BRENDA CHAVES COELHO LEITE

SISTEMA DE AR CONDICIONADO COM
INSUFLAMENTO PELO PISO EM AMBIENTES
DE ESCRITÓRIOS: AVALIAÇÃO DO CONFORTO
TÉRMICO E CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO

Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do
Título de Doutor em Engenharia

São Paulo

2003

BRENDA CHAVES COELHO LEITE

SISTEMA DE AR CONDICIONADO COM INSUFLAMENTO
PELO PISO EM AMBIENTES DE ESCRITÓRIOS:
AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO
E CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO

Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Doutor em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica

Orientador:
Prof. Dr. Arlindo Tribess

São Paulo

2003

Leite, Brenda Chaves Coelho

Sistema de ar condicionado com insuflamento pelo piso em ambientes de escritórios: avaliação do conforto térmico e condições de operação. São Paulo, 2003.

162p.

Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1.Ar condicionado 2.Insuflamento pelo piso 3.Conforto térmico 4. Operação de sistemas

I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia Mecânica.

II.t

*Dedico este trabalho à minha família:
Renato, Daniel, Sérgio e Débora*

Agradeço-lhes

*...por me apoiarem sempre, mesmo que
se sacrifiquem,*

*...por compreenderem a minha ausência
quando mais precisam da minha
companhia,*

*...pelo carinho que sempre recebo de
vocês, mesmo nas horas difíceis,*

*...pelo incentivo à busca da realização
dos meus sonhos.*

Vocês são meus amores.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Arlindo Tribess, pelo apoio técnico e pessoal à realização desta pesquisa, pelo seu companheirismo, amizade e incentivo em todos os momentos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP – pelo suporte oferecido ao projeto (Proc. 99/09798-6).

Ao Ciríaco G. Mendes Jr., pela inestimável colaboração nos ensaios e tabulação de dados, durante e após o período de sua pesquisa de iniciação científica desenvolvida no laboratório utilizado para este trabalho.

Às 33 pessoas que representaram a amostra de usuários de escritórios que, voluntariamente, dedicaram grande parte do seu precioso tempo participando dos testes.

Às empresas: Trox Technik, Tate do Brasil Ltda., Multi Vac Comercial Ltda., Sperone Comercial Ltda., Tempset Engenharia e Instalações Ltda., Controller Equipamentos e Sistemas Ltda., pelas doações de componentes para o laboratório e apoio técnico durante e após a montagem do protótipo.

À Simone Monice e ao Sérgio Leal Ferreira, pela colaboração na parte gráfica da tese.

Aos amigos do Departamento de Construção Civil da EPUSP, especialmente aos professores: Eduardo Toledo dos Santos, João Diego Petreche, Cheng Liang Yee, Rovilson Mafalda, Sérgio Leal Ferreira, Luiz Reynaldo de A. Cardoso e Alexandre Kawano, pelo coleguismo, apoio e incentivo ao meu trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Máquinas Térmicas do Departamento de Engenharia Mecânica da EPUSP: Ademir Santos Ladeira, Wilson Costa Neves, Francisco dos Reis Faustino e Benedito Fragoso, pelo auxílio na montagem e manutenção do laboratório.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE SÍMBOLOS

RESUMO

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	5
1.2 Desenvolvimento da tese	6
1.3 Revisão da literatura	8
2 SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR COM INSUFLAMENTO PELO PISO	15
2.1 Componentes e características do sistema de insuflamento de ar pelo piso	18
2.2 Condições de funcionamento	20
2.3 Outros requisitos necessários ao bom desempenho do sistema	24
2.4 Considerações sobre o desempenho do sistema	25
3 CONFORTO TÉRMICO	28
3.1 Introdução	28
3.2 O sistema termorregulador	28
3.3 Condições de conforto térmico	31
4 AVALIAÇÃO DE AMBIENTES TÉRMICOS	40
4.1 Introdução	40
4.2 Voto médio estimado	40
4.3 Percentagem de pessoas insatisfeitas	44
4.4 Condições de conforto térmico	45
4.5 Desconforto térmico local	48
4.6 Influência de fatores secundários sobre o conforto	53

4.7 Considerações sobre a aplicação do método de Fanger	55
5 LABORATÓRIO REPRESENTATIVO DE AMBIENTES DE ESCRITÓRIOS COM AR FRIO INSUFLADO PELO PISO	56
5.1 Descrição do laboratório	56
5.1.1 Câmara de Testes	58
5.1.2 Sistema de condicionamento de ar	61
5.1.3 Sistema de automação e controle	65
5.1.4 Sistemas de medição e aquisição de dados no ambiente	68
5.2 Testes de comparação e calibração dos transdutores dos sistemas de controle e de aquisição de dados no ambiente	70
6 MÉTODO DE TRABALHO	73
6.1 Primeira etapa	74
6.1.1 Condições do ambiente	74
6.1.2 Variáveis medidas	77
6.1.3 Pontos de medição	77
6.1.4 Períodos de medição	79
6.1.5 Condições de operação do sistema	80
6.1.6 Tratamento dos dados	82
6.1.7 Aspectos analisados	83
6.2 Segunda etapa	83
6.2.1 Definição da amostra	84
6.2.2 Vestimenta das pessoas	84
6.2.3 Procedimentos de ensaios	86
6.2.4 Questionário aplicado	91
6.3 Terceira etapa	92
6.3.1 Condições do ambiente	92
6.3.2 Procedimentos de ensaios	92
6.3.3 Medições	94
6.3.4 Tratamento dos dados	95
7 ANÁLISE QUANTITATIVA DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO NO AMBIENTE	96
7.1 Resultados das medições e análise das condições térmicas do ambiente	96
7.2 Avaliação dos aspectos de conforto térmico no ambiente	106

7.2.1 Desconforto térmico geral	106
7.2.2 Desconforto térmico local	110
8 ANÁLISE QUALITATIVA DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO NO AMBIENTE	112
8.1 Avaliação das condições do ambiente sob o ponto de vista do desconforto térmico geral	112
8.2 Avaliação das condições do ambiente sob o ponto de vista do desconforto local	120
9 O CONFORTO TÉRMICO PERSONALIZADO – ANÁLISE DAS CONDIÇÕES TÉRMICAS COM CONTROLES INDIVIDUAIS DE VAZÃO DE AR	126
9.1 Análise das condições térmicas individuais	126
9.2 Condições de operação do sistema	134
10 POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA COM A APLICAÇÃO DO SISTEMA DE INSUFLAMENTO PELO PISO	136
10.1 Verificação do potencial de conservação de energia sob o ponto de vista das temperaturas	137
10.2 Determinação de parâmetros de projeto para ambientes térmicos com vistas à conservação de energia	140
11 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	145
11.1 Discussão sobre o experimento	148
11.2 Trabalhos futuros	149
12 BIBLIOGRAFIA	152
 ANEXO A – Questionário e resultados de tabulação de dados	
 ANEXO B – Dados de medições das variáveis de conforto – 1 ^a . etapa	
 ANEXO C – Gráficos e dados de medições de temperatura e velocidade do ar – 3 ^a . etapa	

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Exemplos de taxa metabólica para alguns tipos de atividades	34
Tabela 3.2	Valores de isolações típicas, de fatores de área e de permeabilidade para conjuntos de vestimentas	36
Tabela 4.1	Escala de Sensação Térmica	40
Tabela 4.2	Determinação do voto médio estimado - PMV (ISO 7730, 1994)	43
Tabela 4.3	Faixas de temperaturas operativas ótimas	46
Tabela 5.1	Características dos sensores do sistema de controle	67
Tabela 5.2	Características dos instrumentos do sistema SENSU	69
Tabela 6.1	Cargas internas	76
Tabela 6.2	Parâmetros de funcionamento do sistema	82
Tabela 6.3	Características da amostra	85
Tabela 6.4	Características das peças de roupas utilizadas nos ensaios	86
Tabela 6.5	Conjuntos de peças de roupas utilizadas nos ensaios	86
Tabela 7.1	Variáveis para a análise do conforto térmico – médias no nível 0,60m	100
Tabela 7.2	Temperaturas superficiais no piso (°C)	105
Tabela 7.3	Voto Médio Estimado (PMV) e Percentual de Pessoas Insatisfeitas (PPD)	107
Tabela 7.4	Categorias para ambientes térmicos	108
Tabela 7.5	Classificação das áreas do ambiente	108
Tabela 7.6	Critérios para conforto térmico em escritórios baseados na temperatura operativa e velocidade média do ar	109
Tabela 8.1	PMV e PPD, para $V_a \leq 0,10$ m/s e pessoas em atividade leve (70 W/m^2)	113
Tabela 8.2	Percentuais de votos para os valores da escala de sensação térmica	114
Tabela 9.1	Parâmetros de funcionamento do sistema	134
Tabela 10.1	Dias típicos do ano – temperaturas de bulbo seco	139
Tabela 11.1	Parâmetros de Conforto	147
Tabela 11.2	Parâmetros para operação do sistema	147
Tabela A.1	Tabulação das respostas aos questionários	
Tabela B.1	Dados das variáveis de conforto - Simuladores - condição C1	
Tabela B.2	Dados das variáveis de conforto - circulação (P13 a P16) - condição C1	

Tabela B.3	Dados das variáveis de conforto - difusores - condição C1
Tabela B.4	Dados das variáveis de conforto - Simuladores - condição C2
Tabela B.5	Dados das variáveis de conforto - circulação (P13 a P16) - condição C2
Tabela B.6	Dados das variáveis de conforto - difusores - condição C2
Tabela B.7	Dados das variáveis de conforto - Simuladores - condição C3
Tabela B.8	Dados das variáveis de conforto - circulação (P13 a P16) - condição C3
Tabela B.9	Dados das variáveis de conforto - difusores - condição C3
Tabela B.10	Dados das variáveis de conforto - Simuladores - condição C4
Tabela B.11	Dados das variáveis de conforto - circulação (P13 a P16) - condição C4
Tabela B.12	Dados das variáveis de conforto - difusores - condição C4
Tabela B.13	Dados das variáveis de conforto - Simuladores - condição C5
Tabela B.14	Dados das variáveis de conforto - circulação (P13 a P16) - condição C5
Tabela B.15	Dados das variáveis de conforto - difusores - condição C5
Tabela B.16	Dados das variáveis de conforto - Simuladores - condição C6
Tabela B.17	Dados das variáveis de conforto - circulação (P13 a P16) - condição C6
Tabela B.18	Dados das variáveis de conforto - difusores - condição C6
Tabela B.19	Dados de desconforto local para a condição C1
Tabela B.20	Dados de desconforto local para a condição C2
Tabela B.21	Dados de desconforto local para a condição C3
Tabela B.22	Dados de desconforto local para a condição C4
Tabela B.23	Dados de desconforto local para a condição C5
Tabela B.24	Dados de desconforto local para a condição C6
Tabela C.1	Dados de temperatura e velocidade do ar dos ensaios com controles individuais de vazão de ar - Amostra de pessoas do sexo feminino de 01 a 04
Tabela C.2	Dados de temperatura e velocidade do ar dos ensaios com controles individuais de vazão de ar - Amostra de pessoas do sexo feminino de 05 a 08
Tabela C.3	Dados de temperatura e velocidade do ar dos ensaios com controles individuais de vazão de ar - Amostra de pessoas do sexo feminino de 09 a 12

Tabela C.4	Dados de temperatura e velocidade do ar dos ensaios com controles individuais de vazão de ar - Amostra de pessoas do sexo feminino de 13 a 16	
Tabela C.5	Dados de temperatura e velocidade do ar dos ensaios com controles individuais de vazão de ar - Amostra de pessoas do sexo masculino de 01 a 04	
Tabela C.6	Dados de temperatura e velocidade do ar dos ensaios com controles individuais de vazão de ar - Amostra de pessoas do sexo masculino de 05 a 08	
Tabela C.7	Dados de temperatura e velocidade do ar dos ensaios com controles individuais de vazão de ar - Amostra de pessoas do sexo masculino de 09 a 12	
Tabela C.8	Dados de temperatura e velocidade do ar dos ensaios com controles individuais de vazão de ar - Amostra de pessoas do sexo masculino de 13 a 16	
Tabela C.9	Dados de temperatura e velocidade do ar dos ensaios com controles individuais de vazão de ar - Amostra de pessoas do sexo masculino 17	

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Tipos de sistemas com insuflamento pelo piso elevado	16
Figura 2.2	Ambiente com ar condicionado insuflado pelo piso (esquemático)	17
Figura 2.3	Plenum – piso elevado	20
Figura 2.4	Suportes para piso elevado	20
Figura 2.5	Difusor de piso	22
Figura 2.6	Placa contendo difusores acoplados a ventiladores utilizados no sistema com pressão negativa	23
Figura 2.7	Difusor para instalação no piso com sistema de pressão positiva	23
Figura 3.1	Modelo cilíndrico da interação térmica: corpo humano – meio envolvente	31
Figura 4.1	Percentual de Pessoas Insatisfeitas X Voto Médio Estimado	44
Figura 4.2	Zonas de conforto para inverno e verão	46
Figura 4.3	Velocidade do ar necessária para acréscimo de temperatura	48
Figura 4.4	Percentual de pessoas sentadas insatisfeitas com a diferença vertical de temperatura do ar entre os pés e a cabeça	49
Figura 4.5	Porcentagem de pessoas que expressam desconforto devido à assimetria da radiação	50
Figura 4.6	Percentual de pessoas insatisfeitas com a temperatura do piso	51
Figura 4.7	Correntes de ar para 15% de insatisfeitos	52
Figura 5.1	Planta de um pavimento tipo de um edifício de escritórios situado à Rua Verbo Divino – São Paulo – Detalhe de uma célula	57
Figura 5.2	Corte esquemático do laboratório	57
Figura 5.3	Perspectiva da câmara de testes do laboratório	59
Figura 5.4	Perspectiva da câmara de testes do laboratório	59
Figura 5.5	Painel de lâmpadas	60
Figura 5.6	Reostatos	60
Figura 5.7	Simulador	60
Figura 5.8	<i>Chiller</i>	62
Figura 5.9	<i>Fan coil</i>	62
Figura 5.10	Medidor de vazão de água	62

Figura 5.11	Resistência de aquecimento	62
Figura 5.12	Caixa de mistura	64
Figura 5.13	Medidor de vazão de ar no insuflamento	64
Figura 5.14	Tela de interface homem / máquina – sistema de controle	70
Figura 6.1	Temperatura operativa ótima ($PMV=0$) em função da vestimenta e da atividade	75
Figura 6.2	Faixa da zona de conforto dos ensaios	75
Figura 6.3	Pontos de medição	78
Figura 6.4	Sistema de aquisição de dados no ambiente – SENSU	79
Figura 6.5	Planta da sala com as pessoas	88
Figura 6.6	<i>Lay out</i> de escritório na câmara de testes	88
Figura 6.7	Estação de trabalho individual	89
Figura 6.8	Estação de trabalho para duas pessoas	89
Figura 6.8	Posto de trabalho ocupado para controle individual de vazões de ar	90
Figura 6.9	Ensaio com vestimenta 0,6 clo	90
Figura 6.10	Ensaio com vestimenta 0,6 clo	90
Figura 6.11	Ensaio com vestimenta 0,7 clo	90
Figura 6.12	Ensaio com vestimenta 0,7 clo	90
Figura 6.13	Ensaio com vestimenta 1,1 clo	90
Figura 6.14	Ensaio com vestimenta 1,1 clo	90
Figura 6.15	Posto de trabalho ocupado para controle individual de vazão de ar	93
Figura 6.16	Pontos de medição (P4 a P6) em torno da pessoa	94
Figura 7.1	Perfis de temperatura e velocidade do ar – Condição 1	97
Figura 7.2	Perfis de temperatura e velocidade do ar – Condição 2	97
Figura 7.3	Perfis de temperatura e velocidade do ar – Condição 3	98
Figura 7.4	Perfis de temperatura e velocidade do ar – Condição 4	98
Figura 7.5	Perfis de temperatura e velocidade do ar – Condição 5	99
Figura 7.6	Perfis de temperatura e velocidade do ar – Condição 6	99
Figura 7.7	Esquema representativo da classificação e caracterização do ambiente nas condições de ensaios realizados	109

Figura 8.1	Opiniões das pessoas sobre o ambiente térmico representadas pelos percentuais de votos nos pontos da escala de sensação térmica, condições de ensaio (C1 a C6)	115
Figura 8.2	Votos das pessoas para a adequação das roupas usadas nos ensaios	116
Figura 8.3	Curvas comparativas do PMV calculado com os dados de medições e PMV real, representativo dos votos médios das pessoas	118
Figura 8.4	Curvas comparativas do PPD calculado com os dados de medições, PPD real* e PPDreal, representativos dos percentuais de pessoas insatisfeitas	118
Figura 8.5	Gráfico das respostas sobre os sintomas físicos devido à umidade do ar	119
Figura 8.6	Gráficos das respostas referentes às sensações de temperatura em partes localizadas do corpo (cabeça, tórax e pés)	122
Figura 8.7	Gráfico das respostas referentes às temperaturas superficiais do piso	124
Figura 9.1	Perfis de temperaturas do ar	128
Figura 9.2	Gráfico da faixa de temperaturas do ar no posto de trabalho antes (A) dos ajustes de vazões de ar	130
Figura 9.3	Gráfico da faixa de temperaturas do ar no posto de trabalho depois dos ajustes de vazões de ar	130
Figura 9.4	Gráfico da faixa de velocidades do ar no posto de trabalho antes (A) dos ajustes de vazão de ar	132
Figura 9.5	Gráfico da faixa de velocidades do ar no posto de trabalho depois (D) dos ajustes de vazão de ar	132
Figura 9.6	Acréscimos de velocidades do ar e de temperatura	133
Figura 10.1	Comparação de temperaturas dos sistemas de insuflamento pelo teto e pelo piso	136
Figura 10.2	Perfis de temperaturas médias do ar nos postos de trabalho nas condições de ensaio C1 a C6 e temperaturas de insuflamento	142
Figura A	Modelo do questionário	
Figura C.1	Perfis de temperatura e velocidade do ar nos ensaios com controles individuais de vazão de ar - Amostra de pessoas do sexo feminino de 01 a 04	

Figura C.2	Perfis de temperatura e velocidade do ar nos ensaios com controles individuais de vazão de ar - Amostra de pessoas do sexo feminino de 05 a 08	
Figura C.3	Perfis de temperatura e velocidade do ar nos ensaios com controles individuais de vazão de ar - Amostra de pessoas do sexo feminino de 09 a 12	
Figura C.4	Perfis de temperatura e velocidade do ar nos ensaios com controles individuais de vazão de ar - Amostra de pessoas do sexo feminino de 13 a 16	
Figura C.5	Perfis de temperatura e velocidade do ar nos ensaios com controles individuais de vazão de ar - Amostra de pessoas do sexo masculino de 01 a 04	
Figura C.6	Perfis de temperatura e velocidade do ar nos ensaios com controles individuais de vazão de ar - Amostra de pessoas do sexo masculino de 05 a 08	
Figura C.7	Perfis de temperatura e velocidade do ar nos ensaios com controles individuais de vazão de ar - Amostra de pessoas do sexo masculino de 09 a 12	
Figura C.8	Perfis de temperatura e velocidade do ar nos ensaios com controles individuais de vazão de ar - Amostra de pessoas do sexo masculino de 13 a 16	
Figura C.9	Perfis de temperatura e velocidade do ar nos ensaios com controles individuais de vazão de ar - Amostra de pessoas do sexo masculino 17	

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>Símbolo</i>	<i>Variável</i>	<i>Unidade</i>
A_{cl}	área da superfície coberta do corpo	m ²
A_D	área DU BOIS	m ²
c_p	calor específico do ar	J/K.g.K
C	calor transferido pela pele por convecção	W/m ²
C_{res}	calor transferido por convecção pela respiração	W/m ²
D	diâmetro do globo	m
E_{res}	calor transferido por evaporação pela respiração	W/m ²
E_{sk}	calor transferido pela pele por evaporação;	W/m ²
E_{sw}	calor trocado pela transpiração	W/m ²
f_{cl}	fator de área da roupa	adimensional
h_c	coeficiente de transferência de calor por convecção	W/m ² K
h_{cg}	coeficiente de transferência de calor por convecção ao nível do globo;	W/m ² K
h_r	coeficiente de transferência de calor por radiação	W/m ² K
h_{rg}	coeficiente de transferência de calor por radiação entre as superfícies e o globo	W/m ² K ⁴
I_{cl}	índice de isolamento da roupa	clo
$I_{clu,i}$	isolamento efetivo de cada peça	clo
l	altura	m
L	carga térmica (por unidade de área superficial do corpo	W/m ²
M	metabolismo	W/m ² ou met
m	massa corporal	kg
p_a	pressão parcial do vapor de água no ar	kPa
p_s	pressão de saturação do vapor de água no ar	kPa
q_c	troca de calor por convecção	W/m ²
q_r	troca de calor por radiação	W/m ²
q_v	vazão de ar	l/s
R	calor transferido pela pele por radiação	W/m ²
R_{cl}	resistência intrínseca da roupa	m ² K/W

<i>Símbolo</i>	<i>Variável</i>	<i>Unidade</i>
t_a	temperatura do ar	°C
T_a	temperatura do ar	K
t_{cl}	temperatura da roupa	°C
t_g	temperatura de globo	°C
T_g	temperatura de globo	K
t_o	temperatura operativa	°C
$\bar{t}_r$	temperatura radiante média	°C
$\bar{T}_r$	temperatura radiante média	K
t_{sk}	temperatura média da pele	°C
T_u	intensidade de turbulência	%
$\dot{U}$	taxa de variação da energia interna	(W/m ²)
UR	umidade relativa do ar	%
V_a	velocidade média do ar	m/s
W	trabalho externo	W/m ²

Letras gregas

<i>Símbolo</i>	<i>Variável</i>	<i>Unidade</i>
(Δt_{pr})	assimetria da temperatura radiante	°C
ε	emissividade	adimensional
Φ_{tot}	carga térmica total	W
θ_p	temperatura do ar perto do piso	°C
θ_i	temperatura do ar insuflado	°C
θ_r	temperatura do ar de retorno	°C
ρ	densidade do ar	Kg/m ³
σ	constante de Stefan-Boltzmann	W/m ² K ⁴

RESUMO

Desde a introdução do conceito de escritório aberto, o tipo de ocupação e a distribuição das cargas internas têm sofrido grandes mudanças, requerendo maior flexibilidade nos edifícios. Além disto, avaliações de desempenho de edifícios de escritórios da atualidade têm apresentado resultados que são fortes indicadores da necessidade de mudanças de conceitos de projeto, operação e uso de sistemas de condicionamento de ar, devido ao elevado nível de insatisfação dos usuários quanto ao conforto e à qualidade do ar. Para tentar solucionar estes problemas, outro conceito em distribuição de ar, já em uso nos países desenvolvidos, está começando a ser adotado também no Brasil; trata-se de insuflamento pelo piso, com difusores instalados em placas de piso elevado e nas estações de trabalho, que permitem flexibilidade e controle individual de vazão de ar.

Neste trabalho foi feita a avaliação de sistema de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso em um laboratório com condições controladas. O laboratório em que foram realizados os ensaios foi projetado e instalado com características similares às daquelas de ambientes reais de edifícios de escritórios. Este fato, aliado à participação de usuários no processo de avaliação das condições de conforto térmico, tornaram possível a definição de parâmetros para a elaboração de projetos bem como para o estabelecimento de um modo eficaz de operação do sistema.

O processo de avaliação das condições de conforto térmico no ambiente envolveu três etapas. Inicialmente, foram feitas medições das variáveis de conforto térmico no ambiente e de variáveis do sistema utilizando simuladores. Posteriormente, foi realizada a avaliação subjetiva do conforto térmico, com a substituição dos simuladores por pessoas no ambiente (usuários), nas mesmas condições da etapa anterior. Finalmente, foram feitas as medições das variáveis de conforto nas zonas de ocupação – micro climas – na condição de condicionamento individualizado, promovido por ajustes de vazão de ar e direcionamento do fluxo pelos usuários.

Os resultados da avaliação permitem concluir que o sistema de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso atende às expectativas para promover conforto térmico aos usuários de edifícios de escritórios com potencial de conservação de energia.

ABSTRACT

Since the introduction of the landscape office concept, the layout type and the internal loads distribution have changed significantly, requesting larger flexibility in the buildings. Besides, building performance evaluation applied to contemporary office buildings has shown that for most such buildings thermal comfort and air quality users level satisfaction is low. These facts are indicating that project concepts, operation and use of air conditioning systems need to be changed. In order to solve these problems, underfloor air supply is becoming a common practice also in Brazil. This system with floor and workstation diffusers allows flexibility and an individualized airflow control.

In this work the evaluation of the underfloor air conditioning system was carried out in a laboratory facility with controlled conditions. The laboratory was designed and built up with similar characteristics to those of actual office buildings environments. This fact and the participation of users in the process of thermal comfort evaluation, made possible the definition of design parameters as well as the establishment of the system operation conditions in an effective way.

The evaluation of the environment thermal comfort conditions was accomplished in three stages. Initially, measurements of thermal comfort and system variables were made using simulators. Later, in the same conditions of the previous stage, users (a sample of people) have evaluated, in a subjective way, the environment thermal comfort. Finally, measurements of the comfort variables were accomplished in the occupation areas - microclimates - in the condition of individualized conditioning, promoted by air flow adjustments and flow direction by the users.

The results of the evaluation allow to conclude that the underfloor air conditioning system satisfies to the expectations to promote thermal comfort to the office building users with potential of energy conservation.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Os edifícios de escritórios, um dos setores mais dinâmicos da indústria da construção civil, são bastante representativos nas mudanças dos cenários urbanos como consequência da globalização econômica. No Brasil, a cidade de São Paulo pode ser citada como o maior exemplo do conglomerado deste tipo de edificação com uma considerável área útil para escritórios, com cerca de 7.600.000 m² até o final da última década (CB – Richard Ellis, 1999). No centro da cidade há um grande contingente de edifícios antigos, mas até 1995 a taxa de vacância era da ordem de 11%, com espaço útil de cerca de 1,8 milhões de m², dos quais, apenas 23% contavam com ar condicionado central (Richard Ellis, 1995). Atualmente, o maior crescimento deste setor ocorre na região da marginal do rio Pinheiros, com um aumento anual de áreas para escritórios de 150.000 m² aproximadamente (Exame, 2001).

Nos edifícios de escritórios trabalham cerca de 2/3 dos empregados do setor terciário, que passam grande parte de seu tempo sujeitos a implicações relativas ao conforto e produtividade; essas implicações repercutem diretamente no consumo de energia elétrica porque estão relacionadas, principalmente, com os sistemas de ar condicionado instalados.

Pesquisas internacionais e brasileiras sobre ambientes de trabalho têm demonstrado que o conforto térmico está entre os mais importantes atributos de um escritório, mas, que este conforto não está sendo bem promovido (Harris, 1980; Hartkopf et al., 1985; Schiller, 1988; Hedge, 1992; Leite, 1997; Ornstein et al., 1999) e que um grande percentual do consumo de energia elétrica é devido aos edifícios comerciais, sendo a maior parte (de 40% a 60%) para promover conforto.

Estes elevados valores devem-se, entre outros fatores, às características arquitetônicas dos edifícios, que requerem grande capacidade de refrigeração. No entanto, nota-se que já há, por parte dos arquitetos, uma preocupação com as questões de sustentabilidade na concepção dos seus projetos (Daniels, 2002), onde são considerados aspectos determinantes tanto no consumo final de energia nos edifícios quanto na

qualidade do ambiente interno. Por exemplo, a utilização dos recursos naturais como vento, energia solar, temperatura da terra para aquecimento e resfriamento, energia da água e vegetação, são elementos previstos para serem incorporados aos projetos. Há, portanto, uma tendência de inclusão de meios naturais para climatização dos ambientes internos. Entretanto, para proporcionar condições térmicas aceitáveis, a utilização desses recursos isoladamente pode ser limitada, tendo em vista que fatores externos indesejáveis ou inadequados podem existir em determinados locais. Por exemplo, em São Paulo, as zonas urbanas onde se localiza a maioria dos edifícios de escritórios são locais com elevada poluição do ar e sonora (área central da cidade ou próximo à marginal do rio Pinheiros); neste caso, a ventilação natural é um recurso quase impraticável. Sendo assim, a climatização artificial, mesmo que seja apenas pela ventilação mecânica, quando as condições térmicas externas são favoráveis, é necessária.

O conceito mais praticado para o projeto de sistemas de condicionamento de ar para edifícios de escritórios contempla o suprimento de ar condicionado através de redes de dutos com difusores uniformemente distribuídos no teto. Uma estratégia de controle centralizado é usada para controlar a temperatura e/ou o volume de ar fornecido ao ambiente para manter uma distribuição de temperatura uniforme no espaço, devendo esta permanecer relativamente constante durante todo o tempo de ocupação. Este conceito prevê uma mistura completa de ar insuflado com o ar do ambiente, mantendo todo o volume a uma temperatura desejada, assegurando a taxa mínima de renovação do ar. Na prática, o sistema convencional é operado para manter as condições do ambiente interno de acordo com os padrões especificados pela norma NBR – 6401/1980 (ABNT,1980).

Os padrões de conforto adotados até o momento são os constantes da ASHRAE Standard 55a-1995 (ASHRAE,1995), que especifica uma *zona de conforto* definida por uma faixa e combinação ótima de fatores físicos (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade e umidade do ar) e fatores pessoais (tipo de vestimenta e nível de atividade), com os quais, pelo menos 80% dos ocupantes expressem satisfação (ISO 7730, 1994). Entretanto, satisfações ou insatisfações individuais podem ocorrer quando existem condições térmicas distintas no espaço (por exemplo, estratificação, correntes de ar, assimetria da temperatura radiante plana) e esses aspectos normalmente não são levados em conta na avaliação da satisfação do usuário. Isto pode ser observado em resultados de pesquisas, como de Schiller et al. (1988), realizadas em campo, onde, em edifícios

mantidos dentro da *zona de conforto*, foi identificado que um mínimo de 40% de funcionários de escritórios preferiam sentir mais frios ou mais quentes os seus ambientes de trabalho. Em outros estudos realizados na Europa (Croome e Rollason, 1988; Harris, 1980), no Japão e Estados Unidos (Hartkopf et al., 1993) e também no Brasil (Leite, 1997; Ornstein et al., 1999) foi também constatada esta situação, sendo ela uma das principais reclamações em ambientes de escritórios. Esses resultados sugerem, inclusive, que é fisiológica e psicologicamente importante para os ocupantes perceberem alguma movimentação do ar no seu ambiente de trabalho, uma vez que eles acusam problemas com estagnação do ar (ar parado).

Desde a introdução do conceito de escritório aberto (*landscape office*), pela primeira vez na Europa, na década de 1950, o tipo de ocupação (*lay out*) tem evoluído rapidamente (Vischer, 1989) de acordo com as mudanças na dinâmica do trabalho; isto tem gerado sérios conflitos entre as propostas de ocupação (flexível) e de distribuição de ar condicionado por difusores no teto (fixa) (Leite, 1997). Os dois conceitos se contrapõem tendo em vista a divergência de suas características (dinâmico x estático). Além disso, outros fatores como a variação e aumento de carga térmica devido ao incremento e/ou mudanças de equipamentos de trabalho (computadores, impressoras, luminárias de tarefa) comprometem substancialmente o desempenho do sistema instalado, uma vez que são dissipadores de calor localizados e flexíveis quanto à mudança de local e o sistema é dimensionado para cargas estimadas fixas e uniformes.

Todos esses fatores indicam que os edifícios de escritórios abertos têm necessidades especiais para o condicionamento do ambiente, devendo, com isso, haver uma revisão de conceitos.

Uma vez que as preferências individuais para condições térmicas variam de hora para hora, de dia para dia e de pessoa para pessoa, promover conforto ótimo para esta população heterogênea não é simples; além disto, as rápidas mudanças no modo de trabalho dos funcionários de escritórios, com o acréscimo de equipamentos pessoais, os dissipadores de calor passaram a ser mais localizados dentro do ambiente, criando zonas térmicas diferentes dentro de um mesmo pavimento.

Para solucionar este problema, a estratégia convencional de condicionamento do ambiente de maneira uniformizada pode não ser a solução mais apropriada. Uma nova

tecnologia, *condicionamento de tarefa* ou *condicionamento individualizado*, com distribuição do ar pelo piso (plenum), tem sido desenvolvida para atender a essas preocupações. Trata-se de um sistema onde o ar condicionado para conforto é fornecido diretamente à estação de trabalho, criando-se um micro clima, onde é permitido ao usuário controlar o fluxo de ar (vazão e direção) de tal forma a ser conseguida a condição de conforto preferida, com economia de energia elétrica (Heinemeier et al., 1990). Da mesma maneira que o sistema de iluminação de tarefa, o sistema de condicionamento de tarefa permite que o condicionamento do ar no ambiente seja reduzido em áreas não críticas, mantendo um condicionamento geral mínimo necessário no ambiente e, por meio de difusores controlados individualmente, pode ser realizado o condicionamento pontual (local) somente quando e onde for necessário para manter o conforto do usuário.

Em contraste com o sistema convencional centralizado, no qual uma grande área do pavimento tipo do edifício é controlada por um único termostato, o conceito do sistema individualizado visa uma solução mais otimizada, promovendo uma coleção de pequenas zonas (estações de trabalho), cada uma sob o controle de um termostato “humano” calibrado.

Como se trata de uma tecnologia ainda pouco usual, o condicionamento individualizado está ainda em estágio de desenvolvimento. Existem poucas informações disponíveis sobre como as pessoas usam esse sistema, os efeitos interativos entre as estações de trabalho ou como as condições dos espaços são afetadas numa micro escala. Contudo, já começam a surgir resultados de pesquisas feitas para documentar as preferências térmicas individuais e o seu real desempenho frente a essas situações.

A necessidade de condicionamento controlado individualmente e localizado foi sugerida inicialmente por: Kaplan (1987), Fallucchi (1988), Givoni (1988), Kaplan (1989) e por Hartkopf e Loftness, (1993). Nota-se pelas datas das publicações que o conceito não é tão novo. Além disso, pelas ações dos usuários no ambiente, como, por exemplo, uso de ventiladores comuns na estação de trabalho, abertura de janelas no escritório ou até mesmo obstrução dos difusores (Leite, 1997), fica evidente o desejo do usuário de controlar as condições do seu próprio espaço.

Embora esta necessidade seja observada, ela só se torna viável com a utilização de um sistema de distribuição de ar pelo piso que, pelas suas características de flexibilidade e

o modo de operação, parece ser o mais adequado. Trata-se de um sistema que fornece ar resfriado “de baixo para cima”, proveniente de um plenum, que é o espaço livre entre dois níveis de piso (laje e piso elevado) de pequena altura (cerca de 30 cm). Tem como principais características as seguintes: promove a troca de calor com o ambiente mais rapidamente, pode climatizar apenas o volume de ar do espaço efetivamente ocupado, opera com temperaturas do ar mais altas do que as adotadas nos sistemas convencionais com insuflamento pelo teto e permite mudanças de localização dos pontos de captação de ar no piso pela ausência de dutos, promovendo flexibilidade.

1.1 Objetivos

Neste trabalho pretende-se avaliar o potencial da aplicação de um sistema de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso a edifícios de escritórios no Brasil visando solucionar problemas de conforto térmico e consumo de energia. A pesquisa proposta toma como base outras já realizadas, principalmente por Sodec e Craig (1990) e Mc Carry (1995), que utilizaram, em laboratório, um sistema de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso, com plenum pressurizado. Na presente pesquisa um sistema similar é utilizado, com a inclusão da possibilidade de controle individual do fluxo de ar nos postos de trabalho para conforto pessoal; o que se configura em um avanço na identificação das preferências térmicas individuais e na melhoria no uso do sistema.

O desenvolvimento deste trabalho tem como objetivos:

A. a determinação dos parâmetros de conforto

- A.1. com condicionamento geral, usando simuladores no lugar de pessoas, com dissipação de calor equivalente à de uma pessoa em atividade de escritórios, para avaliação quantitativa das condições térmicas do ambiente;**
- A.2. com condicionamento geral, com a participação das pessoas, para avaliação subjetiva das condições anteriores;**
- A.3. com condicionamento geral e individualizado, com a participação de pessoas, para a avaliação quantitativa das condições preferidas pelos participantes.**

- B. a determinação de parâmetros de projeto, baseados nas características de uso e operação do sistema para atender às condições de conforto definidas pelos parâmetros determinados anteriormente.**
- C. a verificação do potencial de redução do consumo de energia com a aplicação de estratégias para a operação do sistema, sem prejuízo do conforto.**

Estes objetivos foram atingidos através de procedimentos experimentais, que envolvem dados quantitativos e qualitativos, obtidos por meio de medições das variáveis de conforto térmico no ambiente, do levantamento do nível de satisfação das pessoas com o ambiente térmico ao qual estão submetidas e da caracterização dos micro climas criados pelas pessoas de acordo com as suas preferências, baseados em medições locais.

Para a avaliação, foram criados ambientes com condições térmicas estáveis em um laboratório de características físicas correspondentes às reais de um edifício de escritórios no Brasil.

É importante salientar que esta pesquisa se compara a outras similares, em andamento paralelamente a esta nos países desenvolvidos, como por exemplo, as da Dinamarca (Kaczmarczyk, 2002; Toftum, 2002), sob a coordenação do Prof. Fanger. Contudo, se diferencia daquelas pelo agrupamento das questões em um único tema, pelos recursos disponíveis, pela importância dada às reais necessidades locais¹, que motivaram o seu desenvolvimento e pelo uso de procedimentos e métodos criados especialmente para esta pesquisa.

1.2 Desenvolvimento da tese

A apresentação deste trabalho de tese segue a ordem da sequência de realização da pesquisa. Inicialmente, é apresentada uma revisão da bibliografia específica do tema, incluindo alguns comentários a respeito das principais características do sistema e uma visão crítica de sua aplicação.

¹ Leite, Brenda C. C. *Análise do Desempenho de Edifícios de Escritórios Automatizados através da Avaliação Pós-Ocupação*. Dissertação de mestrado concluída junto à FAU/USP, em 1997, sob a orientação da Profª. Sheila W. Ornstein, com o apoio da FAPESP.

A seguir, é feita uma descrição detalhada do sistema de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso, contemplando seus principais componentes e as condições de funcionamento.

No capítulo seguinte são apresentados os principais conceitos relativos ao conforto térmico, com ênfase na equação de conforto de Fanger (1972), a qual relaciona fatores pessoais e ambientais para determinar situações de conforto.

Na sequência, é apresentado o método de avaliação de ambientes térmicos, desenvolvido por Fanger, que associa índices de desconforto térmico às sensações expressas pelas pessoas.

Os capítulos seguintes, isto é, capítulos 5 ao 10, tratam exclusivamente da parte experimental da pesquisa. No primeiro capítulo da sequência é feita uma descrição minuciosa do laboratório instalado para o experimento. Seus componentes: câmara de testes, unidade de condicionamento de ar, sistema de automação e controle e sistemas de aquisição de dados são detalhados separadamente, com ênfase nas condições de funcionamento e nas características dos elementos.

A seguir, no capítulo 6, é apresentado o método utilizado para o trabalho de avaliação com a descrição detalhada de cada etapa da parte experimental. As etapas são em número de três, sendo, a primeira, uma avaliação quantitativa (medições das variáveis de conforto), a segunda, qualitativa (com a inclusão de usuários) e a terceira, quali/quantitativa (usuários e medições das variáveis de conforto individualizado).

No capítulo 7 se encontram os resultados da primeira etapa, com a análise dos ambientes térmicos resultantes, nas condições de ensaios. O capítulo 8 se refere à análise qualitativa das condições de conforto térmico no ambiente, baseada nos resultados da avaliação das pessoas. No capítulo 9 são apresentados os resultados da análise dos ambientes térmicos resultantes de micro climas, determinados individualmente pelas pessoas de acordo com suas preferências (conforto térmico personalizado).

O capítulo 10 se refere à verificação do potencial de economia de energia com a aplicação do sistema de insuflamento pelo piso. São apresentadas algumas estimativas de redução no consumo, tanto pelas características de funcionamento do sistema quanto pela aplicação de estratégias de operação com este objetivo.

No capítulo 11 são apresentadas as principais conclusões da pesquisa, que comprovam a hipótese de que o sistema de condicionamento de ar pode atender aos requisitos de conforto em edifícios de escritórios e ainda apresentar um potencial de economia de energia. São também apresentados os parâmetros de conforto e de projeto, atendendo aos objetivos propostos. Adicionalmente, com uma visão crítica, é apresentada uma discussão sobre alguns aspectos do protótipo e de procedimentos metodológicos, com vistas à melhoria do sistema e do processo de avaliação. Ao final, são feitas propostas de trabalhos futuros, basicamente em três áreas: **técnica, avaliação e saúde**.

O último capítulo contempla a relação do material bibliográfico de referência.

Fazem parte também desta tese, anexos que contêm o modelo do questionário utilizado na pesquisa e os dados que consubstanciam as discussões.

1.3 Revisão da literatura

A distribuição de ar frio pelo piso foi originalmente introduzida na década de 1950 em espaços específicos com cargas térmicas altas e localizadas (CPDs, centros de controle, laboratórios) (Bauman, 1996). Para isto foram utilizados pisos elevados com a função não só de acomodação de cabos de energia, telefonia e transmissão de dados, como também para constituir um reservatório de ar frio a ser fornecido ao ambiente. Não havia, entretanto, a preocupação com o conforto térmico, embora já se tirasse partido da possibilidade de convecção natural para o ar de retorno pelo teto.

Na década de 1970, a distribuição de ar pelo piso foi introduzida em edifícios de escritórios na Alemanha como uma solução tanto para acomodação de cabeamento quanto para remoção de cargas localizadas devido aos equipamentos de escritórios (David, 1984; Sodec e Craig, 1990). Nesses edifícios, o conforto dos funcionários foi considerado, dando início ao desenvolvimento de dispositivos controláveis individualmente pelo usuário. Os primeiros sistemas de condicionamento ambiental individualizados usaram a combinação de difusores instalados na estação de trabalho, à altura do tronco de uma pessoa sentada, para controle do conforto pessoal e difusores no piso para condicionamento geral do ambiente (Sodec 1984; Barker et al., 1987).

Desde então, este tipo de sistema tem atraído a atenção de pesquisadores, principalmente nos Estados Unidos, Europa e Japão. Sistemas dessa natureza, construídos segundo estratégias mais convencionais, têm sido investigados sob o ponto de vista de:

zoneamento (definição de zonas com cargas térmicas diferenciadas), resfriamento através de ventilação, ventilação com equipamentos diretos, possibilidade de definição de situações de conforto pelo usuário, uso de sensores de presença com o intuito de economia de energia, estratificação da temperatura, aumento da eficiência de ventilação e armazenamento térmico. Dentre os diversos trabalhos, publicados até o final do século, destacam-se os seguintes: Spoormaker and McMillan (1984), Tuddenham (1986); Barker et al. (1987); Rowlinson e Croome (1987); Givoni (1988); Wyon (1988); Genter (1989); Arnold (1990); Hanzawa e Nagasawa (1990); Heinemeier et al. (1990); Spoormaker (1990); Sodec e Craig (1990); Bauman et al. (1992); Fisk et al. (1991); Sodec e Craig (1990); Tanaka (1991); Yokoyama e Inoue (1991); Hedge et al. (1992); Shute (1992); Bauman et al. (1993); Fountain (1993); Fountain et al. (1994); Arens et al. (1995); Bauman et al. (1995); Houghton (1995); Matsunawa et al. (1995); McCarry (1995); Shute (1995); Zhu et al. (1995); Tanabe (1995); Bauman e Akimoto (1996); Leite e Tribess (2000).

Estes trabalhos são resultados de pesquisas de campo, de laboratório (câmaras climatizadas), pesquisas com usuários, onde são apresentados indicadores de desempenho do sistema ou partes do sistema, com enfoque principalmente no conforto e aspectos de seu funcionamento. Alguns autores apresentam métodos de projeto, características de desempenho energético, características de operação e problemas com o uso do sistema em edifícios.

Mesmo com estes esforços de pesquisa, o emprego desta tecnologia ainda era limitado até o final da década de 1990. Até aquela época, a maioria dos edifícios dotados de sistemas de insuflamento pelo piso, principalmente para condicionamento geral, se encontrava na África do Sul, seguido dos Estados Unidos, Japão, Alemanha, Suécia e Itália (Heinemeier, 1990). Bauman (1996) justifica o número reduzido de aplicações nos Estados Unidos, naquela época, pela baixa produção de edifícios na década de 1980. Tal situação não ocorreu no Japão, onde, até 1995, foram identificados 90 edifícios que adotaram este sistema (Tanabe, 1995). Embora dados mais recentes não sejam conhecidos, nota-se pelas pesquisas mais atuais que, em edifícios de escritórios e até mesmo em auditórios e restaurantes, a aplicação deste tipo de sistema tem sido usada em larga escala. No Brasil, esta tecnologia também começa a ser aplicada para conforto, tanto em edifícios novos quanto em “retrofits”. Por exemplo, podem ser citados os edifícios: Spazio JK, GM,

Serasa, Gazeta Mercantil e Votorantim – em São Paulo; Bemge - MG, o edifício da Unimed - RS e o edifício da Souza Cruz – RJ, sendo este último, um “retrofit”.

Esta baixa expressividade ainda se apresenta pelo fato desta tecnologia não ser bem conhecida pela falta de informações que consubstanciem o conceito, a tal ponto que justifique sua utilização em larga escala. Além disto, um outro aspecto também bastante relevante para a sua pouca aplicabilidade, é a hesitação do empreendedor diante das incertezas quanto ao custo de sua instalação. Entretanto, a maioria dos pesquisadores é unânime ao afirmar que este custo é menor, ou no máximo, igual ao do sistema convencional (na Europa é 10% inferior ao do sistema convencional (Sodec, 1990)) e que seu custo x benefício é superior ao do outro sistema, justificando, portanto, sua utilização (GSA, 1992; Blaevoet, 1995).

Mesmo que essas questões ainda precisem ser mais bem definidas, Bauman et al. (1996) apontam vários benefícios promovidos pelo sistema de condicionamento individualizado com insuflamento pelo piso: maior conforto térmico para os ocupantes; maior movimentação de ar e ventilação efetiva; ambiente mais limpo; flexibilidade; maior possibilidade de remoção de altas cargas térmicas; uso reduzido de energia; baixo custo inicial e maior satisfação do usuário e potencial aumento de produtividade. Mas, ao mesmo tempo, apontam também algumas limitações: tecnologia nova e pouco conhecida; custos altos aparentes; limitada aplicabilidade em “retrofits”; falta de informações e diretrizes de projeto; potencial para alto consumo de energia se mal projetado; limitada disponibilidade de produtos componentes do sistema; falta de método padronizado para avaliação de desempenho deste tipo de sistema; problemas com desconforto nos pés (frio) e com correntes de ar quando o sistema é mal projetado e problemas com sujeira, condensação e desumidificação no plenum.

Entretanto, pelas características da arquitetura típica do sistema, algumas dessas limitações podem não se justificar. Por exemplo, como a grande maioria dos edifícios antigos não foi projetada para conter ar condicionado central, a instalação de sistemas convencionais, com insuflamento pelo teto torna-se extremamente difícil, ou até mesmo inviável, principalmente porque a altura livre entre o piso e o teto, geralmente é limitada pelas vigas estruturais. Ao contrário do que se aponta, a aplicabilidade do sistema com insuflamento pelo piso a “retrofits” parece ser adequada, pois o sistema, por não contar com dutos de distribuição de ar, não requer espaço entre a laje superior e o forro e o espaço

destinado ao suprimento de ar (entre a laje de piso e um piso elevado) será, provavelmente, menor que o necessário para dutos para insuflamento pelo teto.

Quanto à limitada disponibilidade de produtos componentes do sistema, apenas o dispositivo de controle individual (difusor de mesa) não é muito conhecido ou comercializado; entretanto, existem sistemas desta natureza no mercado, mas são pouco divulgados, de custo alto e não se integram esteticamente ao mobiliário. Para os demais componentes, não se justifica esta restrição, pois não diferem muito dos sistemas tradicionais.

No que se refere aos custos altos aparentes, isto se deve à inclusão de pisos elevados como condição para instalação do sistema. Atualmente, este fato não deve ser considerado como adicional ao custo porque a maioria dos edifícios de escritórios construídos nos últimos dez anos incluem este tipo de recurso para cabeamento de eletricidade, voz e dados. Vale a pena ressaltar que, mesmo com pisos elevados, a maioria desses edifícios possui sistemas de ar condicionado com insuflamento pelo teto, com grande perda de espaço.

Quanto à sujeira no plenum, a sua remoção parece ser bastante simples e de fácil execução, contanto que o piso elevado ofereça condições de abertura e fechamento de vãos para o trabalho com aspirador de pó, sem implicar em prejuízo de tempo e mão de obra.

Quanto ao consumo de energia, as próprias características do sistema já apresentam indícios de que este somente será elevado se o sistema for mal projetado. Por exemplo, estima-se que o volume de ar a ser resfriado (condicionamento previsto até à altura de aproximadamente dois metros) seja menor que o previsto para o sistema convencional. Além disto, pela sua flexibilidade e características de operação, é um tipo de sistema que pode admitir algumas intervenções com vistas à economia de energia, como, por exemplo, um maior aproveitamento do ar externo em determinadas épocas do ano.

Quanto às demais limitações apontadas, a solução depende de estudos, cujos resultados, representados por parâmetros de projeto e de conforto, servem como referência para projetistas, instaladores, operadores e usuários do sistema.

Para esclarecer os pontos ainda obscuros, vários grupos de pesquisadores, a maioria internacional, têm se empenhado na busca de respostas por meio de pesquisas em laboratórios (experimentação e simulação) e campo.

Dentre os trabalhos mais recentes, podem ser destacados: Toftum; Zhou; Yang; Cermak; Clarke; Pitchurov; Naydenov; Jacobsen; Madsen; Zeng; Kaczemarczyk (2002), que apresentam resultados de pesquisas conjuntas, inclusive com enfoques mais atuais e urgentes, como, por exemplo, a qualidade do ar interno, a adequação de parâmetros de conforto térmico às preferências individuais e locais e desempenho dos sistemas de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso (Bielli, 2002; Leite e Tribess, 2001; Leite e Tribess, 2002 a, b). Trata-se também de pesquisas experimentais em laboratórios e de modelagem matemática, com adição de recursos de realidade virtual aos softwares de simulação.

Os resultados da maioria das pesquisas relacionadas acima, dentre outras, também recentes, têm sido utilizados por normas como subsídio para a atualização dos índices de conforto. Como exemplo, podem ser citadas: a americana *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. – ASHRAE*, da europeia *International Standards Organization - ISO* e da japonesa *The Society of Heating, Air Conditioning & Sanitary Engineers of Japan – SHASE*. Os parâmetros de conforto, adotados mundialmente como referência, têm sido revistos, visando à adequação à diversidade climática, às reais necessidades locais, às condições sócio culturais e, principalmente, às diferenças individuais de percepção do conforto. Neste sentido, somam-se aos esforços das pesquisas, que incluem não só os recursos computacionais de simulação como também a participação das pessoas nos processos de avaliação, a sistematização de procedimentos de projeto e a divulgação nos meios científicos e institucionais, por associações internacionais, como, por exemplo, a *Federation of European Heating and Air-conditioning Associations – REHVA*.

Como exemplo de esforço no sentido da evolução dos conceitos de aplicação de sistemas para conforto térmico, Levy (2002), apresenta resultados de uma pesquisa relacionada com o conforto térmico personalizado, onde existe a possibilidade de controle individual das condições ambientais, por meio de dispositivos de ajustes do fluxo de ar. O autor afirma que é possível se conseguir condições térmicas diferenciadas que atendam às exigências individuais, em uma área ocupada por diversas pessoas, apenas com variações locais de velocidade do ar a uma mesma temperatura.

A questão da individualidade, no entanto, não é focalizada exclusivamente para conforto térmico onde se requer o resfriamento do ambiente, que é o caso mais comum no Brasil. Em países onde as condições climáticas são severas com relação ao frio, há também

uma preocupação com o aquecimento individualizado (Gaspar et al., 2002), com pesquisas realizadas que geraram propostas de dispositivos pessoais para o controle da temperatura, baseados em painéis radiantes, instalados nas estações de trabalho. Essas propostas também enfatizam a satisfação pessoal com o ambiente térmico e a redução no consumo de energia.

Embora a maioria das pesquisas hoje em desenvolvimento ou recentemente concluídas se baseiem em simulações ou experimentações em laboratórios com manequins aquecidos, é de consenso geral que a introdução das pessoas no processo de avaliação é fundamental, pois somente através de suas manifestações é possível se determinar parâmetros adequados para a elaboração de projetos de sistemas de climatização. É com esta visão que as pesquisas têm sido desenvolvidas, inclusive com a preocupação com os aspectos relativos à saúde, tanto no que tange ao conforto térmico quanto na qualidade do ar interno, que são os principais problemas dos edifícios denominados “doentes”. Inúmeros centros de pesquisa têm norteado os seus trabalhos tendo como principal objetivo a solução destes problemas, podendo ser citado como um dos principais, o *International Centre for Indoor Environment and Energy, Technical University of Denmark (DTU)*, em Lyngby, na Dinamarca, sob a coordenação do Prof. P. O. Fanger. Nessas pesquisas, são verificados os principais fatores intervenientes no conforto térmico e as possibilidades de otimização dos sistemas com vistas à melhoria da qualidade dos ambientes e ao menor consumo de energia. São utilizados recursos computacionais, laboratoriais e humanos nos processos de investigação. Por exemplo, Kaczmarczyk et al. (2002), afirmam que pessoas em um ambiente fechado se sentem confortáveis quando a temperatura do ar é ligeiramente inferior à ideal para seu conforto, sob a condição de receberem, diretamente na sua zona de respiração, 100% de ar externo (denominado “ar fresco”) e poderem ajustar as vazões e direções do fluxo de ar.

Sob o ponto de vista de economia de energia, Zeng et al. (2002) afirmam que é possível se conseguir condições de conforto térmico em um ambiente interno mesmo com temperaturas mais elevadas (por exemplo, a 28°C) desde que as pessoas possam ajustar a velocidade do ar individualmente; nesta condição ainda, há maiores chances de percepção da qualidade do ar e ela representa um ganho no consumo de energia, sendo uma estratégia bastante vantajosa.

Tendo em vista o exposto, acredita-se que não só as limitações, como também as vantagens apontadas, necessitam ser mais amplamente verificadas por meio de pesquisas, principalmente no Brasil, onde o clima, os costumes e a economia são diferentes daqueles onde têm sido desenvolvidos os estudos. Essas pesquisas podem gerar resultados que venham a suprir a carência das informações referidas anteriormente para que o objetivo de adequação e otimização do sistema de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso seja atingido e este sistema possa ser efetivamente implantado também nos edifícios brasileiros.

Capítulo 2

SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR COM INSUFLAMENTO PELO PISO

Os sistemas de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso são compostos basicamente por uma câmara de ar frio (plenum), formada pelo vão entre um piso elevado (modular ou monolítico) e a laje de concreto do pavimento, suprida por uma unidade primária de resfriamento do ar (geralmente *chiller* e *fan coil*) e unidades terminais (difusores) que distribuem o ar nos ambientes.

Os sistemas variam entre si principalmente quanto à pressão de ar no plenum em relação ao ambiente, ao modo de insuflamento de ar frio pela unidade primária, ao grau de centralização de equipamentos, ao método de controle do sistema e à localização e natureza dos equipamentos terminais. Primariamente, os sistemas são dependentes do valor da pressão adotada no plenum. Quanto a este quesito, os sistemas se dividem em três tipos (Fig. 2.1):

- **Sistema com pressão negativa** (pressão instantânea no plenum inferior à do ambiente) ou “**pressão zero**” (quando não há solicitação de vazões de ar no ambiente, não há diferencial de pressão).
 - **Sistema com pressão positiva** (pressão no plenum superior à do ambiente).
 - **Sistema conectado diretamente** (ou dutado), que é semelhante ao convencional (com insuflamento pelo teto), onde os difusores são instalados nas pontas dos dutos. Não é muito usual devido às limitações de altura do piso elevado, tanto no que se refere às dimensões dos dutos quanto às dificuldades de instalação juntamente com cabeamentos.
- a) O ambiente é dividido por zonas de acordo com a concentração e tipos de cargas: zonas perimetrais (próximas às envoltórias), zonas interiores com alta densidade ocupacional (estações de trabalho) e zonas interiores com baixas cargas (corredores e áreas de uso comum).

Figura 2.1 – Tipos de sistemas com insuflamento pelo piso elevado.

O sistema dutado não é muito utilizado, pois limita a flexibilidade na mudança de *lay-out*, uma das características mais importantes do sistema de insuflamento pelo piso. Os sistemas de pressão positiva e de pressão negativa possuem em comum as seguintes características:

- b) O ar de suprimento misturado com um volume de ar externo é filtrado, condicionado (a uma determinada temperatura e umidade) e fornecido ao plenum, por uma unidade convencional de condicionamento de ar (unidade primária), através de uma quantidade mínima de dutos.
- c) O plenum é formado pela instalação de um sistema de piso elevado monolítico ou composto por placas modulares e removíveis, posicionadas a uma altura de cerca de 0,30m, ou menos, acima da laje estrutural.
- d) Podem operar com fornecimento de ar frio por um sistema central ou compartimentado (unidades primárias) com vazão de ar constante ou variável, determinando a pressão no plenum. As unidades primárias têm suas plantas configuradas à semelhança dos sistemas convencionais.
- e) O ar frio é introduzido no ambiente através de difusores (controláveis manualmente pelo usuário ou por termostatos) localizados no piso ou no mobiliário das estações de trabalho, sendo que, no caso de plenum com pressão negativa, os difusores são acoplados a pequenos ventiladores instalados nas placas do piso elevado, que “sugam” o ar do plenum para o ambiente (fig. 2.2).

Nas *zonas perimetrais* geralmente são instaladas caixas com reguladores de vazão de ar e ventilador com difusor acoplado a um duto flexível, controlados por termostatos, para responder pelas cargas térmicas originadas principalmente pela radiação solar.

Figura 2.2 – Ambiente com ar condicionado insuflado pelo piso (esquemático)
(Matsunawa et al. (1995), p. 891)

Nas *zonas interiores* com alta ocupação, também denominadas *zonas de ocupação*, há duas possibilidades de suprimento de ar: com difusores instalados no piso, próximo à estação de trabalho ou instalados no mobiliário, com saída de ar à altura da região de respiração da pessoa sentada; em ambos os casos, o usuário pode controlar a direção e a vazão do ar fornecido ao ambiente, de acordo com a sua preferência.

Em *zonas interiores* com baixa ocupação (*zonas de circulação*) são instalados difusores no piso (com ou sem ventiladores, dependendo do tipo de sistema) controlados por termostatos.

- f) O retorno do ar é feito naturalmente na direção piso-teto, tirando-se partido da propriedade de ascensão natural do ar quente (convecção natural), com a ajuda de exaustão mecânica. O ar de retorno passa através de luminárias, grelhas ou placas de forro perfuradas e entra no plenum superior formado pelo forro e a laje. O volume de ar de retorno, a menos do percentual expurgado, pode voltar inteiramente à unidade primária e ser, depois de filtrado e resfriado, fornecido novamente ao plenum do piso, como também pode ser dividido de tal forma que, parte se direciona à unidade condicionadora e parte retorna diretamente a uma caixa de mistura através de um “*shaft*” de indução, para ser misturado ao ar primário oriundo daquela unidade.
- g) Os valores indicados para as pressões no plenum são: de zero a cinco (Pa) menor que a pressão do ambiente (valores instantâneos quando há solicitação de vazões de

ar para o ambiente), para o caso do tipo *pressão negativa* e de 7,5 a 20 (Pa) maior que a pressão do ambiente, para o caso do tipo *pressão positiva* (Sodec e Craig, 1990). Neste último caso, a necessidade de instalação de ventiladores adicionais para fornecimento de ar ao ambiente é eliminada, já que este diferencial de pressão (promovido pelo ventilador do sistema *fan-coil*) é suficiente para forçar a passagem do ar do plenum para os espaços condicionados.

2.1 Componentes e características do sistema de insuflamento de ar pelo piso

O sistema é constituído pelos seguintes componentes básicos:

- a) Unidade primária para o resfriamento do ar;
- b) Sistema de controle;
- c) Plenum para o insuflamento de ar resfriado (insuflamento pelo piso);
- d) Ambiente (área de ocupação e retorno de ar quente);

a) Unidade primária

A unidade primária é composta por equipamentos de expansão direta ou indireta (dependendo da capacidade de refrigeração necessária). Para o caso específico de edifícios de grande porte, o mais adequado é o sistema com *chiller* e *fan coil*.

A capacidade dos equipamentos pode ser determinada com base nos critérios de dimensionamento para sistemas convencionais de insuflamento pelo teto. Algumas características, no entanto, devem ser alteradas, com a adição de alguns itens, para que sejam garantidas condições adequadas ao funcionamento do sistema, quais sejam:

- Duto para o retorno de um percentual de ar quente diretamente ao plenum, passando por uma caixa de mistura com o ar frio proveniente do *fan coil*;
- Caixa de mistura do ar de retorno não resfriado com o ar que passa pela serpentina;
- Filtro adicional no duto de retorno do ar diretamente ao plenum, para que sejam evitadas contaminações;

- Variador de frequência do ventilador do *fan coil* para adequar a vazão mantendo constante a pressão no plenum.

b) Sistema de controle aplicado à produção e distribuição de ar resfriado

O sistema deve ter controles automatizados nos moldes do sistema convencional, adicionado de alguns pontos de controle específicos, quais sejam:

- Temperatura do ar na saída do *fan coil*, para atuar na válvula de controle de vazão de água gelada na serpentina no controle da umidade no ambiente.
- Temperatura do ar na saída da caixa de mistura, para atuar sobre os *dampers* do ar de retorno no controle da temperatura no ambiente.
- Pressão no plenum, para atuar na frequência do ventilador da serpentina (*fan coil*) no controle da vazão de ar no ambiente.

Além dos controles relacionados acima, podem ainda ser monitorados os itens:

- Velocidade do ar na entrada do ar externo e saída do ar expurgado, para manter os percentuais da vazão de ar externo e expurgado equilibrados.
- Umidade do ar na saída da caixa de mistura, para manter constante a umidade do ar insuflado no ambiente.

c) Plenum

O plenum é uma câmara de ar frio pressurizado ou com pressão zero (pressão negativa instantânea), formado por um sistema de piso elevado instalado sobre a laje inferior (Figs. 2.3 e 2.4).

d) Ambiente condicionado.

Nos ambientes são instalados difusores de piso e/ou de mesa nas estações de trabalho, difusores de piso nas áreas de circulação e difusores de piso na zona periférica, podendo ser de 150mm ou 200 mm de diâmetro nas duas primeiras situações e grelhas retangulares na última.

O forro deve conter aberturas suficientes para o retorno do ar através de um plenum superior (perfurações nas placas de forro e/ou luminárias com retorno).

Figura 2.3 – Plenum – piso elevado

Figura 2.4 – Suportes para piso elevado

2.2 Condições de funcionamento

Segundo Sodec e Craig (1990), em edifícios de escritórios a carga térmica estimada nos espaços é: nas zonas periféricas, 50 a 70 W/m² e nas zonas internas, 30 a 50 W/m² de área de piso. Para remover esta carga térmica é necessária uma vazão de ar de suprimento da ordem de 5 a 7 l/s.m² nas zonas periféricas e 3 a 5 l/s.m² nas zonas internas. Sendo assim, a vazão requerida por pessoa, isto é, para 10 m² do espaço no pavimento, é de 50 a 70 l/s nas zonas periféricas e 30 a 50 l/s na zona interna.

Segundo resultados obtidos utilizando programa de simulação detalhada do comportamento térmico de edificações BLAST (Pedersen, 1993), para os edifícios e condições climáticas do Brasil os valores de carga térmica nas zonas periféricas são bem mais elevados devido à maior insolação. Acrescente-se que em ambientes de *telemarketing* as cargas térmicas nas zonas internas também assumem valores mais elevados. Estes resultados de carga térmica, com valores bem mais elevados, exigem também uma vazão de ar algo maior.

Para atender aos requisitos de retirada destas cargas térmicas, algumas condições no sistema devem ser observadas, tais como:

- A temperatura da água gelada na serpentina deve ser mantida em torno de 6°C a 7° C;
- A temperatura do ar primário insuflado na caixa de mistura deve estar na faixa de 10°C a 13° C;
- A temperatura do ar no plenum, que geralmente é uma mistura do ar insuflado com um percentual de ar de retorno, deve estar na faixa de 17 a 20° C para não provocar sensação de desconforto ao usuário.

Este ar, entrando no ambiente, na condição promovida pelos difusores instalados diretamente no piso (fluxo laminar ou turbulento, no caso de plenum com pressão positiva) ou acoplados a ventiladores individuais (no caso de plenum com pressão negativa) arrasta o calor na direção vertical para cima; chega ao forro para ser retornado, na faixa de temperatura de 27°C a 30° C.

Uma parte desse ar aquecido é expurgada e igual percentual de ar externo é introduzido no sistema. O restante do ar quente pode retornar integralmente à unidade de resfriamento ou se dividir em duas partes, cujos percentuais são determinados pelos *set points* estabelecidos para o sistema, indo uma para a unidade primária e outra para a caixa de mistura através de *shafts* de indução ou por pontos de *bypass* no plenum.

Devido ao fato do ar contido no plenum estar em contato direto com a laje, podem ser usadas estratégias de armazenamento térmico (resfriamento prévio da laje) para reduzir os picos de demanda de energia para resfriamento do ar e diminuição da capacidade do equipamento de produção de água gelada / ar frio.

Para atender aos requisitos de fluxo de ar no ambiente, dois diferentes tamanhos de difusores (geralmente circulares) são mais usados: 150 mm e 200 mm de diâmetro, sendo as vazões máximas para cada tipo, $\leq 12,5$ l/s para o menor e ≤ 40 l/s para o maior. Arnold (1990), em suas pesquisas de campo, concluiu que os difusores de menor diâmetro, por causarem correntes de ar menos intensas, parecem ser mais apropriados para uso nas proximidades dos postos de trabalho e que os de maior diâmetro poderiam ser usados em locais de ocupação transitória, mas que suas vazões não devem ser maiores que 34 l/s a

uma temperatura de suprimento de 18° C; entretanto, o autor destaca que estas conclusões são resultados puramente subjetivos.

Existem alguns tipos de difusores que diferem entre si basicamente pelas dimensões, pela forma, tamanho e disposição das aberturas ou das aletas e pelo grau de liberdade de controle das aberturas. Os tipos mais comuns são os de jato livre e os trançados; o primeiro tipo produz um jato direto enquanto o segundo apresenta um jato de efeito espiralado. No caso de difusores de piso, a velocidade de descarga do ar imediatamente acima do difusor (cerca de 10 a 20 cm, dependendo do tipo de jato) é em torno de 2 a 4 m/s, velocidade essa, mais alta do que a especificada por norma como admissível para ambientes ocupados. Sendo assim, é aconselhável que os difusores de diâmetro de 150 mm sejam instalados a uma distância mínima de 0,80 m a 1,00 m do usuário e os de 200 mm, de 1,00 m a 1,50 m (Sodec e Craig, 1990).

Quanto aos difusores de mesa, a direção do jato de ar é individualmente ajustável. Conseqüentemente, a velocidade do ar pode ficar sujeita ao controle direto dentro da área de trabalho o que, inclusive, tem um efeito psicologicamente positivo. Os difusores de mesa são dimensionados de tal forma que, ao nível da cabeça de pessoas sentadas, a velocidade do ar possa ser ajustada numa faixa de zero a 0,80 m/s. As Figuras 2.5, 2.6 e 2.7 exemplificam os difusores mais comumente usados nos dois tipos de insuflamento pelo piso.

Figura 2.5 –Difusor de piso – Skistad, et al. (2002), p. 37

Figura 2.6 – Placa contendo difusores acoplados a ventiladores utilizados no sistema com pressão negativa.(Bauman et al (1996), p.33 - Cortesia Tate Access Floors)

Figura 2.7 –Difusor para instalação no piso com sistema de pressão positiva.
(Bauman et al. (1996), p. 34 - Cortesia de Krantz)

Quanto à temperatura do ar no ambiente, suas características de distribuição são bastante diferentes daquelas apresentadas pelo sistema convencional com insuflamento pelo teto. No sistema convencional, a temperatura do ar no ambiente (no nível médio) é praticamente a mesma do ar de retorno e, no sistema com insuflamento pelo piso, a temperatura do ar no ambiente geralmente é um pouco inferior à do ar de retorno (neste caso, retorno significa o ar imediatamente antes de entrar nas luminárias ou no plenum do teto) num ciclo de resfriamento, formando uma camada de ar quente próxima ao forro, cuja

intensidade varia com a carga térmica no local. Se a temperatura do ar de retorno não passar de 28° C, a temperatura do ar no ambiente deverá ficar por volta de 25° C ou 26° C. O perfil de temperatura no ambiente se torna estratificado, embora a diferença de temperatura entre os níveis 0,10 m e 2,00 m do piso em direção ao teto não ultrapasse 3° C, na maioria dos casos avaliados por pesquisadores da área (Skistad, et al., 2002).

Num sistema com o plenum pressurizado, uma área de até 300 m² pode ser facilmente atendida com apenas um duto de descarga livre de ar de suprimento, sendo que o plenum deve ter uma altura de 300 mm. Se a velocidade do ar de descarga não for maior do que 2,5 m/s, a distribuição do ar do plenum para os difusores será relativamente uniforme. (Shute, 1992, 1995).

Considerando 300 m² como limite de área para cada zona controlada, o pavimento pode ser seccionado em várias zonas por meio de elementos separadores. No caso de plenum pressurizado, essas zonas não necessitam ser totalmente estanques se a pressão estática não for superior a 20 Pa; a perda de vazão de uma zona para outra não passa de 0,7% (Sodec, 1990). Entretanto, perdas pelas frestas das placas do piso elevado podem ocorrer; se o plenum é pressurizado (perda de aproximadamente 5% do volume de suprimento se não houver revestimento de carpete (Arnold, 1990)). Este fato não se torna um problema, uma vez que o ambiente poderá contar com aquele volume de ar “perdido”; por outro lado, se o plenum for do tipo pressão negativa, a perda se realizará do ambiente para o plenum, havendo inversão no sentido do fluxo, o que é desaconselhável pelo desbalanceamento do sistema.

2.3 Outros requisitos necessários ao bom desempenho do sistema

As ações que acontecem nos ambientes repercutirão diretamente sobre o funcionamento do sistema, cujo desempenho, além das características apresentadas, é dependente dessas ações. Para que não ocorram efeitos indesejáveis aos usuários ou prejudiciais aos próprios equipamentos, alguns requisitos devem ser atendidos, tanto no que se refere ao projeto de distribuição de ar nos ambientes e estratégias de controle (individual e/ou por zonas), quanto à forma de utilização.

O projeto de distribuição de ar nos ambientes, além de contemplar os itens: definição de *set points* (por exemplo: de temperatura do ar e água, pressão no plenum),

escolha adequada de difusores (quanto ao tipo e tamanho), distâncias dos difusores ao usuário e outros já mencionados anteriormente, deve levar em consideração também a definição de zonas com cargas térmicas aproximadamente iguais. Este procedimento se reporta ao controle das vazões de ar nos difusores localizados no piso, tanto em áreas de ocupação quanto nas de circulação e periféricas. Este controle é feito baseado em valores de temperatura do ar, coletados por sensores termostáticos localizados em pontos estratégicos, que representam condições semelhantes das áreas daquela zona. Por exemplo, deve ser evitado o agrupamento de estações de trabalho com densidades ocupacionais diferentes ou localizações distintas (estações de trabalho em área central com periféricas, próximas a uma parede envidraçada, etc.) para serem controladas por um mesmo ponto.

Quanto à distribuição de difusores no piso, devem ser evitadas as concentrações como também a ausência de pontos; em ambos os casos podem ocorrer sensações desagradáveis aos usuários (correntes de ar ou ausência de “ventilação” – sensação de ar parado).

Nas estações de trabalho os difusores devem ser providos de dispositivos de controle individual de vazão de ar. Entretanto, isto não é suficiente se os usuários não forem devidamente informados sobre a existência desses dispositivos, bem como treinados para manuseá-los adequadamente e de acordo com suas preferências. Além disso, a equipe de manutenção deve ser orientada e treinada para reposicionar os difusores (seguindo o mesmo conceito de projeto) quando ocorrerem mudanças de *lay out*. Nestes casos, o fornecimento de um manual de instruções de uso e operação é bastante desejável, além de palestras informativas sobre o assunto.

2.4 Considerações sobre o desempenho do sistema

Embora o sistema de ar condicionado com insuflamento pelo piso represente uma tecnologia relativamente nova, alguns aspectos já podem ser caracterizados como positivos ou negativos, com base em resultados de pesquisas internacionais e brasileiras, tanto no campo da simulação quanto da experimentação em laboratório e, mais recentemente, no campo da aplicação, ou seja, avaliações de desempenho de sistemas instalados e em funcionamento no edifício.

Esses resultados têm revelado que existe uma forte tendência para o uso deste tipo de sistema, uma vez que promove alguns efeitos que não são alcançados com o sistema convencional com insuflamento pelo teto.

Os principais aspectos deste tipo de sistema são:

- Flexibilidade para mudanças de *lay out* sem prejuízo do conforto térmico, uma vez que existe a possibilidade de deslocamento dos difusores e controle individual de vazão de ar resfriado;
- aproveitamento da convecção natural para a retirada do calor dos ambientes;
- menor possibilidade de curto circuito devido ao sentido do fluxo de ar;
- volume de ar a ser resfriado é menor que o volume total do ambiente, já que a região acima da zona ocupada não necessita de resfriamento;
- a temperatura do ar insuflado no ambiente é mais alta do que a do ar fornecido pelo sistema convencional;
- como consequência dos dois itens anteriores, se o sistema for bem projetado e operado adequadamente, a tendência é haver menor consumo de energia;
- possibilita uma ventilação efetiva através de ajustes individuais de vazão de ar, promovendo uma movimentação do ar pelo aumento de sua velocidade, que é percebida pelos usuários, resultando em condições de conforto mais desejáveis;
- a idade do ar respirado pelos usuários é menor, porque a distância do ponto de origem à região do nariz é inferior àquela quando é oriundo do teto. Por este fato e pela formação de micro climas; pode haver menor incidência de contaminações, significando melhoria na qualidade do ar interno;
- a manutenção e limpeza são facilitadas pela ausência de dutos de distribuição de ar;
- pela pouca solicitação de espaço (altura), a aplicação do sistema permite a redução do pé direito nas edificações, considerando que a tipologia estrutural adotada atualmente, em sua maioria, é composta por lajes livres com vigas periféricas e número reduzido de pilares;
- sua aplicabilidade em *retrofits* depende da altura disponível entre a laje de piso e as vigas da cobertura;

- mesmo em novos projetos, sua aplicação depende do tipo de ocupação;
- não deve ser utilizado em áreas suscetíveis à água, alguns tipos de indústrias, centros cirúrgicos;
- maior estratificação de temperaturas nas zonas ocupadas;
- maior sensação de correntes de ar se houver concentração de difusores;
- o sistema exige um maior controle na desumidificação do ar;
- a localização dos difusores requer cuidados especiais para que seja evitada sensação de “frio nos pés”; por ser um sistema novo, o número de pesquisas na área ainda é reduzido, incorrendo em falta de informações e diretrizes de projeto.

Capítulo 3

CONFORTO TÉRMICO

3.1 Introdução

Nos edifícios de escritórios atuais as pessoas ficam sujeitas a ambientes térmicos criados artificialmente para que se sintam em conforto e possam produzir melhor as suas tarefas. Se o objetivo é atingido, a pessoa tem uma sensação de bem estar¹, expressa pela sua satisfação com aquele ambiente térmico.

Entretanto, em condições térmicas diferentes daquelas nas quais a maioria das pessoas se sentiria confortável, o organismo provoca reações desencadeadas pelo sistema termorregulador que age no sentido de manter constante a temperatura interna do corpo frente às variações térmicas externas. Esta ação mais intensa do sistema termorregulador acarreta uma sensação de desconforto, para uma dada atividade (metabolismo), podendo, essa sensação, ser associada ao nível de atuação do sistema através de um índice que leva em conta o grau de afastamento das condições de conforto.

3.2 O sistema termorregulador

Para manter as atividades dos órgãos vitais, a temperatura interna do corpo humano deve ser mantida praticamente constante, por volta de 37°C. Esta temperatura interna é mantida constante somente se ocorrer um equilíbrio entre o calor produzido pelo corpo e o perdido para o ambiente. Em 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.

O hipotálamo recebe sinais de receptores térmicos de temperatura, situados no próprio hipotálamo e numa grande extensão de pele. Quando a temperatura, especialmente mudanças de temperatura, influenciam esses receptores, impulsos nervosos são transmitidos ao centro de temperatura no SNC, que processa a informação, resultando em

¹ Conforto térmico é definido pela ASHRAE 55a (1995) como sendo “um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa”.

reações que mantêm a temperatura interna do corpo constante. Receptores de “frio” dão origem a sensações de “frio” se a temperatura, numa área da pele, diminui rapidamente, em torno de $0,004^{\circ}\text{C/s}$ ($14,4^{\circ}\text{C/h}$); receptores de “calor” originam sensações de “calor” se a temperatura, numa área de pele, aumenta rapidamente, de aproximadamente $0,001^{\circ}\text{C/s}$ ($3,6^{\circ}\text{C/h}$) (Olesen, 1982).

O corpo produz calor continuamente pelo processo metabólico, através da transformação de energia química (oxidação). Esta produção de calor, considerando metabolismo basal, é da ordem de 1W/kg de massa do corpo, se medida durante certas condições padrão (passadas 8 horas depois da última refeição, em posição de relaxamento e a uma temperatura neutra). Variações na produção de calor podem ocorrer em função, tanto de fatores fisiológicos e pessoais quanto das condições ambientais. Por exemplo, em ambientes frios, o centro de temperatura aumenta o tônus dos músculos, aumentando a produção de calor e, em ambientes ainda mais frios, as tensões musculares provocam calafrios, os quais podem aumentar a produção de calor em três vezes o metabolismo basal. As maiores mudanças na produção de calor são, entretanto, o resultado do trabalho dos músculos, que pode mudar o metabolismo basal por um fator de 10 vezes.

O calor é transportado do centro quente para a pele, parcialmente pela condução, através dos tecidos celulares e parcialmente pelo fluxo de sangue para a pele. Em ambientes frios, os impulsos nervosos dos receptores de frio resultam em uma vaso-constricção cutânea, isto é, a contração dos vasos sanguíneos, diminuindo o fluxo sanguíneo e, conseqüentemente, o fluxo de calor para a pele, para manter uma temperatura de 37°C nas partes vitais do corpo; nestas circunstâncias, o fluxo de sangue é reduzido primeiramente nas extremidades (mãos e pés), onde a sensação de frio é sentida primeiro. Entretanto, quando todos os vasos sanguíneos na pele estão completamente fechados, há ainda perda de calor por condução através da pele para o ambiente. Em um ambiente quente, a temperatura da pele é alta e o gradiente de temperatura entre o centro do corpo e a superfície da pele é pequeno; a troca de calor por condução do centro para a pele é, então, pequena. Nesses ambientes, o fluxo sanguíneo aumenta devido à vaso-dilatação (abertura dos vasos sanguíneos). O calor então produzido é transportado pelo sangue até à superfície da pele, onde é trocado com o meio.

A regulação da perda de calor por evaporação é feita pela secreção de água das glândulas sudoríparas. As glândulas sudoríparas podem produzir de 2 a 3 litros de água por

hora, sendo que cada grama ou mililitro que evapora removerá 2,43 kJ da superfície da pele. A produção de suor, como o fluxo sanguíneo na pele, é principalmente controlada pelo centro de temperatura no hipotálamo, havendo, no entanto, a evaporação descontrolada de água através da pele (transpiração insensível), que ocorre continuamente.

Uma outra possibilidade de perda de calor é pela respiração, pois, a quantidade de vapor d'água contida no ar inspirado é menor do que a exalada pela expiração. Mas, a quantidade de calor perdido devido à evaporação, através da respiração, é mínima, de aproximadamente 40g/h, equivalente à perda de calor de aproximadamente 28W.

O sistema termorregulador, em condições de frio, quando o fluxo de sangue é diminuído e há ocorrência de calafrios (aumento do metabolismo) e em condições quentes, quando o fluxo sanguíneo aumenta e há evaporação do suor, atua para manter a temperatura interna dentro de certos limites. Esta temperatura pode mudar de aproximadamente 36°C para 40°C a 42°C, sob certas circunstâncias, enquanto a variação na temperatura média da pele pode ser muito maior, de 17°C a 40°C.

A temperatura interna normal do corpo em repouso, medida de manhã, é de aproximadamente 37°C, podendo haver, no entanto diferenças individuais (36°C a 38°C). Durante o dia, ela varia de aproximadamente 1°C, com o valor máximo no final da tarde. Então, cai novamente e atinge seu valor mínimo durante a manhã. Quando existe um trabalho muscular, a temperatura do corpo aumenta para um nível mais alto, dependendo da intensidade desse trabalho; este aumento ocorre para beneficiar o processo metabólico no trabalho dos músculos. Esta temperatura é mantida constante independentemente da grande variação nas condições ambientais, mas, como a capacidade do corpo de produzir calor e a produção do suor é limitada, existem limites inferiores e superiores para manter o balanço térmico. Por exemplo, se a temperatura ambiente sobe acima do limite superior de regulação, haverá um acúmulo de calor no corpo e a temperatura interna deve aumentar. Neste caso, a troca de calor entre o centro e a superfície da pele aumenta devido ao aumento de fluxo de sangue e um novo balanço térmico pode ser atingido, mas a um nível mais alto de temperatura interna e, se o ambiente é muito mais quente, a temperatura interna continua aumentando até um nível fatal de 42°C a 43°C.

Em ambientes frios, onde a perda de calor, mesmo com vaso-constricção, é maior que a produção de calor, a temperatura interna diminui. A primeira reação é que começam

os calafrios; mas, à aproximadamente 33°C os calafrios param e, a temperaturas mais baixas, a pessoa fica inconsciente. Uma temperatura interna de 35°C já define “hipotermia” (Ferreira, 2001) e, abaixo desta (cerca de 25°C) é fatal (Olesen, 1982).

A temperatura da pele em diferentes partes do corpo tende a ser uniforme em ambientes quentes. Mas, em ambientes frios, mãos, pés, pernas e braços, em particular, se tornam relativamente mais frios do que a cabeça e o tórax.

Uma boa revisão do assunto pode ser encontrada em Ferreira (2001).

3.3 Condições de conforto térmico

O homem interage termicamente com o ambiente trocando calor pelos mecanismos da condução, convecção, radiação e evaporação, conforme apresentado na Fig. 3.1.

Figura 3.1 – Modelo cilíndrico da interação térmica: corpo humano – meio envolvente (ASHRAE, 2001)

Do balanço térmico do corpo humano (1ª lei da termodinâmica), tem-se que:

$$\dot{U} = M - W - (R + C + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res}) \quad (3.1)$$

onde:

$\dot{U}$ = taxa de variação da energia interna (W/m²);

M = metabolismo;

W = trabalho externo;

R = calor transferido pela pele por radiação;

C = calor transferido pela pele por convecção;

E_{sk} = calor transferido pela pele por evaporação;

C_{res} = calor transferido por convecção pela respiração;

E_{res} = calor transferido por evaporação pela respiração.

Fanger (1972) estabelece três condições para uma situação de conforto térmico de uma pessoa exposta a um dado ambiente por um período longo:

- A. A primeira condição é que haja equilíbrio das trocas de calor entre o corpo e o ambiente, isto é,

$$\dot{U} = 0 \quad (3.2)$$

- B. A segunda condição é que a temperatura média da pele (t_{sk}) seja dada pela equação:

$$t_{sk} = 35,7 - 0,0275(M - W) \quad (3.3)$$

- C. A terceira condição é que a produção de suor (E_{sw}) seja igual a:

$$E_{sw} = 0,42(M - W - 58,2) \quad (3.4)$$

As equações (3.3) e (3.4) são regressões lineares baseadas em dados experimentais de Rohles e Nevins (1971) (Fanger, 1972; ASHRAE, 2001).

Destas três condições resulta a equação de conforto de Fanger (Fanger, 1972; ASHRAE, 2001), dada por:

$$\begin{aligned}
(M - W) &= 3,96 \cdot 10^{-8} f_{cl} \left[(t_{cl} + 273)^4 + (\bar{t}_r + 273)^4 \right] \\
&+ f_{cl} \cdot h_c (t_{cl} - t_a) + 3,05 [5,73 - 0,007(M - W) - p_a] \\
&+ 0,42 [(M - W) - 58,15] + 0,0173M(5,87 - p_a) + 0,0014M(34 - t_a)
\end{aligned} \quad (3.5)$$

com:

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028(M - W) - 0,155I_{cl} \left\{ \begin{aligned} &(M - W) - 3,05[5,73 - 0,007(M - W) - p_a] \\ &- 0,42[(M - W) - 58,15] - 0,0173M(5,87 - p_a) \\ &- 0,0014M(34 - t_a) \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

$$\left\{ \begin{aligned} &2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} \\ &12,1\sqrt{V_a} \end{aligned} \right. \quad \text{para} \quad \left\{ \begin{aligned} &2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} > 12,1\sqrt{V_a} \\ &2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} \leq 12,1\sqrt{V_a} \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

$$f_{cl} \left\{ \begin{aligned} &1,00 + 0,2I_{cl} \\ &1,05 + 0,1I_{cl} \end{aligned} \right. \quad \text{para} \quad \left\{ \begin{aligned} &I_{cl} \leq 0,5 \\ &I_{cl} > 0,5 \end{aligned} \right\} \quad \text{clo} \quad (3.8)$$

onde:

M = metabolismo (W/m^2)

W = trabalho externo (W/m^2)

I_{cl} = índice de isolamento da roupa (clo)

t_a = temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)

V_a = velocidade média do ar (m/s)

p_a = pressão parcial do vapor d'água no ambiente (kPa)

$\bar{t}_r$ = temperatura média radiante ($^{\circ}\text{C}$)

A equação 3.5 relaciona os fatores pessoais (M , W , I_{cl}) e ambientais (t_a , V_a , p_a , $\bar{t}_r$) para conforto térmico:

a. *Pessoais*

- a.1. *Atividade*, dada por ($M-W$) - A energia é liberada no corpo a uma taxa equivalente à quantidade de energia que o corpo necessita para funcionar (M). A energia liberada é algumas vezes parcialmente convertida em trabalho externo dos músculos (W), mas, é, principalmente convertida em calor interno do corpo.

Nas aplicações convencionais em ambientes condicionados $W=0$. O metabolismo é sempre dado em unidade “met”, onde 1 met é igual ao metabolismo para uma pessoa sentada em repouso, isto é, em atividade sedentária (1 met = 58,15 W/m²). Na Tabela 3.1, são listadas algumas atividades e seus correspondentes valores de metabolismo.

Tabela 3.1 – Exemplos de taxa metabólica para alguns tipos de atividades (Olesen, 1982)

Atividade	met	W/m ²
Deitado	0,8	47
Sentado, quieto	1,0	58
Atividade Sedentária (escritório, casa, laboratório, escola)	1,2	70
Em pé, relaxado	1,2	70
Atividades leves, em pé (shopping, laboratório, indústria leve)	1,6	93
Atividade média, em pé (assistente de compra, trabalho doméstico, trabalho com máquinas)	2,0	117
Atividade alta (trabalho com máquinas pesadas)	3,0	175

- a.2. *Vestimenta* – é dada pelo índice de isolamento térmico da roupa (I_{cl}) que pode ser determinado basicamente sob duas formas: por meio de medições em manequins aquecidos (McCullough e Jones, 1984, Olesen e Nielsen, 1983 apud ASHRAE, 2001) e por meio de medições em pessoas (Nishi et al., 1975) apud ASHRAE (2001).

Os valores medidos representam a resistência intrínseca da roupa (R_{cl}), expressa em m²K/W; entretanto, é mais usual a aplicação do símbolo I_{cl} , expresso na unidade “clo”, sendo:

$$R_{cl} = 0,155 I_{cl} \quad (3.9)$$

Mc Cullough e Jones (1984) apud ASHRAE (2001) sugerem que, para se obter o isolamento térmico de um conjunto, pode-se utilizar a equação 3.10, considerando valores específicos para cada peça:

$$I_{cl} = 0,835 \sum I_{clu,i} + 0,161 \quad (3.10)$$

onde $I_{clu,i}$ é o isolamento efetivo de cada peça.

Olesen (1985) simplificou esta equação para $I_{cl} = \sum I_{clu,i}$ que é adotada pela ISO 7730/1994 / REV 2000. Ambas as equações oferecem exatidão aceitável para vestimentas próprias para ambientes fechados, para valores até 1,5 clo.

Um outro fator importante para o cálculo da transferência de calor é o *fator de área* (f_{cl}), expresso pela equação:

$$f_{cl} = A_{cl} / A_D \quad (3.11)$$

onde: A_{cl} = área da superfície coberta do corpo (incluindo partes descobertas, como mãos);

A_D = área do corpo nu (Área DU BOIS)

$$A_D = 0,202 m^{0,425} l^{0,725} \quad (3.12)$$

onde:

m = massa corporal (kg)

l = altura (m)

A equação 3.12 é empírica (ASHRAE, 2001), através da qual, se pode estimar um valor da superfície externa do corpo nu, se conhecidos a sua massa e sua altura.

Valores de isolamento térmico para conjuntos de roupas (combinações de várias peças) e para peças individuais são apresentados nas normas ASHRAE Standard 55a / 1995 e ISO 7730 / 1994 que, normalmente, são suficientes para se estimar os valores para esta variável.

Na tabela 3.2, são apresentados valores de isolamento térmico para algumas combinações de vestimentas.

Tabela 3.2 Valores de isolações típicas, de fatores de área e de permeabilidade para conjuntos de vestimentas (ASHRAE, 2001)

Descrição do Conjunto ^a	I_{cl}	f_{cl}
Calção para caminhada, camisa de manga curta	0,36	1,10
Calças, camisa de manga curta	0,57	1,15
Calças, camisa de manga longa	0,61	1,20
Calças, camisa de manga longa, paletó	0,96	1,23
Calças, camisa de manga longa, paletó, camiseta de manga curta, camiseta sem manga	1,14	1,32
Calças, camisa de manga longa, blusa (suéter) de manga longa, camiseta de manga curta	1,01	1,28
Calças, camisa de manga longa, blusa de manga longa, camiseta de manga curta, paletó, ceroula	1,30	1,33
Calças de lã, camisa de lã	0,74	1,19
Camisa de pijama de manga longa, calça longa de pijama, robe curto de manga $\frac{3}{4}$, chinelos de tecido, sem meias	0,96	1,32
Saia até o joelho, camisa de manga curta, meia calça, sandálias	0,54	1,26
Saia até o joelho, camisa de manga longa, meia calça, combinação	0,67	1,29
Saia até o joelho, camisa de manga longa, meia calça, anágua, blusa (suéter) de manga longa	1,10	1,46
Saia até o joelho, camisa de manga longa, meia calça, anágua, paletó	1,04	1,30
Saia longa, camisa de manga longa, meia calça, paletó	1,10	1,46
Sobretudo de manga longa, camiseta de manga curta	0,72	1,23
Macacão, camisa de manga longa, camiseta de manga curta	0,89	1,27
Sobretudo de lã, blusa de frio de manga longa, ceroula	1,37	1,26

^aTodos os conjuntos incluem sapatos e cuecas ou calcinhas.

Todos os conjuntos, exceto aqueles com meia-calça, incluem meias.

b. Ambientais

- b.1. *Temperatura do ar (t_a)* – é a média aritmética das temperaturas de bulbo seco em torno do ocupante, em três alturas: do tornozelo (0,10m), do tronco (0,60m) e da cabeça (1,10m), alturas essas, referentes a uma pessoa sentada e a 0,10m; 1,10m e

1,70m, para pessoas em pé. Esta média, em cada altura, é calculada com base em medições realizadas em um período de três minutos.

- b.2. *Temperatura radiante média* ($\overline{t_r}$) – é definida como a temperatura uniforme de um invólucro negro imaginário na qual a transferência de calor por radiação do corpo humano se iguala à transferência de calor por radiação num ambiente real não uniforme. Seu valor pode ser calculado em função do fator de forma, como também por medições de temperatura de globo (t_g), temperatura do ar (t_a) e velocidade do ar (V_a); por meio da combinação destas medidas, pode-se estimar o valor da temperatura radiante média, usando as equações (3.17) a (3.20), que se baseiam no balanço das trocas térmicas entre o globo e o ambiente, dado pela equação (3.13):

$$q_r + q_c = 0 \quad (3.13)$$

onde:

q_r = troca de calor por radiação entre as superfícies e o globo (W/m²)

q_c = troca de calor por convecção entre o ar e o globo (W/m²).

Sendo:
$$q_r = h_{rg} (\overline{T_r}^4 - T_g^4) \quad (3.14)$$

$$h_{rg} = \sigma \varepsilon \quad (3.15)$$

onde:

h_{rg} = coeficiente de transferência de calor por radiação entre as superfícies e o globo (W/m²K⁴)

ε = emissividade do globo

σ = constante de Stefan-Boltzmann = 5,67x10⁻⁸ W/m²K⁴

$\overline{T_r}$ = temperatura radiante média (K)

T_g = temperatura de globo (K)

$$q_c = h_{cg} (T_a - T_g) \quad (3.16)$$

onde:

h_{cg} = coeficiente de transferência de calor por convecção ao nível do globo (W/m²K);

T_a = temperatura do ar (K).

Na condição de *convecção natural*, o coeficiente de transferência de calor por convecção ao nível do globo² (h_{cg}), é dado por:

$$h_{cg} = 1,4 \left(\frac{T_g - T_a}{D} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (3.17)$$

Na condição de *convecção forçada*, h_{cg} é dado por:

$$h_{cg} = 6,3 \cdot \frac{V_a^{0,6}}{D^{0,4}} \quad (3.18)$$

onde V_a é a velocidade do ar (m/s) ao nível do globo.

Em ambientes “moderados”, isto é, “onde as condições ambientais se aproximam dos padrões de conforto adotados pela ISO 7730 (1994)” (ISO 7726, 1985), pode-se adotar o maior valor de h_{cg} para determinar o tipo de convecção (natural ou forçada). Neste caso, para a condição de convecção natural, a temperatura radiante média ($\bar{t}_r$) é dada pela equação (3.19):

$$\bar{t}_r = \left[(t_g + 273)^4 + 0,4 \cdot 10^8 \cdot |t_g - t_a|^{\frac{1}{4}} \cdot (t_g - t_a) \right]^{\frac{1}{4}} - 273 \quad (3.19)$$

e, para a condição de convecção forçada, a temperatura radiante média ($\bar{t}_r$) é dada pela equação (3.20):

$$\bar{t}_r = \left[(t_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot V_a^{0,6} \cdot (t_g - t_a) \right]^{\frac{1}{4}} - 273 \quad (3.20)$$

² Nas medições são utilizados globos de 15cm de diâmetro (D), com emissividade $\varepsilon = 0,95$.

onde $\overline{t_r}$, t_a e t_g são dados em °C.

- b.3. *Velocidade do ar (V_a)* – é a média da velocidade instantânea do ar à qual o corpo está exposto. Esta média é calculada com os valores medidos durante o mesmo período de medição e nos mesmos níveis que a temperatura do ar.
- b.4 *Umidade relativa (UR)* – caracteriza a quantidade de vapor d’água no ar em relação à máxima quantidade que pode ser mantida, numa dada temperatura, dado pela relação entre a pressão parcial do vapor de água no ar, p_a , e a pressão de saturação do vapor de água no ar, p_s , à mesma temperatura.

$$UR = \frac{p_a}{p_s} \quad (3.21)$$

A umidade relativa, UR (e conseqüentemente a pressão parcial do vapor d’água, p_a) deve ser medida no nível 0,60m nas áreas ocupadas pelas pessoas.

Capítulo 4

AValiação DE Ambientes Térmicos

4.1 Introdução

As equações apresentadas no Capítulo 3 tratam exclusivamente de situações de conforto térmico, ou seja, das combinações dos parâmetros (M , W , I_{cl} , t_a , V_a , p_a , $\bar{t}_r$) que causam sensação de conforto térmico. A percepção do conforto e a aceitação de um ambiente térmico, contudo, depende das pessoas.

Em função disto, foi estabelecido um critério que avalie o grau de desconforto apresentado por um determinado ambiente, expresso subjetivamente, de acordo com a classificação a seguir, denominada “Escala de Sensação Térmica da ASHRAE” (Tab. 4.1):

Tabela 4.1 – Escala de Sensação Térmica (ASHRAE 55a, 1995)

+3	muito quente
+2	quente
+1	ligeiramente quente
0	neutro
-1	ligeiramente frio
-2	frio
-3	muito frio

4.2 Voto médio estimado

Segundo Fanger (1972), “quando a equação do conforto é satisfeita, espera-se, para um grande grupo de pessoas, um voto médio igual a zero (neutro). Como, então, pode uma expressão física, tendo relação com uma sensação térmica, ser estabelecida para desvios (variações) da equação de conforto?”

Sabe-se que o corpo humano é capaz de manter o balanço térmico dentro de grandes faixas de variáveis ambientais, pelo uso de seus mecanismos: vasodilatação e vasoconstrição, secreção de suor e calafrios. Mas, dentro dessas grandes faixas (limites) existe apenas um pequeno intervalo que é considerado como confortável. Por isto, é

razoável assumir que o grau de desconforto é tanto maior, quanto mais a carga nos mecanismos termorreguladores se desvia da condição de conforto. Sendo assim, assume-se que a sensação térmica, a um dado nível de atividade, é uma função da carga térmica ‘L’ do corpo, definida como a diferença entre a produção interna de calor e a perda de calor para o ambiente real, para uma pessoa hipoteticamente mantida sob a condição de temperatura média da pele e produção de suor com valores compatíveis para conforto”.

De acordo com esta definição, a carga térmica (por unidade de área superficial do corpo) pode ser expressa matematicamente como a seguir:

$$L = M - (R + C + E + Esk + Esw) \quad (4.1)$$

Experimentalmente, com base em experiências realizadas com cerca de 1300 pessoas, Fanger obteve uma relação entre a carga (L) e o metabolismo (M), a partir do voto de pessoas submetidas a diferentes condições do ambiente, denominado PMV (*Predicted Mean Vote*), resultando:

$$PMV = [0,303 e^{-0,036M} + 0,028]L \quad (4.2)$$

Fanger (1972) enfatiza que o uso do PMV para avaliação do conforto térmico deve se restringir à faixa $-2 \leq PMV \leq +2$ e os principais parâmetros estejam dentro dos seguintes intervalos:

$$M = 46 \text{ a } 232 \text{ W/m}^2 \text{ (0,8 a 4 met)}$$

$$I_{cl} = 0 \text{ a } 0,310 \text{ m}^2/\text{W} \text{ (0 a 2 clo)}$$

$$t_a = 10 \text{ a } 30^\circ\text{C}$$

$$\overline{t_r} = 10 \text{ a } 40^\circ\text{C}$$

$$V_a = 0 \text{ a } 1 \text{ m/s}$$

$$p_a = 0 \text{ a } 2700 \text{ (Pa)}$$

$$UR = 30 \text{ a } 70\%$$

Uma vez que o cálculo do voto médio estimado é trabalhoso, a ISO 7730 (ISO, 1994) apresenta tabelas, gráficos e uma rotina para utilização em microcomputador, que

permitem determinar, mais facilmente, o PMV para diferentes atividades, tipos de vestimenta e condições ambientais.

A Tabela 4.2 contém valores de PMV para atividade de escritórios (1,2met) com umidade relativa de 50%, os quais são apresentados em função da temperatura operativa¹ (t_o), dada pela equação 4.3, 4.4 ou 4.5.

$$t_o = \frac{h_r \bar{t}_r + h_c t_a}{h_r + h_c} \quad (4.3)$$

onde: h_r = coeficiente de transferência de calor por radiação;

h_c = coeficiente de transferência de calor por convecção;

Para ambientes condicionados, a temperatura operativa também pode ser calculada utilizando-se a equação:

$$t_o = a.t_a + (1 - a).\bar{t}_r \quad (4.4)$$

onde “a” depende da velocidade do ar, conforme a relação abaixo (ISO 7726, 1985):

V (m/s)	0-0,2	0,2-0,6	0,6-1,0
a	0,5	0,6	0,7

Para ambientes com pessoas em atividades cuja taxa metabólica se apresenta entre 1,0 met e 1,3 met, não sujeitas à luz do sol e não expostas a velocidades do ar superiores a 0,20 m/s, a relação pode ser aproximada, com aceitável exatidão, por:

$$t_o = \frac{(t_a + \bar{t}_r)}{2} \quad (4.5)$$

¹ Temperatura operativa é a temperatura uniforme de um invólucro negro imaginário, na qual uma pessoa trocaria a mesma quantidade de calor por radiação e convecção, do que se estivesse num ambiente real não uniforme” (ASHRAE, 2001).

Tabela 4.2 - Determinação do voto médio estimado - PMV (ISO 7730, 1994)

Atividade 1.2 met e umidade relativa do ar de 50%

Vestimenta		Temperatura Operativa °C	Velocidade Relativa do ar – m/s							
CLO			< 0.10	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50	1.00
0	0	25	-1.33	-1.33	-1.59	-1.92				
		26	-0.83	-0.83	-1.11	-1.40				
		27	-0.33	-0.33	-0.63	-0.88				
		28	0.15	0.12	-0.14	-0.36				
		29	0.63	0.56	0.35	0.17				
		30	1.10	1.01	0.84	0.69				
		31	1.57	1.47	1.34	1.24				
		32	2.03	1.93	1.85	1.78				
0.25	0.039	23	-1.18	-1.18	-1.39	-1.81	-1.97	-2.25		
		24	-0.79	-0.79	-1.02	-1.22	-1.54	-1.80	-2.01	
		25	-0.42	-0.42	-0.64	-0.83	-1.11	-1.34	-1.54	-2.21
		26	-0.04	-0.07	-0.27	-0.43	-0.68	-0.89	-1.06	-1.65
		27	0.33	0.29	0.11	-0.03	-0.25	-0.43	-0.58	-1.09
		28	0.71	0.64	0.49	0.37	0.18	0.03	-0.10	-0.64
		29	1.07	0.99	0.87	0.77	0.61	0.49	0.39	0.03
		30	1.43	1.35	1.25	1.17	1.05	0.95	0.87	0.58
0.50	0.078	18	-2.01	-2.01	-2.17	-2.38	-2.70			
		20	-1.41	-1.41	-1.76	-2.04	-2.25	-2.42		
		22	-0.79	-0.79	-0.97	-1.13	-1.36	-1.54	-1.69	-2.17
		24	-0.17	-0.20	-0.36	-0.48	-0.68	-0.83	-0.95	-1.35
		26	0.44	0.39	0.26	0.16	-0.01	-0.11	-0.21	-0.52
		28	1.05	0.98	0.88	0.81	0.70	0.61	0.54	-0.31
		30	1.84	1.57	1.51	1.46	1.39	1.37	1.29	1.14
		32	2.25	2.20	2.17	2.15	2.11	2.09	2.07	1.99
0.75	0.118	16	-1.77	-1.77	-1.91	-2.07	-2.31	-2.49		
		18	-1.27	-1.27	-1.42	-1.56	-1.77	-1.93	-2.05	-2.45
		20	-0.77	-0.77	-0.92	-1.04	-1.23	-1.36	-1.47	-1.82
		22	-0.25	-0.27	-0.40	-0.51	-0.66	-0.78	-0.87	-1.17
		24	0.27	0.23	0.12	0.03	-0.10	-0.19	-0.27	-0.51
		26	0.78	0.73	0.64	0.57	0.47	0.40	0.34	0.14
		28	1.29	1.23	1.17	1.12	1.04	0.99	0.94	0.80
		30	1.80	1.74	1.70	1.67	1.62	1.58	1.55	1.46
1.00	0.155	16	-1.18	-1.18	-1.31	-1.43	-1.59	-1.72	-1.82	-2.12
		18	-0.75	-0.75	-0.88	-0.98	-1.13	-1.24	-1.33	-1.59
		20	-0.32	-0.33	-0.45	-0.54	-0.67	-0.76	-0.83	-1.07
		22	0.13	0.10	0.00	-0.07	-0.18	-0.26	-0.32	-0.52
		24	0.58	0.54	0.46	0.40	0.31	0.24	0.19	0.02
		26	1.03	0.98	0.91	0.86	0.79	0.74	0.70	0.58
		28	1.47	1.42	1.37	1.34	1.28	1.24	1.21	1.12
		30	1.91	1.86	1.83	1.81	1.78	1.75	1.73	1.67
1.50	0.233	12	-1.09	-1.09	-1.19	-1.27	-1.39	-1.48	-1.55	-1.75
		14	-0.75	-0.75	-0.85	-0.93	-1.03	-1.11	-1.17	-1.35
		16	-0.41	-0.42	-0.51	-0.58	-0.67	-0.74	-0.79	-0.96
		18	-0.06	-0.09	-0.17	-0.22	-0.31	-0.47	-0.42	-0.56
		20	0.28	0.25	0.18	0.13	0.05	0.00	-0.04	-0.16
		22	0.63	0.60	0.54	0.50	0.44	0.39	0.36	0.25
		24	0.99	0.95	0.91	0.87	0.82	0.78	0.76	0.67
		26	1.35	1.31	1.27	1.24	1.20	1.18	1.15	1.08
2.00	0.310	10	-0.77	-0.78	-0.86	-0.92	-1.01	-1.06	-1.11	-1.24
		12	-0.49	-0.51	-0.58	-0.63	-0.71	-0.76	-0.80	-0.92
		14	-0.21	-0.23	-0.29	-0.34	-0.41	-0.46	-0.49	-0.60
		16	0.08	0.06	0.00	-0.04	-0.10	-0.15	-0.18	-0.27
		18	0.37	0.34	0.29	0.26	0.20	0.17	0.14	0.05
		20	0.67	0.63	0.59	0.58	0.52	0.48	0.43	0.39
		22	0.97	0.93	0.89	0.87	0.83	0.80	0.78	0.72
		24	1.27	1.23	1.20	1.18	1.15	1.13	1.11	1.06

4.3 Percentagem de pessoas insatisfeitas

Os valores de PMV por si só, também não são suficientes para definir a sensação de desconforto, pois, “ligeiramente frio”, ou qualquer outro valor da escala, não indicam o quão insatisfeitas estão. Para isto, Fanger (1972), associou aos índices de voto médio estimado, valores percentuais de insatisfação manifestada por aquelas pessoas – Percentual Previsto de Insatisfação (*Predicted Percentage of Dissatisfied – PPD*).

Os valores de PPD podem ser extraídos da Figura 4.1 ou determinados pela equação (4.6).

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)} \quad (4.6)$$

A ISO 7730 (1994) recomenda, para ambientes térmicos aceitáveis os limites de PMV-PPD:

$$\begin{aligned} -0,5 &\leq PMV \leq +0,5 \\ PPD &\leq 10\% \end{aligned}$$

Figura 4.1 – Percentual de Pessoas Insatisfeitas X Voto Médio Estimado (ASHRAE, 2001)

Mesmo que a pessoa esteja na condição de conforto, ou com *desconforto térmico geral* (considerando o corpo como um todo) dentro dos limites aceitáveis, insatisfações

térmicas locais podem ocorrer ocasionando sensações de “frio” ou “calor” em uma parte particular do corpo (*desconforto térmico local*). Neste caso, a mesma norma recomenda limites para a aceitação do ambiente, baseados em um critério de 5% a 15% de insatisfação. Entretanto, esses percentuais não são aditivos, pois pessoas que sentem conforto ou desconforto geral, podem sentir ou não desconforto localizado e de modos diferentes. Sendo assim, a norma admite que um ambiente estará confortável, sob os dois pontos de vista associados, se satisfizer a, pelo menos, 80% dos ocupantes.

A seguir, são feitas considerações sobre estes dois aspectos: conforto e desconforto local, no que se refere aos fatores ambientais.

4.4 Condições de conforto térmico

As considerações a seguir se referem a pessoas em atividade leve (met 1,2), em ambientes fechados e em regime permanente, durante o dia. Uma vez fixados estes parâmetros, a condição de conforto se baseia principalmente nas variações dos seguintes itens: vestimenta, temperatura operativa, umidade e velocidade do ar.

- a. *Vestimenta* – de um modo geral, mesmo estando em ambientes fechados, as pessoas costumam usar vestimentas de acordo com as estações do ano e as condições externas do tempo. Entretanto, nos ambientes fechados, elas adaptam suas vestimentas de acordo com as condições térmicas do local, acrescentando ou diminuindo peças do vestuário. Durante os meses de primavera e verão, as roupas usadas por pessoas que trabalham em escritórios no Brasil são tipicamente leves ou de meia estação (calças / saias, blusas de algodão, poliéster ou mistas, de manga curta ou comprida), cuja composição apresenta isolamento térmico (I_{cl}) na faixa de 0,5 a 0,7 clo. Nas estações de outono e inverno, as pessoas vestem roupas um pouco mais pesadas (as mesmas anteriores, acrescidas de um blaser ou paletó de tecido leve), cujo conjunto apresenta isolamento térmico por volta de 1,0 clo.
- b. *Temperatura operativa* – Tendo em vista os hábitos sazonais de vestimenta das pessoas, supõe-se que os valores de temperatura operativa para conforto no verão sejam maiores que no inverno. A faixa de temperatura operativa e temperatura operativa ideal, sugerida pela ISO 7730 (1994), na qual, teoricamente, não mais que 10% das pessoas se sentem insatisfeitas, nas condições estabelecidas anteriormente,

é dada na Tabela 4.3 e uma faixa mais ampla, com condições aceitáveis de temperaturas do ar associadas a valores de umidade relativa, pode ser extraída da carta psicrométrica apresentada na Figura 4.2.

Tabela 4.3 – Faixas de temperaturas operativas ótimas
pessoas em atividade leve ($\leq 1,2$ met), em ambiente com umidade relativa de 50% e
velocidade média do ar $\leq 0,15$ m/s (ISO 7730, 1994)

Estação do ano	Descrição da roupa típica	I_{cl} clo	Temperatura operativa ótima (t_o)	Faixas de t_o (para 10% de insatisfeitos)
Inverno	Calça comprida pesada Camisa de manga comprida paletó	1,0	22°C	20 – 23,5°C
Verão	Calça comprida leve Camisa de manga curta	0,5	24,5°C	23 – 26°C

Figura 4.2 – Zonas de conforto para inverno e verão – ASHRAE (2001)

Na carta psicrométrica modificada da Figura 4.2 estão delimitadas as “*zonas de conforto*”, definidas em termos de faixas de temperaturas operativas para conforto, em função da combinação de temperatura do ar e temperatura radiante média que promovem condições térmicas aceitáveis, com velocidade do ar inferior a 0,20 m/s. São mostradas duas zonas, sendo uma para 0,5 clo de isolamento térmico das roupas e outra para 1,0 clo. Estes índices de isolamento são típicos para roupas usadas quando o ambiente externo é quente ou frio, respectivamente.

As bordas de temperatura mais frias e mais quentes das zonas de conforto são afetadas pela umidade e coincidem com as linhas de temperatura efetiva² (ET^*). Na região central de uma zona, a pessoa vestida nas condições adequadas, se sente em neutralidade térmica (“zero” da escala apresentada na Tabela 4.1); próximo à borda da região mais quente, a pessoa se sente como em torno de +3 da mesma escala e a -3, se estiver próxima à borda mais fria.

- c. *Umidade* – Os limites, superior e inferior, das zonas de conforto são determinados pela umidade e são menos precisos. A ASHRAE Standard- 55a (1995) recomenda que a temperatura de orvalho não seja inferior a 2°C, para que não haja problemas com ressecamento da pele, olhos, mucosas e outros.
- d. *Velocidade do ar* – dentro das condições apresentadas, na faixa de temperatura considerada para conforto, de acordo com a ASHRAE Standard – 55a (1995) não existe um valor mínimo para a velocidade do ar necessário para o conforto térmico, mas valores altos devem ser evitados para que não haja desconforto com correntes de ar.

As zonas de conforto apresentadas na Figura 4.2 podem ser alteradas em função de acréscimos de temperatura e velocidade do ar, dependendo da vestimenta, da atividade e da diferença de temperatura entre a vestimenta e a superfície da pele. A Figura 4.3 mostra a velocidade requerida para vestimenta e atividade correspondentes para a zona de conforto no verão e as possibilidades de incremento de temperatura. Para pessoas sedentárias, ou em atividade de escritórios, não é recomendado proporcionar um incremento de temperatura superior a 3°C acima da zona de conforto, nem velocidades maiores que 0,8 m/s.

² Temperatura efetiva é a temperatura de um ambiente, com 50% de umidade relativa, que resulta em uma mesma perda de calor sensível e latente pela pele como no ambiente real.

Esta ação só pode ocorrer se o usuário puder controlar, tanto a velocidade do ar quanto a direção do fluxo e, para não acontecerem situações de desconforto, os ajustes devem ser gradativos, com variações máximas de até 0,15 m/s em cada passo.(ASHRAE Standard – 55a/1995).

Figura 4.3 – Velocidade do ar necessária para acréscimo de temperatura (ASHRAE, 1995)

As curvas da Figura 4.3 se aplicam a pessoas com vestimentas cujo isolamento térmico da roupa esteja na faixa de 0,5 clo a 0,7 clo e sua taxa metabólica se situe entre 1,0 e 1,3 met.

4.5 Desconforto térmico local

O desconforto local ocorre devido a alguns fatores que alteram a uniformidade no ambiente. Tais fatores podem ser devido a janelas ou superfícies frias ou quentes, correntes de ar ou variações dessas. As principais causas são as descritas a seguir.

- a. *Diferença vertical de temperatura do ar – estratificação da temperatura* – geralmente, em ambientes fechados, a temperatura do ar aumenta do piso para o teto. Se este aumento é muito grande, pode ocorrer desconforto local expresso por calor na cabeça e frio nos pés, embora o corpo como um todo possa estar em

situação de conforto. Para que este fato não ocorra, o gradiente de temperatura não deve ser maior que 3°C , para pessoas em atividade leve, vestindo roupa com isolamento de 0,5 clo a 0,7 clo. A Figura 4.4 pode ser usada para determinar o máximo gradiente de temperatura no ambiente, de acordo com o limite de percentual de insatisfação para o caso.

Figura 4.4 – Percentual de pessoas sentadas insatisfeitas com a diferença vertical de temperatura do ar entre os pés e a cabeça (ASHRAE, 2001)

b. Assimetria da temperatura radiante – a radiação térmica em torno do ocupante pode não ser uniforme devido tanto a superfícies frias ou quentes quanto à radiação solar direta. Esta assimetria pode causar desconforto local e reduzir a aceitabilidade térmica do espaço. Em geral, as pessoas são mais sensíveis à radiação assimétrica causada por teto quente do que àquelas por superfícies verticais frias ou quentes. De acordo com os critérios determinados pela ASHRAE-Standard – 55a (1995-REV/2000), para indivíduos nas condições de atividade e vestimenta especificadas anteriormente, os limites para a assimetria da temperatura radiante, apresentados no gráfico da Figura 4.5, são os seguintes:

- Para teto quente, assimetria $< 5^{\circ}\text{C}$
- Para teto frio, assimetria $< 14^{\circ}\text{C}$

- Para parede quente, assimetria $< 23^{\circ}\text{C}$
- Para parede fria, assimetria $< 10^{\circ}\text{C}$

Figura 4.5 – Percentagem de pessoas que expressam desconforto devido à assimetria da radiação (ASHRAE, 2001).

A medida da assimetria da temperatura radiante plana (Δt_{pr}) é dada pela diferença entre as temperaturas radiantes planas de dois lados opostos de um elemento plano pequeno. Este parâmetro descreve a assimetria do ambiente radiante e é especialmente importante nas condições de conforto. Seu valor depende da orientação do elemento plano que pode ser especificada em algumas situações (por exemplo, assimetria do piso para o teto); quando não é especificada, sua orientação deve ser aquela que dá o maior valor. Deve ser medida na altura 0,60m para pessoas sentadas e a 1,10m do piso, para pessoas em pé.

- c. *Temperatura do piso* – Ocupantes de ambientes fechados, nas condições de atividade e vestimenta já mencionadas, podem sentir desconforto nos pés, mesmo calçados, devido ao contato direto com o piso, se este estiver frio ou quente. Os limites de temperatura do piso indicados pela ASHRAE – Standard 55a - REV

(2000), são de 19°C a 29°C; da Figura 4.6, podem ser extraídos valores para esta variável, em função do percentual máximo tolerável de insatisfação.

Figura 4.6 – Percentual de pessoas insatisfeitas com a temperatura do piso (ASHRAE, 2001)

- d. *Correntes de ar (Draught Rate - DR)* – quando ocorre um resfriamento localizado e indesejado no corpo, devido ao movimento do ar, há uma sensação de corrente de ar, que depende da velocidade do ar, da temperatura do ar, da intensidade de turbulência, da atividade e da vestimenta das pessoas. A sensibilidade à corrente de ar é maior em partes do corpo descobertas, especialmente na região da cabeça, pescoço e ombros e na região dos pés, tornozelos e pernas.

Determina-se o percentual de insatisfação (DR) com as correntes de ar pela equação (4.7), quando são conhecidas a temperatura e a velocidade do ar do ambiente. Este aspecto é verificado principalmente na altura da cabeça e tronco das pessoas (1,10m para pessoas sentadas e 1,70m para pessoas em pé). Se a pessoa estiver com as pernas descobertas, deve ser feita a verificação também no nível 0,10m.

A ISO 7730 (1994) propõe, como limite para desconforto, 15% de insatisfeitos. A figura 7.7 ilustra algumas condições limites de temperatura e

velocidade do ar, dependentes da intensidade de turbulência (definida a seguir) para ambientes, nos quais, o percentual de pessoas insatisfeitas seja o máximo tolerável (DR=15%). Este gráfico pode, inclusive, servir para se determinar combinações de temperaturas e velocidades do ar para orientar ajustes em sistemas de condicionamento de ar de modo a que opere em condições de não promover desconforto para os usuários.

$$DR = \left[(34 - t_a)(V_a - 0,05)^{0,62} \right] (0,37 V_a T_u + 3,14) \quad (4.7)$$

onde: t_a = temperatura do ar local (°C)

V_a = velocidade média do ar local (m/s)

T_u = intensidade de turbulência (%)

Figura 4.7 – Correntes de ar para 15% de insatisfeitos (ASHRAE, 2001)

A *intensidade de turbulência* (T_u) – é a relação entre o desvio padrão (DP_v) e a média da velocidade do ar (V_a), expresso em porcentagem. Esta relação pode ser calculada pela equação (4.8), com base nos valores de velocidade do ar, medidos com intervalos de 0,2 segundos, durante, pelo menos, três minutos e o desvio padrão (DP_v), referente à respectiva coleção de dados.

$$T_u = \frac{DP_v}{V_a} \cdot 100 \quad (4.8)$$

Este critério não se aplica para o caso de velocidades do ar mais altas, quando a pessoa utiliza o controle individual desta variável.

4.6 Influência de fatores secundários sobre o conforto

Os fatores intervenientes no conforto, descritos anteriormente, são ditos primários. Entretanto, alguns outros, chamados de secundários, podem também influir no conforto, mas em menor escala:

- a. *Variações diárias* – Fanger (1972) conduziu uma experiência com um grupo de pessoas, onde a temperatura ambiente preferida para cada uma delas, sob condições idênticas, foi determinada em quatro dias diferentes. Como o desvio padrão para os resultados foi de 0,6 °C, Fanger concluiu que as condições de conforto para os indivíduos podem ser reproduzidas e elas variarão muito pouco de dia para dia.
- b. *Idade* – devido ao fato de que o metabolismo diminui ligeiramente com a idade, diz-se que não se podem realizar experiências com pessoas de idades muito diferentes. Entretanto, resultados de pesquisas de: Fanger (1982), Fanger e Langkilde (1975), Nevins et al. (1966) e Rohles e Johnson (1972) apud ASHRAE (2001), realizadas na Dinamarca e Estados Unidos, com grupos de idades diferentes (21 a 84 anos), revelaram que os ambientes térmicos preferidos pelas pessoas mais velhas não diferem dos preferidos pelas mais jovens. Justificam que o baixo metabolismo nas pessoas mais velhas é compensado pela baixa perda de calor por evaporação; afirmação esta, confirmada por outros pesquisadores: Collins e Hoinville (1980) apud. ASHRAE (2001). O fato das pessoas idosas e jovens preferirem o mesmo ambiente térmico não necessariamente significa que elas são

igualmente sensíveis ao frio e ao calor. Na prática, o nível de temperatura ambiente nas casas das pessoas idosas é sempre mais alto do que das pessoas jovens, sendo explicado pelo fato dos idosos permanecerem em atividade sedentária na maior parte do tempo.

- c. *Adaptação* – resultados de pesquisas desenvolvidas principalmente por Fanger (1972), com grupos étnicos diferentes, revelam que as pessoas não são capazes de se adaptar a uma determinada condição térmica para sentir conforto, se ela não é de sua preferência. Sendo assim, as condições de conforto estabelecidas podem servir para qualquer lugar, desde que observada a utilização de roupas usadas habitualmente por aquelas pessoas.
- d. *Sexo* – como resultado das mesmas pesquisas referidas anteriormente, concluiu-se que as mulheres têm preferência por ambientes térmicos quase iguais aos da preferência masculina. Isto se deve ao fato da temperatura da pele das mulheres ser mais baixa que a dos homens e de perderem menos calor por evaporação; havendo uma compensação pelo metabolismo mais baixo. A razão pela qual as mulheres preferem ambientes mais quentes é o fato de vestirem roupas mais leves que os homens.
- e. *Sazonalidade e ritmo circadiano* – tendo em vista que as pessoas não podem se adaptar para preferir ambientes mais quentes ou mais frios, os mesmos pesquisadores concluíram que não há diferença de preferência entre as condições de conforto para inverno ou verão. Por outro lado, espera-se que as condições de conforto se alterem ao longo do dia, porque a temperatura interna do corpo tem um ritmo diário, ocorrendo seu valor máximo no final da tarde e o mínimo no início da manhã. Entretanto, pesquisas desenvolvidas por Fanger (1973) apud Olesen (1982) indicam que também não há preferências por ambientes térmicos diferentes no transcorrer do dia.
- f. *Cor e ruído* – pesquisas também desenvolvidas por Fanger et al. (1977) apud Olesen (1982) mostram que o uso de cores “quentes” no inverno e “frias” no verão, em ambientes condicionados, para produzir um efeito psicológico nas pessoas, com o intuito de reduzir ou aumentar a temperatura do ambiente, não surte efeito porque as pessoas não mudam suas preferências quanto à temperatura. Da mesma forma,

acontece com o nível de ruído, que não produziria nenhum efeito psicológico no conforto térmico.

4.7 Considerações sobre a aplicação do método de Fanger

Este método tem sido utilizado na maioria das pesquisas de avaliação das condições de conforto térmico em ambientes fechados. É um método básico que serve de referência para aplicação em qualquer situação, desde que as condições sejam estáveis (ambiente controlado). Tanto os resultados de experimentos quanto os de simulação têm demonstrado a sua adequabilidade até os dias atuais, mesmo em diferentes situações. Entretanto, como cada pesquisa tem as suas particularidades, tanto no que diz respeito às condições locais quanto aos objetivos específicos, adaptações ao método são necessárias. Contudo, tais adaptações não invalidam os resultados; ao contrário, conferem maior versatilidade ao método.

Capítulo 5

LABORATÓRIO REPRESENTATIVO DE AMBIENTES DE ESCRITÓRIOS COM AR FRIO INSUFLADO PELO PISO

A exemplo das pesquisas desenvolvidas principalmente por Sodec e Craig (1990), Bauman et al. (1993) e McCarry (1995), neste trabalho foi instalado um laboratório que representa, em escala real, uma área significativa de ambientes de escritórios, onde foram aplicados os procedimentos experimentais. Esta área, aqui denominada “célula”, exemplificada na Figura 5.1, significa uma fração de um pavimento tipo de edifício de escritórios, cujas características: configuração de *lay out*, tipo de ocupação por pessoas e equipamentos, localização e tipo de envoltória, além de serem as mais repetitivas, traduzem as condições reais dos ambientes deste tipo de edificação.

A célula é dotada de sistema de ar condicionado do tipo expansão indireta, com controles automatizados, que supre o ambiente com ar frio pelo piso com pressão positiva, mas com opção de insuflamento pelo teto, com a finalidade de futuros estudos comparativos.

5.1. Descrição do laboratório

O laboratório, mostrado esquematicamente na Figura 5.2, é constituído pelos seguintes componentes básicos:

- Câmara de testes, com possibilidades de distribuição de ar pelo piso e pelo teto;
- Unidade de condicionamento de ar;
- Sistema de automação e controle;
- Sistema de aquisição de dados no ambiente.

Figura 5.1 – Planta de um pavimento tipo de um edifício de escritórios em São Paulo

Figura 5.2 – Corte esquemático do laboratório

5.1.1. Câmara de Testes

A definição das características e dimensões da câmara de testes se baseou, principalmente em modelos utilizados na Universidade de Berkely /USA (Bauman, 1993), em laboratórios visitados: na Alemanha (Trox Technik – Neukirchen Vluyn e Technische Hochschule – RWTH – Aachen) e na Inglaterra (Reading University e Building Research Establishment – BRE) além de especificações da norma DIN 4715 – 1 /1995 (DIN, 1995). Trata-se de um escritório nos moldes do que existe nos edifícios brasileiros, ilustrado nas Figuras 5.3 e 5.4. Possui área de 34,8 m² composta por três paredes de alvenaria, uma divisória, lajes de teto e piso de concreto armado, todas isoladas com placas de poliuretano¹ com espessuras de 50, 60 e 100 mm. Do lado interno da câmara, o poliuretano foi revestido com chapas de material melamínico. A parede (divisória) que separa a câmara da sala do *fan coil* é revestida com chapa impermeável do lado dos equipamentos para que não haja degradação do material quando em contato com água durante os períodos de manutenção. Sobre o isolamento da laje de piso foram colocadas chapas de “eucatex” para proteção mecânica e evitar o carreamento de partículas de poliuretano. No teto, foi instalado um pré-forro em placas duplas de “eucatex” com enchimento de poliuretano, com espessura de 50 mm. Abaixo desse pré-forro, foi instalado um forro metálico modular de dimensões 120 x 60 cm, sem perfurações, onde se alojam oito luminárias para duas lâmpadas fluorescentes cada, formando um plenum superior para o retorno do ar e passagem de dutos para insuflamento pelo teto.

Em uma das paredes foi instalado um painel de lâmpadas para simular a radiação solar em superfície envidraçada. Para o dimensionamento da carga térmica equivalente, foi considerada a pior condição de insolação, resultando em um valor de 6.400 W. Esta carga está super dimensionada para a pesquisa piloto, mas poderá atender a outras pesquisas que necessitem simular cargas mais altas. O painel de lâmpadas é constituído de oito fileiras, cada uma com 20 lâmpadas incandescentes de 40 W de potência nominal, distribuídas homogeneamente ao longo da extensão da parede (5,27 m) e da altura (2,68 m). Cada fileira está ligada a um reostato para 1000 W, com faixa de variação de potência de 20 a 100 % (Figs. 5.5 e 5.6); foram instalados como um recurso para ajustar a carga devido à radiação solar de acordo com a condição desejada no ambiente.

¹ O material isolante possui coeficiente de condutibilidade térmica médio de 0,0233 W/mK (0,02 kcal/h m°C), com faixa de temperatura de trabalho de -200°C a +120°C, segundo dados de ensaio fornecidos pelo fabricante, de acordo com a norma PN-0.01.5.001, da ABNT.

Figura 5.3 – Perspectiva da câmara de testes do laboratório

Figura 5.4 – Perspectiva da câmara de testes do laboratório

Figura 5.5 – Painel de lâmpadas

Figura 5.6 – Reostatos

Figura 5.7 – Simulador

Do lado interno da câmara e paralelamente ao painel de lâmpadas, foram colocadas persianas ajustáveis, com lâminas horizontais para variação do efeito da radiação no interior da câmara. Essas persianas cobrem toda a área da superfície envidraçada imaginária.

Para representar o *lay out* de escritórios, foi projetado e construído mobiliário para compor três estações de trabalho, sendo duas adequadas para uma pessoa (com 8,7 m² cada) e uma para duas pessoas (17,4 m²). Suas características e dimensões são bastante utilizadas nos edifícios da atualidade. São estações separadas por divisórias de 1,20 e 1,60 m de altura, revestidas por tecido que se aproxima razoavelmente daqueles mais utilizados nos escritórios. Sobre as mesas, em compensado revestido com material melamínico, estão posicionados os equipamentos: micro computadores e impressoras. Nas mesas, estão instalados também, difusores para ajustes manuais de vazão de ar e direção de fluxo. Nas quatro estações de trabalho, foram colocados cilindros negros (simuladores) que dissipam calor equivalente a uma pessoa sentada (Fig. 5.7). Esses simuladores foram confeccionados de acordo com a norma DIN 4715 – 1/1995 (DIN, 1995).

O piso da câmara de testes – piso elevado – é composto por placas metálicas moduladas e intercambiáveis, apoiadas em pedestais metálicos e revestidas com carpete em placas. Essas placas formam, com a laje de piso, o plenum inferior para o ar frio distribuído no ambiente, por meio de difusores instalados em posições previamente definidas (ver cap. 6).

Quanto aos difusores, foi feito um pré-dimensionamento para cargas térmicas máximas, tanto na zona periférica quanto nas demais de circulação e ocupação (internas), sendo a área periférica aquela próxima ao painel de lâmpadas. Para a distribuição de ar no piso, foram determinados 18 difusores circulares de Ø 200 mm junto ao painel de lâmpadas e para a zona interna, 19 difusores circulares de Ø 150 mm, sendo 14 localizados no piso e cinco nas mesas, sendo que cada mesa conta com, no mínimo, um difusor. O pré-dimensionamento se baseou nas recomendações de Sodec (1990), que sugere, com base em resultados de suas pesquisas, 01 l/s.m² para remover uma carga de 10W/m². Foram consideradas também, as características dos difusores escolhidos, cujas vazões máximas são: para Ø 150 mm, até 20 l/s e Ø 200 mm, até 40 l/s, conforme dados fornecidos pelo fabricante (Trox Technik), com jatos do tipo espiralado.

Os difusores de mesa têm as mesmas características dos de piso e são acoplados a dutos auxiliares conectados às aberturas na placa de piso; esses dutos são de alumínio, semiflexíveis, e contam com dispositivos reguladores de vazão de ar.

5.1.2. Sistema de condicionamento de ar

O sistema de condicionamento de ar é composto de uma Unidade Resfriadora de Água (*chiller*) com condensação a ar e capacidade nominal de 5 TR. O equipamento foi instalado em área próxima ao laboratório, fora do edifício, abrigado por uma construção em alvenaria (Fig. 5.8). Essa unidade atende a um *fan coil* com capacidade nominal de 5 TR e 3420 m³/h de capacidade de vazão de ar para insuflamento de ar frio no ambiente (Fig. 5.9).

Na rede hidráulica entre o *chiller* e o *fan coil*, foi instalada uma resistência elétrica com 15 kW de potência de aquecimento, para reposição de carga na linha. Foi instalada também, uma válvula de três vias (*bypass* de água gelada) na linha de retorno do *fan coil* para que, alterando as vazões, possa garantir temperatura constante do ar na saída do *fan coil*, atendendo ao requisito de regime permanente para a realização das medições. Ainda na rede hidráulica, foi instalado um medidor de vazão para permitir o cálculo do consumo de energia gasta para se atingir condições de conforto térmico para condições idênticas de

carga interna² (incluindo radiação solar simulada por lâmpadas) e diferente condição de insuflamento do ar (Figs. 5.10 e 5.11).

Figura 5.8 – *Chiller*

Figura 5.9 – *Fan coil*

Figura 5.10 – Medidor de vazão de água

Figura 5.11 – Resistência de aquecimento

No que se refere ao circuito do ar, o sistema possui características comuns aos normalmente instalados nos edifícios; entretanto, com algumas diferenças, com o objetivo de promover as condições de conforto desejadas e algumas peculiaridades inerentes ao sistema de insuflamento pelo piso, que o diferenciam dos sistemas tradicionais.

A distribuição do ar resfriado no *fan coil* foi prevista para ser pelo teto ou pelo piso, de forma distinta. Por meio de comandos manuais em dois *dampers* estanques instalados

² Todas as paredes e porta, isoladas termicamente, minimizam ao máximo as cargas externas ou a perda de calor (ensaios podem ser realizados em qualquer estação do ano).

nos dutos de ar, o sistema pode funcionar com um totalmente aberto e outro totalmente fechado, segundo a direção desejada. Neste conceito, uma saída dutada de ar do *fan coil* se divide em dois ramos, sendo cada um para uma direção.

A planta de distribuição de ar pelo teto é constituída por um duto principal e quatro secundários, em cujas extremidades se encontram quatro difusores fixos no forro metálico, com características do sistema de distribuição de ar próprias para volume de ar constante. O retorno de ar quente pelo plenum superior é feito através de 11 grelhas instaladas no forro, homogeneamente distribuídas e posicionadas de forma a se evitar, na medida do possível, curto-circuitos.

A planta de distribuição de ar pelo piso apresenta alguns diferenciais que a tornam mais complexa que a anterior. Como a temperatura do ar insuflado no plenum inferior deve ser mais alta do que a do ar insuflado pelo teto, esse efeito é conseguido através de uma mistura de ar resfriado no *fan coil* com um percentual de ar quente do retorno, significando que o volume do primeiro é menor do que no caso anterior. A mistura do ar frio com o quente ocorre numa caixa localizada na junção de dois ramos de dutos (um proveniente do *fan coil* e outro do retorno) ilustrada na Figura 5.12. Ao final dessa caixa, na abertura para a saída do ar para o plenum, existe um medidor de vazão de ar, que permite a monitoração pela leitura direta pelo sistema de controle (Figura 5.13).

Os volumes de ar frio e quente para a mistura são determinados pelo do controle microprocessado de dois *dampers* estanques instalados num dos ramos do duto de retorno, que regulam a vazão de ar quente. É importante esclarecer que o ar proveniente do retorno se divide em três partes, isto é, de uma caixa de ventilação contendo um ventilador de indução e sistema de filtragem parte um duto que se divide em dois ramos: um para expurgo e outro, que também se divide em dois, que conduz um percentual de ar quente para a caixa de mistura e o restante para o *fan coil*.

O sistema de dutos de retorno conta também com *dampers* estanques para o controle manual da vazão de expurgo, cujos valores medidos são monitorados por meio de sensores instalados na rede. Além disso, existe um *damper* adicional em um dos ramos de retorno que, se totalmente fechado, expurga todo o ar, implicando em taxa de renovação igual a 100%.

Figura 5.12 – Caixa de mistura

Figura 5.13 – Medidor de vazão de ar no insuflamento

Foi também instalado um *damper* fora da linha de dutos de retorno (na divisória entre a câmara de testes e a sala do *fan coil*) à altura do plenum superior, para o balanceamento das pressões internas, o que permite, também, que o ar quente retorne integralmente ao *fan coil*, em condição de 0% de ar externo. Ambas as possibilidades foram previstas com o intuito de se estudar futuramente assuntos ligados à qualidade do ar interno e consumo de energia, não fazendo parte, portanto, desta pesquisa.

O ar é distribuído no ambiente através de difusores circulares individuais, com jato espiralado, cujos componentes permitem ajustes manuais de vazão, instalados tanto no piso quanto nas mesas. O plenum inferior que fornece o ar distribuído é pressurizado, opera com valores de diferencial de pressão para o ambiente entre 5 e 20 Pa, mantidos constantes para cada condição de funcionamento determinada. Considerando que a demanda de vazão de ar no ambiente pode variar, alterando-se a pressão no plenum, a ação indicada para normalizá-la de acordo com um *set point* pré-estabelecido é a variação da frequência de rotação do ventilador do *fan coil*, cujos comandos são microprocessados, baseados na média de medidas de diferencial de pressão em dois pontos no plenum. O processo referente a esta ação é descrito no item 5.1.3.

Foi feito o comissionamento do sistema de condicionamento de ar instalado de acordo com os padrões normais de funcionamento nos edifícios, levando-se em conta também parâmetros específicos previstos inicialmente para a pesquisa, que estariam sujeitos a alterações futuras. Por exemplo, o circuito de ar foi equilibrado, através do ajuste dos *dampers* manuais, incluindo o ar externo para renovação, com diferencial de pressão entre o ambiente e a sala do *fan-coil* ajustado para a capacidade de vazão máxima de ar do

fan-coil. O *chiller* foi ajustado para condição de máximo rendimento ($\Delta T=5^{\circ}\text{C}$), trabalhando com temperatura da água de entrada a 12°C . Na linha hidráulica as pressões foram ajustadas para que a máxima vazão de água não ultrapasse a $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$. Os parâmetros para os ajustes foram definidos em função de observações do comportamento do sistema durante ensaios preliminares, para identificar condições de operação mais adequadas à estabilidade das condições térmicas do ambiente.

5.1.3. Sistema de automação e controle

O sistema de automação aplicado ao sistema de condicionamento de ar foi definido com base em uma estratégia de controle específica para atender às condições da pesquisa. Trata-se de um projeto flexível que possibilita alterações com aproveitamento total dos componentes instalados.

A concepção do projeto visou à otimização do controlador, em função do número de pontos de controle do sistema, necessários ao desenvolvimento da pesquisa. A especificação de periféricos contemplou a confiabilidade, conferida pelas características do seu range e da exatidão, procurando atender às exigências da norma ISO 7726 (1985).

As partes que compõem o sistema são: software de supervisão *Excel Building Supervisor – XBS*, versão 1.4.40, Rede de Comunicação tipo C – Bus e Unidade Remota de Controle (URC) Excel 500 – XL500, da Honeywell e transdutores, relacionados a seguir, cujas características são apresentadas na Tabela 5.1.

- Sensores de temperatura:
 - da água na entrada do *chiller* (01);
 - da água na saída do *chiller* (01);
 - da água na saída da serpentina do *fan coil* (01);
 - do ar na saída do *fan coil* (01);
 - do ar externo (01);
 - de ar no duto de *by pass* de retorno (antes da mistura) (01);
 - do ar na sala do *fan coil* (01);
 - do ar no duto de retorno (depois do ventilador de indução) (01);

- do ar no plenum superior – retorno (01);
- do ar no ponto de descarga – insuflamento (01);
- do ar no plenum inferior – (03) e
- do ar no ambiente – ponto médio da sala (01).
- Sensores de umidade relativa do ar:
 - no duto de ar externo (01);
 - no duto de ar expurgado (01);
 - no ponto de descarga – insuflamento (01)
 - no ambiente – ponto médio da sala (01)e
 - no plenum superior – retorno (01).
- Sensores de pressão dinâmica para determinação de vazões de ar:
 - no duto de ar externo (01);
 - no duto de ar expurgado (01);
 - no ponto de descarga – insuflamento (01);
 - no duto de ar frio para mistura (01)e
 - nos difusores de mesa (01).
- Sensores de pressão estática:
 - no plenum inferior – (02).
- Medidor de vazão de água:
 - na linha hidráulica de entrada na serpentina do *fan coil* (01).

A estratégia de controle se baseia em quatro *loops*, que são descritos a seguir:

- a) O primeiro *loop* atua no âmbito da unidade de refrigeração (*chiller*), onde o controle é feito sobre a temperatura da água de entrada. Um sensor de temperatura, instalado na rede hidráulica após a resistência de aquecimento, envia um sinal que determina o percentual de potência desse equipamento a ser utilizado para que a temperatura da

água de entrada atinja o valor de *set point*. Esse procedimento garante que a unidade não seja desligada em caso de baixa carga térmica e a temperatura da água na saída seja constante. Na saída de água do *chiller* foi instalado um outro sensor de temperatura com a finalidade de monitoramento.

Tabela 5.1 – Características dos sensores do sistema de controle

Sensor - Utilização	Tipo do elemento Sensor	Faixa de Medição	Precisão
Temperatura do ar	Sonda capacitiva RTD – PT 1000	-50° a 260°C	±0,5°C
Temperatura do ar	Sonda capacitiva RTD – PT 1000	-50°C a 65°C	±0,5°C
Temperatura da água	Sonda capacitiva RTD – PT 1000	-200°C a 260°C	±0,5°C
Umidade Relativa do ar	Compensação de temperatura - Circuito integrado	-20° a 80°C	±3%
Sensores de pressão	Células de capacitância diferencial	-0,2 a 0,2”ca	±1% da faixa de medição
Medidores de vazão de água	Diafragma		±1% do fundo de escala

- b) O segundo se refere ao controle da vazão de água gelada na serpentina do *fan coil*. Na rede hidráulica entre o *chiller* e o *fan coil*, a válvula de três vias para *bypass* de água gelada atua de acordo com o valor pré-definido da temperatura do ar na saída do *fan coil*, que deve ser constante. Além disso, um medidor de vazão de água na linha de entrada da serpentina permite o monitoramento desta variável.
- c) O terceiro consiste em variar a frequência de rotação do ventilador do *fan coil* em função de valores de diferencial de pressão do plenum para o ambiente, medidos por meio de sensores de pressão estática. A condição de projeto é que esse diferencial permaneça constante, em um valor predeterminado; isto é, havendo variações na demanda de vazão de ar no ambiente, o diferencial de pressão também sofre alterações, repercutindo no modo de operação de um variador de frequência instalado no sistema, que determina ações sobre o ventilador. É também possível monitorar o relatório de dados desse equipamento. Para não haver prejuízo nas avaliações de pressão no plenum, foram providenciadas instalações flexíveis, ou seja, cabos trançados com *shields*, soltos e de extensão suficiente para permitir o posicionamento do sensor em

qualquer ponto do plenum; os pontos mais adequados, determinados por experimentação, são aqueles de máximos e mínimos valores absolutos.

- d) O quarto *loop* permite a atuação de *dampers* de regulação da vazão de ar de retorno antes da mistura, em função da temperatura do ar insuflado no plenum inferior. Neste caso, um sensor de temperatura do ar, instalado no ponto de descarga (insuflamento), determina o percentual de abertura nos dois *dampers*, de forma a proporcionar uma mistura adequada para se atingir o objetivo, ou seja, a temperatura do ar de insuflamento. No ponto de leitura dos valores de temperatura foi instalado também um sensor de umidade do ar, fornecendo valores para monitoração. Essas medidas ajudam na definição de *set points* de temperatura para o ar frio, que estão condicionados, inclusive, a outros fatores, como por exemplo, às condições do ar externo.

Além dos *loops* de controle e os pontos monitorados descritos acima, são feitas a monitoração e aquisição de dados em outros pontos para que a avaliação dos parâmetros de conforto e do sistema seja completa. Esses pontos são: temperatura da água na saída da serpentina do *fan coil*; temperatura do ar em três diferentes pontos no plenum inferior; vazão de ar na boca de insuflamento e nos difusores de mesa; temperatura e umidade do ar de retorno no plenum superior, na sala do *fan coil* e no ambiente; temperatura, umidade e vazão do ar externo (para renovação); temperatura do ar no duto de *by pass* de retorno e no duto de retorno depois do ventilador de indução; temperatura e vazão de ar no duto de ar frio para mistura.

O sistema possui uma tela gráfica de interface onde é possível monitorar, em tempo real, as condições de operação do sistema de condicionamento de ar, além de fazer mudanças de *set points* diretamente pelo computador dedicado ao controle. O sistema gera relatórios de eventos e arquiva os dados de medição a cada segundo e, pela interface com o software Excell, pode gerar gráficos, tanto relativos a dados já arquivados quanto gráficos dinâmicos em tempo real. A Figura 5.14 exemplifica a tela de interface homem-máquina.

5.1.4. Sistemas de medição e aquisição de dados no ambiente

O laboratório conta com dois sistemas independentes para medição das variáveis ambientais, que são compostos de sensores, módulos de aquisição de dados (receptores e conversores de sinais) e *softwares*, com os dois sistemas montados sobre uma base

IBM/PC. Para a medição das temperaturas superficiais, os sensores são “termopares” do tipo cobre/constantan, em número de nove e para as grandezas físicas: temperatura do ar, temperatura radiante média (temperatura de globo), assimetria da temperatura radiante plana, umidade relativa e velocidade do ar, o conjunto, denominado SENSU, cujos sensores são os relacionados abaixo.

- 6 sensores de velocidade do ar (anemômetro de esfera quente);
- 6 sensores de temperatura do ar (termômetro de Bulbo Seco, sonda PT100);
- 1 termômetro de globo (diâmetro 150 mm, $\varepsilon = 0,93$, sensor tipo PT100);
- 1 sensor de umidade relativa (tipo capacitivo);
- 1 sensor de temperatura radiante orientada (tipo fluximétrico).

Na Tabela 5.2 são apresentadas as características dos instrumentos do sistema SENSU, que atendem às especificações da norma ISO 7726/1985.

Quanto à localização dos termopares, foram afixados às paredes, teto, piso e persianas, nos respectivos pontos centrais, sendo que os do piso localizam-se nas áreas das estações de trabalho. Quanto aos sensores do SENSU, foram instalados em um suporte móvel, em tubos de alumínio, especialmente fabricado para esta utilização, cuja arquitetura contempla a flexibilidade para mudanças nas direções horizontal e vertical.

Tabela 5.2 – Características dos instrumentos do sistema SENSU

Variáveis	Faixa de medição	Precisão
Temperatura do ar	10 – 30 °C	$\pm 0,2$ °C
Temperatura radiante média	10 – 40 °C	$\pm 0,5$ °C
Assimetria de radiação	0 – 20 K	± 1 K
Velocidade do ar	0,05 – 5 m/s	0,03 + 3% m/s
Umidade relativa	30 a 70%	3%

Além dos sistemas relacionados, o laboratório conta com outros equipamentos de suporte, como por exemplo, um Wattímetro digital, um conjunto digital de medidores de temperatura, umidade e velocidade do ar e um conjunto de termômetros de mercúrio calibrados, utilizados como referência para os demais sistemas.

Figura 5.14 – Tela de interface homem / máquina – sistema de controle

5.2. Testes de comparação e calibração dos transdutores dos sistemas de controle e de aquisição de dados no ambiente

Embora os instrumentos adquiridos para o laboratório tenham sido devidamente calibrados pelos seus fabricantes, verificou-se a necessidade da realização de testes comparativos com medidores padrão para averiguar possíveis diferenças de resultados de medições, dadas as diversidades de origem dos equipamentos e das condições de medições. A seguir, são feitas algumas considerações a respeito de cada tipo de medidor utilizado:

➤ Transdutores de temperatura do ar

Esses transdutores sofreram um teste de comparação com termômetro de mercúrio calibrado, em meio homogêneo (imersos em água), para determinação das curvas, representativas das variações e os respectivos desvios padrão, utilizadas para corrigir as medições definitivas.

➤ Transdutores de velocidade do ar

Estes transdutores, como não puderam ser comparados com outro elemento, sofreram ajustes no seu mecanismo, com regulagem dos sinais de tensão equivalentes ao “zero” de

velocidade, na condição de “ar parado” e a uma temperatura de referência de 28°C por indicação do fabricante.

➤ *Sensor de umidade relativa do ar*

Este sensor foi comparado com um outro (da Bruel & Kjaer), calibrado recentemente, sendo que os resultados obtidos nos testes comparativos foram equivalentes ao de referência, com variações de aproximadamente 3%, consideradas desprezíveis, dadas as características de precisão do equipamento.

➤ *Sensor de temperatura de globo*

Também neste caso, a comparação foi feita com o equipamento Bruel & Kjaer, simultaneamente ao de umidade do ar. Não foram identificadas também diferenças significativas entre os valores medidos pelos dois sensores, na faixa de temperatura avaliada.

➤ *Sensor de assimetria da temperatura radiante plana*

Este sensor, da mesma maneira que os três últimos, foi comparado com o da Bruel & Kjaer e os resultados indicaram uma correção em torno de 4°C, em função da curva obtida referente aos dados dos testes comparativos.

➤ *Termopares*

A calibração foi feita através do processo do banho termostático utilizando, como referência, termômetros de mercúrio padrão. A faixa de temperatura para calibração foi de 5°C a 50°C e as curvas obtidas para cada termopar indicaram a necessidade de correções individuais que variam de -2,3 a -3,1°C.

➤ *Sistema de Controle*

Para os sensores deste sistema, os testes de comparação foram realizados sob diversas condições, num processo evolutivo de tentativas, com vistas à minimização de erros aleatórios intervenientes no equilíbrio do sistema em funcionamento e nos resultados das medições definitivas.

Para avaliar o comportamento desses sensores por meio de comparações com padrão (temperatura) e outro equipamento calibrado disponível (Bruel & Kjaer) simultaneamente, foram feitas várias tentativas, entretanto, com resultados insatisfatórios do ponto de vista

do seu comportamento sob diferentes condições de atuação. Sendo assim, foi criada a condição: ambiente sem dissipadores de calor, com a sala fechada; apenas recirculação do ar interno – sem refrigeração e sem ar externo e, portanto, sem desumidificação; temperatura constante no ponto médio da sala como referência (24°C) e termômetro de mercúrio padrão para comparação com o controle.

Como em todos os pontos houve coincidência de valores, quando comparados entre si, concluiu-se que não havia necessidade de se fazer correções nas medidas dos sensores do sistema, pois suas condições de medição estão satisfatórias, isto é, o sistema está calibrado.

Capítulo 6

MÉTODO DE TRABALHO

A avaliação das condições de conforto térmico no ambiente se baseou em medições locais das variáveis de conforto e no levantamento do nível de satisfação dos usuários incluídos nos testes. O método aplicado compõe-se de técnicas utilizadas por Fanger (1972), em procedimentos indicados nas normas: ISO 7730 (1994), ISO 7726 (1985), ASHRAE Standard 55a (1995) e técnicas e procedimentos de Avaliação Pós-Ocupação (Leite, 1997), constituindo-se em um método específico para esta aplicação.

A pesquisa experimental foi feita através de ensaios, realizados nas três etapas seguintes:

- 1ª etapa** – medições das variáveis de conforto térmico no ambiente e de variáveis do sistema – sob seis condições térmicas diferentes, com insuflamento pelo piso para condicionamento geral, usando simuladores que dissipam calor equivalente ao das pessoas.
- 2ª etapa** – avaliação subjetiva do conforto térmico, com a substituição dos simuladores por pessoas no ambiente (usuários), nas mesmas condições da Etapa 1.
- 3ª etapa** – medições das variáveis de conforto nas zonas de ocupação – *micro climas* – na condição de condicionamento individualizado, promovido por ajustes de vazão de ar e direcionamento do fluxo pelos usuários.

Para avaliar as possibilidades de redução no consumo de energia oferecidas pelo sistema de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso, foram feitas:

- a) medições das variáveis inerentes ao sistema e monitoração simultânea de fatores externos intervenientes no modo de operação, com vistas à sua otimização;
- b) identificação de possibilidades de redução na carga de refrigeração, pelo incremento de temperatura e velocidade do ar no ambiente, com valores

definidos com base nos resultados da avaliação do ambiente térmico pelos usuários.

Os itens “a” e “b” conduzem à formulação de estratégias de funcionamento e de controle do sistema, para reduzir o consumo de energia, mas com conforto.

A seguir, são apresentadas, separadamente, as etapas do trabalho experimental, destacando os objetivos específicos de cada etapa, as condições em que foram realizados os ensaios, bem como os procedimentos e técnicas utilizados.

6.1 Primeira etapa

O objetivo desta etapa foi avaliar as condições térmicas do ambiente, promovidas pelo sistema de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso, para a identificação das condições de conforto e de desconforto localizado, tomando como base, os parâmetros de conforto de Fanger. Nesta etapa, quando apenas os difusores de piso permaneceram abertos para o suprimento de ar no ambiente e contando com simuladores para dissipar calor no lugar de pessoas, foram feitas medições locais das variáveis ambientais de conforto térmico. Os resultados, representados pelos perfis das respectivas variáveis, permitiram a caracterização do ambiente térmico e a comparação deste com o proposto por Fanger (1972) como ideal para conforto, usando como referencial os valores de PMV calculados em função dos dados coletados. Ou seja, foram identificadas as condições de conforto e de desconforto local existentes no ambiente avaliado.

6.1.1 Condições do ambiente

Como o ambiente em estudo é de escritórios, o tipo de atividade desenvolvida é leve, com taxa de metabolismo (M) de cerca de 1,2 met ($69,6 \text{ W/m}^2$); considerou-se que as vestimentas mais usuais nos escritórios brasileiros apresentam índices de isolamento térmico na seguinte faixa: $0,5 \text{ clo} \leq I_{cl} \leq 1,0 \text{ clo}$, que variam dependendo das condições térmicas internas e externas ao edifício.

Para estas condições, a ISO 7730 (1994) sugere que as temperaturas operativas (t_o) ideais para conforto devem estar na faixa de 21°C a 26°C , para valores de velocidade relativa do ar (V_a) de $0,10 < V_a \leq 0,30 \text{ m/s}$ e umidade relativa do ar (UR) em torno de 50%.

Esses parâmetros, extraídos da zona de conforto (Fig. 6.1) determinada por Fanger (1972) e adotada pela ISO 7730 (1994), foram escolhidos para servirem de referência para se criar seis diferentes condições na sala (uma para cada ensaio), em regime permanente, abrangendo condições típicas para inverno e verão (Fig. 6.2). Essas condições foram representadas pelas temperaturas do ar no ponto médio (com relação ao plano do piso e à altura) da câmara de testes, associadas à faixa de umidade relativa do ar $30\% \leq UR \leq 60\%$.

Figura 6.1 – Temperatura operativa ótima (PMV=0) em função da vestimenta e da atividade (ISO 7730, 1994)

Figura 6.2 – Faixa da zona de conforto dos ensaios

As condições criadas foram as seguintes:

$$\textbf{Condição 1} \rightarrow t_a = 26^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$$

$$\textbf{Condição 2} \rightarrow t_a = 25^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$$

$$\textbf{Condição 3} \rightarrow t_a = 24^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$$

$$\textbf{Condição 4} \rightarrow t_a = 23^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$$

$$\textbf{Condição 5} \rightarrow t_a = 22^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$$

$$\textbf{Condição 6} \rightarrow t_a = 21^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$$

Embora os valores de referência para conforto sejam relativos à temperatura operativa, foram usados, como base para a definição dessas condições, valores de temperatura do ar, por serem os valores de t_o , à priori, desconhecidos. Entretanto, esta variável pôde ser considerada válida como referência porque, em ensaios preliminares realizados, onde a temperatura de globo (t_g) foi medida nas seis condições referidas, os valores encontrados se apresentaram próximos aos das temperaturas do ar ($|t_g - t_a| \leq 1^\circ\text{C}$) nos mesmos locais e em condições de baixas velocidades do ar ($V_a \leq 0,2$ m/s).

Para dissipar calor no ambiente, foram instalados os equipamentos relacionados na Tabela 6.1, com valores reais de potência consumida. Uma vez que praticamente não há troca de calor entre os meios interno e externo à câmara de testes, a carga interna no ambiente pôde ser considerada constante para as seis condições.

Tabela 6.1 – Cargas internas

Quatro microcomputadores	390,4 W
Quatro simuladores – (pessoas em atividade leve)	399,6 W
16 lâmpadas fluorescentes com reatores eletrônicos	696 W
80 lâmpadas incandescentes, para simular a radiação solar em superfície envidraçada	2723,1 W.
Total	4.209,1 W
Carga interna	121,00 W/m ²

6.1.2 Variáveis medidas

Em cada condição criada no ambiente, foram realizadas medições das variáveis primitivas e derivadas de conforto utilizando critérios e procedimentos em conformidade com as determinações da ASHRAE 55a (1992) e ISO 7726 (1985):

- *Temperatura do ar*
- *Umidade relativa do ar*
- *Velocidade do ar*
- *Temperatura de globo*
- *Assimetria da temperatura radiante*
- *Temperatura superficial do piso.*

6.1.3 Pontos de medição

As medições foram feitas em vinte pontos, determinados previamente em planta (Fig. 6.3), cobrindo toda a área da sala (câmara de testes), ou seja, *zonas de ocupação* (estações de trabalho com os simuladores S1 a S4), *zona periférica* (próxima ao painel de lâmpadas) e *zonas de circulação*.

Nas *zonas de ocupação*, foram determinados três pontos para medição em torno de cada simulador, equidistantes 33 cm do seu centro (o simulador é cilíndrico), totalizando 12 pontos (P1 a P12). As normas referidas anteriormente sugerem que sejam feitas medições em um ponto de cada estação de trabalho; entretanto, este número foi ampliado para possibilitar a verificação de possíveis variações de temperatura e velocidade do ar e da radiação em torno de cada simulador (equivalente a uma pessoa sentada), uma vez que as suas posições nas estações de trabalho, com relação às principais fontes de radiação, aos difusores e às obstruções (divisórias), não são iguais.

Para a *zona periférica* e a de *circulação* foram determinados quatro pontos, sendo um para cada área, localizados aproximadamente nos seus respectivos centros (P13, P14 e P15 nas áreas de circulação e P16 na zona periférica). Estes pontos serviram para avaliar as condições térmicas para pessoas em pé.

Figura 6.3 – Pontos de medição

Além dessas, foram feitas medições em mais quatro pontos (P17 a P20), localizados nos centros dos difusores, que permitiram a determinação dos perfis de velocidade e temperatura do ar fornecido diretamente ao ambiente, para servirem de referência, tanto para as análises das condições térmicas no ambiente quanto para a estimativa das características do escoamento e das distribuições de temperatura do ar no plenum.

Em cada ponto, as variáveis foram medidas nas seguintes alturas (níveis):

- *Temperatura e velocidade do ar*, nos níveis 0,10; 0,60; 1,10; 1,70; 2,00 e 2,35 m, sendo: 0,10; 0,60 e 1,10 m, recomendados para avaliação do conforto de pessoas sentadas e 0,10; 1,10 e 1,70m, para pessoas em pé. Os demais níveis (superiores) medidos foram adicionados para a verificação da estratificação da temperatura do ar no pé direito da sala.

- *Temperatura de globo, assimetria de temperatura radiante e umidade relativa do ar*, no nível 0,60 m, nas zonas de ocupação dos simuladores S3 e S4 e a 1,10 m de altura nas zonas ocupadas pelos simuladores S1 e S2, sendo esta diferença de níveis, devido à ocorrência de obstruções à principal fonte de radiação; no nível 1,10 m, nas zonas de circulação e periférica (pessoas em pé).
- *Temperaturas superficiais do piso*, nas zonas de ocupação, com termopares em contato com a superfície de carpete.

A Figura 6.4 ilustra o posicionamento dos transdutores nos pontos de medição.

Figura 6.4 – Sistema de aquisição de dados no ambiente – SENSU

6.1.4 Períodos de medição

Para estabelecer um período de medição adequado, antes de realizar os testes definitivos foram feitos ensaios preliminares, nas seis condições criadas no ambiente, com medições pelos sistemas de aquisição de dados no ambiente e o monitoramento das variáveis inerentes ao sistema. Os resultados indicaram que o ambiente pôde ser considerado estacionário (regime permanente), tendo em vista que, durante o período ininterrupto (de cerca de oito horas), os valores se apresentaram praticamente constantes.

Pelo fato das condições térmicas criadas no ambiente terem sido próximas às do conforto e as temperaturas não terem sofrido variações significativas durante o período dos testes, de acordo com Fanger (1972), o ambiente pode ser considerado “moderado”.

De acordo com a ISO 7726 (1985), ambientes com as características apresentadas podem ser classificados como tipo C e, para esta classificação, a ASHRAE Standard 55a (1995) sugere que o período mínimo e desejável para medições da temperatura seja de **um minuto** e da velocidade do ar seja de **três minutos**. Contudo, optou-se por adotar um período de **cinco minutos** para medição em cada ponto, com intervalo de cinco a dez minutos entre um ponto e outro para a estabilização dos transdutores.

6.1.5 Condições de operação do sistema

Paralelamente às medições das variáveis de conforto, outras referentes à operação do sistema, foram medidas e monitoradas continuamente, durante cada ensaio, para garantir que as condições criadas no ambiente permanecessem constantes:

1. Circuito de água:

- *Temperatura da água na entrada do chiller* – para cada condição estabelecida no ambiente, foi determinado um valor fixo de temperatura para operação do *chiller* (*set point* adotado no sistema de controle), dentro da faixa de melhor rendimento do equipamento (12°C a 14°C). Este valor foi mantido constante através de reposição de carga proporcional (reaquecimento) promovida pela resistência adicionada à linha hidráulica. O objetivo deste controle foi manter constante a temperatura da água na saída do *chiller*, para evitar flutuações de temperatura do ar na saída do fan coil;
- *Temperatura da água gelada na entrada da serpentina do fan coil* – os valores referentes a esta variável, como consequência dos ajustes referidos anteriormente, visou minimizar a desumidificação do ar de retorno pela condensação em contato com a serpentina, porque nesta etapa não houve participação de pessoas.

2. Circuito de ar:

- *Temperatura e umidade do ar externo* – estas variáveis foram monitoradas para adequação dos parâmetros de operação do sistema às condições externas;

- *Vazão do ar expurgado* – valores medidos para servirem de referência para a determinação da vazão do ar de renovação, por meio do balanceamento das pressões internas, pelos ajustes manuais de *dampers*;
- *Temperatura e umidade do ar na sala do fan coil* – variáveis medidas para que, em comparação com as correspondentes do ar insuflado no plenum, permitissem intervenções no sistema no caso de haver alterações significativas na umidade do ar resultante no ambiente;
- *Temperatura do ar de retorno* – a medição desta variável permitiu o controle da vazão de ar insuflado no plenum, pela sua diferença com relação à temperatura do ar no ponto médio do ambiente;
- *Temperatura do ar na saída do fan coil* – para cada ensaio, foi determinado um valor fixo, acima da temperatura do ponto de orvalho, para se atingir a temperatura desejada no ambiente. Trata-se de uma variável sujeita ao sistema de controle e os *set points* adotados foram determinados empiricamente nos ensaios preliminares; os valores encontrados foram os mais adequados, tendo em vista a arquitetura do sistema (por exemplo, as características da caixa de mistura e a capacidade do ventilador de indução);
- *Vazão de ar frio antes da caixa de mistura* – esta variável foi medida para checar os percentuais de ar frio e quente na mistura, além de contribuir para detectar possíveis perdas de ar por frestas, por meio do balanço de massa;
- *Temperatura do ar insuflado no plenum* – para cada condição criada no ambiente, foi especificada uma temperatura para o ar de insuflamento no plenum, na faixa de 18°C a 21°C, que foram os *set points* utilizados na operação do sistema. Os valores desta temperatura foram também definidos empiricamente nos testes preliminares;
- *Umidade relativa do ar insuflado no plenum* – variável medida para checar se a umidade do ar permanecia dentro da faixa adotada, durante cada ensaio;
- *Vazão do ar insuflado no plenum* – medições contínuas para monitoramento das vazões totais de ar de descarga, adotadas para os ensaios, tendo sido definidas, *a priori*, em função da carga interna e do diferencial de temperatura entre o insuflamento e o retorno;

- *Temperatura e umidade relativa do ar no ambiente* – estas variáveis monitoradas serviram de referência para os ajustes do sistema para que este operasse de modo a que as condições estipuladas para os ensaios fossem atingidas e mantidas;
- *Temperatura do ar no plenum* – medições contínuas em três pontos do plenum para monitoração das distribuições de temperatura naquele local e para auxiliar nos ajustes do sistema;
- *Diferencial de pressão estática entre o plenum e o ambiente* – medições contínuas em dois pontos do plenum/ambiente, cuja média, através do sistema de controle, mantém constante a pressão no plenum e, conseqüentemente, a vazão de ar insuflado.

A tabela 6.2 contém os parâmetros de funcionamento do sistema durante os ensaios.

Tabela 6.2 – Parâmetros de funcionamento do sistema

Variáveis	Condições de ensaio					
	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6
Temp. ar ambiente (°C)	25,8	25,2	24,1	23,2	22,1	20,8
Umidade ar ambiente (%)	42,0	45,0	43,0	48,0	57,0	63,0
Temp. ar retorno (°C)	27,2	26,6	24,5	24,4	23,4	22,4
Umidade ar retorno (%)	40,0	42,0	40,0	45,0	52,0	57,0
Temp. ar saída <i>fan coil</i> (°C)	13,9	14,2	13,1	13,9	14,8	15,0
Temp. ar insuflamento (°C)	19,9	19,5	19,0	17,9	16,3	15,4
Umidade ar insuflamento (%)	63,0	65,0	62,0	70,0	81,0	86,0
Temp. água entrada serpentina (°C)	9,0	9,0	8,0	8,9	9,1	9,0
Temp. água entrada <i>chiller</i> (°C)	13,8	14,1	12,9	14,1	14,0	14,2
Pressão est. plenum (Pa)	9,0	9,6	11,2	13,7	18,1	18,9

6.1.6 Tratamento dos dados

Nesta etapa, a aquisição dos dados foi feita a cada 0,2 segundos, com médias calculadas e gravadas, a cada 10 segundos, em arquivo de planilha eletrônica. Para cada período de 5 minutos, foram determinadas as médias aritméticas das medidas e os desvios

padrão. Essas médias, por ponto e nível medidos, compuseram os perfis relativos a cada grandeza.

6.1.7 Aspectos analisados

Os resultados desta etapa da pesquisa permitiram a análise:

- a. das características térmicas apresentadas no ambiente,
- b. da compatibilidade dessas características com os requisitos para ambientes térmicos aceitáveis propostos por Fanger (1972) e adotados pelas normas ISO 7730 (1994), conforme apresentado no Capítulo 4.

6.2 Segunda etapa

Esta etapa consistiu na avaliação subjetiva do ambiente nas mesmas seis condições térmicas adotadas na anterior. Este tipo de avaliação permite determinar os níveis de satisfação dos usuários com relação ao ambiente térmico, os quais representam valores de **PMV reais**; neste caso, eles definiram os parâmetros de conforto adequados para usuários de edifícios de escritórios brasileiros com as mesmas características do ambiente avaliado. Estes resultados foram comparados com os calculados na 1ª. etapa para verificar se os parâmetros já consagrados são adequados para a elaboração de projetos, dimensionamento de sistemas e seus modos de operação, quando a distribuição do ar é feita pelo piso.

As análises dos dados nesta etapa seguem a seguinte ordem:

- a. A determinação, para cada condição de ensaio, das melhores condições de conforto representadas pelas características térmicas presentes nos postos de trabalho, por meio dos valores de PPD reais;
- b. A determinação, pela comparação dos resultados anteriores, da condição de ensaio que mais satisfaz aos usuários, considerando os níveis mínimos de PPD de cada condição;
- c. A determinação dos limites das condições de conforto adequados para o ambiente analisado por meio da comparação dos PPDs calculados na primeira etapa com os

PPDs reais, da segunda etapa, considerando a proximidade dos parâmetros reais aos de Fanger, indicados pela ISO 7730 (1994);

- d. A definição da zona de conforto real, com base nos resultados do item “c”

Para esta avaliação, os simuladores instalados na câmara de testes foram substituídos por pessoas (usuários), que deram opiniões sobre suas sensações térmicas, expressas através de respostas às questões contidas em um questionário, cujo modelo se encontra no Anexo A.

6.2.1 Definição da amostra.

Alguns fatores essenciais, cuja influência deve ser levada em conta na interpretação dos resultados, foram observados na determinação da amostra: idade, sexo, massa e altura, área superficial, nutrição, treinamento atlético, clima, altitude, sono e temperatura corporal (Ferreira, 2001). Todas as pessoas convidadas, que participaram voluntariamente da pesquisa, desenvolvem atividades de escritórios no seu dia a dia.

O número de pessoas participantes foi de 33 (17 homens e 16 mulheres). A faixa etária escolhida foi de 20 a 40 anos, por ser esta a predominante nos edifícios de escritórios contemporâneos brasileiros (Leite, 1997); a maioria dos usuários tem nível de escolaridade superior (completo ou incompleto). Quanto aos tamanhos das pessoas, procurou-se, na medida do possível, enquadrá-las aos padrões brasileiros, isto é, Área de DU BOIS (A_D) em torno de $1,8 \text{ m}^2$ para homens e $1,6 \text{ m}^2$ para mulheres (Tab. 6.3). Todas as pessoas são brasileiras (a menos de um casal que é colombiano) e nenhuma delas pratica esportes com frequência. À época dos testes, nenhuma delas apresentou estado febril ou qualquer outro tipo de sintoma de doença infecciosa ou inflamatória. Como os ensaios foram realizados no período da tarde, as pessoas não estavam sonolentas; além disto, nenhuma delas apresentou características de subnutrição ou excesso de peso.

6.2.2 Vestimenta das pessoas

Como as condições térmicas do ambiente às quais as pessoas foram submetidas se situam numa faixa de temperaturas com características desde inverno até verão, as roupas utilizadas foram escolhidas para se adequarem a essas condições, como também aos

costumes brasileiros, com tecidos e modelos iguais para homens e mulheres. Na Tabela 6.4 são apresentadas as peças utilizadas, suas características e seus índices de isolamento (I_{cl}); na Tabela 6.5 se encontram os conjuntos de roupas usados para cada par de condições de ensaios e os respectivos índices de isolamento, sendo ($I_{cl} = \sum_{i=1}^n I_{cl_i}$).

Os índices de isolamento térmico dos conjuntos de peças de roupas (I_{cl}) apresentados na Tabela 6.5 são a somatória simples dos índices relativos a cada peça, em acordo com a norma ISO 9920 (1995) e Olesen (1985) apud ASHRAE (2001).

Tabela 6.3 – Características da amostra

	FAIXAS	HOMENS	MULHERES
		Quantidade	Quantidade
IDADE (anos)	20 a 25	04	06
	26 a 30	05	04
	31 a 35	06	06
	36 a 40	02	00
ALTURA (m)	1,50 a 1,60	00	07
	1,61 a 1,70	05	09
	1,71 a 1,80	08	00
	1,81 a 1,90	04	00
MASSA (kg)	45,0 a 55,0	01	07
	56,0 a 65,0	04	06
	66,0 a 75,0	03	03
	76,0 a 85,0	04	00
	86,0 a 95,0	04	00
	96,0 a 100,0	01	00
ÁREA DU BOIS (m²)	1,45 a 1,55	00	06
	1,56 a 1,65	02	05
	1,66 a 1,75	02	03
	1,76 a 1,85	04	02
	1,86 a 1,95	02	00
	1,96 a 2,05	03	00
	2,06 a 2,15	02	00
	2,16 a 2,25	02	00

Tabela 6.4 – Características das peças de roupas utilizadas nos ensaios

	Nº Peça	Descrição da Peça	I_{clt} (clo)
Homens	01*	Calça comprida	0,25
	02**	Camisa de manga comprida	0,31
	03**	Camisa de manga curta	0,24
	04*	Paletó de manga comprida	0,41
	05	Gravata	0,02
	06	Cuecas	0,03
	07	Meias	0,03
	08	Sapato	0,03
Mulheres	09*	Calça comprida	0,25
	10**	Blusa de manga comprida	0,33
	11**	Blusa de manga curta	0,24
	12*	Paletó de manga comprida	0,38
	13	Lenço de pescoço	0,02
	14	Calcinha / Soutien	0,06
	15	Meias	0,03
	16	Sapatos	0,03

Materiais: *100% poliéster (microfibra); ** 35% algodão e 65% poliéster

Tabela 6.5 – Conjuntos de peças de roupas utilizadas nos ensaios

	Combinação	I_{cl}	Combinação	I_{cl}	Combinação	I_{cl}
Homens	01, 03, 06, 07 e 08	0,6	01, 02, 05, 06, 07 e 08	0,7	01, 02, 04, 05, 06, 07 e 08	1,1
Mulheres	09, 11, 14, 15 e 16	0,6	09, 10, 13, 14, 15 e 16	0,7	09, 10, 12, 13, 14, 15 e 16	1,1

6.2.3 Procedimentos de ensaios.

A duração desta etapa foi de 27 dias, com os testes realizados nos períodos da tarde. O sistema de condicionamento de ar foi ajustado para proporcionar as mesmas condições térmicas internas da primeira etapa.

Para a realização dos ensaios, a amostra foi dividida em grupos de quatro pessoas (na maioria das vezes, dois homens e duas mulheres) que se submeteram, na câmara de testes, a duas condições térmicas subseqüentes por dia; isto é, cada pessoa compareceu ao laboratório três vezes, em dias diferentes.

As condições térmicas foram agrupadas da seguinte maneira, com abaixamento subseqüente de 1°C na temperatura:

- Condição 1 seguida da Condição 2;
- Condição 3 seguida da Condição 4;
- Condição 5 seguida da Condição 6.

As seqüências foram definidas nesta ordem para facilitar os ajustes do sistema e conseguir condições térmicas estáveis no ambiente no menor tempo possível.

Para cada ensaio, as pessoas do grupo, após se vestirem com as roupas adequadas adquiridas para a pesquisa, permaneceram durante uma hora em uma sala, próxima à câmara de testes, com temperatura aproximadamente igual à da condição à qual seriam submetidas. Em seguida, entraram na câmara e ocuparam, cada uma, os postos de trabalho existentes, de forma aleatória. As figuras 6.5 a 6.8 ilustram a ocupação dos postos de trabalho.

Depois de permanecerem sentadas, por 50 minutos, desenvolvendo atividades de escritórios, foi solicitado a elas que respondessem às perguntas do questionário (modelo do questionário no anexo A). Após terem terminado de responder às perguntas, foi solicitado que ficassem de pé durante 10 minutos, no mesmo local onde estavam sentadas e, em seguida, respondessem às questões 16 e 17 do bloco B e saíssem da sala.

Com a sala vazia, foi feita a mudança de condição térmica na câmara de testes, exigindo uma hora para que o sistema entrasse em equilíbrio e a condição interna da câmara de teste ficasse estável. Após este procedimento, as pessoas voltaram para seus postos de trabalho (os mesmos ocupados na primeira vez) e repetiram as tarefas. Em todos os ensaios foi feita a documentação fotográfica, ilustrada pelas Figuras 6.9 a 6.14.

É importante salientar que, na falta de algum membro do grupo, foi colocado, no seu lugar, um simulador para não variar a carga interna. Além disso, os simuladores foram também utilizados nos períodos de estabelecimento das condições no ambiente, tanto antes dos ensaios quanto nos intervalos.

Figura 6.5 – Planta da sala com as pessoas

Figura 6.6 – *Lay out* de escritório na câmara de testes

Figura 6.7 – Estação de trabalho individual

Figura 6.8 – Estação de trabalho para duas pessoas

Figura 6.9 – Ensaio com vestimenta 0,6 clo

Figura 6.10 – Ensaio com vestimenta 0,6 clo

Figura 6.11 – Ensaio com vestimenta 0,7 clo

Figura 6.12 – Ensaio com vestimenta 0,7 clo

Figura 6.13 – Ensaio com vestimenta 1,1 clo

Figura 6.14 – Ensaio com vestimenta 1,1 clo

6.2.4 *Questionário aplicado.*

Para a elaboração do questionário, levou-se em conta a objetividade, com perguntas estritamente necessárias para se obter as informações desejadas; além disto, procurou-se utilizar uma linguagem simples, para não haver dúvidas quanto ao significado dos termos técnicos. Todas as questões são fechadas; não foram incluídas questões abertas (como, por exemplo, “dê sua opinião”) para não haver falsos diagnósticos, devido às possíveis interpretações pessoais de respostas duvidosas pela sua subjetividade.

O questionário aplicado contém informações pessoais e as perguntas estão divididas em três blocos, sendo:

Bloco A – *Conforto* – com perguntas que envolvem as variáveis, relativas a este aspecto, como: temperatura operativa, umidade relativa do ar e velocidade do ar. Optou-se por não adotar os termos técnicos explicitamente para não confundir as pessoas. Por exemplo, foi usado o termo “temperatura do ar” ao invés de “temperatura operativa”, por ser o primeiro, mais familiar. A umidade do ar foi abordada sob forma de sintomas físicos e a velocidade do ar, foi tratada como “movimento do ar”.

Bloco B – *Desconforto Local* – as questões abrangeram os aspectos de: diferença vertical de temperatura (sentados e em pé), assimetria da temperatura radiante, correntes de ar e temperatura do piso. Neste bloco, foi também introduzida uma pergunta sobre a preferência individual quanto à velocidade do ar, como preparatória para a etapa seguinte (3ª etapa da pesquisa).

Bloco C – *Perguntas Gerais* – a pergunta sobre a adequação da vestimenta, com o objetivo de auxiliar no entendimento das respostas às perguntas anteriores e à pergunta final, sobre o desejo de controlar as condições do seu próprio ambiente, também foi uma preparação para a etapa seguinte da pesquisa.

A escala de valores adotada, de sete pontos, foi escolhida para possibilitar comparações com os resultados das pesquisas de Fanger, onde esta mesma escala foi adotada.

6.3 Terceira etapa

A última etapa tratou da avaliação do ambiente nos postos de trabalho, nas condições térmicas criadas por usuários, de acordo com suas preferências. Estas condições foram obtidas pelos ajustes manuais de vazão de ar (com incremento de velocidade do ar) e direcionamento do fluxo, por meio de difusores instalados nas mesas (postos de trabalho), onde a temperatura operativa adotada para o ambiente foi superior à máxima aceita ainda como confortável, na etapa anterior.

Esta avaliação foi realizada para definir os parâmetros limites de temperatura e velocidade do ar para conforto, bem como de temperatura e vazão do ar de insuflamento, para que o sistema opere com o menor gasto de energia, sem prejuízo do conforto; tratando-se, portanto, de uma estratégia de operação para a conservação de energia.

6.3.1 Condições do ambiente

As condições estabelecidas para o ambiente foram as mesmas dos ensaios anteriores, tanto no que se refere à carga interna, quanto aos parâmetros de umidade relativa e ao *set point* de diferencial de pressão entre o plenum e o ambiente. Entretanto, para a temperatura do ar no ponto médio da sala, foi adotado um valor próximo de 28°C, ou seja, em torno de 2°C acima do adotado para a condição limite para conforto, com tendência para o “quente”. Para que esta condição fosse atingida, o valor de *set point* da temperatura do ar de insuflamento também teve que ser aumentado e, conseqüentemente, os demais parâmetros, para controle da operação do sistema, foram alterados adequadamente.

6.3.2 Procedimentos de ensaios.

Nos ensaios desta etapa, houve a participação das mesmas pessoas da amostra anterior. Neste caso, porém, os ensaios foram individuais. A câmara de testes foi preparada com antecedência, ou seja, a condição de regime permanente foi estabelecida e, somente depois, uma pessoa vestindo a mesma roupa utilizada nas condições 1 e 2 da primeira etapa, ocupou a estação de trabalho ocupada anteriormente pelo simulador S2, onde permaneceu sentada, desenvolvendo atividade de escritório (Fig. 6.15).

Figura 6.15 – Posto de trabalho ocupado para controle individual de vazão de ar

Depois de 20 minutos, foram feitas medições das variáveis ambientais em torno da pessoa, do mesmo modo em que foram feitas na primeira etapa. Após as medições, já tendo decorrido mais de 60 minutos, o usuário participante foi solicitado a manipular o difusor de mesa para ajustar a vazão de ar e a direção do fluxo, até que a condição térmica de sua preferência fosse atingida.

O tempo para os ajustes variou de pessoa para pessoa, dependendo da sua sensibilidade. Entretanto, após a pessoa manifestar sua sensação de conforto, ela ainda permaneceu no local por, pelo menos, mais 30 minutos, para se certificar de que a condição criada por ela era realmente confortável.

Após a condição térmica individual ter sido estabelecida, foram feitas novas medições em torno da pessoa, que ficou no lugar que o simulador 2 ocupou na primeira etapa. Neste intervalo, foram feitas perguntas relativas às suas sensações a respeito das condições térmicas que ela criou, bem como sobre a temperatura e velocidade do ar nos difusores de mesa. É importante destacar que este ensaio durou, para cada pessoa, no mínimo duas horas.

Este procedimento não consta em nenhuma bibliografia ou norma. Foi adotado, com base em observações feitas pela pesquisadora, durante os experimentos realizados na etapa anterior (2^a. etapa), quando percebeu-se que estes períodos eram suficientes para que as pessoas se acostumassem ao ambiente térmico ao qual estavam sujeitas e estivessem aptas a opinarem sobre ele.

6.3.3 *Medições*

As variáveis medidas são as mesmas referidas no item 6.1.2, nos mesmos pontos de medição da primeira etapa, localizados na estação de trabalho ocupada pela pessoa e com o mesmo período de medição (Fig. 6.16). Também nesta etapa, as variáveis do sistema foram monitoradas, sendo algumas delas medidas, para comparação de valores com os da primeira, com vistas à definição de possibilidades de redução no consumo de energia, pelo modo de operação do sistema.

Figura 6.16 – Pontos de medição (P4 a P6) em torno da pessoa

6.3.4 *Tratamento dos dados*

Os dados coletados nesta etapa sofreram os mesmos tratamentos utilizados nas etapas anteriores, cujos resultados permitiram a determinação dos limites de acréscimos de temperatura e velocidade do ar no ambiente, sem que fosse afetado o conforto das pessoas, conforme resultados apresentados no Capítulo 9.

Capítulo 7

ANÁLISE QUANTITATIVA DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO NO AMBIENTE

Esta etapa da pesquisa permitiu verificar se as condições térmicas, promovidas pelo sistema de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso ao ambiente estudado, atenderam aos requisitos de conforto propostos pelas normas de referência.

Os dados das medições tabulados geraram gráficos relativos a cada grandeza e por ponto, que foram simplificados pelas curvas representativas das médias em cada ponto e em cada nível, agrupados pelo tipo de ocupação (**simuladores** 1 a 4 = zona ocupada; **circulação** = pontos P13 a P16; **difusores**). Esta simplificação permitiu, tanto a análise pontual quanto global, das condições no ambiente (de *desconforto geral e localizado*). Os gráficos condensados e a tabela das variáveis de conforto térmico são apresentados no item 7.1 deste capítulo e as tabelas com os dados de medição e de cálculos se encontram nas Tabelas B.1 a B.18 (Anexo B).

A seguir, são apresentadas as análises das condições térmicas obtidas no ambiente e a avaliação do conforto térmico proporcionado por essas condições, sob o ponto de vista do desconforto térmico geral e local, conforme definido no Capítulo 4.

7.1. Resultados das medições e análise das condições térmicas do ambiente

A análise foi feita com base nos resultados dos perfis de temperatura e velocidade do ar constantes dos gráficos das Figuras 7.1 a 7.6. Esses gráficos se referem às seis condições de ensaio, que tiveram como referência as temperaturas médias no centro geométrico da câmara de testes (de 26°C a 21 °C), que correspondem respectivamente às condições C1 a C6, apresentadas no Capítulo 6).

Figura 7.1 – Perfis de temperatura e velocidade do ar – Condição 1

Figura 7.2 – Perfis de temperatura e velocidade do ar – Condição 2

Figura 7.3 – Perfis de temperatura e velocidade do ar – Condição 3

Figura 7.4 – Perfis de temperatura e velocidade do ar – Condição 4

Figura 7.5 – Perfis de temperatura e velocidade do ar – Condição 5

Figura 7.6 – Perfis de temperatura e velocidade do ar – Condição 6

Tabela 7.1- Variáveis para a análise do conforto térmico – médias no nível 0,60m

Condição 1 (26°C)								
	Simulador1	Simulador2	Simulador3	Simulador4	P13	P14	P15	P16
t_a	24,3	24,3	25,9	25,7	25,3	25,5	25,0	26,6
t_g	24,8	24,7	26,0	26,1	24,6	24,8	25,2	26,4
h_{cg}	1,58	1,55	1,07	1,50	1,73	1,75	1,27	1,23
$\overline{t_r}$	25,0	24,9	26,0	26,2	24,4	24,5	25,2	26,3
t_o	24,7	24,6	26,0	26,0	24,8	25,0	25,1	26,4
V_a	0,08	0,05	0,07	0,04	0,07	0,00	0,06	0,04
UR	39,0	39,6	36,3	36,5	39,6	39,2	37,2	36,8
Condição 2 (25°C)								
	Simulador1	Simulador2	Simulador3	Simulador4	P13	P14	P15	P16
t_a	23,9	23,9	25,3	24,9	24,8	24,8	24,4	26,0
t_g	24,1	24,3	25,4	25,2	24,0	24,4	24,6	25,8
h_{cg}	1,32	1,51	1,14	1,48	1,80	1,51	1,24	1,27
$\overline{t_r}$	24,2	24,4	25,4	25,4	23,7	24,2	24,6	25,7
t_o	24,0	24,1	25,4	25,1	24,3	24,5	24,5	25,9
V_a	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,00	0,07	0,02
UR	40,4	40,2	37,4	38,1	40,8	39,2	38,7	37,8
Condição 3 (24°C)								
	Simulador1	Simulador2	Simulador3	Simulador4	P13	P14	P15	P16
t_a	23,1	23,0	24,3	24,2	23,9	23,9	23,8	24,1
t_g	23,1	23,3	24,4	24,6	23,1	23,1	23,6	24,3
h_{cg}	0,74	1,37	0,97	1,50	1,80	1,76	1,29	1,11
$\overline{t_r}$	23,1	23,4	24,4	24,7	22,8	22,9	23,6	24,3
t_o	23,1	23,2	24,3	24,4	23,4	23,4	23,7	24,2
V_a	0,05	0,04	0,08	0,05	0,01	0,00	0,03	0,07
UR	39,5	39,0	37,2	36,5	39,2	39,1	37,9	38,1
Condição 4 (23°C)								
	Simulador1	Simulador2	Simulador3	Simulador4	P13	P14	P15	P16
t_a	22,1	22,2	23,5	23,3	22,5	22,9	22,9	23,8
t_g	22,1	22,1	23,4	23,6	22,2	22,3	22,6	23,8
h_{cg}	0,83	1,17	0,96	1,39	1,46	1,65	1,45	0,63
$\overline{t_r}$	22,1	22,0	23,4	23,7	22,0	22,1	22,5	23,8
t_o	22,1	22,1	23,4	23,5	22,3	22,5	22,7	23,8
V_a	0,07	0,03	0,06	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00
UR	45,1	45,3	40,2	39,5	44,3	43,7	42,1	40,9

Condição 5 (22°C)

	Simulador1	Simulador2	Simulador3	Simulador4	P13	P14	P15	P16
t_a	21,2	21,4	22,5	22,7	21,3	21,6	22,1	22,7
t_g	21,1	21,1	22,4	22,7	20,9	21,3	21,7	22,6
h_{cg}	1,05	1,31	0,83	0,58	1,50	1,31	1,44	1,02
$\overline{t_r}$	21,1	21,1	22,4	22,7	20,8	21,3	21,6	22,6
t_o	21,2	21,2	22,4	22,7	21,0	21,4	21,9	22,7
V_a	0,06	0,05	0,07	0,04	0,07	0,00	0,00	0,00
UR	49,9	50,0	46,1	46,0	50,8	48,9	47,6	46,5

Condição 6 (21°C)

	Simulador1	Simulador2	Simulador3	Simulador4	P13	P14	P15	P16
t_a	20,6	20,6	21,4	21,7	20,4	20,6	21,1	21,8
t_g	20,5	20,3	21,3	21,6	20,1	20,2	20,7	21,6
h_{cg}	1,19	1,38	0,82	0,98	1,46	1,54	1,46	1,26
$\overline{t_r}$	20,4	20,3	21,3	21,6	20,0	20,1	20,6	21,6
t_o	20,5	20,4	21,4	21,6	20,2	20,4	20,8	21,7
V_a	0,08	0,05	0,07	0,06	0,05	0,00	0,01	0,00
UR	52,2	53,2	50,5	49,4	54,5	52,8	52,6	50,1

Nota: os valores referentes aos simuladores 1 a 4 são as médias dos três pontos de medição em torno de cada simulador.

onde:

t_a = temperatura do ar (°C);

t_g = temperatura de globo (°C);

h_{cg} = coeficiente de transferência de calor por convecção;

$\overline{t_r}$ = temperatura radiante média (°C);

t_o = temperatura operativa (°C);

V_a = velocidade média do ar (m/s) e

UR = umidade relativa do ar (%).

De acordo com os dados apresentados nas figuras 7.1 a 7.6 e na tabela 7.1, podem ser feitas as seguintes considerações sobre as condições térmicas no ambiente:

- Nos diferentes postos de trabalho ocupados pelos simuladores, observou-se que a **temperatura do ar** em torno dos quatro simuladores se manteve homogênea desde o nível dos pés (0,10m) até o nível 0,60m (referente ao tronco de uma pessoa

sentada). Esta homogeneidade foi também observada, deste nível para cima, nos simuladores S3 e S4, onde os valores medidos nos níveis correspondentes são muito próximos, fazendo com que os três perfis referentes a cada simulador praticamente coincidam. Os perfis relativos aos simuladores S1 e S2, no nível 1,10m (referente à cabeça de uma pessoa sentada), apresentaram uma menor homogeneidade, em decorrência das distâncias dos pontos de medição aos difusores instalados nas proximidades; isto é, os pontos P3 e P2 (do S1) e P5 e P6 (do S2) sofrem maior influência da temperatura do ar insuflado, por serem mais próximos dos difusores, acusando diferenças entre os três perfis, no nível correspondente, de até 1°C em torno do S1 e de 1,5°C a 2,8°C em torno do S2.

- Nos mesmos pontos referidos acima, ou seja, em torno dos simuladores, observa-se também que, na maioria das condições térmicas do ambiente, a estratificação da temperatura praticamente se iniciou no nível 0,60m, sendo que, neste nível, estão situados os principais dissipadores de calor.
- Nas zonas de circulação (P13 a P16), em qualquer condição de ensaio, este fato também ocorre, conforme indicam os perfis dos gráficos (fig.7.1 a 7.6).
- A partir do nível 1,70m, todos os perfis desta variável, tanto os que se referem aos simuladores quanto à circulação, convergiram para o mesmo valor, com aumento constante na direção do teto; desta forma, no nível mais alto medido (2,35m), a temperatura do ar foi praticamente a mesma em toda a área da sala.
- Quanto ao nível mais baixo (0,10m), ou seja, à altura dos pés das pessoas, em cada área distinta, a temperatura do ar pode ser considerada homogênea; entretanto, considerando as diversas áreas em conjunto, nota-se que nas ocupadas pelos simuladores S1 e S2 a temperatura do ar se apresentou ligeiramente inferior às dos demais simuladores, com diferença em torno de 1°C e as zonas de circulação mais próximas a esses simuladores (representadas pelos pontos P13 e P14), neste mesmo nível, apresentaram valores de até 1°C mais baixos que na referida zona ocupada, independentemente da condição de ensaio. As áreas de circulação representadas pelos pontos P15 e P16, que estão mais próximas às ocupadas pelos simuladores S3 e S4 e ao painel de lâmpadas, variaram de 1°C acima aos da área ocupada, nas condições mais quentes de

ensaio (C1 e C2), se igualaram aos da mesma área (nas condições C3 e C4) e se tornaram inferiores, cerca de 1°C (em C5 e C6). As diferenças apontadas pelas medições, que, no entanto, não chegaram a 3°C, se devem basicamente ao fato da temperatura do ar no plenum ter sofrido variações ao longo da sua extensão, bem como à influência das distâncias dos pontos de medição aos difusores. Neste sentido, vale a pena ressaltar que, no nível em questão (0,10m), as temperaturas do ar medidas nos eixos dos difusores (P17 a P19), foram inferiores às medidas em torno dos simuladores, com diferenças que variaram de 1,5°C a 2,8°C, na condição de ensaio mais quente (C1) e de 2,0°C a 3,8°C na condição mais fria (C6), sendo as menores diferenças observadas no posto de trabalho do S3 e as maiores no do S4.

- Considerando os perfis de temperatura do ar em toda a altura, comparativamente, as zonas de ocupação dos S1 e S2 e as de circulação mais próximas se apresentaram cerca de 1°C mais frias que as demais. Este fato é um indicador das diferentes influências da radiação, das temperaturas do ar de insuflamento e das obstruções no *lay out*, tendo em vista seus posicionamentos. Entretanto, como não são diferenças expressivas, sob o ponto de vista desta variável, o ambiente como um todo pode ser considerado homogêneo nos níveis correspondentes, com estratificação definida.
- A estratificação da temperatura do ar é um fenômeno esperado num ambiente com insuflamento pelo piso. As características desta estratificação foram identificadas nos perfis das Figuras 7.1 a 7.6; neles se observou que as diferenças verticais (Δt_a) dos valores medidos entre os níveis 0,10m e 1,10m (para pessoas sentadas) não ultrapassaram a 1,5°C, sendo que, na maioria dos pontos, foram inferiores a 1°C; apenas no ponto P4, do simulador S2, este valor foi um pouco maior, chegando a 2,5°C. Observa-se, também, que à medida em que a temperatura do ar no ambiente diminuiu (da C1 para a C6), essas diferenças também tenderam a diminuir. Quanto às diferenças entre os níveis 0,10m e 1,70m (para pessoas em pé), os valores máximos verificados, em toda a área da sala, ficaram em torno de 3°C, mesmo nas condições mais quentes (C1 e C2), chegando, inclusive, a não apresentar diferenças significativas, como por exemplo nas condições C5 e C6, $\Delta t_a < 0,5^\circ\text{C}$.

- Quanto à **velocidade do ar**, em todos os pontos medidos e nas seis condições de ensaio, os valores máximos encontrados, em torno dos simuladores, foram inferiores a 0,20 m/s, ficando na grande maioria dos casos em torno de 0,10 m/s. Os perfis representativos dessas medidas indicam que o ar sofreu maiores deslocamentos no nível 1,10m (nível da cabeça da pessoa sentada) com incremento a partir do nível 0,60m e ficou praticamente parado aos níveis dos pés (0,10m) e da cabeça das pessoas em pé (1,70m para cima). Nas áreas de circulação, os valores foram todos menores ou iguais a 0,10 m/s, em todo o pé direito da sala; apenas no ponto P15, nas condições de ensaio C4 a C6, quando as vazões de ar insuflado foram mais altas, houve um acréscimo na velocidade do ar no nível 2,00m, chegando, no entanto, a apenas 0,2 m/s. Como o sistema de distribuição de ar instalado é do tipo “por deslocamento” (*displacement flow*), esses dados se apresentam coerentes com o esperado (Skistad et al., 2002).
- De acordo com os valores dos coeficientes de transferência de calor por convecção, calculados (eq. 3.17 e 3.18) com base nos dados de medição e características do instrumento (globo), todas as zonas de ocupação apresentaram condições de convecção natural. Em todos os casos, as **temperaturas radiantes médias** se apresentaram muito próximas das temperaturas do ar, com diferenças médias de 0,5°C e máximas de 1°C, que ocorreram apenas nos simuladores S3 e S4, nas condições de ensaio “*mais quentes*” (C1 a C3); e, uma vez que as velocidades do ar medidas foram inferiores a 0,2 m/s, a **temperatura operativa** pode ser aproximada pela média aritmética das duas (eq. 4.6). Sendo assim, sob o ponto de vista desta variável, verificou-se, mais uma vez, que as zonas de ocupação dos simuladores S1 e S2 estão sofrendo influência menor da radiação do painel de lâmpadas que as demais, principalmente devido à existência de obstruções (divisórias); contudo, a diferença entre as temperaturas operativas médias dos lados opostos da sala (S1 e S2 versus S3 e S4) foi pouco significativa (em torno de 1°C).
- Quanto à **umidade absoluta** do ar no ambiente, em todas as condições de ensaio os valores se apresentaram na faixa de 8 a 10 g/k_{gar seco}, em todos os pontos de medição, enquanto que a umidade relativa variou de 40% a 50%, crescente com a diminuição da temperatura do ar. Esta variável foi mantida nesta faixa, como consequência de ajustes no sistema para que não houvesse desumidificação

expressiva no ambiente, uma vez que, nesta etapa, não havia calor latente nem ar de renovação (ar externo). Esses ajustes se basearam na determinação de *set points* de temperatura do ar na saída do *fan coil*, em função das temperaturas e umidades relativas do ar de retorno (Tab. 6.2), procurando mantê-los entre 14°C e 15°C.

- As **temperaturas superficiais no piso** da sala apresentaram, nas condições de ensaio, valores na faixa de 19°C a 24° aproximadamente (Tab. 7.2). As pequenas variações encontradas têm uma relação direta com as variações de temperatura do ar no plenum. Pelos valores encontrados, notou-se que as zonas ocupadas pelos simuladores S1 e S2 se apresentaram mais frias que as dos outros simuladores (diferença de cerca de 1,5°C) e ligeiramente mais quentes do que a zona de circulação adjacente, que fica na direção do fluxo de ar insuflado, próximo do ponto de descarga do ar no plenum.

Tabela 7.2 – Temperaturas superficiais no piso (°C)

	C1		C2		C3		C4		C5		C6	
	M	D P	M	DP	M	DP	M	DP	M	DP	M	DP
TP1	22,2	0,3	21,7	0,3	21,0	0,2	20,7	0,2	20,0	0,4	19,4	0,3
TP2	21,7	0,3	21,4	0,2	21,0	0,2	20,1	0,2	19,5	0,4	18,4	0,2
TP3	22,6	0,3	22,2	0,5	21,6	0,4	21,5	0,3	20,9	0,3	20,4	0,2
TP4	23,2	0,5	22,7	0,4	22,4	0,3	21,6	0,3	20,8	0,5	20,0	0,3
TP5	21,2	0,3	20,8	0,2	20,4	0,3	19,7	0,3	19,5	0,4	18,6	0,2

M = média; DP = desvio padrão; C1 a C6 = condição de ensaio

Termopares: TP1 a TP4 correspondem aos postos de trabalho S1 a S4 e

TP5 à área de circulação próxima à S1 e S2

- Uma vez que a principal fonte de radiação na câmara de testes é o painel de lâmpadas instalado em uma das paredes da câmara de testes, foi considerada a influência de uma **parede quente** para a verificação da **assimetria da temperatura radiante**. Em todos os pontos de medição, a placa do elemento sensor foi posicionada com o lado positivo voltado para o painel. Os dados coletados, constantes das Tabelas B19 a B24 (Anexo B), apontaram diferenças da ordem de 3K, com desvios padrão de até 0,3K. Considerando que os valores medidos são

muito inferiores aos limites para desconforto devido às superfícies verticais quentes (paredes), que são de 23K para PPD = 5% (ISO 7730/1994 e ASHRAE Standard 55a/1995) (ver fig. 4.5) e que existem incertezas de medição, não se justifica uma avaliação pontual, onde a ordem de grandeza dos dados é relativamente pequena.

7.2. Avaliação dos aspectos de conforto térmico no ambiente

A avaliação dos aspectos de conforto térmico no ambiente se baseou na comparação dos valores de PMV e PPD, calculados pelas equações de Fanger (eq. 4.2 e 4.6) utilizando os dados de medição, com os parâmetros sugeridos pelas normas ASHRAE-Standard 55a (1995 - REV 2000), ISO 7730 (1994) e CR -1752 (1998), fundamentados nos estudos de Fanger (1972). Considera-se que as condições do ambiente podem ser termicamente aceitáveis se o percentual máximo de pessoas insatisfeitas (PPD) com aquelas condições não ultrapassar a 20%.

7.2.1. Desconforto térmico geral

Como visto nos capítulos 3 e 4, a aceitação de um ambiente térmico depende dos aspectos ambientais: **temperatura operativa, velocidade do ar e umidade do ar** e dos aspectos pessoais: **atividade e vestimenta**. Nesta pesquisa o ambiente analisado é de escritório, o tipo de atividade é leve (1,2 met) e as roupas utilizadas nos ensaios, próprias para o ambiente em questão, possuem os seguintes índices de isolamento (I_{cl}):

0,6 clo, utilizadas nas condições de ensaio C1 e C2 (25°C e 26°C);

0,7 clo, utilizadas nas condições de ensaio C3 e C4 (23°C e 24°C);

1,1 clo, utilizadas nas condições de ensaio C5 e C6 (21° e 22°C).

É importante ressaltar que os índices (I_{cl}) acima são aproximados porque foram determinados, empiricamente, por meio de pesagem e medição da área das peças e identificação do material (tecido). Com esses dados, foi determinada a relação de equivalência aos das tabelas da norma ISO 9920 (ISO, 1995) específicos para cada peça do vestuário, nos modelos correspondentes, para estimar o índice de isolamento do conjunto.

Pelas medições, os valores referentes às variáveis ambientais são os constantes da Tabela 7.1, do item 7.1. Com base nesses valores e considerando os índices de isolamento das roupas utilizadas nos ensaios, foram determinados o Voto Médio Estimado (PMV) e o Percentual de Pessoas Insatisfeitas (PPD), utilizando as equações de Fanger (eq. 4.2 e 4.6). Os valores de PMV e PPD calculados se encontram na tab. 7.3.

Com base nos valores de PMV calculados, que variaram de -0,35 a +0,47, verificou-se que, em todas as condições ensaiadas, todos os pontos do ambiente satisfizeram aos requisitos de conforto, apresentando condições para a aceitação térmica.

Tabela 7.3 – Voto Médio Estimado (PMV) e Percentual de Pessoas Insatisfeitas (PPD)

		S 1	S 2	S 3	S 4	P13	P14	P15	P16
C 1	PMV	0,11	0,11	0,47	0,47	0,20	0,24	0,23	0,62
	PPD	5,3	5,3	9,6	9,6	5,8	6,2	6,1	13,1
C2	PMV	-0,04	-0,02	0,31	0,25	0,04	0,09	0,08	0,46
	PPD	5,0	5,0	7,0	6,3	5,0	5,2	5,1	9,4
C3	PMV	-0,12	-0,10	0,19	0,21	-0,04	-0,03	0,03	0,15
	PPD	5,3	5,2	5,7	5,9	5,0	5,0	5,0	5,5
C4	PMV	-0,35	-0,35	-0,02	-0,02	-0,31	-0,24	-0,20	0,07
	PPD	7,5	7,5	5,0	5,0	7,0	6,2	5,8	5,1
C5	PMV	0,08	0,10	0,33	0,38	0,07	0,14	0,22	0,37
	PPD	5,1	5,2	7,3	8,0	5,1	5,4	6,0	7,8
C6	PMV	-0,05	-0,05	0,13	0,24	-0,09	-0,07	0,04	0,19
	PPD	5,1	5,1	5,4	6,2	5,2	5,1	5,0	5,7

C1 a C6 = Condição de ensaio; S1 a S4 = Simuladores; P13 a P16 = Zonas de circulação

De acordo com a norma CR-1752 (CR, 1998) apud Olesen (s.d.), os ambientes de escritórios podem ser divididos em três categorias – “A”, “B” e “C”, com base em valores de PMV e PPD admissíveis para determinadas condições térmicas (com características para inverno e para verão), conforme apresentado na Tabela 7.4. Para as três categorias, a norma estipula diferentes faixas de tolerância (PPD), de acordo com os níveis de exigência dos usuários. A ISO 7730 (ISO,1994), adota a faixa que se refere ao nível médio (categoria “B”).

Na tabela 7.4 são destacadas as **faixas** de tolerâncias para o índice de insatisfação com alguns aspectos intervenientes no conforto. Os valores de PMV e PPD calculados com base nos resultados das medições e em comparação com os índices apresentados na

referida tabela permitiram a classificação das diferentes áreas do ambiente (Tab. 7.5), considerando as seis condições de ensaio.

Tabela 7.4 – Categorias para ambientes térmicos
Porcentagem de insatisfeitos com o desconforto geral e desconforto local

Categoria	Desconforto Geral		Desconforto Local (% de insatisfeitos)			
	PPD %	PMV	Correntes de ar (%)	Diferença vertical de temperatura do ar (%)	Piso frio ou quente (%)	Assimetria da temperatura radiante (%)
A	<6	-0,2<PMV<+0,2	<15	<3	<10	<5
B	<10	-0,5<PMV<+0,5	<20	<5	<10	<5
C	<15	-0,7<PMV<+0,7	<25	<10	<15	<10

Tabela 7.5 – Classificação das áreas do ambiente

Área ocupada	Condição					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
S1	A	A	A	B	A	A
S2	A	A	A	B	A	A
S3	B	B	A	A	B	A
S4	B	B	B	A	B	B
P13	A	A	A	B	A	A
P14	B	A	A	B	A	A
P15	B	A	A	A	B	A
P16	C	B	A	A	B	A

A classificação, apresentada na figura 7.5, mostra que o ambiente atendeu ao nível de exigência mais rigoroso (categoria A), na maioria das áreas e condições.

A tabela 7.6 exemplifica critérios de conforto, baseados na temperatura operativa e na velocidade média do ar, com faixas de valores típicos para escritórios, considerando a umidade relativa do ar a 60% para verão e 40% para inverno, conforme previsto na norma CR-1752 (CR, 1998) apud Olesen (s.d.).

Os valores de *temperatura operativa*, determinados nos seis ensaios (Tab. 7.1) mostram que, tanto para pessoas sentadas quanto em pé (nas zonas de ocupação e nas zonas de circulação respectivamente), todas as áreas da sala apresentam características

próprias para verão, nas condições C1 e C2. Na condição C3, as áreas mais próximas ao painel de lâmpadas apresentaram características de verão e as demais, de inverno, ficando, no entanto, próximas ao limite de transição de uma estação para a outra, sem grandes diferenças (em torno de 1°C). Da condição C4 em diante, todas as áreas apresentaram características próprias para inverno. Embora na condição C3 características de inverno e de verão tenham ocorrido simultaneamente, este fato pode não chegar a ser determinante, pois, sendo as diferenças de temperatura operativa pequenas, o limite entre uma estação e outra pode não estar claramente definido. A figura 7.7 ilustra as características térmicas do ambiente (para inverno e verão) nas seis condições de ensaio e a classificação quanto ao nível de exigência dos usuários.

Tabela 7.6 – Critérios para conforto térmico em escritórios baseados na temperatura operativa e velocidade média do ar

Vestimenta (clo)		Atividade (met)	Categoria	Temperatura operativa (°C)		Velocidade média do ar (m/s)	
Verão	Inverno			Verão	Inverno	Verão	Inverno
0,5	1,0	1,2	A	24,5±0,5	22,0±1,0	0,18	0,15
			B	24,5±1,5	22,0±2,0	0,22	0,18
			C	24,5±2,5	22,0±3,0	0,25	0,21

Figura 7.7 – Esquema representativo da classificação e caracterização do ambiente nas condições de ensaios realizados

Quanto à *velocidade média do ar*, os valores medidos no ambiente foram inferiores aos limites indicados na tabela 7.6.

Sendo assim, do ponto de vista do desconforto térmico geral, todas as condições do ambiente podem ser consideradas adequadas, desde que as pessoas estejam vestidas com roupas próprias para cada condição apresentada.

7.2.2. Desconforto térmico local

Como visto no capítulo 4, os aspectos ambientais que podem ocasionar desconforto local são: *diferença vertical de temperatura do ar (Δt_a)*; *correntes de ar (Draught Rate - DR* , expresso em porcentagem de insatisfeitos); *temperatura do piso (frio ou quente) e assimetria da temperatura radiante (Δt_{pr})*. A seguir, são feitas considerações sobre cada aspecto, levando-se em conta os resultados das medições realizadas nesta etapa.

a. Diferença vertical de temperatura do ar (Δt_a) (entre os pés e a cabeça)

Nos espaços dos edifícios, a temperatura do ar normalmente aumenta no sentido do piso para o teto e, se o gradiente é muito grande, pode acarretar desconforto com calor na cabeça e/ou frio nos pés.

No ambiente analisado, as situações encontradas para pessoas sentadas, apresentaram diferenças de temperatura do ar (do nível 0,10m a 1,10m) menores que 1°C, em 80% dos pontos medidos, nas seis condições de ensaio (Tab. B19 a B24). O máximo valor encontrado foi de 2,0°C ± 0,5°C, em condição de verão, em apenas um ponto da zona de ocupação, próximo ao local de insuflamento (ponto P4, em torno do simulador S2). Tomando como referência os índices indicados na Tabela 7.4, para um gradiente máximo tolerável de 3°C, admitido pela ISO 7730 (1994), os valores encontrados não apresentam características para desconforto local, tanto para condições de inverno quanto de verão, mesmo com o maior valor encontrado, que não chegou a atingir PPD de 4%, de acordo com índices baseados em experimentos de Olesen, et al. (1979) apud ASHRAE (2001).

Para pessoas em pé (do nível 0,10m a 1,70m), os gradientes de temperatura do ar encontrados também foram menores que 3°C, não oferecendo situações de desconforto local, mesmo havendo uma tendência para diferenças ligeiramente superiores na região próxima ao painel de lâmpadas.

b. Correntes de ar

Para avaliar o efeito das correntes de ar, tomou-se, como referência, o percentual de pessoas insatisfeitas (*DR*) com este aspecto, cujos valores foram calculados pela equação 4.7 com base nos dados de medição (Tab. B19 a B24).

Para todas as condições de ensaio, os valores de *DR* calculados ficaram abaixo de 10%; sendo assim, pode-se concluir que, à altura da cabeça, as pessoas sentadas ou em pé, não devem se sentir em desconforto quanto a este aspecto. Além disto, os valores de velocidade média do ar se apresentaram abaixo de 0,1 m/s, sendo inferiores até mesmo ao máximo aceitável para a condição de inverno (1,5 m/s). Quanto a haver desconforto desta natureza ao nível dos pés, não foram verificadas ocorrências de tal situação em nenhuma das áreas e condições de ensaio, pelos mesmos motivos apresentados acima.

c. Assimetria da temperatura radiante

No ambiente analisado, pela sua configuração, a maior possibilidade de ocorrer assimetria da temperatura radiante é devido à superfície vertical quente (painel de lâmpadas). De acordo com as medições, o máximo valor encontrado para esta variável foi de 3,0K, sendo, na grande maioria dos pontos, inferiores a 1K. Estes valores, de acordo com a referência da ISO 7730 (1994), ilustrada no gráfico da fig. 4.5 (Cap. 4), implicam em PPD muito inferiores a 5%. Considerando, para comparação, os limites constantes da Tabela 7.4, pode-se dizer que o ambiente não apresenta problemas de desconforto devido a este aspecto, atendendo, inclusive, os níveis de exigência para ambientes das classes “A” e “B”, onde o PPD máximo é de 5%.

d. Temperatura superficial do piso

Os dados de medição relativos à temperatura superficial do piso (Tab. 7.2, do item 7.1), em comparação com os índices propostos pela ASHRAE Standard 55a (1995 – REV-2000), indicaram que não ocorrem situações de desconforto local no ambiente, podendo este, inclusive, receber a classificação “A”, atendendo o nível de exigência mais alto.

Capítulo 8

ANÁLISE QUALITATIVA DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO NO AMBIENTE

Neste capítulo é apresentada a análise das condições de conforto do ambiente sob o ponto de vista das pessoas (dados subjetivos) submetidas às mesmas condições térmicas da etapa anterior. De acordo com o descrito no capítulo 6, referente ao método aplicado, os usuários deram opiniões sobre suas sensações térmicas, por meio de respostas às perguntas de questionários, de acordo com a escala de sensação térmica de sete pontos da ASHRAE (ASHRAE, 2001) apresentada no capítulo 4. As respostas tabuladas permitiram verificar se as condições térmicas propostas são aceitáveis pelas pessoas participantes e quais as condições são mais confortáveis.

A análise das condições de conforto térmico contemplou os aspectos intervenientes que causam desconforto térmico geral e desconforto local, sendo os resultados os que se seguem.

8.1. Avaliação das condições do ambiente sob o ponto de vista do desconforto térmico geral

A verificação da aceitação dos ambientes térmicos pelas pessoas foi feita com base nos índices de PMV e PPD extraídos das respostas aos questionários, cujos resultados da tabulação se encontram no Anexo A. Foram considerados como referência, os índices de Fanger com $PMV = 0$ (situação de conforto), adotados pela ISO 7730 (1994).

Na tabela 8.1, estão relacionados os índices PMV e PPD determinados nesta etapa da pesquisa, como também os da etapa anterior, apresentados no Capítulo 7, a título de comparação.

Os índices com as designações “**calc**” são as médias dos valores de S1 a S4, constantes da tabela 7.4, referentes à primeira etapa. Os demais foram extraídos dos dados tabulados dos questionários, sendo:

PMV_{real} = média dos votos (-3 a +3 da escala), referentes à questão 1 do bloco A dos questionários;

PPD_{real}* = valores calculados pela a equação 4.7, utilizando os valores de PMV_{real};

PPD_{real} = percentual de respostas aos pontos -3 a +3 da escala de sensação térmica, adotada nos questionários.

Tabela 8.1 –PMV e PPD, para $V_a \leq 0,10$ m/s e pessoas em atividade leve (70 W/m^2)

	t_a	$\bar{t}_r$	UR	t_o	I_{cl}	PMV calc	PMV real	PPD calc	PPD real*	PPD real
Fanger (25,6°C)							0,0			5,0
C1 (26,0°C)	25,1	25,5	37,9	25,3	0,6	0,29	0,13	7,5	5,3	12,5
C2 (25,0°C)	24,5	24,9	39,0	24,7	0,6	0,13	-0,19	5,8	5,7	3,1
C3 (24,0°C)	23,7	23,9	38,0	23,8	0,7	0,05	0,00	5,5	5,0	3,2
C4 (23,0°C)	22,8	22,8	42,5	22,8	0,7	-0,19	-0,65	6,3	13,7	6,5
C5 (22,0°C)	22,0	21,8	48,0	21,9	1,1	0,22	-0,16	6,4	5,5	6,4
C6 (21,0°C)	21,1	20,9	51,3	21,0	1,1	0,07	-0,81	5,5	18,7	19,3

C1 a C6 = condições de ensaio e temperaturas de referência no ponto médio do ambiente
 t_a , $\bar{t}_r$, UR e t_o = dados de medição no ambiente com as pessoas (etapa 2)

Para uma melhor compreensão do real significado dos valores de PMV e PPD da tabela 8.1, a exemplo de Fanger (1972), foi feito um detalhamento dos votos para os valores da escala de sensação térmica, que estão relacionados na tabela 8.2. Este detalhamento foi necessário porque os valores (PMV e PPD), considerados isoladamente, refletem um resultado global, não mostrando claramente as tendências da amostra.

As opiniões das pessoas podem ser mais bem visualizadas pelas curvas representativas de seus votos, na figura 8.1, onde as tendências são explícitas.

É importante salientar que, de acordo com Gagge et al. (1967) apud Fanger (1972), as pessoas que realmente sentem desconforto votam acima de +2 ou abaixo de -2. Fanger (1972) adotou este critério para suas avaliações e, seguindo este conceito, este critério também foi adotado neste trabalho. Portanto, considerou-se que as situações de conforto são representadas pela faixa de -1 a +1.

Tabela 8.2 – Percentuais de votos para os valores da escala de sensação térmica

Ensaio	Percentual de pessoas que votaram em:						
	0	-1	+1	-1, 0 e +1 (total)	-2	+2	-2, -1, 0, +1 e +2 (total)
Fanger (25,6°C)	55	20,0	20,0	95	2,5	2,5	100,0
C1 (26,0°C)	62,5	12,5	12,5	87,5	3,1	9,4	100,0
C2 (25,0°C)	59,4	25,0	12,5	96,9	3,1	0,0	100,0
C3 (24,0°C)	38,7	25,8	32,5	96,8	3,2	0,0	100,0
C4 (23,0°C)	41,9	51,6	0,0	93,5	6,5	0,0	100,0
C5 (22,0°C)	58,1	25,8	9,7	93,6	3,2	3,2	100,0
C6 (21,0°C)	25,8	48,4	6,5	80,7	19,3	0,0	100,0

De acordo com os resultados apresentados nas tabelas 8.1 e 8.2 (PMV_{real} e PPD_{real}), se observa que cinco condições criadas no ambiente são termicamente aceitáveis (ISO 7730 /1994), sem desconforto térmico significativo para o corpo como um todo. Há, no entanto, uma manifestação de desconforto na condição de ensaio C6, verificada pelo valor de PPD_{real} = 19,3% e PPD_{real}* = 18,7% onde todas as pessoas que se manifestaram insatisfeitas votaram no valor -2 da escala de sensação térmica. Isto pode significar que esta condição térmica esteja abaixo do limite de conforto para os usuários deste tipo de ambiente. Quanto à condição C1, embora o PPD_{real} tenha apresentado um valor acima de 10% (PPD_{real} = 12,5%), não se pode considerar que esta seja uma condição de desconforto, pois, dos respondentes insatisfeitos, 3,1% votaram no valor -2 da escala, para uma condição de ensaio limite, considerada a mais quente ($t_o=25,3^{\circ}\text{C}$); além disto, o valor do PPD_{real}*, calculado em função do PMV_{real}, é bastante inferior a 10%.

Pelo gráfico da figura 8.1, que representa as sensações das pessoas com relação ao ambiente térmico e dos dados das Tabelas 8.1 e 8.2, se observa que a maioria das condições térmicas podem promover situações de conforto para as pessoas. As condições de ensaio C4 e C6, apresentaram curvas deslocadas para o lado esquerdo da escala, indicando que as pessoas as consideraram mais frias, embora a C4 tenha sido considerada confortável. Como esta (C4) não é a condição de ensaio mais fria, este fato pode ser atribuído à inadequação das roupas utilizadas para os testes, conforme pode ser visto pelo gráfico da figura 8.2, o qual mostra que, nesta condição, várias pessoas responderam que as roupas que estavam usando no momento as deixavam sentir frio.

Figura 8.1 – Opiniões das pessoas sobre o ambiente térmico representadas pelos percentuais de votos nos pontos da escala de sensação térmica, nas condições de ensaio (C1 a C6)

O gráfico da Figura 8.2 se refere às respostas dos usuários com relação à adequação da vestimenta que usaram durante os ensaios. Neste gráfico foi usada a seguinte convenção:

C1 a C6 = condições de ensaio com as pessoas (etapa 2)

MI= muito inadequada; **I**= inadequada; **LI**= ligeiramente inadequada; **A**= adequada

Os votos à direita de “A”, significam que a roupa faz com que a pessoa sinta calor e à esquerda de “A”, permitem que sinta frio.

Conforme visto no capítulo 6, em duas condições consecutivas de ensaios as pessoas vestiram a mesma roupa. As curvas do gráfico da figura 8.2 mostram que esta

opção não foi adequada, ficando claro que, ao se diminuir em 1°C a temperatura média da câmara de testes para mudança da condição de ensaio, o índice de isolamento das roupas deveria ter sido incrementado de aproximadamente 0,06 clo (o equivalente a uma camiseta regata de algodão). Como este fato não foi considerado, o efeito repercutiu nos resultados, fazendo com que as pessoas votassem nos valores mais frios da escala, deslocando para a esquerda do ponto de conforto (zero da escala), principalmente a curva relativa à condição C4.

Figura 8.2 – Votos das pessoas para a adequação das roupas usadas nos ensaios

Os dados indicam ainda que as condições térmicas que tiveram maior aceitação foram as mais quentes (C1 e C2), uma vez que os maiores percentuais de votos no ponto zero (0) da escala foram para estas condições. Com relação à condição C3, cujas características térmicas são as que mais se aproximam das de referência para operação dos sistemas de condicionamento de ar convencionais ($23^{\circ}\text{C} \leq t_a \leq 24^{\circ}\text{C}$), embora o PMV seja igual a zero, não se pode considerá-la como a mais adequada, pois, esta foi a condição

menos votada no ponto zero da escala (a menos da C6, que foi considerada “fria” pelas pessoas). Nesta condição (C3), os votos das pessoas ficaram bastante equilibrados entre “ligeiramente frio” e “ligeiramente quente”, anulando seus efeitos sobre o PMV. Este fato pode ser justificado pelas características térmicas do ambiente nesta condição de ensaio, onde a câmara de testes apresentou características de inverno e verão ao mesmo tempo, dependendo da localização dos postos de trabalho com relação ao ponto de insuflamento e do painel de lâmpadas (conforme análises quantitativas no capítulo 7).

Os gráficos das figuras 8.3 e 8.4 mostram a comparação dos resultados das opiniões das pessoas com o que foi verificado nas análises da primeira etapa. Considerando valores de PMV para a comparação, observa-se na Fig. 8.3 que, conforme visto no capítulo anterior, as condições térmicas do ambiente satisfazem aos critérios de conforto (representados pelo $PMV_{calculado}$, da etapa 1), ficando, os valores, na faixa considerada confortável ($-0,5 \leq PMV \leq +0,5$). As curvas deste gráfico mostram também o efeito da falta de uma peça de roupa (com aproximadamente 0,06 clo) sobre as sensações térmicas das pessoas, principalmente nas condições C2 e C4, representado pelas distâncias à linha de valor zero da escala, nos pontos correspondentes. Com a correção da roupa, provavelmente as curvas seriam menos acentuadas, havendo uma aproximação maior à condição de conforto.

De acordo com os resultados, na opinião das pessoas, as condições que mais se aproximam do esperado para conforto são as mais quentes. Observa-se que, as curvas de $PMV_{calculado}$ e PMV real se distanciam progressivamente na direção das temperaturas mais baixas ($t_o < 22^\circ C$), indicando que estas temperaturas, consideradas por Fanger (1972) para conforto (até aproximadamente $21^\circ C$), não devem ser incluídas na faixa ideal para as pessoas que participaram dos experimentos. Isto significa que os limites de temperatura operativa da zona de conforto, em princípio, poderiam ser deslocados para a direita, no sentido das temperaturas mais altas, comparativamente à zona proposta por Fanger (ISO 7730, 1994).

Levando-se em conta as considerações feitas anteriormente, as curvas da Fig. 8.4, representativa dos índices de insatisfação das pessoas (PPD), confirmam as colocações feitas acima e indicam que a faixa de temperaturas operativas para conforto em ambientes condicionados com insuflamento pelo piso poderia ter o valor de $22^\circ C$ como limite inferior

e entre 26°C e 27°C como limite superior, implicando, com isto, em um acréscimo de pelo menos 1°C nestes limites.

PPD real* e PPDreal, representativos dos percentuais de pessoas insatisfeitas

Figura 8.3 – Curvas comparativas do PMV calculado com os dados de medições e PMV real, representativo dos votos médios das pessoas

Figura 8.4 - - Curvas comparativas do PPD calculado com os dados de medições,

Das variáveis ambientais que influenciam no desconforto térmico geral, também foram contempladas, para avaliação do ponto de vista dos usuários, a umidade relativa e a velocidade do ar.

Quanto à **umidade relativa do ar**, os resultados não são conclusivos com relação à sua influência na sensação térmica porque a abordagem contemplou apenas aspectos de ocorrência de sintomas fisiológicos. Como não foram encontrados procedimentos para avaliação subjetiva desta variável, supõe-se que os resultados apresentados a seguir estejam muito mais relacionados com características pessoais do que com a umidade do ar.

De acordo com os resultados, ilustrados pelo gráfico da figura 8.5, podem ser feitos as seguintes considerações:

Figura 8.5 – Gráfico das respostas sobre os sintomas físicos devido à umidade do ar

- Em todas as condições de ensaio, houve manifestações sobre ressecamento nos olhos com 10%, em média, das respostas;
- quanto ao ressecamento da pele, no máximo 6% das pessoas declararam sentir, também em todas as condições de ensaio;

- as manifestações de ressecamento das narinas foram mais acentuadas nas condições de ensaio C4 (13%) e C5 (16%), sendo que nas demais, o percentual de não passou de 6%;
- percentuais acima de 10% acerca de ressecamento da garganta ocorreram nas condições C1 a C3 e C6;
- cerca de 16% responderam que espirraram durante os ensaios na condição C2 e, nas demais condições, as manifestações foram iguais ou inferiores a 6%;
- quanto à falta de ar, as manifestações não foram significativas, pois, apenas 6% declararam este sintoma e apenas na condição C2 e
- na condição C3, cerca de 6% das pessoas disseram que transpiraram; na C1 e C2 houve também manifestações mas, com percentuais mais baixos ainda (da ordem de 3%).

Com relação à **velocidade do ar** na altura do tronco, abordada no questionário como “movimento do ar”, aproximadamente 64% das pessoas não conseguiram perceber. Daqueles que perceberam, mais da metade responderam que “não faz diferença”, significando que este aspecto não os incomodou. Para o restante das pessoas que perceberam, na condição C6, na qual a vazão de insuflamento é mais alta e a temperatura do ar é mais baixa, os resultados mostram que a velocidade do ar é um aspecto que desagrada mais; entretanto, na C1, os resultados indicam que as pessoas sentem a movimentação do ar como um efeito agradável. De acordo com esses resultados, pode-se considerar que, em sendo a velocidade do ar baixa, torna-se quase imperceptível e as pessoas não conseguem definir exatamente as suas sensações a este respeito. Isto indica que a velocidade do ar atende aos requisitos de conforto térmico, conforme também verificado na análise quantitativa apresentada no Capítulo 7.

8.2. Avaliação das condições do ambiente sob o ponto de vista do desconforto local

Os aspectos que causam desconforto local, abordados individualmente nos questionários, foram avaliados pelas pessoas e os resultados são os que se seguem.

Como já referido anteriormente, este tipo de sistema de distribuição de ar promove alguma estratificação da temperatura. Contudo, pelas análises quantitativas das condições do ambiente feitas no capítulo 7, em nenhuma condição de ensaio foi verificada diferença vertical de temperatura do ar acima do limite para conforto ($\Delta t_a \geq 3^\circ\text{C}$); o que caracteriza que o ambiente está adequado para conforto sob este ponto de vista.

Embora, na opinião de cerca de 70% das pessoas participantes dos ensaios, na posição sentada, a **diferença vertical de temperatura do ar** (em torno de 1°C) seja perceptível, sendo “ligeiramente desagradável” para a maioria delas, esta estratificação não causa desconforto, conforme pode ser verificado nos gráficos da figura 8.6, onde estão destacadas as sensações dos usuários sobre temperatura do ar em partes diferenciadas do corpo (cabeça, tórax e pés). Este fato é confirmado pelos percentuais mais altos de respostas predominantemente na faixa -1 a $+1$ da escala de sensação térmica. As condições de ensaio onde houve manifestações de desconforto foram as condições limites. As pessoas sentiram uma sensação desagradável na cabeça (quente, na condição C1), embora com um índice de insatisfação dentro da faixa de tolerância (menor que 10%). Quanto ao principal efeito esperado da estratificação devido a este tipo de sistema, ou seja, “frio nos pés”, observa-se que somente a partir da condição C4 até C6 (condições onde as vazões do ar insuflado são maiores e as temperaturas do ar insuflado são mais baixas) as pessoas manifestaram insatisfação com este aspecto, com PPD de 13% a 35% aproximadamente, com votos para o “frio” da escala de sensação térmica.

De acordo com as análises quantitativas anteriores, as diferenças verticais de temperatura do ar entre os níveis 0,10 m e 1,70 m (para pessoas em pé), o ambiente atende aos requisitos de conforto, com diferenças máximas de 3°C . Do ponto de vista da análise qualitativa, as diferenças apresentadas são percebidas por cerca de 70% das pessoas que consideram, em sua maioria, este fato “ligeiramente desagradável”, com percentuais de respostas para esta classificação de 60% a 70%. Observa-se, no entanto, que o restante das respostas se distribuem mais significativamente nas classes “indiferente” e “ligeiramente agradável” do que na “desagradável”, indicando que este aspecto não representa uma situação de desconforto. Além disto, considerando que em ambientes de escritórios as pessoas passam mais de 70% do seu tempo sentadas (Ornstein, et al., 1999), este aspecto pode não ser relevante.

Figura 8.6 – Gráficos das respostas referentes às sensações de temperatura em partes localizadas do corpo (cabeça, tórax e pés)

Quanto à **assimetria da temperatura radiante média**, seus efeitos foram questionados com relação aos níveis do tórax e da cabeça. Cerca de 65% das pessoas responderam que não sentem diferença de temperatura entre os lados opostos do tórax (frente e costas, lado esquerdo e direito) e, entre os lados opostos da cabeça (testa e nuca,

faces esquerda e direita), 70% também disseram que não sentem diferença. Segundo as pessoas que perceberam diferenças de temperatura no nível do tórax, este fato não chega a ser motivo de desconforto, pois a maioria dos usuários classificou-as de “indiferente” a “ligeiramente desagradável”, com votos, inclusive, para “ligeiramente agradável”. A mesma situação ocorreu para o nível da cabeça, mas com mais respostas para a faixa de “ligeiramente agradável” a “agradável”. Estes resultados são similares aos da análise quantitativa deste aspecto feita no capítulo 7.

A ocorrência de **correntes de ar** foi verificada nos níveis da cabeça e dos pés, que são os locais onde este fenômeno pode ser motivo de incômodo, conforme indica a ISO 7730 (1994). De acordo com a análise feita no capítulo anterior, as condições do ambiente se apresentaram favoráveis para o conforto com relação a este aspecto, com índice de insatisfação (DR) previsto inferior a 10%.

Na análise qualitativa, de 70% a 80% dos usuários responderam que não perceberam correntes de ar na região da cabeça, nas seis condições de ensaio. Daqueles que perceberam, de 60% a 75% acharam que este fato é “indiferente”; as demais respostas se equilibraram entre “ligeiramente desagradável” e “ligeiramente agradável”, revelando uma dúvida que pode ser justificada pela dificuldade de se perceber correntes de ar quando a velocidade do ar é muito baixa ($V_a \leq 0,1$ m/s). Já na região dos pés, de 68% a 84% das pessoas não perceberam correntes de ar nas condições de ensaio mais quentes (C1 a C3); nas condições seguintes, nas quais as vazões de ar foram maiores e as temperaturas mais baixas, cerca de 55% das pessoas perceberam este efeito. Apenas na condição de ensaio C3 a maioria (60%) considerou que este aspecto é indiferente, inclusive, com respostas bastante equilibradas para a faixa de “desagradável” a “agradável” (10% para cada classificação da faixa). Observou-se também que, nas condições de ensaio mais quentes (C1 a C3), a maioria das respostas foi para o lado das sensações agradáveis, ao contrário das condições mais frias (C4 a C6).

Como a maioria das pessoas não percebeu correntes de ar e as que perceberam demonstraram que este aspecto não foi significativo nas condições térmicas em que se encontravam, pode-se considerar que, também relativamente a este aspecto, o ambiente é aceitável para as pessoas, de acordo com o que foi constatado no capítulo 7.

Um outro fator relevante nesta verificação é o que se refere às preferências das pessoas quanto à velocidade do ar, à temperatura do ar no ambiente nas condições de ensaios. Para uma questão que solicitava ao usuário uma sugestão a respeito de manter, diminuir ou aumentar a velocidade do ar, na condição atual de temperatura, praticamente em todas as condições de ensaio, aproximadamente a metade dos entrevistados sugeriu manter a velocidade como estava no momento. Entretanto, nas condições de ensaio mais quentes (C1 a C3), as sugestões foram mais expressivas para aumentar a velocidade do ar do que para diminuir (30%, em média, para aumento contra 18%, em média, para diminuição). Nas condições mais frias (C4 a C6), houve uma inversão desses percentuais. As sugestões para aumento da velocidade do ar nas condições de ensaio onde as temperaturas do ar são mais altas, principalmente na condição C1 (26°C no ponto médio da sala), são indícios de que há possibilidade de se estabelecer temperaturas mais altas no ambiente, com incremento de velocidade do ar, sem comprometer o conforto. Considera-se que esta possibilidade pode se tornar viável se os usuários detiverem o poder de ajustar as vazões de ar de acordo com suas preferências.

O gráfico da Figura 8.7 se refere às medidas de temperatura superficial do piso.

Figura 8.7 – Gráfico das respostas referentes às temperaturas superficiais do piso

Pelas análises anteriores, as condições térmicas do ambiente não ofereceram situações de desconforto local devido à **temperatura superficial do piso**. Na avaliação das pessoas, cujos resultados estão representados pelos gráficos da figura 8.7, a temperatura do piso pode ser considerada adequada, mesmo com a maioria dos votos para “ligeiramente frio”, com algumas respostas para frio, pois, os percentuais mais altos se encontram na faixa de -1 a 0 ; apenas na condição C6, as pessoas manifestaram sensação de piso frio (PPD = 16,1%, com votos para o valor -2 da escala de sensação térmica); mesmo assim, este índice está bastante próximo ao limite de tolerância (PPD $< 15\%$) indicado pela norma CR-1752 (CR, 1998) apud Olesen (s.d.).

Capítulo 9

O CONFORTO TÉRMICO PERSONALIZADO – ANÁLISE DAS CONDIÇÕES TÉRMICAS COM CONTROLES INDIVIDUAIS DE VAZÃO DE AR

Neste capítulo são apresentados os resultados das condições de conforto térmico criadas pelos usuários por meio de ajustes em dispositivos individuais de controle de vazão de ar. As condições térmicas, ou micro climas resultantes foram caracterizadas e comparadas com as condições das etapas anteriores para a definição, tanto de parâmetros de conforto mais próximos aos costumes e clima brasileiros, quanto de parâmetros de projeto mais adequados ao tipo de sistema de condicionamento de ar com distribuição pelo piso. Além disto, os resultados desta avaliação serviram para a identificação de estratégias de operação e controle do sistema, possíveis de serem aplicadas com vistas à economia de energia, conforme discutido no Capítulo 10.

A caracterização das condições do conforto personalizado foi feita com base em dados de medições no ambiente e dados de operação do sistema (antes e depois dos ajustes individuais de vazões de ar), em associação com as entrevistas e observações do posicionamento dos dispositivos de ajuste, realizadas durante os ensaios.

9.1. Análise das condições térmicas individuais

Os usuários foram submetidos inicialmente ao ambiente térmico cuja temperatura do ar no ponto médio da sala se encontrava na faixa de 26,7°C a 29,5°C ($\pm 0,5^\circ\text{C}$). Estas condições significaram temperaturas do ar, na estação de trabalho ocupada para testes (Simulador 2), incrementadas de até 2,5°C com relação à temperatura de ensaio mais quente da primeira etapa (condição Cl). Este posto de trabalho foi escolhido para os testes porque possui dois dispositivos de ajustes de vazão de ar localizados próximo à pessoa, o que lhe dá a opção de utilizar os dois ou apenas um, de acordo com a sua preferência. As medições feitas nestas condições geraram dados que resultaram nos perfis (de temperatura e velocidade do ar) que estão detalhados no Anexo C.

Segundo 32% das pessoas, o ambiente ao qual estavam submetidas antes dos ajustes de vazão de ar se encontrava “quente”; 55% afirmaram que estava “ligeiramente quente” e o restante se sentia “confortável”, o que corresponde, na escala de sensação térmica, aos índices +2, +1 e 0 respectivamente. Nesta condição ainda, 65% relataram sensação de “ar parado”; 26% sentiram “movimentação do ar” e o restante não fez comentários a respeito deste aspecto.

Após terem efetuado os ajustes de vazão de ar e atingidas as condições de conforto de suas preferências, de acordo com o que foi proposto no método, foram feitas novas medições em torno das pessoas, cujos resultados detalhados se encontram no Anexo C.

A análise das condições térmicas a seguir se baseia tanto nas médias e faixas que compõem os gráficos apresentados nas figuras 9.1 a 9.5 quanto nos dados de tabelas e gráficos detalhados constantes do Anexo C.

Foram adotados como convenção os seguintes códigos:

C1⇒ para curvas referentes aos dados das medições na condição de ensaio C1, da primeira etapa;

A⇒ para curvas referentes aos dados das medições na condição de ensaio **antes** dos ajustes de vazões de ar, da terceira etapa;

D⇒ para curvas referentes aos dados das medições na condição de ensaio **depois** dos ajustes de vazões de ar, da terceira etapa.

Para as análises comparativas das principais variáveis ambientais (temperatura e velocidade do ar, com umidade relativa em torno de 40%), foram considerados os dados relativos ao posto de trabalho referente ao Simulador S2.

Os perfis de temperatura do ar da figura 9.1, onde P4C1 a P6C1 são pontos de medições nas condições de ensaio C1 (valores relativos ao simulador S2); P4A a P6A são pontos de medições na condição de ensaio **antes** dos ajustes de vazão de ar e P4D a P6D são pontos de medições na condição de ensaio **depois** dos ajustes. Esses perfis permitem verificar que as características da estratificação da temperatura são muito parecidas nas condições de ensaio consideradas (C1, A e D), porém com curvas menos acentuadas nas condições A e D, principalmente na região ocupada (entre os níveis 0,1 a 1,1m); isto é,

aparentemente, há uma variação das características de estratificação nesses níveis, embora bastante sutil.

Figura 9.1 – Perfis de temperaturas do ar

As diferenças verticais de temperatura (Δt_a), entre os níveis 0,1 e 1,1m, depois dos ajustes de vazões de ar, apresentaram valores inferiores a 1°C (da ordem de 0,5°C) para pessoas sentadas e de aproximadamente 2°C ($\pm 0,5^\circ\text{C}$) para pessoas em pé, sendo ligeiramente inferiores aos identificados nas condições dos ensaios anteriores. Considerando que as diferenças verticais de temperatura do ar, com as características de estratificação apresentadas na primeira etapa não provocaram situações de desconforto local, uma vez que os índices de PMV e PPD são baixos, os resultados da terceira etapa, que indicam diferenças muito próximas daquelas, também não oferecem situações de desconforto, sendo confirmado por 94% das pessoas que participaram do ensaio, que votaram no “zero” da escala de sensação térmica (confortável).

Os perfis da figura 9.1 permitem observar também que, com o incremento da vazão de ar nos níveis do tórax e/ou da cabeça, há uma maior homogeneidade das temperaturas

em torno do ponto de ocupação do que o que se observou nos ensaios anteriores e aqui representados pela curva C1. Este fato pode ser consequência dos ajustes de vazão de ar, cuja influência se observa mais nas laterais das pessoas, onde estão situados os dispositivos de controle (difusores de mesa). Vale a pena ressaltar que 94% das pessoas utilizaram os dois dispositivos disponíveis para regular a vazão de ar e que a preferência de 70% delas para a direção do fluxo de ar é a horizontal (na região do tórax e pescoço), direta ou indiretamente para o corpo. É importante destacar também que:

- A temperatura média do ar insuflado no plenum, durante as baterias de medições A e D, foi de 22,5°C, na faixa de 20,5°C a 23,5°C. Estas temperaturas são cerca de 2°C a 2,5°C mais altas do que as mantidas nos ensaios anteriores da condição C1 e, até atingir o local ocupado, no nível 1,1m, sofrem um incremento de 4°C a 5°C. As temperaturas do ar nos difusores de mesa são bem próximas das do ar insuflado, dada a localização dos pontos de captação de ar no plenum para esses difusores (próxima do ponto de insuflamento). Na opinião de 70% das pessoas, essas temperaturas são adequadas, 16% disseram que elas poderiam ser mais altas e 14% que deveria ser mais baixa. Os insatisfeitos, cujas opiniões são equilibradamente divididas (para mais fria ou para mais quente) foram aqueles que estiveram sujeitos às condições limites da faixa de temperaturas na condição de ensaio D.
- As vazões médias de ar nos difusores de mesa (direito e esquerdo com relação à pessoa sentada) foram: em torno de 300 m³/h nos dois difusores, sendo as máximas e mínimas de 460 e 105 m³/h no difusor direito e 400 e 75 m³/h no difusor esquerdo, respectivamente, sendo os valores mais freqüentes de 260 m³/h no difusor direito e 290 m³/h no difusor esquerdo.

Os gráficos das figuras 9.2 e 9.3 se referem aos perfis de temperatura do ar resultantes das medições feitas nas condições A e D respectivamente, englobando os testes de todos os usuários. As figuras permitem uma melhor visualização das faixas de temperatura do ar no ambiente ao qual foram submetidos antes dos ajustes de vazão de ar (A) (fig. 9.2) e as faixas preferidas pelas pessoas depois (D) (fig. 9.3).

Figura 9.2 – Gráfico da faixa de temperaturas do ar no posto de trabalho antes (A)

Figura 9.3 - Gráfico da faixa de temperaturas do ar no posto de trabalho depois dos ajustes de vazão de ar

Com base nesses dados, define-se que as faixas de temperaturas do ar que podem representar as preferências para conforto individual são:

- **de 25,5°C a 27,5°C, na altura 0,6m e**
- **de 25,5°C a 28 ou 29°C, na altura 1,1m.**

Estes valores podem ser considerados como limites máximos de temperatura do ar para conforto térmico em ambientes de escritórios com condicionamento de ar com insuflamento pelo piso, desde que a vestimenta das pessoas seja adequada para a condição ($I_{cl} \cong 0,6$ clo). Estes resultados também implicam em velocidades do ar algo maiores, passíveis de serem conseguidas com os controles individuais, conforme apresentado a seguir.

Os gráficos das figuras 9.4 e 9.5 representam os perfis de velocidades do ar resultantes das medições feitas nas condições A e D respectivamente, para todas as pessoas.

Na condição A (antes) (Fig. 9.4), fica evidente que no ponto P5, localizado atrás da pessoa, a velocidade do ar é mais alta do que nas laterais (P4 e P6), provavelmente devido à influência de um difusor no piso, instalado próximo do ponto de medição em questão (ver Fig. 6.4). Mesmo assim, os valores de velocidade do ar são baixos, como nos ensaios anteriores, principalmente na condição C1. Nesta condição (A), cerca de 65% das pessoas disseram que tinham a sensação de “ar parado”.

Após os ajustes de vazões de ar nos dispositivos individuais de controle, houve uma mudança significativa com relação à velocidade do ar, havendo aumentos substanciais verificados nas laterais das pessoas, principalmente no nível 1,1m (P4 e P6). Verifica-se, pelo gráfico da figura 9.5, que a faixa de velocidades do ar, para a faixa de temperaturas definida como preferencial (D) pode chegar a ter valores da ordem de 0,35 m/s como limite superior, sem causar desconforto com correntes de ar. Segundo 77% das pessoas, esses valores atendem às suas exigências para conforto e 17% sugeriram que a velocidade poderia ser mais alta e apenas 6% (PPD < 15%) se sentiram desconfortáveis com correntes de ar, sugerindo que a velocidade deveria ser mais baixa.

Figura 9.4 - Gráfico da faixa de velocidades do ar no posto de trabalho antes (A) dos ajustes de vazão de ar

Figura 9.5 - Gráfico da faixa de velocidades do ar no posto de trabalho depois (D) dos ajustes de vazão de ar

Conforme mencionado no Capítulo 4 (item 4.4 – d), de acordo com a ASHRAE Standard 55a (1995), as zonas de conforto podem ser alteradas em função de acréscimos de temperatura e velocidade do ar, dependendo da vestimenta, da atividade e da diferença de temperatura entre a vestimenta e a superfície da pele.

O gráfico da figura 9.6, tendo como base a Figura. 4.3, mostra os acréscimos de temperatura e velocidade do ar efetuados nesta bateria de ensaios. Para as considerações a seguir, tomou-se como referência a curva representativa das diferenças nulas entre temperatura do ar (t_a) e temperatura radiante média ($\bar{t}_r$), que é o caso do ambiente analisado.

Figura 9.6 – Acréscimos de velocidades do ar e de temperatura

As ações dos usuários sobre as vazões de ar resultaram em valores de velocidades da ordem de 0,3 m/s, conforme referido anteriormente, sendo este o valor aproximado do limite de velocidade do ar para que não haja desconforto com correntes de ar (DR máximo de 15%). De acordo com os dados do gráfico da fig. 9.6, o acréscimo de temperatura do ar compatível (projetada) seria de aproximadamente 1°C, para que as condições de conforto se mantivessem. O acréscimo médio de temperatura do ar foi da ordem de 2,5°C, cuja

velocidade do ar compatível (projetada) deveria ser da ordem de 0,6 m/s, mas foi de apenas 0,3 m/s, conforme referido acima. Entretanto, mesmo que a combinação dessas variáveis não esteja de acordo com o proposto pela ASHRAE Standard 55a (1995), para os usuários as condições de conforto se mantiveram.

Este fato, reforçando o que foi mencionado anteriormente, pode significar que, em ambientes de escritórios com condicionamento de ar com insuflamento pelo piso, é possível se estabelecer temperaturas mais elevadas, sem comprometer o conforto das pessoas, desde que elas usem vestimentas adequadas para as condições térmicas em questão (roupas típicas para escritórios, $I_{cl} \cong 0,6$ clo) e possam alterar a velocidade do ar na estação de trabalho.

9.2. Condições de operação do sistema

Para se atingir as condições térmicas desejadas no ambiente, o sistema operou de acordo com os parâmetros relacionados na tabela 9.1.

Tabela 9.1 – Parâmetros de funcionamento do sistema

VARIÁVEL	ANTES				DEPOIS			
	Méd	Máx	Mín	Md	Méd	Máx	Mín	Md
Temp. Ar Ambiente (°C)	28,3	29,5	26,7	27,8	28,0	29,5	26,7	28
Umidade Ar Ambiente (%)	39	47	35	36	40	49	36	37
Temp. Ar Retorno (°C)	29,5	30,9	27,4	30,2	28,9	30,5	27,1	28,8
Umidade Ar Retorno (%)	38	45	35	36	38	45	35	36
Temp. Ar Saída Fan Coil (°C)	15,7	22,9	14,7	15	15,2	18,8	14,7	15
Temp. Ar Insuflamento (°C)	22,6	24,2	15,1	23	22,6	23,5	20,4	23
Umidade Ar Insuflamento (%)	57	69	52	57	57	69	52	57
Temp. Ar Externo (°C)	23,6	31,8	17,2	18,4	23,6	31,8	17,2	18,4
Umidade Ar Externo (°C)	70	95	39	95	70	95	39	95
Vazão de ar frio para mistura (m³/h)*	500	1900	400	500	670	1140	420	540
Vazão de ar insuflado no plenum (m³/h)	1870	2100	1490	1930	1990	2290	1580	1890
Pressão estática média no plenum (Pa)	11	15	8	10	11	15	8	10

Méd = média dos valores referentes a todas as pessoas; **Max** = valores máximos medidos; **Min** = valores mínimos medidos; **Md** = valores mais frequentes (moda).

(*) Nos ensaios em que as temperaturas de insuflamento foram maiores ou iguais a 23°C, as vazões de ar frio para mistura (*fan coil*) foram baixas, com valores não captados pelo transdutor instalado no duto.

Pelos dados constantes da tabela 9.1, observa-se que a temperatura e umidade relativa do ar externo variaram significativamente durante o período de ensaios. Para manter as condições térmicas internas dentro da faixa desejada, nos dias mais frios, quando a temperatura do ar externo estava abaixo de 24°C, foi usado o recurso de acréscimo de carga ao ar de retorno para resfriamento (na sala do *fan coil*), por meio de aquecedores elétricos.

Tendo em vista os resultados conseguidos no ambiente com esses parâmetros de funcionamento do sistema, considera-se que eles podem servir como referência (*set points*) para programas de operações de sistema de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso, onde for desejável operar com temperaturas mais altas, desde que as pessoas possam controlar individualmente a vazão de ar.

Capítulo 10

POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA COM A APLICAÇÃO DO SISTEMA DE INSUFLAMENTO PELO PISO

Para uma dada temperatura do ar no espaço ocupado, as temperaturas do ar de retorno e, conseqüentemente do ar insuflado, no sistema de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso são mais altas do que as correspondentes no sistema de distribuição pelo teto. No caso de ambientes com pé direito em torno de 2,5 m, essas diferenças são em torno de 1 a 2 K, quando a diferença entre a temperatura do ar de retorno e de insuflamento é da ordem de 8 a 10 K (Skistad, et al, 2002), conforme apresentado na Figura 10.1. Comparativamente, isto significa que, com o sistema de insuflamento pelo piso, em um período maior do ano pode ser utilizada apenas a ventilação (sem refrigeração), com utilização do ar externo, para se obter condições internas de conforto.

Figura 10.1 – Comparação de temperaturas dos sistemas de insuflamento pelo teto e pelo piso (Skistad, 2002)

Tomando como exemplo a temperatura média do ar no ambiente condicionado igual a 24°C e temperaturas de insuflamento de 14°C para insuflamento pelo teto e de 19°C para insuflamento pelo piso (temperatura esta adotada nos ensaios para a temperatura do ambiente em questão) e, levando-se em conta que a temperatura do ar externo sem prévio resfriamento aumenta cerca de 1K durante o percurso até o ponto de insuflamento (Skistad et al., 2002), pode-se dizer que não há necessidade de refrigeração quando as temperaturas do ar externo forem inferiores a 13°C (para o sistema convencional) e a 18°C (para o insuflamento pelo piso). Isto significa que, pelos dados típicos de temperatura de bulbo seco em São Paulo, apresentados na tabela 10.1, se poderia prescindir da refrigeração num período do ano cerca de 16% maior com a aplicação do sistema de insuflamento pelo piso.

Este fato representa um potencial de economia de energia (conservação de energia) com ar condicionado. Para consubstanciar esta colocação, foram verificadas as reais potencialidades do sistema, com enfoque nos parâmetros de temperatura do ar interno adotados para operação do sistema e nos do ar externo.

10.1. Verificação do potencial de conservação de energia sob o ponto de vista das temperaturas

De acordo com o exposto no Capítulo 9, o sistema de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso com controles individuais de vazão de ar pode proporcionar condições de conforto no ambiente condicionado mesmo com temperaturas do ar mais altas. Para que esta condição seja atingida, sugerem-se como parâmetros para operação do sistema os relacionados na tabela 9.1. Nesta condição, estima-se que este modo de operação pode ser uma boa estratégia para conservação de energia, como é demonstrado a seguir.

Para se atingir a condição térmica no ambiente com temperaturas do ar de 25,5°C a 28°C o ar foi insuflado com temperaturas na faixa de 20,4°C a 23,5°C. Sendo as temperaturas de bulbo seco desta faixa bastante freqüentes durante o ano (ver tabela 10.1), isto pode significar que, nos períodos de ocorrência de temperaturas externas do ar iguais ou inferiores a estas, não há necessidade de resfriamento do ar para insuflamento, podendo, inclusive, haver renovação de 100% do ar.

No entanto, é importante salientar que, como a condição térmica é determinada também em função da umidade do ar, dependendo das condições do ar externo, esta faixa pode ser mais restrita, havendo necessidade de resfriamento para desumidificação do ar em algumas situações.

Para estimar o potencial de conservação de energia oferecido pelo sistema, nas condições de conforto individual, foram considerados, para este caso, os dados de medições das variáveis de temperatura e umidade do ar dos pontos inerentes ao sistema de condicionamento de ar comparados com dados climáticos de São Paulo, representados pelos perfis (hora a hora) de temperaturas de bulbo seco dos dias típicos do ano (mês a mês), apresentados na Tabela 10.1.

Os valores constantes da Tabela 10.1 foram obtidos com a utilização do programa computacional BLAST (Pedersen, 1993), gerados a partir das temperaturas máxima e mínima do dia em questão, com valores medidos no ano de 2001 (IAG, 2001). O procedimento para a determinação das temperaturas máxima e mínima do dia típico de cada mês do ano foi o seguinte (Akutsu, 1998):

a) Dia típico de verão (outubro a abril)

Temperatura máxima, $TMAX$: Dada pela média entre a maior das temperaturas máximas, $TMAX_{MAX}$, e a média das temperaturas máximas, $TMAX_{MED}$, do mês:

$$TMAX = \frac{TMAX_{MAX} + TMAX_{MED}}{2} \quad (10.1)$$

Temperatura mínima, $TMIN$: Dada pela temperatura máxima, $TMAX$, menos a amplitude de variação das temperaturas, que é dada pela diferença entre a média das temperaturas máximas, $TMAX_{MED}$, e a média das temperaturas mínimas, $TMIN_{MED}$, do mês:

$$TMIN = TMAX - (TMAX_{MED} - TMIN_{MED}) \quad (10.2)$$

b) Dia típico de inverno (maio a setembro)

Temperatura mínima, $TMIN$: Dada pela média entre a maior das temperaturas mínimas, $TMIN_{MAX}$, e a média das temperaturas mínimas, $TMIN_{MED}$, do mês:

$$TMIN = \frac{TMIN_{MAX} + TMIN_{MED}}{2} \quad (10.3)$$

Temperatura máxima, $TMAX$: Dada pela temperatura mínima, $TMIN$, mais a amplitude de variação das temperaturas, que é dada pela diferença entre a média das temperaturas mínimas, $TMAX_{MED}$, e a média das temperaturas mínimas, $TMIN_{MED}$, do mês:

$$TMAX = TMIN + (TMAX_{MED} - TMIN_{MED}) \quad (10.4)$$

Tabela 10.1 – Dias típicos do ano – temperaturas de bulbo seco

Horário	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	22	22,8	21,3	20,4	12,3	9,7	9,1	12,5	11,1	19,3	21,6	21,4
2	22	22,3	20,8	19,8	11,8	9,2	8,5	11,8	10,6	18,7	21,1	20,9
3	21	21,9	20,3	19,4	11,5	8,7	8,0	11,3	10,2	18,3	20,7	20,5
4	21	21,6	20,0	19,0	11,2	8,4	7,6	10,9	9,9	17,9	20,4	20,2
5	21	21,5	19,9	18,9	11,1	8,3	7,5	10,8	9,8	17,8	20,3	20,1
6	21	21,7	20,1	19,1	11,3	8,5	7,7	11,1	10,0	18,0	20,5	20,3
7	22	22,2	20,7	19,7	11,7	9,0	8,4	11,7	10,5	18,6	21,0	20,8
8	23	23,1	21,7	20,7	12,5	10,0	9,4	12,8	11,4	19,7	22,0	21,6
9	24	24,4	23,1	22,2	13,7	11,4	11,0	14,5	12,7	21,2	23,3	22,9
10	26	25,9	24,7	23,8	15,1	13,0	12,8	16,4	14,2	23,0	24,8	24,3
11	28	27,5	26,6	25,7	16,6	14,8	14,9	18,6	16,0	25,0	26,6	26,0
12	30	29,1	28,4	27,5	18,0	16,5	16,8	20,6	17,6	26,9	28,2	27,5
13	31	30,3	29,7	28,9	19,1	17,7	18,3	22,1	18,8	28,3	29,5	28,6
14	32	31,1	30,6	29,8	19,8	18,6	19,2	23,1	19,6	29,3	30,3	29,4
15	32	31,4	30,9	30,1	20,1	18,9	19,6	23,5	19,9	29,6	30,6	29,7
16	32	31,1	30,6	29,8	19,8	18,6	19,2	23,1	19,6	29,3	30,3	29,4
17	31	30,4	29,8	29,0	19,2	17,8	18,4	22,2	18,9	28,4	29,6	28,7
18	30	29,3	28,6	27,8	18,2	16,7	17,1	20,8	17,8	27,1	28,4	27,7
19	28	28,0	27,2	26,3	17,0	15,3	15,5	19,2	16,5	25,6	27,1	26,4
20	27	26,8	25,7	24,8	15,9	13,9	13,9	17,5	15,2	24,1	25,8	25,2
21	25,6	25,7	24,5	23,6	14,9	12,8	12,6	16,1	14,0	22,8	24,6	24,1
22	24,5	24,7	23,4	22,5	14,0	11,7	11,4	14,9	13,0	21,6	23,6	23,2
23	23,6	23,9	22,5	21,6	13,3	10,8	10,4	13,9	12,2	20,6	22,8	22,4
24	22,9	23,3	21,9	20,9	12,7	10,2	9,7	13,1	11,6	19,9	22,2	21,8

Obs.: os valores destacados na Tabela 10.1 se referem às temperaturas de insuflamento adotadas nos ensaios na condição para conforto personalizado (etapa 3).

Legenda:

Sem refrigeração – 100% de ar externo para insuflamento

Período de funcionamento do sistema de ar condicionado

Sem refrigeração – necessidade de mistura com ar de retorno para reaquecimento

Na maioria dos edifícios de escritórios em São Paulo os sistemas de ar condicionado são ligados às 7:00h e desligados às 20:00h (Leite, 1997), durante os cinco dias úteis da semana. No período em que o sistema permanece ligado, observa-se pela Tabela. 10.1 que, sob o ponto de vista das temperaturas, em torno de 55% dos dias do ano (períodos marcados com linhas contínuas e tracejadas) o uso de refrigeração seria desnecessário.

Entretanto, dados referentes à temperatura e umidade do ar externo, coletados durante os ensaios realizados nos meses de maio, junho, julho e novembro de 2002, indicaram que apenas no inverno a refrigeração poderia ser dispensada, não havendo necessidade de desumidificação. Em cerca de 70% dos dias de medições foram verificados valores de umidades absolutas inferiores a $10,5 \text{ g/kg}_{\text{ar seco}}$ (correspondendo a uma umidade relativa de 50% para temperatura de 24°C). Uma vez que estes dados de umidades absolutas se referem às temperaturas de bulbo seco iguais e inferiores a 19°C , esta temperatura pode ser considerada como limite máximo de temperatura externa de bulbo seco para dispensa da refrigeração.

Ressalta-se que estes resultados indicam que o sistema de condicionamento de ar em questão, principalmente quando se aplica a estratégia de condicionamento individualizado, pode oferecer um grande potencial de conservação de energia. Contudo, são necessários estudos mais aprofundados nesta área, com maior enfoque para o controle da umidade, para se estabelecer limites mais exatos e, conseqüentemente, se determinar a real economia de energia do sistema comparativamente aos sistemas convencionais.

10.2. Determinação de parâmetros de projeto para ambientes térmicos com vistas à conservação de energia

Conforme discutido no item 10.1, o sistema apresenta um potencial para a conservação de energia em função de valores de temperatura. Contudo, na condição para conforto pessoal, que oferece o potencial mais expressivo, as velocidades do ar são mais altas. Sendo assim, há que se considerar a influência do conseqüente aumento das vazões de ar no consumo de energia. Para se avaliar este efeito, são feitas, inicialmente, algumas considerações a respeito de valores de temperatura que, conforme referido anteriormente, podem ser consideradas como referência para projetos dos sistemas.

Em sistemas de condicionamento de ar com distribuição pelo piso, a temperatura do ar insuflado aumenta no nível da área de piso (cerca de 0,10m acima das placas do piso elevado) devido às trocas de calor com as superfícies quentes do ambiente. Um valor adimensional (constante k) pode ser adotado para a determinação desta temperatura de acordo com a equação (10.5).

$$k = \frac{\theta_p - \theta_i}{\theta_r - \theta_i} \quad (10.5)$$

onde:

θ_p = temperatura do ar perto do piso

θ_i = temperatura do ar insuflado

θ_r = temperatura do ar de retorno

De um modo prático, baseado em pesquisas experimentais, esta temperatura pode ser estimada com boa aproximação utilizando a regra dos 50%, onde a temperatura do ar referida (a 0,10 m do piso) é igual à metade da diferença entre a temperatura do ar de retorno e do insuflado, de acordo com a equação (10.6) (Skistad et al., 2002).

$$\theta_p = \frac{\theta_r - \theta_i}{2} + \theta_i \quad (10.6)$$

Para o projeto de sistemas de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso, onde devem ser definidos valores de vazão de ar para o seu dimensionamento, é necessário que se adote um valor de temperatura do ar de retorno e a temperatura que se quer conseguir no piso. Desta maneira, pode-se determinar a temperatura de insuflamento, usando a regra acima.

Na figura 10.2 foi usada a seguinte convenção:

C1 a C6 = temperaturas médias do ar nas condições de ensaio (médias dos valores referentes aos simuladores S1 a S4, nos seis níveis de medição);

Dif C1 a Dif C6 = temperaturas médias do ar nos difusores nas condições de ensaio C1 a C6 (médias dos valores referentes aos pontos P17 a P20, nos seis níveis de medição) e

Ins C1 a Ins C6 = temperaturas do ar no ponto de insuflamento nas seis condições de ensaios, no nível $-0,30$ m (considerou-se como nível zero, a superfície do piso elevado).

As medidas de temperatura do ar de insuflamento foram em um único nível; entretanto, para uma melhor visualização no gráfico da Figura 10.2, os valores foram considerados constantes ao longo da altura de $-0,30$ m a $0,10$ m.

Figura 10.2 – Perfis de temperaturas médias do ar nos postos de trabalho nas condições de ensaio C1 a C6 (26 a 21 °C) e temperaturas de insuflamento correspondentes.

O gráfico acima apresenta os perfis das temperaturas médias nos postos de trabalho, nas condições de ensaio C1 a C6, onde também estão destacadas as temperaturas de insuflamento e do piso (nos difusores). Observa-se que os valores estão coerentes com os calculados pela equação 10.6. Um outro ponto a ser observado é a diferença

praticamente constante entre as temperaturas medidas no insuflamento e nos difusores, onde $2,7^{\circ}\text{C} \leq k \leq 3,4^{\circ}\text{C}$ (ver Eq.10.5), sendo o limite superior, repetido em quatro das seis condições de ensaios (C1 a C6). Nos postos de trabalho, no mesmo nível (0,10 m), essas diferenças se mantiveram na faixa de $1,5^{\circ}\text{C}$ a $2,5^{\circ}\text{C}$. A elevação da temperatura do ar, desde a saída do difusor até atingir as pessoas, ocorre em virtude das distâncias dos difusores aos pontos de ocupação (mínima de 0,80 m, adotada no laboratório), sendo estes, os locais onde as medidas foram realizadas. Isto significa que a temperatura do piso (na saída dos difusores), pode ser calculada, ou estimada em projeto, com valores inferiores aos considerados para conforto na região dos pés das pessoas. As faixas apresentadas podem ser consideradas como referências para a definição de *set points* de operação do sistema, representando, desta forma, parâmetros para a elaboração do projeto.

Para determinar a vazão de ar requerida para a retirada de uma determinada carga térmica do ambiente, utiliza-se a equação (10.7), onde a diferença de temperatura considerada para o cálculo é a obtida das temperaturas do ar de retorno e de insuflamento, determinadas pelo método referido acima.

$$q_v \cdot \rho \cdot c_p (\theta_r - \theta_i) \cdot 10^{-3} = \Phi_{tot} \quad (10.7)$$

onde:

q_v = vazão de ar (l/s)

ρ = densidade do ar = $1,2 \text{ Kg/m}^3$

c_p = calor específico do ar = 1000 J/Kg.K

Φ_{tot} = carga térmica total

Para o caso particular da condição térmica referente ao conforto individual, as vazões de ar requeridas e as aplicadas nos ensaios foram conforme a seguir. Para o cálculo, considerou-se que a diferença das temperaturas entre o ar de retorno e de insuflamento utilizada nesta equação é adequada para o sistema em questão (Skistad et al., 2002).

Para a condição de ensaio A (antes dos ajustes de vazões de ar), os dados são:

$$\Phi_{tot} = 4209 \text{ W}$$

$$\rho = 1,2 \text{ Kg/m}^3$$

$$c_p = 1000 \text{ J/Kg.K}$$

$$\theta_r = 29,5^\circ\text{C}$$

$$\theta_i = 22,6^\circ\text{C}$$

$$\Delta\theta = 7\text{ K}$$

Resultando na vazão q_v de $0,5\text{ m}^3/\text{s}$ ($1800\text{ m}^3/\text{h}$)

Para a condição de ensaio D (depois dos ajustes de vazões de ar), os dados são:

$$\Phi_{tot} = 4209\text{ W}$$

$$\rho = 1,2\text{ Kg/m}^3$$

$$c_p = 1000\text{ J/Kg.K}$$

$$\theta_r = 28,9^\circ\text{C}$$

$$\theta_i = 22,6^\circ\text{C}$$

$$\Delta\theta = 6,3\text{ K}$$

Resultando na vazão q_v de $0,56\text{ m}^3/\text{s}$ ($2004\text{ m}^3/\text{h}$)

Para os cálculos das vazões, foram utilizados os dados de temperatura do ar de insuflamento e de retorno (θ_r e θ_i) dos ensaios (Fig. 10.2).

De acordo com os dados de medições do sistema de controle, nos ensaios A e D, as vazões médias de ar ($\overline{q_v}$) foram as seguintes:

$$A \Rightarrow \overline{q_v} = 1872\text{ m}^3/\text{h} \quad 1489 \leq q_v \leq 2099\text{ m}^3/\text{h}$$

$$D \Rightarrow \overline{q_v} = 1984\text{ m}^3/\text{h} \quad 1576 \leq q_v \leq 2288\text{ m}^3/\text{h}$$

Pelos valores calculados, esperava-se, com o decréscimo da diferença de temperatura do ensaio A para o D ($\Delta\theta$), houvesse um acréscimo de cerca de 11% no valor médio da vazão ($\overline{q_v}$). Na prática, o acréscimo foi de cerca de 6%, tendo sido suficiente para se atingir a condição de conforto. Esta diferença entre os dois percentuais (esperado e real) é um indicador que esta é uma estratégia que também pode ser utilizada com vistas à conservação de energia.

Capítulo 11

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso surgiu como uma proposta para melhorar as condições de conforto térmico nos edifícios de escritórios. Este tipo de sistema, porém ainda é pouco utilizado devido à carência de informações sobre “como o sistema deve ser projetado, como deve funcionar e quais os benefícios que ele efetivamente pode promover”. Com o desenvolvimento da presente pesquisa procurou-se responder a estas e outras questões por meio da avaliação do sistema em um laboratório com condições controladas.

O laboratório em que foram realizados os ensaios foi projetado e instalado com características similares às aquelas de ambientes reais de edifícios de escritórios. Este fato, aliado à participação de pessoas (usuários) no processo de avaliação das condições de conforto, tornaram possível a definição de parâmetros para a elaboração de projetos bem como para o estabelecimento de um modo eficaz de operação do sistema. A eficácia, representada pela aceitação das condições térmicas resultantes no ambiente específico e pelo potencial de conservação de energia oferecido pelo sistema de insuflamento pelo piso, foi constatada pelos resultados das experiências realizadas apresentados ao longo dos capítulos 7 a 10.

Com base nos resultados deste trabalho podem ser feitas as seguintes considerações:

- As condições térmicas promovidas pelo sistema de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso (condicionamento geral), mesmo sem os ajustes individuais de vazões de ar (condicionamento personalizado), atendem aos requisitos de conforto térmico adotados pela ISO 7730 (ISO, 1994) e podem ser bem aceitas pelas pessoas. Embora este tipo de insuflamento provoque estratificação da temperatura, constatou-se que esta condição não oferece risco para o conforto porque as diferenças de temperatura entre os níveis de ocupação (de 0,10 a 1,10m, para pessoas sentadas, e de 0,10 a 1,70m, para pessoas em pé) são pequenas (inferiores a 3°C) e a velocidade do ar é baixa ($< 0,1$ m/s), com características de

convecção natural, não promovendo correntes perceptíveis ou indesejáveis. Além disso, o possível desconforto com “frio nos pés”, aspecto este que geralmente é questionado, não deve ocorrer com o sistema operando com temperaturas do ar insuflado mais elevadas do que as adotadas nos sistemas de distribuição pelo teto. Para que estas condições sejam realmente atendidas, recomenda-se que o sistema opere com parâmetros, definidos pelas faixas determinadas nos ensaios, relacionados na tabela 11.2, concomitantemente com um projeto adequado de distribuição dos difusores.

- Os dados experimentais indicaram que a faixa de temperaturas, própria para este tipo de ambiente e para usuários de escritórios de São Paulo - Brasil, é próxima da proposta por Fanger (1972), adotada pela ISO 7730 (ISO, 1994) e aquela proposta pela ASHRAE 55a (ASHRAE, 1995). Contudo, os limites da temperatura operativa para que ocorra desconforto, determinados nesta pesquisa (22°C a 28°) são superiores àqueles, definidos na faixa de 21°C a 26 °C.
- Constatou-se que o sistema, pelas suas características de flexibilidade, permite a inclusão de dispositivos de controle de vazão de ar para o conforto personalizado. As experiências mostraram que a condição de conforto pode ser obtida, mesmo com valores de temperatura do ar no ambiente mais elevados do que os adotados para o condicionamento geral, isto é, de 26°C a 28°C. Esta opção, além de atender às preferências individuais de conforto, constitui-se em uma estratégia para economia de energia principalmente porque permite um aproveitamento de até 100% do ar externo para insuflamento durante um período significativo do ano.

É importante enfatizar que as considerações feitas estão condicionadas a um ambiente onde não foram identificadas situações de desconforto com assimetria de radiação ou com piso frio ou quente. Além disto, as temperaturas radiantes médias determinadas nos ensaios foram muito próximas das temperaturas do ar.

De acordo com as considerações acima, estima-se que os parâmetros mais indicados para o conforto das pessoas em atividade leve (1,2 met), em ambientes de escritórios com insuflamento pelo piso, são os relacionados abaixo:

Tabela 11.1 – Parâmetros de conforto térmico

Variável	Para Inverno com condicionamento geral*	Para Verão com condicionamento geral*	Para Verão com controle individual de vazão de ar
Vestimenta	$0,7 \leq I_{cl} \leq 1,1$ clo	$0,5 \leq I_{cl} \leq 0,7$ clo	Até 0,6 clo
Temperatura operativa (°C)	$23 \pm 1,0$	$24,5 \pm 1,5$	$27 \pm 1,0$
Velocidade do ar (no nível 1,10 m)	$V_a \leq 0,1$ m/s	$V_a \leq 0,1$ m/s	$0,05 \leq V_a \leq 0,3$ m/s
Umidade relativa do ar (%)	50 ± 10	50 ± 10	50 ± 10

(*) Condicionamento do ambiente sem utilização dos dispositivos de ajuste de vazão de ar.

Para se atingir as condições de conforto dentro das faixas indicadas na tabela 11.1, os parâmetros mais adequados para a operação do sistema são os da tabela 11.2.

Tabela 11.2 – Parâmetros para a operação do sistema

Variável	Faixas Para Inverno Condicionamento Geral*	Faixas Para Verão Condicionamento Geral*	Faixas Para Verão Conforto Individual
Temperatura do ar (°C)**	22,0 a 24,0	24,0 a 26,0	$28,0 \pm 1,0$
Umidade relativa do ar (%)**	40 a 60	40 a 60	40 a 60
Temperatura do ar na saída <i>fan coil</i> (°C)	13,0 a 15,0	13,0 a 14,0	15,0 a 19,0
Temperatura do ar no insuflamento (°C)	16,0 a 19,0	19,0 a 20,0	20,5 a 23,5
Umidade relativa do ar no insuflamento (%)	60 a 80	60 a 70	50 a 70
Pressão estática no plenum (Pa)	11,0 a 18	9,0 a 11,0	8,0 a 15,0

As faixas foram determinadas em função das médias obtidas nos ensaios nas condições C1 a C6 e com controles individuais de vazão de ar, considerando, para limites, os valores máximos e mínimos.

(*) Condicionamento do ambiente sem utilização dos dispositivos de ajuste de vazão de ar.

(**) Valores no ponto médio do ambiente (largura, profundidade e altura).

Os parâmetros para a operação do sistema, apresentados na tabela 11.2, dependem de alguns pontos relacionados ao projeto do sistema, que devem ser considerados:

- O sistema necessita de um ventilador adicional para auxiliar na extração do ar de retorno e indução da mistura do ar quente com o frio na caixa de mistura.
- A escolha do tipo de difusores é de extrema importância para se evitar camadas muito frias no nível dos pés. Considera-se que os mais adequados são os de jato espiralado porque promovem uma troca de calor mais rápida do ar insuflado com o ambiente.
- O posicionamento dos difusores no piso deve contemplar uma distância mínima ao ocupante para não causar desconforto local. Recomenda-se que seja mantida uma distância não inferior a 0,80 m com relação ao ocupante.
- Considera-se que uma altura de aproximadamente 0,30 m para o plenum seja suficiente para garantir o diferencial de pressões estáticas, para que não haja o comprometimento da capacidade do ventilador do *fan coil*.

Com base nas considerações e parâmetros indicados acima, conclui-se que:

“O sistema de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso atende às expectativas para promover conforto térmico aos usuários de edifícios de escritórios com potencial de conservação de energia”.

11.1 Discussão sobre o experimento

A pesquisa, desenvolvida segundo padrões internacionais, é pioneira no Brasil e se diferencia daquelas desenvolvidas e em desenvolvimento nos principais centros de pesquisa no exterior pelo caráter de aproximação às condições reais dos edifícios de escritórios locais. Por este motivo, alguns aspectos relativos à arquitetura do protótipo e aos procedimentos metodológicos foram definidos empiricamente sendo, portanto, passíveis de uma avaliação crítica.

Quanto à **arquitetura do protótipo**, observou-se que:

- A arquitetura da caixa de mistura, nos moldes atuais, não é ideal porque não promove uma mistura homogênea do ar quente e frio;
- A localização do ponto de insuflamento, definida em função do espaço disponível para a sala do *fan coil*, não foi a mais adequada porque, pelas medições feitas nos difusores, percebe-se que, devido às trocas de calor do ar insuflado com o piso, aliado ao tipo de escoamento resultante, existem diferenças de temperatura do ar no plenum que repercutem na uniformidade das condições térmicas do ambiente;
- Durante os ensaios, o fato da umidade do ar no ambiente ter sido mantida empiricamente através de ajustes de *set points* no sistema de automação, dificultou um controle mais rigoroso deste parâmetro.

No que se refere aos **procedimentos metodológicos**, foi observado o seguinte:

- Nos ensaios com os usuários, teria sido mais adequada a adição de mais uma peça de roupa, com $I_{cl} \cong 0,6$ clo (equivalente a uma camiseta regata de algodão) nas mudanças subseqüentes de condição térmica (com diminuição de 1°C na temperatura do ambiente); fato este, identificado através das respostas das pessoas aos questionários, sobre a adequação das roupas.

Contudo, os aspectos relacionados acima não implicaram em prejuízo para a pesquisa; mas significam pontos a serem melhorados na realização de futuros trabalhos.

11.2 *Trabalhos futuros*

O desenvolvimento deste trabalho permitiu obter resultados que podem ser utilizados como diretrizes para a elaboração de projetos e operação de sistemas de ar condicionado com insuflamento pelo piso em edifícios de escritórios. Para que a utilização deste sistema ocorra de forma ainda mais adequada, sugere-se a realização de trabalhos de pesquisa objetivando o aperfeiçoamento e otimização deste sistema, conforme relacionado a seguir.

Pesquisas específicas sobre aspectos particulares, inerentes ao sistema de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso:

- a. A caixa de mistura necessita ser aperfeiçoada para que o ar seja efetivamente misturado antes do insuflamento. Para isto, podem ser feitos estudos para se determinar uma arquitetura adequada, utilizando os recursos computacionais de simulação, cujos resultados devem ser validados com testes experimentais utilizando-se a estrutura do próprio laboratório instalado.
- b. Usando os mesmos recursos do item anterior, sugerem-se estudos que estabeleçam uma relação entre o ponto de insuflamento e a geometria do plenum para se determinar a posição ideal de sua instalação.
- c. Na área de sistemas de automação e controle, sugerem-se estudos para a determinação de estratégias de controle da umidade no ambiente, em função das informações relativas às variáveis disponíveis em tempo real.
- d. Propõe-se, também, no âmbito do desenvolvimento de produtos, o projeto e viabilização da produção de um dispositivo de ajuste individual de vazão de ar que satisfaça aos requisitos de integração estética, simplicidade para manuseio e de baixo custo.

Pesquisas de avaliação de conforto térmico com a inclusão de usuários:

- a. Considerando que as pessoas têm hábitos sazonais, sugere-se que outros estudos semelhantes ao realizado sejam feitos em diferentes estações do ano, para aferir o nível de satisfação expresso com as condições térmicas proporcionadas pelo sistema de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso. Sugere-se, também, que a amostra seja constituída por pessoas que trabalhem em edifícios de escritórios que utilizem este tipo de sistema.
- b. Propõe-se que seja feita a avaliação dos efeitos interativos entre as diversas estações de trabalho, ocupadas simultaneamente, quando as pessoas criam o micro clima de sua preferência.
- c. O laboratório instalado, por ser altamente flexível, oferece oportunidades para se avaliar as condições térmicas de ambientes com diferentes materiais

construtivos, de acabamento e configuração do *lay out*. Pesquisas que contemplem essas variações podem ser de grande valia para tomadas de decisão na fase de projeto, tanto de arquitetura quanto do próprio sistema de condicionamento de ar.

- d. Para verificar os ganhos reais em conforto e economia de energia, propõe-se um estudo comparativo entre os sistemas de insuflamento pelo piso e pelo teto, nos moldes da pesquisa realizada.

Pesquisas na área da saúde:

Embora já existam resultados de pesquisas que demonstram que a concentração de particulados no ar dos ambientes que contam com o sistema de distribuição de ar pelo piso é menor do que nos ambientes com distribuição de ar pelo teto (Raimundo, 2002), não se sabe ainda o que acontece, por exemplo, com a qualidade e quantidade de fungos em ambientes condicionados no Brasil.

Capítulo 12

BIBLIOGRAFIA

1. ABNT, 1980.— *Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto – Parâmetros Básicos de Projeto (NBR 6401)*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
2. Akutsu, M. 1998. *Método para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil*. FAU/USP, São Paulo. (Tese de doutorado).
3. Arens, E. A. et al., 1995. A study of occupant cooling by two types of personally controlled air movement. *In: Proceedings from the Pan Pacific Symposium on Building and Urban Environmental Conditioning in Asia*. Nagoya University, Nagoya – Japan.
4. Arnold, D., 1990. Raised floor air distribution – a case study. *In: ASHRAE Transactions* v. 96 p. 665 – 669, ASHRAE, Atlanta - USA.
5. ASHRAE Standard, 1995. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. (ANSI/ASHRAE Standard 55a-1995)*. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta - USA.
6. ASHRAE Standard, 2000. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. (ASHRAE Standard 551993R)*. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta - USA.
7. ASHRAE, 2001. *Handbook of Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning, Atlanta - USA.
8. Barker, C. T. et al., 1987. Lloyd's of London. *Air Conditioning: Impact on the Built Environment*. Nichols Publishing Company, New York - USA.
9. Bauman, F. S. et al., 1992. Performance testing of a floor-based, occupant-controlled office ventilation system. *In: ASHRAE Transactions*, v. 98 p. 553 – 565, ASHRAE, Atlanta, GA, USA.

10. Bauman, F. S. et al., 1993. Localized Comfort Control with a Desktop Task Conditioning System: laboratory and field measurements. *In: ASHRAE Transactions* – v. 99 (2) p. 733 – 749, ASHRAE, Atlanta, GA, USA.
11. Bauman, Fred. S.; Arens, Edward A, 1996. *Task/Ambient Conditioning Systems: Engineering and Application Guidelines*. Publication Number: CEDR-13-96. University of California, Berkeley, California, October/1996.
12. Bauman, F.; Akimoto, T., 1996. *Field study of a desktop task conditioning system in PG&E's advanced office systems testbed*. Center for Environmental Design Research, University of California, Berkeley.
13. Bielli, E., 2002. UFAD: Floor Supply and Floor Return for Excellent Indoor Air Quality and Thermal Comfort. *In: 8th International Conference on Air Distribution in Rooms – ROOMVENT 2002*, The Technical University of Denmark and Danvak, Denmark, Copenhagen – Denmark, p. 449 - 452.
14. Blaevoet, J., 1995. Panel discussion on design, installation, and operation. *In: Proceedings from the Workshop on Task/Ambient Conditioning Systems in Commercial Buildings*. Center for Environmental Design Research, University of California, Berkeley, California, May/1995.
15. Cermak, R. et al., 2002. PIV Measurements at the Breathing Zone with Personalized Ventilation. *In: 8th International Conference on Air Distribution in Rooms – ROOMVENT 2002*, The Technical University of Denmark and Danvak, Denmark, Copenhagen – Denmark, p. 349 – 352.
16. Clarke, J. A. et al., 2002. Local Comfort and Air Quality Quantification via Integrated Building Simulation. *In: 8th International Conference on Air Distribution in Rooms – ROOMVENT 2002*, The Technical University of Denmark and Danvak, Denmark, Copenhagen – Denmark, p. 401 - 404.
17. Collins, K. J., Hoinville, E., 1980. Temperature requirements in old age. *In: Building Services Engineering Research and Technology*, v. 1 (4), p. 165 – 172.
18. CR, 1998. *Ventilation for Buildings: Design Criteria for the Indoor Environment (CR 1752)*. CEN, Brussels.

19. Croome, D. J.; Rollason, D., 1988. Freshness, Ventilation and Temperature in Offices. *In: Proceedings from the CIB Healthy Buildings'88 Conference.* Stockholm, September/1988.
20. Daniels, K., 2002. Sustainable Building Design. *In: 8th International Conference on Air Distribution in Rooms – ROOMVENT 2002,* The Technical University of Denmark and Danvak, Denmark, Copenhagen – Denmark, p. 19 - 22.
21. David, J., 1984. Under Floor Air Conditioning. *In: Journal of the Chartered Institution of Building Services.* August/1984.
22. DIN– 1995 – *Chilled Surfaces for Rooms – part 1: measuring of the performance with free flow -Test Rules* DIN 4715.
23. EXAME SÃO PAULO, 2001. Espigões Globalizados. *In: EXAME, edição 736,* p. 40 – 45, março/2001.
24. Fallucchi, A., 1988 Let your fingertips cool your office. *In: Facilities Design & Management,* June/1988.
25. Fanger, P. O., 1972. *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering.* McGraw-Hill Book Company, New York.
26. Fanger, P. O., 1982. *Thermal Comfort.* Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar, FL.
27. Fanger, P. O., 1973. The variability of man's preferred ambient temperature from day to day. *In: Archives des Sciences Physiologiques,* v. 27 (4), p. A 403.
28. Fanger, P. O., Langkilde, G., 1975. Interindividual differences in ambient temperature preferred by seated persons. *In: ASHRAE Transactions,* v. 81 (2), p. 140 – 147. ASHRAE, Atlanta, GA, USA.
29. Fanger, P. O., et al., 1977. Can colour and noise influence man's thermal comfort?. *In: Ergonomics,* n. 20, p. 1:11-18.
30. Ferreira, Maurício S., 2001. *Um modelo do sistema térmico do corpo humano.* Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. (Tese de Doutorado).

31. Fisk, W. J. et al, 1991. Indoor air flow and pollutant removal in a room with task ventilation. *In: Indoor Air 3*, p. 247-262.
32. Fountain, M. E. et al, 1994. Locally controlled air movement preferred in warm isothermal environments. *In: ASHRAE Transactions v. 100 (2)*. ASHRAE, Atlanta, GA, USA.
33. Fountain, M. E.; Arens, E. A, 1993. Air movement and thermal comfort. *In: ASHRAE Journal 35 (no. 8)*, p. 26-30.
34. Gagge, A. P.; Stolwijk, J. A. J.; Hardy, J. D, 1967. Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures. *In: Environmental Research*, n. 1, p. 1-20.
35. Gaspar, A. R.; Raimundo, A. M.; Quintela, D. A., 2002. Thermal Performance of a Local Heating System. The Individual Perspective. *In: 8th International Conference on Air Distribution in Rooms – ROOMVENT 2002*, The Technical University of Denmark and Danvak, Denmark, Copenhagen – Denmark, p. 49 - 52.
36. Genter, R. E., 1989. Air distribution for raised floor offices. *In: ASHRAE Transactions v. 95 (2)*. ASHRAE, Atlanta, GA, USA.
37. Givoni, B, 1988. Issues of comfort requirements and localized controls in advanced comfort systems. *In: A New Frontier: Environment for Innovation, Proceedings of International Symposium on Advanced Comfort Systems for the Work Environment*. Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY.
38. GSA, 1992. *GSA access floor study*. U. S. General Services Administration,. E. B. Comission N. 7211-911C, Washington, D. C, September/1992.
39. Hanzawa, H. Nagasawa, Y., 1990. Thermal comfort with underfloor air-conditioning systems. *In: ASHRAE Transactions*, v. 96, p. 696 – 698. ASHRAE, Atlanta, GA, USA.
40. Harris, L. and Associates, 1980. *Comfort and productivity in the offices of the '80s. The steelcase National Study of Office Environments, No. II*. Grand Rapids, MI: Steelcase, Inc.

41. Hartkopf, V. et al, 1993. *Designing the office of the future: the japanese approach to tomorrow's workplace*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
42. Hartkopf, V. Loftness, V., 1985. The development of intelligent systems towards total building performance. *In: The Impact of the Work Environment on Productivity, ARCC Workshop Proceedings*. Architectural Research Centers Consortium, Washington, DC.
43. Hedge, A. Michael A. Parmelee, S., 1992. Reactions of facilities managers and office workers to underfloor task air ventilation. *In: Journal of Architectural Planning and Research*.
44. Heinemeier, K. E. Schiller, G. E. Benton, C. C., 1990. Task conditioning for the workplace: issues and challenges. *In: ASHRAE Transactions*, v. 96, p. 678 – 689, ASHRAE, – Atlanta, GA, USA.
45. Houghton, D., 1995. Turning air conditioning on its head: Underfloor air distribution offers flexibility, comfort, and efficiency. *E Source Tech Update TU-95-8*. E Source, Inc., Boulder, Colo August/1995.
46. IAG, 2001. *Observações de superfície efetuadas na estação meteorológica – 2001*. Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
47. ISO, 1985. *Thermal environments – Instruments and methods for measuring physical quantities (ISO 7726)*. International Standards Organization, Geneva.
48. ISO, 1994. *Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort (ISO 7730)*. International Standards Organization, Geneva.
49. ISO, 1995. *Ergonomics of the thermal environment – Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble (ISO 9920)*. International Standards Organization, Geneva.
50. Jacobsen, T. S. et al., 2002. Design Methods and Evaluation of Thermal Comfort for Mixing and Displacement Ventilation. *In: 8th International Conference on Air Distribution in Rooms – ROOMVENT 2002*, The Technical University of Denmark and Danvak, Denmark, Copenhagen – Denmark, p. 209 - 212.

51. Kaczmarczyk, J. et al., 2002. Individual Control and People's Preferences in an Experiment with a Personalized Ventilation System. *In: 8th International Conference on Air Distribution in Rooms – ROOMVENT 2002*, The Technical University of Denmark and Danvak, Denmark, Copenhagen – Denmark, p. 57 - 60.
52. Kaplan, A., 1989. The office environment: why people take their clothes off in buildings. *In: Canadian Facility Management*, Winter.
53. Kaplan, A., 1987. *The FUNDI project: a new approach to environmental design for office buildings, and a research methodology for investigation of office environments. AES/SAG 14:87-5 and 6*. Public Works Ottawa, Ontário, Canada.
54. Leite, Brenda C. C., 1997. *Análise do Desempenho de Edifícios de Escritórios Automatizados através da Avaliação Pós-Ocupação*. FAU-USP, São Paulo. (Dissertação de Mestrado).
55. Leite, B. C. C.; Tribess, A., 2002 (a). Analysis of the Underfloor Air Distribution System: Thermal Comfort and Energy Consumption. *In: 8th International Conference on Air Distribution in Rooms – ROOMVENT 2002*, The Technical University of Denmark and Danvak, Denmark, Copenhagen – Denmark, p. 245 - 248.
56. Leite, B. C. C.; Tribess, A., 2001. Conforto Térmico em Ambientes de Escritórios com Distribuição de Ar pelo piso. *In: VII Congresso Brasileiro de Refrigeração, Ventilação e Condicionamento de Ar*, CONBRAVA, São Paulo, p. 119-127.
57. Leite, B. C. C.; Tribess, A.; Ornstein, S. W., 2000. Work environment thermal evaluation with underfloor air supply applied to a commercial building in Rio de Janeiro, Brazil. *In: 7th International Conference on Air Distribution in Rooms Proceedings - ROOMVENT 2000*, Reading - UK. Elsevier Science Ltd., Oxford – UK, v. II, p. 989-994.
58. Leite, B.C.C; Tribess, A., 2002 (b). Determinação de parâmetros de conforto térmico e condições de operação de sistema de ar condicionado com insuflamento pelo piso. *In: Anais do II Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - CONEM/2002*. João Pessoa (CD ROM).

59. Levy, H. F., 2002. Individual Control by Individual VAV. *In: 8th International Conference on Air Distribution in Rooms – ROOMVENT 2002*, The Technical University of Denmark and Danvak, Denmark, Copenhagen – Denmark, p. 45 - 48.
60. Madsen, T. L., 2002. Individually Controlled Local Heating. *In: 8th International Conference on Air Distribution in Rooms – ROOMVENT 2002*, The Technical University of Denmark and Danvak, Denmark, Copenhagen – Denmark, p. 53 - 56.
61. Matsunawa, K. Iizuka, H. Tanabe, S., 1995. Development and application of an underfloor air-conditioning system with improved outlets for a “smart” building in Tokyo. *In: ASHRAE Transactions*, v. 101 (2), p. 887 – 901, ASHRAE, Atlanta, GA, USA.
62. McCarry, Blair, 1995. Underfloor air distribution systems: benefits and when to use the system in building design. *In: ASHRAE Transactions* v. 101, p. 902 – 911, ASHRAE, Atlanta, GA, USA.
63. McCullough, E. A., Jones, B. W., 1984. A comprehensive data base for estimating clothing insulation. *IER Technical Report 84-01*, Institute for Environmental Research, Kansas State University, Manhattan. (Final report to *ASHRAE Research Project 411-RP*).
64. Naydenov, K. et al., 2002. Performance of Displacement Ventilation in Practice. *In: 8th International Conference on Air Distribution in Rooms – ROOMVENT 2002*, The Technical University of Denmark and Danvak, Denmark, Copenhagen – Denmark, p. 483 - 486.
65. Nevins, R. G., et al., 1966. Temperature-humidity chart for thermal comfort of seated persons. *In: ASHRAE Transactions*, v. 72 (1), p. 283. ASHRAE, Atlanta, GA, USA.
66. Nishi, Y., Gonzalez, R. R., Gagge, A. P., 1975. Direct measurement of clothing heat transfer properties during sensible and insensible heat Exchange with thermal environment. *In: ASHRAE Transactions* v. 81 (2) p. 183, ASHRAE, Atlanta, GA, USA.

67. Olesen, B. s.d. W. *Introduction to the New Revised Draft of EN ISO 7730*. Wirsbo-Velta” GmbH, Norderstedt/Germany.
68. Olesen, B. W., 1982. *Thermal Comfort*. Bruel & Kjaer Technical Review, n. 2.
69. Olesen, B. W., 1985. *Local Thermal Discomfort*. Bruel & Kjaer Technical Review, n. 1 – 4^a ed.
70. Olesen, B. W., Nielsen, R., 1983. *Thermal insulation of clothing measured on a moveable manikin and on human subjects*. Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark.
71. Olesen, B. W., Scholer, M., Fanger, P. O., 1979. Vertical air temperature differences and comfort. *In: Indoor climate*, eds. P. O. Fanger and O. Valbjorn, p. 561 – 579. Danish Building Research Institute, Copenhagen.
72. Ornstein, Sheila W., Andrade, Cláudia M. de, Leite, Brenda C. C., 1999. Office Workplaces in São Paulo, Brazil: Some Buildings Performance Considerations. *In: Proceedings of the 30th Annual Conference of the Environmental Design Research Association - EDRA 30 / 1999*. Orlando / Florida, June 2 – 6/1999.
73. Pedersen, C. O. et al., 1993. *BLAST 1.0 - Building Load Analysis and System Thermodynamics*. Champaign. University of Illinois, Urbana, EUA.
74. Pitchurov, G. et al., 2002. Field Survey of Occupants Thermal Comfort in Rooms with Displacement Ventilation. *In: 8th International Conference on Air Distribution in Rooms – ROOMVENT 2002*, The Technical University of Denmark and Danvak, Denmark, Copenhagen – Denmark, p. 479 - 482.
75. Raimundo, A. M.; Costa, J. J.; Oliveira, L. A., 2002. Numerical modelling of particle dispersion within a displacement ventilation system. *In: 8th International Conference on Air Distribution in Rooms – ROOMVENT 2002*, The Technical University of Denmark and Danvak, Denmark, Copenhagen – Denmark, p. 125 - 128.
76. RICHARD ELLIS, 1995. Centro: necessidade de renovação. *In: Richard Ellis Research*, Relatório de agosto de 1995.
77. RICHARD ELLIS, 1999. CB Richard Ellis – Navigating a New World – Market Survey XI – Brasil. *In: Richard Ellis – Mercado São Paulo*.

78. Rohles, F. H. Jr., Johnson, M. A., 1972. Thermal comfort in the elderly. In: *ASHRAE Transactions*, v. 77, p. 239. ASHRAE, Atlanta, GA, USA.
79. Rohles, F. H. Jr., Nevins, R. G., 1971. The nature of thermal comfort for sedentary man. In: *ASHRAE Transactions*, v. 77, p. 239. ASHRAE, Atlanta, GA, USA.
80. Rowlinson, D. Croome, D. J., 1987. Supply characteristics of floor mounted diffusers. In: *Proceedings from ROOMVENT-87, Air Distribution in Ventilated Spaces*. Stockholm, June/1987.
81. Schiller, G. et al., 1988. A Field Study of Thermal Environments and Comfort in Office Buildings. *Final Report, ASHRAE 426 – RP*, January, C-04-88, University of California, Berkeley, CA.
82. Shute, R. W., 1992. Integrated access floor HVAC. In: *ASHRAE Transactions*, v. 98, p. 730 – 736, ASHRAE, Atlanta, GA, USA.
83. Shute, R. W., 1995. Integrated access floor HVAC: lessons learned. In: *ASHRAE Transactions* v. 101, p. 877 – 886, ASHRAE, Atlanta, GA, USA.
84. Skistad, H. (ed) et al., 2002. *Displacement Ventilation in non-industrial premises – REHVA Guidebook n. 1*. Federation of European Heating and Air-conditioning Associations – REHVA, Brussels.
85. Sodec, F., 1984. Air distribution systems. *Report n. 3554 A*. Krantz BmbH & Co., Aachen, West Germany, September/1984.
86. Sodec. F. Craig, R., 1990. The underfloor air supply system – the european experience. In: *ASHRAE Transactions*, v. 96, p. 690 – 695, ASHRAE, Atlanta, GA, USA.
87. Spoormaker, H. J. McMillan, C. M., 1984. An energy efficient flexible system for HVAC and electrical services in office buildings. In: *Proceedings of the Third International Conference on Tall Buildings*. Hong Kong Institution of Engineers, Hong Kong.
88. Spoormaker, H. J., 1990. Low-pressure underfloor HVAC system. In: *ASHRAE Transactions* v. 96, p. 670 – 677, ASHRAE, Atlanta, GA, USA.

89. Tanabe, S., 1995. Thermal comfort aspects of underfloor air distribution system. *In: Proceedings from the International Symposium: Issues on Tas-Ambient Air-conditioning*. Nagoya, Japan, January/1995.
90. Tanaka, H., 1991. Types and features of personal air conditioning. *SHASE Journal, Special Edition: Personal Air Conditioning 65 (n. 7)*. The Society of Heating, Air-Conditioning, and Sanitary Engineers of Japan, Tokyo.
91. Toftum, J. et al., 2002. Human Preference for Air Movement. *In: 8th International Conference on Air Distribution in Rooms – ROOMVENT 2002*, The Technical University of Denmark and Danvak, Denmark, Copenhagen – Denmark, p. 301 - 304.
92. Tuddenham, D., 1986. A floor-based approach. *In: ASHRAE Journal*, July/1986.
93. Vischer, J. C., 1989. *Environmental Quality in Offices*. Van Nostrand Reinhold, New York.
94. Wyon, D. P. et al., 1988. Energy conservation and user control in advanced comfort systems: workplace HVAC versus the computerised technological fix. *In: A New Frontier: Environment for Innovation, Proceedings of International Symposium on Advanced Comfort Systems for the Work Environment*. Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY.
95. Wyon, D. P., 1988. Ventilated floor systems with independent room air terminals as the basis of a healthy office environment. *In: Healthy Buildings '88 Proceedings*.
96. Yang, J. et al., 2002. Impact of Personalized Ventilation on Human Response: Comparison Between Constant and Fluctuating Airflows Under Warm Condition. *In: 8th International Conference on Air Distribution in Rooms – ROOMVENT 2002*, The Technical University of Denmark and Danvak, Denmark, Copenhagen – Denmark, p. 305 - 308.
97. Yokoyama, K. Inoue, T., 1991. Thermal environment with underfloor air-conditioning system. *In: Proceedings from the ASHRAE IAQ '91 Conference on Healthy Buildings*.

98. Zeng, Q. et al., 2002. Perceived Air Quality and Thermal Sensation with a Personalized Ventilation System. *In: 8th International Conference on Air Distribution in Rooms – ROOMVENT 2002*, The Technical University of Denmark and Danvak, Denmark, Copenhagen – Denmark, p. 61 - 64.
99. Zhou, G.; Melikov, A., 2002. Equivalent Frequency – A New Parameter for Description of Frequency Characteristics of Airflow Fluctuations. *In: 8th International Conference on Air Distribution in Rooms – ROOMVENT 2002*, The Technical University of Denmark and Danvak, Denmark, Copenhagen – Denmark, p. 357 - 360.
100. Zhou, G.; Melikov, A.; Fanger, P. O., 2002. Impact of Equivalent Frequency on the Sensation Draught. *In: 8th International Conference on Air Distribution in Rooms – ROOMVENT 2002*, The Technical University of Denmark and Danvak, Denmark, Copenhagen – Denmark, p. 297 - 300.
101. Zhu, J., Ito, H. Nakahara, N., 1995. Thermal comfort and energy saving of a personal air-conditioning system using fluctuating air movement. *In: Proceedings from the Second International conference on Indoor Air Quality, ventilation, and Energy Conservation in Buildings*. Centre for Building Studies, Concordia University, Montreal, May/1995.

ANEXO “A”

Para a tabulação das respostas ao questionário foi usada a seguinte convenção:

-3	-2	-1	0	1	2	3
MF Muito frio	F Frio	LF Ligeiramente Frio	C Confortável	LQ Ligeiramente quente	Q Quente	MQ Muito quente
MD Muito desagradável	D Desagradável	LD Ligeiramente desagradável	I Não faz diferença	LA Ligeiramente agradável	A Agradável	MA Muito agradável
MI Muito inadequada (para o frio)	I Inadequada (para o frio)	LI Ligeiramente inadequada (para o frio)	A Adequada	LI Ligeiramente inadequada (para o quente)	I Inadequada (para o quente)	MI Muito inadequada (para o quente)

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES DE ESCRITÓRIOS
COM AR CONDICIONADO INSUFLADO PELO PISO**

Pesquisa de Doutorado

Aluna: Brenda Chaves Coelho Leite
Orientador: Prof. Dr. Arlindo Tribess

Caro colaborador,

Favor preencher os campos deste questionário assim que for solicitado.

Nome:

Sexo:

Idade:

Número da estação de trabalho que está ocupando:

Condição:

Data: / /

A) DESCONFORTO TÉRMICO GERAL

1. No local onde está sentado, como você sente a temperatura do ar?
(Marque com X o quadrinho correspondente à sua opção)

MF	F	LF	C	LQ	Q	MQ
-----------	----------	-----------	----------	-----------	----------	-----------

MF=Muito Frio

F=Frio

LF=Ligeiramente Frio

C=Confortável

LQ=Ligeiramente Quente

Q=Quente

MQ=Muito Quente

2. Na condição térmica em que se encontra no momento, você sente algum desses sintomas?

- Ressecamento dos olhos ☐
- Ressecamento da pele ☐
- Ressecamento das narinas ☐
- Ressecamento da garganta ☐
- Espirros ☐
- Falta de ar (bronquite) ☐
- Transpiração ☐

3. Você percebe algum movimento do ar na altura do tronco?

☐ Sim ☐ Não

4. Se você percebe, identifique a sua sensação:
(Marque com X o quadrinho correspondente à sua opção)

MD	D	LD	I	LA	A	MA
----	---	----	---	----	---	----

MD=Muito Desagradável D=Desagradável LD=Ligeiramente Desagradável
I=Não faz diferença pra você
LA=Ligeiramente agradável A=Agradável MA=Muito agradável

B) DESCONFORTO LOCAL

No local onde você está sentado:

1. Você sente alguma diferença na temperatura do ar entre os níveis dos pés e da cabeça?

☐ Sim ☐ Não

2. Se sente diferença, isto é:

MD	D	LD	I	LA	A	MA
----	---	----	---	----	---	----

3. Como sente a temperatura do ar ao nível dos pés?

MF	F	LF	C	LQ	Q	MQ
----	---	----	---	----	---	----

4. Como sente a temperatura do ar ao nível do tronco?

MF	F	LF	C	LQ	Q	MQ
----	---	----	---	----	---	----

5. Como sente a temperatura do ar ao nível do cabeça?

MF	F	LF	C	LQ	Q	MQ
----	---	----	---	----	---	----

6. Na direção horizontal, você sente alguma diferença de temperatura nos lados opostos do tronco? (Por exemplo: frente e costas, lado esquerdo e direito).

Sim	Não
-----	-----

7. Se sente, isto é:

MD	D	LD	I	LA	A	MA
----	---	----	---	----	---	----

8. Na direção horizontal, você sente alguma diferença de temperatura nos lados opostos da cabeça? (Por exemplo: testa e nuca, face esquerda e direita).

Sim	Não
-----	-----

9. Se sente, isto é:

MD	D	LD	I	LA	A	MA
----	---	----	---	----	---	----

10. Você percebe algum movimento do ar (velocidade do ar) na região da cabeça?

Sim	Não
-----	-----

11. Se percebe, este movimento do ar é:

MD	D	LD	I	LA	A	MA
----	---	----	---	----	---	----

12. Você percebe algum movimento do ar (velocidade do ar) na região dos pés?

Sim

Não

13. Se percebe, este movimento do ar é:

MD	D	LD	I	LA	A	MA
----	---	----	---	----	---	----

14. Na condição de temperatura do ar atual no ambiente, você gostaria que a velocidade do ar fosse:

- Muito mais baixa.....☐
- Mais baixa.....☐
- Um pouco mais baixa.....☐
- A mesma que está agora.....☐
- Um pouco mais alta.....☐
- Mais alta.....☐
- Muito mais alta.....☐

15. Como você sente a temperatura do piso em contato com seus pés (calçados)?

MF	F	LF	C	LQ	Q	MQ
----	---	----	---	----	---	----

16. Depois de ficar 10 minutos em pé, você sente alguma diferença de temperatura do ar entre os pés e a cabeça?

Sim

Não

17. Se sente diferença, isto é:

MD	D	LD	I	LA	A	MA
----	---	----	---	----	---	----

C) PERGUNTAS GERAIS

1. Como você considera a roupa que está usando, com relação às condições térmicas do ambiente em que se encontra no momento?

MI=Muito inadequada I=Inadequada LI=ligeiramente inadequada

2. Você gostaria de poder controlar as condições térmicas no seu posto de trabalho, de acordo com sua preferência?

Sim

Não

Agradecemos a sua colaboração

Tabela A.1-Tabulação das respostas aos questionários

Número de respostas na condição de ensaio C1

		Não	Sim	Total	-3	-2	-1	0	1	2	3	Total
A -Desconforto Térmico Geral	1.				0	1	4	20	4	3	0	32
	2.a)	29	3	32								
	2.b)	30	2	32								
	2.c)	30	2	32								
	2.d)	24	8	32								
	2.e)	32	0	32								
	2.f)	32	0	32								
	2.g)	31	1	32								
	3.	21	11	32								
	4.				0	0	3	7	0	1	0	11
B - Desconforto Local	1.	15	17	32								
	2.				0	1	9	4	3	0	0	17
	3.				0	2	8	18	4	0	0	32
	4.				0	1	7	20	4	0	0	32
	5.				0	0	3	19	7	2	1	32
	6.	22	10	32								
	7.				0	1	5	4	0	0	0	10
	8.	21	11	32								
	9.				1	0	6	4	0	0	0	11
	10.	25	7	32								
C	11.				0	0	1	6	0	1	0	8
	12.	27	5	32								
	13.				0	0	3	1	1	1	0	6
	14.				1	0	5	15	9	1	1	32
	15.				0	1	8	16	7	0	0	32
	16.	11	21	32								
	17.				0	3	14	4	0	0	0	21
	1.				0	1	5	23	2	1	0	32
	2.	2	30	32								

Número de respostas na condição de ensaio C2

A -Desconforto Térmico Geral	1.				0	1	8	19	4	0	0	32
	2.a)	28	4	32								
	2.b)	31	1	32								
	2.c)	30	2	32								
	2.d)	27	5	32								
	2.e)	27	5	32								
	2.f)	30	2	32								
	2.g)	31	1	32								
	3.	16	16	32								
	4.				0	1	9	2	3	1	0	16
B - Desconforto Local	1.	6	26	32								
	2.				0	2	12	7	2	3	0	26
	3.				0	2	9	16	2	3	0	32
	4.				0	1	13	14	3	1	0	32
	5.				0	0	6	19	6	1	0	32
	6.	16	16	32								
	7.				1	3	8	2	1	1	0	16
	8.	21	11	32								
	9.				0	2	4	4	0	1	0	11
	10.	26	6	32								
C	11.				0	1	0	1	3	1	0	6
	12.	24	8	32								
	13.				0	2	1	3	1	1	0	8
	14.				0	2	5	17	8	0	0	32
	15.				0	2	6	20	1	1	2	32
	16.	8	24	32								
	17.				0	2	17	1	3	1	0	24
	1.				0	2	9	18	3	0	0	32
	2.	2	30	32								

Número de respostas na condição de ensaio C3

		Não	Sim	Total	-3	-2	-1	0	1	2	3	Total
A -Desconforto Térmico Geral	1.				0	1	8	12	10	0	0	31
	2.a)	27	4	31								
	2.b)	29	2	31								
	2.c)	30	1	31								
	2.d)	26	5	31								
	2.e)	30	1	31								
	2.f)	31	0	31								
	2.g)	29	2	31								
	3.	22	9	31								
	4.				0	0	5	4	0	0	0	9
B - Desconforto Local	1.	9	22	31								
	2.				0	4	10	5	3	0	0	22
	3.				0	2	15	12	1	1	0	31
	4.				0	1	9	16	5	0	0	31
	5.				0	0	5	13	11	2	0	31
	6.	21	10	31								
	7.				0	0	6	3	1	0	0	10
	8.	23	8	31								
	9.				0	0	5	1	2	0	0	8
	10.	24	7	31								
C	11.				0	0	1	5	1	0	0	7
	12.	21	10	31								
	13.				0	1	1	6	1	1	0	10
	14.				0	0	4	17	8	2	0	31
	15.				0	0	10	19	1	1	0	31
	16.	8	23	31								
	17.				0	2	14	6	1	0	0	23
	1.				0	1	6	20	4	0	0	31
	2.	1	30	31								

Número de respostas na condição de ensaio C5

		Não	Sim	Total	-3	-2	-1	0	1	2	3	Total
A -Desconforto Térmico Geral	1.				0	1	8	18	3	1	0	31
	2.a)	27	4	31								
	2.b)	29	2	31								
	2.c)	26	5	31								
	2.d)	29	2	31								
	2.e)	30	1	31								
	2.f)	31	0	31								
	2.g)	31	0	31								
	3.	26	5	31								
	4.				1	0	1	1	1	1	0	5
B - Desconforto Local	1.	12	19	31	1	3	9	5	0	1	0	19
	2.				0	4	11	16	0	0	0	31
	3.				0	1	5	21	3	1	0	31
	4.				0	0	5	22	4	0	0	31
	5.	21	10	31	1	0	7	1	1	0	0	10
	6.	21	10	31	0	0	7	2	1	0	0	10
	7.				0	0	3	2	3	0	1	9
	8.				0	2	7	4	0	1	0	14
	9.				0	0	8	15	7	1	0	31
	10.	22	9	31	0	2	9	19	1	0	0	31
C	11.				0	2	11	2	1	1	0	17
	12.	17	14	31	0	0	8	15	7	1	0	31
	13.											
	14.											
	15.											
	16.	14	17	31								
	17.											
	1.				0	0	8	15	7	1	0	31
	2.	0	31	31								

Número de respostas na condição de ensaio C6

A - Desconforto Térmico Geral	1.				0	6	15	8	2	0	0	31
	2.a)	28	3	31								
	2.b)	31	0	31								
	2.c)	29	2	31								
	2.d)	27	4	31								
	2.e)	31	0	31								
	2.f)	31	0	31								
	2.g)	31	0	31								
3.	20	11	31									
4.				0	2	6	2	0	1	0	11	
B - Desconforto Local	1.	6	25	31								
	2.				0	3	18	3	1	0	0	25
	3.				0	11	15	5	0	0	0	31
	4.				0	2	10	17	1	1	0	31
	5.				0	1	9	17	4	0	0	31
	6.	21	10	31								
	7.				0	2	5	3	0	0	0	10
	8.	21	10	31								
	9.				0	0	8	2	0	0	0	10
	10.	18	13	31								
	11.				0	1	7	3	1	0	1	13
	12.	12	19	31								
	13.				0	6	9	2	2	0	0	19
	14.				0	1	10	14	5	1	0	31
	15.				0	5	17	9	0	0	0	31
	16.	6	25	31								
17.				1	5	15	4	0	0	0	25	
C	1.				0	2	11	14	4	0	0	31
	2.	1	30	31								

ANEXO “B”

Tabela B.1 - Dados das variáveis de conforto - Simuladores - condição C1

Retorno: 27,2°C

Insuflamento: 19,9°C

Ambiente: 25,8°C

Condição 1

Simuladores

Ponto		Temperatura (°C)						Velocidade (m/s)						Globo (°C)	UR (%)	Assim.(°C)
		0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,60m	0,60m	0,60m
1	Média:	24,9	24,7	25,6	27,1	27,8	28,3	0,00	0,06	0,05	0,00	0,03	0,03	25,0	38,3	0,3
	Desvio:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,00	0,02	0,01	0,00	0,02	0,01	0,0	0,1	0,3
2	Média:	24,9	24,5	24,7	26,9	27,8	28,4	0,08	0,05	0,12	0,00	0,02	0,03	24,8	39,1	0,5
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,01	0,02	0,03	0,00	0,02	0,02	0,1	0,1	0,2
3	Média:	24,7	23,8	24,2	27,3	27,8	28,2	0,01	0,14	0,15	0,00	0,03	0,04	24,7	39,6	2,9
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,02	0,04	0,02	0,00	0,02	0,01	0,0	0,1	0,3
4	Média:	24,7	24,4	26,8	27,2	27,8	28,2	0,00	0,04	0,15	0,00	0,03	0,03	24,7	40,1	2,8
	Desvio:	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,1	0,3	0,1
5	Média:	24,5	24,0	24,0	27,1	27,9	28,4	0,00	0,08	0,14	0,00	0,01	0,02	24,5	39,6	2,5
	Desvio:	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,00	0,02	0,01	0,00	0,02	0,02	0,2	0,3	0,1
6	Média:	24,6	24,4	25,2	26,9	27,8	28,3	0,00	0,03	0,05	0,00	0,02	0,04	25,0	39,3	2,7
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,00	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,1	0,3	0,2
7	Média:	25,7	26,0	26,8	27,2	27,9	27,7	0,11	0,05	0,10	0,02	0,04	0,00	26,0	36,6	0,6
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,1	0,2	0,1
8	Média:	26,3	26,1	26,6	27,5	28,0	27,7	0,06	0,04	0,01	0,00	0,05	0,01	26,0	36,2	-0,9
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,02	0,0	0,1	0,2
9	Média:	25,7	25,6	26,4	27,5	28,0	27,8	0,06	0,12	0,14	0,00	0,04	0,02	26,0	36,2	3,4
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,1	0,0	0,1
10	Média:	25,7	25,6	26,3	27,5	28,1	28,9	0,03	0,05	0,04	0,00	0,05	0,04	26,5	36,3	2,0
	Desvio:	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,0	0,2	0,1
11	Média:	25,7	25,8	26,6	27,5	28,1	28,5	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,05	26,1	36,3	-0,1
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,1	0,1	0,2
12	Média:	25,6	25,7	26,8	27,3	28,1	28,6	0,01	0,07	0,12	0,00	0,02	0,04	25,7	36,9	-1,1
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,02	0,01	0,02	0,00	0,02	0,01	0,1	0,1	0,1

Tabela B.2 - Dados das variáveis de conforto - circulação (P13 a P16) - condição C1

Retorno: 27,2°C		Insuflamento: 19,9°C					Ambiente: 25,8°C					Condição 1				Sala		
Ponto		Temperatura (°C)						Velocidade (m/s)						Globo (°C)	UR (%)	Assim.(°C)		
		0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,60m	0,60m	0,60m		
13	Média:	24,0	24,2	25,3	27,0	27,6	28,1	0,01	0,06	0,07	0,00	0,04	0,02	24,6	39,6	2,2		
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,02	0,02	0,01	0,00	0,02	0,02	0,0	0,1	0,1		
14	Média:	24,0	24,2	25,5	27,1	27,7	28,3	0,05	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	24,8	39,2	2,0		
	Desvio:	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,0	0,3	0,1		
15	Média:	24,9	25,1	25,0	27,2	27,9	27,4	0,03	0,00	0,06	0,00	0,06	0,01	25,2	37,2	0,1		
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,02	0,1	0,2	0,1		
16	Média:	25,4	25,4	26,6	27,9	28,2	28,6	0,10	0,11	0,04	0,00	0,04	0,04	26,4	36,8	1,6		
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,1	0,2	0,1		

Tabela B.3 - Dados das variáveis de conforto - difusores - condição C1

Retorno: 27,2°C		Insuflamento: 19,9°C					Ambiente: 25,8°C					Condição 1				Difusores		
Ponto		Temperatura (°C)						Velocidade (m/s)						Globo (°C)	UR (%)	Assim.(°C)		
		0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,60m	0,60m	0,60m		
17	Média:	22,8	23,6	24,7	27,0	27,7	28,3	0,40	0,12	0,08	0,00	0,03	0,04	24,6	39,6	2,3		
	Desvio:	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,03	0,01	0,00	0,02	0,01	0,0	0,1	0,1		
18	Média:	24,2	25,3	26,9	27,7	28,2	27,6	2,20	0,13	0,05	0,00	0,02	0,00	26,1	36,9	0,4		
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,21	0,02	0,01	0,00	0,02	0,01	0,0	0,0	0,1		
19	Média:	22,9	23,5	24,6	27,4	28,0	28,5	0,40	0,49	0,11	0,00	0,01	0,03	25,4	38,5	2,8		
	Desvio:	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,00	0,05	0,02	0,00	0,02	0,01	0,1	0,1	0,1		
20	Média:	23,2	24,0	26,0	28,2	29,8	32,2	1,91	0,44	0,12	0,11	0,21	0,13	26,8	36,7	-0,5		
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,03	0,04	0,02	0,01	0,02	0,01	0,0	0,2	0,2		

Tabela B.4 - Dados das variáveis de conforto - Simuladores - condição C2

Retorno: 26,6°C Insuflamento: 19,5°C Ambiente: 25,2°C

Condição 2

Simuladores

Ponto		Temperatura (°C)						Velocidade (m/s)						Globo (°C)	UR (%)	Assim.(°C)
		0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,60m	0,60m	0,60m
1	Média:	24,2	24,1	25,0	26,3	27,0	27,6	0,00	0,02	0,03	0,00	0,04	0,02	24,3	40,3	-0,5
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,0	0,1	0,2
2	Média:	24,1	24,0	24,4	26,3	27,0	27,6	0,14	0,02	0,05	0,00	0,04	0,03	24,2	39,8	0,2
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,03	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,1	0,1	0,1
3	Média:	24,1	23,6	23,9	26,5	27,0	27,4	0,07	0,06	0,10	0,00	0,03	0,04	23,8	41,1	0,9
	Desvio:	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,02	0,02	0,01	0,00	0,03	0,01	0,0	0,2	0,2
4	Média:	23,9	23,8	26,4	26,5	27,2	27,4	0,00	0,06	0,14	0,00	0,02	0,03	24,5	40,4	0,3
	Desvio:	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,01	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,1	0,2	0,2
5	Média:	24,0	23,8	24,1	26,4	27,2	27,5	0,02	0,03	0,10	0,01	0,02	0,04	24,2	40,0	-0,4
	Desvio:	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,1	0,2	0,1
6	Média:	24,1	24,1	24,4	26,2	27,1	27,5	0,00	0,04	0,04	0,01	0,01	0,04	24,2	40,2	-1,8
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,00	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02	0,1	0,1	0,3
7	Média:	24,9	25,3	26,0	26,4	27,1	27,0	0,13	0,05	0,10	0,02	0,05	0,01	25,5	37,2	0,3
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,0	0,1	0,1
8	Média:	25,3	25,4	25,8	26,6	27,1	26,8	0,04	0,06	0,02	0,00	0,04	0,00	25,4	37,3	3,1
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,02	0,01	0,02	0,00	0,02	0,01	0,0	0,1	0,1
9	Média:	25,0	25,1	26,0	26,7	27,2	27,1	0,06	0,05	0,18	0,00	0,04	0,02	25,3	37,6	2,9
	Desvio:	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02	0,0	0,1	0,1
10	Média:	24,5	24,6	25,9	26,7	27,4	27,7	0,10	0,06	0,01	0,08	0,10	0,02	25,6	38,4	-1,2
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05	0,02	0,1	0,5	0,1
11	Média:	24,7	24,9	25,9	26,7	27,4	26,8	0,06	0,04	0,00	0,00	0,02	0,02	25,2	37,7	-1,1
	Desvio:	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,01	0,02	0,01	0,00	0,02	0,02	0,1	0,1	0,2
12	Média:	24,9	25,1	26,2	26,5	27,3	26,9	0,04	0,06	0,11	0,00	0,03	0,01	24,9	38,3	3,1
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,0	0,1	0,1

Tabela B.5 - Dados das variáveis de conforto - circulação (P13 a P16) - condição C2

Retorno: 26,6°C Insuflamento: 19,5°C Ambiente: 25,2°C

Condição 2

Sala

Ponto	Temperatura (°C)						Velocidade (m/s)						Globo (°C)	UR (%)	Assim.(°C)	
	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,60m	0,60m	0,60m	
13	Média:	23,3	23,3	24,8	26,3	27,0	26,6	0,09	0,12	0,05	0,00	0,04	0,00	24,0	40,8	-0,2
	Desvio:	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,01	0,03	0,02	0,00	0,02	0,00	0,0	0,2	0,1
14	Média:	23,4	23,8	24,8	26,4	27,0	26,5	0,05	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	24,4	39,2	1,8
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,01	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,1	0,2	0,1
15	Média:	24,4	24,6	24,4	26,1	27,1	26,6	0,02	0,00	0,07	0,01	0,04	0,00	24,6	38,7	0,0
	Desvio:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,01	0,1	0,1	0,1
16	Média:	24,7	25,0	26,0	27,0	27,4	26,8	0,10	0,11	0,02	0,00	0,04	0,00	25,8	37,8	1,0
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,01	0,1	0,2	0,1

Tabela B.6 - Dados das variáveis de conforto - difusores - condição C2

Retorno: 26,6°C Insuflamento: 19,5°C Ambiente: 25,2°C **Condição 2** Difusores

Ponto		Temperatura (°C)						Velocidade (m/s)						Globo (°C)	UR (%)	Assim.(°C)
		0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,60m	0,60m	0,60m
17	Média:	21,8	22,8	23,9	26,4	27,0	26,7	2,41	0,31	0,08	0,00	0,04	0,01	23,9	40,6	0,0
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,03	0,10	0,03	0,00	0,02	0,01	0,1	0,3	0,2
18	Média:	23,2	24,6	25,8	26,6	27,2	26,6	2,10	0,14	0,04	0,00	0,02	0,00	25,1	38,8	-0,1
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,15	0,02	0,01	0,00	0,02	0,01	0,1	0,1	0,2
19	Média:	21,9	23,1	24,8	26,7	27,3	26,7	2,40	0,48	0,05	0,00	0,01	0,00	24,7	39,3	2,3
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,04	0,05	0,02	0,00	0,02	0,01	0,1	0,1	0,1
20	Média:	22,6	23,3	24,6	28,0	29,2	31,4	1,19	0,40	0,23	0,02	0,10	0,05	25,7	38,7	-0,5
	Desvio:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,00	0,1	0,3	0,1

Tabela B.7 - Dados das variáveis de conforto - Simuladores - condição C3

Retorno: 25,4°C

Insuflamento: 19°C

Ambiente: 24,1°C

Condição 3

Simuladores

Ponto		Temperatura (°C)						Velocidade (m/s)						Globo (°C)	UR (%)	Assim.(°C)
		0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,60m	0,60m	0,60m
1	Média:	23,5	23,4	23,9	25,3	26,1	26,6	0,09	0,02	0,02	0,00	0,04	0,03	23,4	38,9	1,6
	Desvio:	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,02	0,02	0,03	0,00	0,02	0,02	0,1	0,2	0,2
2	Média:	23,3	23,0	22,9	25,4	26,2	26,6	0,07	0,05	0,11	0,00	0,06	0,03	23,0	39,7	1,9
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,02	0,01	0,02	0,00	0,02	0,02	0,0	0,1	0,1
3	Média:	23,4	22,9	23,0	25,6	26,3	26,5	0,03	0,06	0,12	0,00	0,04	0,04	23,0	39,7	1,5
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,01	0,1	0,2	0,1
4	Média:	23,2	22,9	25,4	25,5	26,0	26,3	0,04	0,05	0,11	0,00	0,02	0,05	23,5	38,9	2,1
	Desvio:	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,00	0,01	0,02	0,00	0,03	0,01	0,0	0,1	0,2
5	Média:	23,2	22,9	22,6	25,4	26,1	26,5	0,07	0,06	0,13	0,00	0,04	0,04	23,1	39,2	1,6
	Desvio:	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,01	0,1	0,1	0,1
6	Média:	23,4	23,4	23,9	25,1	26,0	26,4	0,00	0,01	0,01	0,06	0,03	0,05	23,4	38,9	3,1
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,0	0,1	0,4
7	Média:	24,4	24,5	25,0	25,4	25,8	26,8	0,05	0,08	0,09	0,03	0,05	0,04	24,4	37,3	2,9
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,02	0,02	0,01	0,03	0,03	0,00	0,1	0,0	0,1
8	Média:	24,1	24,2	24,8	25,4	25,9	26,6	0,08	0,10	0,06	0,10	0,10	0,04	24,4	37,1	-1,2
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,01	0,02	0,02	0,04	0,05	0,01	0,0	0,1	0,3
9	Média:	24,0	24,3	24,8	25,7	26,2	26,9	0,07	0,07	0,13	0,00	0,04	0,04	24,3	37,2	3,1
	Desvio:	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,0	0,1	0,1
10	Média:	24,0	24,2	25,2	25,7	26,2	26,8	0,05	0,05	0,00	0,06	0,10	0,05	25,0	36,2	2,0
	Desvio:	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,01	0,0	0,1	0,1
11	Média:	23,4	23,9	24,2	25,2	25,5	26,0	0,03	0,04	0,00	0,00	0,04	0,04	24,4	36,3	-1,3
	Desvio:	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,01	0,02	0,01	0,00	0,03	0,01	0,1	0,1	0,2
12	Média:	24,1	24,4	25,2	25,6	26,4	26,6	0,05	0,05	0,08	0,00	0,05	0,04	24,3	37,2	2,8
	Desvio:	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,01	0,02	0,02	0,00	0,02	0,00	0,0	0,1	0,1

Tabela B.8 - Dados das variáveis de conforto - circulação (P13 a P16) - condição C3

Retorno: 25,4°C

Insuflamento: 19°C

Ambiente: 24,1°C

Condição 3

Sala

Ponto		Temperatura (°C)						Velocidade (m/s)						Globo (°C)	UR (%)	Assim.(°C)
		0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,60m	0,60m	0,60m
13	Média:	22,6	22,6	23,9	25,4	26,0	26,6	0,09	0,09	0,01	0,00	0,03	0,03	23,1	39,2	1,2
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,02	0,03	0,02	0,00	0,02	0,01	0,1	0,1	0,1
14	Média:	22,8	23,0	23,9	25,4	25,9	26,5	0,06	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	23,1	39,1	1,4
	Desvio:	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,1	0,2	0,1
15	Média:	23,6	23,8	23,8	24,8	26,0	26,4	0,04	0,01	0,03	0,03	0,01	0,01	23,6	37,9	1,7
	Desvio:	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,0	0,1	0,1
16	Média:	22,5	23,0	24,1	25,9	26,4	26,6	1,56	0,35	0,07	0,02	0,08	0,05	24,3	38,1	0,3
	Desvio:	1,0	0,5	0,4	0,1	0,0	0,0	1,05	0,14	0,03	0,02	0,03	0,02	0,2	0,4	1,4

Tabela B.9 - Dados das variáveis de conforto - difusores - condição C3

Retorno: 25,4°C			Insuflamento: 19°C			Ambiente: 24,1°C			Condição 3				Difusores			
Ponto		Temperatura (°C)						Velocidade (m/s)						Globo (°C)	UR (%)	Assim.(°C)
		0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,60m	0,60m	0,60m
17	Média:	21,1	22,3	23,3	25,5	26,1	26,6	2,26	0,11	0,01	0,00	0,04	0,02	23,1	39,5	1,5
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,13	0,02	0,02	0,00	0,01	0,02	0,0	0,1	0,2
18	Média:	22,6	24,0	24,8	25,6	26,3	26,5	2,04	0,11	0,04	0,00	0,03	0,04	23,8	39,8	1,5
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,25	0,02	0,02	0,00	0,02	0,01	0,1	0,2	0,1
19	Média:	21,4	22,1	23,8	25,7	26,3	26,5	2,62	0,48	0,01	0,00	0,04	0,04	23,2	39,9	1,5
	Desvio:	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,03	0,04	0,02	0,00	0,01	0,00	0,1	0,3	0,1
20	Média:	24,1	24,1	25,0	26,1	26,5	26,7	0,10	0,10	0,00	0,00	0,05	0,03	24,3	38,2	0,7
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,02	0,03	0,01	0,00	0,01	0,01	0,1	0,1	0,2

Tabela B.10 - Dados das variáveis de conforto - Simuladores - condição C4

Retorno: 24,4°C Insuflamento: 17,9°C Ambiente: 23,2°C

Condição 4

Simuladores

Ponto		Temperatura (°C)						Velocidade (m/s)						Globo (°C)	UR (%)	Assim.(°C)
		0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,60m	0,60m	0,60m
1	Média:	22,4	22,3	22,8	23,9	24,8	25,2	0,05	0,03	0,00	0,00	0,05	0,03	22,2	45,0	1,9
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,1	0,1	0,1
2	Média:	22,4	22,2	22,6	23,7	24,9	25,3	0,08	0,09	0,01	0,01	0,03	0,04	22,2	44,6	1,6
	Desvio:	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,0	0,1	0,1
3	Média:	22,5	21,9	21,8	23,7	24,8	25,1	0,05	0,08	0,15	0,01	0,05	0,05	21,9	45,7	1,8
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,1	0,2	0,1
4	Média:	22,5	22,0	24,2	24,1	24,6	24,9	0,03	0,04	0,11	0,00	0,04	0,06	22,0	45,8	1,3
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,02	0,02	0,03	0,00	0,02	0,02	0,1	0,3	0,1
5	Média:	22,6	22,1	21,8	23,7	24,8	25,0	0,04	0,03	0,11	0,02	0,04	0,05	21,9	45,4	2,2
	Desvio:	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,1	0,1	0,3
6	Média:	22,7	22,5	22,7	23,7	24,5	24,9	0,03	0,03	0,01	0,11	0,10	0,08	22,2	44,8	1,8
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,1	0,3	0,2
7	Média:	23,5	23,6	24,2	24,2	24,4	25,4	0,02	0,05	0,13	0,03	0,11	0,05	23,5	40,0	2,4
	Desvio:	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,0	0,1	0,1
8	Média:	23,6	23,4	23,6	24,3	24,6	25,4	0,06	0,07	0,07	0,03	0,07	0,05	23,4	40,0	-0,7
	Desvio:	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,1	0,1	0,3
9	Média:	23,3	23,5	23,6	24,5	24,9	25,7	0,08	0,07	0,15	0,00	0,07	0,07	23,3	40,6	0,3
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,0	0,2	0,2
10	Média:	23,5	23,4	24,2	24,4	24,8	25,4	0,05	0,03	0,01	0,04	0,09	0,06	24,0	38,9	-1,8
	Desvio:	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,01	0,0	0,1	0,2
11	Média:	23,4	23,3	23,7	24,4	24,8	25,3	0,04	0,01	0,02	0,00	0,10	0,06	23,5	39,5	-1,3
	Desvio:	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,01	0,02	0,03	0,01	0,04	0,01	0,1	0,2	0,1
12	Média:	23,3	23,3	23,9	24,3	25,0	25,5	0,04	0,06	0,10	0,00	0,05	0,05	23,4	40,1	2,8
	Desvio:	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,0	0,1	0,1

Tabela B.11 - Dados das variáveis de conforto - circulação (P13 a P16) - condição C4

Retorno: 24,4°C Insuflamento: 17,9°C Ambiente: 23,2°C

Condição 4

Sala

Ponto	Temperatura (°C)						Velocidade (m/s)						Globo (°C)	UR (%)	Assim.(°C)	
	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,60m	0,60m	0,60m	
13	Média:	22,0	21,7	22,5	24,1	24,7	25,1	0,05	0,12	0,01	0,00	0,02	0,04	22,2	44,3	1,2
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,02	0,04	0,02	0,00	0,02	0,01	0,1	0,1	0,2
14	Média:	21,8	22,0	22,9	24,1	24,7	25,0	0,04	0,03	0,00	0,00	0,02	0,02	22,3	43,7	0,9
	Desvio:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,0	0,1	0,1
15	Média:	22,7	22,8	22,9	22,6	24,4	25,3	0,06	0,01	0,00	0,14	0,07	0,03	22,6	42,1	0,9
	Desvio:	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,01	0,02	0,00	0,03	0,02	0,01	0,0	0,1	0,1
16	Média:	23,3	23,1	23,8	24,6	25,3	25,4	0,12	0,12	0,00	0,00	0,06	0,03	23,8	40,9	1,2
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,1	0,2	0,1

Tabela B.12 - Dados das variáveis de conforto - difusores - condição C4

Retorno: 24,4°C Insuflamento: 17,9°C Ambiente: 23,2°C **Condição 4** Difusores

Ponto	Temperatura (°C)						Velocidade (m/s)						Globo (°C)	UR (%)	Assim.(°C)	
	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,60m	0,60m	0,60m	
17	Média:	19,9	21,2	22,2	24,1	24,8	25,1	> 3,00	0,20	0,01	0,00	0,05	0,04	22,0	45,2	1,6
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	-	0,04	0,02	0,00	0,02	0,01	0,0	0,2	0,2
18	Média:	21,3	23,0	23,6	24,7	25,0	25,4	2,50	0,15	0,03	0,00	0,05	0,05	23,8	41,6	0,6
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,33	0,01	0,02	0,00	0,02	0,01	0,1	0,2	0,1
19	Média:	20,3	21,4	22,4	24,6	25,1	25,5	2,81	0,55	0,07	0,00	0,05	0,05	22,8	43,4	1,5
	Desvio:	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,06	0,08	0,03	0,00	0,02	0,01	0,1	0,1	0,1
20	Média:	21,1	22,1	23,1	25,6	26,8	29,8	1,58	0,51	0,18	0,00	0,10	0,07	23,8	42,5	0,2
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,02	0,08	0,02	0,00	0,02	0,01	0,0	0,2	0,2

Tabela B.13 - Dados das variáveis de conforto - Simuladores - condição C5

Retorno: 23,4°C Insuflamento: 16,3°C Ambiente: 22,1°C

Condição 5

Simuladores

Ponto		Temperatura (°C)						Velocidade (m/s)						Globo (°C)	UR (%)	Assim.(°C)
		0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,60m	0,60m	0,60m
1	Média:	21,7	21,4	22,0	22,4	23,2	23,5	0,06	0,04	0,01	0,00	0,06	0,05	21,2	49,9	1,5
	Desvio:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,1	0,4	0,2
2	Média:	21,7	21,2	21,6	22,3	23,3	23,7	0,06	0,06	0,04	0,00	0,04	0,04	21,3	49,4	1,6
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,01	0,01	0,02	0,00	0,02	0,01	0,1	0,2	0,1
3	Média:	21,6	21,1	21,2	22,0	23,1	23,5	0,06	0,09	0,13	0,07	0,06	0,05	21,0	50,3	0,0
	Desvio:	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,0	0,2	0,1
4	Média:	21,6	21,2	23,4	22,8	23,3	23,3	0,05	0,06	0,08	0,00	0,07	0,10	21,1	50,0	1,4
	Desvio:	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,01	0,03	0,01	0,00	0,02	0,01	0,1	0,3	0,2
5	Média:	21,8	21,3	21,3	22,4	23,3	23,5	0,08	0,05	0,09	0,01	0,05	0,05	21,1	50,0	2,3
	Desvio:	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,1	0,3	0,3
6	Média:	21,6	21,5	21,9	22,5	23,3	23,5	0,04	0,03	0,00	0,00	0,08	0,08	21,3	50,0	1,5
	Desvio:	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,1	0,2	0,1
7	Média:	22,5	22,7	23,4	22,8	23,1	23,6	0,06	0,07	0,06	0,13	0,14	0,09	22,6	45,9	0,7
	Desvio:	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,02	0,01	0,02	0,02	0,04	0,01	0,0	0,2	0,1
8	Média:	22,7	22,4	22,7	23,0	23,3	24,0	0,01	0,07	0,02	0,04	0,09	0,06	22,4	46,0	2,2
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,1	0,2	0,2
9	Média:	22,5	22,3	22,6	23,2	23,5	24,2	0,10	0,07	0,12	0,04	0,12	0,07	22,3	46,5	3,0
	Desvio:	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,03	0,01	0,01	0,03	0,04	0,01	0,0	0,1	0,1
10	Média:	22,8	22,7	23,2	23,1	23,4	23,8	0,00	0,03	0,00	0,09	0,21	0,08	22,9	46,7	-1,6
	Desvio:	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,00	0,02	0,01	0,05	0,07	0,01	0,1	0,4	0,1
11	Média:	22,8	22,8	22,9	22,9	23,4	24,0	0,00	0,03	0,02	0,05	0,11	0,08	22,8	45,6	2,5
	Desvio:	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,01	0,1	0,1	0,1
12	Média:	22,5	22,6	23,1	22,8	23,4	23,9	0,01	0,06	0,07	0,07	0,14	0,08	22,5	45,8	2,8
	Desvio:	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,02	0,01	0,02	0,03	0,05	0,01	0,0	0,1	0,1

Tabela B.14 - Dados das variáveis de conforto - circulação (P13 a P16) - condição C5

Retorno: 23,4°C Insuflamento: 16,3°C Ambiente: 22,1°C **Condição 5** Sala

		Temperatura (°C)						Velocidade (m/s)						Globo (°C)	UR (%)	Assim.(°C)
		0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,60m	0,60m	0,60m
Ponto																
13	Média:	21,1	20,8	21,3	22,2	23,3	23,5	0,06	0,13	0,07	0,02	0,06	0,06	20,9	50,8	0,5
	Desvio:	0,2	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,0	0,2	0,1
14	Média:	21,1	21,1	21,6	22,9	23,2	23,5	0,04	0,00	0,00	0,00	0,08	0,07	21,3	48,9	-0,8
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03	0,01	0,0	0,1	0,1
15	Média:	21,9	22,0	22,1	21,7	22,4	23,7	0,09	0,00	0,00	0,10	0,25	0,05	21,7	47,6	1,1
	Desvio:	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,02	0,01	0,01	0,02	0,04	0,00	0,0	0,1	0,1
16	Média:	22,1	22,3	22,7	23,4	24,0	24,0	0,14	0,03	0,00	0,00	0,07	0,05	22,6	46,5	0,8
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,03	0,02	0,01	0,00	0,02	0,01	0,1	0,1	0,2

Tabela B.15 - Dados das variáveis de conforto - difusores - condição C5

Retorno: 23,4°C Insuflamento: 16,3°C Ambiente: 22,1°C **Condição 5** Difusores

Ponto		Temperatura (°C)						Velocidade (m/s)						Globo (°C)	UR (%)	Assim.(°C)
		0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,60m	0,60m	0,60m
17	Média:	19,2	20,2	21,1	22,4	23,3	23,7	>3,00	0,44	0,10	0,00	0,06	0,05	21,1	49,9	-0,4
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	-	0,11	0,04	0,01	0,02	0,01	0,1	0,1	0,1
18	Média:	20,6	21,7	22,1	22,6	23,3	23,9	>3,00	0,18	0,09	0,03	0,08	0,06	22,0	48,3	0,9
	Desvio:	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	-	0,04	0,01	0,03	0,02	0,01	0,1	0,3	0,1
19	Média:	19,0	20,3	21,0	23,2	24,0	24,3	>3,00	0,87	0,19	0,00	0,06	0,06	21,7	49,8	1,0
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	-	0,04	0,02	0,00	0,02	0,01	0,1	0,1	0,1
20	Média:	19,9	20,6	21,4	24,1	25,6	28,0	1,69	0,54	0,25	0,00	0,08	0,08	22,5	49,0	1,9
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,02	0,06	0,01	0,00	0,01	0,01	0,1	0,7	0,1

Tabela B.16 - Dados das variáveis de conforto - Simuladores - condição C6

Retorno: 22,4°C Insuflamento: 15,4°C Ambiente: 20,8°C

Condição 6

Simuladores

Ponto		Temperatura (°C)						Velocidade (m/s)						Globo (°C)	UR (%)	Assim.(°C)
		0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,60m	0,60m	0,60m
1	Média:	21,2	21,0	21,3	21,3	22,1	22,6	0,08	0,03	0,06	0,07	0,09	0,04	20,9	50,9	1,2
	Desvio:	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03	0,01	0,0	0,1	0,2
2	Média:	21,1	20,3	20,3	21,4	22,3	22,7	0,08	0,15	0,13	0,01	0,06	0,05	20,5	51,7	1,2
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,02	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,1	0,4	0,1
3	Média:	20,9	20,6	20,4	20,9	22,2	22,7	0,08	0,06	0,17	0,09	0,06	0,06	20,0	53,8	0,6
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,02	0,01	0,02	0,04	0,02	0,01	0,1	0,5	0,1
4	Média:	20,9	20,5	22,4	21,8	22,4	22,5	0,07	0,05	0,13	0,00	0,09	0,10	20,3	53,6	2,2
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,01	0,02	0,02	0,00	0,03	0,01	0,0	0,3	0,3
5	Média:	20,9	20,5	20,8	21,8	22,3	22,5	0,11	0,07	0,08	0,00	0,08	0,08	20,2	53,1	2,3
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,1	0,1	0,3
6	Média:	20,9	20,9	21,3	21,7	22,3	22,5	0,06	0,02	0,01	0,01	0,09	0,10	20,5	52,8	-2,1
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,1	0,3	0,3
7	Média:	21,4	21,5	22,0	21,8	22,1	22,7	0,06	0,06	0,06	0,15	0,16	0,10	21,4	51,4	1,4
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,02	0,01	0,02	0,02	0,06	0,01	0,1	0,6	0,1
8	Média:	21,7	21,5	21,7	21,8	22,2	22,9	0,06	0,07	0,02	0,09	0,11	0,09	21,4	50,1	1,8
	Desvio:	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,1	0,2	0,1
9	Média:	21,5	21,2	21,3	21,9	22,4	23,2	0,06	0,08	0,14	0,06	0,14	0,09	21,3	49,9	3,1
	Desvio:	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,0	0,2	0,2
10	Média:	21,8	21,6	22,0	22,0	22,5	22,8	0,06	0,05	0,00	0,08	0,22	0,09	21,7	49,7	1,8
	Desvio:	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,01	0,01	0,01	0,04	0,07	0,01	0,1	0,4	0,1
11	Média:	21,9	22,0	22,2	21,7	22,6	23,0	0,07	0,05	0,08	0,02	0,08	0,09	21,7	49,1	2,5
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,1	0,0	0,1
12	Média:	21,2	21,4	21,8	21,6	22,1	22,8	0,05	0,07	0,04	0,04	0,11	0,09	21,3	49,4	2,6
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,01	0,1	0,1	0,1

Tabela B.17 - Dados das variáveis de conforto - circulação (P13 a P16) - condição C6

Retorno: 22,4°C Insuflamento: 15,4°C Ambiente: 20,8°C **Condição 6** Sala

		Temperatura (°C)						Velocidade (m/s)						Globo (°C)	UR (%)	Assim.(°C)
		0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,60m	0,60m	0,60m
Ponto																
13	Média:	20,2	19,9	20,4	20,8	22,1	22,7	0,09	0,10	0,05	0,11	0,07	0,07	20,1	54,5	1,2
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,02	0,02	0,02	0,05	0,02	0,01	0,0	0,2	0,1
14	Média:	20,4	20,2	20,6	21,8	22,1	22,6	0,05	0,01	0,00	0,00	0,11	0,08	20,2	52,8	-0,5
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,0	0,1	0,1
15	Média:	20,8	20,9	21,1	20,8	21,5	22,7	0,07	0,02	0,01	0,10	0,25	0,06	20,7	52,6	1,3
	Desvio:	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06	0,00	0,1	0,2	0,1
16	Média:	21,1	21,4	21,8	22,2	22,8	22,8	0,15	0,05	0,00	0,00	0,10	0,06	21,6	50,1	0,8
	Desvio:	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,1	0,3	0,1

Tabela B.18 - Dados das variáveis de conforto - difusores - condição C6

Retorno: 22,4°C Insuflamento: 15,4°C Ambiente: 20,8°C

Condição 6

Difusores

Ponto	Temperatura (°C)						Velocidade (m/s)						Globo (°C)	UR (%)	Assim.(°C)	
	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	2,00m	2,35m	0,60m	0,60m	0,60m	
17	Média:	18,3	19,4	20,6	21,5	22,2	22,7	>3,00	0,30	0,05	0,02	0,06	0,06	20,4	53,3	-0,7
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	-	0,10	0,03	0,02	0,02	0,01	0,1	0,3	0,1
18	Média:	19,6	20,9	21,2	21,6	22,3	22,8	>3,00	0,17	0,07	0,05	0,10	0,07	21,0	52,3	1,2
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	-	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,1	0,2	0,1
19	Média:	18,1	19,4	20,1	21,8	22,7	22,9	>3,00	0,81	0,21	0,00	0,06	0,06	20,4	52,7	1,0
	Desvio:	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	-	0,04	0,03	0,00	0,02	0,01	0,0	0,2	0,1
20	Média:	18,9	19,4	20,6	23,2	24,6	27,2	1,90	1,20	0,29	0,00	0,09	0,08	21,3	53,7	-0,6
	Desvio:	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,03	0,07	0,03	0,01	0,02	0,01	0,1	0,5	0,1

Tabela B.19 - Dados de desconforto local para a condição C1

Retorno: 27,2°C Insuflamento: 19,9°C Ambiente: 25,8°C

Condição 1

Ponto	Correntes de Ar (DR)				Intensidade de Turbulência (Tu)				Dt _a (°C)		T _{pr} (°C)
	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	0,10m a 1,10m	0,10m a 1,70m	0,60 m ou 1,10m
1	0,0	1,4	0,6	0,0	0	31	26	0	0,6	2,1	0,3
2	3,6	0,0	7,8	0,0	18	48	23	0	0,2	2,1	0,5
3	0,0	10,2	9,0	0,0	33	26	14	0	0,5	2,5	2,9
4	0,0	0,0	6,5	0,0	0	40	11	0	2,1	2,5	2,8
5	0,0	4,1	8,4	0,0	0	23	10	0	0,5	2,6	2,5
6	0,0	0,0	0,9	0,0	0	37	31	17	0,5	2,3	2,7
7	5,6	0,5	4,0	0,0	14	19	15	43	1,1	1,5	0,6
8	1,5	0,0	0,0	0,0	22	21	33	0	0,3	1,2	-0,9
9	1,4	6,2	7,0	0,0	17	20	16	22	0,7	1,8	3,4
10	0,0	0,0	0,0	0,0	31	24	34	22	0,7	1,8	2,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	31	20	11	0	0,9	1,8	-0,1
12	0,0	2,3	5,4	0,0	32	20	20	0	1,2	1,7	-1,1
13	0,0	2,4	2,8	0,0	31	36	17	0	1,3	2,9	2,2
14	0,0	0,0	0,0	0,0	20	0	0	0	1,5	3,0	2,0
15	0,0	0,0	1,9	0,0	40	0	31	0	0,1	2,3	0,1
16	4,8	5,8	0,0	0,0	16	15	23	0	1,2	2,6	1,6
17	18,4	8,1	4,0	0,0	0	22	16	0	1,9	4,3	2,3
18	100,0	7,2	0,0	0,0	10	15	22	0	2,7	3,4	0,4
19	18,1	32,0	6,6	0,0	0	11	22	0	1,7	4,5	2,8
20	69,0	25,1	5,9	3,5	2	8	13	8	2,8	5,0	-0,5

Tabela B.20 - Dados de desconforto local para a condição C2

Retorno: 26,6°C Insuflamento: 19,5°C Ambiente: 25,2°C

Condição 2

Ponto	Correntes de Ar (DR)				Intensidade de Turbulência (Tu)				Dt _a (°C)		T _{pr} (°C)
	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	0,10m a 1,10m	0,10m a 1,70m	0,60 m ou 1,10m
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0	44	50	0	0,8	2,1	-0,5
2	9,5	0,0	0,3	0,0	26	46	17	0	0,2	2,1	0,2
3	3,0	2,0	5,9	0,0	27	26	14	0	0,2	2,4	0,9
4	0,0	2,0	6,8	0,0	15	32	13	0	2,5	2,6	0,3
5	0,0	0,0	5,5	0,0	37	40	12	31	0,1	2,4	-0,4
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0	22	53	27	0,3	2,1	-1,8
7	7,2	0,9	4,8	0,0	14	20	16	43	1,1	1,4	0,3
8	0,0	1,2	0,0	0,0	33	18	36	0	0,5	1,2	3,1
9	1,2	0,9	8,1	0,0	12	17	6	0	1,0	1,7	2,9
10	5,1	1,4	0,0	3,4	15	21	39	48	1,5	2,3	-1,2
11	2,1	0,0	0,0	0,0	19	35	15	0	1,1	1,9	-1,1
12	0,0	2,1	5,5	0,0	30	22	21	14	1,3	1,6	3,1
13	5,6	9,2	0,8	0,0	15	27	31	0	1,5	3,0	-0,2
14	0,0	0,0	0,0	0,0	14	34	0	0	1,4	3,0	1,8
15	0,0	0,0	3,0	0,0	40	0	24	33	0,0	1,8	0,0
16	6,1	6,2	0,0	0,0	22	19	38	0	1,3	2,3	1,0
17	84,8	32,4	4,9	0,0	1	31	34	0	2,2	4,7	0,0
18	100,0	8,2	0,0	0,0	7	13	27	0	2,7	3,5	-0,1
19	95,3	33,1	1,0	0,0	2	11	34	0	2,9	4,8	2,3
20	48,8	24,9	11,9	0,0	2	9	7	35	2,0	5,4	-0,5

Tabela B.21 - Dados de desconforto local para a condição C3

Retorno: 25,4°C Insuflamento: 19°C Ambiente: 24,1°C

Condição 3

Ponto	Correntes de Ar (DR)				Intensidade de Turbulência (Tu)				Dt _a (°C)		T _{pr} (°C)
	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	0,10m a 1,10m	0,10m a 1,70m	0,60 m ou 1,10m
1	5,4	0,0	0,0	0,0	22	48	52	0	0,4	1,7	1,6
2	3,2	0,0	8,0	0,0	25	28	22	0	0,4	2,2	1,9
3	0,0	2,8	7,7	0,0	32	24	13	0	0,3	2,2	1,5
4	0,0	1,4	5,8	0,0	9	26	20	0	2,2	2,3	2,1
5	3,2	1,9	9,1	0,0	27	41	12	0	0,6	2,2	1,6
6	0,0	0,0	0,0	1,5	11	25	30	32	0,6	1,7	3,1
7	1,2	3,6	4,3	0,0	30	21	17	60	0,6	0,9	2,9
8	3,9	5,9	1,6	6,2	13	20	41	41	0,7	1,3	-1,2
9	3,0	2,6	6,7	0,0	15	10	8	15	0,8	1,6	3,1
10	0,8	0,0	0,0	2,5	16	20	20	44	1,2	1,6	2,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	28	36	17	0	0,8	1,8	-1,3
12	0,0	1,1	3,6	0,0	12	29	23	0	1,1	1,5	2,8
13	5,5	6,8	0,0	0,0	19	33	47	0	1,3	2,8	1,2
14	1,5	0,0	0,0	0,0	15	11	0	0	1,1	2,6	1,4
15	0,0	0,0	0,0	0,0	41	35	38	48	0,3	1,3	1,7
16	100,0	42,8	3,5	0,0	67	40	49	47	1,7	3,4	0,3
17	100,0	8,0	0,0	0,0	6	20	37	0	2,3	4,4	1,5
18	100,0	7,1	0,0	0,0	12	17	41	0	2,3	3,0	1,5
19	96,5	33,6	0,0	0,0	1	9	44	0	2,4	4,2	1,5
20	6,4	6,2	0,0	0,0	21	34	15	0	0,9	1,9	0,7

Tabela B.22 - Dados de desconforto local para a condição C4

Retorno: 24,4°C Insuflamento: 17,9°C Ambiente: 23,2°C

Condição 4

Ponto	Correntes de Ar (DR)				Intensidade de Turbulência (Tu)				Dt _a (°C)		T _{pr} (°C)
	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	0,10m a 1,10m	0,10m a 1,70m	0,60 m ou 1,10m
1	0,4	0,0	0,0	0,0	17	38	11	0	0,4	1,6	1,9
2	4,5	5,9	0,0	0,0	20	19	36	34	0,1	1,2	1,6
3	0,3	5,6	10,4	0,0	22	27	10	34	0,7	1,2	1,8
4	0,0	0,0	6,9	0,0	34	42	24	0	1,7	1,6	1,3
5	0,0	0,0	7,7	0,0	35	44	13	40	0,8	1,1	2,2
6	0,0	0,0	0,0	7,7	36	43	39	26	0,0	1,0	1,8
7	0,0	0,0	8,2	0,0	47	31	15	48	0,6	0,6	2,4
8	2,4	3,8	4,1	0,0	34	25	33	69	0,0	0,8	-0,7
9	4,2	2,7	9,2	0,0	25	12	7	0	0,3	1,2	0,3
10	0,0	0,0	0,0	0,0	14	44	34	69	0,7	0,9	-1,8
11	0,0	0,0	0,0	0,0	23	38	55	14	0,3	1,0	-1,3
12	0,0	2,8	5,7	0,0	24	18	17	14	0,5	1,0	2,8
13	0,0	10,7	0,0	0,0	37	29	38	0	0,5	2,1	1,2
14	0,0	0,0	0,0	0,0	31	38	0	0	1,0	2,3	0,9
15	2,7	0,0	0,0	10,7	17	34	0	21	0,2	0,1	0,9
16	8,1	8,0	0,0	0,0	16	20	11	0	0,5	1,3	1,2
17	0,0	18,9	0,0	0,0	0	22	40	0	2,3	4,3	1,6
18	100,0	9,4	0,0	0,0	13	10	44	0	2,3	3,3	0,6
19	100,0	51,4	4,2	0,0	2	15	44	0	2,2	4,3	1,5
20	67,0	45,1	12,0	0,0	1	16	13	0	2,1	4,5	0,2

Tabela B.23 - Dados de desconforto local para a condição C5

Retorno: 23,4°C Insuflamento: 16,3°C Ambiente: 22,1°C

Condição 5

Ponto	Correntes de Ar (DR)				Intensidade de Turbulência (Tu)				Dt _a (°C)		T _{pr} (°C)
	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	0,10m a 1,10m	0,10m a 1,70m	0,60 m ou 1,10m
1	2,5	0,0	0,0	0,0	27	43	40	14	0,3	0,7	1,5
2	2,7	2,8	0,0	0,0	14	24	48	0	0,1	0,6	1,6
3	3,2	6,4	9,9	5,0	26	20	12	35	0,4	0,4	0,0
4	0,0	3,1	4,7	0,0	29	41	17	0	1,9	1,2	1,4
5	5,4	1,8	6,1	0,0	28	36	18	33	0,6	0,6	2,3
6	0,0	0,0	0,0	0,0	39	46	22	14	0,3	0,9	1,5
7	3,0	3,1	2,4	8,9	30	20	26	17	0,9	0,3	0,7
8	0,0	4,1	0,0	0,0	33	32	40	60	0,0	0,3	2,2
9	7,3	3,7	7,8	0,0	26	20	11	60	0,1	0,7	3,0
10	0,0	0,0	0,0	7,8	0	34	20	51	0,4	0,2	-1,6
11	0,0	0,0	0,0	1,6	15	43	60	54	0,1	0,1	2,5
12	0,0	1,7	3,7	4,3	32	18	32	41	0,5	0,2	2,8
13	3,1	10,9	4,4	0,0	26	18	27	52	0,2	1,2	0,5
14	0,0	0,0	0,0	0,0	23	0	11	0	0,5	1,8	-0,8
15	6,2	0,0	0,0	7,7	18	14	14	20	0,1	0,2	1,1
16	11,3	0,0	0,0	0,0	21	42	11	0	0,6	1,3	0,8
17	0,0	55,9	9,4	0,0	0	25	42	11	2,0	3,3	-0,4
18	0,0	16,2	6,2	0,0	0	23	13	55	1,6	2,0	0,9
19	0,0	55,6	15,0	0,0	0	5	12	0	2,0	4,2	1,0
20	74,7	44,2	17,1	0,0	1	10	5	0	1,5	4,2	1,9

Tabela B.24 - Dados de desconforto local para a condição C6

Retorno: 22,4°C Insuflamento: 15,4°C Ambiente: 20,8°C

Condição 6

Ponto	Correntes de Ar (DR)				Intensidade de Turbulência (Tu)				Dt _a (°C)		T _{pr} (°C)
	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	0,10m	0,60m	1,10m	1,70m	0,10m a 1,10m	0,10m a 1,70m	0,60 m ou 1,10m
1	5,0	0,0	4,0	5,4	20	40	63	38	0,1	0,1	1,2
2	5,3	16,1	13,2	0,0	21	32	27	41	0,7	0,3	1,2
3	5,5	2,1	13,9	7,7	19	20	13	42	0,4	0,1	0,6
4	3,6	1,4	9,3	0,0	20	33	14	0	1,5	0,9	2,2
5	9,2	5,2	5,9	0,0	27	24	24	11	0,1	0,8	2,3
6	2,1	0,0	0,0	0,0	15	37	33	39	0,4	0,9	-2,1
7	3,5	1,8	3,0	11,6	28	25	27	15	0,6	0,3	1,4
8	2,4	3,5	0,0	6,9	20	27	41	29	0,1	0,1	1,8
9	2,5	5,2	10,1	3,6	17	15	7	38	0,2	0,4	3,1
10	2,0	0,0	0,0	6,1	14	19	11	54	0,2	0,2	1,8
11	4,0	0,3	5,3	0,0	16	34	23	49	0,3	0,2	2,5
12	0,0	4,4	0,0	0,0	15	22	54	59	0,6	0,4	2,6
13	8,0	8,3	1,7	11,4	26	26	46	42	0,2	0,5	1,2
14	0,0	0,0	0,0	0,0	12	42	11	21	0,3	1,4	-0,5
15	4,0	0,0	0,0	8,7	24	37	38	32	0,2	0,0	1,3
16	12,4	0,0	0,0	0,0	16	22	14	17	0,7	1,1	0,8
17	0,0	42,5	0,0	0,0	0	34	54	44	2,3	3,2	-0,7
18	0,0	14,1	4,7	1,9	0	15	21	49	1,7	2,0	1,2
19	0,0	58,2	18,7	0,0	0	5	13	0	2,0	3,7	1,0
20	97,4	88,3	22,7	0,0	2	5	9	29	1,7	4,3	-0,6

ANEXO “C”

Figura C.1 -Perfis de temperatura e velocidade do ar nos ensaios com controles individuais de vazão de ar
 Amostra de pessoas do sexo feminino de 01 a 04

Figura C.2 -Perfis de temperatura e velocidade do ar nos ensaios com controles individuais de vazão de ar
 Amostra de pessoas do sexo feminino de 05 a 08

Figura C.3 - Gráficos de temperatura e velocidade do ar nos ensaios com controles individuais de vazão de ar
Amostra de pessoas do sexo feminino de 09 a 12

Figura C.4 - Gráficos de temperatura e velocidade do ar nos ensaios com controles individuais de vazão de ar
Amostra de pessoas do sexo feminino de 13 a 16

Figura C.5 -Perfis de temperatura e velocidade do ar nos ensaios com controles individuais de vazão de ar
Amostra de pessoas do sexo masculino de 01 a 04

Figura C.6 -Perfis de temperatura e velocidade do ar nos ensaios com controles individuais de vazão de ar
Amostra de pessoas do sexo masculino de 05 a 08

Figura C.7 -Perfis de temperatura e velocidade do ar nos ensaios com controles individuais de vazão de ar
Amostra de pessoas do sexo masculino de 09 a 12

Figura C.8 -Perfis de temperatura e velocidade do ar nos ensaios com controles individuais de vazão de ar
Amostra de pessoas do sexo masculino de 13 a 16

Figura C.9 -Perfis de temperatura e velocidade do ar nos ensaios com controles individuais de vazão de ar
Amostra de pessoas do sexo masculino 17

Tabela C.1 - Dados de temperatura e velocidade do ar dos ensaios com controles individuais de vazão de ar
Amostra de pessoas do sexo feminino de 01 a 04

Temperatura												
	Antes - Feminino 01			Depois - Feminino 01			Antes Feminino 02			Depois - Feminino 02		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	27,1	27,0	26,8	27,1	27,5	27,4	28,2	28,4	28,4			
0,60 m	27,2	26,8	27,0	27,0	27,4	27,6	28,2	28,4	28,5			
1,10 m	28,3	26,4	27,5	28,1	28,2	29,0	29,8	28,9	29,6			
1,70 m	30,0	29,8	29,9	30,0	30,4	30,6	31,3	31,5	31,6			
2,00 m	30,6	30,5	30,5	30,8	31,1	31,3	32,0	32,2	32,3			
2,35 m	31,2	30,9	30,8	31,2	31,7	32,0	32,4	32,7	32,8			
Velocidade												
	Antes - Feminino 01			Depois - Feminino 01			Antes - Feminino 02			Depois - Feminino 02		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	0,07	0,09	0,04	0,04	0,06	0,01	0,03	0,04	0,02			
0,60 m	0,04	0,06	0,04	0,02	0,01	0,01	0,03	0,03	0,04			
1,10 m	0,02	0,13	0,03	0,16	0,04	0,10	0,00	0,06	0,00			
1,70 m	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
2,00 m	0,01	0,01	0,00	0,03	0,02	0,04	0,02	0,03	0,03			
2,35 m	0,03	0,02	0,04	0,03	0,02	0,04	0,03	0,03	0,03			
Temperatura												
	Antes - Feminino 03			Depois - Feminino 03			Antes - Feminino 04			Depois - Feminino 04		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	27,5	27,3	26,8	27,2	27,3	27,1	27,1	27,1	27,1	27,3	27,1	27,0
0,60 m	27,2	27,2	27,0	27,0	27,0	27,2	26,9	27,0	27,2	27,2	27,2	27,1
1,10 m	28,0	27,1	27,7	28,0	27,2	27,8	28,0	27,0	27,6	27,8	27,4	27,8
1,70 m	29,2	29,1	28,8	29,0	29,0	29,1	29,2	29,3	29,3	28,9	29,0	29,1
2,00 m	29,4	29,4	29,3	29,3	29,3	29,4	29,6	29,6	29,8	29,4	29,4	29,7
2,35 m	29,8	29,8	29,6	29,5	29,6	29,6	29,8	30,0	30,1	29,7	29,7	29,9
Velocidade												
	Antes - Feminino 03			Depois - Feminino 03			Antes - Feminino 04			Depois - Feminino 04		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	0,04	0,09	0,02	0,05	0,07	0,03	0,04	0,08	0,03	0,05	0,13	0,01
0,60 m	0,01	0,07	0,05	0,06	0,03	0,05	0,04	0,01	0,03	0,01	0,04	0,04
1,10 m	0,00	0,06	0,00	0,00	0,04	0,05	0,01	0,07	0,04	0,06	0,14	0,05
1,70 m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
2,00 m	0,08	0,08	0,03	0,09	0,03	0,02	0,07	0,05	0,03	0,09	0,07	0,04
2,35 m	0,09	0,08	0,08	0,10	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07	0,10	0,08	0,06

Tabela C.2 - Dados de temperatura e velocidade do ar dos ensaios com controles individuais de vazão de ar
Amostra de pessoas do sexo feminino de 05 a 08

Temperatura												
	Antes - Feminino 05			Depois - Feminino 05			Antes - Feminino 06			Depois - Feminino 06		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	27,9	28,1	27,8	27,4	27,2	27,1	27,3	27,0	26,9	26,2	26,0	25,9
0,60 m	27,8	27,9	27,8	27,3	27,2	27,3	27,3	26,9	27,1	26,2	26,0	26,0
1,10 m	29,2	28,1	28,8	27,9	27,4	28,2	28,3	26,7	27,6	27,0	26,3	26,4
1,70 m	30,9	30,9	30,7	30,0	30,1	30,0	30,0	29,8	29,7	28,9	28,8	28,8
2,00 m	31,5	31,4	31,2	30,6	30,8	30,6	30,5	30,4	30,2	29,4	29,3	29,4
2,35 m	32,1	32,2	31,8	31,0	31,1	31,1	30,7	30,6	30,4	29,4	29,4	29,4
Velocidade												
	Antes - Feminino 05			Depois - Feminino 05			Antes - Feminino 06			Depois - Feminino 06		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,04	0,07	0,09	0,05	0,05	0,09	0,02
0,60 m	0,02	0,02	0,01	0,04	0,05	0,04	0,02	0,04	0,02	0,01	0,13	0,08
1,10 m	0,00	0,07	0,01	0,11	0,06	0,11	0,00	0,10	0,00	0,04	0,08	0,19
1,70 m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00 m	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01
2,35 m	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,05	0,02	0,05	0,05	0,04	0,04
Temperatura												
	Antes - Feminino 07			Depois - Feminino 07			Antes - Feminino 08			Depois - Feminino 08		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m				26,9	26,7	26,7						
0,60 m				26,7	26,9	27,1						
1,10 m				27,3	27,0	27,7						
1,70 m				29,3	29,4	29,4						
2,00 m				29,9	30,1	30,1						
2,35 m				30,3	30,4	30,4						
Velocidade												
	Antes - Feminino 07			Depois - Feminino 07			Antes - Feminino 08			Depois - Feminino 08		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m				0,01	0,09	0,01						
0,60 m				0,05	0,15	0,05						
1,10 m				0,17	0,06	0,03						
1,70 m				0,00	0,00	0,00						
2,00 m				0,03	0,01	0,04						
2,35 m				0,03	0,03	0,04						

Tabela C.3 - Dados de temperatura e velocidade do ar dos ensaios com controles individuais de vazão de ar
Amostra de pessoas do sexo feminino de 09 a 12

Temperatura												
	Antes - Feminino 09			Depois - Feminino 09			Antes - Feminino 10			Depois - Feminino 10		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	27,1	27,0	27,1	26,9	26,9	26,8	27,5	27,6	27,5	26,4	26,2	26,0
0,60 m	27,0	26,8	27,4	26,9	26,6	26,9	27,6	27,5	27,4	26,3	25,9	26,2
1,10 m	28,3	26,9	28,3	28,2	26,6	27,7	28,8	27,6	28,3	27,2	25,6	26,7
1,70 m	30,1	30,2	30,2	29,6	29,6	29,2	30,4	30,4	30,2	28,8	28,6	28,6
2,00 m	30,6	30,8	30,9	30,3	30,3	30,3	31,1	31,1	30,8	29,6	29,5	29,4
2,35 m	30,8	31,1	31,2	30,5	30,8	30,8	31,5	31,4	31,1	29,7	29,7	29,6
Velocidade												
	Antes - Feminino 09			Depois - Feminino 09			Antes - Feminino 10			Depois - Feminino 10		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	0,04	0,09	0,00	0,04	0,08	0,02	0,00	0,03	0,03	0,02	0,05	0,02
0,60 m	0,03	0,07	0,02	0,02	0,06	0,03	0,00	0,04	0,03	0,01	0,06	0,01
1,10 m	0,00	0,10	0,02	0,00	0,09	0,05	0,00	0,09	0,02	0,06	0,13	0,05
1,70 m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2,00 m	0,00	0,01	0,04	0,03	0,03	0,02	0,00	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04
2,35 m	0,03	0,01	0,03	0,06	0,05	0,06	0,05	0,04	0,06	0,07	0,05	0,05
Temperatura												
	Antes - Feminino 11			Depois - Feminino 11			Antes - Feminino 12			Depois - Feminino 12		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	27,0	26,8	26,6	26,3	26,3	26,4	26,9	26,9	26,7	26,4	26,4	26,3
0,60 m	27,0	26,4	26,9	26,4	26,2	26,6	26,9	26,6	26,8	26,2	26,2	26,4
1,10 m	28,0	26,4	27,4	27,2	26,1	26,9	28,1	26,7	27,9	27,4	26,5	27,0
1,70 m	29,8	29,7	29,6	28,7	28,9	29,1	29,8	29,7	29,6	28,7	28,8	28,6
2,00 m	30,5	30,3	30,2	29,3	29,6	29,7	30,5	30,4	30,4	29,4	29,4	29,4
2,35 m	31,0	30,8	30,5	29,7	29,9	30,0	31,1	30,9	30,8	29,8	29,8	29,8
Velocidade												
	Antes - Feminino 11			Depois - Feminino 11			Antes - Feminino 12			Depois - Feminino 12		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	0,02	0,06	0,01	0,04	0,06	0,01	0,03	0,03	0,00	0,02	0,03	0,03
0,60 m	0,01	0,09	0,02	0,02	0,07	0,01	0,01	0,04	0,00	0,01	0,03	0,00
1,10 m	0,03	0,13	0,03	0,06	0,11	0,08	0,00	0,09	0,00	0,07	0,10	0,36
1,70 m	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00 m	0,02	0,01	0,02	0,09	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,05	0,04	0,03
2,35 m	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,07	0,06	0,05

Tabela C.4 - Dados de temperatura e velocidade do ar dos ensaios com controles individuais de vazão de ar
Amostra de pessoas do sexo feminino de 13 a 16

Temperatura												
	Antes - Feminino 13			Depois - Feminino 13			Antes - Feminino 14			Depois - Feminino 14		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	26,4	26,8	26,5	26,3	26,6	26,4	27,2	27,2	27,0	26,9	26,8	26,6
0,60 m	26,5	26,7	26,9	26,4	26,6	26,7	27,1	27,1	27,3	26,8	26,7	26,9
1,10 m	27,5	26,8	27,5	27,0	26,7	27,4	28,6	27,5	28,1	27,5	27,2	27,6
1,70 m	28,9	29,0	28,8	28,6	28,7	28,7	30,1	30,0	30,0	29,3	29,4	29,3
2,00 m	29,2	29,4	29,7	29,1	29,1	29,5	30,8	30,6	30,7	29,9	30,0	30,0
2,35 m	29,6	29,7	30,0	29,4	29,5	29,7	31,0	31,0	31,1	30,3	30,4	30,4
Velocidade												
	Antes - Feminino 13			Depois - Feminino 13			Antes - Feminino 14			Depois - Feminino 14		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	0,04	0,04	0,00	0,01	0,04	0,00	0,04	0,05	0,02	0,03	0,03	0,04
0,60 m	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,04	0,03	0,06	0,03	0,03
1,10 m	0,03	0,07	0,01	0,09	0,05	0,01	0,01	0,07	0,01	0,16	0,03	0,10
1,70 m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00 m	0,04	0,05	0,01	0,06	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
2,35 m	0,06	0,05	0,06	0,08	0,06	0,05	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,05
Temperatura												
	Antes - Feminino 15			Depois - Feminino 15			Antes - Feminino 16			Depois - Feminino 16		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	27,2	27,3	27,1	27,1	27,1	27,1	27,3	27,2	27,1	26,6	26,2	26,1
0,60 m	26,9	27,1	27,1	26,9	27,1	27,1	27,3	27,0	27,3	26,7	26,1	26,3
1,10 m	27,9	27,1	27,7	27,7	27,1	27,5	28,4	26,8	28,0	27,9	26,5	26,1
1,70 m	29,0	29,1	29,1	28,7	28,8	28,7	30,0	30,0	30,0	29,3	29,0	28,8
2,00 m	29,4	29,5	29,6	29,2	29,4	29,6	30,7	30,7	30,8	29,8	29,5	29,3
2,35 m	29,7	29,7	30,0	29,5	29,6	29,7	31,0	31,1	31,1	30,2	29,8	29,7
Velocidade												
	Antes - Feminino 15			Depois - Feminino 15			Antes - Feminino 16			Depois - Feminino 16		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	0,03	0,05	0,01	0,02	0,04	0,00	0,06	0,09	0,02	0,06	0,09	0,01
0,60 m	0,03	0,01	0,01	0,01	0,04	0,02	0,02	0,07	0,03	0,01	0,05	0,08
1,10 m	0,02	0,07	0,02	0,06	0,07	0,19	0,01	0,12	0,01	0,02	0,18	0,36
1,70 m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00 m	0,09	0,07	0,03	0,08	0,05	0,02	0,00	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01
2,35 m	0,08	0,07	0,08	0,09	0,08	0,07	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	0,03

Tabela C.5 - Dados de temperatura e velocidade do ar dos ensaios com controles individuais de vazão de ar
Amostra de pessoas do sexo masculino de 01 a 04

Temperatura												
	Antes- Masculino 01			Depois - Masculino 01			Antes - Masculino 02			Depois - Masculino 02		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	25,9	26,1	26,0	26,2	26,4	26,4	26,7	26,8	26,6	26,5	26,5	26,4
0,60 m	25,8	25,7	26,2	26,0	26,0	26,4	26,5	26,4	26,8	26,5	26,1	26,5
1,10 m	26,7	25,7	26,7	27,2	26,0	27,2	27,6	26,3	27,5	27,3	26,3	27,0
1,70 m	27,6	27,7	27,6	27,7	27,8	27,5	29,4	29,5	29,6	29,1	29,1	29,3
2,00 m	28,0	28,0	28,2	28,1	28,2	28,0	30,1	30,1	30,2	29,7	29,8	29,8
2,35 m	28,2	28,3	28,5	28,3	28,3	28,4	30,5	30,6	30,6	30,2	30,2	30,1
Velocidade												
	Antes - Masculino 01			Depois - Masculino 01			Antes - Masculino 02			Depois - Masculino 02		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	0,05	0,02	0,01	0,02	0,03	0,00	0,02	0,05	0,02	0,03	0,07	0,01
0,60 m	0,00	0,07	0,00	0,01	0,05	0,01	0,01	0,06	0,00	0,03	0,07	0,03
1,10 m	0,04	0,11	0,04	0,05	0,10	0,12	0,00	0,12	0,01	0,11	0,13	0,26
1,70 m	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00 m	0,06	0,07	0,08	0,06	0,05	0,10	0,02	0,02	0,03	0,04	0,01	0,03
2,35 m	0,10	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09	0,07	0,07	0,05	0,08	0,06	0,05
Temperatura												
	Antes - Masculino 03			Depois - Masculino 03			Antes - Masculino 04			Depois - Masculino 04		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	27,1	26,9	26,8	26,5	26,4	26,4	27,2	27,0	26,9	25,6	25,5	25,2
0,60 m	26,8	26,6	26,9	26,3	26,1	26,6	27,0	26,8	26,9	25,7	25,4	25,5
1,10 m	27,8	26,5	27,4	27,3	26,1	27,1	27,9	26,5	27,4	25,8	25,4	26,0
1,70 m	29,2	29,2	29,3	28,9	28,9	28,9	29,5	29,5	29,5	28,0	27,9	27,6
2,00 m	29,8	29,9	29,9	29,4	29,4	29,6	30,1	30,2	30,2	28,5	28,5	28,3
2,35 m	30,2	30,4	30,3	29,7	30,0	29,9	30,5	30,6	30,7	28,8	28,8	28,5
Velocidade												
	Antes - Masculino 03			Depois - Masculino 03			Antes - Masculino 04			Depois - Masculino 04		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	0,02	0,04	0,02	0,02	0,05	0,01	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	0,01
0,60 m	0,00	0,08	0,00	0,00	0,07	0,01	0,00	0,04	0,04	0,03	0,08	0,08
1,10 m	0,01	0,13	0,01	0,05	0,12	0,00	0,01	0,11	0,05	0,25	0,08	0,18
1,70 m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00 m	0,04	0,02	0,01	0,04	0,04	0,01	0,01	0,01	0,04	0,04	0,02	0,02
2,35 m	0,04	0,04	0,06	0,06	0,04	0,05	0,04	0,03	0,05	0,06	0,05	0,05

Tabela C.6 - Dados de temperatura e velocidade do ar dos ensaios com controles individuais de vazão de ar
Amostra de pessoas do sexo masculino de 05 a 08

Temperatura												
	Antes - Masculino 05			Depois - Masculino 05			Antes - Masculino 06			Depois - Masculino 06		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	27,7	27,7	27,7	27,3	27,2	27,1	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
0,60 m	27,6	27,4	27,8	27,2	27,3	27,2	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
1,10 m	28,8	27,4	28,7	27,8	27,5	27,9	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
1,70 m	30,6	30,7	30,7	30,1	30,1	30,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
2,00 m	31,3	31,3	31,4	30,8	30,8	30,6	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
2,35 m	31,6	31,7	31,6	31,0	31,1	31,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Velocidade												
	Antes - Masculino 05			Depois - Masculino 05			Antes - Masculino 06			Depois - Masculino 06		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	0,06	0,10	0,02	0,04	0,05	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,60 m	0,03	0,07	0,01	0,04	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,10 m	0,01	0,10	0,01	0,15	0,06	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,70 m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00 m	0,01	0,03	0,00	0,01	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,35 m	0,02	0,01	0,04	0,04	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Temperatura												
	Antes - Masculino 07			Depois - Masculino 07			Antes - Masculino 08			Depois - Masculino 08		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	28,0	27,7	27,4	26,8	26,8	26,6	27,1	27,2	27,0	27,3	27,2	27,1
0,60 m	27,8	27,5	27,6	26,8	26,8	26,9	27,1	27,1	27,1	27,1	27,2	27,2
1,10 m	29,1	27,4	28,2	27,3	26,8	27,2	27,8	27,1	28,0	27,7	27,5	27,6
1,70 m	30,8	30,8	30,5	29,4	29,6	29,5	29,2	29,2	29,2	28,5	28,9	28,8
2,00 m	31,4	31,3	31,0	30,0	30,3	30,1	29,5	29,6	29,8	29,4	29,6	29,7
2,35 m	31,8	31,7	31,3	30,4	30,5	30,5	29,8	29,8	30,1	29,8	29,9	30,1
Velocidade												
	Antes - Masculino 07			Depois - Masculino 07			Antes - Masculino 08			Depois - Masculino 08		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	0,04	0,08	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,07	0,02	0,04	0,05	0,02
0,60 m	0,00	0,04	0,01	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,03
1,10 m	0,00	0,09	0,01	0,07	0,05	0,05	0,03	0,06	0,03	0,09	0,05	0,23
1,70 m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
2,00 m	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,02	0,08	0,06	0,01	0,03	0,04	0,04
2,35 m	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,08	0,08	0,06	0,07	0,07	0,08

Tabela C.7 - Dados de temperatura e velocidade do ar dos ensaios com controles individuais de vazão de ar
Amostra de pessoas do sexo masculino de 09 a 12

Temperatura												
	Antes - Masculino 09			Depois - Masculino 09			Antes - Masculino 10			Depois - Masculino 10		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	27,6	28,0	27,6	27,2	27,2	27,1	27,8	27,4	27,2	26,5	26,1	25,9
0,60 m	27,8	27,7	27,6	27,0	26,9	27,3	27,5	27,2	27,4	26,3	26,1	26,2
1,10 m	29,2	27,8	28,7	28,7	27,1	28,0	28,8	27,2	28,1	27,4	26,1	26,7
1,70 m	30,5	30,7	30,2	29,6	29,7	29,2	30,4	30,3	30,2	28,7	28,7	28,5
2,00 m	31,1	31,3	31,1	30,2	30,4	30,3	31,1	30,9	30,9	29,4	29,6	29,4
2,35 m	31,3	31,6	31,3	30,6	30,8	30,7	31,3	31,2	31,2	29,6	29,7	29,5
Velocidade												
	Antes - Masculino 09			Depois - Masculino 09			Antes - Masculino 10			Depois - Masculino 10		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	0,01	0,05	0,02	0,05	0,06	0,04	0,04	0,08	0,03	0,06	0,09	0,04
0,60 m	0,00	0,03	0,00	0,01	0,05	0,04	0,01	0,06	0,02	0,01	0,06	0,02
1,10 m	0,00	0,08	0,00	0,03	0,09	0,20	0,00	0,10	0,02	0,06	0,06	0,14
1,70 m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00 m	0,00	0,02	0,04	0,04	0,02	0,01	0,00	0,02	0,04	0,05	0,03	0,04
2,35 m	0,03	0,03	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,06	0,04	0,03
Temperatura												
	Antes - Masculino 11			Depois - Masculino 11			Antes - Masculino 12			Depois - Masculino 12		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	27,2	27,3	27,1	27,1	27,2	27,0	26,4	26,5	26,6	26,4	26,4	26,3
0,60 m	27,1	27,1	27,1	26,9	27,0	27,1	26,4	26,4	26,8	26,4	26,2	26,5
1,10 m	28,0	27,0	27,7	27,9	26,9	27,7	27,3	26,3	27,5	27,4	26,5	27,2
1,70 m	29,0	29,0	28,9	29,0	29,0	28,8	29,1	29,2	29,2	28,9	28,9	28,7
2,00 m	29,3	29,3	29,4	29,3	29,4	29,5	29,5	29,8	30,0	29,4	29,5	29,6
2,35 m	29,6	29,7	29,8	29,6	29,7	29,9	29,8	30,1	30,2	29,8	29,8	29,9
Velocidade												
	Antes - Masculino 11			Depois - Masculino 11			Antes - Masculino 12			Depois - Masculino 12		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	0,05	0,08	0,02	0,05	0,09	0,03	0,01	0,04	0,05	0,02	0,04	0,02
0,60 m	0,02	0,03	0,01	0,03	0,05	0,02	0,01	0,05	0,00	0,01	0,04	0,02
1,10 m	0,04	0,06	0,02	0,00	0,06	0,01	0,00	0,10	0,01	0,04	0,11	0,14
1,70 m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00 m	0,08	0,07	0,04	0,06	0,07	0,05	0,06	0,03	0,00	0,04	0,02	0,03
2,35 m	0,09	0,07	0,08	0,09	0,08	0,08	0,07	0,04	0,06	0,07	0,06	0,04

Tabela C.8 - Dados de temperatura e velocidade do ar dos ensaios com controles individuais de vazão de ar
Amostra de pessoas do sexo masculino de 13 a 16

Temperatura												
	Antes - Masculino 13			Depois - Masculino 13			Antes - Masculino 14			Depois - Masculino 14		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	27,1	27,2	27,2	27,2	27,2	27,1	27,6	27,1	27,1	27,2	27,0	26,8
0,60 m	27,0	26,9	27,2	27,2	27,1	27,3	27,7	27,0	27,1	27,1	26,9	27,0
1,10 m	27,6	26,8	27,6	27,5	27,6	27,5	29,1	26,8	28,1	28,2	26,9	27,7
1,70 m	29,0	29,1	29,3	28,9	28,7	28,7	30,7	30,0	30,2	29,9	29,8	29,6
2,00 m	29,5	29,5	29,7	29,4	29,4	29,6	31,4	30,5	30,7	30,3	30,3	30,2
2,35 m	29,8	29,9	30,0	29,7	29,8	29,9	31,8	30,9	31,1	30,7	30,7	30,7
Velocidade												
	Antes - Masculino 13			Depois - Masculino 13			Antes - Masculino 14			Depois - Masculino 14		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,01	0,03	0,05	0,02	0,05	0,06	0,04
0,60 m	0,04	0,02	0,05	0,07	0,04	0,04	0,02	0,04	0,01	0,01	0,04	0,02
1,10 m	0,04	0,10	0,06	0,28	0,10	0,30	0,00	0,09	0,00	0,11	0,07	0,18
1,70 m	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00 m	0,07	0,04	0,01	0,08	0,07	0,01	0,03	0,01	0,00	0,02	0,01	0,03
2,35 m	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07	0,03	0,04	0,06	0,05	0,05	0,04
Temperatura												
	Antes - Masculino 15			Depois - Masculino 15			Antes - Masculino 16			Depois - Masculino 16		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	26,6	26,5	26,6	26,3	26,3	26,4	27,5	27,6	27,5	27,4	27,3	27,3
0,60 m	26,4	26,3	26,8	26,3	26,2	26,4	27,5	27,3	27,5	27,4	27,2	27,2
1,10 m	27,6	26,4	27,5	27,3	26,5	27,1	28,2	27,3	28,2	27,8	27,7	27,8
1,70 m	29,1	29,2	29,1	28,9	28,8	28,4	29,5	29,5	29,5	29,0	28,7	28,9
2,00 m	29,7	29,8	29,9	29,3	29,3	29,5	29,9	30,0	29,9	29,4	29,5	29,9
2,35 m	30,0	30,3	30,2	29,6	29,7	29,7	30,1	30,3	30,1	29,8	29,8	30,0
Velocidade												
	Antes - Masculino 15			Depois - Masculino 15			Antes - Masculino 16			Depois - Masculino 16		
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
0,10 m	0,03	0,05	0,02	0,02	0,06	0,01	0,05	0,10	0,05	0,05	0,10	0,04
0,60 m	0,00	0,06	0,00	0,01	0,08	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,12	0,09
1,10 m	0,02	0,10	0,02	0,10	0,09	0,18	0,00	0,05	0,00	0,17	0,07	0,14
1,70 m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00 m	0,05	0,04	0,02	0,05	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02	0,08	0,05	0,02
2,35 m	0,06	0,04	0,06	0,08	0,07	0,05	0,08	0,06	0,08	0,09	0,07	0,06

Tabela C.9 - Dados de temperatura e velocidade do ar dos ensaios com controles individuais de vazão de ar
Amostra de pessoas do sexo masculino 17

Temperatura								
	Antes - Masculino 17			Depois - Masculino 17				
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6		
0,10 m	27,2	27,0	26,9	27,1	27,2	27,2		
0,60 m	27,0	27,0	27,0	27,0	27,2	27,3		
1,10 m	28,0	27,0	27,8	27,6	27,4	27,9		
1,70 m	29,1	29,1	29,0	28,9	29,1	29,0		
2,00 m	29,5	29,5	29,6	29,3	29,5	29,6		
2,35 m	29,7	29,7	29,9	29,7	29,8	29,8		
Velocidade								
	Antes - Masculino 17			Depois - Masculino 17				
Nível	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6		
0,10 m	0,05	0,08	0,01	0,04	0,05	0,04		
0,60 m	0,03	0,03	0,05	0,04	0,04	0,04		
1,10 m	0,01	0,05	0,02	0,18	0,02	0,07		
1,70 m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
2,00 m	0,08	0,07	0,03	0,05	0,05	0,03		
2,35 m	0,09	0,07	0,07	0,09	0,07	0,07		