Orientador:
Prof. Dr. Arlindo Tribess

São Paulo

2008

FICHA CATALOGRÁFICA

Felix, Victor Barbosa

Condições de conforto térmico e desconforto local em salas cirúrgicas. São Paulo, 2008.
80p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Ar condicionado 2. Conforto térmico 3. Ambientes cirúrgicos 4. Qualidade do ar. I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II. t

À minha adorável esposa, Katarina Cerboncini Felix, que com toda sua ternura, alegria e amor completam minha vida.

Ao meu amado filho, Arthur Cerboncini Felix, que com seu sorriso mostra que todo esforço vale a pena.

Aos meus pais, José de Souza Felix Neto e Maria Aparecida Barbosa Felix, por todos os esforços realizados ao longo de suas histórias diante das adversidades.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Arlindo Tribess, pelo esforço e paciência, que ao longo desses anos muito me ensinou, contribuindo para meu crescimento intelectual, profissional e pessoal.

Aos colegas Marcelo Luiz Pereira e Danilo de Moura pela ajuda prestada nos ensaios experimentais e na elaboração da dissertação.

À Prof. Dra. Brenda Chaves Coelho Leite e ao Prof. Dr. Maurício Silva Ferreira pelas relevantes contribuições para o aprimoramento deste trabalho.

Ao CNPq pela bolsa concedida.

À Dra. Linda Ferreira Maximiano, ao Prof. Dr. José Pinhata Otoch e à Enfermeira Andréa Tamancoldi Couto pela receptividade, colaboração e apoio nos ensaios realizados no Hospital Universitário da Universidade de São Paulo.

Ao Prof. Dr. Flávio Galvão pelo entusiasmo e ajuda prestada para a realização de ensaios na Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

Ao Eng. Tomaz Puga Leivas pela constante disposição e contribuição para a realização dos ensaios no Instituto de Ortopedia do Hospital das Clínicas.

Aos colegas do programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da EPUSP

Aos colegas docentes da Universidade Cruzeiro do Sul – Unicsul.

A todos que colaboraram na realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE SÍMBOLOS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 <i>Objetivos</i>	8
1.2 <i>Organização do trabalho</i>	9
2 CONFORTO TÉRMICO	10
2.1 <i>Introdução</i>	10
2.2 <i>O sistema termorregulador</i>	10
2.3 <i>Balanco térmico do corpo humano</i>	13
2.4 <i>Método de avaliação do conforto térmico pelo modelo proposto por Fanger</i>	15
2.5 <i>Avaliação de ambientes térmicos</i>	18
2.5.1 <i>Voto médio estimado (PMV)</i>	19
2.5.2 <i>Percentagem de pessoas insatisfeitas (PPD)</i>	23
2.5.3 <i>Desconforto térmico local</i>	23
3 AMBIENTES CIRÚRGICOS	26
3.1 <i>Qualidade do ar em ambientes cirúrgicos</i>	26
3.2 <i>Distribuição de ar em salas cirúrgicas</i>	34
3.2.1 <i>Sistemas com fluxo turbulento</i>	35
3.2.2 <i>Sistemas com fluxo unidirecional (fluxo “laminar”)</i>	36
4 MÉTODO DE TRABALHO	41
4.1 <i>Introdução</i>	41
4.2 <i>Condições de ensaio</i>	42
4.2.1 <i>Ensaio A e B</i>	43
4.2.2 <i>Ensaio C</i>	45
4.2.3 <i>Ensaio D</i>	46
4.2.4 <i>Equipe cirúrgica</i>	48
4.2.5 <i>Medições das variáveis ambientais</i>	50
4.2.6 <i>Análise subjetiva</i>	54
4.2.7 <i>Desconforto local</i>	55

5 RESULTADOS DOS ENSAIOS E ANÁLISE	56
5.1 <i>Introdução</i>	56
5.2 <i>Variáveis ambientais</i>	56
5.3 <i>Comparações entre os valores de PMV calculados e PMV dos questionários</i>	58
5.4 <i>Análise das condições de conforto térmico</i>	61
5.5 <i>Variação da sensação térmica durante o procedimento cirúrgico</i>	64
5.6 <i>Avaliação de desconforto local</i>	66
5.7 <i>Comparação dos resultados com outros trabalhos</i>	69
6 CONCLUSÕES	73
6.1 <i>Proposta para trabalhos futuros</i>	74
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXO A – MODELO DE QUESTIONÁRIO UTILIZADO PARA AVALIAÇÃO SUBJETIVA	
ANEXO B – DADOS UTILIZADOS	

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Metabolismos para diferentes atividades	17
Tabela 2.2	Escala de sensação térmica da ASHRAE	18
Tabela 2.3	Determinação do voto médio estimado - PMV (ISO 7730,1994). Atividade sedentária (met = 1.0) e umidade relativa do ar de 50%	22
Tabela 3.1	Recomendações para condições de trabalho em ambientes cirúrgicos. (Balaras et al., 2006)	34
Tabela 4.1	Condições estudadas	42
Tabela 4.2	Valores de resistência de roupa e nível de atividade para os membros da equipe cirúrgica	50
Tabela 4.3	Características dos instrumentos utilizados	51
Tabela 4.4	Sensação térmica, PMV e PPD (Fanger, 1972)	55
Tabela 5.1	Variáveis ambientais na zona 1 e temperatura do ar insuflado	57
Tabela 5.2	Variáveis ambientais na zona 2 e condições ambientais externas à sala	57
Tabela 5.3	Diferenças entre temperaturas do ar (°C)	58
Tabela 5.4	Valores ideais de temperatura do ar (zona 1), temperatura do ar insuflado e resistência da roupa (zona 2)	63
Tabela 5.5	Respostas referentes a suor e aquecimento devido ao foco cirúrgico (ZONA 1).	66
Tabela 5.6	Respostas referentes a suor e desconforto local (ZONA 2)	67
Tabela 5.7	Porcentagem de pessoas insatisfeitas	68
Tabela 5.8	Valores utilizados para os cálculos da temperatura equivalente	71
Tabela 5.9	Comparação dos valores de temperaturas equivalentes preferenciais	72
Tabela B.1	Valores das variáveis ambientais na zona 2	
Tabela B.2	Valores das variáveis ambientais na zona 1	
Tabela B.3	Valores de PMV obtidos pelos questionários referentes a sensação térmica durante a cirurgia	
Tabela B.4	Valores de PMV obtidos pelos questionários referentes a sensação térmica no início da cirurgia	
Tabela B.5	Valores das variáveis ambientais na zona 2	

- Tabela B.6 Valores das variáveis ambientais na zona 1
- Tabela B.7 Valores de PMV obtidos pelos questionários referentes a sensação térmica durante a cirurgia
- Tabela B.8 Valores de PMV obtidos pelos questionários referentes a sensação térmica no início da cirurgia
- Tabela B.9 – Valores das variáveis ambientais na zona 2
- Tabela B.10 – Valores das variáveis ambientais na zona 1
- Tabela B.11 – Valores de PMV obtidos pelos questionários referentes à sensação térmica durante a cirurgia
- Tabela B.12 – Valores de PMV obtidos pelos questionários referentes à sensação térmica no início da cirurgia
- Tabela B.13 – Valores das variáveis ambientais na zona 2
- Tabela B.14 – Valores das variáveis ambientais na zona 1
- Tabela B.15 – Valores de PMV obtidos pelos questionários referentes à sensação térmica durante a cirurgia
- Tabela B.16 – Valores de PMV obtidos pelos questionários referentes à sensação térmica no início da cirurgia

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Zonas das salas de cirurgia segundo critérios de assepsia	5
Figura 2.1	Centros de controle do hipotálamo	11
Figura 2.2	Modelo cilíndrico da interação térmica: corpo humano – meio envolvente	14
Figura 2.3	Carta psicrométrica com a indicação da zona de conforto em ambientes climatizados segundo a norma ASHRAE 55 (2004)	23
Figura 2.4	Relação entre PMV e PPD	24
Figura 3.1	25% de renovação do ar	30
Figura 3.2	Eficiência de filtros HEPA	31
Figura 3.3	Redução da concentração de partículas de filtros HEPA em função do número ACH de trocas de ar por hora	32
Figura 3.4	Efeito do UVGI	33
Figura 3.5	Insuflamento pelo teto	35
Figura 3.6	Insuflamento pela parede	36
Figura 3.7	Insuflamento diagonal	36
Figura 3.8	Fluxo laminar com painéis	38
Figura 3.9	Painéis de proteção localizado a 2 m do piso	38
Figura 3.10	Fluxo de ar com cortina de ar	39
Figura 3.11	Fluxo laminar com cortina plástica	39
Figura 3.12	Sistema sem proteção	40
Figura 4.1	Vista em planta e seção das regiões nas salas cirúrgicas	42
Figura 4.2	<i>Layout</i> da sala cirúrgica utilizada para a realização dos ensaios A e B	43
Figura 4.3	Sistema de ar condicionado condição do ensaio A	44
Figura 4.4	Sistema com insuflamento pela parede (detalhe da grelha de insuflamento)	44
Figura 4.5	Layout da sala cirúrgica utilizada para a realização do ensaio D	45
Figura 4.6	Sistema de ar condicionado condição do ensaio C	46
Figura 4.7	Sistema com insuflamento pelo teto	46
Figura 4.8	Layout da sala cirúrgica utilizada para a realização do ensaio D	47

Figura 4.9	Sistema de ar condicionado nas condições do ensaio D	47
Figura 4.10	Sistema de ar condicionado com fluxo unidirecional	48
Figura 4.11	Sensor de temperatura do ar e anemômetro omnidirecional	51
Figura 4.12	Sensor de temperatura do ar, velocidade e termômetro de Globo	52
Figura 4.13	Módulo de aquisição de dados	52
Figura 4.14	Pedestal de suporte e sistema de aquisição de dados	53
Figura 4.12	Software de aquisição - Aba das Temperaturas dos Pedestais	53
Figura 4.13	Software de aquisição - Aba das velocidades dos pedestais	54
Figura 4.14	Disposição dos equipamentos	54
Figura 5.1	Valores de PMV levantados nas condições do Ensaio A	59
Figura 5.2	Valores de PMV levantados nas condições do Ensaio B	59
Figura 5.3	Valores de PMV levantados nas condições do Ensaio C	60
Figura 5.4	Valores de PMV levantados nas condições do Ensaio D	60
Figura 5.5	Valores de PMV calculados	62
Figura 5.6	Variação da sensação térmica nas condições do ensaio A	64
Figura 5.7	Variação da sensação térmica nas condições do ensaio B	65
Figura 5.8	Variação da sensação térmica nas condições do ensaio C	65
Figura 5.9	Variação da sensação térmica nas condições do ensaio D	66
Figura 5.10	Perfis de temperatura do ar na zona 2	68

LISTA DE SÍMBOLOS

C	Calor perdido pela pele por convecção	[W/m ²]
C_R	Calor convectivo perdido pela respiração	[W/m ²]
E_{dif}	Calor perdido pela pele por difusão de vapor de vapor d'água	[W/m ²]
E_{es}	Calor perdido pela pele por evaporação de suor	[W/m ²]
E_R	Calor evaporativo perdido pela respiração	[W/m ²]
I_R	Índice de isolamento da roupa	[clo]
M	Metabolismo	[W/m ²]
p_{var}	Pressão parcial do vapor d'água no ambiente	[kPa]
Q_{pele}	Calor total perdido pela pele	[W/m ²]
$Q_{respiração}$	Calor total perdido pela respiração	[W/m ²]
R	Calor perdido pela pele por radiação	[W/m ²]
T_{ar}	Temperatura do ar	[°C]
T_g	Temperatura de globo	[°C]
T_p	Temperatura da pele	[°C]
$\bar{T}_r$	Temperatura média radiante	[°C]
T_u	Intensidade de turbulência	[%]
$\dot{U}$	Taxa de variação de energia interna	[W/m ²]
V_{ar}	Velocidade média do ar	[m/s]
W	Trabalho externo	[W/m ²]
ϕ	Umidade Relativa	[%]

RESUMO

Hospitais e demais instalações médicas constituem-se em ambientes complexos, que requerem sistemas de tratamento de ar e de ventilação adequados para o conforto e segurança de pacientes, de pessoal e de visitantes.

Em ambientes cirúrgicos as condições de conforto térmico precisam ser as melhores possíveis, para que o cirurgião e a equipe médica trabalhem em condições favoráveis para o sucesso do procedimento cirúrgico. Simultaneamente, os riscos de infecção do paciente e dos profissionais de saúde, causadas por partículas transportadas pelo ar, devem ser minimizados.

Neste trabalho foram realizadas avaliações experimentais de condições de conforto térmico e desconforto local em salas cirúrgicas com três diferentes tipos de sistemas de distribuição de ar. O procedimento experimental consistiu de medições e avaliações subjetivas (questionários). As avaliações de condições de conforto térmico foram realizadas segundo os critérios de conforto de Fanger e conforme previsto nas normas ISO 7730 e ASHRAE 55.

A aplicação do método de Fanger na avaliação de condições de conforto térmico em salas cirúrgicas mostrou-se adequada, embora seja necessário cuidado especial na sua utilização e na análise dos resultados. Verificou-se que é muito difícil prover 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 pelo foco cirúrgico.

Os resultados obtidos permitiram verificar que o sistema de fluxo unidirecional apresentou melhores condições de conforto térmico. Esse sistema também apresenta um maior potencial de controle de contaminantes no campo cirúrgico.

Finalmente, resultados de estudo comparativo com trabalhos de outros autores mostram valores praticamente iguais de temperaturas equivalentes de conforto térmico em torno de 22 °C para todos os membros da equipe cirúrgica. Esse resultado é particularmente útil para avaliar diferentes condições ambientais e pessoais em propiciar condições de conforto térmico aos diferentes membros da equipe cirúrgica.

ABSTRACT

Hospitals and medical centers are complex environments which request special air treatment and ventilation systems for the comfort and safety of patients, personnel and visitors.

In surgical environments the thermal comfort conditions need to be the best as possible in order to the surgeons and the medical team work in favorable conditions for the success of the surgical procedure. Simultaneously, the risks of infection caused by airborne particles should be minimized.

In the present work experimental evaluations of thermal comfort and local discomfort conditions were carried out for surgical rooms with three different types of air distribution systems. Measurements and subjective evaluations (questionnaires) were accomplished. The evaluations of thermal comfort conditions were done according to the Fanger comfort criteria and as foreseen in the norms ISO 7730 and ASHRAE 55.

The use of the Fanger method in the evaluation of thermal comfort conditions in surgical rooms is appropriate, although it is necessary special care in its use and in the analysis of the results. It was verified that it is very difficult to provide conditions of thermal comfort for the whole surgical team, mainly due to personal factors like clothing and activity level, as well as surgical-specific environmental factors like the heat of the surgical focus.

The analysis shows that the unidirectional flow system presented better conditions of thermal comfort. Additionally, this system also presents greater potential of pollutants control in the surgical field.

Finally, results of comparative study with other authors' works show practically same values of equivalent temperatures of thermal comfort around 22 °C for all of the members of the surgical team. That result is particularly useful to evaluate different environmental and personal conditions in propitiating conditions of thermal comfort to the different members of the surgical team.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Hoje em dia, por diversas circunstâncias, as pessoas passam cada vez mais tempo de suas vidas em ambientes fechados, seja em casa ou no trabalho, sujeitas às condições destes ambientes. Quando estes ambientes não apresentam características adequadas ao uso podem muitas vezes gerar uma má qualidade do ar interior, ocasionando desconforto, problemas de saúde e perda de produtividade do trabalhador.

Quando estes ambientes internos são de hospitais e demais instalações médicas, é importante uma atenção ainda maior, pois constituem ambientes complexos que requerem ventilação adequada para o controle de contaminação aérea, o conforto de pacientes, de pessoal e visitantes.

Segundo a Associação Americana de Higiene Industrial - *American Industrial Hygiene Association* (AIHA, 1996), em hospitais os sistemas de ventilação e condicionamento de ar (HVAC), possuem as funções fundamentais de:

- ❖ Proteger os funcionários e pacientes susceptíveis a agentes patogênicos transportados pelo ar;
- ❖ Manter a temperatura e a umidade no recinto em níveis confortáveis para os funcionários, pacientes, e visitantes;
- ❖ Controlar odores;
- ❖ Remover o ar contaminado;
- ❖ Minimizar os riscos de transmissão de agentes patogênicos transportados pelo ar por pacientes infectados.

Em ambientes cirúrgicos, as intervenções cirúrgicas complexas e demoradas, que se fazem hoje, exigem atividades intensas, uma grande equipe de pessoas e o uso de muitos tipos de equipamentos. Esta situação torna importante o controle eficaz das variáveis que interferem na saúde, conforto e bem-estar do paciente e da equipe cirúrgica (Dhara e Pittet, 2002).

Assim, o principal objetivo dos sistemas de tratamento de ar e de ventilação em ambientes cirúrgicos é diminuir os riscos de infecções, do paciente e dos profissionais de

saúde, que podem ser causadas por partículas transportadas pelo ar. Para que isso ocorra de forma adequada os sistemas de distribuição de ar devem trabalhar com uma ventilação especial baseada em taxas fixas de geração de contaminantes, diferenciais de pressão, umidade, entre outros parâmetros (Hermans, 2000).

Simultaneamente, os sistemas de ventilação e de distribuição de ar em salas cirúrgicas devem garantir o conforto térmico do paciente e da equipe cirúrgica durante a cirurgia; o que na maioria das vezes fica em segundo plano. Condições térmicas confortáveis ajudam a equipe cirúrgica a trabalhar melhor e previnem possíveis problemas ao paciente, como a hipotermia e suas consequências.

Pelo uso de sistemas bem projetados é possível controlar a expansão de agentes patogênicos transmitidos pelo ar em edifícios hospitalares e prover condições de bem estar. O contrário também é verdadeiro. Quando os dispositivos de controle são mal projetados, mal instalados ou ainda não recebem a devida manutenção, podem contribuir para o aumento de problemas que agredem a saúde e o bem estar das pessoas (Pereira e Tribess, 2004a).

Segundo Holcátová et al. (2003) em salas cirúrgicas sem sistemas de ar condicionado ou com sistemas ineficientes, por exemplo, o estresse térmico e a presença de gases anestésicos constituem os mais importantes fatores de risco para a equipe médica.

Como forma de reduzir a exposição microbiológica e química durante o procedimento cirúrgico são utilizadas centrais de tratamento de ar, onde o ar da sala cirúrgica é renovado (parcial ou totalmente), passa por filtros e é resfriado (ou aquecido). O ar é introduzido na sala cirúrgica através de sistemas de distribuição de ar e a forma mais comum, em salas cirúrgicas modernas (principalmente para cirurgias ortopédicas), tem sido a utilização de sistema de insuflamento de ar com fluxo unidirecional (“laminar”). Na maioria dos sistemas de tratamento do ar, contudo, o insuflamento de ar na sala cirúrgica é feito por grelhas ou difusores pela parede ou pelo teto (fluxo turbulento).

Mesmo não sendo adequado, ainda existem muitas salas cirúrgicas em que não ocorre qualquer tratamento do ar, sendo utilizada ventilação mecânica ou natural somente.

Muito comum também é a utilização de sistema de resfriamento sem renovação de ar e com filtros inadequados, como é o caso da utilização de sistema *split* ou de ar condicionado de janela, onde ar de recirculação é resfriado e insuflado novamente na sala cirúrgica.

Resultado do sistema de ventilação e tratamento de ar utilizado, as condições de conforto térmico e desconforto local em ambientes internos estão diretamente relacionadas com a forma como o ar se movimenta no interior do ambiente. A movimentação do ar no interior do ambiente terá um padrão característico do sistema de insuflamento utilizado, com perfis de temperatura e velocidade completamente diferentes daqueles verificados em outros ambientes com outros tipos de sistemas de ventilação (Pereira e Tribess, 2004b).

Ainda existem muito poucos estudos de avaliação de conforto térmico em salas cirúrgicas encontrados na literatura. Trabalho pioneiro foi realizado na década de 1960 na Inglaterra (Wyon et al., 1968). Os autores avaliaram as condições de conforto térmico da equipe médica (somente) para servirem de orientação no projeto e operação de salas cirúrgicas nas ilhas britânicas. Trata-se de um trabalho bastante extenso em que foram avaliadas condições de conforto térmico em 25 salas cirúrgicas ao longo das quatro estações do ano. Nas visitas às instalações foram respondidos questionários, anotados detalhes da vestimenta, sexo, idade, função exercida, tipo de cirurgia, duração, bem como realizadas medições de temperatura, velocidade e umidade do ar e de temperatura de globo. Não foram fornecidos detalhes do sistema de ventilação. Aparentemente, as avaliações foram feitas em condições de ventilação natural.

Wyon et al. (1968) verificaram que existe uma diferença significativa entre as condições ambientais para o conforto térmico dos cirurgiões, anestesiistas e outros membros da equipe cirúrgica. Ressaltaram, como igualmente importante, que os requisitos para a especificação de um ambiente térmico confortável em salas cirúrgicas diferem daqueles de ambientes de escritórios, ambientes fabris e outros ambientes estudados até então. Isto porque, enquanto os ambientes térmicos convencionais são ocupados por um grande número de pessoas e nos quais se procura obter condições de conforto ao maior número possível destes ocupantes, em salas cirúrgicas o conforto dos cirurgiões deve ser priorizado e o desconforto para os demais deve ser minimizado.

Wyon et al. (1968) definiram um “índice de temperatura” (similar ao da temperatura equivalente)¹, como uma combinação da temperatura do ar, da temperatura radiante média em um ambiente com 50% de umidade relativa e velocidade do ar de 0,13 m/s (25 pés/min). Os autores encontraram que este índice de temperatura, no qual a

¹ Temperatura equivalente: 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 .

maioria do pessoal da equipe cirúrgica estaria confortável, seria de 20,5 °C; sendo que para o maior conforto dos cirurgiões deveria ser de 18 °C e para os anestesistas de 21,5 °C.

Mais recentemente Mora et al. (2001) realizaram estudo em duas salas cirúrgicas em um hospital no Canadá. As salas cirúrgicas eram providas de sistema convencional de HVAC (com 100% de ar de renovação, volume de ar constante (VAC), reaquecimento terminal e um *fan-coil* dedicado para cada sala cirúrgica) com sistema de distribuição de ar com fluxo unidirecional. Foram realizados oito testes em sala cirúrgica de fluxo unidirecional com painéis, que são proteções colocadas em torno da mesa cirúrgica com o objetivo de restringir a movimentação do ar para que este não se misture com o ar das demais partes da sala e três testes em sala de fluxo unidirecional com cortina de ar, envolvendo cirurgias ortopédicas. Os autores realizaram avaliação de conforto térmico nas três zonas apresentadas na Figura 1.1; assim divididas em função do grau de assepsia (Woods et al., 1986). A zona 1 é ocupada pelos cirurgiões, o paciente e o foco cirúrgico (precisa ser a zona mais limpa); a zona 2 é a zona estéril, e contém os instrumentos e equipamentos cirúrgicos (a enfermeira instrumentadora circula entre as duas áreas); e a zona 3 (a menos limpa), onde circulam as demais enfermeiras, os técnicos e os anestesistas.

Mora et al. (2001) realizaram medições de temperaturas e velocidades em alguns níveis acima do piso (0,1m, 1,1m e 1,7m), além da umidade do ar, nas três zonas da Figura 1.1, durante o procedimento cirúrgico. Medições também foram realizadas na zona 1 sem a ocorrência do procedimento cirúrgico. Após cada cirurgia, os membros da equipe cirúrgica preencheram questionários.

No trabalho de Mora et al. (2001) os testes foram realizados com temperatura média na sala cirúrgica em torno de 21,5 °C, com variações entre 19 °C e 25 °C, devido a problemas no controle do sistema de HVAC. Em adição aos questionários, o modelo de conforto de Fanger (Fanger, 1972; ISO 7730, 1994) foi adotado para avaliar as condições de conforto térmico da equipe cirúrgica e do paciente com diferentes tipos de vestimentas (resistências de roupa, clo). Também foram verificadas condições de desconforto local não previstas no modelo de Fanger, tais como: assimetria de radiação, diferença de temperatura entre os pés e a cabeça e correntes de ar (*drafts*).

Figura 1.1 - Zonas das salas de cirurgia segundo critérios de assepsia.

(Mora et al., 2001).

Mora et al. (2001) também verificaram que, em função das condições do ambiente e das condições das pessoas (vestimenta, atividade, posição no ambiente), não é possível prover condições de conforto térmico para todos os membros da equipe cirúrgica. Verificaram também que o desconforto dos cirurgiões (que muitas vezes suam) ocorre principalmente devido à assimetria de radiação causada pelo foco cirúrgico. Baseado no modelo de Fanger, os autores concluíram que a temperatura do ar deveria ficar em torno de 19 °C para prover condições de conforto para os cirurgiões. Contudo, nesta temperatura as enfermeiras e anestesistas deveriam estar com roupas com pelo menos 0,9 clo e o paciente coberto com pelo menos 1,6 clo.

Cassey et al. (2004) utilizaram manequim térmico e equipamento com insuflamento de ar quente para estudar os efeitos do ambiente na hipotermia de crianças durante o procedimento cirúrgico. Os autores estudaram o impacto de diferentes temperaturas do ar ambiente e de ar quente na temperatura da pele ao longo do corpo.

Outro trabalho com a utilização de manequim foi realizado por Felix et al. (2005). Neste trabalho foram realizadas medições utilizando manequim com sensores aquecidos, que simulam a troca de calor entre diferentes partes do corpo e o ambiente, com o intuito de se verificar a influência de diferentes potências dos focos cirúrgicos nas condições de desconforto local de cirurgiões e instrumentadores.

Hwang et al. (2006) avaliaram condições de conforto térmico de pacientes internados em enfermarias em hospitais de Taiwan. Os autores avaliaram pacientes internados tanto

em enfermarias da ala hospitalar como em enfermarias da ala cirúrgica e verificaram que existe uma influência elevada das condições de saúde do paciente em sua sensação térmica. As avaliações foram realizadas por meio de respostas a questionários, seguindo a escala de sensação térmica da ASRHAE, e de medições de grandezas físicas, tais como velocidade do ar, umidade relativa do ar, temperatura do ar e temperatura de globo.

O trabalho de Balaras et al. (2007) traz um levantamento de vários trabalhos relacionados com condições térmicas em ambientes cirúrgicos, servindo de guia para projetos, instalações e operação de sistemas de tratamento de ar. Os autores apresentam valores ideais para variáveis como temperatura, velocidade, umidade do ar baseados em normas e recomendações internacionais. Os autores fizeram monitoramento das variáveis ambientais em 20 salas cirúrgicas dos 10 maiores hospitais da Grécia e constataram que na maioria dos casos os resultados encontrados não atendem ao recomendado nos guias e normas internacionais.

É importante ressaltar que, além da avaliação experimental, uma outra forma de se avaliar as condições de conforto térmico em ambientes é a utilização de simulação numérica utilizando técnicas de dinâmica dos fluidos computacional (CFD). As técnicas de modelagem matemática para simulação do comportamento do escoamento do ar em salas cirúrgicas têm sido alvo de investigação que vem crescendo (Memarzadeh e Manning, 2002; Kameel e Khalil, 2003; Moura et al., 2007).

No entanto, a simulação numérica de salas cirúrgicas por ser bastante complexa, devido à grande variedade de fatores que influenciam no escoamento de fluidos e transmissão de calor e massa, tais como: a ocupação, as formas irregulares, as cargas térmicas existentes nos espaços, a presença de obstáculos e as diferentes entradas e saídas de ar e de pessoas, ainda apresenta resultados poucos confiáveis e necessita de outros dados para a sua validação (Memarzadeh e Manninig, 2002; Kameel e Khalil, 2003, Moura et al., 2007).

Na revisão bibliográfica realizada foi encontrado somente um artigo no Brasil sobre avaliação das condições de conforto térmico em salas cirúrgicas; que o foi o trabalho de Melhado e Bayer (2004), onde os autores realizaram simulação computacional utilizando programa Energy Plus, que permite calcular a temperatura média do ar nos ambientes (e, portanto, uma “condição global média de conforto térmico”) e não a distribuição de velocidades e temperaturas no ambiente para determinar condições de conforto térmico e

de desconforto local na sala, função do sistema de tratamento de ar e de ventilação utilizado e das trocas de calor que ocorrem no ambiente.

Enfim, o projeto de sistemas de tratamento de ar e de ventilação em salas cirúrgicas ainda constitui-se em um grande desafio. Estes sistemas precisam prover ar limpo e condições adequadas de distribuição e movimentação do ar nas salas cirúrgicas para minimizar/prevenir contaminação por partículas aéreas viáveis (contendo microrganismos) e manter a equipe médica e o paciente confortáveis.

Diferentemente do que ocorre em edifícios de escritórios, onde sistemas de climatização são projetados para prover condições de conforto térmico, em hospitais (e mais especificamente em salas cirúrgicas), o conforto térmico ainda é considerado questão secundária; o que explica em parte o pequeno número de trabalhos realizados e publicados sobre o assunto.

Contudo, adicionalmente à condição de segurança para diminuir riscos de infecções, condições de conforto térmico do cirurgião e da equipe médica precisam ser as melhores possíveis para que trabalhem em condições favoráveis para o sucesso do procedimento cirúrgico. Também é necessária atenção especial para as condições do paciente, para que condições altamente desfavoráveis de conforto térmico não comprometam ainda mais o seu estado de saúde.

Assim, condições de conforto térmico em salas cirúrgicas devem ser analisadas simultaneamente com condições de distribuição e movimentação do ar interior para diminuir possibilidade de contaminação aérea da ferida cirúrgica; de elevada influência em infecções hospitalares (Beggs, 2003; Howorth, 1993; Whyte et al., 1992; Whyte al., 1982)

A diminuição de infecções hospitalares é particularmente importante, pois representa um importante problema de saúde pública. Como consequência de infecções hospitalares há incremento na taxa de mortalidade, no tempo médio de internação e também nos custos hospitalares. Como exemplo, nos EUA, as infecções hospitalares são a sexta causa de mortalidade, depois de doenças cardiovasculares, cânceres, pneumonia, gripes e acidentes. Com as infecções hospitalares existe um prolongamento médio de 5 a 10 dias no tempo de internação, o que representa uma despesa adicional aos hospitais do país de 5 a 10 bilhões de dólares anuais (Lacerda, 1995). Ainda, segundo Lacerda (1995), na Europa e nos EUA, cerca de 5 a 10% dos pacientes hospitalizados eram vítimas de infecções após intervenções cirúrgicas. O centro para controle de doenças, nos EUA,

constatou que hospitais que desenvolvem programas efetivos de controle de infecções hospitalares conseguem reduzir em até um terço sua incidência, sendo que uma redução de 5% nas infecções já produz retornos suficientes para manutenção de um bom programa de prevenção, inclusive com profissionais qualificados (Mangram et al., 1999)

Fica evidente a importância de estudos referentes às condições de conforto térmico em ambientes cirúrgicos, priorizando o conforto térmico do cirurgião (maior responsável pelo sucesso do procedimento cirúrgico), e a análise conjunta da movimentação do ar, como forma de diminuir os riscos de infecção durante o procedimento cirúrgico.

1.1 Objetivos do trabalho

Em decorrência do que foi apresentado, o objetivo principal deste trabalho é avaliar, por meio de medições e de avaliações subjetivas (questionários), as condições de conforto térmico e de desconforto local em salas cirúrgicas com diferentes tipos de sistemas de distribuição de ar.

Para atingir tais objetivos, foram realizadas as seguintes etapas:

- ❖ Avaliação geral das salas cirúrgicas analisadas, descrevendo sua localização no edifício, dimensões, equipamentos instalados, o tipo de sistema de distribuição de ar adotado e suas características gerais;
- ❖ Medições de temperaturas (de globo e do ar), velocidades e umidade do ar, sem a realização de cirurgia, pois em determinadas locais da sala não é permitido o uso de equipamentos durante a cirurgia por motivo de segurança e tais variáveis são essenciais para a avaliação;
- ❖ Coleta, durante os procedimentos cirúrgicos, dos dados referentes às variáveis temperatura de globo, temperatura, velocidades e umidade do ar nos locais onde não há risco de prejudicar a segurança do procedimento cirúrgico;
- ❖ Aplicação de questionários, respondidos pela equipe cirúrgica ao final da cirurgia para poder ser realizado a comparação entre a avaliação experimental e subjetiva das condições de conforto térmico dos membros da equipe cirúrgica.

1.2 Organização do trabalho

Inicialmente, no capítulo 2 é apresentada uma revisão sobre a teoria de conforto térmico e de avaliação de ambientes térmicos, considerando o trabalho de Fanger (1972) e as normas ISO 7730 (1994) e ASHRAE 55 (2004).

No capítulo 3 são apresentadas características de um ambiente cirúrgico; fatores que influenciam na qualidade do ar, com enfoque na contaminação aérea; aspectos relacionados com a distribuição de ar e os principais tipos de sistemas de distribuição de ar utilizados em salas cirúrgicas.

No capítulo 4 são apresentados os métodos utilizados para a realização do trabalho, destacando as condições de ensaio e instrumentos utilizados.

No capítulo 5 são apresentados os resultados obtidos e feita uma análise dos resultados de conforto térmico e desconforto local juntamente com a movimentação do ar.

No capítulo 6 são apresentadas conclusões e considerações finais sobre o trabalho e propostas para trabalhos futuros. Finalmente, no capítulo 7 são apresentadas as referências bibliográficas.

Capítulo 2

CONFORTO TÉRMICO

Neste capítulo são apresentados os fundamentos teóricos de conforto térmico e de avaliação de ambientes térmicos baseados no trabalho de Fanger (1972) e nas normas ISO 7730 (1994) e ASHRAE 55 (2004).

2.1 Introdução

Nos dias de hoje, em muitas situações, as pessoas ficam sujeitas a ambientes térmicos criados artificialmente para que se sintam em conforto e possam produzir melhor as suas tarefas. Isto acontece tanto em ambientes de escritórios, hospitalares, em aeronaves, automóveis etc. Se o objetivo é atingido, a pessoa tem uma sensação de bem estar, expressa pela sua satisfação com aquele ambiente térmico.

Por isso o conforto térmico é definido, segundo a norma ASHRAE 55 (2004), como sendo “um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa”. Caso o ambiente proporcione tais condições a pessoa apresenta uma sensação de bem estar com o meio. Do contrário, se o ambiente não proporciona tais condições, o organismo provoca reações desencadeadas pelo sistema termorregulador, que vai atuar com a finalidade de manter constante a temperatura interna do corpo em função das variações térmicas externas.

O calor do corpo humano é gerado continuamente por meio da digestão de alimentos e do trabalho físico dos músculos, sendo que os principais substratos do metabolismo responsáveis pela produção de calor são: glicose ($4,1 \text{ kcal.kg}^{-1}$), proteína ($4,1 \text{ kcal.kg}^{-1}$) e lipídios ($9,3 \text{ kcal.kg}^{-1}$) (Biazotto et al., 2006). Esse calor gerado é dissipado para o ambiente a fim de se manter a temperatura interna do corpo constante ou sob pequenas variações para poder evitar o desconforto. A sensação de desconforto térmico ocorre quando o sistema termorregulador entra em ação com o objetivo de aumentar ou diminuir essa dissipação de calor.

2.2 O sistema termorregulador

Os homeotermos são os animais que, apesar das variações das condições térmicas do ambiente, são capazes de manter sua temperatura interna constante. Para os seres

humanos, que se enquadram nesta categoria, a temperatura interna do corpo, sob condições normais em atividade sedentária, deve ficar em torno de 37 °C. Para que isso ocorra é necessário haver um equilíbrio entre o calor produzido no corpo e o dissipado para o ambiente. Essa temperatura normalmente varia por volta de $\pm 0,6$ °C.

Nos mamíferos, incluindo o homem, o balanço térmico é controlado principalmente pelo hipotálamo, que é parte do sistema nervoso central (SNC) que atua como um termostato. A figura 2.1 apresenta os centros de controle do hipotálamo.

Figura 2.1 - Centros de controle do hipotálamo (Guyton, 1997).

O hipotálamo regula a temperatura do corpo por meio dos impulsos térmicos provenientes da medula espinhal e do sistema nervoso central que, por sua vez, integram os impulsos provenientes da superfície cutânea e dos tecidos profundos. A temperatura corporal média é a amostragem integrada dos impulsos térmicos provenientes de quase todos os tecidos do organismo, e é nessa amostragem que se baseiam as repostas termorreguladoras (Vanni e Braz, 1999). Quando a temperatura corporal aumenta ou diminui excessivamente, os centros térmicos do hipotálamo desencadeiam procedimentos apropriados com o objetivo de manter a temperatura do corpo em um valor adequado.

Segundo Guyton (1997), a pessoa nua pode ficar exposta a temperaturas de 15 °C até 55 °C, em ambientes secos, e ainda manter a temperatura corporal interna quase

constante. Segundo o autor, os mecanismos envolvidos no controle da temperatura corporal representam um sistema de controle maravilhosamente planejado.

Os tecidos subcutâneos, a gordura e a pele atuam como isolantes térmicos do corpo, e assim ajudam na manutenção da temperatura interna. A gordura é o melhor isolante térmico, pois possui a menor condutividade térmica. O isolamento térmico pode variar de acordo com o sexo da pessoa, e também de pessoa para pessoa, com indivíduos possuindo quantidades diferentes de gordura (Ferreira, 1997).

A transferência de calor entre o corpo e o ambiente ocorre na sua maioria através da epiderme, região externa da pele. Essa energia é trocada com o ambiente basicamente por meio de troca calor por radiação, convecção e evaporação. Uma parte da energia gerada internamente no corpo é transferida até a pele por condução através dos tecidos celulares e devido ao fluxo de sangue. Devido a isso, uma das maneiras mais efetivas do corpo em se defender contra variações das condições térmicas externas é por meio da variação do fluxo de sangue, isto é, com a utilização do mecanismo vasomotor (Ferreira, 2001). O fluxo sanguíneo cutâneo pode ser dividido em duas partes, um nutricional, representado pelos capilares, e o outro termorregulador, representado pelos desvios arteriovenosos.

Em ambientes frios, com o objetivo de diminuir o fluxo de calor do interior do corpo até a pele, ocorre a vasoconstrição, com os vasos sanguíneos se contraindo e diminuindo a passagem de sangue. Esse mecanismo de defesa do sistema termorregulador é a primeira e mais importante resposta à hipotermia, estado onde a temperatura corporal fica menor que 36 °C, muito comum em pacientes durante cirurgias. Neste caso a perda de calor para o ambiente diminui em aproximadamente 25%. No entanto, quando a contração dos vasos se aproxima do limite, estado onde o fluxo de sangue tende a zero, a troca de calor ocorre apenas por condução.

Por outro lado, em ambientes quentes onde, para se manter a temperatura interna do corpo constante há a necessidade em se aumentar a troca de calor entre o interior do corpo e a pele, ocorre a vasodilatação, com os vasos sanguíneos se dilatando e aumentando o fluxo de sangue nos vasos sanguíneos.

Outra maneira na qual o sistema termorregulador age com o objetivo de manter constante a temperatura interna do corpo é por meio da transpiração, que ocorre quando uma grande quantidade de calor tem que ser liberada do corpo de pessoas expostas a

ambientes quentes. O suor é gerado pelas glândulas sudoríparas e levado à superfície externa da pele por meio de dutos, onde é evaporado para o ambiente. É importante ressaltar que, quando a temperatura ambiente é superior à temperatura da superfície externa da pele, o único modo do corpo perder calor é por meio do suor. Ao contrário, quando o indivíduo fica exposto a ambientes frios, além da vasoconstrição, o sistema termorregulador também pode agir na estimulação hipotalâmica dos calafrios e na termogênese sem tremores.

A estimulação hipotalâmica dos calafrios ocorre quando a vasoconstrição em seu grau máximo não é suficiente para a manutenção da temperatura corporal. Uma parte do hipotálamo denominado de centro motor primário é excitada por sinais de frio oriundos da pele e da medula espinhal. Esses sinais proporcionam um aumento na energia produzida no corpo por meio do aumento do tônus dos músculos, isto é, transformando trabalho em calor. Durante o calafrio máximo, a produção de energia pelo corpo pode aumentar até quatro ou cinco vezes o normal (Ferreira, 2001).

A termogênese sem tremores (Vanni e Braz, 1999; Biazzotto et al., 2006) ou termogênese química (Guyton, 1997; Ferreira, 1997) ocorre pelo aumento da produção metabólica de energia interna e do consumo de oxigênio, sem aumento do trabalho muscular. Suas principais fontes são o músculo esquelético e o tecido adiposo marrom. A gordura marrom é um tipo de gordura que contém mitocôndrias em suas células, e é encontrada em muitos animais, crianças recém nascidas e crianças pequenas. O homem adulto quase não possui gordura marrom. O grau de termogênese química é proporcional à quantidade de gordura marrom. Devido a isso, em um homem adulto, o aumento na produção de calor raramente é maior que 10 a 15 %, tendo uma pequena contribuição para a manutenção da temperatura corporal.

Por outro lado nos lactentes, que possuem uma pequena quantidade de gordura marrom no espaço interescapular, a termogênese química pode fazer aumentar a taxa de produção de calor em 100%; sendo o principal mecanismo termorregulador em recém nascidos e crianças pequenas.

2.3 Balanço térmico do corpo humano

O corpo humano troca calor com o ambiente por meio da condução, convecção, radiação e evaporação. Assim a temperatura interna do corpo humano é mantida constante somente se ocorrer equilíbrio entre a energia produzida pelo corpo e o calor perdido para o

ambiente. A figura 2.2 apresenta a interação do corpo humano com o meio que o envolve.

Figura 2.2 - Modelo cilíndrico da interação térmica: corpo humano - meio envolvente (adaptado da ASHRAE, 2005).

Para avaliar a transferência de calor do corpo humano com o meio envolvente aplica-se a 1ª lei da termodinâmica, apresentada na equação 2.1, e rerepresentada na equação 2.2 de forma mais detalhada para os mecanismos de troca de calor do corpo humano.

$$\dot{U} = M - W - Q_{\text{pele}} - Q_{\text{respiracao}} \quad [\text{W/m}^2] \quad (2.1)$$

$$\dot{U} = M - W - (C + R + E_{\text{es}} + E_{\text{dif}}) - (E_R + C_R) \quad [\text{W/m}^2] \quad (2.2)$$

onde:

$$\dot{U} \quad \text{Taxa de variação de energia interna} \quad [\text{W/m}^2]$$

M	Metabolismo	[W/m ²]
W	Trabalho externo	[W/m ²]
Q _{pele}	Calor total perdido pela pele	[W/m ²]
Q _{respiração}	Calor total perdido pela respiração	[W/m ²]
C	Calor perdido pela pele por convecção	[W/m ²]
R	Calor perdido pela pele por radiação	[W/m ²]
E _{es}	Calor perdido pela pele por evaporação de suor	[W/m ²]
E _{dif}	Calor perdido pela pele por difusão de vapor d'água	[W/m ²]
E _R	Calor evaporativo perdido pela respiração	[W/m ²]
C _R	Calor convectivo perdido pela respiração	[W/m ²]

A partir do balanço térmico do corpo humano e aplicando-se as equações que descrevem os mecanismos de transferência de calor são obtidas as variáveis de conforto térmico (Fanger, 1972), que podem ser divididas em dois grupos:

- ❖ Variáveis pessoais: o tipo de atividade (M) e a isolamento da vestimenta (I_R);
- ❖ Variáveis ambientais: a temperatura do ar ambiente (T_{ar}); a temperatura radiante média ($\bar{T}_r$); a velocidade do ar (V_{ar}) e a umidade relativa do ar (ϕ).

2.4 Método de avaliação do conforto térmico pelo modelo proposto por Fanger

Segundo Fanger (1972) existem três condições para que uma pessoa se sinta em conforto térmico exposta a um dado ambiente por um período longo:

- ❖ A primeira condição é que haja equilíbrio das trocas de calor entre o corpo e o ambiente, isto é, não há variação da energia interna com o tempo. Isto pode ser representado pela equação 2.3.

$$\dot{U} = 0 \quad (2.3)$$

- ❖ A segunda condição é que a temperatura média da pele (T_p) seja dada pela equação 2.4, obtida a partir de dados experimentais realizados em ensaios com 1300 pessoas.

$$T_p = 35,7 - 0,0275(M - W) \quad (^\circ\text{C}) \quad (2.4)$$

- ❖ A terceira condição é que a produção de suor (E_{es}) seja dada pela equação 2.5 que, assim como a anterior, foi obtida a partir de dados experimentais.

$$E_{es} = 0,42(M - W - 58,2) \quad (\text{W/m}^2) \quad (2.5)$$

Inserindo as Eqs. 2.3 a 2.5, juntamente com as equações de transferência de calor, na Eq. (2.2), obtém-se a equação de conforto de Fanger (Fanger, 1972), dada por:

$$\begin{aligned} M - W = & 0,42[M - W - 58,2] + 3,05[5,73 - 0,007(M - W) - p_{v_{ar}}] + \\ & + 0,0173 M (5,87 - p_{v_{ar}}) + 0,0014 M (34 - T_{ar}) + f_R h_c (T_{roupa} - T_{ar}) + \\ & + 3,96 \times 10^{-8} f_R [(T_{roupa} + 273)^4 - (\bar{T}_r + 273)^4] \end{aligned} \quad (2.6)$$

com a temperatura da roupa T_{roupa} dada pela equação 2.7.

$$T_{roupa} = 35,7 - 0,0275(M - W) - 0,155 I_{roupa} \left\{ \begin{aligned} & (M - W) - 3,05[5,73 - 0,007(M - W) - p_{v_{ar}}] + \\ & - 0,42(M - W - 58,2) - 0,0173 M (5,87 - p_{v_{ar}}) + \\ & - 0,0014 M (34 - T_{ar}) \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 (T_{roupa} - T_{ar})^{0,25} ; & \text{para } 2,38 (T_{roupa} - T_{ar})^{0,25} \geq 12,1\sqrt{V_{ar}} \\ 12,1\sqrt{V_{ar}} ; & \text{para } 2,38 (T_{roupa} - T_{ar})^{0,25} \leq 12,1\sqrt{V_{ar}} \end{cases} \quad (2.8)$$

$$f_R = \begin{cases} 1,0 + 0,2 I_R ; & \text{para } I_R \leq 0,5 \text{ clo} \\ 1,05 + 0,1 I_R ; & \text{para } I_R \geq 0,5 \text{ clo} \end{cases} \quad (2.9)$$

onde:

M	Metabolismo	[W/m ²]
W	Trabalho externo	[W/m ²]
I _R	Índice de isolamento da roupa	[clo]
T _{ar}	Temperatura do ar	[°C]
V _{ar}	Velocidade média do ar	[m/s]
p _{var}	Pressão parcial do vapor d'água no ambiente	[kPa]
$\bar{T}_r$	Temperatura média radiante	[°C]

A equação 2.6 relaciona os fatores pessoais (M , I_R) e ambientais (T_{ar} , V_{ar} , p_{var} , $\bar{T}_r$) para conforto térmico.

O metabolismo, função da atividade, normalmente é expresso em termos de unidades de metabolismo met ($1 \text{ met} = 58,2 \text{ W/m}^2$). Na tabela 2.1 são apresentados valores de metabolismo para diferentes atividades. Nas tabelas encontradas na literatura, normalmente, não constam valores de metabolismo de componentes de equipes cirúrgicas. No presente trabalho serão utilizados valores recomendados por Mora et al. (2001), conforme apresentado no capítulo 4, que são de 1,6 met para os cirurgiões e 1,4 met para o restante da equipe cirúrgica.

Tabela 2.1 – Metabolismos para diferentes atividades (ASHRAE, 2005)

Atividade	W/m ²	met
Descansando		
Dormindo	40	0,7
Reclinado	45	0,8
Sentado, quieto	60	1,0
Em pé, relaxado	70	1,2
Atividades de escritório		
Lendo, sentado	55	1,0
Escrevendo	60	1,0
Digitando	65	1,1
Arquivando, sentado	70	1,2
Arquivando, em pé	80	1,4
Andando	100	1,7
Dirigindo/voando		
Carro	60 a 115	1,0 a 2,0
Avião, rotina	70	1,2
Avião, pousando	105	1,8
Avião, combate	140	2,4
Veículo pesado	185	3,2

Outra variável pessoal é o isolamento da roupa, I_r , que representa a resistência da roupa à troca de calor entre o corpo e o meio e é representada pela unidade clo ($1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$).

Por exemplo, uma vestimenta leve (calça comprida, camisa de manga curta, sapato e meia), apresenta um clo em torno de 0,5. Em atividades de escritório, no Brasil, a vestimenta mais usual é a calça comprida, camisa de manga comprida, gravata, sapato e meias, que corresponde a um clo em torno de 0,7 (Leite, 2003).

Já uma vestimenta mais pesada, de inverno, com calça comprida, camisa de manga comprida, gravata, sapato, meia e paletó assume valores em torno de 1,0 clo. No presente trabalho os valores para a resistência da roupa da equipe cirúrgica foram os valores recomendados por Mora et al. (2001), conforme apresentado no capítulo 4, que são 0,86 clo para cirurgiões e instrumentadores e 0,42 para anestesista e enfermeiros .

Para a obtenção das variáveis ambientais: velocidade média do ar, V_{ar} , temperatura média radiante, $\bar{T}_r$, temperatura do ar, T_{ar} e umidade do ar: umidade absoluta, ω , e umidade relativa, ϕ , são realizadas medições no ambiente. A norma ISO 7726 (1998) apresenta procedimentos de medição e métodos para a determinação destas variáveis ambientais. No capítulo 4 são apresentados, de forma detalhada, os procedimentos utilizados para o levantamento dessas variáveis.

2.5 Avaliação de ambientes térmicos

Como a sensação de conforto térmico depende das pessoas e a equação de conforto de Fanger (Eq. 2.6) é a combinação dos parâmetros (M , I_R , T_{ar} , V_{ar} , p_{var} , $\bar{T}_r$) que causam conforto térmico, há a necessidade de avaliação das pessoas quanto às condições de conforto que o ambiente térmico proporciona. Esta avaliação subjetiva, normalmente, é realizada por meio do voto das pessoas segundo critérios definidos na escala de sensação térmica da ASHRAE, apresentada na tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Escala de sensação térmica da ASHRAE (ASHRAE, 2005).

+3	muito quente
+2	Quente
+1	ligeiramente quente
0	Neutro
-1	ligeiramente frio
-2	Frio
-3	muito frio

2.5.1 Voto médio estimado (PMV)

Fanger (1972) realizou ensaios onde pessoas, desempenhando certa atividade (metabolismo, M) e vestindo certa roupa (clo), foram colocadas em câmaras climatizadas onde eram controladas as condições ambientais. Cada pessoa preenchia um questionário com o seu voto, que representava a sua sensação térmica, baseando-se nos valores da tabela 2.2. Destes votos resultou a equação do voto médio estimado (PMV – Predicted Mean Vote) que correlaciona as variáveis pessoais (M , I_R), as variáveis ambientais (T_{ar} , V_{ar} , p_{var} , $\bar{T}_r$) e o voto (sensação) das pessoas.

A norma ISO 7730 (1994) de conforto térmico foi baseada no trabalho de Fanger (1972). Com o intuito de agilizar a avaliação de um ambiente térmico, devido ao fato de que o cálculo do voto médio estimado (PMV) é um pouco trabalhoso, Fanger (1972) e a ISO 7730 (1994) apresentam tabelas e uma rotina para utilização em microcomputador, que permitem determinar o PMV para diferentes atividades, tipos de vestimenta e condições ambientais. A tabela 2.3 apresenta um exemplo dessas tabelas.

A norma ASHRAE 55 (2004) também apresenta gráficos para a determinação das condições de conforto térmico em ambientes condicionados - as Cartas de Conforto da ASHRAE. A Figura 2.3 mostra uma carta psicrométrica com a zona de conforto representada pela área hachurada.

A tabela 2.3 e a figura 2.3 apresentam valores de temperatura operativa, T_o , que é a temperatura de um meio imaginário (envolvendo ar e superfícies) com o qual a pessoa troca a mesma quantidade de calor por convecção e radiação que aquela trocada com o meio real.

A equação 2.10 apresenta a temperatura operativa T_o em função da temperatura do ar, T_{ar} , e a temperatura radiante média $\bar{T}_r$ (ASHRAE 55, 2004; ISO 7730, 1994).

$$T_o = a \cdot T_{ar} + (1 - a) \cdot \bar{T}_r \quad (2.10)$$

onde a constante a varia de acordo com a velocidade do ar (V_{AR}):

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

A temperatura radiante média $\overline{T_r}$ é definida como a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor por radiação do corpo humano é igual à troca de calor por radiação num ambiente real não uniforme. Utilizando um termômetro de globo pode-se obter este valor fazendo um balanço de energia entre o globo e o meio envolvente, que é dado pela equação 2.11.

$$q_r + q_c = 0 \quad (2.11)$$

onde:

q_r	Troca de calor por radiação entre as superfícies e o globo	[W/m ²]
q_c	Troca de calor por convecção entre o ar e o globo	[W/m ²]

Com os valores das variáveis velocidade do ar (V_{ar}), temperatura do ar (T_{ar}) e temperatura de globo (T_g) é possível estimar o valor da temperatura radiante média usando as equações 2.12 a 2.17.

$$q_r = \sigma \varepsilon (\overline{T_r}^4 - T_g^4) \quad (2.12)$$

onde:

σ	Constante de Stefan-Boltzman ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$)	[W/m ² .K ⁴]
ε	Emissividade do globo	
$\overline{T_r}$	Temperatura radiante média	[K]
T_g	Temperatura de globo	[K]

$$q_c = h_{cg} (T_{ar} - T_g) \quad (2.13)$$

onde:

h_{cg}	Coeficiente de troca de calor por convecção	[W/m ² .K]
T_{ar}	Temperatura do ar	[K]

Para o cálculo do coeficiente de troca de calor por convecção, h_{cg} , deve ser utilizado as equações 2.14 e 2.15, sendo para convecção natural

$$h_{cg} = 1,4 \left(\frac{T_g - T_{ar}}{D} \right)^{0,25} \quad (2.14)$$

e para convecção forçada

$$h_{cg} = 6,3 \frac{V_{ar}^{0,6}}{D^{0,4}} \quad (2.15)$$

onde:

D	Diâmetro do globo	[m]
V_{ar}	Velocidade do ar	[m/s]

A definição de convecção natural e convecção forçada segundo a norma ISO 7726 (1998) é de acordo com o maior valor encontrado entre as equações 2.14 e 2.15. Assim, no caso de convecção natural a temperatura radiante média é dada pela equação 2.16.

$$\bar{T}_r = \left[(T_g + 273)^4 + 0,4 \cdot 10^8 (T_g - T_{ar})^{1,25} \right]^{0,25} - 273 \quad (2.16)$$

No caso de convecção forçada a temperatura radiante média é dada pela equação 2.17.

$$\bar{T}_r = \left[(T_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 V_{ar}^{0,6} \cdot (T_g - T_{ar}) \right]^{0,25} - 273 \quad (2.17)$$

onde todos os valores de temperatura do ar (T_{ar}), temperatura de globo (T_g) e temperatura radiante média é dada em °C

No presente trabalho foram utilizados termômetros de globo com diâmetro (D) igual a 0,15 m e com emissividade (ε) de aproximadamente 0,95.

Tabela 2.3 - Determinação do voto médio estimado - PMV (ISO 7730, 1994).
Atividade sedentária (met = 1.0) e umidade relativa do ar de 50%

Vestimenta		Temperatura Operativa °C	Velocidade Relativa do ar – m/s							
CLO	$\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$		< 0.10	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50	1.00
0	0	26	-1.62	-1.62	-1.96	-2.34				
		27	-1.00	-1.00	-1.36	-1.69				
		28	-0.39	-0.42	-0.76	-1.05				
		29	0.21	0.13	-0.15	-0.39				
		30	0.80	0.68	0.45	0.26				
		31	1.39	1.25	1.08	0.94				
		32	1.96	1.83	1.71	1.61				
		33	2.50	2.41	2.34	2.29				
0.25	0.039	24	-1.52	-1.52	-1.80	-2.06	-2.47			
		25	-1.05	-1.05	-1.33	-1.57	-1.94	-2.24	-2.48	
		26	-0.58	-0.61	-0.87	-1.08	-1.41	-1.67	-1.89	-2.66
		27	-0.12	-0.17	-0.40	-0.58	-0.87	-1.10	-1.29	-1.97
		28	0.34	0.27	0.07	-0.09	-0.34	-0.53	-0.70	-1.28
		29	0.80	0.71	0.54	0.41	0.20	0.04	-0.10	-0.58
		30	1.25	1.15	1.02	0.91	0.74	0.61	0.50	0.11
		31	1.71	1.61	1.51	1.43	1.30	1.20	1.12	0.83
0.50	0.078	23	-1.10	-1.10	-1.33	-1.51	-1.78	-1.99	-2.16	
		24	-0.72	-0.74	-0.95	-1.11	-1.36	-1.55	-1.70	-2.22
		25	-0.34	-0.38	-0.56	-0.71	-0.94	-1.11	-1.25	-1.71
		26	0.04	-0.01	-0.18	-0.31	-0.51	-0.66	-0.79	-1.19
		27	0.42	0.35	0.20	0.09	-0.08	-0.22	-0.33	-0.68
		28	0.80	0.72	0.59	0.49	0.34	0.23	0.14	-0.17
		29	1.17	1.08	0.98	0.90	0.77	0.68	0.60	0.34
		30	1.54	1.45	1.37	1.30	1.20	1.13	1.06	0.86
0.75	0.118	21	-1.11	-1.11	-1.30	-1.44	-1.66	-1.82	-1.95	-2.36
		22	-0.79	-0.81	-0.96	-1.11	-1.31	-1.46	-1.58	-1.95
		23	-0.47	-0.50	-0.66	-0.78	-0.96	-1.09	-1.20	-1.55
		24	-0.15	-0.19	-0.33	-0.44	-0.61	-0.73	-0.83	-1.14
		25	0.17	0.12	-0.01	-0.11	-0.28	-0.37	-0.46	-0.74
		26	0.49	0.43	0.31	0.23	0.09	0.00	-0.08	-0.33
		27	0.81	0.74	0.64	0.56	0.45	0.36	0.29	0.08
		28	1.12	1.05	0.96	0.90	0.80	0.73	0.67	0.48
1.00	0.155	20	-0.85	-0.87	-1.02	-1.13	-1.29	-1.41	-1.51	-1.81
		21	-0.57	-0.60	-0.74	-0.84	-0.99	-1.11	-1.19	-1.47
		22	-0.30	-0.33	-0.46	-0.55	-0.69	-0.80	-0.88	-1.13
		23	-0.02	-0.07	-0.18	-0.27	-0.39	-0.49	-0.56	-0.79
		24	0.26	0.20	0.10	0.02	-0.09	-0.18	-0.25	-0.46
		25	0.53	0.48	0.38	0.31	0.21	0.13	0.07	-0.12
		26	0.81	0.75	0.66	0.60	0.51	0.44	0.39	0.22
		27	1.08	1.02	0.95	0.89	0.81	0.75	0.71	0.56
1.50	0.233	14	-1.36	-1.36	-1.48	-1.58	-1.72	-1.82	-1.89	-2.12
		16	-0.94	-0.95	-1.07	-1.15	-1.27	-1.36	-1.43	-1.63
		18	-0.52	-0.54	-0.64	-0.72	-0.82	-0.90	-0.96	-1.14
		20	-0.09	-0.13	-0.22	-0.28	-0.37	-0.44	-0.49	-0.65
		22	0.35	0.30	0.23	0.18	0.10	0.04	0.00	-0.14
		24	0.79	0.74	0.68	0.63	0.57	0.52	0.49	0.37
		26	1.23	1.18	1.13	1.09	1.04	1.01	0.98	0.89
		28	1.67	1.62	1.56	1.56	1.52	1.48	1.47	1.40
2.00	0.310	10	-1.38	-1.39	-1.49	-1.56	-1.67	-1.74	-1.80	-1.96
		12	-1.03	-1.05	-1.14	-1.21	-1.30	-1.37	-1.42	-1.57
		14	-0.68	-0.70	-0.79	-0.85	-0.93	-0.99	-1.04	-1.17
		16	-0.32	-0.35	-0.43	-0.48	-0.56	-0.61	-0.65	-0.77
		18	0.03	-0.00	-0.07	-0.11	-0.18	-0.23	-0.26	-0.37
		20	0.40	0.36	0.30	0.26	0.20	0.16	0.13	0.04
		22	0.76	0.72	0.67	0.54	0.59	0.55	0.53	0.45
		24	1.13	1.09	1.05	1.02	0.98	0.95	0.93	0.87

Valores de PMV = 0 representam condições de neutralidade térmica.

Figura 2.3 - Carta psicrométrica com a indicação da zona de conforto em ambientes climatizados segundo a norma ASHRAE 55 (2004).

2.5.2 Percentagem de pessoas insatisfeitas (PPD)

É importante ressaltar que os valores de PMV não são suficientes para definir a sensação de desconforto, pois qualquer valor da escala não indica o quão insatisfeitas as pessoas estão. Para tanto, Fanger (1972), associou aos índices de voto médio estimado (PMV) com a percentagem de pessoas insatisfeitas (PPD - Predicted Percentage of Dissatisfied).

Na Figura 2.4 é mostrada a relação entre PMV e PPD. É possível notar que, mesmo com PMV igual a zero (neutralidade térmica), 5% estão insatisfeitos.

2.5.3 Desconforto térmico local

As condições de conforto térmico de Fanger foram obtidas para o corpo como um todo. Contudo, uma pessoa pode sentir neutralidade térmica ($PMV = 0$), mas pode não estar confortável se uma parte do corpo está mais “quente” ou mais “fria”. Portanto, para se estar em condições de conforto é necessário também que não haja desconforto local (quente ou frio) em diferentes partes do corpo.

Figura 2.4 - Relação entre PMV e PPD

O desconforto térmico local pode ser causado por:

- ❖ Correntes de ar (“draft” ou “draught”);
- ❖ Assimetria de radiação;
- ❖ Diferença de temperatura vertical do ar entre os pés e a cabeça;
- ❖ Diferença de temperatura entre os pés e o piso.

- Correntes de ar

As correntes de ar (“draft” ou “draught”) ocorrem quando o movimento do ar gera um resfriamento localizado de uma determinada região do corpo. Assim, ocorrem com mais frequência em regiões do corpo que não estão protegidas pela vestimenta, tais como pescoço, cabeça, mãos entre outros. É possível verificar o percentual de insatisfação (DR-Draught Rate) por meio da equação 2.18 (ISO 7730, 1994).

$$DR = \left[(34 - T_{ar})(V_{ar} - 0,05)^{0,62} \right] (0,37.V_{ar}.T_u + 3,14) \quad (2.18)$$

onde:

T_{ar}	Temperatura do ar	[°C]
T_u	Intensidade de turbulência	[%]
V_{ar}	Velocidade média do ar no local	[m/s]

A intensidade de turbulência pode ser calculada dividindo-se o desvio padrão (variação da velocidade do ar) pela velocidade média do ar. Tais valores são referentes à

região na altura do tronco e da cabeça. A norma ISO 7730 (1994) recomenda um valor limite de 15% para considerar condições de conforto térmico.

- Assimetria de radiação

A assimetria de radiação nada mais é que a não uniformidade da radiação em torno da pessoa. Isto ocorre tanto por proximidade de superfícies frias ou de superfícies quentes como, por exemplo, a radiação do foco cirúrgico.

- Diferença vertical de temperatura

A diferença vertical da temperatura entre os pés e a cabeça, ou a estratificação da temperatura, é a diferença da temperatura do ar medido entre o valor 0,10 m (altura dos pés) e 1,10 m (altura da cabeça) caso esteja sentada e 0,10 m (altura dos pés) e 1,70 m (altura da cabeça) caso a pessoa estiver de pé.

Segundo as normas ASHRAE 55 (2004) e ISO 7730 (1994) essa variação não pode ser maior que 3 °C, para vestimentas com isolamento de 0,5 a 0,7 clo, para que a pessoa não sinta desconforto térmico.

- Diferença de temperatura entre os pés e o piso

O desconforto causado pela diferença de temperatura entre os pés o piso ocorre quando uma pessoa, mesmo calçada, sente frio ou calor devido ao contato direto com o piso. A temperatura do piso para pessoas não sentirem desconforto por esta causa deve estar entre 19 °C e 29 °C, segundo a norma ASHRAE 55 (2004).

Capítulo 3

AMBIENTES CIRÚRGICOS

Neste capítulo são apresentadas, de forma detalhada, algumas características de um ambiente cirúrgico. Como em um ambiente cirúrgico as condições de conforto térmico e a qualidade do ar devem ser controladas de forma simultânea, inicialmente são apresentados fatores que influenciam na qualidade do ar, com enfoque na contaminação aérea que apresenta um grande problema com relação à qualidade do ar nestes ambientes. Em seguida, são discutidos aspectos relacionados com a movimentação de ar em salas cirúrgicas e apresentados os principais tipos de sistemas de distribuição de ar utilizados.

3.1 Qualidade do ar em ambientes cirúrgicos

Quando o objetivo é propiciar condições de conforto térmico em um ambiente cirúrgico é de vital importância que se pense, simultaneamente, em manter a boa qualidade do ar interior para minimizar os riscos de infecções.

Infecção hospitalar ou nosocomial (das palavras gregas *nósos*, que significa "doença", e *komeion*, que significa "hospital") é, como a própria palavra diz, uma doença adquirida em hospitais. Comumente tal termo se refere à infecção adquirida por pacientes internados em hospitais, cujos sintomas da infecção manifestam-se durante a internação ou mesmo depois da “alta do paciente” (ANVISA, 2000).

Os objetivos que justificam a adoção de medidas criteriosas para o controle das infecções é reduzir a mortalidade e o sofrimento dos pacientes, o tempo de internação e os custos. No Brasil esse controle é feito principalmente mediante a aplicação de antisépticos e antibióticos (Pereira, 2002). Entretanto, além do impacto sobre o custo do tratamento, o uso desses recursos traz dois sérios inconvenientes, que são:

- ❖ Os antibióticos propiciam o desenvolvimento de cepas bacterianas cada vez mais resistentes. Bactérias que antes podiam ser combatidas com antibióticos comuns resistem a antibióticos cada vez mais poderosos. Na corrida dos antibióticos contra as bactérias, estas têm levado vantagem (Pereira, 2002);

- ❖ O uso de antibióticos acaba propiciando o desenvolvimento de fungos. Considerando o organismo humano como habitat, pode-se dizer que as variadas espécies de fungos e bactérias que nele convivem estão em constante competição. Os antibióticos, ao combater bactérias, patogênicas ou não, acabam por desequilibrar a disputa em favor dos fungos. Num organismo já com as defesas imunológicas reduzidas em virtude da doença, o ataque de fungos pode ser extremamente virulento e até fatal (Pereira, 2002).

As infecções hospitalares se enquadram em duas categorias, podendo ser endógenas ou exógenas (Magram et al., 1999). No caso das infecções endógenas, provenientes da flora do paciente, há necessidade de se evitar que microrganismos presentes no próprio organismo do paciente possam contaminar tecidos ou órgãos nos quais se tornem virulentos (Horan et al., 1993). Apenas como exemplo, pode ser citado o fungo *Candida albicans*, que é relativamente inofensivo na boca, mas é fatal em 60% dos casos de penetração na corrente sanguínea.

No caso das infecções exógenas, microrganismos 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. Um dos principais meios de infecção exógena é por meio da contaminação da ferida por partículas. As partículas contendo microrganismos depois de se precipitarem na ferida, devido à gravidade, contaminam-na pelo contato direto (Horan et al., 1993). Por outro lado, pode ocorrer a contaminação de modo indireto quando esses agentes aéreos contaminam superfícies em contato com o ar e partículas depositadas sobre superfícies de instrumentos cirúrgicos, vestimentas e outros objetos são transportadas até a ferida cirúrgica (Edmiston et al., 1999).

Os microrganismos não usam o ar como meio para seu crescimento, mas utilizam as partículas existentes no ar como meio de transporte. Os microrganismos são carregados em partículas de poeira, em grandes gotas que sedimentam rapidamente e em núcleo de gotas que resultam da evaporação de pequenas gotas líquidas. Estes microrganismos carregados podem se depositar sobre feridas cirúrgicas, instrumentos, superfícies, etc. Também podem ser inalados por indivíduos e causar ou agravar doenças.

Por isso, o maior problema quanto à qualidade do ar em ambientes cirúrgicos está na transmissão de agentes patogênicos e ainda existem poucas alternativas de solução de

engenharia que, por sua vez, apresentam parâmetros de desempenho e projetos bastante vagos para garantir a eficácia neste controle (Pereira e Tribess, 2004a).

Os métodos disponíveis para o controle de agentes infecciosos transmitidos pelo ar incluem a ventilação com renovação de ar, filtração, irradiação ultravioleta e isolamentos por níveis de pressão. Cada uma destas tecnologias tem vantagens e limitações. Contudo, com um projeto bem adequado é possível controlar a expansão desses agentes transmitidos pelo ar em um edifício hospitalar.

Na literatura existe um bom número de normas e de regras publicadas para as taxas de ventilação, eficiência dos filtros e controle de pressão, que têm sido adotadas como requisitos para os projetistas.

O controle da infecção normalmente não é considerado um parâmetro de projeto e os mecanismos de controle de infecção aérea ainda não são bem entendidos pela maioria dos projetistas. Os projetistas geralmente utilizam valores exigidos e pressupõem que eles são absolutos, usando-os na faixa entre o mínimo e o máximo estabelecidos. Uma melhor compreensão das razões dessas exigências ajudará os projetistas a determinarem quando pode haver necessidade de exceder o mínimo ou o máximo recomendado por essas regras no sentido de se garantir a saúde e o bem estar das pessoas (Pereira e Tribess, 2004b).

Na proteção dos ocupantes de uma sala cirúrgica, o controle de partículas viáveis, odor, vírus e microorganismos carregados pelo ar, substâncias químicas perigosas e substâncias radioativas são considerados essenciais (Lidwell et al., 1987; Friberg et al., 1998). Desta forma, no controle preciso das condições ambientais e a diluição e remoção desses agentes, alguns requisitos devem ser considerados, tais como: a restrição do movimento do ar internamente e entre vários setores, necessidades específicas de ventilação e filtragem, necessidade de controle de temperatura e umidade do ar, etc.

É importante ressaltar que, além do risco de infecção em um ambiente cirúrgico, também é importante ter atenção com relação a agentes químicos dispersos no ar, pois em ambientes cirúrgicos são encontrados materiais que possuem propriedades alergênicas e irritantes ao sistema respiratório.

Um exemplo de agente químico é o metilmetacrilato, que é um produto comumente usado como cimento ósseo em cirurgias ortopédicas (Willians e Syderham, 1996). Também em cirurgias a *laser* alguns irritantes são produzidos, tais como, aldeídos, os COVs (compostos orgânicos voláteis) e os hidrocarbonetos aromáticos polinucleares. Bellina et al. (1982), enfocaram o potencial de efeitos nocivos à saúde do pessoal do centro cirúrgico quando tumores eram irradiados com *laser* de dióxido de carbono (CO₂).

A contaminação ambiental por gases anestésicos em um hospital é um problema extremamente sério aos profissionais da saúde. Vários estudos comprovam que os ocupantes destes ambientes são constantemente expostos à ação dos gases anestésicos. A exposição crônica a baixos níveis de gases anestésicos constitui um risco à saúde para as pessoas nas salas de cirurgia (Pereira et al., 2004). Muitos estudos têm indicado que a exposição de mulheres ao óxido nítrico no segundo e terceiro mês de gestação, a níveis excedentes aos valores das diretivas, pode aumentar o risco de aborto espontâneo, natimortos e anomalias congênitas nas crianças (Buring, 1985; Miller, 1989). Para resolver este problema há a necessidade de renovação de ar e de sistema de ventilação adequado.

Sistemas de ventilação e condicionamento de ar em ambientes cirúrgicos incluem dispositivos de tomada ou entrada de ar externo, filtros, sistemas de umidificação/desumidificação (controle de umidade), sistema de aquecimento e/ou resfriamento de ar, ventiladores, sistema de distribuição de ar, dispositivo para descarga de ar, registros, difusores ou grelhas de distribuição de ar (ACGIH, 1998; ASHRAE, 2005).

No processo de ventilação, a ventilação geral tem as seguintes funções:

- ❖ Diluição e remoção de contaminantes por filtração e renovação de ar por hora;
- ❖ Controle dos padrões de movimentação do ar em quartos ou em áreas ;
- ❖ Controle da direção da movimentação do ar no interior dos ambientes;
- ❖ Controle do diferencial de pressão nas áreas de cuidados.

A renovação de ar é o meio mais eficiente em se conseguir a pureza do ar. Para isso o ar do meio externo mistura-se com o ar de retorno, e é em seguida insuflado para o ambiente através dos dutos de distribuição. Com isso há uma diluição dos contaminantes como, por exemplo, odores, gases anestésicos, entre outros. Como exemplo disto a figura 3.1 mostra a redução do número de agentes patogênicos com um percentual de 25% de renovação do ar em um determinado ambiente com concentração inicial de 500 cfu/m³ (unidades formadoras de colônia por metro cúbico).

Figura 3.1 - 25% de renovação do ar (Kowalsk e Bahnfleth , 1998).

É possível, por meio do controle do ar de insuflamento e exaustão, criar um diferencial de pressão para o controle de agentes patogênicos. Com isso se pode controlar a movimentação do ar em centros cirúrgicos.

O sistema de filtragem desenvolve um papel fundamental no sentido de manter uma atmosfera controlada nos diversos ambientes. Os dispositivos de filtragem devem abranger dois aspectos fundamentais: um é a proteção da instalação, em particular da central de tratamento de ar e da rede de dutos contra os efeitos prejudiciais das partículas, e o outro aspecto é a proteção dos ambientes e de seus ocupantes dos contaminantes (Pereira e Tribess, 2004b).

Em ambientes onde forem recomendados dois leitos filtrantes, o leito nº 1 deve ser localizado antes dos equipamentos de ar condicionado, e o leito filtrante nº 2 deve ficar após os dispositivos de suprimento de ar, umidificadores, etc. Quando apenas um leito filtrante for indicado, este deve estar localizado após todos os componentes (Pereira e Tribess, 2004b).

Filtros com eficiência de 90 a 95% podem remover 99,9% de todas as bactérias presentes em um ambiente cirúrgico (ASHRAE, 2005). Isto se dá porque as bactérias se encontram em colônias com dimensões maiores que 1 μm . Algumas organizações (ASHRAE, 2005; AIA, 2006; ACGIH, 1998) recomendam o uso de filtros de alta eficiência (HEPA) testados com partículas de dioctilftalato (DOP), que apresentam uma eficiência de filtragem de 99,97% para partículas que possuem 0,3 μm de diâmetro (Pereira e Tribess, 2004b). Estes tipos de filtros devem ser usados em locais onde são tratados

pacientes de alto risco de infecção, por exemplo, em pacientes com: leucemia, queimaduras, HIV e também em casos de transplante de medula óssea e de órgãos. Os filtros HEPA também devem ser usados em locais onde são processados materiais infectantes ou altamente radioativos. Uma desvantagem em se utilizar os filtros tipo HEPA é seu elevado custo de manutenção, mas a sua vida útil pode aumentar em aproximadamente 25% com a utilização de pré-filtros. É possível instalar antes de um filtro HEPA um pré-filtro com eficiência de 90%, e com isso a vida útil dos filtros pode aumentar em até 900%. Este conceito, é chamado de filtragem "progressiva", o que permite que os filtros HEPA em áreas hospitalares sejam usados por até 10 anos ou mais (ACGIH, 1998).

A figura 3.2 apresenta as curvas de desempenho de alguns filtros. A figura 3.3 apresenta a redução da concentração de partículas com o tempo com a utilização de filtros HEPA para alguns números de trocas de ar.

Figura 3.2 – Eficiência de filtros HEPA (Kowalsk e Bahnfleth , 1998).

O controle da umidade relativa e temperatura do ar desempenham um papel importante tanto na manutenção da qualidade do ar como no controle das condições de conforto térmico.

Figura 3.3 - Redução da concentração de partículas de filtros HEPA em função do número de trocas de ar por hora (ACH - Air Changes per Hour) (Kowalsk e Bahnfleth , 1998).

Segundo Sterling et al. (1985) o crescimento de organismos, que podem se tornar viáveis, isto é aumentar o risco de infecções, tem sido associado à umidade relativa. Por exemplo, em ambientes com baixos níveis de umidade o resultado é o ressecamento das membranas mucosas que em muitas doenças respiratórias provoca a susceptibilidade dos ocupantes aos agentes biológicos. Estes tecidos secos podem ser menos resistentes à infecção (Green, 1985). Experimentos feitos com animais mostram que o índice de infecção aumenta tanto com baixos níveis de ventilação quanto de umidade relativa elevada (Pereira e Tribess, 2004b). Sterling et al. (1985) sugerem que a taxa de umidade relativa aceitável é de 40 a 60%. Ainda, a diminuição excessiva do nível de umidade relativa pode causar um leve aumento dos alérgenos e vírus (Hermans, 2000; Sterling et al. 1985). Além dos fatores citados acima é importante destacar que ambientes muito secos favorecem a dispersão de partículas pelo ar (Pereira e Tribess, 2004a).

Por outro lado, em ambientes com procedimentos cirúrgicos com altos níveis de umidade relativa, estudos laboratoriais mostram que, quando a taxa de umidade relativa está entre 70 e 80% com temperatura do ar a 25 °C, são criadas condições favoráveis para o crescimento e desenvolvimento de microrganismos (Hermans, 2000; Sterling et al. 1985). O limite de 60% de umidade relativa estabelecido por Sterling também é interessante por razões puramente práticas. Ar com elevado teor de umidade é a causa principal da condensação nos dutos de distribuição de ar e nos filtros. Isto gera uma outra fonte para proliferação de fungos e bactérias (Hermans, 2000; Sterling et al. 1985). Assim, no caso

do controle da umidade relativa do ar para propiciar condições de conforto térmico é necessário uma atenção especial com relação a valores que possam prejudicar a qualidade do ar.

Uma estratégia de controle em um ambiente cirúrgico para se manter uma boa qualidade do ar é a utilização de raios ultravioletas para a esterilização do ar (UVGI). O uso do UVGI em ambientes hospitalares reduz a concentração de bactérias aerotransportadas, mas não é muito eficiente no combate de esporos de fungos. Esta técnica, usada desde a década de 1940, não se mostrou tão eficiente quanto o uso da técnica de filtragem.

O UVGI pode ser aplicado no retorno de sistemas de distribuição de ar, pode estar montado em teto ou paredes, onde a fonte luminosa é direcionada para o interior do ambiente com o fim de combater os organismos presentes no ar. Os principais fatores que influenciam na eficiência desta técnica são: o nível global de contaminação no ar, a taxa de renovação de ar, tipo de sistema, a frequência de limpeza das fontes luminosas e o nível de atividade no ambiente (Pereira e Tribess, 2004b).

Devido aos perigos de lesões cutâneas que estes dispositivos podem provocar aos ocupantes do ambiente, a sua utilização tem sido limitada (Kowalsk e Bahnfleth, 2000; Philips, 1985). Kowalsk e Bahnfleth (2000) e Philips (1985) ressaltam que esta restrição é devido à necessidade de uma maquinaria dispendiosa, da difícil manutenção e os resultados podem não trazer benefícios significantes. A figura 3.4 apresenta o efeito do UVGI, com potência de $25 \mu\text{W}/\text{m}^2$, no combate à contaminação em um ambiente com 25% de recirculação de ar.

Figura 3.4 - Efeito do UVGI (Kowalsk e Bahnfleth, 2000).

A tabela 3.1 apresenta condições internas para ambientes cirúrgicos recomendadas por algumas referências internacionais.

Tabela 3.1 – Recomendações para condições de trabalho em ambientes cirúrgicos. (Balaras et al., 2007).

Temperatura ^a do ar (°C)	Umidade (%)	Ventilação	Fontes/referências
20-23	30-60	Pressão Positiva. Ter no mínimo 15 ACH ^c sendo pelo menos 3 ACH do ar externo. Todo ar recirculado filtrado por filtros com no mínimo 90% de eficiência. Escoamento do ar unidirecional de cima para baixo.	AIA (2006)
17-27	45-55	Pressão positiva. No mínimo 25 ACH com no mínimo 5ACH do ar exterior.	ASHRAE (2005)
20-24	30-60	Pressão positiva. No mínimo 20ACH com no mínimo 4 ACH do ar exterior.	Norma ASHRAE:170P (2006)
22-26 ^b	50-60	Pressão positiva. Com pelo menos 20 ACH.	Norma DIN 1946 (1999)

^a O uso de valores maiores e menores é aceitável quando condições médicas requerem, por exemplo procedimentos em cirurgias cardíacas requerem uma temperatura do ar de 17 °C.

^b Com vazões de ar a taxa de 0,67 m³/s.

^c ACH (Air Changes per Hour – Trocas de ar por hora)

3.2 Distribuição de ar em salas cirúrgicas

Para se conseguir um desempenho aceitável, as salas cirúrgicas devem cumprir um dos mais complexos conjuntos de exigências de controle, tendo como critério de desempenho a proteção e o conforto para os pacientes e equipe médica

Um dos fatores mais importantes no controle da contaminação aérea é a movimentação do ar no ambiente cirúrgico, que afeta não só a qualidade do ar, mas

também as condições de conforto térmico dos ocupantes. Uma boa revisão do estudo da movimentação do ar em salas cirúrgicas no controle da contaminação aérea é apresentada por Pereira e Tribess (2005).

A movimentação do ar no ambiente é função direta do sistema de distribuição de ar utilizado.

3.2.1 Sistemas com fluxo turbulento

Em salas cirúrgicas que utilizam sistemas com fluxo turbulento o ar tratado é insuflado através de difusores instalados no teto ou na parede. O ar insuflado mistura-se rapidamente e uniformemente com o ar do ambiente provocando uma diluição do teor de contaminantes. Desta forma, a contaminação originada de certa fonte é distribuída de maneira uniforme ao longo de toda a sala, assim como a uniformidade da temperatura é atingida rapidamente (Howorth, 1993; Woods et al., 1986).

Esta concepção de insuflamento de ar é uma das mais utilizadas na maioria dos centros cirúrgicos. A distribuição turbulenta diminui a formação de ilhas estáticas de ar ao longo da sala. O projeto desses sistemas tem uma boa flexibilidade e os filtros e o sistema de distribuição de ar são menos complexos e de fácil manutenção. Porém, a sua grande desvantagem é que, quando a troca de ar é pequena, a recuperação do ambiente a partir de uma condição contaminada é lenta (Lewis, 1993).

A figura 3.5 mostra um esquema de uma sala cirúrgica com um sistema de fluxo turbulento com vários difusores localizados no teto.

Figura 3.5 – Fluxo turbulento com insuflamento pelo teto (Schmidt, 1987)

Já a figura 3.6 mostra um sistema com fluxo turbulento com a grelha de insuflamento de ar localizada em uma das paredes da sala. Após o ar passar pelo

equipamento de condicionamento de ar é conduzido pelos dutos e insuflado para o interior do ambiente através dos difusores (Lewis, 1993; Howorth, 1993). A figura 3.7 mostra um esquema de uma sala cirúrgica com um sistema com fluxo turbulento com insuflamento em diagonal.

Figura 3.6- Fluxo turbulento com insuflamento pela parede (Schmidt, 1987)

Figura 3.7- Fluxo turbulento com insuflamento diagonal (Schmidt, 1987)

3.2.2 Sistemas com fluxo unidirecional (fluxo “laminar”)

Os sistemas cirúrgicos como fluxo de ar unidirecional também denominados de fluxo “laminar”, têm sido muito estudados e utilizados em cirurgias ortopédicas. Segundo alguns autores (Lidwell et al., 1987, 1993; Lidwell, 1988; TAT, 1997), em procedimentos ortopédicos, como por exemplo em substituição de articulação, precauções assépticas

devem prevalecer para compensar os riscos de contaminação da ferida devido à grande exposição e pelo implante massivo, principalmente quando cimentado.

Nos sistemas que fornecem fluxo de ar unidirecional, o ar se movimenta uniformemente em uma velocidade de aproximadamente 0,45 m/s, em linhas de fluxo paralelas (ASHRAE, 2005).

Algumas concepções de movimentação unidirecional permitem que toda a contaminação gerada dentro do ambiente seja levada para fora deste ambiente o mais rápido possível. Neste tipo de movimentação do ar, o equipamento pode insuflar o ar na direção horizontal ou vertical. Quando o insuflamento é horizontal, o ar normalmente é insuflado por toda a parede. Quando insuflado na direção vertical o ar é insuflado a partir de todo o forro.

A disposição vertical tem a vantagem de ter a ação da gravidade na precipitação e eliminação das partículas maiores, obtendo-se, portanto, um sistema de elevada eficiência (Turpin, 1998).

A maioria dos sistemas de fluxo unidirecional é equipado com filtros HEPA, garantindo ar livre de partículas acima de 0,3 μm (remoção de 99,97%) e removendo assim grande parte das bactérias, fungos e até alguns vírus maiores (TAT, 1997). Esta filtração assegura ar essencialmente estéril, que é renovado constantemente.

Para se garantir movimentação uniforme da corrente de ar em um sistema com fluxo unidirecional, são propostos vários tipos de proteções para estes sistemas, como painéis laterais e cortinas de ar. Nos sistemas de fluxo unidirecional protegidos com painéis, a corrente de ar se movimenta paralelamente varrendo todo o campo asséptico. O ar é estratificado de forma que não existe praticamente contaminação cruzada. As partículas eventualmente em suspensão em uma linha de fluxo tendem a permanecer nesta linha até serem captadas na parte inferior das paredes.

Para se garantir movimento de ar uniforme com pouca mistura, a velocidade do ar deve ser suficientemente elevada para vencer as correntes de ar térmicas originadas das fontes de calor internas (Woods et al., 1986). A figura 3.8 mostra um sistema com fluxo unidirecional com insuflamento pelo teto protegido com painéis laterais.

Embora os sistemas com painéis tenham sido bem sucedidos com relação ao controle microbiológico do ar (Friberg, 1998; Howorth, 1993), eles provocam uma considerável restrição à movimentação dos cirurgiões, aos outros membros da equipe cirúrgica e o posicionamento dos instrumentos e de todos os itens que estão no interior da sala cirúrgica. Para evitar estes tipos de problemas são propostos os sistemas com os

painéis de proteção localizados aproximadamente a 2 m do piso. A figura 3.9 mostra um sistema com fluxo unidirecional com insuflamento pelo teto com este tipo de proteção (Lewis, 1993; Howorth, 1993).

Figura 3.8 - Fluxo unidirecional com painéis (Schmidt, 1987).

Figura 3.9 – Fluxo unidirecional com painéis de proteção localizado a 2 m do piso (Schmidt, 1987)

Uma outra concepção de proteção da uniformidade do fluxo, são os difusores de fluxo unidirecional protegidos com cortina de ar. Neste caso o ar é insuflado nos quatros lados da mesa cirúrgica, criando uma cortina de ar em torno desta área, em função do ar ser insuflado em alta velocidade e inclinado em relação à vertical. (Lewis, 1993). A figura 3.10 mostra um exemplo deste tipo de sistema (Lewis, 1993; Howorth, 1993).

Figura 3.10 - Fluxo unidirecional com cortina de ar (Schmidt, 1987)

A cortina de ar torna-se uma barreira física entre o ar filtrado do difusor unidirecional e o ar contaminado do ambiente, inclusive ao nível do teto, onde o ar do difusor unidirecional se mistura mais com o ar ambiente. A cortina de ar também induz a saída do ar contaminado através das grelhas de retorno, diluindo a contaminação.

Um outro tipo de sistema com proteção lateral de fluxo unidirecional é a cortina plástica. A figura 3.11 mostra um sistema com este tipo de proteção (Lewis, 1993, Howorth, 1993).

Figura 3.11- Fluxo unidirecional com cortina plástica (Schmidt, 1987)

Finalmente, um outro tipo de sistema com fluxo unidirecional são sistemas sem proteção lateral. Estes tipos de dispositivos possuem pouca utilização em salas cirúrgicas em função de sua baixa eficiência no combate de partículas infecciosas. A figura 3.12

apresenta um exemplo deste tipo de sistema. A limitação deste sistema está associada com a facilidade de contaminação do ar insuflado. O ar insuflado pelo difusor pode se misturar facilmente com o ar do ambiente por indução (Lewis, 1993; Howorth, 1993).

Figura 3.12 – Fluxo unidirecional sem proteção (Schmidt, 1987).

Capítulo 4

MÉTODO DE TRABALHO

Neste capítulo são apresentados os procedimentos utilizados para a realização do trabalho experimental de avaliação de condições de conforto térmico e desconforto local nas salas cirúrgicas estudadas.

4.1 Introdução

Na avaliação de condições de conforto térmico foi utilizado o modelo desenvolvido por Fanger (1972). Para tal foram realizadas medições de variáveis que caracterizam as condições ambientais nas salas cirúrgicas estudadas: temperatura do ar, T_{ar} , velocidade do ar, V_{ar} , temperatura de globo, T_g , e umidade relativa do ar, ϕ . As medições foram realizadas durante a realização dos procedimentos cirúrgicos.

Também foram aplicados questionários (Anexo 1), em que cada membro da equipe cirúrgica respondia, ao final das cirurgias, qual a sua sensação térmica segundo a escala de sensação térmica da ASHRAE (Tab. 2.2) e questões referentes à sensação de desconforto local. As respostas relativas à sensação térmica foram utilizadas para verificação da adequação de utilização do método de Fanger, desenvolvido para ambientes de escritório em regime permanente, na avaliação de condições de conforto térmico em salas cirúrgicas.

Além disto, para a aplicação do modelo de Fanger também são necessários valores de variáveis que caracterizam o indivíduo, tais como: nível de atividade, M , da pessoa, e resistência térmica da roupa, I_R , usada pela pessoa. No presente trabalho foram utilizados valores adotados no trabalho de Mora et al. (2001) e na norma ASHRAE 55 (2004).

Para a realização das medições foram utilizados procedimentos e aparato experimental similar ao utilizado na avaliação de condições de conforto térmico em ambientes de escritórios com insuflamento de ar frio pelo piso, na tese de doutorado de Leite (2003).

A seguir são apresentados, de forma detalhada, os procedimentos utilizados para o estudo das condições de conforto térmico (medições, aplicação de questionários), as condições de ensaio, assim como as características dos instrumentos utilizados.

4.2 Condições de ensaio

Foram estudadas quatro condições de movimentação do ar, função do sistema de distribuição de ar utilizado, conforme apresentado na tabela 4.1. Para cada condição de ensaio foram realizadas medições e avaliações em aproximadamente oito cirurgias. O estudo das condições de conforto com o sistema de ventilação desligado foi possível de ser realizado em procedimentos cirúrgicos bastantes simples, onde o risco de infecção é extremamente baixo.

Tabela 4.1 - Condições estudadas

<i>Condições</i>	<i>Características do sistema</i>
Ensaio A	Sistema de ventilação desligado
Ensaio B	Sistema com insuflamento pela parede na parte superior e retorno pela mesma parede na parte inferior, lado oposto.
Ensaio C	Sistema com insuflamento pelo teto e retorno pelo teto.
Ensaio D	Sistema com fluxo unidirecional vertical

Em todos os ensaios as salas cirúrgicas foram divididas em duas zonas (fig. 4.1), 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 com raio de mais ou menos 1m, onde se encontram somente os cirurgiões, instrumentadores e o paciente. Esta zona é considerada a zona mais 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 4.1 - Vista em planta e seção das regiões nas salas cirúrgicas.

A maioria das cirurgias foi realizada em dias característicos de verão, com temperaturas externas do ar variando entre 25 e 35 °C e umidade relativa do ar entre 40 e 60%. Em alguns dias os testes foram realizados no começo da manhã, com temperaturas do ar externo variando entre 13 e 17°C, e umidade relativa do ar em torno de 70%.

Estas diferenças nas condições externas do ar, contudo, não alteraram as condições ambientais internas em uma mesma sala cirúrgica entre uma cirurgia e outra, pois as salas cirúrgicas estudadas possuem sistema de tratamento de ar com controle de temperatura e umidade. Mesmo na sala em que o sistema de ventilação permaneceu desligado não se verificaram variações significativas.

4.2.1 Ensaios A e B

Os ensaios A e B foram desenvolvidos na mesma sala cirúrgica, sendo que na condição A o sistema de ventilação permaneceu desligado. Para a condição B o sistema de ventilação ficou ligado durante toda a cirurgia. A figura 4.2 apresenta uma planta com as dimensões e mobiliário da sala estudada.

Figura 4.2 – Disposição da sala cirúrgica utilizada para a realização dos ensaios A e B.

O sistema de ventilação da sala insufla o ar para o ambiente por meio de um difusor tipo grelha localizada na parte superior de uma das paredes da sala cirúrgica, logo acima da porta de acesso, e retorna também por meio de uma grelha localizada na extremidade oposta da mesma parede na parte inferior próximo ao piso, como mostrado nas figuras 4.3 e 4.4. As cirurgias feitas nesta sala eram, na maioria, cirurgias de hérnia e varizes com duração de aproximadamente uma hora e meia. Estas cirurgias são consideradas cirurgias de pequeno porte que tem como equipe cirúrgica: um cirurgião, um cirurgião que realiza a função de instrumentador, um anestesista e um enfermeiro circulante somente.

Figura 4.3 – Sistema de distribuição de ar da condição de ensaio A.

Figura 4.4 – Sistema com insuflamento pela parede (detalhe da grelha de insuflamento).

As cirurgias foram realizadas tanto com a porta menor da sala aberta como fechada, não apresentando alterações significativas na avaliação dos resultados.

4.2.2 Ensaio C

O ensaio C foi desenvolvido em uma sala cirúrgica de um centro obstétrico. Os ensaios foram realizados tanto para cirurgias de parto normal como cirurgias de cesárea. O procedimento cirúrgico leva em média uma hora e a equipe cirúrgica é formada principalmente por: um cirurgião, dois instrumentadores, um anestesista e um enfermeiro circulante. O ar resfriado na sala entra por três difusores de insuflamento, posicionados no teto, em um lado da sala e o retorno ocorre através de três grelhas posicionadas no teto do outro lado da sala, como mostram as figuras 4.5 e 4.6. A figura 4.7 apresenta em detalhe o difusor de insuflamento.

Todas as cirurgias foram realizadas com a porta fechada, sendo que em algumas cirurgias houve certo número de alunos (residentes) que entravam e saíam da sala constantemente.

Figura 4.5 – Disposição da sala cirúrgica utilizada para a realização do ensaio C.

Figura 4.6 - Sistema de distribuição de ar da condição de ensaio C.

Figura 4.7 – Sistema com insuflamento pelo teto.

4.2.3 Ensaio D

O ensaio D foi realizado em uma sala cirúrgica onde são feitas cirurgias ortopédicas de pequeno porte. A maioria das cirurgias realizadas nesta sala foram cirurgias de limpeza de próteses.

A equipe cirúrgica, assim como nas situações anteriores, era formada por um cirurgião, um instrumentador, um anestesista e um enfermeiro circulante. A sala possui sistema de ar condicionado com sistema de fluxo unidirecional vertical, com retorno pela parede na parte inferior e exaustão de anestésicos na parte superior. As figuras 4.8, 4.9 e 4.10 apresentam um *layout* da sala cirúrgica e características do sistema de insuflamento de ar utilizado.

Figura 4.8 – Disposição da sala cirúrgica utilizada para a realização do ensaio D.

Figura 4.9 - Sistema de distribuição de ar nas condições do ensaio D.

Em função de cirurgias ortopédicas serem de alto risco, todas as cirurgias foram realizadas com a porta fechada.

Figura 4.10 - Sistema com fluxo unidirecional.

4.2.4 Equipe cirúrgica

Nas avaliações subjetivas foram aplicados questionários a quatro diferentes tipos de membros da equipe cirúrgica formada pelo cirurgião, instrumentador, anestesista e enfermeiros circulantes. Em algumas cirurgias a equipe era formada por dois instrumentadores, mas isso não ocorreu com frequência.

Analizando os membros da equipe, a principal diferença entre eles eram as vestimentas, o tipo de atividade que cada um exerce (que influencia diretamente no metabolismo) e a posição em que se encontram na sala. Devido ao fato das cirurgias serem executadas praticamente no mesmo intervalo de tempo, por volta de uma hora a uma hora e meia, e não ter se notado diferenças na atividade exercida ao longo dos ensaios, o nível de atividade para cada membro da equipe cirúrgica foi considerado o mesmo ao longo dos ensaios para as diferentes condições. Por exemplo, os cirurgiões exerceram as mesmas atividades em todos os ensaios.

O mesmo ocorreu com as vestimentas utilizadas por cada membro da equipe cirúrgica. Embora os ensaios tenham sido realizados em diferentes hospitais, a vestimenta de cada membro foi padrão em todos os hospitais.

A seguir são apresentadas as principais características para cada membro da equipe cirúrgica.

- ❖ Os cirurgiões ficam posicionados todo o tempo durante a cirurgia na região da sala denominada de zona 1. Por isso eles sofrem muito a influência do calor liberado

pelo foco cirúrgico. Sua principal atividade é executar o procedimento cirúrgico. Assim, seu nível de atividade é o mais alto entre os membros da equipe cirúrgica. Suas vestimentas são as seguintes: blusa manga curta, calça, avental de manga comprida, sapatos, touca, máscara e luvas. Os cirurgiões, por estarem próximo à ferida cirúrgica, devem estar vestidos de tal maneira que nenhuma parte do corpo, exceto parte do rosto que a máscara não cobre, fique exposta. Tal característica é obrigatória unicamente para cirurgiões e instrumentadores.

- ❖ Os instrumentadores ficam posicionados na mesma região que os cirurgiões, também sofrendo a influência do calor liberado pelo foco cirúrgico. Muitos dos instrumentadores avaliados eram cirurgiões ou alunos (residentes) que exerciam a função de instrumentadores, diferentemente do encontrado na literatura, onde os instrumentadores eram na maioria enfermeiros (as). Sua principal atividade é de auxiliar o cirurgião com os instrumentos necessários no procedimento cirúrgico. Suas vestimentas são as seguintes: blusa manga curta, calça, avental de manga comprida, sapatos, touca, máscara e luvas. Assim como os cirurgiões, os instrumentadores não devem ter nenhuma parte corpo exposta, exceto a parte do rosto que a máscara não cobre.
- ❖ Os anestesistas só entram na região denominada zona 1 no início da cirurgia para poder aplicar a anestesia ao paciente. Ao longo do procedimento cirúrgico eles ficam na região denominada de zona 2. Após a aplicação da anestesia os anestesistas observam as condições vitais do paciente através dos painéis localizados nos carros anestésicos. Suas vestimentas são: blusa manga curta, calça, sapatos, touca, máscara e luvas.
- ❖ Os enfermeiros ficam posicionados na região denominada de zona 2. Sua principal atividade é deixar todos os instrumentos utilizados nas cirurgias em mesas, antes do início da cirurgia. Caso falte algum instrumento ou o cirurgião necessite de algum instrumento que não esteja nas mesas, o enfermeiro fica responsável pela obtenção de tal instrumento. Por isso os enfermeiros são chamados de enfermeiros circulantes. Os enfermeiros são também responsáveis pela acomodação do paciente na mesa cirúrgica antes de iniciar a cirurgia, a retirada do paciente da mesa cirúrgica após o término da cirurgia e pela locomoção do paciente até a sala de recuperação pós-operatória. Suas vestimentas são: blusa manga curta, calça, sapatos, touca, máscara e luvas.

Para a avaliação das condições de conforto térmico utilizando o modelo de Fanger (1972) é necessário conhecer, como apresentado anteriormente, o valor da resistência I_R da roupa para cada membro da equipe cirúrgica. Devido à semelhança nas vestimentas dos membros da equipe cirúrgica com aquelas descritas no trabalho de Mora et al. (2001), foram utilizados os mesmos valores apresentados naquele trabalho. Para os cirurgiões e instrumentadores foram considerados valores de resistência de roupa de 0,86 clo e para enfermeiros e anestesistas valores de 0,42 clo. Em algumas cirurgias ortopédicas os membros da equipe cirúrgica usavam sobre a vestimenta padrão uma manta de chumbo, com o propósito de proteger o corpo da radiação liberada pelos equipamentos utilizados nas cirurgias. Mas estes tipos de cirurgias não foram considerados no presente trabalho.

O nível de atividade para os membros da equipe cirúrgica foi obtido da norma ASHRAE 55 (2004), considerando atividades similares. Para os cirurgiões foram considerados valores de 1,6 met e para o restante da equipe foram considerados valores de 1,4 met. Estes valores também foram utilizados por Mora et al. (2001).

A tabela 4.2 apresenta os valores de resistência da roupa e do nível de atividade para cada membro da equipe cirúrgica.

Tabela 4.2 Valores de resistência de roupa e nível de atividade para os membros da equipe cirúrgica.

	Resistência da roupa I_R (clo)	Nível de atividade (met)
Cirurgiões	0,86	1,6
Instrumentadores	0,86	1,4
Anestesistas	0,42	1,4
Enfermeiros	0,42	1,4

4.2.5 Medição das variáveis ambientais

Conforme apresentado anteriormente, a sala cirúrgica foi dividida em duas regiões, sendo a zona 1 a região onde se encontram o cirurgião, o instrumentador e o paciente, e a zona 2 a região onde se encontram os anestesistas e enfermeiros, como mostrado na figura 4.1. As variáveis ambientais medidas, em cada uma das regiões, foram: temperatura do ar, velocidade do ar, temperatura de globo e umidade relativa do ar.

A temperatura de globo foi medida com o intuito de se obter a temperatura radiante média, que segundo a norma ISO 7726 (1998) é definida como a temperatura uniforme de um ambiente interno imaginário em que a transferência de calor por radiação do corpo

humano é igual à transferência de calor por radiação do corpo humano em um ambiente real não uniforme. Para ser obter a temperatura radiante média, a partir da temperatura de globo, foi considerada condição de convecção forçada e utilizada a eq. (2.17).

Na região denominada de zona 1 foram feitas inicialmente medições com a sala vazia. Isto foi feito com o objetivo de se obter uma característica mais precisa do comportamento do ar nessa região, pois com o intuito de se manter o conforto e a segurança do paciente durante o procedimento cirúrgico, era permitido apenas um sensor medidor localizado acima da mesa cirúrgica. Tal sensor media a temperatura e umidade do ar. A temperatura de globo foi medida em 4 pontos ao longo da mesa cirúrgica durante a cirurgia, o termômetro de globo foi colocado na extremidade da região denominada zona 1 a aproximadamente 1 m de altura. Os valores de velocidade do ar utilizados na avaliação de conforto térmico dos ocupantes da região denominada zona 1, utilizando o modelo de Fanger (1972), foram os valores medidos com a sala vazia.

Na região denominada zona 2 os valores de temperaturas e velocidades do ar foram medidos em quatro alturas diferentes que foram por volta de 0,1 m; 0,6 m; 1,1 m; e 1,7 m do nível do piso e em quatro pontos diferentes ao longo da sala, totalizando 16 pontos. Para isso foram utilizados anemômetros omnidirecionais e medidores de temperatura do ar como mostrado na figura 4.11.

Figura 4.11 - Medidor de temperatura do ar e anemômetro omnidirecional.

A temperatura de globo foi medida em quatro pontos ao longo da zona 2 a uma altura de mais ou menos 1m. O sensor utilizado para medição da temperatura de globo é apresentado na figura 4.12. A tabela 4.3 apresenta as principais características dos sensores utilizados segundo o manual do fabricante.

Tabela 4.3 – Características dos instrumentos utilizados.

Variáveis	Faixa de medição	Incertezas
Temperatura	0 a 50 °C	0,3 °C
Velocidade	0 a 1 m/s	$\pm (0,05 \pm 3\% V)$ m/s
Umidade	20 a 90%	$\pm 5\%$

Figura 4.12 - Medidor de temperatura do ar, velocidade e termômetro de globo.

As medições foram realizadas durante a cirurgia. Para isso foram utilizados quatro pedestais com quatro pares de sensores de velocidade e temperatura, distribuídos ao longo das alturas, e um sensor de globo. Tais sensores eram conectados a um sistema de aquisição de dados (figura 4.13), que conectado ao computador, como apresentado na figura 4.14, fazia a aquisição dos dados no intervalo de 1 minuto.

Figura 4.13 – Módulo de aquisição de dados.

Figura 4.14 – Pedestal de suporte e sistema de aquisição de dados

Para a visualização de dados foi utilizado um software de interface entre o sistema de aquisição e o computador. A verificação dos dados em tempo real foi feita através do computador (vídeo). As figuras 4.15 e 4.16 apresentam o a tela de interface do software utilizado na visualização de dados. A figura 4.17 apresenta um exemplo da disposição dos equipamentos nas salas cirúrgicas.

Figura 4.15 – Tela de interface - Aba das Temperaturas dos Pedestais

Figura 4.16 – Tela de interface - Aba das velocidades dos pedestais

Figura 4.17 – Disposição dos equipamentos.

4.2.6 Análise subjetiva

Para a obtenção dos valores de PMV subjetivos, ao término de cada cirurgia foi entregue à equipe cirúrgica um questionário referente às sensações térmicas que cada um experimentou durante a cirurgia. O questionário, apresentado no Anexo A, foi baseado no questionário aplicado por Mora et al. (2001) com adaptações. Conforme apresentado anteriormente, os valores de PMV obtidos com os questionários foram comparados com os valores de PMV calculados pelo modelo de Fanger (1972), constantes da norma ISO 7730 (1994). Os valores de PMV obtidos dos questionários também foram baseados na escala de sensações térmicas utilizada por Fanger (1972). A tabela 4.4 apresenta a relação entre a escala de sensações térmicas, o PMV e o PPD.

Tabela 4.4 – Sensação térmica, PMV e PPD (Fanger, 1972)

Escala de sensação térmica							
PMV	-3	-2	-1	0	1	2	3
Sensação térmica	Muito frio	frio	Leve sensação de frio	neutra	Leve sensação de calor	quente	Muito quente
PPD	100%	78%	26%	5%	26%	78%	100%

Ao todo foram respondidos 120 questionários. Em seguida, foi feita uma comparação entre os valores de PMV obtidos por meio dos questionários e os valores de PMV calculados pelo modelo de Fanger para verificação da adequação da utilização do modelo de Fanger em ambientes cirúrgicos.

Nos questionários também há questões referentes à sensação térmica do indivíduo antes do início da cirurgia. Com isto foi possível verificar a tendência da sensação térmica dos membros da equipe ao longo do tempo durante o procedimento cirúrgico. Outras perguntas eram referentes a desconforto local, que pode ocorrer devido ao aquecimento do foco cirúrgico, correntes de ar.

4.2.7 Desconforto local

Para a análise do desconforto local foram utilizadas especificações da norma ASHRAE 55 (2004) e ISO 7730 (1994) com relação à diferença da temperatura do ar entre a região da cabeça (1,7 m) e os pés (0,1 m) e devido a correntes de ar (DR- Draught Rate). Também foram analisadas as respostas dadas nos questionários com relação ao desconforto ocasionado por situações específicas.

Capítulo 5

RESULTADOS DOS ENSAIOS E ANÁLISE

5.1 Introdução

Neste capítulo são apresentados os resultados levantados em campo para as condições de ensaio:

- ❖ Ensaio A - Sistema de ventilação desligado;
- ❖ Ensaio B - Sistema com insuflamento pela parede, parte superior, e retorno pela mesma parede, parte inferior, lado oposto;
- ❖ Ensaio C - Sistema com insuflamento pelo teto e retorno pelo teto;
- ❖ Ensaio D - Sistema com fluxo unidirecional.

5.2 Variáveis ambientais

Neste item são apresentados os valores das variáveis ambientais, juntamente com as incertezas, representativas da zona 1 (cirurgiões e instrumentadores) e da zona 2 (anestesistas e enfermeiros) para cada condição de ensaio.

Os valores das variáveis são a média dos valores médios ao longo das cirurgias em cada condição de ensaio estudada. As incertezas são o resultado da combinação das incertezas dos equipamentos e dos desvios padrão em cada condição de ensaio (Coleman e Steele, 1989; Orlando, 1993 e Vuolo, 1996; INMETRO, 1998).

Na tabela 5.1 são apresentados os valores das variáveis ambientais na zona 1 e as temperaturas do ar insuflado. Na tabela 5.2 são apresentados os valores das variáveis ambientais na zona 2, bem como as condições ambientais externas à sala cirúrgica, medidas no corredor de acesso. Nas tabelas 5.1 e 5.2 a temperatura radiante média foi obtida a partir dos resultados de medição da temperatura de globo, utilizando a eq. (2.17).

Os resultados dos valores médios das variáveis ambientais ao longo de cada cirurgia, para cada condição de ensaio (utilizados na obtenção dos valores das tabelas 5.1 e 5.2), são apresentados no Anexo B.

Tabela 5.1 - Variáveis ambientais na zona 1 e temperatura do ar insuflado

	<i>Ensaio A</i>	<i>Ensaio B</i>	<i>Ensaio C</i>	<i>Ensaio D</i>
Temperatura média do ar (°C)	26,0 ± 0,4	24,2 ± 0,7	27,1 ± 1,0	27,3 ± 1,0
Temperatura radiante média (°C)	29,0 ± 0,4	28,6 ± 0,6	29,5 ± 0,5	29,4 ± 0,7
Umidade relativa média do ar (%)	45 ± 8	42 ± 8	37 ± 6	36 ± 7
Velocidade média do ar (m/s)	0,10 ± 0,05	0,20 ± 0,07	0,25 ± 0,09	0,20 ± 0,06
Temperatura do ar insuflado (°C)	--	15,6 ± 0,5	20,3 ± 0,4	21,7 ± 0,5

-- sistema de ventilação desligado

Tabela 5.2- Variáveis ambientais na zona 2 e condições ambientais externas à sala

	<i>Ensaio A</i>	<i>Ensaio B</i>	<i>Ensaio C</i>	<i>Ensaio D</i>
Temperatura média do ar (°C)	23,5 ± 0,6	20,3 ± 0,8	22,9 ± 0,4	22,2 ± 0,4
Temperatura radiante média (°C)	25,6 ± 0,4	23,0 ± 0,8	24,1 ± 0,5	25,6 ± 0,4
Umidade relativa média do ar (%)	50 ± 5	48 ± 8	44 ± 5	45 ± 5
Velocidade média ar (m/s)	0,10 ± 0,05	0,25 ± 0,07	0,30 ± 0,08	0,20 ± 0,05
Umidade relativa externa (%)	51 ± 8	50 ± 7	42 ± 7	45 ± 8

Verifica-se na tabela 5.1 que a maior temperatura do ar na zona 1 foi encontrada no ensaio D e a menor no ensaio B, devido à menor temperatura do ar insuflado. É possível verificar também que, embora o ensaio A tenha sido realizado com o sistema desligado, a temperatura foi menor que nos ensaios C e D, pois a sala encontrava-se com temperatura bem menor quando do início das cirurgias.

Comparando-se os resultados da tabela 5.1 com aqueles da tabela 5.2, verifica-se que todas as temperaturas na zona 2 são menores que as temperaturas na zona 1, função, principalmente, do calor liberado pelo foco cirúrgico.

A tabela 5.3 apresenta os valores das diferenças de temperatura do ar entre o insuflamento e as zonas 1 e 2 e as diferenças de temperatura do ar entre as zonas 1 e 2, onde se verificou que:

- a) As menores diferenças de temperaturas do ar nas zonas 1 e 2 ocorreram com o sistema de ventilação desligado (Ensaio A).

- b) O sistema com insuflamento pela parede, parte superior, e retorno pela mesma parede, lado oposto inferior (Ensaio B) apresentou a menor diferença entre as zonas 1 e 2 comparado com os outros sistemas (Ensaio C e D),
- c) O sistema com fluxo de ar unidirecional (Ensaio D) apresentou a menor diferença de temperaturas entre o insuflamento e as zonas 1 e 2.

Tabela 5.3 - Diferenças entre temperaturas do ar (°C)

<i>Ensaio</i>	<i>Insuflamento/Zona 1</i>	<i>Insuflamento/Zona 2</i>	<i>Zona1/Zona 2</i>
A	--	--	2,5
B	8,6	4,7	3,9
C	7,0	2,6	4,4
D	5,6	0,5	5,1

5.3 Comparação entre valores de PMV calculados e de PMV dos questionários

Os valores medidos de temperatura do ar T_{ar} , umidade relativa ϕ , temperatura radiante média $\overline{T_R}$ e velocidade do ar V_{ar} , apresentados nas tabelas 5.1 e 5.2, conjuntamente com os valores de resistência da roupa I_{cl} e nível de atividade M de cada membro da equipe cirúrgica, apresentados na tabela 4.2, foram utilizados no modelo de Fanger (1972) no cálculo do voto médio estimado (PMV – *Predicted Mean Vote*).

Paralelamente, foram obtidos os valores de PMV dos questionários preenchidos pelos membros da equipe cirúrgica, após as cirurgias, em cada condição de ensaio. Os resultados de avaliação subjetiva são apresentados no Anexo B.

As figuras 5.1 a 5.4 apresentam a comparação entre os valores de PMV calculados, utilizando método de Fanger, e os de PMV dos questionários, obtidos com os votos dos membros da equipe cirúrgica.

Analisando-se os valores da figura 5.1 é possível verificar que apesar da existirem algumas diferenças, os valores de PMV obtidos com os votos das pessoas e os valores obtidos por meio do método de Fanger seguem uma mesma tendência. Pode-se verificar que não houve variações significativas para os membros da equipe cirúrgica.

Figura 5.1 – Valores de PMV levantados nas condições do Ensaio A.

Figura 5.2 – Valores de PMV levantados nas condições do Ensaio B.

Analisando-se os valores da figura 5.2 verifica-se uma pequena diferença entre os valores relativos à sensação manifestada pela equipe cirúrgica e os valores calculados pelo modelo de Fanger (1972). Porém, assim como no ensaio A, os valores de PMV referentes à sensação térmica de cada membro da equipe cirúrgica seguiram uma mesma tendência. Para os cirurgiões e enfermeiros a diferença foi de aproximadamente 0,5 no valor de PMV, e para os instrumentadores e anestesistas as diferenças foram de aproximadamente 0,3.

Figura 5.3 – Valores de PMV levantados nas condições do Ensaio C.

Figura 5.4 – Valores de PMV levantados nas condições do Ensaio D.

Nas condições do ensaio C (figura 5.3) houve diferenças entre os valores de PMV referentes aos anestesistas e enfermeiros de aproximadamente 0,2 e para os cirurgiões de aproximadamente 0,8. Por outro lado, para os instrumentadores foram encontradas as maiores diferenças de aproximadamente 1.

Nas condições dos ensaios D (figura 5.4), assim como nas anteriores, houve algumas diferenças entre os valores de PMV calculados pelo modelo de Fanger (1972) e os

manifestados pela equipe por meio dos questionários, mas seguindo uma mesma tendência. No caso dos instrumentadores não houve diferenças e para os cirurgiões a diferença é de aproximadamente 0,1. Por outro lado, para os resultados dos anestesiistas e enfermeiros a diferença foi de aproximadamente 0,3.

Com isso é possível verificar que, apesar de encontradas algumas diferenças significativas entre os valores de PMV calculados pelo modelo de Fanger (1972) e os valores obtidos com os questionários, em todos os ensaios foi encontrado uma mesma tendência dos valores de PMV, sendo que a maior diferença foi de aproximadamente 1.

É importante verificar que os valores usados na escala de sensação térmica utilizada nos questionários apresentam valores inteiros variando de $-3 \leq \text{PMV} \leq 3$. Assim, cada um dos membros da equipe cirúrgica, na escolha do valor que melhor representa a sua sensação térmica, tinha apenas a opção de valores inteiros com variação de +1 ou -1. Também é importante ressaltar que o ensaio C, onde ocorreu a maior variação, tem uma característica bastante diferenciada dos outros ensaios, pois neste ensaio a maioria das cirurgias (principalmente aqueles de partos normais) não eram programadas, e muitas vezes os questionários eram apresentados no momento da cirurgia a profissionais que não estavam familiarizados com a pesquisa.

Por outro lado, existe grande dificuldade em se determinar os valores de resistência da roupa e do nível de atividade; o que acarreta diferenças nos valores de PMV calculados. Adicionalmente, deve-se considerar que o método de Fanger foi desenvolvido para condições em regime permanente e, embora as condições ambientais (temperaturas, velocidades e umidade do ar) em salas cirúrgicas sejam bastante estáveis, o nível de atividade e o metabolismo, principalmente do cirurgião, varia muito ao longo da cirurgia.

Feitas estas considerações, verifica-se que a utilização do método de Fanger na avaliação de condições de conforto térmico em salas cirúrgicas constitui-se em ferramenta adequada, mas que é necessário cuidado especial na sua utilização e na análise dos resultados.

5.4 Análise das condições de conforto térmico

Uma vez verificada a adequação na utilização do método de Fanger na avaliação de condições de conforto térmico em salas cirúrgicas, a figura 5.5 apresenta a comparação entre os valores de PMV calculados, de cada condição de ensaio, para cada membro da equipe cirúrgica.

Figura 5.5 - Valores de PMV calculados.

Na figura 5.5 pode-se notar que existe uma divergência grande nas sensações térmicas entre a equipe formada por cirurgiões e instrumentadores e a equipe formada por anestesistas e enfermeiros. Nas condições estudadas em nenhum ensaio os cirurgiões e instrumentadores trabalharam sob condições de conforto térmico. Os anestesistas e enfermeiros trabalharam em melhores condições quando o sistema de ventilação estava desligado (ensaio A). Essa condição, porém, só foi possível em cirurgias onde os riscos de infecções eram mínimos, pois o sistema de tratamento de ar e de ventilação em um ambiente cirúrgico é de extrema importância para que o ar seja renovado e filtrado visando a segurança do paciente e da equipe cirúrgica.

Assim, é importante ressaltar que apesar das condições do ensaio A terem sido favoráveis para os membros da equipe que permanecem na região denominada zona 2 da sala cirúrgica, tal condição não é aconselhável. Deve-se atentar para o fato de que a qualidade do ar interior em um ambiente cirúrgico, visando o controle da concentração de partículas e de microorganismos, gases anestésicos, etc., também é de extrema importância juntamente com as condições de conforto térmico. Por outro lado, o bem estar do cirurgião também tem que ser visto como um dos principais requisitos de um ambiente cirúrgico adequado.

Em função de diferentes atividades e da resistência térmica das roupas, é possível verificar que não há como prover condições de conforto para todos os membros da equipe

cirúrgica. Uma vez que os cirurgiões e instrumentadores trabalham sob condições nas quais sentem calor, é necessário diminuir a temperatura do ar na sala, já que as vestimentas utilizadas não podem ser modificadas devido à assepsia necessária nesta região. Neste caso, os anestesiologistas e enfermeiros seriam prejudicados, pois trabalhariam sob condições nas quais sentiriam muito frio. Mas, tal fato pode ser alterado com o aumento da resistência térmica da roupa, isto é, caso os anestesiologistas ou enfermeiros venham a sentir muito frio será necessária a utilização de roupas mais grossas ou vestimentas que cubram uma parte maior do corpo.

Por meio do uso de tabelas da norma ISO 7730 (1994), isto é, das equações de PMV e PPD de Fanger, é possível encontrar valores de temperatura do ar ideais para que o cirurgião trabalhe sob condições de conforto térmico. Para isso foram mantidas algumas características do ambiente, tais como velocidade do ar, umidade relativa do ar e temperatura radiante média, e as características individuais como vestimenta e nível de atividade.

Uma vez determinadas as temperaturas ideais do ar na zona 1, é possível determinar a temperatura do ar de insuflamento necessária para se atingir esta condição. Para tal foram utilizadas as diferenças de temperatura entre a zona 1 e do ar de insuflamento apresentadas na tabela 5.3

Os valores de temperatura máxima do ar nas quais os cirurgiões trabalhariam sob condições de conforto térmico, os valores de temperatura do ar de insuflamento correspondente, e os valores de resistência da roupa mínima necessária para que os anestesiologistas e enfermeiros trabalhassem em condições similares de conforto são apresentados na tabela 5.4

Tabela 5.4 - Valores ideais de temperatura do ar para os cirurgiões, temperatura do ar insuflado e resistência da roupa (zona 2).

	<i>Ensaio A</i>	<i>Ensaio B</i>	<i>Ensaio C</i>	<i>Ensaio D</i>
Temperatura do ar (°C) (zona 1)	17,5	19,5	18,5	18,3
Temperatura do ar insuflado (°C)	- -	11,0	11,5	12,5
Resistência da roupa (clo) (anestesiologistas e enfermeiros)	0,73	0,86	0,86	0,86

A temperatura mais baixa do ar na zona 1 acarreta uma diminuição da temperatura do ar na zona 2, isso faz com que os anestesiologistas e enfermeiros trabalhem sob condições de

menores temperaturas. Para que a sensação térmica dos membros que ocupam a zona 2 se mantenha dentro da faixa confortável é necessário que a vestimenta tenha um isolamento térmico maior, apresentado na tabela 5.4. Para os ensaios realizados a resistência mínima necessária da roupa para que o anestesista e enfermeiros trabalhassem em condições confortáveis seria 0,73 clo para o ensaio A e 0,86 para os ensaios B, C e D. Isto é, a resistência da roupa usada pelos enfermeiros e anestesista seria similar àquela dos cirurgiões e instrumentadores, que também é de aproximadamente 0,86 clo.

Considerando que sistemas centrais de tratamento de ar trabalham com insuflamento de ar em torno de 12 a 14 °C, a alternativa mais viável seria a condição de ensaio D.

5.5 Variação da sensação térmica durante o procedimento cirúrgico

Nas figuras 5.6 a 5.9 são apresentados resultados de variação do valor de PMV, relatados nos questionários pelos membros da equipe cirúrgica, do início ao final do procedimento cirúrgico.

Estes resultados mostram que ocorre variação das sensações térmicas de quem está posicionado na zona 1 e na zona 2. Os cirurgiões e instrumentadores (zona 1) tendem a sentir calor ao longo da cirurgia, algumas vezes até chegando a suar. Isso ocorre devido a fatores como o tipo de atividade realizada e tipo de vestimenta, pois eles têm que estar com o corpo totalmente coberto para o controle de assepsia, e o efeito da radiação liberada pelo foco cirúrgico. Com os anestesistas e enfermeiros (zona 2), ocorre o contrário, com tendência a sentirem frio com o transcorrer da cirurgia devido, principalmente, à diminuição do metabolismo (pouca atividade).

Figura 5.6 – Variação da sensação térmica nas condições do ensaio A.

Figura 5.7– Variação da sensação térmica nas condições do ensaio B.

Figura 5.8 – Variação da sensação térmica nas condições do ensaio C.

Figura 5.9 – Variação da sensação térmica nas condições do ensaio D.

5.6 Avaliação de desconforto local

Algumas perguntas do questionário (anexo A) entregue à equipe cirúrgica foram referentes à interpretação de fatores que poderiam ocasionar sensações de desconforto aos membros da equipe. Tais fatores, como o calor devido ao aquecimento do foco cirúrgico, correntes de ar e frio ocasionado por proximidades a superfícies frias, foram percebidos por alguns membros da equipe cirúrgica. Com os questionários foi possível verificar a porcentagem de pessoas avaliadas que sentiram tais fatores ao longo dos ensaios e também as que suaram durante a cirurgia; fato muito comum entre os cirurgiões. As tabelas 5.5 e 5.6 apresentam a porcentagem de membros da equipe cirúrgica que sentiram tais fatores para cada condição de ensaio.

Tabela 5.5 – Respostas referentes a suor e aquecimento devido ao foco cirúrgico (ZONA 1).

Causas	Cirurgião				Instrumentador			
	Ensaio A	Ensaio B	Ensaio C	Ensaio D	Ensaio A	Ensaio B	Ensaio C	Ensaio D
Suor	0 %	35 %	60 %	70 %	0 %	0 %	20 %	0 %
Aquecimento devido ao foco	20 %	70 %	60 %	85 %	0 %	0 %	35 %	25 %

Tabela 5.6 – Respostas referentes a frio devido a proximidade de superfícies frias e causadas por correntes e ar (ZONA 2).

	<i>Anestesista</i>				<i>Enfermeira</i>			
Causas	<i>Ensaio A</i>	<i>Ensaio B</i>	<i>Ensaio C</i>	<i>Ensaio D</i>	<i>Ensaio A</i>	<i>Ensaio B</i>	<i>Ensaio C</i>	<i>Ensaio D</i>
Frio devido a proximidade de superfícies frias	25 %	20 %	20 %	0 %	25 %	35 %	20 %	0 %
Frio causado por correntes de ar	10 %	35 %	35 %	0 %	0 %	0 %	20 %	30 %

Analisando a tabela 5.5 é possível verificar que a maioria dos cirurgiões chegou a suar nas condições do ensaio C e D e que o calor ocasionado pelo aquecimento do foco cirúrgico foi percebido em todos os ensaios, com mais de 60% nas condições de ensaio B, C e D. Houve uma porcentagem pequena de instrumentadores que responderam as questões referentes ao suor e aquecimento do foco cirúrgico, e apenas no ensaio C e D. Isso ocorreu porque os instrumentadores não necessitam permanecer exatamente debaixo do foco cirúrgico, ao contrário dos cirurgiões que necessitam que a iluminação esteja focada na ferida cirúrgica.

Na tabela 5.6 verifica-se que nas condições de ensaio A, B e C parte dos anestesistas percebeu a movimentação do ar. Também nos mesmos ensaios parte dos anestesistas e enfermeiros avaliados respondeu ter sentido frio devido à proximidade de superfícies frias. Tais superfícies foram por eles relatadas como sendo as mesas de apoio utilizadas para anotações.

Uma das principais causas do desconforto térmico local ocorre devido à diferença de temperatura na posição vertical, isto é, a estratificação de temperatura. Segundo a ISO 7730 (1994) e ASHRAE 55 (2004), o valor máximo de variação da temperatura entre a região dos pés a cabeça de uma pessoa sentada, isto é de 0,1m a 1,10m, deve ser de, no máximo, 3°C.

A figura 5.10 apresenta o perfil de temperatura com a altura para cada condição de ensaio. Tais dados são referentes à zona 2, onde ficam posicionados os anestesistas e enfermeiros. Uma vez que, para cada condição de ensaio foram feitas várias medições e em vários pontos ao longo da sala, o gráfico da figura 5.10 apresenta os perfis de temperatura nos pontos onde foram encontradas as maiores diferenças de temperatura do ar para cada

ensaio. Assim, é possível verificar qual foi a maior diferença de temperatura do ar ao longo das alturas para cada condição avaliada.

Os perfis de temperatura apresentados na figura 5.10 mostram que na zona 2 não ocorreram grandes diferenças de temperaturas com a altura. Nesta região a maior variação de temperatura encontrada foi de 0,8 °C, no ensaio C com insuflamento pelo teto e retorno pelo teto.

Figura 5.10 – Perfis de temperatura do ar na zona 2.

Outra forma de análise das condições de desconforto local foi por meio do cálculo de *Draught Rate* – *DR* (correntes de ar), que foi realizado segundo as normas ISO 7730 (1994) e ASHRAE 55 (2004), utilizando a eq. (2.18).

A tabela 5.7 apresenta a maior porcentagem (pior condição) de pessoas insatisfeitas devido a correntes de ar, para cada condição de ensaio e cada zona da sala (zonas 1 e 2). Os valores utilizados para o cálculo são referentes a pontos localizados na altura entre 1,1m (mãos) e 1,7m (cabeça).

Tabela 5.7 – Porcentagem de pessoas insatisfeitas

<i>Condições</i>	<i>DR - Zona 1</i>	<i>DR - Zona 2</i>
Ensaio A	2,5 %	3,5 %
Ensaio B	12,5 %	17,5 %
Ensaio C	14,5 %	22,0 %
Ensaio D	15,0 %	23,0 %

É possível verificar que na zona 1 a pior condição foi a do ensaio D, onde a porcentagem de pessoas insatisfeitas foi de 15 %, valor ainda dentro do limite recomendado pela norma ISO 7730 (1994). Por outro lado, na região denominada zona 2 a única condição onde as pessoas não sentiram desconforto com relação a correntes de ar foi a condição de ensaio A (sistema desligado), pois em todas as outras os valores estão acima do limite de 15 %.

5.7 Estudo comparativo com resultados de outros trabalhos

A seguir é realizado um estudo comparativo dos resultados obtidos no presente trabalho com resultados obtidos por Wyon et al. (1968) e Mora et al. (2001). Para realizar o estudo comparativo é necessário, primeiro, definir qual o índice que será utilizado para a comparação de resultados de condições do ambiente que proporcionam condições de conforto térmico aos membros da equipe cirúrgica.

Wyon et al. (1968) apresentaram valores de condições do ambiente que proporcionam conforto por meio de um “índice de temperatura”, que foi obtido por uma análise de regressão que relaciona todas as variáveis ambientais e pessoais com as respostas subjetivas dos membros da equipe cirúrgica com relação à sua sensação térmica. Os autores avaliaram a relação que cada variável analisada tem na influência da resposta das pessoas com relação à sua sensação térmica e definiram este índice como sendo a temperatura de um ambiente onde pessoas, sob condições específicas, tais como a temperatura do ar igual à temperatura radiante média, velocidade do ar em torno de 0,15 m/s e a umidade relativa do ar em torno de 50%, deverão manifestar, por meio de votos, a mesma resposta de sensação térmica que manifestarão no ambiente estudado.

Embora este índice englobe todas as variáveis ambientais relacionadas com o conforto térmico, a definição do “índice de temperatura” é particularizado para determinada condição de velocidade e de umidade relativa do ar.

Mora et al. (2001), por sua vez, utilizaram a temperatura do ar para referenciar condições ambientais de conforto de cada membro da equipe cirúrgica. Embora a temperatura do ar possa ser considerada como a variável mais importante na sensação térmica experimentada pelas pessoas (Rohles, 2007), não é possível utilizar um índice que não considere as demais variáveis ambientais na sua formulação.

Uma forma de se considerar todas as variáveis ambientais em um único índice é o da temperatura equivalente, que é definida como a temperatura de um ambiente

imaginário, com temperatura radiante média igual à temperatura do ar e velocidade do ar igual a zero, onde uma pessoa troca a mesma quantidade de calor por convecção e radiação que trocava em um ambiente real.

Segundo Nilsson (2004) a vantagem da temperatura equivalente é que ela expressa os efeitos das variáveis térmicas combinadas para uma única pessoa, de forma que a interpretação é simples, sendo particularmente útil para a avaliação de diferentes condições ambientais.

Bohm et al. (1990 apud Nilsson, 2004) e Schwab et al. (1999 apud Nilsson, 2004) verificaram que, para condições próximas da neutralidade térmica e com variações pequenas das variáveis ambientais, o valor da temperatura equivalente sempre representa a mesma resposta subjetiva independente do tipo de combinação das trocas de calor.

O conceito de temperatura equivalente foi introduzido inicialmente por Dufton (1932 apud Nilsson, 2004), que construiu um sensor especial constituído de um cilindro oco de cobre pintado de preto para medir a temperatura equivalente. Mais tarde Bedford (1936 apud Nilsson, 2004) propôs uma expressão para o cálculo da temperatura equivalente, apresentada na equação 5.1.

$$T_{eq} = 0,522.T_{ar} + 0,478.\overline{T_r} - 0,21\sqrt{V_{ar}}.(37,8 - T_{ar}) \quad (5.1)$$

onde:

T_{eq}	Temperatura equivalente	[°C]
V_{ar}	Velocidade média do ar	[m/s]
$\overline{T_r}$	Temperatura média radiante	[°C]
T_{ar}	Temperatura do ar	[°C]

Embora a equação 5.1 descreva os efeitos da velocidade do ar, ela não leva em consideração o tipo de vestimenta usada; o que foi feito por Madsen (1984), que desenvolveu a expressão apresentada na equação 5.2.

$$T_{eq} = 0,55.T_{ar} + 0,45.\overline{T_r} + \frac{0,24 - 0,75.\sqrt{V_{ar}}}{1 + I_R}.(36,5 - T_{ar}) \quad (5.2)$$

onde:

I_R Índice de isolamento da roupa [clo]

Na tabela 5.8 são apresentados os valores utilizados para o cálculo de temperatura equivalente para cada membro da equipe cirúrgica, considerando os trabalhos de Wyon et al. (1968), de Mora et al. (2001) e aqueles do presente trabalho.

Tabela 5.8 – Valores utilizados para os cálculos da temperatura equivalente

	Cirurgião				Instrumentador			
	T_{ar} (°C)	V_{ar} (m/s)	I_R (clo)	$\overline{T_r}$ (°C)	T_{ar} (°C)	V_{ar} (m/s)	I_R (clo)	$\overline{T_r}$ (°C)
WYON	19,5	0,13	0,86	24,0	20,1	0,13	0,86	24,0
MORA	19,0	0,25	0,86	27,0	19,0	0,25	0,86	27,0
Ensaio B	19,5	0,20	0,86	28,6	19,0	0,20	0,86	28,6
Ensaio C	18,5	0,25	0,86	29,5	19,0	0,25	0,86	29,5
Ensaio D	18,3	0,20	0,86	29,4	19,0	0,20	0,86	29,4
	Anestesista				Enfermeiro			
	T_{ar} (°C)	V_{ar} (m/s)	I_R (clo)	$\overline{T_r}$ (°C)	T_{ar} (°C)	V_{ar} (m/s)	I_R (clo)	$\overline{T_r}$ (°C)
WYON	21,5	0,13	0,42	24,0	19,5	0,13	0,42	24,0
MORA	23,0	0,20	0,42	23,0	23,00	0,20	0,42	23,0
Ensaio B	22,0	0,25	0,42	23,0	22,00	0,25	0,42	23,0
Ensaio C	22,0	0,30	0,42	24,1	22,00	0,30	0,42	24,1
Ensaio D	22,0	0,20	0,42	25,6	22,00	0,20	0,42	25,6

Na tabela 5.8 todos os valores de variáveis ambientais são médias dos valores obtidos em cada trabalho. No trabalho de Wyon et al. (1968) os valores de resistência das roupas não foram apresentados, tendo sido adotados os mesmos valores do trabalho de Mora et al. (2001) e do presente trabalho.

Os valores de temperatura do ar de conforto para os instrumentadores, anestesista e enfermeiros foram obtidos da mesma maneira que os valores apresentados na tabela 5.4, ou seja, por meio das tabelas da norma ISO 7730 (1994) e das equações de PMV e PPD de Fanger. Foram mantidas as condições ambientais de velocidade do ar, umidade relativa do ar e temperatura radiante média, e as características pessoais como vestimenta e nível de atividade. Em seguida foram encontrados valores de temperatura do ar ideais para que os instrumentadores, anestesista e enfermeiros trabalhem sob condições de conforto térmico.

Utilizando a equação 5.2 foram obtidos os valores de temperaturas equivalentes apresentados na tabela 5.9. O ensaio A não foi considerado, pois foi realizado com o sistema ar condicionado desligado; o que não é recomendado na maioria dos procedimentos cirúrgicos.

Tabela 5.9 – Quadro comparativo de temperaturas equivalentes preferenciais (°C).

	Cirurgião	Instrumentador	Anestesista	Enfermeiros
Wyon et al. (1968)	21,3	21,6	22,4	21,2
Mora et al. (2001)	21,6	21,6	22,5	22,5
Ensaio B	22,7	22,3	21,0	21,0
Ensaio C	22,0	22,4	21,2	21,2
Ensaio D	22,3	22,7	22,5	22,5

Da análise da tabela 5.9 verifica-se que a temperatura equivalente média de todos os resultados apresentados é de 21,9 °C, com desvio padrão de $\pm 0,6$ °C – dentro da faixa de incertezas de medição.

O resultado da análise mostra que nos três trabalhos chegou-se a valores praticamente iguais de temperaturas equivalentes de conforto térmico em torno de 22 °C para todos os membros da equipe cirúrgica.

Esse resultado é particularmente útil, pois permite, juntamente com a utilização da equação 5.2, avaliar diferentes condições ambientais e pessoais em propiciar condições de conforto térmico aos diferentes membros da equipe cirúrgica.

Capítulo 6

CONCLUSÕES

A aplicação do método de Fanger na avaliação de condições de conforto térmico em salas cirúrgicas mostrou-se adequada, embora seja necessário cuidado especial na sua utilização e na análise dos resultados. Embora as condições ambientais (temperaturas, velocidades e umidade do ar) em salas cirúrgicas sejam bastante estáveis, o nível de atividade e o metabolismo, principalmente do cirurgião, variam muito ao longo da cirurgia, dificultando a análise dos resultados.

Verificou-se que é difícil prover condições de conforto térmico para toda a equipe cirúrgica, principalmente devido a fatores pessoais, como o tipo de vestimenta e o nível de atividade, e de fatores locais, como o calor do foco cirúrgico.

Por se tratar do profissional mais importante da equipe cirúrgica, com maior grau de responsabilidade, é de fundamental importância prover melhores condições de conforto para o cirurgião. Nos casos analisados verificou-se que:

- ❖ O ar deveria ser insuflado com temperaturas menores e/ou vazões maiores. Vazões maiores podem propiciar um melhor resultado, porque não haveria a necessidade de se baixar tanto a temperatura do ar, mas requer atenção com relação ao desconforto local devido a correntes de ar;
- ❖ Os membros da equipe cirúrgica, como anestesiistas e enfermeiros, deveriam aumentar a resistência térmica da vestimenta acrescentando mais roupas, para que não venham a sentir frio;
- ❖ Para evitar risco de hipotermia do paciente, pode haver a necessidade de utilização de manta térmica em casos onde não atrapalhe o procedimento cirúrgico.

Os resultados obtidos também permitiram verificar que o sistema de fluxo unidirecional (“laminar”) apresentou melhores condições de conforto térmico. Adicionalmente, este sistema também apresenta maior potencial de controle de contaminantes no campo cirúrgico (zona 1). Isto ocorre em função do tipo de movimentação do ar, com insuflamento de ar diretamente no campo cirúrgico, com menores diferenças de temperaturas ao longo da sala e maior eficiência na remoção de material particulado.

Enfim, os resultados mostraram que há necessidade de cuidados redobrados quando se está tratando de climatização em salas cirúrgicas. Se, por um lado, o bem estar da equipe cirúrgica é importante para o sucesso do procedimento cirúrgico, os riscos de contaminação aérea não podem ser negligenciados de forma alguma.

Assim, a solução do problema deve considerar simultaneamente os efeitos da movimentação do ar na diminuição da possibilidade de contaminação aérea e na obtenção das melhores condições possíveis de conforto térmico.

Finalmente, resultados de estudo comparativo com trabalhos de outros autores mostraram que temperaturas equivalentes em torno de 22 °C correspondem a condições de conforto térmico para os diferentes membros da equipe cirúrgica.

6.1 Propostas para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, ficam como proposta:

- ❖ Realizar comparações de resultados de trabalhos experimentais com aqueles de simulação numérica, visando condições de conforto térmico e minimização da concentração de partículas;
- ❖ Realizar testes em ambientes controlados (laboratórios), pois em ambiente cirúrgicos existe uma grande dificuldade em se fazer análise durante o procedimento cirúrgico, por motivos de segurança;
- ❖ Estudar formas de diminuição da incidência de radiação térmica proveniente do foco cirúrgico;
- ❖ Fazer análise utilizando outros métodos de avaliação de condições de conforto térmico, como por exemplo, a utilização de manequins térmicos;

Capítulo 7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACGIH. *Industrial Ventilation: A manual of recommended practice*, 23rd Ed.; American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Cincinnati, Ohio, 1998.

AIA. *Guidelines for design and construction of hospital and health care facilities*. American Institute of Architects Press, Washington, DC, 2006.

AIHA. *Field guide for the determination of biological contaminants in environmental samples*. American Industrial Hygiene Association. Virginia, 1996.

ANVISA. *Curso básico de controle de infecção hospitalar*. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília, 2000.

ASHRAE. *Handbook of fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.; Atlanta, 2005.

ASHRAE Standard 55: *Thermal environmental conditions for human occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.; Atlanta, 2004.

ASHRAE Standard 170P: *Ventilation of health care facilities*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, 2006.

Balaras, A.C.; Dascalaki, E.; Gaglia, A. HVAC and indoor thermal conditions in hospital operating rooms, *Energy and Buildings*. 39:454-70, 2007.

Bedford, T. The warmth factor in comfort at work. *Rep. Industry health Res. Bd.* 76. London, 1936.

Beggs, C. B. The airborne transmission of infection in hospital buildings: fact or fiction? *Indoor Built Environ*; 12:9–18, 2003.

Bellina, J. H.; Sterjnholt, R. L.; Kurpel, J. E. Analysis of plume emissions after papovavirus irradiation with the carbon dioxide laser. *Journal of Reproductive Medicine* 27: 268-70, 1982.

Biazzotto, C.B.; Brudniewski, M.; Schmidt, A. P.; Auler Junior, J. O. Hipotermia no período peri-operatório. *Revista Brasileira de Anestesiologia*. 56(1):89-106, 2006.

- Bohm, M.; Browén, A.; Norén, O.; Holmér, I.; Nilsson, H.; Evaluation of the thermal environment in tractor cabs. *International Conference on Environmental Ergonomics IV*, Austin, USA, pp 144-146, 1990.
- Buring, J. E. Health experiences of operating room personnel. *Anesthesiology* 62(3):325-30, 1985.
- Cassey, J.; Strezov, V.; Armstrong, P.; Forsyth, R.; Lucas, J.; Jones, B.; Farrel, P. Influence of control variables on mannequin temperature in a pediatric operating theatre. *Pediatric Anesthesia*, 14:130-34, 2004.
- Coleman, H. W.; Steele, W. G. *Experimentation and uncertainty analysis for engineers*. John Wiley & Son. New York, 1989.
- Dhara, S.; Pittet, D. Environmental controls in operating theatres, *Journal Hosp. Infect.*, Jun., 2002.
- DIN 1946: *Ventilation and Air Conditioning. Part 4. Ventilation in Hospital*, vol. 4. Deutsches Institut für Normung. Beuth-Verlag, Berlin, 1999.
- Dufton, A. F. The equivalent temperature of a room and its measurement. *Building Res. Technical Paper 13*. London, 1932.
- Edmiston, C.E.; Sinski, S.; Seabrook G.R.; Simons, D.; Goheen, M. Airborne particulates in the operation room environment. *AORN Journal*, v. 69, n.6, Jun., 1999.
- Fanger, P. O. *Thermal Comfort – Analysis And Applications in Environmental Engineering*. McGraw-Hill Book Company. New York, 1972.
- Felix, V. B.; Pereira, M. L.; Maximiano, L. F.; Otoch, J. P.; Tribess, A. The effect of surgical lights power on staff thermal discomfort conditions. In: *12th International Conference on Biomedical Engineering*. Singapore, 2005.
- Ferreira, M. S. *Um modelo do sistema termorregulador do corpo humano: Exposição a Ambientes Quentes*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 130 p., 1997.
- Ferreira, M. S. *Um modelo do sistema térmico do corpo humano*. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 166p., 2001.
- Friberg, B.E.E.; Burman, L.G.; Friberg, S. Zoned Exponential, Vertical and Horizontal Ultra-Clean Laminar Airflows. *Acta Orthop Scand*, 69(2):169-72, 1998.

- Green, G.H. Indoor relative humidities in winter and the related absenteeism. *ASHRAE Transaction*, 91(1b):643-53, 1985.
- Guyton, A. C. *Tratado da fisiologia médica*. 9.ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1997.
- Hermans, R. D. Health care facility desing manual – Room Desing. *ASHRAE Transactions: Symposia*, 106(2): 762-67, Annual Meeting, Minneapolis, 2000.
- Holcátová, I.; Benesová, V.; Hartlová, D. Comparison of the environment in operating theatres in two hospitals. *Indoor Built Environ*, 12:121-24, 2003.
- Horan, T. C; Culver, D. H.; Gaynes, R. P.; Jarvis, W. R.; Edwards, J. R.; Reid C. R. Nosocomial infections in surgical patients in the United States, January 1986 – June 1992. *National Nosocomial Infections Surveillance (NNIS) System. Infect Control Hosp Epidemiol*. 14:73-80, 1993.
- Howorth, F. Prevention of airborne infection during sugery. *ASHRAE Transaction*, 99(1):725-34, 1993.
- Hwang, L.R.; Lin, P.T.; Cheng, J.M.; Chien H.J. Patient comfort requirement for hospital environments in Taiwan. *Building and Environments*, 42:2980-87, 2006.
- INMETRO, 1998. *Guia para expressão da incerteza de medição*, segunda edição brasileira publicada pelo INMETRO e pela ABNT, Agosto, 1998.
- ISO 7726. *Thermal environments – Instruments and methods for measuring physical quantities* . International Standards Organization, Geneva, 1998.
- ISO 7730. *Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*. International Standards Organization, Geneva, 1994.
- Kameel, R.; Khalil, E. Predictions of turbulence behavior using k-ε model in operating theatres. *Mechanical Power Engineering Dpt*, Cairo University, Egypt, 2003.
- Kowalsk, W. J.; Bahnfleth, W. *HPAC Engineering*, July 1998, v. 70, n. 7, pp34-48, 1998.
- Kowalsk, W. J.; Bahnfleth, W. P. Design basics for air and surface disinfection, *HPAC Engineering*., January, 2000.
- Lacerda, R. A. *Infecções Hospitalares no Brasil*. Tese de Doutorado, USP – Departamento de Enfermagem, São Paulo, 1995.

- Leite, B.C.C. *Sistema de ar condicionado com insuflamento pelo piso em ambientes de escritórios: Avaliação do conforto térmico e condições de operação*. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 162p., 2003.
- Lewis, J. R. Operating room air distribution effectiveness. *ASHRAE Transactions*, 93(2): 954-69, 1993.
- Lidwell, O. M. Air, antibiotics and sepsis in replacement joints. *Journal of Hospital Infection*. 11(Supplement C):18-40, 1988.
- Lidwell, O. M.; Lowbury, E. J. L.; Whyte, W.; Blowers, R.; Stanley, S. J.; Lowe, D. Ultraclean air and antibiotics for prevention of postoperative infection: a multicenter study of 8052 joint replacement operations. *Acta Orthop. Scand.*; 58:4-13, 1987.
- Lidwell, O. M.; Lowbury, E. J. L.; Whyte, W.; Blowers, R.; Stanley, S. J.; Lowe, D. Infection and sepsis after operating for total hip or knee-joint replacement: influence of ultraclean air, prophylactic antibiotics and other factors. *Journal of Hygiene*. p. 505-29, 1993.
- Madsen, T.L.; Olesen, B.W.; Kristensen, N.K. Comparison between operative and equivalent temperature and typical indoor conditions. *ASHRAE Transactions*, 90:1077-90, 1984.
- Mangram, A. J.; Horan, T. C.; Pearson, M. L.; Silver, L. C.; Jarvis, W. R. Guideline for prevention of surgical site infection. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Hospital Infection Control Practices Advisory Committee. *Am J Infect Control*, 27:97-132, 1999.
- Melhado, M. A.; Beyer, P. O. Avaliação do conforto térmico em salas cirúrgicas. *Congresso de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do Mercosul. Anais do MERCOFRIO 2004 (CD-ROM)*, 2004.
- Memarzadeh, F.; Manning, A. Comparison of operating room ventilation systems in the protection of the surgical site. *ASHRAE Transactions*, 108(2): 1320-1336, 2002.
- Miller, R. D. *Tratado de anestesia*. 2^a. edição. Editora Manole, 1989.
- Mora, R.; English, M.J.M; Athienitis, A. K. Assessment of thermal comfort during surgical operations. *ASHRAE Transactions*, 107: 52-62, 2001.

- Moura, D; Felix, V. B; Pereira, M. L; Tribess, A. Experimental and numerical analysis of airflow in a surgical room. *In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. 2007, Brasília – DF. Anais do COBEM 2007, 2007.*
- Nilsson, H. O. *Comfort Climate Evaluation with Thermal Manikin Methods and Computer Simulation Modes*. Tese (Doutorado) – Department of Technology and Built Environment – University of Gävle, Sweden. Stockholm, 202p., 2004.
- Orlando, A. F. *Calibração de um termômetro Pt-100 como padrão de trabalho de um laboratório de serviços metrológicos*. METROLOGIA - 2003. Recife - Pernambuco, 2003.
- Pereira, M.L.; Graudenz, G. S.; Oliveira, C. H.; Tribess, A. A qualidade do ar em ambientes hospitalares e os riscos aos profissionais da saúde. *Congresso Brasileiro de Pesquisas Ambientais e Saúde. Anais do CBPAS 2004 (CD ROM), 2004.*
- Pereira, M. L.; Tribess, A. Estratégias de controle de agentes patogênicos transmitidos pelo ar em ambientes hospitalares. *Congresso de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do Mercosul. Anais do MERCOFRIO 2004 (CD-ROM), 2004a.*
- Pereira, M. L.; Tribess, A. A review of air distribution patterns in surgery rooms under infection control focus. *Encontro Nacional de Ciências Térmicas – ENCIT, Anais 2004 (CD-ROM), 2004b.*
- Pereira, M. L.; Tribess, A. Sistemas de tratamento de ar em salas cirúrgicas: estudo da distribuição de partículas na avaliação da contaminação aérea. *In: VIII Congreso Iberoamericano de Aire Acondicionado y Refrigeración – CIAR, Montevideo - Uruguay, 2005.*
- Pereira, M. L. *Apostila de instalações de refrigeração e ar condicionado*. Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, São José, 2002.
- Philips. *UVGI catalog and design guide, catalog No. U.D.C. 628.9*. Netherlands, 1985.
- Rohles, F. H. Jr. Temperature & Temperament – A Psychologist Looks at Comfort. *ASHRAE Journal*, 14-22, Feb 2007.
- Schmidt, P. Air control in operating theatres. *Heizung Luftung Haus Technik*. 38(3):145-53, 1987.

Schwab, R.; Conrad, W.; Mayer, E. *Correlation Between Objective and Subjective Measurements of Thermal Comfort*. EQUIV Report No 4, Holtzkirchen, Germany, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 1999.

Sterling, E.M.; Arundel, A.; Strling, T.D. Criteria for human exposure to humidity in occupied buildings. *ASHRAE Transactions*, 91(1b): 611-42, 1985.

TAT - TECHNOLOGY ASSESSMENT TEAM. *An overview of laminar flow ventilation for operating theatres*. Policy Coordination Unit., 1997

Turpin, I. M. Laminar airflow systems, *AORN Journal*, Setembro, 1998

Vanni, S. M. D.; Braz, J. R. C. Hipotermia perioperatória: Novos conceitos. *Revista Brasileira de Anestesiologia*. 49(5):360-67, 1999.

Vuolo, J. H. *Fundamentos da teoria de erros*, 2º ed., Edgard Blücher Ltda, 1996.

Whyte, W.; Hambræus, A.; Laureli, G.; Hoborn, J. The relative importance of routes and sources of wound contamination during general surgery II Airborne. *Journal Hosp. Infect.* 22: 41-54, 1992.

Whyte, W.; Hodgson, R.; Tinkler, J. The importance of airborne bacterial contamination of wounds. *Journal Hosp. Infect.*, 3(2):123-35, 1982.

Williams, S.; Syderham, N. Exposure to methylmethacrylate in an orthopaedic operating theatre. *Occup. Med.* 46: 322. 1996.

Woods, J. E.; Braymen, D. T.; Rasmussen, R. W.; Reynolds, P. E.; Montag, G. M. Ventilation requirements in hospital operating rooms. Part I: Control of airborne particles. *ASHRAE Transactions*, 92(2): 889-905, 1986.

Wyon, D. P.; Lidwell, O. M.; Williams, R. R. O. Thermal comfort during surgical operations. *Journal of Hygiene* 66:229-48, Cambridge, 1968.

AnexoA

MODELO DE QUESTIONÁRIO UTILIZADO PARA
AVALIAÇÃO SUBJETIVA

QUESTIONÁRIO PARA A EQUIPE CIRÚRGICA

Data (dd/mm/aa): _____

Duração: _____

1. Tipo de cirurgia: _____

2. Sexo (M/F): _____

Idade:

Entre 20 e 30 anos:

Entre 31 e 40 anos:

Entre 41 e 50 anos:

Mais que 50 anos:

3. Para qual categoria da equipe cirúrgica você pertence? (detalhe se necessário)

Cirurgião		_____
Anestesista		_____
Enfermeira		_____
Instrumentadora		_____

4. Como você avalia sua sensação térmica no momento em que entrou na sala cirúrgica para iniciar a cirurgia:

Muito gelada gelada fria pouco fria neutra pouco morna morna quente muito quente
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

5. Como você avalia sua sensação térmica durante a operação:

Muito gelada gelada fria pouco fria neutra pouco morna morna quente muito quente
-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

6. Você sentiu alguma corrente de ar durante a operação:

Não

Sim

Sentiu resfriamento local do corpo causado pelo movimento do ar

☐☐

7. Liste as roupas que você vestia dentro da sala de operação:

8. Você suou durante a cirurgia?

Não Sim

☐	☐
--------------------------	--------------------------

9. Você sentiu desconforto térmico devido:

Não Sim

Aquecimento do foco cirúrgico:

☐	☐
--------------------------	--------------------------

Se sim especifique em que parte do corpo (pescoço, cabeça, etc.): _____

Aquecimento de um equipamento específico:

☐	☐
--------------------------	--------------------------

Se sim especifique o equipamento: _____

Frio por causa de correntes de ar:

☐	☐
--------------------------	--------------------------

Se sim especifique em que parte do corpo: _____

Frio por estar próximo de superfícies frias:

☐	☐
--------------------------	--------------------------

Se sim especifique a superfície que incomodou você: _____

Frio em alguma parte do corpo. Causa desconhecida:

☐	☐
--------------------------	--------------------------

Se sim especifique em que parte do corpo (pescoço, cabeça, etc.): _____

Aquecimento em alguma parte do corpo. Causa desconhecida:

☐	☐
--------------------------	--------------------------

Se sim especifique em que parte do corpo (pescoço, cabeça, etc.): _____

10. Em que zona(s) (1,2) da sala cirúrgica você trabalha?

(Veja a planta)

1	☐
2	☐

Anexo B

DADOS UTILIZADOS

B.1 Valores referentes aos dados das condições do ensaio A

Tabela B.1 – Valores das variáveis ambientais na zona 2.

		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 1	1,7m	22,7	23,5	23,1	23,7	0,11	0,07	0,10	0,11	1	25,0	50
	1,1m	22,7	23,5	23,0	23,6	0,11	0,05	0,07	0,12	2	24,9	49
	0,6m	22,6	23,0	23,0	23,3	0,06	0,07	0,11	0,13	3	25,0	50
	0,1m	22,6	23,0	22,9	23,4	0,05	0,08	0,12	0,07	4	25,0	--
		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 2	1,7m	22,2	22,6	22,5	23,0	0,05	0,10	0,10	0,09	1	25,0	50
	1,1m	22,2	22,3	22,8	23,0	0,07	0,13	0,09	0,10	2	24,9	49
	0,6m	22,1	22,4	22,5	22,8	0,05	0,07	0,10	0,13	3	25,0	50
	0,1m	22,1	22,2	22,4	22,5	0,01	0,06	0,10	0,11	4	25,0	--
		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 3	1,7m	23,5	23,5	23,7	23,9	0,07	0,16	0,09	0,10	1	25,0	50
	1,1m	23,6	23,4	23,6	23,7	0,05	0,15	0,10	0,09	2	24,7	50
	0,6m	23,5	23,1	23,5	23,5	0,04	0,13	0,10	0,10	3	25,1	50
	0,1m	23,5	23,3	23,6	23,4	0,08	0,11	0,12	0,10	4	24,9	--
		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 4	1,7m	23,0	23,3	23,5	23,5	0,07	0,12	0,09	0,12	1	25,0	49
	1,1m	22,8	23,0	23,6	23,6	0,08	0,07	0,10	0,08	2	25,2	50
	0,6m	23,0	23,1	23,7	23,6	0,05	0,08	0,11	0,10	3	25,1	50
	0,1m	22,7	22,9	23,5	23,4	0,07	0,10	0,12	0,12	4	25,0	--
		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 5	1,7m	23,0	23,2	24,0	23,7	0,05	0,11	0,11	0,13	1	25,3	48
	1,1m	22,8	23,2	23,7	23,7	0,07	0,09	0,12	0,08	2	25,2	47
	0,6m	23,1	23,0	23,6	23,6	0,06	0,08	0,10	0,09	3	25,1	50
	0,1m	22,4	22,7	23,7	23,5	0,08	0,11	0,13	0,10	4	25,1	--
		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 6	1,7m	23,5	23,5	24,3	23,8	0,06	0,10	0,10	0,11	1	25,2	50
	1,1m	23,5	23,4	24,0	23,8	0,05	0,08	0,11	0,09	2	25,0	50
	0,6m	23,5	23,8	24,1	23,7	0,05	0,10	0,12	0,07	3	25,0	50
	0,1m	23,4	23,4	23,8	23,9	0,07	0,11	0,12	0,09	4	25,1	--
		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 7	1,7m	23,6	23,6	--	--	0,07	0,14	--	--	1	25,3	49
	1,1m	23,5	23,7	--	--	0,06	0,09	--	--	2	25,3	50
	0,6m	23,4	23,8	--	--	0,08	0,12	--	--	3	25,2	49
	0,1m	23,1	23,4	--	--	0,05	0,10	--	--	4	25,0	--

Figura B.1 – Disposição dos medidores na zona 2 – Ensaio A.

Tabela B.2 – Valores das variáveis ambientais na zona 1.

	Temperatura do ar (°C)		Velocidade do ar (m/s)		Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
Alturas	P-A	P-B	P-A	P-B			
1,7m	26,1	27,0	0,12	0,09			
1,1m	26,0	26,0	0,07	0,10			
0,6m	25,5	25,5	0,08	0,11			
0,1m	24,6	24,3	0,10	0,12	4	28,0	--
	Temperatura do ar (°C)		Velocidade do ar (m/s)		Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
Alturas	P-A	P-B	P-A	P-B			
1,7m	26,5	26,6	0,11	0,09			
1,1m	26,9	26,8	0,09	0,10			
0,6m	25,6	26,1	0,08	0,10			
0,1m	24,8	24,7	0,11	0,11	4	27,9	--

Tabela B.3 – Valores de PMV obtidos pelos questionários referentes a sensação térmica durante a cirurgia.

	Cirurgião	Instrumentador	Anestesista	Enfermeiros
1	1	1	1	0
2	2	1	0	0
3	1	2	0	0
4	1	1	0	0
5	2	2	1	0
6	1	2	0	0
7	2	1	1	0
8	1	1	1	1
9	--	1	--	0

Tabela B.4 – Valores de PMV obtidos pelos questionários referentes a sensação térmica no início da cirurgia.

	Cirurgião	Instrumentador	Anestesista	Enfermeiros
1	1	0	1	2
2	0	0	0	2
3	1	1	1	0
4	1	1	1	1
5	1	0	1	1
6	2	1	1	1
7	1	1	2	0
8	1	1	1	1
9	--	1	--	1

B.2 Valores referentes aos dados das condições do ensaio B

Tabela B.5 – Valores das variáveis ambientais na zona 2.

		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 1	1,7m	21,1	22,0	21,5	--	0,27	0,10	--	--	1	22,0	49
	1,1m	20,5	21,7	21,4	--	0,30	0,12	0,30	--	2	22,0	46
	0,6m	20,7	21,7	21,3	--	0,25	0,10	0,10	--	3	22,0	45
	0,1m	20,7	21,5	21,1	--	0,20	0,08	0,25	--	4	22,0	--
		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 2	1,7m	19,9	19,8	20,3	19,9	0,27	0,11	0,20	0,32	1	21,9	49
	1,1m	19,8	19,3	20,5	20,4	0,26	0,15	0,06	0,30	2	22,0	49
	0,6m	19,9	19,4	20,9	20,5	0,29	0,16	0,06	0,24	3	22,1	49
	0,1m	20,1	19,7	20,8	20,4	0,30	0,10	0,09	0,25	4	21,0	--
		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 3	1,7m	19,7	20,0	20,6	20,1	0,29	0,10	0,27	0,30	1	21,5	48
	1,1m	20,0	19,9	20,9	20,0	0,27	0,15	0,29	0,32	2	21,9	47
	0,6m	19,8	19,7	20,7	19,8	0,31	0,26	0,26	0,20	3	22,0	45
	0,1m	19,8	19,4	20,4	20,3	0,31	0,10	0,20	0,25	4	21,5	--
		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 4	1,7m	22,6	22,8	22,7	20,5	0,26	0,13	0,17	0,35	1	22,0	45
	1,1m	22,3	23,0	22,9	20,4	0,28	0,15	0,16	0,32	2	22,1	45
	0,6m	22,3	22,7	23,0	20,4	0,29	0,11	0,25	0,20	3	21,8	45
	0,1m	22,3	22,5	22,6	20,3	0,35	0,05	0,11	0,25	4	22,1	--
		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 5	1,7m	20,2	22,5	20,9	--	0,25	0,18	0,20	0,42	1	21,0	45
	1,1m	20,1	22,2	21,0	--	0,23	0,17	0,30	0,35	2	21,2	44
	0,6m	19,8	22,2	21,8	--	0,32	0,17	0,20	0,27	3	21,1	40
	0,1m	19,5	22,4	20,7	--	0,33	0,09	0,11	0,18	4	21,5	--
		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 6	1,7m	20,0	21,0	21,0	20,1	0,28	0,18	0,22	0,42	1	22,0	40
	1,1m	19,9	20,3	21,1	20,0	0,29	0,17	0,27	0,30	2	22,1	42
	0,6m	19,7	20,3	21,0	19,5	0,21	0,15	0,25	0,25	3	21,5	40
	0,1m	20,3	20,5	20,7	19,8	0,32	0,05	0,10	0,15	4	21,4	--
		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 7	1,7m	20,0	20,3	20,3	20,1	0,28	0,16	0,20	0,45	1	21,6	49
	1,1m	20,0	19,7	20,0	20,2	0,29	0,19	0,26	0,37	2	21,5	48
	0,6m	19,5	20,1	20,5	19,5	0,23	0,15	0,21	0,24	3	21,3	49
	0,1m	19,8	19,9	20,4	19,9	0,25	0,02	0,15	0,18	4	21,1	--
		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 8	1,7m	20,2	20,5	20,6	19,7	0,27	0,17	0,23	0,41	1	21,0	50
	1,1m	20,1	20,2	21,2	20,0	0,29	0,13	0,24	0,39	2	21,5	49
	0,6m	19,8	20,2	21,3	19,8	0,36	0,15	0,26	0,25	3	21,3	49
	0,1m	19,5	20,4	20,7	19,8	0,22	0,07	0,20	0,15	4	21,3	--

Figura B.2 – Disposição dos medidores na zona 2 – Ensaio B.

Tabela B.6 – Valores das variáveis ambientais na zona 1.

Alturas	Temperatura do ar (°C)		Velocidade do ar (m/s)		Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	P-A	P-B	P-A	P-B			
1,7m	25,5	25,7	0,14	0,10	1	26,5	40
1,1m	24,7	24,4	0,30	0,15	2	26,5	40
0,6m	24,0	23,0	0,20	0,20	3	27,0	45
0,1m	--	22,2	0,25	0,30	4	26,9	--

Tabela B.7 – Valores de PMV obtidos pelos questionários referentes a sensação térmica durante a cirurgia.

	Cirurgião	Instrumentador	Anestesista	Enfermeiros
1	0	1	-2	-2
2	1	0	-1	-2
3	1	1	-1	-1
4	0	0	-1	-2
5	0	0	-2	-2
6	1	1	-1	-1
7	1	1	-2	-1
8	0	1	-1	-2
9	--	--	--	--

Tabela B.8 – Valores de PMV obtidos pelos questionários referentes a sensação térmica no início da cirurgia.

	Cirurgião	Instrumentador	Anestesista	Enfermeiros
1	-1	-1	-1	-2
2	-1	0	-1	-2
3	-2	0	-1	-1
4	-2	-1	-2	-2
5	-1	-1	-2	-2
6	-1	-1	-1	-2
7	-1	-1	-1	-1
8	-1	-1	-2	-1
9	--	--	--	--

B.3 Valores referentes aos dados das condições do ensaio C

Tabela B.9 – Valores das variáveis ambientais na zona 2.

		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 1	1,7m	23,0	23,7	22,5	21,7	0,35	0,27	0,35	0,33	1	23,5	50
	1,1m	22,6	23,9	22,4	22,3	0,40	0,32	0,32	0,38	2	23,5	45
	0,6m	22,5	24,2	22,1	22,5	0,29	0,28	0,28	0,26	3	23,7	44
	0,1m	22,6	23,5	21,9	21,5	0,27	0,19	0,21	0,17	4	23,5	43
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D	Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
Cirurgia 2	1,7m	22,8	23,7	22,3	21,9	0,25	0,29	0,40	0,35	1	23,5	40
	1,1m	22,7	23,5	22,2	22,0	0,29	0,32	0,31	0,30	2	23,5	44
	0,6m	22,4	23,9	22,5	21,5	0,22	0,19	0,26	0,14	3	23,5	45
	0,1m	22,2	22,9	21,9	21,3	0,20	0,10	0,19	0,20	4	23,5	48
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D	Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
Cirurgia 3	1,7m	23,9	24,3	22,9	--	0,30	0,27	0,41	0,38	1	23,7	40
	1,1m	23,8	23,9	23,2	--	0,31	0,29	0,33	0,32	2	23,7	45
	0,6m	23,2	24,0	22,7	22,5	0,30	0,29	0,30	0,17	3	23,7	44
	0,1m	23,2	23,7	22,4	22,0	0,19	0,12	0,16	0,18	4	23,5	43
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D	Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
Cirurgia 4	1,7m	23,5	23,3	22,5	22,0	0,32	0,34	0,43	0,45	1	23,5	45
	1,1m	23,2	23,5	22,2	21,9	0,35	0,33	0,40	0,42	2	23,0	43
	0,6m	22,8	24,0	22,8	22,5	0,33	0,32	0,38	0,37	3	23,0	44
	0,1m	22,7	23,7	22,7	22,2	0,26	0,20	0,29	0,31	4	23,5	42
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D	Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
Cirurgia 5	1,7m	23,1	23,7	22,7	--	0,33	0,34	0,40	0,41	1	23,5	44
	1,1m	22,6	23,5	23,0	21,9	0,29	0,36	0,39	0,37	2	23,5	43
	0,6m	22,4	23,6	22,9	22,3	0,31	0,32	0,35	0,32	3	23,0	44
	0,1m	22,6	22,9	22,3	22,0	0,21	0,23	0,27	0,27	4	23,5	45
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D	Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
Cirurgia 6	1,7m	23,7	24,1	21,9	21,8	0,29	0,27	0,37	0,35	1	23,5	45
	1,1m	23,9	24,0	22,2	22,3	0,31	0,29	0,31	0,28	2	23,5	43
	0,6m	23,7	24,0	22,0	22,3	0,30	0,28	0,27	0,31	3	24,0	42
	0,1m	23,6	23,7	21,4	22,2	0,24	0,15	0,20	0,20	4	23,7	45
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D	Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
Cirurgia 7	1,7m	23,8	24,0	21,6	22,0	0,31	0,33	0,39	0,30	1	23,7	44
	1,1m	23,9	23,7	22,2	22,2	0,30	0,28	0,29	0,32	2	23,5	46
	0,6m	23,5	24,1	22,3	22,0	0,28	0,32	0,30	0,28	3	23,5	48
	0,1m	23,3	23,5	21,5	22,1	0,22	0,26	0,24	0,24	4	23,7	46
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D	Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
Cirurgia 8	1,7m	22,8	23,5	21,6	--	0,32	0,27	0,27	0,29	1	23,0	44
	1,1m	22,7	23,8	22,2	--	--	0,22	0,29	0,31	2	23,2	45
	0,6m	22,4	24,1	22,3	--	0,28	0,19	0,24	0,33	3	23,5	45
	0,1m	22,6	23,2	21,5	--	0,20	0,17	0,21	0,21	4	23,5	42

Figura B.3 – Disposição dos medidores na zona 2 – Ensaio C.

Tabela B.10 – Valores das variáveis ambientais na zona 1.

Alturas	Temperatura do ar (°C)		Velocidade do ar (m/s)		Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	P-A	P-B	P-A	P-B			
1,7m	27,9	28,0	0,26	0,32	1	28,0	35
1,1m	26,9	27,2	0,29	0,30	2	28,1	39
0,6m	26,2	27,0	0,27	0,18	3	28,0	40
0,1m	24,9	25,2	0,20	0,17	4	28,0	36

Tabela B.11 – Valores de PMV obtidos pelos questionários referentes à sensação térmica durante a cirurgia.

	Cirurgião	Instrumentador	Anestesista	Enfermeiros
1	3	0	0	-1
2	1	0	-1	0
3	1	0	-2	-1
4	1	1	-1	0
5	2	0	0	0
6	3	0	-1	-1
7	3	0	0	0
8	3	0	-1	-1
9	--	0	--	--

Tabela B.12 – Valores de PMV obtidos pelos questionários referentes à sensação térmica no início da cirurgia.

	Cirurgião	Instrumentador	Anestesista	Enfermeiros
1	1	-1	0	-1
2	0	-1	0	-1
3	0	0	-1	-1
4	0	-1	0	0
5	0	0	0	0
6	0	-1	0	-1
7	1	0	0	-1
8	0	-1	-1	-1
9	--	-1	--	--

B.4 Valores referentes aos dados das condições do ensaio D

Tabela B.13 – Valores das variáveis ambientais na zona 2.

		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 1	1,7m	22,2	22,1	22,2	22,2	0,20	0,22	0,20	0,22	1	23,5	40
	1,1m	22,0	21,9	22,1	22,2	0,15	0,23	0,21	0,25	2	24,0	50
	0,6m	22,3	22,2	22,1	21,9	0,20	0,17	0,24	0,22	3	23,7	50
	0,1m	21,8	21,7	21,8	22,0	0,17	0,20	0,19	0,20	4	24,2	45
		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 2	1,7m	22,3	22,2	22,1	22,3	0,22	0,25	0,15	0,20	1	24,0	45
	1,1m	22,1	22,3	22,2	22,0	0,20	0,22	0,18	0,21	2	24,0	45
	0,6m	22,3	22,2	22,2	22,0	0,19	0,20	0,20	0,20	3	24,0	45
	0,1m	21,8	22,0	21,9	22,0	0,18	0,19	0,19	0,17	4	24,0	45
		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 3	1,7m	22,2	22,1	22,4	22,0	0,30	0,25	0,19	0,23	1	24,0	50
	1,1m	21,9	22,0	22,3	21,7	0,25	0,20	0,21	0,19	2	24,0	48
	0,6m	22,0	22,3	22,0	21,9	0,15	0,23	0,30	0,31	3	23,7	45
	0,1m	21,9	22,0	22,2	22,0	0,20	0,24	0,15	0,21	4	24,2	45
		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 4	1,7m	22,4	22,7	22,3	22,8	0,32	0,29	0,10	0,05	1	24,0	50
	1,1m	22,,3	22,5	22,3	22,5	0,27	0,40	0,05	0,12	2	24,2	45
	0,6m	22,5	22,5	22,1	22,7	0,34	0,33	0,12	0,08	3	24,0	40
	0,1m	22,1	22,3	22,0	22,3	0,12	0,31	0,09	0,17	4	24,0	40
		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 5	1,7m	22,9	23,0	22,8	22,6	0,30	0,35	0,30	0,10	1	24,5	45
	1,1m	22,8	22,9	22,5	22,4	0,25	0,29	0,32	0,15	2	24,5	45
	0,6m	22,5	23,1	22,3	22,6	0,27	0,30	0,15	0,25	3	24,5	45
	0,1m	22,5	22,7	22,1	22,5	0,31	0,17	0,17	0,10	4	24,2	45
		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 6	1,7m	22,2	22,2	22,4	22,2	0,25	0,20	0,08	0,10	1	24,0	45
	1,1m	22,0	22,3	22,3	22,1	0,35	0,15	0,19	0,06	2	24,0	42
	0,6m	22,0	22,1	22,0	21,9	0,29	0,12	0,05	0,20	3	24,3	45
	0,1m	22,1	22,1	22,0	21,7	0,22	0,07	0,04	0,13	4	24,0	43
		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 7	1,7m	22,5	22,4	22,1	22,0	0,25	0,20	0,35	0,20	1	24,0	48
	1,1m	22,6	22,4	22,3	21,9	0,30	0,19	0,50	0,23	2	24,0	50
	0,6m	22,1	22,6	22,2	21,8	0,15	0,17	0,21	0,15	3	23,8	45
	0,1m	22,2	22,5	22,1	21,5	0,12	0,21	0,20	0,19	4	23,5	40
		Temperatura do ar (°C)				Velocidade do ar (m/s)				Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	Alturas	P-A	P-B	P-C	P-D	P-A	P-B	P-C	P-D			
Cirurgia 8	1,7m	22,7	22,0	21,9	22,0	0,45	0,31	0,15	0,20	1	24,5	45
	1,1m	22,6	21,8	21,5	21,9	0,32	0,24	0,17	0,22	2	24,0	45
	0,6m	22,3	21,9	21,7	22,0	0,41	0,25	0,21	0,31	3	24,0	42
	0,1m	22,0	21,8	21,4	22,2	0,32	0,20	0,16	0,19	4	24,0	40

Figura B.4 – Disposição dos medidores na zona 2 – Ensaio D.

Tabela B.14 – Valores das variáveis ambientais na zona 1.

Alturas	Temperatura do ar (°C)		Velocidade do ar (m/s)		Pontos a 1 metro do piso	Temperatura de globo (°C)	Umidade Relativa (%)
	P-A	P-B	P-A	P-B			
1,7m	28,1	28,4	0,20	0,20	1	28,0	35
1,1m	27,5	27,9	0,25	0,23	2	28,3	38
0,6m	27,2	26,8	0,20	0,15	3	27,0	35
0,1m	26,5	26,2	0,15	0,07	4	29,0	35

Tabela B.15 – Valores de PMV obtidos pelos questionários referentes à sensação térmica durante a cirurgia.

	Cirurgião	Instrumentador	Anestesista	Enfermeiros
1	2	2	0	-1
2	1	1	0	0
3	1	2	0	-1
4	2	0	0	-1
5	1	1	0	-1
6	2	2	-1	0
7	2	1	0	-1
8	1	1	0	-1
9	--	--	--	--

Tabela B.16 – Valores de PMV obtidos pelos questionários referentes à sensação térmica no início da cirurgia.

	Cirurgião	Instrumentador	Anestesista	Enfermeiros
1	0	1	1	0
2	0	0	0	0
3	1	1	0	1
4	0	0	0	1
5	1	1	0	1
6	0	1	0	0
7	0	0	1	0
8	0	0	0	0
9	--	--	--	--