RENATA MARIA MARÊ

ESTUDO DE EFICIÊNCIA DA VENTILAÇÃO EM SISTEMA DE
CLIMATIZAÇÃO COM DISTRIBUIÇÃO DE AR PELO PISO

São Paulo
2010

RENATA MARIA MARÊ

ESTUDO DE EFICIÊNCIA DA VENTILAÇÃO EM SISTEMA DE
CLIMATIZAÇÃO COM DISTRIBUIÇÃO DE AR PELO PISO

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

Área de Concentração:
Engenharia de Construção Civil e Urbana

Orientadora:
Prof^a. Dr^a. Brenda Chaves Coelho Leite

São Paulo
2010

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

São Paulo, de junho de 2010.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Marè, Renata Maria

Estudo de eficiência da ventilação em sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso / R.M. Marè. – ed.rev. -- São Paulo, 2010.

205 p.

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

1. Sistemas de refrigeração e ar condicionado 2. Efetividade 3. Ventilação 4. Ambientes fechados I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II. t.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu
grande amor e companheiro,
Osvaldo Gogliano Sobrinho.

Sem você, eu seria
bem menos do que sou.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Maria Valentina de Oliveira Marè e Marcello Marè por tudo o que têm me proporcionado. Sei que vocês sempre fizeram o seu melhor.

À Profa. Dra. Brenda Chaves Coelho Leite, por ter me acolhido desde a nossa primeira conversa sobre a possibilidade de um mestrado, pela sua inestimável orientação, por ser uma excelente colega de trabalho, cúmplice e acima de tudo, minha amiga.

Ao Prof. Livre-Docente Carlos Eduardo Cugnasca, por me encaminhar à Profa. Dra. Brenda Leite, além da sua permanente disponibilidade e acolhimento. Considero-o meu padrinho de mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro.

Aos Professores Dr. Arlindo Tribess, Dr. Racine Prado e Dr. Henor Artur de Souza, que muito contribuíram para o aprimoramento deste trabalho com suas preciosas sugestões.

Às Professoras Dra. Denise Botter e Maria Cristina Vidal Borba pelas inestimáveis contribuições, cada uma em sua área de especialização.

Aos colegas Luana Oliveira, Matias Rubio, Ellen Laureno, Marco Antonio Gomes, Mariângela Nunes de Brito, Eliane Suzuki, Victor Sakano e Victor Felix que tanto me auxiliaram nos períodos de medições.

À empresa Nalco Brasil Ltda. e ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, que gentilmente cederam seus contadores de partículas para a realização das medições desta pesquisa.

À empresa Abili Assessoria Técnica Comercial e Tecnologia da Informação Ltda. que gentilmente cedeu os dados de seu sistema de monitoramento remoto das

variáveis ligadas à qualidade do ambiente interior.

Ao Dr. Emir Tomazelli, pelo estímulo e apoio em todos os momentos, muito além do mestrado. Seu carinho e compreensão foram indispensáveis às minhas inúmeras superações.

À Cuca, pelo seu olhar amoroso mesmo nos meus piores dias.

EPÍGRAFE

Sob o princípio do direito do ser humano à saúde, todos têm direito a respirar um ar interior saudável.

(The Right to Healthy Indoor Air –
Organização Mundial da Saúde)

RESUMO

A aplicação de sistemas de climatização com distribuição de ar pelo piso tem aumentado em países desenvolvidos, o que também tem ocorrido no Brasil. Em paralelo, tem crescido o interesse pela qualidade do ar interior e os seus efeitos no bem estar, saúde e produtividade dos ocupantes de uma edificação. Diversos estudos têm apontado para as vantagens deste sistema em relação à remoção de contaminantes do ambiente interior. Este sistema tem figurado nos programas de certificação ambiental de edificações como uma alternativa vantajosa para a melhoria da qualidade do ar interior e o conforto térmico com preservação da eficiência energética, recebendo pontuação adicional. Com o crescente interesse por este tipo de sistema, estudos que aprimorem o seu projeto visando à melhor eficiência global mostram-se essenciais. Este estudo tem como principal objetivo verificar experimentalmente a contribuição de um sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso para a qualidade do ar interior de um ambiente, sendo este uma sala de aula para 48 alunos situada no Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em condições reais de uso. Para isso, foram medidas as concentrações de partículas em suspensão na zona de respiração para pessoas sentadas (a 1,10 m do piso), e no retorno do ar (a 2,60 m do piso) simultaneamente, sob seis diferentes valores de temperatura do ar na zona ocupada (a 0,60 m do piso), previamente escolhidos. Estas concentrações permitiram o cálculo e a análise do índice de efetividade na remoção de contaminantes IERC no ambiente, para partículas e CO₂ (segunda etapa das medições). Simultaneamente, foram realizadas medições de variáveis de conforto térmico no ambiente, temperatura do ar e velocidade do ar, em seis diferentes alturas e quatorze pontos do ambiente. As baixas concentrações de partículas em suspensão (inferiores a 0,035 mg/m³) mostraram que este sistema não dispersa contaminantes no ar interior. Os IERC próximos ou superiores à unidade em todas as condições de operação do sistema, tanto para partículas em suspensão como para CO₂, comprovaram a sua eficiência na remoção de contaminantes do ambiente interior.

PALAVRAS-CHAVE: Distribuição de ar pelo piso. Ar condicionado. Efetividade da ventilação. Qualidade do ar interior.

ABSTRACT

The use of underfloor air distribution (UFAD) systems is growing in developed countries, and this is also observed in Brazil. Besides, the interest in indoor air quality and its effects on the well being, health and productivity of the occupants in a building is an important issue nowadays. Many studies have related the advantages of UFAD systems in removing indoor air contaminants from the ambient as compared to overhead systems. In the building certification systems, they figure as good alternatives to promote better indoor air quality and thermal comfort, preserving energy efficiency, which corresponds to additional points. With the expanding interest in this technology, studies that enhance its project, keeping as a goal its global efficiency, are very welcome. The aim is to experimentally verify the contribution of an UFAD system to the indoor air quality of a classroom used by 48 students at the Civil Construction Department of the Engineering School of the University of São Paulo – Brazil. The study has been conducted in a non-steady state condition. In order to perform this evaluation, the levels of indoor air-borne particles were measured at the breathing zone for seated people (1.10m from the ground), and at the exhaust (2.60m from the ground) simultaneously, under six different pre-defined values of air temperature at the occupied zone (0.60m from the ground). These concentration levels have allowed calculating the contaminant removal effectiveness index, CRE, in many points of the ambient. A similar analysis was developed for the concentrations of CO₂ in the second part of the experiment. At the same time, the air temperature and air velocity were measured in six different levels and at fourteen points of the ambient. The low concentration levels of total suspension particle (under 0.035 mg/m³) have shown that this system doesn't disperse air contaminants indoors. The CRE indexes near or above 1.0, for both total suspension particle and CO₂, have confirmed the ventilation effectiveness of this underfloor air distribution system under all the operational conditions.

KEYWORDS: Underfloor air distribution system. Air conditioning. Ventilation effectiveness. Indoor air quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Novos edifícios de escritórios nos Estados Unidos com piso elevado e sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso (<i>UFAD</i>). Adaptado de BAUMAN (2005)	41
Figura 2 -	Custos anuais com trabalho, energia e incremento devido ao sistema <i>UFAD</i> em edifícios de escritórios, por pé quadrado. Adaptado de Bauman (2005).....	44
Figura 3 -	Tipos de sistemas com insuflamento de ar pelo piso. Fonte: Leite (2003)	48
Figura 4 -	Difusor de piso (Sala 17)	52
Figura 5 -	Grelha de retorno do ar (Sala 17)	52
Figura 6 -	Difusor de piso para <i>plenum</i> com pressão positiva. Fonte: Leite (2003)	53
Figura 7 -	Difusor de piso para <i>plenum</i> com pressão negativa. Fonte: Leite (2003)	54
Figura 8 -	Difusor circular de piso com jato de ar espiralado Fonte: Center for the Built Environment (2009)	54
Figura 9 -	Carpete padrão alinhado e <i>offset</i> . Fonte: State Energy Conservation Office (2004).....	55
Figura 10 -	Concentrações de contaminantes no ambiente e na exaustão para sistema de mistura completa do ar deficiente (imagens superior e intermediária) e para sistema operando corretamente (imagem inferior). Fonte: Mundt et al (2004).....	62
Figura 11 -	Concentrações de contaminantes no ambiente e na exaustão para fluxo por deslocamento do ar com temperatura de insuflamento muito alta (imagem superior) e para sistema operando corretamente (imagem inferior). Fonte: Mundt et al (2004)	63
Figura 12 -	Devido ao processo de convecção natural, ar limpo na zona de respiração para sistema de fluxo por deslocamento do ar. Fonte: Mundt et al (2004).....	64
Figura 13 -	Laboratório de Ensino de CAD do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de	

São Paulo (LEC - Sala 17).....	69
Figura 14 - Central de Água Gelada (CAG) Fonte: Ikeda (2008)	70
Figura 15 - Tanques de Expansão (TE) e Tanques de Inércia Metálico (TQ) Fonte: Ikeda (2008)	71
Figura 16 - Representação dos sensores fixos na sala (paredes e piso), bem como nos dutos de insuflamento, mistura e retorno do ar. Imagem extraída da tela de interface do sistema supervisorio ComfortView	74
Figura 17 - Tela de interface do Sistema Supervisorio ComfortView	76
Figura 18 - Carta de conforto da ASHRAE 55:2004 e faixa de operação utilizada no estudo. Extraído de Leite (2003).....	80
Figura 19 - Temperatura operativa para conforto (PMV=0) em função da vestimenta e atividade (ISO 7730:2005). Extraído de Leite (2003)	81
Figura 20 - Mapeamento do ambiente para realização de medições de temperatura e velocidade do ar (pontos 1 a 14) e de partículas em suspensão (pontos A a H)	83
Figura 21 - Haste de suporte dos contadores de partículas	85
Figura 22 - Perfis de temperatura do ar nos postos de trabalho sob as condições C1 a C6 (26°C a 21°C) e temperaturas de insuflamento correspondentes Extraído de Leite (2003)	88
Figura 23 - Sensor de temperatura	89
Figura 24 - Sensor de temperatura	89
Figura 25 - Sensores de temperatura e umidade relativa	89
Figura 26 - Sensor de CO ₂ (acima, à esquerda).....	89
Figura 27 - Computador remoto com sistema supervisorio ComfortView	90
Figura 28 - Tela de interface do sistema de monitoramento de CO ₂	91
Figura 29 - Tela de aquisição de dados do <i>software</i> Aquis.....	92
Figura 30 - Sala de aula ocupada e em atividade	92
Figura 31 - Sala de aula ocupada e em atividade	92
Figura 32 - Hastes de suporte dos sensores móveis (temperatura e velocidade do ar)	93
Figura 33 - <i>Dataloggers</i> situados na base de cada haste de suporte dos sensores móveis.....	93
Figura 34 - Sistema de aquisição de dados dos sensores móveis: unidade	

central, <i>gateway</i> , <i>no-break</i> e <i>notebook</i>	94
Figura 35 - Contadores de partículas utilizados na pesquisa	95
Figura 36 - Kit do contador de partículas AEROCET 531 Fonte: Manual de Operação AEROCET 531	96
Figura 37 - Contadores de partículas (2ª etapa das medições)	97
Figura 38 - Equipamento portátil para medição de CO ₂ , Testo 435	98
Figura 39 - Suporte metálico de sustentação dos contadores de partículas	101
Figura 40 - Relatório das medições de quantidade de partículas no ar (desenho esquemático das grelhas na sala, sem escala)	102
Figura 41 - Medições em andamento (sala ocupada)	104
Figura 42 - Perfis de temperatura do ar no ambiente (médias das hastes): ambiente ocupado	108
Figura 43 - Perfis de temperatura do ar no ambiente (médias das hastes): ambiente desocupado.....	108
Figura 44 - Perfis de velocidade do ar no ambiente (médias das hastes): ambiente ocupado	109
Figura 45 - Perfis de velocidade do ar no ambiente (médias das hastes): ambiente desocupado.....	109
Figura 46 - Total de Partículas em Suspensão (mg/m ³) X Temperatura do Ar (°C) para ambiente ocupado a cada <i>setpoint</i> de temperatura	110
Figura 47 - Total de Partículas em Suspensão (mg/m ³) X Temperatura do Ar (°C) para ambiente desocupado a cada <i>setpoint</i> de temperatura.....	110
Figura 48 - Total de Partículas em Suspensão (mg/m ³) X Velocidade do Ar (m/s) para ambiente ocupado a cada <i>setpoint</i> de temperatura.....	111
Figura 49 - Total de Partículas em Suspensão (mg/m ³) X Velocidade do Ar (m/s) para ambiente desocupado a cada <i>setpoint</i> de temperatura.....	111
Figura 50 - Índice de Efetividade da Ventilação X <i>Setpoint</i> de Temperatura do Ar (°C).....	112
Figura 51 - Perfis de temperatura do ar (médias das hastes): ambiente ocupado	114
Figura 52 - Perfis de temperatura do ar (médias das hastes): ambiente desocupado	115
Figura 53 - Perfis de velocidade do ar (médias das hastes): ambiente ocupado	115

Figura 54 - Perfis de velocidade do ar (médias das hastes): ambiente desocupado	116
Figura 55 – Total de Partículas por Tamanho X <i>Setpoint</i> de Temperatura do Ar (°C): ambiente ocupado	117
Figura 56 - Total de Partículas por Tamanho X <i>Setpoint</i> de Temperatura do Ar (°C): ambiente desocupado.....	118
Figura 57 - Total de Partículas por Tamanho X Velocidade do Ar (m/s): ambiente ocupado	119
Figura 58 - Total de Partículas por Tamanho X Velocidade do Ar (m/s): ambiente desocupado.....	120
Figura 59 - Índice de Efetividade da Ventilação (remoção de partículas) X <i>Setpoint</i> de Temperatura do Ar (°C) por tamanho de partícula (ambiente ocupado)	121
Figura 60 - Índice de Efetividade da Ventilação (remoção de partículas) X <i>Setpoint</i> de Temperatura do Ar (°C) por tamanho de partícula (ambiente desocupado)	121
Figura 61 - Índice de Efetividade da Ventilação (remoção de CO ₂) X <i>Setpoint</i> de Temperatura do Ar (°C) (ambiente ocupado e desocupado)	122
Figura 62 - Perfis de temperatura do ar: ambiente ocupado e desocupado.....	141
Figura 63 - Perfis de velocidade do ar: ambiente ocupado e desocupado	142
Figura 64 – 1ª Etapa: perfis de temperatura do ar de 21°C a 23°C - ambiente ocupado	143
Figura 65 – 1ª Etapa: perfis de temperatura do ar de 24°C a 26°C - ambiente ocupado	144
Figura 66 – 1ª Etapa: perfis de temperatura do ar de 21°C a 23°C - ambiente desocupado	145
Figura 67 – 1ª Etapa: perfis de temperatura do ar de 24°C a 26°C - ambiente desocupado	146
Figura 68 – 1ª Etapa: perfis de velocidade do ar de 21°C a 23°C - ambiente ocupado	147
Figura 69 - 1ª Etapa: perfis de velocidade do ar de 24°C a 26°C - ambiente ocupado	148
Figura 70 - 1ª Etapa: perfis de velocidade do ar de 21°C a 23°C - ambiente desocupado	149

Figura 71 - 1ª Etapa: perfis de velocidade do ar de 24°C a 26°C - ambiente desocupado	150
Figura 72 - 2ª Etapa: perfis de temperatura do ar de 21°C a 23°C - ambiente ocupado	151
Figura 73 - 2ª Etapa: perfis de temperatura do ar de 24°C a 26°C - ambiente ocupado	152
Figura 74 - 2ª Etapa: perfis de temperatura do ar de 21°C a 23°C - ambiente desocupado	153
Figura 75 - 2ª Etapa: perfis de temperatura do ar de 24°C a 26°C - ambiente desocupado	154
Figura 76 - 2ª Etapa: perfis de velocidade do ar de 21°C a 23°C - ambiente ocupado	155
Figura 77 - 2ª Etapa: perfis de velocidade do ar de 24°C a 26°C - ambiente ocupado	156
Figura 78 - 2ª Etapa: perfis de velocidade do ar de 21°C a 23°C - ambiente desocupado	157
Figura 79 - 2ª Etapa: perfis de velocidade do ar de 24°C a 26°C - ambiente desocupado	158

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fontes de Poluentes Físicos e Químicos. Fontes: ASHRAE 62.1 (2004) e ANVISA RE 09 (2003)	37
Quadro 2 - Fontes de Poluentes Biológicos. Fonte: ANVISA RE 09 (2003).....	38
Quadro 3 - Valores de ε^a para cada tipo de sistema de ventilação.....	60
Quadro 4 - Configuração de elemento sensor (P) e fonte contaminante (Q) no ambiente	65
Quadro 5 - Características dos Sensores do Sistema de Controle	75
Quadro 6 - Especificação dos Sensores Fixos.....	89
Quadro 7 - Características dos sensores móveis.....	91
Quadro 8 - Características do sistema de aquisição de dados	94
Quadro 9 - Condições da sala ocupada (1ª e 2ª aula)	183
Quadro 10 - Condições da sala ocupada (1ª e 2ª aula)	184

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - <i>Setpoints</i> de operação do sistema (1ª etapa das medições).....	87
Tabela 2 - <i>Setpoints</i> de operação do sistema (2ª etapa das medições).....	87
Tabela 3 - Condições Operacionais – Ambiente ocupado.....	106
Tabela 4 - Condições operacionais – Ambiente desocupado.....	107
Tabela 5 - Valores médios de vazões de ar de insuflamento, vazões de ar de retorno (m ³ /h) e IERC para cada <i>setpoint</i> de temperatura (ambiente ocupado e desocupado).	112
Tabela 6 - Condições Operacionais – Ambiente ocupado (NR = Não Registrado).....	113
Tabela 7 - Condições operacionais – Ambiente desocupado (NR = Não Registrado).....	113
Tabela 8 - Melhores <i>setpoints</i> de operação do sistema e condições climáticas correspondentes (1ª etapa das medições)	129
Tabela 9 - Melhores <i>setpoints</i> de operação do sistema e condições climáticas correspondentes (2ª etapa das medições)	129
Tabela 10 - 1ª Etapa (21°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado.....	159
Tabela 11 - 1ª Etapa (21°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado.....	159
Tabela 12 - 1ª Etapa (21°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado.....	160
Tabela 13 - 1ª Etapa (21°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado.....	160
Tabela 14 - 1ª Etapa (22°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado.....	161
Tabela 15 - 1ª Etapa (22°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado.....	161
Tabela 16 - 1ª Etapa (22°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado.....	162
Tabela 17 - 1ª Etapa (22°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado.....	162
Tabela 18 - 1ª Etapa (23°C): temperatura do ar por haste (média e desvio	

padrão), ambiente ocupado.....	163
Tabela 19 - 1ª Etapa (23°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado.....	163
Tabela 20 - 1ª Etapa (23°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado.....	164
Tabela 21 - 1ª Etapa (23°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado.....	164
Tabela 22 - 1ª Etapa (24°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado.....	165
Tabela 23 - 1ª Etapa (24°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado.....	165
Tabela 24 - 1ª Etapa (24°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado.....	166
Tabela 25 - 1ª Etapa (24°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado.....	166
Tabela 26 - 1ª Etapa (25°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado.....	167
Tabela 27 - 1ª Etapa (25°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado.....	167
Tabela 28 - 1ª Etapa (25°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado.....	168
Tabela 29 - 1ª Etapa (25°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado.....	168
Tabela 30 - 1ª Etapa (26°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado.....	169
Tabela 31 - 1ª Etapa (26°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado.....	169
Tabela 32 - 1ª Etapa (26°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado.....	170
Tabela 33 - 1ª Etapa (26°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado.....	170
Tabela 34 – 2ª Etapa (21°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado.....	171
Tabela 35 - 2ª Etapa (21°C): temperatura do ar por haste (média e desvio	

padrão), ambiente desocupado.....	171
Tabela 36 - 2ª Etapa (21°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado.....	172
Tabela 37 - 2ª Etapa (21°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado.....	172
Tabela 38 - 2ª Etapa (22°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado.....	173
Tabela 39 - 2ª Etapa (22°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado.....	173
Tabela 40 - 2ª Etapa (22°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado.....	174
Tabela 41 - 2ª Etapa (22°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado.....	174
Tabela 42 - 2ª Etapa (23°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado.....	175
Tabela 43 - 2ª Etapa (23°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado.....	175
Tabela 44 - 2ª Etapa (23°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado.....	176
Tabela 45 - 2ª Etapa (23°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado.....	176
Tabela 46 - 2ª Etapa (24°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado.....	177
Tabela 47 - 2ª Etapa (24°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado.....	177
Tabela 48 - 2ª Etapa (24°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado.....	178
Tabela 49 - 2ª Etapa (24°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado.....	178
Tabela 50 - 2ª Etapa (25°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado.....	179
Tabela 51 - 2ª Etapa (25°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado.....	179
Tabela 52 - 2ª Etapa (25°C): velocidade do ar por haste (média e desvio	

padrão), ambiente ocupado.....	180
Tabela 53 - 2ª Etapa (25°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado.....	180
Tabela 54 - 2ª Etapa (26°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado.....	181
Tabela 55 - 2ª Etapa (26°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado.....	181
Tabela 56 - 2ª Etapa (26°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado.....	182
Tabela 57 - 2ª Etapa (26°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado.....	182
Tabela 58 – 1ª Etapa (21°C): TPS e IERC por ponto e para ambiente ocupado e desocupado	185
Tabela 59 - 1ª Etapa (22°C): TPS e IERC por ponto e para ambiente ocupado e desocupado	185
Tabela 60 - 1ª Etapa (23°C): TPS e IERC por ponto e para ambiente ocupado e desocupado	186
Tabela 61 - 1ª Etapa (24°C): TPS e IERC por ponto e para ambiente ocupado e desocupado	186
Tabela 62 - 1ª Etapa (25°C): TPS e IERC por ponto e para ambiente ocupado e desocupado	187
Tabela 63 - 1ª Etapa (26°C): TPS e IERC por ponto e para ambiente ocupado e desocupado	187
Tabela 64 – 1ª Etapa: TPS X temperatura do ar para ambiente ocupado e desocupado.....	188
Tabela 65 - 1ª Etapa: TPS X velocidade do ar para ambiente ocupado e desocupado.....	188
Tabela 66 - 2ª Etapa (21°C): Quantidades médias de partículas por tamanho e IERC por ponto e para ambiente ocupado	189
Tabela 67 - 2ª Etapa (21°C): Quantidades médias de partículas por tamanho e IERC por ponto e para ambiente desocupado	190
Tabela 68 - 2ª Etapa (22°C): Quantidades médias de partículas por tamanho e IERC por ponto e para ambiente ocupado	191
Tabela 69 - 2ª Etapa (22°C): Quantidades médias de partículas por tamanho	

e IERC por ponto e para ambiente desocupado	192
Tabela 70 - 2ª Etapa (23°C): Quantidades médias de partículas por tamanho e IERC por ponto e para ambiente ocupado	193
Tabela 71 - 2ª Etapa (23°C): Quantidades médias de partículas por tamanho e IERC por ponto e para ambiente desocupado	194
Tabela 72 - 2ª Etapa (24°C): Quantidades médias de partículas por tamanho e IERC por ponto e para ambiente ocupado	195
Tabela 73 - 2ª Etapa (24°C): Quantidades médias de partículas por tamanho e IERC por ponto e para ambiente desocupado	196
Tabela 74 - 2ª Etapa (25°C): Quantidades médias de partículas por tamanho e IERC por ponto e para ambiente ocupado	197
Tabela 75 - 2ª Etapa (25°C): Quantidades médias de partículas por tamanho e IERC por ponto e para ambiente desocupado	198
Tabela 76 - 2ª Etapa (26°C): Quantidades médias de partículas por tamanho e IERC por ponto e para ambiente ocupado	199
Tabela 77 - 2ª Etapa (26°C): Quantidades médias de partículas por tamanho e IERC por ponto e para ambiente desocupado	200
Tabela 78 - 2ª Etapa: Quantidades médias de partículas por tamanho X temperatura do ar e velocidade do ar para ambiente ocupado	201
Tabela 79 - 2ª Etapa: Quantidades médias de partículas por tamanho X temperatura do ar e velocidade do ar para ambiente desocupado	202
Tabela 80 - 2ª Etapa (21°C): Níveis de CO ₂ e IERCO ₂ por ponto e para ambiente ocupado e desocupado	203
Tabela 81 - 2ª Etapa (22°C): Níveis de CO ₂ e IERCO ₂ por ponto e para ambiente ocupado e desocupado	203
Tabela 82 - 2ª Etapa (23°C): Níveis de CO ₂ e IERCO ₂ por ponto e para ambiente ocupado e desocupado	204
Tabela 83 - 2ª Etapa (24°C): Níveis de CO ₂ e IERCO ₂ por ponto e para ambiente ocupado e desocupado	204
Tabela 84 - 2ª Etapa (25°C): Níveis de CO ₂ e IERCO ₂ por ponto e para ambiente ocupado e desocupado	205
Tabela 85 - 2ª Etapa (26°C): Níveis de CO ₂ e IERCO ₂ por ponto e para ambiente ocupado e desocupado	205

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Am	Média de Retenção de Partículas Sintéticas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
BREEAM	<i>Building Research Establishment's Environmental Assessment Method</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAG	Central de Água Gelada
CEN	<i>Comité Européen de Normalisation</i>
COSHR	<i>Canadian Occupational Safety and Health Regulations</i>
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
DV	<i>Displacement Ventilation</i>
EN	<i>European Standard</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
HQE	<i>Haute Qualité Environnementale</i>
I _{cl}	Isolamento Térmico
IERC	Índice da Efetividade na Remoção de Contaminantes
IERCO ₂	Índice de Efetividade na Remoção de CO ₂
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LEC	Laboratório de Ensino de CAD
LEED™	<i>Leadership in Environmental and Energy</i>
M	Taxa de Metabolismo
NAAQS	<i>National Ambient Air Quality Standards</i>
NBR	Norma Brasileira
NDIR	<i>Nondispersiv Infrared</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PM ₁₀	<i>Particulate Matter diameter ≤ 10.0 μm</i>
PM _{2.5}	<i>Particulate Matter diameter ≤ 2.5 μm</i>
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i>
RE	Resolução
TAC	<i>Task/Ambient Conditioning</i>

TCOVs	Total de Compostos Orgânicos Voláteis
TE	Tanque de Expansão
TPS	Total de Partículas em Suspensão
TQ	Tanque de Inércia
TSP	<i>Total Suspension Particle</i>
U.S.	<i>United States</i>
UFAD	<i>Underfloor Air Distribution System</i>
UR	Umidade Relativa do Ar
VAC	Vazão de Ar Constante
V_{ar}	Velocidade do Ar
VAV	Vazão de Ar Variável
WHO	<i>World Health Organization</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

$\bar{\tau}_p$	idade média local do ar
$\langle \bar{\tau} \rangle$	idade média do ar
τ_n	constante nominal de tempo
V	volume de ar no ambiente
q_v	taxa de ventilação
$\bar{\tau}_r$	tempo de troca de todo o ar do ambiente
ε^a	eficiência na troca de ar
ε_p^a	índice de troca de ar local
ε^c	índice de efetividade na remoção de contaminantes
c_e	concentração de contaminantes na exaustão
$\langle c \rangle$	concentração média de contaminantes no ambiente
S	taxa de emissão de contaminantes
ε_p^c	índice de qualidade do ar local
c_p	concentração de contaminantes no ponto
$\varepsilon_{\text{exp}}^c$	índice pessoal de exposição
c_s	concentração de contaminantes no insuflamento
ΔP	diferencial de pressão entre o <i>plenum</i> e o ambiente
ΔT	diferencial de temperatura entre o ar de retorno e o de insuflamento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27
2	OBJETIVO	31
3	DESENVOLVIMENTO DA DISSERTAÇÃO	32
4	REVISÃO DA LITERATURA.....	34
4.1	Qualidade ambiental e produtividade	34
4.2	Qualidade do ar interior	36
4.3	Sistemas de ventilação mecânica.....	38
4.4	Considerações sobre o sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso	39
4.5	Características do sistema de distribuição de ar pelo piso	42
4.6	A qualidade do ar em ambientes climatizados.....	45
4.7	Normalização.....	46
5	SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR COM INSUFLAMENTO PELO PISO.....	48
5.1	Características do sistema de climatização com insuflamento de ar pelo piso	50
5.1.1	Unidade primária de refrigeração	50
5.1.2	Sistema de automação	50
5.1.3	Ambiente climatizado.....	51
5.2	Desempenho do sistema	56
6	EFETIVIDADE DA VENTILAÇÃO.....	58
6.1	Eficiência na troca de ar	59
6.2	Efetividade na remoção de contaminantes	60
6.3	Contaminantes típicos e sua distribuição em ambientes ventilados	65
7	DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO	68
7.1	Características físicas do ambiente – LEC Sala 17	68
7.2	Características do sistema de condicionamento de ar – LEC Sala 17	70
7.2.1	Planta ou sistema hidráulico da refrigeração	70
7.2.2	Circuito de ar	71
7.2.3	Sistema de automação e controle	73

8	MÉTODO DE TRABALHO.....	78
8.1	Definição das condições de contorno	79
8.1.1	Variáveis medidas	81
8.1.2	Definição dos pontos de medição	82
8.1.3	Definição dos períodos de medição.....	85
8.1.4	Definição das condições de operação do sistema.....	86
8.2	Definição dos equipamentos de medição	88
8.2.1	Características dos equipamentos de medição	88
8.3	Validação do método de medição: testes preliminares.....	99
8.4	Processos de coleta de informações e transmissão de dados	101
8.5	Tratamento dos dados.....	104
9	RESULTADOS DAS MEDIÇÕES	106
9.1	Primeira etapa das medições	106
9.2	Segunda etapa das medições	112
10	ANÁLISE QUANTITATIVA DA EFETIVIDADE DA VENTILAÇÃO.....	123
10.1	Análise das condições do ambiente do ponto de vista da temperatura e velocidade do ar	123
10.2	Análise dos resultados de medições de concentrações de partículas	125
10.3	Análise dos resultados de medições de níveis de CO ₂	127
11	CONCLUSÃO DO TRABALHO E CONTRIBUIÇÕES	128
12	REFERÊNCIAS	131
13	BIBLIOGRAFIA.....	140
	ANEXO A – PERFIS DE TEMPERATURA E VELOCIDADE DO AR NA PRIMEIRA ETAPA DAS MEDIÇÕES (AMBIENTE OCUPADO E DESOCUPADO)	141
	ANEXO B – PERFÍS E TABELAS DE TEMPERATURA E VELOCIDADE DO AR PARA TODAS AS HASTES - PRIMEIRA E SEGUNDA ETAPAS DAS MEDIÇÕES - (AMBIENTE OCUPADO E DESOCUPADO).....	143
	ANEXO C – CONDIÇÕES NA 1ª E 2ª AULA NA PRIMEIRA E SEGUNDA ETAPA DAS MEDIÇÕES (AMBIENTE OCUPADO).....	183
	ANEXO D – DADOS REFERENTES ÀS MEDIÇÕES DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO NA PRIMEIRA E SEGUNDA ETAPA DAS MEDIÇÕES (AMBIENTE OCUPADO E DESOCUPADO)	185
	ANEXO E – DADOS REFERENTES ÀS MEDIÇÕES DE CO ₂ NA	

SEGUNDA ETAPA DAS MEDIÇÕES (AMBIENTE OCUPADO E DESOCUPADO)	203
---	-----

1 INTRODUÇÃO

O crescimento econômico brasileiro de 5,4% em 2007 reposicionou o país no cenário internacional como nação com desenvolvimento crescente, projeção que se manteve em 2008, com crescimento do PIB na faixa de 5%. Em 2009, apesar das estimativas do Banco Central para um crescimento de apenas 0,3% no PIB, este estará acima da média mundial, e para 2010, a projeção é de 4% (CB – Richard Ellis, 2009). Neste contexto, o setor da construção civil vem apresentando um grande crescimento, com registro de 8% entre 2004 e 2005, e mantendo esta tendência (1º Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável, 2008). Esta explosão do setor reflete-se também na área de edifícios de escritórios. Destacando a situação nas duas principais cidades do país, São Paulo, com 21,428 milhões de habitantes e Rio de Janeiro com 13,413 milhões (O Estado de São Paulo, 2008), São Paulo apresenta um estoque de 5.626.100 m², e o Rio de Janeiro, 2.704.100 m². São edifícios com ar condicionado central, área útil total ou superior a 1000 m², e lajes superiores a 250 m². A taxa de vacância registrada nas duas cidades é de 6,5% e 3,1% respectivamente (CB – Richard Ellis, 2009).

Atributos como conforto térmico e qualidade do ar nos ambientes internos vêm ganhando importância no mundo, especialmente nos grandes centros onde as pessoas passam mais de 90% de seu tempo. Afinal, estes atributos afetam, comprovadamente, a saúde e o desempenho das pessoas. Na construção civil estes quesitos figuram inclusive nos diversos sistemas de certificação ambiental como o americano *LEED™* (*Leadership in Environmental and Energy*), o francês *HQE* (*Haute Qualité Environnementale*), o australiano *Green Star* ou o *BREEAM* (*Building Research Establishment's Environmental Assessment Method*), criado no Reino Unido. Estes atributos precisam seguir parâmetros das normas correspondentes, tanto em projeto quanto na fase de operação da edificação, a fim de que a mesma receba e mantenha sua certificação em sustentabilidade, tornando-se um *Green Building* ou Edifício Verde. Este tipo de edificação visa à redução de seu impacto no meio ambiente e na saúde das pessoas durante sua vida útil, por meio do uso racional de recursos como água e energia elétrica, redução na geração de resíduos e poluição e da criação de um ambiente interno propício à saúde, à segurança e à produtividade de seus ocupantes (LOCKWOOD, 2006).

Olesen (2005) e Wyon (2000) através de seus estudos relataram como manter o conforto térmico e a qualidade do ar interior dentro de padrões satisfatórios aos usuários da edificação, sem aumento do consumo de energia, visto que os sistemas de ventilação mecânica são considerados os grandes vilões no consumo de energia elétrica.

O uso de recursos naturais como vento e vegetação para a melhor climatização dos ambientes internos vem sendo preconizado, mas especialmente nos grandes centros onde existem problemas de segurança, poluição do ar e sonora, sua utilização individual torna-se impraticável. Os sistemas de ventilação mecânica ainda são as melhores ferramentas para proporcionar condições de conforto térmico, assim como renovação com tratamento do ar por meio dos sistemas filtrantes.

Os sistemas de condicionamento de ar mais utilizados ainda são os sistemas com distribuição de ar pelo teto por meio de dutos e difusores uniformemente distribuídos, e retorno mais usual pelo teto através de grelhas. São dimensionados para uma carga térmica homogênea e constante no ambiente, proporcionando uma temperatura constante em todo o volume de ar do ambiente por meio da completa mistura do ar de insuflamento com o ar interior. O controle de temperatura e vazão do ar é feito de modo centralizado.

Contudo, devido às constantes mudanças de inquilinos e proprietários nos edifícios de escritórios, o tipo de ocupação (*layout*) e a dinâmica de trabalho vêm mudando ao longo do tempo, desde o advento do conceito de escritório aberto na década de 1950. As cargas térmicas mostram-se variáveis em tamanho e posição no ambiente, não só em função do número de usuários, mas também do número e tipo de equipamentos usados como microcomputadores, impressoras, fotocopiadoras, projetores, dentre outros. Estas características requerem flexibilidade do espaço, o que se contrapõe ao sistema tradicional de climatização com insuflamento pelo teto. Além disso, existem preferências individuais de temperatura e o ser humano gosta de algum nível de controle sobre o seu ambiente, o que também se opõe aos princípios deste sistema. A fim de atender a estas necessidades, o sistema com distribuição de ar pelo piso (*plenum*) e insuflamento diretamente em cada estação de trabalho (sistema de condicionamento de tarefa ou individualizado) apresenta-se como uma boa solução (LEITE, 2003). Este sistema apresenta dispositivos de controle personalizado como termostatos e difusores que

possibilitam o controle de temperatura, vazão e direção do ar. Além disso, trabalha com mais intensidade o volume de ar que circunda o usuário criando um microclima, mantendo nas imediações condições aceitáveis de conforto, o que possibilita economia de energia. Portanto, diferentemente do sistema convencional, cria zonas térmicas controláveis por cada usuário. No entanto, o sistema de condicionamento individualizado ainda encontra-se em desenvolvimento não havendo registros de sua aplicação no Brasil.

Como alternativa mais ampla ao sistema convencional, os sistemas de climatização com distribuição de ar pelo piso (*Underfloor Air Distribution System – UFAD*) e o de Fluxo por Deslocamento (*Displacement Ventilation – DV*) apresentam a flexibilidade necessária às aplicações em edifícios de escritórios. Trata-se de sistemas com distribuição de ar pelo *plenum*, que é o espaço entre a laje inferior da edificação e o piso elevado (com alturas variando entre 20 e 50 cm), que pode ser provido ou não de rede de dutos, e distribuição por meio de uma rede de difusores instalados no piso, sendo o retorno mais usual pelo teto. Possuem como principais características temperaturas mais elevadas de insuflamento (economia de energia), estratificação da temperatura e convecção natural (maior efetividade na remoção de poluentes internos), flexibilidade de layout, possibilidade de adaptação de dispositivos de controle individual, dentre outras (BAUMAN, 2003; LEITE, 2003).

Em relação à qualidade do ar interior, a eficiência de um sistema de climatização pode ser medida por meio da sua capacidade de remover poluentes do ambiente interior, traduzida pelo índice de efetividade da ventilação (MUNDT et al, 2004). Ele é expresso pela relação entre a concentração de poluentes no retorno e a concentração de poluentes na zona de respiração, e é satisfatório se for igual ou superior à unidade. Nos sistemas de climatização com distribuição de ar pelo piso, este índice pode chegar a 1,3, o que é consistente com as conclusões de estudos que apontam maior efetividade da ventilação deste sistema em relação ao sistema convencional (CERMAK; MELIKOV, 2006; YUSOF et al, 2006; WALKER; NORFORD, 2005).

Se bem projetado, operado e mantido, este tipo de sistema de climatização pode ser uma boa alternativa para se proporcionar conforto térmico e eficiência na remoção de poluentes internos, mantendo-se a eficiência energética (CALIFORNIA ENERGY COMMISSION, 2007b).

No Brasil, a norma que prescreve os parâmetros de projeto para os sistemas

de climatização é a NBR 16401 (2008) e a internacional é a ASHRAE 55 (2004). A operação do sistema assim projetado deve proporcionar satisfação com o ambiente a pelo menos 80% dos usuários, segundo estas normas. Em relação à qualidade do ar interior, os sistemas com distribuição de ar pelo piso transportam os poluentes (gases e material particulado) do ambiente para a exaustão (teto) por meio da pluma térmica que se forma ao redor das fontes de calor. Os parâmetros relativos a poluentes internos encontram-se na norma NBR 16401 (2008), capítulo Qualidade do Ar Interior, na resolução Anvisa RE 09 (2003), e na norma internacional ASHRAE 62.1 (2004). Em relação à qualidade do ar interior, o resultado do projeto deve proporcionar satisfação a pelo menos 80% dos usuários segundo a ASHRAE 62.1 (2004). No entanto, estas normas ainda necessitam de revisões e adequação às particularidades do sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso. Movimentos neste sentido vêm ocorrendo, como é o caso da comissão técnica 4.1 da ASHRAE que está desenvolvendo um robusto conjunto de ferramentas para auxiliar projetistas deste tipo de sistema (CALIFORNIA ENERGY COMMISSION, 2007a).

Considerando-se que existem poucas informações sobre a eficiência na remoção de poluentes do ar interior para o sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso, esta pesquisa de mestrado visou avaliar um ambiente com este tipo de sistema para identificar quais são os parâmetros de operação para que se obtenha a melhor efetividade da ventilação e, portanto, uma qualidade do ar interior satisfatória.

2 OBJETIVO

Este trabalho visou verificar, experimentalmente, a contribuição do sistema de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso para a qualidade do ar do ambiente, em um laboratório utilizado como sala de aula de ensino de CAD no Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em condições reais de uso.

Para atingir o objetivo, foram identificados índices de efetividade da ventilação, com base em medições das concentrações de contaminantes (aerodispersóides) na primeira etapa das medições (2008), e concentrações de partículas e níveis de CO₂ na segunda etapa das medições (2009). Os dados foram coletados simultaneamente no retorno do ar e na zona de respiração das pessoas (1,10m para pessoas sentadas), em diversos pontos do ambiente, e sob seis condições distintas de operação do sistema. A melhor condição de operação do sistema (parâmetros de operação) foi definida como sendo aquela em que se obteve o maior índice de efetividade da ventilação determinado.

O desenvolvimento deste trabalho contemplou:

- A determinação de seis condições de operação do sistema objetivando condições de conforto térmico no ambiente.
- A determinação dos índices de efetividade da ventilação para cada condição de operação (verificação da capacidade de remoção de poluentes do ambiente interno pelo sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso), na transição do Inverno para a Primavera (2008) e na transição da Primavera para o Verão (2009), para a sala ocupada (período de aulas) e desocupada.
- As condições de operação do sistema em que houve a maior efetividade da ventilação do sistema em questão.

Os objetivos aqui citados foram atingidos por meio de procedimentos experimentais que permitiram a obtenção de dados quantitativos e qualitativos ligados à qualidade do ar interior e ao conforto térmico.

3 DESENVOLVIMENTO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação segue, em sua apresentação, a ordem em que a pesquisa foi realizada.

O Capítulo 4 apresenta, por meio da revisão da literatura, uma série de estudos sobre o tema da pesquisa como: qualidade do ambiente interno e produtividade, sistemas de ventilação mecânica com ênfase no sistema de climatização com distribuição do ar pelo piso e efetividade da ventilação. Os pontos de maior destaque destes estudos são comentados.

No Capítulo 5, o sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso é descrito em detalhes, com ênfase em seus componentes e modo de operação.

No Capítulo 6 são apresentados os principais conceitos relativos à efetividade da ventilação, cujo índice, segundo a proposta de Mundt et al (2004), expressa a capacidade do sistema de climatização de remover poluentes presentes no ar do ambiente interno.

No Capítulo 7 o estudo de caso pesquisado é descrito em detalhes, sendo apresentadas as características do ambiente avaliado e do sistema de climatização correspondente.

No Capítulo 8 são descritas todas as etapas do método de trabalho que permitiram a avaliação da efetividade da ventilação do sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso da Sala 17, bem como a determinação das melhores condições de operação do sistema para a máxima efetividade da ventilação.

No Capítulo 9 são apresentados os dados obtidos do monitoramento do sistema de climatização para cada dia de ensaio, bem como os dados das medições de temperatura, velocidade do ar, total de partículas em suspensão e os consequentes índices de efetividade na remoção de contaminantes.

No Capítulo 10, a análise dos dados obtidos nas medições permitiu que se determinasse o nível de efetividade da ventilação promovido pelo sistema em questão, além do conjunto de *setpoints* do mesmo para a melhor efetividade no ambiente.

No Capítulo 11 as conclusões sobre o trabalho desenvolvido são apresentadas, bem como sugestões de pesquisas futuras correlatas.

No Capítulo 12 são relacionados todos os trabalhos mencionados neste

texto, e no Capítulo 13, os trabalhos consultados, mas não citados.

4 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura aborda os principais aspectos relacionados com a qualidade do ar e o sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso.

4.1 Qualidade ambiental e produtividade

As edificações devem atender a diversos propósitos de seus ocupantes (funcional, social, simbólico e artístico), que precisam ser levados em conta nas fases de projeto, construção e operação da edificação. Apesar da capacidade de tolerância e adaptação do ser humano, a edificação deve proporcionar qualidade ao ambiente interior durante sua vida útil, com uso racional dos recursos naturais, de modo a preservar a saúde, o bem estar e o bom desempenho de seus usuários em suas diversas atividades. A qualidade do ambiente interno está associada a diversos fatores como conforto térmico, conforto lumínico, conforto acústico, qualidade do ar interior, ergonomia, estética e segurança (SPENGLER; CHEN, 2000). Embora existam parâmetros técnicos a serem respeitados em cada um deles, o ambiente sócio-cultural tem importante papel no nível de expectativa do usuário em relação ao ambiente interno, além de fatores subjetivos e psicológicos (HAGHIGHAT; DONNINI, 1999; NASROLLAHI; KNIGHT; JONES, 2008; MUHIC; BUTALA, 2004; REYNOLDS et al., 2001; WENER; CARMALT, 2006). Também estão correlacionados a percepção da qualidade do ambiente interno, o tipo de atividade que o indivíduo desempenha no local e sua vestimenta, dentre outros fatores (FANGER, 1970; GOTO et al., 2003; KOSONEN; TAN, 2004; LEITE, 2003).

A questão da qualidade do ambiente interno vem ganhando importância há algumas décadas, especialmente nos países desenvolvidos, onde a população urbana passa cerca de 90% de seu tempo em ambientes fechados, seja em casa, no trabalho ou em meios de transporte. Esta é uma questão de saúde pública tão relevante, que foi incorporada à Constituição da Organização Mundial de Saúde (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1985) que trata do direito que o ser humano tem a um ambiente saudável, incluindo-se aqui o direito a respirar um ar limpo (WORLD HEALTH ORGANIZATION/EURO, 2000), direito a conforto térmico, além do direito à saúde e conforto visuais. Aliás, estes textos foram elaborados visando

atender à Declaração Universal dos Direitos Humanos, da Organização das Nações Unidas (UNITED NATIONS, 1948), que, no artigo 25, diz que todo ser humano tem direito ao bem-estar e a um padrão de saúde adequado.

Publicações técnicas têm registrado problemas de saúde relacionados à edificação tais como a síndrome do edifício doente e as doenças relacionadas à edificação. A síndrome do edifício doente caracteriza-se por um estado doentio temporário dos usuários, visto que quando estes deixam o edifício os sintomas normalmente desaparecem. Já as doenças relacionadas à edificação, caracterizam-se por uma infecção real dos usuários (CARMO; PRADO, 1999; MENDELL et al., 2006; MITCHELL et al., 2007; REYNOLDS et al., 2001). Só nos Estados Unidos, estima-se que mais de 10 milhões de trabalhadores são afetados por problemas desta natureza, resultando em prejuízos da ordem de bilhões de dólares em decréscimo de produtividade, processos judiciais e propaganda negativa (REYNOLDS et al., 2001).

Os pontos mais claros de benefícios econômicos obtidos com o incremento da qualidade do ambiente interno são a melhora do desempenho dos ocupantes (tanto em qualidade como em velocidade das ações), redução do absenteísmo e redução nos custos com tratamentos de saúde (FISK; SEPPANEN, 2007). A correlação entre a produtividade do indivíduo e o conforto ambiental, com ênfase na qualidade do ar interior, tem sido tema de estudos sob vários enfoques. Wargocki, Wyon e Fanger (2000) e Djukanovic, Wargocki e Fanger (2002) relataram um aumento da produtividade ao redor de 1,1%, para cada 10% de redução de indivíduos insatisfeitos com a qualidade do ar interior em escritórios. Kosonen e Tan (2004) apresentaram resultados significativos da importância da efetividade da ventilação do sistema de climatização (capacidade de remoção de poluentes do ambiente interno) e de sua influência na produtividade dos indivíduos. Lagercrantz et al. (2000) bem como Wargocki, et al. (2002a) observaram a importância do controle e mitigação de fontes poluentes no ambiente interno, devido à sua influência no desempenho das funções dos ocupantes locais.

Visto que mais de 1/3 do consumo global de energia é gasto na manutenção dos ambientes internos, Olesen (2005) e Wyon (2000) fizeram importantes correlações entre a quantidade de energia necessária às condições de conforto ambiental (temperatura, umidade relativa e qualidade do ar interior), de forma sustentável, mantendo-se o bom desempenho dos ocupantes de escritórios e

escolas, ou proporcionando aumento da ordem de 5 a 10% na produtividade. Djukanovic, Wargocki e Fanger (2002) avaliando a relação anual custo/benefício da melhora da qualidade do ar interior, chegaram à relação de 1 para 10 entre aumento de custo com energia e manutenção predial, e benefícios atingidos junto aos ocupantes, reforçando constatações de estudos anteriores (WARGOCKI et al., 2000). Wargocki e Djukanovic (2003) mostraram pela análise de custo do ciclo de vida da edificação, que os benefícios obtidos com a melhora da qualidade do ar interior pela redução de fontes poluentes e taxa de renovação do ar podem ser 60 vezes maiores que os investimentos, e que estes geralmente podem ser recuperados em até dois anos.

4.2 Qualidade do ar interior

A preocupação com a Qualidade do Ar Interior teve sua origem após a crise energética de 1970, quando nos países desenvolvidos tornou-se relevante a questão da eficiência energética. Nas edificações, o reflexo foi o uso inadequado dos sistemas de ventilação mecânica e climatização visando à redução de custos valendo-se da minimização das trocas de ar do ambiente interno, o que resultou em condições de qualidade do ar interior (temperatura do ar, umidade relativa do ar e concentrações de poluentes) inadequadas ao conforto, à saúde e à produtividade de seus ocupantes (FANG et al., 2004; KOSONEN; TAN, 2004; WARGOCKI et al., 2000). Nos ambientes internos das grandes cidades, onde as pessoas passam a maior parte de seu tempo, elas estão expostas não apenas à carga de poluentes externos trazidos pelo ar de renovação, mas também aos poluentes gerados internamente. Estima-se que o nível de alguns poluentes internos seja 25 a 100 vezes superior ao nível no ar externo (YANG et al, 2004) o que mostra a gravidade da situação. Existem contaminantes de origem biológica, química e física, sendo os físicos e químicos de maior interesse apresentados no Quadro 1 (ASHRAE 62.1, 2004; ANVISA RE 09, 2003). No Quadro 2 encontram-se os contaminantes de origem biológica de maior interesse segundo a resolução Anvisa RE 09 (2003).

Sundell (2004) em sua revisão sobre o histórico da qualidade do ar interior e a saúde dos ocupantes de uma edificação apresenta evidências da correlação entre qualidade do ar interior e câncer de pulmão, problemas cardíacos, alergias,

infecções respiratórias, além dos sintomas da síndrome do edifício doente, dentre outros males.

Quadro 1 – Fontes de Poluentes Físicos e Químicos.
Fontes: ASHRAE 62.1 (2004) e ANVISA RE 09 (2003)

Contaminantes	Fonte
Monóxido de Carbono (CO)	Combustão: Queimadores de fogões, Cigarros, Veículos automotores, Ar exterior.
Dióxido de Carbono (CO ₂)	Combustão e Metabolismo humano.
Formaldeído (HCHO)	Mobiliário (produtos com madeira prensada), Produtos de limpeza.
Chumbo (Pb)	Poeira de pintura, Ar exterior.
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	Equipamentos onde haja combustão, Ar exterior.
Odores	Pessoas, Fontes de Compostos Orgânicos Voláteis (inclusive mofo).
Ozônio (O ₃)	Equipamentos de escritório (impressoras a laser, fax), Geradores de Ozônio, Ar exterior.
Material Particulado ≤ 2.5 µm (PM _{2.5})	Combustão, Partículas em Suspensão, Ar exterior.
Material Particulado ≤ 10 µm (PM ₁₀)	Poeira, Fumaça, Materiais em deterioração, Ar exterior.
Radônio (Rn)	Gás do solo.
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Aquecedores de ambiente à base de querosene, Ar exterior.
Total de Compostos Orgânicos Voláteis (TCOVs)	Novos materiais de construção, acabamento e decoração, Produtos de consumo e manutenção, Ar exterior.
Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)	Novos materiais de construção, acabamento e decoração, Produtos de consumo e manutenção, Ar exterior.

Em populações mais sensíveis aos efeitos adversos da poluição como idosos, crianças e pessoas com doenças cardiovasculares e respiratórias, a situação é ainda mais crítica. Episódios da Doença do Legionário ou Legionelose, um tipo de pneumonia causada pela exposição à bactéria *Legionella pneumophila*, foram associados a edifícios com manutenção deficiente dos sistemas de ventilação e climatização (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2007). Além de estar relacionada ao tipo de sistema de ventilação, à sua manutenção e uso, a qualidade do ar interior também é função da taxa de renovação do ar, das condições climáticas e do comportamento dos usuários.

Quadro 2 – Fontes de Poluentes Biológicos. Fonte: ANVISA RE 09 (2003)

Contaminante	Fonte
Bactérias	Reservatórios com água estagnada, torres de resfriamento, bandejas de condensado, desumidificadores, serpentinas de condicionadores de ar, superfícies úmidas e quentes.
Fungos	Ambientes úmidos e demais fontes de multiplicação fúngica (materiais porosos orgânicos úmidos, forros, paredes e isolamentos úmidos, ar externo, interior de condicionadores e dutos sem manutenção, vasos de terra com plantas).
Protozoários	Reservatórios de água contaminada, bandejas e umidificadores de condicionadores sem manutenção.
Vírus	Hospedeiro humano.
Algas	Torres de resfriamento e bandejas de condensado.
Pólen	Ar externo.
Artrópodes	Poeira caseira.
Animais	Roedores, morcegos e aves.

4.3 Sistemas de ventilação mecânica

Devido à poluição do ar externo, poluição sonora e questões de segurança nos grandes centros, dependendo do local em que se encontra a edificação, é inviável a adoção de um sistema de ventilação natural. Daí a importância dos sistemas mecânicos de ventilação e climatização, destinados a criar ambientes internos saudáveis, por meio da remoção e/ou diluição a níveis aceitáveis de poluentes ali originados, inclusive bioefluentes (SEPPANEN; FISK, 2004; WYON, 2004). Estes sistemas permitem intervenções na qualidade do ambiente interno (conforto térmico e qualidade do ar interior), obedecendo a parâmetros pré-estabelecidos pelas normas e resoluções pertinentes, tais como ASHRAE 55 (2004), ISO 7730 (2005), ASHRAE 62.1 (2004), NBR 16401 (2008) e ANVISA RE 09 (2003). As intervenções destinadas à melhoria da qualidade do ar interior ocorrem por meio de sua renovação que se dá em parte pela captação de ar externo, mas sempre por meio do tratamento do ar (de renovação ou recirculado) pelos sistemas filtrantes (FISK et al, 2002). O texto de revisão da norma NBR 16401 (2008) dedicado ao novo capítulo chamado Qualidade do Ar Interior, detalha bem esta função no Item 6 – Filtragem:

O sistema de ar condicionado deve filtrar continuamente o material particulado trazido pelo ar exterior e os gerados internamente e transportados pelo ar recirculado a fim de:

- reduzir a acumulação de poluentes nos equipamentos e dutos do sistema;
- contribuir para reduzir sua concentração de poluentes no recinto a níveis aceitáveis.

Além das questões de desempenho e produtividade do ser humano, a literatura aborda o impacto que os sistemas mecânicos de ventilação e climatização do ar têm sobre questões de saúde e bem estar, como doenças respiratórias (alergias respiratórias e asma), e sintomas relacionados à síndrome do edifício doente (GRAUDENZ et al, 2005; LI et al, 2003; SEPPANEN; FISK, 2002; WARGOCKI et al, 2002b). No entanto, se bem projetados, operados e mantidos, estes sistemas ainda são as ferramentas mais adequadas à manutenção do conforto térmico e da qualidade do ar interior nas edificações (SEPPANEN; FISK, 2004).

A literatura científica apresenta inúmeras obras que abordam a influência do tipo de sistema de climatização sobre as condições térmicas dos ambientes (CHARLES, 2002). Porém, pouco se sabe sobre a correlação entre o padrão de distribuição de ar no ambiente e a concentração de poluentes na zona de respiração (a 1,10m do piso). Sabe-se, no entanto, que o padrão de distribuição de ar é diferente para cada sistema de climatização (CERMAK; MELIKOV, 2006; PEREIRA et al, 2006; YANG et al, 2004; ZHANG; CHEN, 2006). Em ambientes de escritórios, onde as pessoas passam a maior parte do tempo sentadas, é essencial a análise da qualidade do ar interior na zona de respiração. Diversos estudos apontam para a maior satisfação do usuário neste nível (qualidade percebida do ar), quando utilizando sistemas de condicionamento com distribuição de ar pelo piso (BAUMAN, 2003; KOSONEN; TAN, 2004; SHIRAI; BAUMAN; ZAGREUS, 2003; XING; HATTON; AWBI, 2001). Estes estudos comparam os sistemas de climatização com distribuição de ar pelo piso e os sistemas convencionais com insuflamento de ar pelo teto.

4.4 Considerações sobre o sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso

A utilização do sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso (*Underfloor Air Distribution System – UFAD*) teve início na década de 1950, em

centros de processamento de dados, centros de controle e laboratórios, com a peculiaridade de cargas térmicas elevadas e localizadas (LEITE, 2003). Surgiu o conceito de *plenum* com a utilização de pisos elevados, formando com a laje inferior um reservatório de ar frio destinado ao ambiente, além de possibilitar a distribuição de cabos destinados a outras facilidades da edificação como telefonia, transmissão de dados e energia. Nesta época ainda não havia a preocupação com o conforto térmico dos usuários, o que começou a surgir na década de 1970.

Os sistemas centrais de condicionamento de ar com insuflamento pelo teto, que proporcionam temperaturas uniformes no ambiente, não se mostravam eficazes do ponto de vista do usuário, ávido por algum nível de controle sobre as condições de seu micro ambiente. Além disso, estes sistemas mostram-se menos flexíveis em sua reconfiguração ao longo da vida útil da edificação, que passa por inúmeras modificações em sua ocupação (diferentes funções, layouts, cargas térmicas, etc).

Visando atender a estas necessidades, surgiram sistemas que permitem o controle da velocidade e a direção do fluxo de ar, os chamados *task/ambient conditioning systems*, ou sistemas *TAC*, que basicamente dividem-se em dois grandes grupos: aqueles situados na estação de trabalho do usuário e aqueles situados no piso (difusores), em sua maioria, recebendo ar a partir do *plenum* (BAUMAN, 2003; WEBSTER, 2005).

Na Europa, algumas das primeiras instalações do sistema *UFAD* da década de 1970 utilizavam uma combinação dos dois tipos de sistemas *TAC*. Além da Alemanha, antes de 1990 foram instalados sistemas *UFAD* em outras partes da Europa e na África do Sul. No Japão, entre 1987 e 1995, foram registrados mais de 250.000 m² em espaços de escritórios, com mais de 90 edifícios utilizando sistemas *UFAD* (TANABE, 1995, apud WEBSTER, 2005). Nos Estados Unidos, sua disseminação ocorreu apenas por volta de 1995, provavelmente devido à retração na construção de edifícios de escritórios a partir de meados de 1980.

Estudos recentes mostram que vem ocorrendo um crescimento de sua utilização em projetos norte americanos de novos edifícios de escritórios (BAUMAN, 2005; LEHRER; BAUMAN, 2003; WEBSTER, 2005), conforme mostra o gráfico da Figura 1, onde são relacionados o uso de piso elevado nos edifícios e a implantação de sistema de climatização com distribuição pelo piso (*UFAD*).

Figura 1 - Novos edifícios de escritórios nos Estados Unidos com piso elevado e sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso (UFAD). Adaptado de BAUMAN (2005)

Observa-se que em 1995, menos de 3% dos novos edifícios de escritórios possuíam piso elevado, e uma ínfima parcela, sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso. Por volta do ano 2000, observa-se a acentuação da aplicação deste sistema, muito provavelmente pelo fato do *U.S. Green Building Council* (Conselho de Edificações Verdes dos Estados Unidos) ter iniciado a inclusão de pontos específicos para o sistema UFAD no programa de certificação de edificações *LEED™* (*Leadership in Environmental and Energy Design* ou Liderança em Desenho Ambiental e Energético) (WOODS; NOVOSEL, 2004). Em 2002, 7% dos novos edifícios já apresentavam piso elevado, sendo que 15% deles, sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso. E finalmente em 2004, cerca de 14% dos novos projetos utilizaram piso elevado, e 45% deles, sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso. Esta é uma tendência que, provavelmente será seguida também no Brasil.

Alguns exemplos de projetos realizados no Brasil podem ser encontrados em Leite (2003): Spazio JK, General Motors, Serasa, Gazeta Mercantil e Votorantim – em São Paulo; Bemge – Minas Gerais, edifício da Unimed – Rio Grande do Sul e edifício da Souza Cruz – Rio de Janeiro (sendo este um *retrofit*). Exemplos mais recentes de projetos com o emprego total ou parcial desta tecnologia, realizados

pela empresa carioca Datum Consultoria e Projetos (informação via e-mail)¹ no Rio de Janeiro: Torre Almirante (realizado em 2004), Edifício Cidade Nova (2007), Torre Norte (2007) e Edifício Castelo (2008). Outros projetos realizados pela empresa paulista MHA Engenharia Ltda (informação via e-mail)²: em São Paulo, Lobby do Hotel Mofarrej (1985) e Centro Empresarial Nações Unidas – Data Center Global One (2003); no Paraná, Data Center do Banco Central (2004); e no Rio de Janeiro, em execução o Centro de Pesquisas da Petrobrás e a Cidade da Música.

4.5 Características do sistema de distribuição de ar pelo piso

O sistema de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso utiliza uma câmara de ar frio (*plenum*), formada pelo vão entre um piso elevado (modular ou monolítico) e a laje de concreto da edificação, suprida por uma unidade primária de resfriamento do ar (em geral, *chiller* e *fan coil*), e unidades terminais (difusores) que distribuem o ar nos ambientes. A sua exaustão (forçada ou não), normalmente é feita através de grelhas instaladas no forro, que conduzem o ar ao *plenum* superior.

Em se tratando de ambientes de escritórios e outros tipos de edifícios comerciais climatizados, diversos autores atestam, por meio de suas pesquisas, características positivas do sistema de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso para projetos cuidadosamente realizados, frente ao sistema com insuflamento pelo teto. Como exemplos podem ser citados: Bauman e Webster (2001), Bauman (2003), Cho e Haberl (2006), Daly (2002), Fisk, Faulkner e Sullivan (2004), Hui e Li (2002), Im, Cho e Haberl (2005), Lehrer e Bauman (2003), Leite, Tribess e Ornstein (2000), Leite e Tribess (2001), Leite e Tribess (2002a), Leite e Tribess (2002b), Leite (2003), Leite e Tribess (2006), Megerson e Larson (2008), Sekhar e Ching (2002), Shirai, Bauman e Zagreus (2003), Webster, Bauman e Reese (2002), Webster (2005) e Woods (2004), que destacam os seguintes aspectos:

- Flexibilidade de layout: atende satisfatoriamente às freqüentes mudanças de layout e infra-estrutura (cabearamento), gerados pela rotatividade de inquilinos e/ou usos em edifícios comerciais.

¹ Informações fornecidas pelo Sr. Eder Voltani – Datum, em 05/08/2008.

² Informações fornecidas pelo Sr. Hendra Winardi – MHA, em 20/08/2008.

- Incremento da satisfação e produtividade dos usuários: aceita dispositivos de controle individual das condições térmicas.
- Ausência de correntes de ar e sensação de “frio nos pés”: velocidades baixas a 1,10 m e diferença de temperatura entre tornozelos e cabeça $< 3^{\circ}\text{C}$.
- Efetividade da ventilação e qualidade do ar interior: insuflamento do ar direto na zona de ocupação, estratificação da temperatura, convecção natural.
- Eficiência energética: temperatura de insuflamento mais alta (18 a 20°C).
- Melhor aproveitamento do pé direito local: altura reduzida do *plenum* de serviço bem como das lajes (se de concreto).

Os mesmos autores apresentam, no entanto, alguns cuidados, tanto no projeto como na instalação deste sistema, que tendem a diminuir custos de implantação maximizando os pontos positivos de operação: minimizar dutos no *plenum*, o que proporciona maior flexibilidade e menor interferência nas demais facilidades, além de ser uma compensação parcial dos custos com piso elevado; evitar vazamentos de ar no *plenum*; permitir que o fluxo de ar possa ser variado pelo ambiente por meio do dimensionamento das cargas térmicas por zonas (ocupadas e desocupadas), dentre outros. Bauman (2005) aponta ainda a relatividade do incremento de custos com o *UFAD* frente a outras despesas em um edifício comercial, especialmente os custos relativos aos trabalhadores, conforme mostrado na Figura 2. Observa-se que com 1% de incremento na produtividade dos trabalhadores, os custos relativos à implantação do sistema *UFAD* se pagam em um ano, visto que há uma diferença de duas ordens de magnitude entre os valores correspondentes.

Uma desvantagem é a aplicação deste sistema em *retrofits*, dado o elevado custo para se adequar alturas de elevadores e banheiros à altura adicional proporcionada pelo piso elevado. Porém, dependendo da arquitetura local, consegue-se adaptar o *UFAD* utilizando-se alturas de *plenum* mínimas (BAUMAN; PECORA; WEBSTER, 1999). Ainda há muito para se pesquisar a fim de gerar informações consistentes ao mercado especificador, construtor e investidor.

Figura 2 - Custos anuais com trabalho, energia e incremento devido ao sistema UFAD em edifícios de escritórios, por pé quadrado. Adaptado de Bauman (2005)

No Brasil e até mesmo nos países desenvolvidos, existe carência de informações que dêem suporte à elaboração de projetos deste tipo de sistema, de como operá-lo adequadamente, e quais os reais benefícios que ele proporciona ao ambiente em que é aplicado. Normas como ASHRAE 55 (2004), ASHRAE 62.1 (2004), ASHRAE 113 (1990), além de normas de incêndio, necessitam revisão levando-se em conta os sistemas de climatização com distribuição de ar pelo piso, cujas características diferem do sistema convencional com distribuição de ar pelo teto, fornecendo assim subsídios mais consistentes aos projetistas (BAUMAN; WEBSTER, 2001; BAUMAN; WEBSTER; BENEDEK, 2007; WEBSTER, 2005).

Ainda podem ser citados como pontos que dificultam a disseminação desta tecnologia, a falta de entendimento dos conceitos básicos envolvidos (estratificação do ar no ambiente, insuflamento pelo piso, inércia térmica das lajes de concreto, desempenho da edificação como um todo), sensação de pés frios e correntes de ar relatados em instalações mal projetadas, além de sujeira, condensação e desumidificação no *plenum*.

De acordo com Leite, Tribess e Ornstein (2000), é essencial ao bom

desempenho do sistema o treinamento das equipes de operação e manutenção, especialmente pelas características particulares do sistema já mencionadas, e também alertar o usuário das possibilidades de ajuste do fluxo de ar que os difusores permitem. Sendo assim, são necessárias maiores investigações sobre o assunto, enfocando principalmente o seu potencial para eficiência energética, promoção de conforto térmico e boa efetividade da ventilação.

4.6 A qualidade do ar em ambientes climatizados

Do ponto de vista da qualidade do ar, a eficiência de um sistema de climatização pode ser verificada por meio da sua capacidade de renovação do ar e, conforme descrição prévia realizada no Capítulo 1, pela capacidade de remoção de contaminantes do ar interior, traduzida pelo índice de efetividade da ventilação (MUNDT et al, 2004). Este índice expressa a capacidade do sistema de climatização de remover poluentes presentes no ar do ambiente interno e é considerado satisfatório se a concentração de poluentes no retorno for superior à concentração no ambiente (zona de respiração). A concentração de poluentes junto ao retorno do ar também pode ser comparada com a concentração de poluentes em pontos específicos do ambiente, o que resulta nos índices chamados “Qualidade do Ar Local”. A análise destes índices pontualmente pode apontar prováveis fontes de poluentes no ambiente (tipo e quantidade), e/ou eventuais pontos de estagnação (renovação ineficiente do ar).

Em relação à eficiência na remoção dos poluentes pelo sistema de climatização com insuflamento pelo piso, diversos estudos apontam para melhores resultados frente ao sistema com insuflamento pelo teto (BAUMAN, 2003; CALIFORNIA ENERGY COMMISSION, 2006; CERMAK; MELIKOV, 2006; CHAO; WAN, 2004; CHOU et al, 2006; FISK et al, 2005; GAO; NIU, 2007; HO, 2004; MEGERSON; LARSON, 2008; PEREIRA et al, 2006; RAIMUNDO, 2002; SPENGLER; CHEN, 2000; YUSOF et al, 2006; WALKER; NORFORD, 2005; ZAGREUS et al, 2004; ZHANG; CHEN, 2006). Nos sistemas convencionais (insuflamento pelo teto), o índice que expressa a efetividade da ventilação atinge no máximo a unidade. Já nos sistemas de climatização com distribuição de ar pelo piso, podem chegar a 1,3 conforme estudos previamente referidos. Foi relatada a maior

eficiência na remoção de CO₂ pelo sistema *UFAD* em relação ao sistema com mistura completa do ar (sistema convencional), sugerindo, portanto expressiva redução na exposição a poluentes gerados pelos ocupantes.

Ainda assim há muitas dúvidas em relação à qualidade do ar interior para este tipo de tecnologia, seja no ambiente devido ao insuflamento ser realizado pelo piso, região onde há maior deposição de partículas e sedimentos, seja pela sua passagem pelo *plenum*, onde também existem diversas fontes poluentes (LI; LI, 2006). Mundt (2001) mostra que a efetividade da ventilação sofre influência direta da taxa de renovação do ar, mas também da posição, do tipo e da temperatura das fontes poluentes no ambiente, além da questão da suspensão sucessiva de partículas, que pode aumentar a sua concentração no ambiente para estes sistemas de climatização. Estas e outras questões mostram a necessidade de estudos mais aprofundados sobre o tema (ABE; INATOMI; LEITE, 2006).

4.7 Normalização

Dentro do conforto ambiental, diversos aspectos podem ser avaliados como, por exemplo, a qualidade do ar interior e o conforto térmico, sendo estas questões de grande importância para projetistas de edificações, especialmente de escritórios (HUIZENGA et al, 2006).

Os resultados de diversas pesquisas científicas bem como a observação em campo (avaliação com pessoas), têm sido utilizados para a elaboração de normas e diretrizes referentes à qualidade do ar interior em várias partes do mundo. Alguns destes documentos enfocam a qualidade do ar externo, mas também são aplicados na análise do ar interior, especificando taxas de ventilação, níveis aceitáveis de compostos orgânicos voláteis, e relacionando os principais elementos poluentes do ar de interiores.

No Brasil, podem ser citadas a norma NBR 16401 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008) e a resolução Anvisa RE 09 (Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2003). Como exemplos de normas internacionais que tratam de ambientes públicos e de escritórios, podem ser citadas (CHARLES et al, 2005; OLESEN, 2004) as norte americanas ASHRAE 62.1 (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2004) e NAAQS/EPA (Environmental

Protection Agency, 2000), as européias WHO (World Health Organization, 2000) e CR 1752 (CEN 1998), a canadense COSHR (Canadian Occupational Safety and Health Regulations, 2005) e a diretriz de Hong Kong (Indoor Air Quality Management Group, 2003), dentre outros.

A qualidade do ar interior é a condição na qual os requisitos humanos de bem estar e saúde são atingidos. Obviamente o ser humano deseja respirar um ar que seja percebido como fresco e agradável, que tenha um impacto positivo sobre seu desempenho e produtividade, e que não agrida sua saúde (FANGER, 2006). A norma ASHRAE 62.1 (2004) define qualidade do ar interior aceitável como sendo as condições nas quais mais de 80% das pessoas presentes não expressam insatisfação ou desconforto.

O conforto térmico é definido pela norma ASHRAE 55 (2004) como sendo um estado de espírito que reflete a satisfação do indivíduo em relação ao ambiente térmico que o envolve, e é verificado por meio de avaliação subjetiva. Esta norma considera que um ambiente apresenta condições de conforto térmico, ainda que 20% de seus ocupantes estejam insatisfeitos, levando-se em conta desconforto local e assimetrias. Já a norma ISO 7730 (2005) estabelece três categorias, A, B e C, tendo como limite máximo de insatisfeitos, considerando-se desconforto geral para o corpo todo, 6%, 10% e 15% respectivamente.

5 SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR COM INSUFLAMENTO PELO PISO

Os sistemas de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso caracterizam-se por um *plenum*, que nada mais é que o espaço compreendido entre a laje da edificação e um piso elevado no ambiente, que pode ser monolítico ou modular. O *plenum* é suprido de ar frio provindo de uma unidade primária de resfriamento do ar (via de regra *fan coil*), que insufla ar no ambiente através de difusores (unidades terminais) instalados no piso elevado.

A diferença básica entre os vários tipos de sistemas, ilustrados na Figura 3, está na pressão no *plenum* em relação ao ambiente, podendo ser:

- Pressão positiva: pressão no *plenum* superior à pressão no ambiente;
- Pressão zero (ou negativa instantânea): pressão no *plenum* igual à pressão no ambiente.

Há também o sistema dutado, similar ao sistema convencional com insuflamento pelo teto, onde os difusores estão conectados a dutos de insuflamento do ar. Esta versão é pouco utilizada, pois, além da limitação de altura do *plenum* (por volta de 30 cm), contraria uma das grandes vantagens deste sistema que é a flexibilidade de *layout*. Também apresenta grande dificuldade na acomodação dos dutos juntamente com o cabeamento destinado a outras facilidades da edificação.

Figura 3 - Tipos de sistemas com insuflamento de ar pelo piso. Fonte: Leite (2003)

São características comuns aos sistemas de pressão positiva e negativa:

- O *plenum* inferior apresenta alturas que podem partir de 18 cm dependendo da situação (BAUMAN; PECORA; WEBSTER, 1999), mas que usualmente

possuem 30 cm.

- Zoneamento de acordo com as cargas térmicas no ambiente, ou seja, zonas perimetrais (próximas à envoltória da edificação), zonas interiores altamente adensadas (estações de trabalho), e zonas interiores com menor densidade ocupacional (áreas de circulação e uso comum).
- A unidade primária fornece ar filtrado e resfriado ao *plenum* a uma determinada temperatura e umidade relativa por meio de dutos.
- O ar frio pode ser fornecido por uma unidade central ou por unidades primárias com vazão de ar constante ou variável (VAC ou VAV), sendo a sua distribuição similar ao sistema convencional.
- O ar é distribuído pelo ambiente por meio de difusores instalados no piso ou no mobiliário, sendo que suportam ajustes manuais ou por meio de termostatos. No caso de sistema com pressão negativa, o ar é aspirado do *plenum* por pequenos ventiladores instalados nas placas de piso elevado. Devido à radiação solar, geralmente são instaladas caixas com reguladores de vazão por termostato nas zonas perimetrais. Na zona de ocupação, os difusores são instalados no piso ou no mobiliário à altura de respiração, aceitando regulagens manuais de vazão e direção do ar. Nas zonas de circulação são instalados difusores no piso, podendo ser regulados manualmente ou por termostatos.
- Normalmente aproveita-se o fenômeno da convecção natural neste tipo de sistema, fazendo-se o retorno do ar pelo teto. O ar pode ser forçado por um ventilador de exaustão através de grelhas, luminárias ou placas de forro perfuradas. Parte do ar é expurgada, parte do ar retorna à unidade primária para filtragem e resfriamento, e parte do ar pode retornar diretamente a uma caixa de mistura onde esta ocorre com o ar suprido pela unidade primária.
- Em relação às pressões no *plenum*, recomendam-se, para pressões negativas, valores entre 0 e 5 Pa menores que o ambiente, e para pressões positivas, valores entre 7,5 e 20 Pa maiores que o ambiente (SODEC; CRAIG, 1990, apud LEITE, 2003), sendo estes suficientes para a distribuição de ar pelo ambiente.

5.1 Características do sistema de climatização com insuflamento de ar pelo piso

O sistema de climatização com insuflamento pelo piso é composto basicamente por:

- Unidade primária de refrigeração
- Sistema de automação
- Ambiente climatizado

5.1.1 Unidade primária de refrigeração

Os equipamentos que compõem a unidade primária estão diretamente relacionados à capacidade de refrigeração necessária. Para capacidades maiores, geralmente são utilizados *chiller* e *fan coil* (sistema de expansão indireta) e para capacidades menores, sistema de expansão direta.

Para insuflamento pelo piso, o dimensionamento dos equipamentos é similar ao sistema convencional, mas existem algumas particularidades que precisam ser observadas visando ao bom desempenho do sistema como: um duto para que uma parcela do ar quente possa retornar a uma caixa de mistura com o ar provindo do *fan coil*, e um filtro para que se evite a contaminação no *plenum*; o ventilador do *fan coil* deve ser provido de variador de frequência para que se mantenha o diferencial de pressão adequado entre *plenum* e ambiente; deve ser introduzida uma caixa de mistura para a parcela do ar que retorna ao *fan coil* para resfriamento.

5.1.2 Sistema de automação

Leite (2003) apontou algumas peculiaridades a serem observadas para clima tropical onde há maior radiação nos ambientes e, portanto, maior carga térmica a ser retirada comparativamente a uma mesma ocupação em clima temperado. São elas:

- Manutenção da temperatura da água gelada na serpentina entre 6° e 7°C;
- Manutenção da temperatura do ar frio insuflado na caixa de mistura entre 10° e 13° C;
- Manutenção da temperatura do ar de insuflamento (resultado da mistura do ar

frio com o ar de retorno) entre 18° e 20°C, a fim de se evitar desconforto térmico ao usuário.

Com base nos estudos realizados pela referida autora, alguns pontos de controle essenciais a este tipo de sistema de climatização podem ser propostos. São eles:

- Temperatura do ar na saída do *fan coil* para controle da abertura da válvula de água gelada (serpentina do *fan coil*).
- Temperatura do ar na saída da caixa de mistura do ar de retorno e ar do *fan coil* para controle da abertura dos *dampers* do ar de retorno (*bypass* de retorno e retorno para o *fan coil*).
- Diferencial de pressão entre *plenum* e ambiente para controle da frequência do ventilador do *fan coil*.
- Diferencial de temperatura entre retorno e insuflamento para controle da frequência do ventilador de retorno.
- Entalpias do ar de retorno e ar externo para controle das aberturas dos *dampers* de expurgo e ar externo.

Além disso, podem ser monitorados outros parâmetros como as temperaturas do ar do ambiente, bem como as vazões de insuflamento e retorno, a fim de que sejam detectadas eventuais infiltrações ou escapes de ar indesejados no ambiente. Dada a suscetibilidade deste tipo de sistema de climatização a problemas com umidade, é interessante o monitoramento da umidade relativa do ar na saída da caixa de mistura do ar frio com o ar de retorno, a fim de se manter sob controle a umidade do ar de insuflamento no *plenum*.

5.1.3 Ambiente climatizado

O ambiente é constituído basicamente por um *plenum* inferior, que é a área compreendida entre a laje inferior e o piso elevado, onde circula ar frio pressurizado ou sob pressão negativa instantânea, o ambiente ocupado e um *plenum* superior, para o retorno do ar.

No ambiente são instalados os difusores para insuflamento do ar sendo virtualmente dividido em zonas perimetrais, zonas ocupadas e zonas de circulação. Para o condicionamento geral, os difusores são instalados no piso elevado, sendo

os diâmetros mais usuais 150 ou 200 mm (Figura 4), e, adicionalmente, eles podem estar embutidos no mobiliário na altura de respiração. O retorno do ar ocorre através de grelhas (Figura 5), luminárias especiais ou placas de forro com furos, podendo ser dutado ou pelo *plenum* superior .

Figura 4 - Difusor de piso (Sala 17)

Figura 5 - Grelha de retorno do ar (Sala 17)

Para *plenum* com pressão positiva, o ar é introduzido no ambiente através dos difusores situados no piso, e para *plenum* com pressão negativa, o ar é sugado por meio de ventiladores fixados nas placas do piso elevado e então insuflado pelo difusor. Em ambos os casos, o fluxo do ar é do piso ao teto, onde atinge temperaturas em torno de 27° a 30°C. Após o retorno, parte do ar é expurgada, parte retorna à caixa de mistura com o ar frio do *fan coil* e parte retorna à caixa de mistura com o ar externo para ser resfriado novamente na serpentina do *fan coil*. Estes percentuais são definidos pelos *setpoints* adotados na estratégia de controle e automação do sistema.

O ar que passa pelo *plenum* tem contato com a laje inferior, normalmente de concreto, o que possibilita estratégias de resfriamento prévio por meio do resfriamento da laje durante a noite, apenas pela ventilação (sem a abertura da válvula de água gelada). O frio armazenado na laje pode ser útil ao longo do dia onde se faz necessário o uso do sistema de refrigeração, ocorrendo uma economia de energia pela combinação das duas fontes térmicas.

Existem diversos tipos de difusores utilizados para o insuflamento do ar neste tipo de sistema, sendo instalados basicamente no piso ou no mobiliário. Os difusores instalados no mobiliário são aqueles utilizados nos sistemas de climatização personalizados ou *Task/Ambient Air Conditioning Systems – TAC*

Systems, que são sistemas que visam ao controle térmico dos ambientes individuais, utilizados em complemento ao sistema de climatização do ambiente como um todo. Eles permitem algum nível de autonomia na regulação de vazão, direção e por vezes temperatura do ar insuflado, provocando bem estar ao usuário na sua área de ocupação (micro clima). São dimensionados para funcionarem ao nível da cabeça de pessoas sentadas (1,10 m), com regulação de velocidade do ar na faixa de 0 a 0,80 m/s (LEITE, 2003). Já os difusores de piso mais utilizados são os circulares, de diâmetros 150 mm e 200 mm. Na Figura 6 e na Figura 7 ilustram-se os tipos de difusores de piso para as situações em que o *plenum* tenha pressão positiva ou negativa respectivamente.

Em relação ao tipo de jato de ar, os difusores podem ter jato direto ou livre, e jato trançado ou espiralado. Os difusores com jato de ar espiralado (Figura 8) provocam imediata mistura do ar insuflado com o ar do ambiente, minimizando as sensações de desconforto térmico aos usuários, além de proporcionarem variações de temperatura da ordem de 2° a 3°C no ambiente individual de trabalho a que se destinam graças ao controle manual (BAUMAN; WEBSTER, 2001).

As vazões máximas dos difusores com jato de ar do tipo espiralado estão em torno de 40 a 47 l/s, para as pressões no *plenum* típicas deste tipo de sistema de climatização (até 20 Pa) (BAUMAN, 2003).

Figura 6 - Difusor de piso para *plenum* com pressão positiva. Fonte: Leite (2003)

Figura 7 - Difusor de piso para *plenum* com pressão negativa. Fonte: Leite (2003)

**Figura 8 - Difusor circular de piso com jato de ar espiralado
Fonte: Center for the Built Environment (2009)**

Dado que a velocidade de descarga do ar na altura de 10 a 20 cm acima do difusor (no seu eixo) varia em torno de 2 a 4 m/s e, portanto, bem acima da especificada em norma para ambientes ocupados, 0,10 m/s (ISO 7730, 2005), recomenda-se que os difusores sejam instalados a uma distância mínima de 80 cm do usuário (LEITE, 2003).

Com relação à temperatura no ambiente, observa-se neste tipo de sistema o fenômeno da estratificação da temperatura que expressa o nível de variação da temperatura do ar do piso ao teto (LEHRER; BAUMAN, 2003), e que não deve ultrapassar 3°C de 0,10 m a 1,70 m a fim de que se mantenha o conforto térmico (ISO 7730, 2005). Ela é função da vazão do ar e das fontes de calor no ambiente (WEBSTER; BAUMAN; REESE, 2002). Este fenômeno não ocorre no sistema convencional, onde as temperaturas são praticamente constantes por todo o ambiente. No sistema com insuflamento pelo piso, para temperatura no retorno em torno de 28°C, a temperatura na zona ocupada deverá estar em torno de 25°C (LEITE, 2003). Portanto forma-se uma camada de ar quente na região acima da zona ocupada.

Em relação à distância que o ar insuflado pode caminhar pelo *plenum* do ponto de descarga até o difusor mantendo a temperatura de insuflamento efetivamente desejada, algumas considerações devem ser feitas. Neste tipo de sistema, ocorre um aumento na temperatura de insuflamento do ponto de descarga no *plenum* até o difusor devido a vários fatores, como, por exemplo, a transferência de calor das placas do piso elevado (ambiente) para o *plenum* e a transferência de calor do *plenum* de retorno do ar de um andar inferior da edificação para a laje do *plenum* de insuflamento do ar do andar em questão.

Estudos apontam para um ganho de temperatura da ordem de 0,1 a 0,3°C/m ao longo do *plenum* (BAUMAN, 2003). Portanto é necessário observar-se qual a área de *plenum* pode ser satisfatoriamente atendida por um único duto de descarga do ar. Shute (1992, 1995) apud Leite (2003) aponta que para um *plenum* pressurizado de 300 mm de altura, 300 m² de área podem ser atendidos por um único duto de descarga, ocorrendo distribuição uniforme do ar para os difusores para velocidades inferiores a 2,5 m/s (no *plenum*). Áreas superiores poderão, portanto ser seccionadas em frações de 300 m² recebendo dutos de descarga dedicados.

Especial atenção deve ser dada aos escapes de ar entre as placas de piso elevado, que podem ser minimizados se utilizado revestimento de carpete com assentamento em padrão *offset*, que reduz a taxa de escape de ar em torno de 50% comparativamente ao padrão alinhado (Figura 9) (BAUMAN, 2003).

Figura 9 - Carpete padrão alinhado e *offset*.
Fonte: State Energy Conservation Office (2004)

5.2 Desempenho do sistema

Embora possua uma tecnologia diferente do sistema convencional e, portanto desconhecida da maioria do público especificador e usuário, o sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso apresenta aplicação crescente em edifícios de escritórios especialmente no hemisfério norte. Este tipo de sistema possui como características básicas, sendo algumas positivas e outras negativas:

- Permite a flexibilidade de layout e mudanças na infra-estrutura mantendo-se o conforto térmico, dada a possibilidade de remanejamento dos difusores.
- Controle de vazão de ar individual (fluxo e/ou direção) através dos difusores (controle individualizado e/ou personalizado), com maior satisfação do usuário.
- Otimização do volume de ar a ser resfriado, sendo apenas o da zona ocupada (eficiência energética).
- Riscos de curto-circuito minimizados devido ao sentido de fluxo do ar.
- Temperaturas de insuflamento superiores às do sistema convencional, entre 18°C e 20°C (eficiência energética).
- O ar é insuflado próximo à pessoa e, portanto, é menos contaminado que no caso do sistema convencional (maior qualidade do ar interior).
- Maior efetividade da ventilação devido à estratificação da temperatura e convecção natural.
- Velocidades baixas a 1,10 m e conseqüente ausência de correntes de ar.
- A altura reduzida do *plenum* superior, o que permite melhor aproveitamento do pé direito.
- Dada a ausência de dutos, a higienização do *plenum* se torna mais simples.
- A correta disposição dos difusores é essencial para que se evite a sensação de “frio nos pés” bem como correntes de ar.
- Devido ao *plenum* inferior, aplicação limitada do sistema em projetos de *retrofit*.
- O piso elevado requer cuidados com escapes de ar ou infiltrações no *plenum* que, dependendo do tipo de controle, podem trazer problemas como desbalanceamento do sistema e acúmulo de poeira.
- Cuidados especiais com o controle da umidade.

Algumas qualidades do sistema de climatização com insuflamento pelo piso contam pontos em programas de certificação de edificações a exemplo do americano *LEEDTM – Leadership in Energy and Environmental Design*, como a otimização do desempenho energético, a melhoria na efetividade da ventilação, o conforto térmico, e a adoção de sistemas que permitem o controle individual da ventilação e controle individual térmico, proporcionando incremento da satisfação dos usuários e produtividade.

Estudos envolvendo programas de simulação especificamente para este tipo de sistema de climatização vêm sendo desenvolvidos na Universidade de Berkeley, California (CENTER FOR THE BUILT ENVIRONMENT, 2009). Por meio de um projeto de cerca de três anos de duração, espera-se simular o sistema utilizando-se o *software EnergyPlus*, permitindo-se o desenvolvimento de uma ferramenta de suporte aos projetistas de ar condicionado que poderão modelar o desempenho energético do sistema, otimizando projetos e fazendo comparações mais precisas com o sistema de climatização convencional. Iniciativas como esta devem trazer uma enorme contribuição para o desenvolvimento desta tecnologia.

Porém, para que as qualidades do sistema sejam exploradas ao máximo, propiciando o desempenho esperado, ou seja, máximo conforto térmico e qualidade do ar interior com eficiência energética, alguns cuidados devem ser tomados nas fases de projeto, execução e utilização do sistema, com o comprometimento de todos os profissionais envolvidos (MONTANYA; KEITH; LOVE, 2009).

Na fase de projeto, são essenciais a divisão das zonas por cargas térmicas similares, a escolha dos difusores adequados e sua correta disposição, além da definição de *setpoints* adequados à estratégia de funcionamento do sistema. Na fase de execução, cuidados como o isolamento térmico de componentes e juntas entre placas de piso elevado. Na utilização, ações como programas educativos aos usuários do sistema, que devem ter ciência dos dispositivos de ajuste individual e como operá-los, além dos mantenedores do sistema, que devem estar atentos às mudanças de layout do ambiente, onde podem ocorrer alterações significativas na distribuição de cargas térmicas, requerendo uma reconfiguração nas placas de piso que contêm os difusores, sempre se mantendo a distância mínima requerida do usuário. Para tanto, a elaboração de um manual de instruções de uso, operação e manutenção do sistema faz-se mister.

6 EFETIVIDADE DA VENTILAÇÃO

As condições do ar externo já foram extensivamente estudadas, mas como as pessoas passam a maior parte do tempo em ambientes internos, o estudo da qualidade do ar de interiores vem ganhando importância. Em diversas pesquisas foram relatados os males relacionados ao ambiente interno como a Síndrome do Edifício Doente que se refere a um estado doentio temporário dos usuários de determinada edificação, que normalmente cessa quando estes a deixam. Também foram relatadas as Doenças Relacionadas à Edificação caracterizadas por infecções reais dos usuários. Estas condições estão diretamente relacionadas à qualidade do ar interior e à eficiência do sistema de ventilação aplicado ao ambiente. Afinal, o maior propósito de um sistema de ventilação é suprir ar limpo e retirar ar contaminado de um ambiente a uma determinada taxa de ventilação, que é função do tipo de ambiente.

A efetividade da ventilação de um determinado sistema pode ser expressa por meio de índices representando a sua capacidade de renovar o ar em um ambiente e também a capacidade de remover contaminantes do ar do ambiente (MUNDT et al, 2004).

Neste estudo o enfoque é dado à efetividade na remoção de contaminantes do ambiente (aerodispersóides e CO₂), que pode ser utilizada para avaliar a efetividade da ventilação em locais onde se possa medir a concentração de contaminantes na exaustão, e onde haja troca de ar apenas com o exterior, e não com outras partes da edificação, que é o caso do ambiente avaliado. Além disso, as fontes geradoras de contaminantes são conhecidas (basicamente pessoas), praticamente constantes e distribuídas pelo ambiente, longe da exaustão, não distorcendo, portanto os resultados finais dos índices de efetividade na remoção de contaminantes.

A boa ventilação é essencial à saúde e bem estar dos ocupantes de um ambiente, incrementando sua satisfação e produtividade. Ao longo da vida útil do sistema de ventilação, sua efetividade deve ser verificada e preservada visando proporcionar a melhor relação custo-benefício ao investimento efetuado. Além disso, o acompanhamento do desempenho do sistema permite rápidas e efetivas providências em caso de queixas de seus usuários.

A efetividade da ventilação está ligada à qualidade do ar interior e não ao conforto térmico, embora o ideal seja que se levem as duas questões em consideração, desde o projeto até a operação e manutenção de um sistema de climatização.

6.1 Eficiência na troca de ar

Antes de se detalhar o conceito de Eficiência na Troca de Ar, é essencial se abordar o conceito de Idade do Ar. Segundo Mundt et al (2004), a idade do ar é contada a partir do momento em que o ar entra no ambiente. Durante sua permanência no ambiente, o ar se contamina apresentando uma composição a cada ponto. A idade média do ar local, $\bar{\tau}_p$, expressa a qualidade do ar em um determinado ponto. Para um sistema de ventilação convencional, $\bar{\tau}_p$ é igual em todos os pontos do ambiente. No caso de haver curto-circuito entre o ponto de insuflamento e o ponto de exaustão, a idade média do ar, $\langle \bar{\tau} \rangle$, é menor na zona do curto-circuito e maior na zona de estagnação do ambiente. Na exaustão, mesmo nos casos de curto-circuito, a idade média do ar é sempre obtida pela relação

$$\tau_n = V / q_v \quad (1)$$

onde:

τ_n = constante nominal de tempo (s ou h),

V = volume de ar no ambiente (m^3),

q_v = taxa de ventilação (m^3/s ou m^3/h).

A idade média de todo o ar presente no ambiente, $\langle \bar{\tau} \rangle$, é igual à média de todos os valores de idade média local do ar, $\bar{\tau}_p$. O tempo de troca de todo o ar do ambiente, $\bar{\tau}_r$, é igual a duas vezes $\langle \bar{\tau} \rangle$.

A eficiência na troca de ar, ε^a , expressa o quão rápido o ar é renovado em um ambiente. Este índice é expresso em porcentagem, tendo, portanto seu limite máximo em 100% para fluxo de ar do tipo pistão, onde o ar entra por uma face do

ambiente e sai pela face oposta. Ele pode ser obtido pela equação 2.

$$\varepsilon^a = \frac{\tau_n}{\bar{\tau}_r} \cdot 100 = \frac{\tau_n}{2\langle\bar{\tau}\rangle} \cdot 100[\%] \quad (2)$$

Os valores da eficiência na troca de ar, ε^a característicos de cada tipo de sistema de ventilação estão expressos no Quadro 3:

Quadro 3 – Valores de ε^a para cada tipo de sistema de ventilação

Padrão de Fluxo do Ar	Eficiência na Troca de Ar, ε^a
Pistão	100%
Deslocamento	$50\% \leq \varepsilon^a \leq 100\%$
Convencional (Mistura Completa do Ar)	50%
Curto-Circuito	$\leq 50\%$

O índice de troca de ar local em um determinado ponto P, ε_p^a , é expresso pela equação 3.

$$\varepsilon_p^a = \frac{\tau_n}{\bar{\tau}_p} \cdot 100[\%] \quad (3)$$

Para sistemas com mistura completa do ar, a idade média local do ar, $\bar{\tau}_p$, é igual em todos os pontos do ambiente e igual a τ_n , a constante nominal de tempo. Portanto ε_p^a é igual a 100% em todo o ambiente.

6.2 Efetividade na remoção de contaminantes

O índice de efetividade na remoção de contaminantes (IERC ou ε^c) expressa o quão rápido um contaminante é removido do ambiente. Este índice pode ser calculado por meio da relação entre a concentração de contaminantes na exaustão c_e e a concentração média de contaminantes no ambiente $\langle c \rangle$, conforme a equação 4.

$$\varepsilon^c = \frac{c_e}{\langle c \rangle} \quad (4)$$

O índice ε^c (ou IERC) é considerado satisfatório quando a concentração de contaminantes na exaustão é superior à concentração de contaminantes no ambiente. Para os sistemas convencionais com mistura uniforme do ar, a concentração na exaustão é igual à concentração em qualquer ponto do ambiente, e, portanto ε^c é igual a 1. Para outros tipos de sistemas este índice varia de valores muito pequenos a valores superiores à unidade, sendo este o caso do sistema com insuflamento de ar pelo piso e exaustão pelo teto.

Para sistema com mistura completa do ar e fontes contaminantes uniformemente distribuídas pelo ambiente (basicamente pessoas), pode-se relacionar o índice IERC ao índice de eficiência na troca de ar, ε^a , de acordo com a equação 5.

$$\varepsilon^c = 2\varepsilon^a \quad (5)$$

Nesta equação, os valores são considerados em termos absolutos (não percentuais).

A concentração de contaminantes no ambiente depende da posição da fonte geradora e do fluxo de ar no ambiente. Para o sistema convencional com mistura completa do ar, quando a fonte contaminante não está uniformemente distribuída no ambiente, a posição da fonte exerce grande influência sobre o valor de ε^c , que mesmo apresentando um valor alto, pode não expressar uma boa efetividade da ventilação. Isto ocorre, por exemplo, quando a fonte poluente está próxima à exaustão, $\langle c \rangle < c_e$ (Figura 10).

A mesma figura mostra que distorções de ε^c também ocorrem quando a fonte poluente está na zona de estagnação, $\langle c \rangle > c_e$ (Figura 10).

No caso de sistema com insuflamento de ar pelo piso, a convecção natural do ar, decorrente do seu aquecimento pelo contato com as fontes de calor presentes no ambiente (pessoas, equipamentos, etc), auxilia no transporte do material contaminante gerado por estas fontes até a exaustão. Portanto espera-se uma concentração de contaminantes na exaustão superior à concentração de contaminantes no ambiente: $c_e > \langle c \rangle$ (Figura 11).

No entanto, a Figura 11 também mostra que neste sistema pode haver um curto circuito se a temperatura de insuflamento for muito alta, proporcionando uma

zona de estagnação no ambiente com alta concentração de contaminantes: $\langle c \rangle > c_e$.

Figura 10 - Concentrações de contaminantes no ambiente e na exaustão para sistema de mistura completa do ar deficiente (imagens superior e intermediária) e para sistema operando corretamente (imagem inferior). Fonte: Mundt et al (2004)

Figura 11 - Concentrações de contaminantes no ambiente e na exaustão para fluxo por deslocamento do ar com temperatura de insuflamento muito alta (imagem superior) e para sistema operando corretamente (imagem inferior). Fonte: Mundt et al (2004)

A concentração de contaminantes na exaustão é dada pela equação 6.

$$c_e = \frac{S}{q_v} \quad (6)$$

onde:

c_e = concentração de contaminantes na exaustão (mg/m³),

S = taxa de emissão de contaminantes (mg/s),

q_v = taxa de ventilação (m³/s).

A medida da concentração de contaminantes em certo ponto ou índice de qualidade do ar local, ε_p^c , pode ser determinada pela relação entre a concentração de contaminantes na exaustão, c_e , e a concentração de contaminantes no ponto, c_p , dada pela equação 7.

$$\varepsilon_p^c = \frac{c_e}{c_p} \quad (7)$$

Este conceito pode ser aplicado a zonas específicas como zona ocupada, zona de respiração e para o ar inalado, sendo este último também chamado de índice pessoal de exposição, que expressa a efetividade da ventilação realmente experimentada por uma pessoa em um ambiente ventilado (BROHUS; NIELSEN 1996, apud MUNDT et al, 2004).

O fluxo térmico ao redor de uma pessoa bem como seu movimento afetam a concentração de contaminantes do ar inalado. No caso do sistema de ventilação por deslocamento, é nítida a altura de estratificação do ar (abaixo da altura da zona de respiração), provocando um índice pessoal de exposição, $\varepsilon_{\text{exp}}^c$, maior que o índice de qualidade do ar local, ou seja:

$$\varepsilon_{\text{exp}}^c > \varepsilon_p^c \text{ ou } \frac{c_e}{c_{\text{exp}}} > \frac{c_e}{c_p} \quad (8)$$

Isto ocorre devido ao processo de convecção natural que arrasta o ar fresco do ponto de insuflamento (piso) diretamente à zona de respiração (Figura 12).

Figura 12 - Devido ao processo de convecção natural, ar limpo na zona de respiração para sistema de fluxo por deslocamento do ar. Fonte: Mundt et al (2004)

A efetividade da ventilação pode ser verificada nas mais diversas situações conforme expresso no Quadro 4:

Quadro 4 – Configuração de elemento sensor (P) e fonte contaminante (Q) no ambiente

Sensor / Contaminante	Localização específica	Distribuição uniforme ou localização desconhecida
Localização específica	Fonte Q afeta o ponto P: Índice de Qualidade do Ar Local (Equação 7).	Fonte distribuída e medição da concentração no ponto P: Índice de Troca Local do Ar (Equação 3).
Valor médio: interessa a qualidade do ar no ambiente	Fonte Q afeta todo o ambiente: Índice da Efetividade na Remoção de Contaminantes (Equação 4).	Fonte distribuída e valor médio (ambiente): Índice de Eficiência na Troca de Ar (Equação 2).

Percebe-se que para cada configuração de fonte contaminante (Q) e elemento sensor (P) no ambiente, existe um conceito a ser aplicado, e um índice a ser determinado segundo a equação correspondente.

6.3 Contaminantes típicos e sua distribuição em ambientes ventilados

As edificações necessitam ventilação para a remoção de calor e poluentes gerados internamente. As principais fontes de calor são os equipamentos, a iluminação, radiação solar e pessoas. As principais fontes de compostos orgânicos voláteis são os materiais de construção e acabamento utilizados, mobiliário, materiais de limpeza, materiais de escritório, etc. Existem também as fontes geradoras de gases como as próprias pessoas (CO_2 , também presente na atmosfera), processos onde haja combustão incompleta (CO), fotocopiadoras (O_3), equipamentos de combustão sem ventilação (NO_2 , também presente na atmosfera), dentre outros (ASHRAE 62.1, 2004). Podem ser citadas como fontes de material particulado as pessoas (descamação da pele, cabelos, etc), infiltrações de áreas adjacentes e o próprio sistema de climatização (PEREIRA, 2008).

O sistema de ventilação deve criar um fluxo de ar que absorva os contaminantes provindos das diferentes fontes, levando-os até a exaustão, proporcionando baixas concentrações em todo o ambiente. É irreal assumir que exista uma mistura perfeita do ar no ambiente, e que, portanto as concentrações de contaminantes sejam iguais em todos os pontos. Na verdade existe um gradiente de concentrações, sendo maiores e menores que na exaustão, cujo valor pode ser obtido pela equação 9.

$$c_e = \left(\frac{S}{q_v} \right) + c_s \quad (9)$$

onde:

c_e = concentração na exaustão (mg/m^3),

S = taxa de emissão de contaminantes (mg/s),

q_v = taxa de ventilação (m^3/s),

c_s = concentração de contaminantes no insuflamento (mg/m^3).

Nielsen (1981) mostrou a distribuição da concentração de contaminantes em um ambiente com sistema de ventilação com mistura completa do ar, considerando a fonte contaminante uniformemente distribuída pelo piso. Observou o gradiente de concentrações pelo ambiente, ocorrendo regiões com concentrações de duas a quatro vezes superiores à da exaustão. Mostrou a correlação da velocidade do ar local com a concentração de contaminantes, sendo inversamente proporcionais, e ainda a influência da localização da fonte poluente na sua concentração e distribuição pelo ambiente.

Há que se ressaltar também a influência das pessoas na geração e distribuição de contaminantes. Por exemplo, a pele humana libera cerca de 1 bilhão de microfragmentos por dia (LEWIS, 1993, apud PEREIRA, 2008). Além de partículas de pele e cabelos, as pessoas liberam gotículas durante a conversação, respiração, espirros e tosses. O aerossol assim formado contém partículas que podem permanecer em suspensão por cerca de 16 horas, caindo lentamente para finalmente misturarem-se ao pó do chão e demais superfícies, podendo ocorrer a ressuspensão pelas correntes de ar do sistema de climatização ou pelo movimento das pessoas (PEREIRA, 2008).

A camada térmica ao redor do corpo humano auxilia o movimento vertical das partículas por meio da pluma convectiva, e o movimento da pessoa ou a sua restrição altera o fluxo do ar, sendo afetada, em última instância, a exposição das pessoas aos contaminantes (BROHUS, 1997, apud MUNDT et al, 2004).

No caso de sistema de ventilação com fluxo por deslocamento do ar, tem-se uma concentração de contaminantes mais alta próxima ao teto, e uma concentração menor na zona de ocupação (BROHUS; NIELSEN, 1996, apud MUNDT et al, 2004), típico fenômeno que ocorre quando os contaminantes são emitidos juntamente com

calor (principais fontes de contaminantes são as pessoas). Observa-se que o calor ao redor das pessoas permite que no nível de inalação do ar este seja mais limpo que no mesmo nível para locais do ambiente sem pessoas. Este importante efeito desaparece se a pessoa está se movendo a velocidades iguais ou superiores a 0,2 m/s (BJORN; NIELSEN, 2002, apud MUNDT et al, 2004).

Em relação à densidade dos contaminantes, em geral é considerada irrelevante frente à movimentação do ar no ambiente, mas estudo realizado com o gás SF₆ (Hexafluoreto de Enxofre) cuja densidade é cinco vezes superior à do ar, mostrou uma concentração do poluente no piso 10 a 20 vezes superior à concentração média no ambiente (HANSEN et al, 1988, apud MUNDT et al, 2004). A situação fica ainda pior em ambientes com movimento do ar insuficiente.

O tamanho das partículas influencia a sua movimentação no ambiente frente à velocidade do ar e ao padrão do fluxo do ar, ou seja, a concentração de contaminantes na zona de respiração é afetada pelo tamanho das partículas e pelo padrão de distribuição do ar causado por cada tipo de sistema de ventilação (PEREIRA et al, 2009).

7 DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Neste capítulo descreve-se o estudo de caso realizado.

7.1 Características físicas do ambiente – LEC Sala 17

O ambiente no qual o estudo foi realizado (Figura 13) é um laboratório destinado ao ensino de CAD (LEC - Sala 17), situado no Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Possui pé direito de 2,75 m e geometria retangular com uma área de aproximadamente 180 m².

O piso é elevado e composto por placas metálicas de 600 x 600 x 30 mm, revestidas na face superior com material vinílico semiflexível, e na face inferior com pintura eletrostática epóxi; a laje de piso é recoberta por painel isolante térmico (fibras de vidro aglomeradas com resinas sintéticas, revestido com folha de alumínio sobre papel kraft). Sob o piso elevado, é definido um *plenum* de 28 cm de altura em relação à laje de concreto, por onde passa o cabeamento necessário às estações de trabalho.

As paredes laterais da sala são de gesso acartonado revestido por chapas duplas de “eucatex” com material melamínico e recobertas por painéis com isolamento acústico de fibras de vidro aglomeradas com resinas sintéticas, recobertos com tecido de vidro (Glass Fabric). A parede lateral voltada para o corredor possui vidros selados em sua parte superior (0,50m de altura). A parede que contém duas portas de vidro constitui-se, na parte inferior (2,25m de altura), numa divisória de chapas de “eucatex” revestido com material melamínico e enchimento do tipo “colméia”; na parte superior, compõe-se de vidros selados (0,50m de altura). A parede dos fundos da sala é formada por esquadrias de alumínio que sustentam, na parte superior (área total de 31 m²), janelas basculantes de vidro com película reflexiva aplicada na parte externa, e na parte inferior, material acrílico.

O teto da sala é revestido por placas de forro de fibra mineral (625 x 625 x 13 mm), pintadas com tinta vinílica látex e, sobre esta, tinta anti-mofo na cor branca.

O acesso à sala é feito por duas portas de vidro automatizadas, de 155 x

230 x 10 mm (LxAxP), havendo em uma das entradas degraus e na outra, uma rampa.

O mobiliário é composto por mesas de aglomerado revestido com laminado melamínico e cadeiras de material plástico com pés metálicos. Cada estação de trabalho (24 no total), para dois usuários simultâneos, comportava um microcomputador Sun Microsystems Ultra60 – Elite 3D, com monitor de 20”, na primeira etapa das medições. No primeiro semestre de 2009 os computadores foram trocados por unidades HP Workstation XW 8000, com monitores HP modelo P1130 de 21” em cores (à exceção do computador do professor que permaneceu o mesmo).

Presentes ainda, a estação de trabalho do professor, um armário de suporte, prateleiras plásticas para material dos alunos, dois quadros brancos de 120 x 250 mm cada (com duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 32W cada), uma tela de projeção de 245 x 180 mm, e 36 luminárias embutidas no forro (uma lâmpada fluorescente compacta de 55W em cada luminária). A sala possui ainda um projetor de teto Hitachi XGA-ED-X3280, dois armários metálicos para equipamentos de monitoramento do sistema de ar condicionado, e um *rack* para equipamentos da rede de microcomputadores.

Figura 13 - Laboratório de Ensino de CAD do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LEC - Sala 17)

7.2 Características do sistema de condicionamento de ar – LEC Sala 17

A sala objeto de estudo conta com um sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso, que é composto pela planta (parte hidráulica), pelo circuito de ar e um sistema de automação e controle, conforme descrição seguinte.

7.2.1 Planta ou sistema hidráulico da refrigeração

Na planta, a água é utilizada como meio de troca de calor.

É composta por uma Central de Água Gelada (CAG) que supre dois *fan coils*, sendo um de capacidade nominal de resfriamento de 4 TR destinado à Sala 23, e outro de 7,5 TR e 5500 m³/h de capacidade de vazão de ar dedicado ao insuflamento de ar frio na Sala 17, objeto de estudo desta pesquisa. A Central de Água Gelada apresentada na Figura 14, é constituída por um *chiller* (resfriador de água) que possui compressores do tipo centrífugo e condensadores resfriados a ar, sendo sua capacidade nominal de resfriamento de 18 TR.

Figura 14 - Central de Água Gelada (CAG)
Fonte: Ikeda (2008)

Existem ainda dois tipos distintos de tanques (Figura 15). O primeiro tanque

tem a função de diminuir a temperatura da água que entra no *chiller* por meio da mistura da água de retorno da válvula de três vias do trocador de calor e da água de retorno dos *fan coils*. Este tanque é conhecido como “tanque de inércia metálico” (TQ) e possui capacidade de 1500 litros.

O segundo tipo de tanque, com duas unidades, tem a função de compensar perdas de água na linha devido a vazamentos ou expurgo. Este tanque é denominado “tanque de expansão” (TE), e tem capacidade de 135 litros.

Figura 15 - Tanques de Expansão (TE) e Tanques de Inércia Metálico (TQ)
Fonte: Ikeda (2008)

A água gelada que passa pelos *fan coils* e pelo trocador a placas (Sala 23) é provida do *chiller* a uma temperatura entre 6 e 7°C. Os equipamentos da CAG estão localizados externamente ao prédio e o *fan coil* situa-se sobre a sala objeto de estudo, apoiado em suporte metálico, separado do forro por painéis de madeira.

7.2.2 Circuito de ar

O sistema de climatização é do tipo Vazão de Ar Variável (VAV), a partir da variação de frequência do ventilador do *fan coil* pelo sistema supervisório, fornecendo maior ou menor vazão de ar ao ambiente em função da carga térmica gerada. O sistema foi dimensionado com base nos valores de carga latente e

sensível do ambiente.

A captação de ar externo pelo *fan coil* é feita por meio de um duto, em cuja extremidade encontra-se um *damper*. O suprimento de ar resfriado no *fan coil* é feito por meio de um duto que o conduz até o *plenum* inferior, onde se verifica pressão positiva. Este duto é metálico, isolado com manta de lã de vidro aluminizada.

O filtro do ar utilizado neste sistema é classificado como G3 (filtro grosso classe 3), que segundo a Norma EN 779 (2003), possui eficiência de $80 \leq Am \leq 90$ (%), onde Am = Média de Retenção de Partículas Sintéticas. Este filtro retém partículas de 2 a 5 μm , e atende a determinação da resolução - RE Nº 9 de 16 de janeiro de 2003 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, que diz que o grau de pureza do ar nos ambientes climatizados será obtido utilizando-se, no mínimo, filtros de classe G3 para sistemas centrais de climatização.

O ar filtrado é insuflado no ambiente através de setenta e sete difusores circulares ($\varnothing$ 200 mm) situados no piso, com jato de ar do tipo espiralado, dimensionados para vazão nominal máxima e posicionados de modo a proporcionar conforto térmico na região das estações de trabalho e nas áreas de maior circulação do ambiente. Oito difusores estão rentes à parede das janelas, de modo a formar uma barreira (cortina de ar) eficaz à carga térmica devida à insolação.

A exaustão do ar é forçada por um ventilador, e o ar de retorno passa por dezesseis grelhas metálicas fixadas no forro e distribuídas homogeneamente. O retorno à unidade resfriadora é feito por meio de dutos de chapa de aço galvanizado, com isolamento de lã de vidro aluminizada na parte externa.

Sabe-se que a temperatura do ar de insuflamento neste tipo de sistema é mais alta que a do sistema de distribuição pelo teto, o que é conseguido por meio de uma mistura de ar resfriado no *fan coil* com um percentual de ar quente do retorno, efetuada numa caixa de mistura. Desta forma, o ar proveniente do retorno se divide em três partes: de uma caixa de ventilação (ventilador de retorno e sistema de filtragem), sai um duto que destina parte do ar ao expurgo e outro duto com dois ramos, um que leva parte do ar de retorno para a caixa de mistura e outro que leva o restante para o *fan coil*.

7.2.3 Sistema de automação e controle

O sistema de automação e controle adotado foi definido com base em uma estratégia de controle específica para este tipo de sistema de climatização, visando atender às exigências de conforto térmico e renovação de ar para uma sala de aula, mantendo-se a eficiência energética. O sistema é composto por:

- sensores (transdutores), responsáveis pelo monitoramento das variáveis ambientais como temperatura do ar (externo, ambiente, duto, e no *plenum*), umidade relativa do ar (externo, ambiente e duto), pressão estática do ar (no *plenum* e no duto), vazão do ar (*bypass*, ar frio, retorno e mistura).
- controladores, responsáveis pela coleta, armazenamento e tratamento de dados a partir dos sensores, utilizados para o comando dos elementos atuadores (válvulas e *dampers*) para ajuste do sistema de climatização de acordo com os *setpoints* de operação.
- *software* supervisor ComfortView (Carrier), cuja tela gráfica permite o monitoramento do sistema de climatização em tempo real, bem como a configuração dos *setpoints* de operação (Figura 17). Arquia os dados das medições a cada segundo e gera relatórios que, a partir do *software* Excel, permitem a geração de gráficos.

Com relação aos elementos sensores, eles se encontram estrategicamente instalados no ambiente, nos dutos de ar e água. Em relação ao ambiente, três sensores situados nas paredes laterais e janela a 2,25 m de altura monitoram a temperatura do ar e um quarto sensor mede a umidade relativa do ar; três sensores instalados no *plenum* inferior medem a sua pressão e três a sua temperatura; sensores instalados na saída do duto de insuflamento no *plenum* inferior e no duto de retorno medem, respectivamente, a vazão, a temperatura e a umidade relativa do ar de insuflamento e o de retorno (Figura 16).

Figura 16 - Representação dos sensores fixos na sala (paredes e piso), bem como nos dutos de insuflamento, mistura e retorno do ar. Imagem extraída da tela de interface do sistema supervisiório ComfortView

Externamente sensores medem a temperatura e a umidade relativa do ar externo. No *chiller*, sensores medem a temperatura de entrada e saída da água. No *fan coil*, sensores medem a vazão de ar. Na saída do *fan coil*, sensores medem a

temperatura e a umidade relativa do ar frio. Logo após a mistura do ar frio com o ar de retorno, sensores medem a temperatura e a umidade relativa do ar de insuflamento. No duto de retorno do ar (antes do ventilador de retorno), sensores medem a temperatura e a umidade relativa do ar de retorno. No ventilador de retorno, sensores medem a vazão de ar de retorno. Na tubulação do ar de retorno para o *fan coil*, um sensor mede a temperatura do ar antes da caixa de mistura (Figura 17). Suas características são apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5 – Características dos Sensores do Sistema de Controle

Sensor - Utilização	Tipo do Elemento Sensor	Faixa de Medição	Incerteza
Temperatura do Ar (Externo)	Sonda Capacitiva RTD-PT 1000	- 50°C a 260°C	± 0,5°C
Temperatura do Ar (Ambiente, Duto e <i>Plenum</i>)	Sonda Capacitiva RTD-PT 1000	- 50°C a 65°C	± 0,5°C
Umidade Relativa do Ar (Externo, no Ambiente, no Duto)	Compensação de Temperatura – Circuito Integrado	- 20°C a 80°C	± 3%
Sensores de Pressão (<i>Plenum</i>)	Células de Capacitância Diferencial	0 a 50 Pa -18°C a 65°C	± 1% do Fundo de Escala
Medidor de Vazão de Ar (<i>Bypass</i>)	Piezo Resistivo	0 a 8340 m ³ /h	± 8% do Fundo de Escala
Medidor de Vazão de Ar (Ar Frio)	Piezo Resistivo	0 a 7781 m ³ /h	± 8% do Fundo de Escala
Medidor de Vazão de Ar (Retorno)	Piezo Resistivo	0 a 11700 m ³ /h	± 8% do Fundo de Escala
Medidor de Vazão de Ar (Mistura)	Células de Capacitância Diferencial	0 a 249 Pa	± 1% do Fundo de Escala

Figura 17 - Tela de interface do Sistema Supervisório ComfortView

A estratégia de controle em questão, ilustrada na Figura 17 foi elaborada a partir de cinco *loops* descritos a seguir:

Loop 1: A frequência de rotação do ventilador do *fan coil* varia para manter constante o diferencial de pressão entre o *plenum* e o ambiente (ΔP). O ΔP é obtido a partir de leituras de três transdutores de pressão (no *plenum* e ambiente) instalados no local.

Loop 2: A frequência de rotação do ventilador do retorno varia para manter constante o diferencial de temperatura (ΔT) entre o ar de retorno e o de insuflamento (mistura). O ΔT é obtido com base em leituras feitas por sensores de temperatura instalados no duto de retorno e no ponto de descarga do ar de insuflamento.

Loop 3: A válvula de água gelada da serpentina do *fan coil* modula para que a temperatura do ar frio seja mantida em torno de um determinado *setpoint*. A temperatura do ar frio é medida por um sensor instalado na saída do *fan coil*.

Loop 4: O *damper* de *bypass* de retorno e o *damper* de retorno para o *fan coil* modulam inversamente para que se atinja o *setpoint* da temperatura de insuflamento (mistura de ar frio e um percentual de ar de retorno). Um sensor de temperatura instalado no ponto de descarga do ar de insuflamento no *plenum* e outro no duto de retorno do ar ao *fan coil* determinam o percentual de abertura dos dois *dampers*, de modo a que se atinja uma mistura de ar a uma temperatura mais próxima possível do *setpoint*.

Loop 5: Os *dampers* de expurgo e de ar externo modulam diretamente e de acordo com os valores de entalpia do ar de retorno e do ar externo calculados com base em sensores de temperatura e umidade instalados no duto de tomada de ar externo e no de retorno.

8 MÉTODO DE TRABALHO

Inicialmente, uma série de procedimentos foram efetuados a fim de que se determinasse a efetividade da ventilação de um sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso, além da correspondente condição de operação do sistema. O estudo foi conduzido em condições reais de uso do ambiente, em regime transiente, sob condições térmicas dentro da zona de conforto. No que diz respeito às variáveis ligadas ao conforto térmico, os procedimentos seguiram as recomendações das normas NBR 16401 (2008), ISO 7726 (1998), ISO 7730 (2005) e ASHRAE 55 (2004). Também foram adotados alguns procedimentos de Leite (2003), que embora propostos para regime permanente, puderam ser aplicados para este caso onde foram observadas variações bastante pequenas das condições térmicas do ambiente.

Em relação à verificação das concentrações de partículas no ambiente na primeira etapa das medições, apesar de ser uma referência nacional na análise da qualidade do ar interior, a resolução Anvisa RE 09 (2003) não foi considerada por não ser este o foco deste trabalho e sim a verificação da efetividade da ventilação do sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso.

As medições iniciais foram realizadas na época de transição entre Inverno e Primavera (24, 26 e 29 de setembro, 01, 03 e 08 de outubro de 2008), sob seis condições de temperatura distintas ou *setpoints*. O ambiente foi avaliado com pessoas e sem pessoas, sendo estas condições denominadas a partir de agora por “ambiente ocupado” e “ambiente desocupado”. O prazo original proposto para a segunda bateria de testes (março de 2009) não foi cumprido devido à indisponibilidade de alguns equipamentos. A questão foi solucionada com o empréstimo de outros contadores de partículas pelo Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. As medições finais foram realizadas na época de transição entre Primavera e Verão (09, 10, 11, 13, 17 e 18 de novembro de 2009) com algumas inovações no método utilizado: análise da efetividade da ventilação do sistema em relação ao tamanho das partículas e não ao total de partículas em suspensão; avaliação da efetividade da ventilação do sistema no que concerne à remoção de CO₂ do ambiente.

Em seguida, os dados obtidos foram analisados, visando à determinação da

melhor condição de operação do sistema de climatização para a maior efetividade da ventilação. As seguintes atividades foram desenvolvidas para que se realizassem as medições:

1. Definição das condições de contorno: variáveis a serem medidas, pontos de medição (quantidade e local), períodos de medição e condições de operação do sistema de climatização para os diversos dias de ensaios.
2. Definição dos equipamentos necessários à medição e aquisição de dados.
3. Validação do método de medição executando-se testes preliminares com os equipamentos.
4. Descrição dos processos de coletas de informações e transmissão de dados entre equipamentos.
5. Detalhamento do método de tratamento dos dados para que se determinassem as melhores condições de operação do sistema para a maior efetividade da ventilação.

8.1 Definição das condições de contorno

As condições de contorno desta pesquisa foram definidas com base nas principais normas de conforto térmico.

Da norma NBR 16401 (2008), Parte 2 – Parâmetros de Conforto Térmico, foram utilizadas como referência as condições ambientais capazes de proporcionar sensação de conforto térmico a pelo menos 80% dos ocupantes do local. São condições válidas para grupos homogêneos de pessoas, em atividade sedentária (de 1,0 a 1,2 met), com trajes típicos da estação correspondente. Os parâmetros são os seguintes:

Verão (roupa típica 0,5 clo): temperatura operativa e umidade relativa dentro da zona delimitada por:

- 22,5°C a 25,5°C e umidade relativa de 65%
- 23°C a 26°C e umidade relativa de 35%

A velocidade média do ar (não direcional) na zona de ocupação não deve ultrapassar:

- 0,20m/s para distribuição de ar convencional (grau de turbulência de 30% a

50%)

- 0,25m/s para distribuição de ar por sistema de fluxo de deslocamento (grau de turbulência inferior a 10%)

Inverno (roupa típica 0,9 clo): temperatura operativa e umidade relativa dentro da zona delimitada por:

- 21°C a 23,5°C e umidade relativa de 60%
- 21,5°C a 24°C e umidade relativa de 30%

A velocidade média do ar (não direcional) na zona de ocupação não deve ultrapassar:

- 0,15 m/s para distribuição de ar convencional (grau de turbulência de 30% a 50%)
- 0,20 m/s para distribuição de ar por sistema de fluxo de deslocamento (grau de turbulência inferior a 10%)

A norma de conforto térmico ASHRAE 55 (2004) recomenda avaliação do ambiente sob condições de temperatura operativa, velocidade e umidade do ar na chamada zona de conforto (Figura 18).

Figura 18 - Carta de conforto da ASHRAE 55:2004

É essencial à análise, levar-se em conta o tipo de ambiente (sala de aula), e o tipo de atividade desenvolvida (atividade leve). Neste caso, dada a semelhança com atividades de escritório (pessoas predominantemente sentadas, estudando ou trabalhando no computador), a taxa de metabolismo considerada foi de $M = 1,2$ met ou $69,6 \text{ W/m}^2$. Aos trajés típicos de ocupantes de sala de aula em São Paulo – Brasil foram atribuídos isolamentos térmicos na faixa de $0,5 \leq I_{cl} \leq 1,0$ clo. Para estas

condições e com base em estudos realizados por Leite (2003), foram consideradas temperaturas operativas na faixa de 21 a 26°C, com variação de 1°C por condição de operação, velocidades do ar $0,1 < V_{ar} < 0,3$ m/s e umidade relativa do ar (UR) em torno de 50%. Uma vez que não foi realizada pesquisa de satisfação com os usuários do ambiente, foram presumidos índices de insatisfação próprios da Categoria A, segundo a norma ISO 7730 (2005) (Figura 19).

Figura 19 - Temperatura operativa para conforto (PMV=0) em função da vestimenta e atividade (ISO 7730:2005). Categoria A: Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas < 6%.

Com base em Leite (2003), a temperatura operativa foi substituída pela temperatura do ar do ambiente dada a proximidade de valores entre ambas.

8.1.1 Variáveis medidas

Em relação ao conforto térmico, foram feitas medições de temperatura do ar e velocidade do ar em concordância com as normas ASHRAE 55 (2004) e ISO 7726 (1998) utilizando-se sensores móveis distribuídos pelo ambiente. Adicionalmente, foram coletadas informações sobre a temperatura e a umidade relativa do ar por meio de sensores fixados nas paredes da sala a 2,25 m de altura. Em relação à

qualidade do ar interior, foram medidas as concentrações de partículas no ar do ambiente na zona de respiração e no retorno, além dos níveis de CO₂ (segunda etapa das medições). Externamente ao ambiente, sensores fixos dedicados à automação do sistema de climatização coletaram dados sobre temperatura e umidade relativa do ar externo, além de diversas grandezas relacionadas à operação do sistema.

8.1.2 Definição dos pontos de medição

As medições foram realizadas simultaneamente pelos sensores fixos na sala (do sistema de automação e controle do sistema de climatização) e pelo conjunto de sensores móveis (para aquisição de dados do ambiente). Para isto, o ambiente foi totalmente mapeado, possibilitando a leitura de temperatura, velocidade do ar, concentração de partículas e níveis de CO₂ por toda a sua extensão. A seguir são apresentados os locais de instalação dos conjuntos de sensores, bem como os pontos de medição (mapeamento) definidos, considerando-se as zonas de ocupação, de circulação e periférica. As medições destas variáveis foram feitas de modo contínuo e simultâneo devido às condições reais de uso do ambiente.

Com base em estudo realizado por Ikeda (2008) em laboratório com características idênticas ao LEC – Sala 17 foi definido como número suficiente para a análise do ambiente 14 pontos de coleta de dados distribuídos conforme mostrado na Figura 20. A sala foi dividida em três regiões virtuais e os sensores foram distribuídos dentro de um espaçamento uniforme de cerca de 4,20m na direção X e 3,00m na direção Y (eixos cartesianos), de modo que se obtivessem leituras em no mínimo três pontos por região.

Figura 20 - Mapeamento do ambiente para realização de medições de temperatura e velocidade do ar (pontos 1 a 14) e de partículas em suspensão (pontos A a H)

A fim de se verificar o perfil de estratificação da temperatura no ambiente, foram realizadas medições em seis alturas distintas nos pontos de medição: 0,10 m (nível do tornozelo), 0,60 m (nível do tronco para pessoa sentada), 1,10 m (nível da cabeça para pessoa sentada), 1,70 m (nível da cabeça para pessoa em pé), 2,00 m e 2,35 m (pé direito convencional). Segundo a norma ISO 7730 (2005) as alturas 0,10, 0,60 e 1,10 m são referentes à zona de conforto para pessoas sentadas, e 0,10, 1,10 e 1,70 m para pessoas em pé. Nestes pontos também foram fixados os anemômetros.

Para a medição da concentração de partículas, os pontos de A a H, também destacados na Figura 20 foram escolhidos de forma a se proporcionar uma zona de medição de partículas relativamente homogênea no ambiente. Estes pontos correspondem à localização de algumas grelhas de exaustão do ar contidas na sala, escolhidas por estarem na zona de maior densidade de ocupação do ambiente, e

afastadas de possíveis fontes de interferência nas medições como (referindo-se ao desenho):

- Parede superior: portas (movimentação de ar)
- Parede inferior: janelas (radiação solar)
- Parede esquerda: prateleira de mochilas dos estudantes (movimentação de ar)
- Parede direita: equipamentos de controle e automação do sistema de ar condicionado (fontes de calor adicionais)

Os pontos de A a H também foram os locais de medição dos níveis de CO_2 a 1,10 m (zona de respiração para pessoas sentadas). Os dois sensores fixos de CO_2 encontram-se instalados junto aos sensores fixos de temperatura e umidade relativa do ar do sistema ComfortView, na metade das paredes laterais do ambiente e a cerca de 2,35 m de altura.

As fontes básicas de calor e poluentes observadas nestes pontos foram as pessoas, os equipamentos, as luminárias, o mobiliário, e os materiais de revestimento da sala, além do material particulado contido no ar.

Os contadores de partículas que serão detalhados no item 8.2.1, foram utilizados para leituras simultâneas de concentrações de partículas nas alturas de 1,10 m e 2,60 m representando, respectivamente, a zona de respiração para pessoas sentadas e a altura mais próxima do retorno do ar através das grelhas (Figura 21).

O suporte era posicionado sob as grelhas de retorno, e as leituras simultâneas realizadas para que se pudesse determinar a efetividade da ventilação do sistema de climatização, expressa pela relação entre o total de partículas no retorno e o total de partículas na zona de respiração, ou índice de efetividade na remoção de contaminantes (Equação 4).

Figura 21 - Haste de suporte dos contadores de partículas

8.1.3 Definição dos períodos de medição

O ambiente em questão assemelha-se em uso a um escritório, e dentro das condições de contorno mencionadas, classifica-se pela norma ASHRAE 55 (2004) como um ambiente em condições de conforto térmico. O procedimento de medição das variáveis temperatura e velocidade do ar foi baseado na norma ISO 7726 (1998). As medições de temperatura e velocidade do ar foram realizadas em dias úteis da semana, das 13:00 às 15:00h (sala ocupada - primeira aula de CAD), das 15:00 às 17:00h (sala ocupada - segunda aula de CAD), e das 17:00 às 18:00h em média (sala desocupada). A norma ASHRAE 55 (2004) recomenda que as medições de temperatura sejam feitas em períodos mínimos de 3 minutos (o mesmo para a velocidade do ar), e intervalos de mesma duração, em número igual ou superior a 18, o que foi cumprido neste ensaio: o período total de medição por dia (sala ocupada e desocupada) resultou em cerca de 5 horas, com períodos e intervalos de medição de 5 minutos cada.

O sistema Aquis de aquisição destes dados organiza os mesmos em

intervalos de 5 minutos, correspondendo cada um à média dos valores instantâneos registrados no período respectivo. Segundo Ikeda (2008), o tempo de varredura do sistema por sensor é de 25 ms.

Com o ambiente em condições reais de uso, foi possível se registrar as variações de temperatura e velocidade do ar ao longo do período de medição em função dos fenômenos externos como aberturas de porta, movimentação de pessoas e acendimento/desligamento de luzes e equipamentos.

As medições de partículas tiveram início cerca de 30 minutos após o início da primeira aula (situação “ocupada”) e após o final da última aula (situação “desocupada”), visando-se atingir certa estabilidade no ambiente. Na primeira etapa das medições, foram feitas três leituras de dois minutos cada em oito pontos do ambiente ocupado, o que permitiu o cálculo da média do total de partículas por ponto. O procedimento foi repetido para o ambiente desocupado. Ao final de cada dia, os dados armazenados nos contadores de partículas eram descarregados em microcomputador para posterior compilação e análise. Na segunda etapa das medições, foram feitas três leituras de quantidades de partículas em diversos diâmetros, totalizando cerca de 1 minuto e 20 segundos, a 1,10 m e 2,60 m. Simultaneamente, foram feitas leituras dos níveis de CO₂ a 1,10 m com equipamento portátil. Continuamente, os níveis de CO₂ próximos à exaustão do ar em dois pontos da sala foram monitorados por sensores fixos. Estes dados foram armazenados em servidor remoto *web* para posterior compilação e análise.

No período das medições, os elementos correspondentes à geração de carga térmica e possíveis fontes de poluentes como número de pessoas, computadores ligados, luminárias, e demais equipamentos foram registrados.

Simultaneamente à coleta de dados do sistema móvel de aquisição, foram coletadas informações sobre temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão no ambiente e pressão no *plenum* inferior por meio dos sensores fixos na sala. Estes dados, do sistema de controle, foram armazenados em computador situado em ambiente próximo à sala objeto de estudo.

8.1.4 Definição das condições de operação do sistema

A fim de que se atingissem no ambiente os valores de temperatura do ar (de

21°C a 26°C) nos diversos dias de ensaios, *setpoints* foram atribuídos a outras variáveis relacionadas à operação do sistema (Tabela 1 e Tabela 2).

Tabela 1 – *Setpoints* de operação do sistema (1ª etapa das medições)

Variável / <i>Setpoint</i> de Temperatura (°C)	21	22	23	24	25	26
Diferencial de Pressão do Ar ΔP (Pa)	5,00	5,00	4,00	3,00	5,00	3,00
Temperatura do Ar Frio (°C)	13,0	13,0	14,0	15,0	14,0	15,0
Temperatura do Ar de Insuflamento (°C)	15,5	16,5	18,0	19,0	18,0	19,0
Diferencial de Temperatura do Ar ΔT (°C)	8,0	7,0	6,0	6,0	6,0	7,0

Tabela 2 – *Setpoints* de operação do sistema (2ª etapa das medições)

Variável / <i>Setpoint</i> de Temperatura (°C)	21	22	23	24	25	26
Diferencial de Pressão do Ar ΔP (Pa)	8,00	5,00	7,00	5,00	4,00	5,00
Temperatura do Ar Frio (°C)	11,0	13,0	14,0	13,0	15,0	14,0
Temperatura do Ar de Insuflamento (°C)	16,0	15,5	17,0	16,5	19,0	18,0
Diferencial de Temperatura do Ar ΔT (°C)	3,0	8,0	7,0	7,0	7,0	4,0

Os *setpoints* do Diferencial de Pressão do Ar (ΔP) entre o *plenum* e o ambiente, bem como os da Temperatura do Ar Frio foram selecionados com base em Leite (2003). Tanto os *setpoints* da Temperatura do Ar de Insuflamento (mistura) como os do Diferencial de Temperatura do Ar (ΔT) entre retorno e insuflamento tiveram seus valores definidos com base nas curvas obtidas por Leite (2003) para cada *setpoint* de temperatura do ar desejado (Figura 22):

Figura 22 - Perfis de temperatura do ar nos postos de trabalho sob as condições C1 a C6 (26°C a 21°C) e temperaturas de insuflamento correspondentes
 Extraído de Leite (2003)

8.2 Definição dos equipamentos de medição

Apresentam-se a seguir as características técnicas dos equipamentos utilizados nas medições.

8.2.1 Características dos equipamentos de medição

Os dados de temperatura, umidade e velocidade do ar no ambiente foram medidos a partir de dois sistemas de aquisição distintos, sendo um fixo e um móvel. As concentrações de partículas foram medidas com equipamentos específicos, isto é, contadores de partículas.

O **sistema fixo** de aquisição de dados é composto por quatro sensores fixos instalados nas paredes laterais e na parede da janela, à altura de 2,25 m, que medem temperatura e um deles, umidade relativa do ar (Figura 23, Figura 24, Figura 25). Fazem parte do sistema de automação e controle do sistema de climatização.

Na segunda etapa de medições, foram incorporados dois sensores fixos instalados no mesmo local, a fim de que se medissem os níveis de CO₂ próximos à

exaustão do ar (Figura 26).

No Quadro 6 encontram-se suas características técnicas.

Figura 23 - Sensor de temperatura

Figura 24 - Sensor de temperatura

Figura 25 - Sensores de temperatura e umidade relativa

Figura 26 - Sensor de CO₂ (acima, à esquerda)

Quadro 6 – Especificação dos Sensores Fixos

Sensores Fixos	Tipo	Faixa de Medição	Incerteza	Unidades
Temperatura de bulbo seco no ambiente	Termo-resistor, com barreira radiante	0 a 90°C	0,1°C	3
Umidade Relativa	Tipo Capacitivo	5 a 98%	2%	1
CO ₂	Tecnologia infravermelho não dispersivo (NDIR)	0 a 2000ppm	± 50ppm + 2% do valor medido	2

Os sensores de temperatura e umidade relativa do ar estão interligados ao sistema supervisor ComfortView (empresa Carrier), e portanto suas leituras ficam

acessíveis tanto pela tela de interface (tempo real), como pelos arquivos de dados armazenados em computador situado próximo à sala (Figura 27).

Figura 27 - Computador remoto com sistema supervisorio ComfortView

Os sensores de CO₂ estão interligados em rede (juntamente a outro par situado em sala vizinha – Sala 23), e transmitem seus dados a um servidor remoto via *web* a cada 30 segundos, sendo parte integrante do sistema de monitoramento contínuo remoto e seguro da qualidade do ambiente interno, da empresa Abili Assessoria Técnica Comercial e Tecnologia da Informação Ltda. Este sistema foi desenvolvido com o apoio da Fapesp, por meio do programa PIPE, processo nº 2007/59162-9. Os dados ficam acessíveis pelas diversas telas de interface do sistema, tanto por gráficos como por tabelas Excel (Figura 28).

Figura 28 - Tela de interface do sistema de monitoramento de CO₂

No que se refere aos **sensores móveis**, diversos sensores de temperatura e velocidade do ar foram distribuídos pelo ambiente. Fazem parte do sistema móvel de aquisição de dados utilizado 84 sensores de temperatura do ar e 84 sensores de velocidade do ar, dispostos aos pares e em seis alturas distintas em quatorze hastes metálicas. Suas características encontram-se no Quadro 7.

Quadro 7 – Características dos sensores móveis

Sensores Móveis	Tipo	Faixa de Medição	Incerteza	Unidades
Temperatura de bulbo seco do ar interior e exterior	Termo resistor	0 a 90°C	0,1°C	84
Velocidade do Ar	Termo-anemômetro, baixo aquecimento, omnidirecional.	0 a 3 m/s	3%	84

Os dados podem ser lidos em tempo real a partir da tela do *software* Aquis (Figura 29) ou podem ser acessados na base de dados por meio de planilha Excel.

Figura 29 - Tela de aquisição de dados do *software* Aquis

A Figura 30, a Figura 31 e a Figura 32 mostram as hastes com os sensores distribuídas pela sala.

Figura 30 - Sala de aula ocupada e em atividade

Figura 31 - Sala de aula ocupada e em atividade

Figura 32 - Hastes de suporte dos sensores móveis (temperatura e velocidade do ar)

Compõe também o conjunto de sensores móveis o equipamento para aquisição de dados, descrito a seguir. No sistema móvel, os dados são decodificados pelos *dataloggers* situados na base de cada haste, na qual estão fixados os sensores de temperatura e velocidade do ar, aos pares, por altura (Figura 33). Os dados são transmitidos para a unidade central que se comunica por meio de um *gateway* com um *notebook* destinado ao seu armazenamento (Figura 34). O protocolo de comunicação é o RS-485.

Figura 33 - Dataloggers situados na base de cada haste de suporte dos sensores móveis

Figura 34 - Sistema de aquisição de dados dos sensores móveis: unidade central, gateway, no-break e notebook

Este sistema de aquisição de dados já foi utilizado em pesquisa anterior de Ikeda (2008), à exceção do *notebook*, e tem as características apresentadas no Quadro 8.

Quadro 8 – Características do sistema de aquisição de dados

Equipamento	Detalhe	Unidades
Módulo de aquisição interno (<i>datalogger</i>)	Microprocessado, 12 bits, 16 entradas analógicas, 16 E/S digitais, transmissão RS485.	17
Módulo de aquisição externo (<i>datalogger</i>)	Microprocessado, 12 bits, 8 entradas analógicas, 8 E/S digitais, transmissão RS485.	1
Unidade central	Unidade de alimentação e conversão RS485-RS232.	1
Computador de medição	<i>Notebook</i> DELL Latitude D510, processador Intel Centrino.	1

Além destes sensores, para a determinação da **quantidade de partículas em suspensão no ar do ambiente** foram utilizados contadores de partículas. Para a primeira etapa das medições, dois contadores de partículas da marca Met One Instruments, modelo AEROCET 531, números de série B4901 e D6979 (Figura 35). Os equipamentos estavam calibrados. Possuem como princípio de operação a contagem individual de determinados tamanhos de partículas (diâmetro em μm) e a contagem total valendo-se da dispersão da luz de *laser*, calculando a concentração em massa equivalente (em mg/m^3) por meio de algoritmo próprio.

Os equipamentos possuem as seguintes características técnicas:

Desempenho

Intervalos de Concentração de Massa.....PM1, PM2,5, PM7, PM10 e TSP (Total Suspension Particle ou Total de Partículas em Suspensão, TPS)

Intervalo de Concentração.....0 – 1 mg/m³

Tempo de Amostragem.....2 minutos

Acurácia.....± 10%, para calibração com aerossol

Vazão.....0,1 cfm (2,83 lpm)

Elétricas

Protocolo de comunicação.....RS-232

Certificação (partículas).....igual ou superior às certificações internacionais CE, ISO, ASTM e JIS

Físicas

Dimensões.....15,9 x 10,2 x 5,4 (h x l x p) cm

Peso.....0,88 kg

Ambientais

Temperatura de operação.....0 a 50°C

Figura 35 - Contadores de partículas utilizados na pesquisa

A cada dia os dados eram coletados e transferidos a um *notebook* para posterior análise por meio do *software* AEROComm pertencente ao *kit* de acessórios do contador de partículas, de onde era possível a extração de tabela em formato Excel.

Os parâmetros de intervalos de concentração de massa PM1, PM2,5, PM7 e PM10 referem-se a partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar com diâmetros

iguais ou inferiores a 1, 2,5, 7 e 10 μm respectivamente. Partículas menores ou iguais a 10 μm (partículas grossas) representam risco à saúde, pois uma vez inaladas podem alojar-se no sistema respiratório. Já as partículas finas, com diâmetros menores ou iguais a 2,5 μm e maiores a 0,1 μm (partículas ultrafinas), são consideradas de grande risco à saúde, pois uma vez inaladas, podem alojar-se nos pulmões (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2007).

Observa-se na Figura 36 os acessórios que compõem o kit do contador de partículas AEROCET 531. Vale ressaltar que nem todos os acessórios foram utilizados neste estudo como, por exemplo, o tubo de amostragem Iso-cinético e o filtro zero de partículas (este para testes do equipamento), dadas as características do ambiente em questão.

Figura 36 - Kit do contador de partículas AEROCET 531
Fonte: Manual de Operação AEROCET 531

Itens e Descrição

- Maleta da Transporte
- AEROCET 531
- Chave de fenda miniatura
- Tubo de amostragem Iso-cinético
- Filtro Zero de partículas
- Conversor universal AC/DC com cabo de força IEC AC
- Cabo serial customizado

- Manual de Operação do AEROCET 531
- Certificado de Calibração
- AEROComm *Software* (2 disquetes)
- Manual do AEROComm *Software*

Na segunda etapa de medições, foram utilizados dois contadores de partículas da marca Met One, modelo HHPC-6, números de série 050909094 e 050909092 (Figura 37).

Figura 37 - Contadores de partículas (2ª etapa das medições)

Possuem como princípio de operação a contagem individual de determinados tamanhos de partículas (diâmetro em μm) valendo-se da dispersão da luz de *laser*, apresentando o total de partículas por tamanho.

Os equipamentos possuem as seguintes características técnicas:

Desempenho

Dimensões de partículas medidas (μm):

Primeiro contador: 0,5; 1; 3; 5; 7; 10

Segundo contador: 0,3; 0,5; 1; 3; 5; 10

Tempo de Amostragem.....3 x 21 segundos (1l de ar cada); intervalo de 10s

Eficiência na Contagem.....50% @ 0,3 μm ; 100% para partículas > 0,45 μm (JIS B9921:1997)

Vazão.....0,1 cfm (2,83 lpm)

Elétricas

Protocolo de comunicação.....RS-232 / RS-485

Certificação (partículas)..... JIS B9921:1997

Físicas

Dimensões.....20,96 x 11,43 x 5,72 (h x l x p) cm

Peso.....1 kg

Ambientais

Temperatura de operação.....10 a 40°C

A cada dia os dados eram coletados e transferidos a um *notebook* para posterior análise por meio do *software* HHPC-6 Utility, de onde era possível a extração de tabela em formato Excel.

Para a medição dos **níveis de CO₂** no ambiente foram utilizados um equipamento portátil e um par de sensores fixos.

O equipamento portátil é da marca Testo, modelo 435 (Figura 38), com certificado de calibração válido.

Figura 38 - Equipamento portátil para medição de CO₂, Testo 435

O equipamento possui as seguintes características:

Desempenho

Faixa de medição (sonda).....0 a 10000ppm

Tempo de Amostragem.....manual, cerca de 1m 20s

Exatidão:

± (50ppm CO₂ ±2% do valor medido) (0 a +5000 ppm CO₂)

± (100ppm CO₂ ±3% do valor medido) (+5001 a +10000 ppm CO₂)

Elétricas

Protocolo de comunicação.....USB

Físicas

Dimensões.....22,50 x 7,40 x 4,60 (h x l x p) cm

Ambientais

Temperatura de operação.....- 20 a +50°C

Ao final de cada dia de medição, os dados eram transferidos para um

notebook através do *software* Testo Comfort-Software X35, de onde era possível a extração de tabela em formato Excel.

Os sensores fixos na sala são da marca E Plus E Elektronik (Figura 26), com certificado de calibração válido. Possuem como princípio de operação a tecnologia de infravermelho não dispersivo (NDIR). Interligados a uma rede por conversores analógico-digitais, os valores lidos foram transmitidos a um servidor *web* remoto para posterior consulta.

O equipamento possui as seguintes características:

Desempenho

Faixa de medição.....0 a 2000ppm

Incerteza..... $\pm$ (50ppm CO₂ $\pm$ 2% do valor medido)

Taxa de amostragem.....15 s

Elétricas

Sensor analógico.....0 a 5 V

Físicas

Dimensões.....10 x 8,50 x 2,60 (h x l x p) cm

Ambientais

Temperatura de operação.....- 20 a +60°C

8.3 Validação do método de medição: testes preliminares

Para que se fizessem corretamente as medições definitivas, foi essencial a realização de testes preliminares, especialmente com os contadores de partículas.

O método de medição das variáveis temperatura e velocidade do ar por meio dos sensores móveis já havia sido testado em estudo realizado por Ikeda (2008), cuja pesquisa em ambiente muito similar à Sala 17 e em regime transiente comprovou sua eficácia, tanto em número de sensores e na sua distribuição pelo ambiente, como em relação à praticidade e descrição das hastes. A idéia original previa a medição em 16 pontos do ambiente, mas constatou-se que uma das hastes estava com defeito, interrompendo o funcionamento da rede de sensores. Outra se encontrava em região de extrema circulação de pessoas (especialmente no intervalo entre aulas), correndo sérios riscos de quebra de sensores por contato. Portanto, estas duas hastes foram removidas da rede (Figura 20) permanecendo 14 hastes e 84 pares de sensores posicionados nas regiões de maior concentração de pessoas e outras fontes de carga térmica no ambiente.

Os contadores de partículas necessitaram testes de mapeamento do ambiente (número de pontos de medição) bem como tempo de amostragem. A idéia

original previa medições em 16 pontos do ambiente, com permanência de 6 minutos (3 leituras de 2 minutos cada) por ponto. Este procedimento seria adotado para sala ocupada e desocupada. As medições seriam realizadas em 6 dias consecutivos, um para cada condição de operação do sistema de climatização. No entanto, na primeira etapa das medições, foi constatada limitação da autonomia das baterias dos contadores de partículas que apresentaram carga baixa antes do final das medições no ambiente desocupado. Como os contadores deveriam receber carga total após cada dia de medição, cujo tempo necessário é de 15 horas, e só havia um carregador disponível, adotou-se a estratégia de 8 pontos de medição por situação (ambiente ocupado e desocupado), com permanência de 6 minutos por ponto, e em dias alternados, permitindo-se assim a carga completa dos dois contadores de partículas no intervalo entre dias de medição.

Na segunda etapa das medições, embora tenham sido utilizados contadores de partículas diferentes da primeira etapa, manteve-se o total de oito pontos de medição por situação do ambiente, só que desta vez foram feitas três leituras por ponto, com duração de 21 segundos cada (correspondente à captação de 1l de ar). Entre cada captação de ar foi estipulado o intervalo de 10 segundos.

A fim de se verificar se a posição adotada para os contadores de partículas foi adequada, foi realizado ensaio variando-se a posição da tomada de ar dos contadores de partículas em relação ao fluxo de ar ascendente no ambiente. Foram feitas três baterias em pontos distintos do ambiente, com três captações por ponto. A tomada de ar foi posicionada a favor do fluxo de ar, perpendicular ao fluxo de ar e contra o fluxo de ar. Não se observaram diferenças consideráveis entre os valores obtidos, e nem uma lógica entre os valores menores e maiores em relação à posição. Portanto, manteve-se a mesma posição dos contadores na segunda etapa das medições, ou seja, tomada de ar a favor do fluxo de ar (contadores de partículas de pé nos recipientes da haste metálica).

O suporte metálico destinado a sustentar os dois contadores para medições simultâneas a 1,10 m e 2,60 m mostrou-se eficiente (Figura 39). Rígido, leve e de fácil manuseio, permitiu que após a ligação dos contadores simultaneamente, ele fosse levado à posição vertical rapidamente, sem prejuízo do tempo destinado à medição em si. Além disso, a forma delgada da haste causou o mínimo de interferência visual durante as aulas. Os contadores eram apoiados de pé, um em cada recipiente na cor laranja. Cerca de 1 cm de altura de cada contador de

partículas ficava acima do nível superior do recipiente, e portanto a tomada de ar que se encontra na parte superior dos mesmos ficava desobstruída (Figura 21).

Figura 39 - Suporte metálico de sustentação dos contadores de partículas

Na segunda etapa das medições foi imprescindível a participação de duas pessoas, uma para sustentar o suporte dos contadores de partículas e outra para segurar o medidor de CO₂ próximo ao contador de partículas na cota 1,10 m, e durante o tempo de cada medição por ponto (cerca de 1 minuto e 20 segundos).

8.4 Processos de coleta de informações e transmissão de dados

Como dito anteriormente, as medições foram realizadas no período de transição entre Inverno e Primavera (24, 26 e 29 de setembro, 01, 03 e 08 de outubro de 2008), e Primavera e Verão (09, 10, 11, 13, 17 e 18 de novembro de 2009) sob seis condições de temperatura distintas ou *setpoints* do sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso. Foi dedicado um dia por condição de operação, e o ajuste de temperatura foi feito com pelo menos uma hora de antecedência às medições dada a inércia do sistema até o seu equilíbrio. As hastes do sistema móvel de aquisição de dados de temperatura e velocidade do ar foram montadas previamente ao início do período de medições, e assim permaneceram até o final. O mesmo ocorreu com o sistema de aquisição de dados composto pela unidade central, *gateway* e *no-break*, sendo conectado a cada dia apenas o *notebook*. As medições iniciavam sempre cerca de 30 minutos antes das medições

de quantidade de partículas para que tanto os equipamentos quanto o ambiente se estabilizassem (menor trânsito de pessoas).

A aquisição dos dados foi feita a cada 25 ms, com médias aritméticas dos valores instantâneos de 5 segundos, calculadas e gravadas a cada 5 minutos, em arquivo de texto (txt). O aplicativo utilizado para o cálculo e transferência dos dados da unidade central para o *notebook* é o “Aquis”.

Em relação às medições da quantidade de partículas em suspensão no ar do ambiente, foram feitas, na primeira etapa das medições, 3 leituras por ponto de medição, com duração de 2 minutos cada, e em dois contadores de partículas simultaneamente. As medições foram realizadas 30 minutos após o início das aulas ou 30 minutos após o final da última aula, a fim de que se aguardasse certa estabilidade nas condições do ambiente (circulação de pessoas). Além de armazenados nos contadores de partículas, os dados foram anotados em relatório desenvolvido especialmente para a ocasião (Figura 40).

 OCUPADA ☐ VAZIA', and 'OPERAÇÃO: ____'. To the right of these fields is a large empty table with 4 rows and 2 columns."/>

DATA: ____ / ____ / ____

SALA: ☐ OCUPADA ☐ VAZIA

OPERAÇÃO: ____

Figura 40 - Relatório das medições de quantidade de partículas no ar (desenho esquemático das grelhas na sala, sem escala)

Este relatório teve por objetivo funcionar como um *backup* dos dados registrados em cada contador, além de apresentar campos para informações

adicionais sobre a situação do ambiente: ocupado ou desocupado, número de pessoas e equipamentos ligados, além da data e condição de operação do sistema. Os quadrados hachurados representam as grelhas de retorno do ambiente. Os quadrados mais claros representam grelhas que foram desconsideradas no ambiente, por estarem fora da zona de concentração de pessoas (as mais próximas à janela), ou por estarem em frente ao quadro branco, onde as medições em horário de aula causariam grandes transtornos. Em cada pequena tabela encontra-se o campo “MEM” que corresponde à memória dos contadores de partículas utilizada naquela grelha. O campo “Hora” corresponde ao horário da primeira leitura de três realizadas por ponto de medição. Ao lado de cada quadro foi anotado o horário oficial, pois foi observada defasagem entre este horário e os dos relógios internos dos contadores de partículas. Os números 1, 2 e 3 correspondem às concentrações de partículas (mg/m^3) observadas a cada leitura para cada contador (a 1,10 m e a 2,60 m de altura). Ao final de cada dia os dados eram transferidos dos contadores de partículas para o *notebook* utilizando-se o *software* “AEROComm”, em arquivos de texto (csv).

Na segunda etapa das medições, foram feitas três leituras por ponto, totalizando cerca de 1 minuto e 20 segundos de duração. Desta vez foram medidos os totais de partículas em suspensão para diversos diâmetros, e não foi necessária a utilização de *back-up* em formulário de papel, dada a maior autonomia dos contadores de partículas utilizados. Ao final de cada dia, os dados foram transferidos dos contadores de partículas para o *notebook* utilizando-se o *software* “HHP-6 Utility”, em arquivos Excel. Ainda nesta etapa das medições, foram medidos os níveis de CO_2 no ambiente, tanto em oito pontos a 1,10 m utilizando-se equipamento portátil, como em dois pontos fixos da sala a 2,35 m, ponto médio das paredes laterais da sala (Figura 41).

No caso do equipamento portátil, os dados foram transferidos ao final do dia para o *notebook* utilizando-se o *software* “Testo Comfort-Software X35”, em arquivos Excel. Já os dados dos sensores fixos foram transferidos para um servidor remoto via *web* a cada 30 s, estando disponíveis em planilhas Excel.

Figura 41 - Medições em andamento (sala ocupada)

8.5 Tratamento dos dados

Em relação às variáveis temperatura e velocidade do ar, o sistema de aquisição de dados Aquis apresenta os mesmos em tabela formato Excel, em intervalos de 5 minutos, correspondendo cada um à média dos valores instantâneos registrados no período respectivo. A cada dia (ou condição de temperatura) e para cada altura de medição os dados foram reorganizados em dois períodos, sendo para ambiente Ocupado e Desocupado. Para cada período e altura foi calculada a média aritmética dos valores obtidos em todas as hastes, assim como o desvio padrão e o coeficiente de variação, que expressa a relação entre o desvio padrão e a média

aritmética. Foram descartados valores inconsistentes obtidos em algumas hastes, o que resultou em alguns casos, em menos de quatorze pontos de medição na sala.

Na primeira etapa das medições, foram feitas com os contadores de partículas, para cada dia em oito pontos da sala (Ocupada e Desocupada), três leituras do total de partículas em suspensão (TPS) por ponto e por altura (1,10 m e 2,60 m), com duração de dois minutos cada uma. Foi calculada a média aritmética das três leituras para cada altura em cada ponto (n), $TPS_{n2.60}$ e $TPS_{n1.10}$. Estes valores permitiram o cálculo do IERC para sala Ocupada e Desocupada a cada dia, por meio da relação $TPS_{2.60}/TPS_{1.10}$, onde $TPS_{2.60}$ é a média dos $TPS_{n2.60}$ e $TPS_{1.10}$ a média dos $TPS_{n1.10}$.

Na segunda etapa das medições, foram realizadas três leituras do total de partículas em suspensão para diversos diâmetros por ponto e por altura (1,10 m e 2,60 m), com duração total de cerca de 1m20s. Foram adotados como diâmetros para análise aqueles comuns aos dois contadores de partículas, isto é, 0,5 μm , 1 μm , 3 μm , 5 μm e 10 μm . Foi calculada a média aritmética das três leituras para cada altura em cada ponto (n), $TPS_{n2.60}$ e $TPS_{n1.10}$. Com isso foi possível o cálculo do IERC para sala Ocupada e Desocupada a cada dia, por meio da relação $TPS_{2.60}/TPS_{1.10}$, onde $TPS_{2.60}$ é a média dos $TPS_{n2.60}$ e $TPS_{1.10}$ a média dos $TPS_{n1.10}$. No caso do CO_2 , foi calculado o índice de efetividade na remoção de CO_2 , IERCO_2 , relacionando-se o valor medido a 1,10 m com o valor a 2,35 m da parede mais próxima (pontos de 1-4 e pontos de 5-8), tanto para sala Ocupada como sala Desocupada. Também foi possível o cálculo do IERCO_2 para cada dia, para sala Ocupada e Desocupada, por meio da relação $\text{CO}_{2-2.35}/\text{CO}_{2-1.10}$, onde $\text{CO}_{2-2.35}$ é a média dos valores de CO_2 a 2,35 m e $\text{CO}_{2-1.10}$ a média dos valores de CO_2 a 1,10 m.

9 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES

Por questão didática, os resultados das medições são aqui apresentados separadamente por etapa.

9.1 Primeira etapa das medições

Para que fossem atingidos os valores esperados de temperatura no nível 0,60 m (onde foi realizada medição para verificação do conforto térmico), algumas combinações de *setpoints* de variáveis do sistema de climatização foram estabelecidas conforme apresentado na Tabela 1. Os resultados correspondentes obtidos para as variáveis intrínsecas do sistema (para ambiente ocupado e desocupado) encontram-se na Tabela 3 e na Tabela 4, sendo estes as médias dos valores nos períodos de ensaios, ou seja, períodos de aproximadamente cinco horas (total do período ocupado mais desocupado) por cada bateria de testes.

Tabela 3 – Condições Operacionais – Ambiente ocupado

Variável / <i>Setpoint</i> de Temperatura (°C)	21	22	23	24	25	26
Temperatura do ar externo (°C)	21,9	23,7	27,1	18,6	28,9	30,6
Umidade relativa do ar externo (%)	62	58	46	74	47	47
Diferencial de pressão (Pa)	4,50	5,07	4,01	3,01	5,87	3,69
Temperatura do ar no ambiente (°C)	20,0	21,1	21,0	20,9	24,6	23,9
Temperatura do ar frio (°C)	13,0	13,0	14,0	15,0	14,0	15,0
Temperatura do ar insuflado (°C)	15,4	17,2	17,3	18,5	19,0	20,1
Temperatura do ar no <i>plenum</i> (°C)	17,9	19,4	19,4	19,6	22,5	22,3
Temperatura do ar no retorno (°C)	23,2	24,4	23,6	23,2	27,7	27,4
Diferencial de temperatura do ar (°C)	7,8	7,2	6,3	4,7	8,7	7,3
Umidade relativa do ar interior (%)	55	55	56	63	53	57
Umidade relativa do ar frio (%)	81	84	82	84	93	88
Umidade relativa do ar da mistura (%)	70	66	67	71	70	67
Umidade relativa do ar no retorno (%)	39	38	43	50	40	42
Vazão de insuflamento (m ³ /h)	3439,3	3574,0	3171,4	2200,6	3093,4	1282,9
Vazão de ar frio (m ³ /h)	2853,1	2513,8	2323,3	1900,3	2342,9	2052,4
Vazão de ar de retorno (m ³ /h)	3424,0	4242,4	3611,3	3401,8	8182,5	4572,6

Tabela 4 – Condições operacionais – Ambiente desocupado

Variável / <i>Setpoint</i> de Temperatura (°C)	21	22	23	24	25	26
Temperatura do ar externo (°C)	20,6	23,4	24,1	17,7	27,0	26,1
Umidade relativa do ar externo (%)	60	60	55	75	53	58
Diferencial de pressão (Pa)	4,91	5,00	3,98	2,95	5,82	4,16
Temperatura do ar no ambiente (°C)	20,6	21,6	21,0	20,8	24,0	23,7
Temperatura do ar frio (°C)	13,0	13,0	14,0	14,8	14,0	15,0
Temperatura do ar insuflado (°C)	14,8	17,1	16,5	17,2	17,8	18,8
Temperatura do ar no <i>plenum</i> (°C)	19,0	20,0	19,4	19,5	21,7	22,0
Temperatura do ar no retorno (°C)	23,0	24,3	22,8	22,4	26,2	26,0
Diferencial de temperatura do ar (°C)	8,2	7,2	6,3	5,2	8,4	7,2
Umidade relativa do ar interior (%)	55	54	55	56	55	55
Umidade relativa do ar frio (%)	85	87	84	81	89	91
Umidade relativa do ar da mistura (%)	76	68	72	71	77	72
Umidade relativa do ar no retorno (%)	40	39	44	47	44	44
Vazão de insuflamento (m ³ /h)	3749,9	3284,8	3214,7	2438,0	3549,5	2182,3
Vazão de ar frio (m ³ /h)	2700,5	2314,5	2384,7	2028,1	2253,7	2152,4
Vazão de ar no retorno (m ³ /h)	3882,3	4817,5	3600,1	3206,2	7253,8	5247,2

Nessas condições de operação do sistema, o ambiente apresentou as condições térmicas representadas pelos perfis determinados a partir das médias de temperaturas e velocidades do ar de todos os pontos (nas duas situações de ocupação da sala), para cada condição de operação do sistema, sendo os valores plotados abaixo do nível zero os relativos às temperaturas de insuflamento de cada condição (Figura 42, Figura 43, Figura 44 e Figura 45).

Os gráficos que exprimem o perfil de cada grandeza, com os valores médios de cada ponto de medição no ambiente, para cada *setpoint* de temperatura de operação do sistema (de 21° a 26°C), tanto em função das alturas como em função do tempo se encontram no ANEXO A e no ANEXO B. Os gráficos contidos no ANEXO A não foram repetidos para a segunda etapa das medições, pois não se mostraram a melhor alternativa para a representação do comportamento da temperatura e velocidade do ar no ambiente.

Figura 42 - Perfis de temperatura do ar no ambiente (médias das hastes): ambiente ocupado

Figura 43 - Perfis de temperatura do ar no ambiente (médias das hastes): ambiente desocupado

Figura 44 - Perfis de velocidade do ar no ambiente (médias das hastes): ambiente ocupado

Figura 45 - Perfis de velocidade do ar no ambiente (médias das hastes): ambiente desocupado

Com o objetivo de verificar a influência da temperatura e velocidade do ar na remoção de partículas em suspensão, os valores de TPS (Total de Partículas em Suspensão), nas zonas de respiração e de retorno, foram plotados em função dessas variáveis e estão destacados na Figura 46, Figura 47, Figura 48 e Figura 49.

Figura 46 - Total de Partículas em Suspensão (mg/m^3) X Temperatura do Ar ($^{\circ}\text{C}$) para ambiente ocupado a cada *setpoint* de temperatura

Figura 47 - Total de Partículas em Suspensão (mg/m^3) X Temperatura do Ar ($^{\circ}\text{C}$) para ambiente desocupado a cada *setpoint* de temperatura

Figura 48 - Total de Partículas em Suspensão (mg/m^3) X Velocidade do Ar (m/s) para ambiente ocupado a cada *setpoint* de temperatura

Figura 49 - Total de Partículas em Suspensão (mg/m^3) X Velocidade do Ar (m/s) para ambiente desocupado a cada *setpoint* de temperatura

O índice IERC foi calculado em cada diferente valor de temperatura para ambiente ocupado e desocupado, por meio da relação $\text{TPS}_{2,60}/\text{TPS}_{1,10}$, onde $\text{TPS}_{2,60}$ é a média dos $\text{TPS}_{n2,60}$ e $\text{TPS}_{1,10}$ a média dos $\text{TPS}_{n1,10}$ para os oito pontos. Os valores resultantes de IERC são apresentados na Figura 50 para as condições térmicas de referência (*setpoints* de temperatura do ar de 21°C a 26°C).

Os dados de partículas coletados nas medições encontram-se relacionados nas tabelas do Anexo D.

Figura 50 - Índice de Efetividade da Ventilação X Setpoint de Temperatura do Ar (°C)

Informações mais detalhadas sobre as condições da sala nas duas aulas encontram-se no Quadro 9 (ANEXO C), ou seja, o número de pessoas, bem como o número de equipamentos e luminárias ligados para cada *setpoint* de temperatura no período de medição de concentração de partículas. Observam-se variações de situação a cada período e a cada dia, típicas de condição real de uso do ambiente.

Para se verificar a relação do IERC com as vazões de ar insuflado e de retorno, a Tabela 5 foi construída.

Tabela 5 – Valores médios de vazões de ar de insuflamento, vazões de ar de retorno (m³/h) e IERC para cada setpoint de temperatura (ambiente ocupado e desocupado).

Setpoint de Temperatura (°C)	Vazão Insuflamento Média (m ³ /h) (ocup.)	Vazão Retorno Média (m ³ /h) (ocup.)	IERC (ocup.)	Vazão Insuflamento Média (m ³ /h) (desocup.)	Vazão Retorno Média (m ³ /h) (desocup.)	IERC (desocup.)
21	3439,3	3424,0	0,963	3749,9	3882,3	0,798
22	3574,0	4242,4	0,923	3284,8	4817,5	0,739
23	3171,4	3611,3	1,063	3214,7	3600,1	0,971
24	2200,6	3401,8	0,946	2438,0	3206,2	0,894
25	3093,4	8182,5	1,004	3549,5	7253,8	1,063
26	1282,9	4572,6	0,931	2182,3	5247,2	0,882

9.2 Segunda etapa das medições

Nesta etapa, foram estabelecidas as combinações de *setpoints* constantes

da Tabela 2 para que fossem atingidos os valores esperados de temperatura no nível 0,60 m (conforto térmico). Os resultados correspondentes obtidos para as variáveis intrínsecas do sistema (para ambiente ocupado e desocupado) encontram-se na Tabela 6 e na Tabela 7.

Tabela 6 – Condições Operacionais – Ambiente ocupado (NR = Não Registrado)

Variável / Setpoint de Temperatura (°C)	21	22	23	24	25	26
Temperatura do ar externo (°C)	32,3	28,2	35,4	33,7	30,4	35,8
Umidade relativa do ar externo (%)	41	62	40	43	48	31
Diferencial de pressão (Pa)	6,15	4,49	7,03	NR	4,04	4,99
Temperatura do ar no ambiente (°C)	20,8	22,6	24,0	NR	25,2	25,3
Temperatura do ar frio (°C)	12,5	13,0	15,5	NR	14,9	14,0
Temperatura do ar insuflado (°C)	15,7	14,8	17,8	NR	18,6	18,3
Temperatura do ar no <i>plenum</i> (°C)	17,5	20,2	20,1	NR	21,9	21,9
Temperatura do ar no retorno (°C)	24,2	25,3	27,3	NR	27,9	28,8
Diferencial de temperatura do ar (°C)	8,5	10,5	9,5	NR	9,3	10,5
Umidade relativa do ar interior (%)	57	54	57	NR	56	51
Umidade relativa do ar frio (%)	81	83	77	NR	78	76
Umidade relativa do ar da mistura (%)	68	78	74	NR	76	68
Umidade relativa do ar no retorno (%)	38	39	39	NR	44	33
Vazão de insuflamento (m ³ /h)	3223,3	4031,4	3814,5	NR	2864,2	3247,2
Vazão de ar frio (m ³ /h)	3263,6	2364,8	4840,4	NR	2497,7	3249,2
Vazão de ar de retorno (m ³ /h)	NR	256,3	NR	NR	NR	NR

Tabela 7 – Condições operacionais – Ambiente desocupado (NR = Não Registrado)

Variável / Setpoint de Temperatura (°C)	21	22	23	24	25	26
Temperatura do ar externo (°C)	32,4	29,1	31,6	31,1	30,9	35,2
Umidade relativa do ar externo (%)	42	58	42	56	54	29
Diferencial de pressão (Pa)	7,04	4,65	6,82	NR	3,97	5,00
Temperatura do ar no ambiente (°C)	21,5	23,3	23,7	NR	25,0	24,7
Temperatura do ar frio (°C)	14,9	13,0	19,2	NR	15,0	14,0
Temperatura do ar insuflado (°C)	17,4	14,8	19,3	NR	17,5	18,0
Temperatura do ar no <i>plenum</i> (°C)	18,6	21,5	20,4	NR	22,4	20,9
Temperatura do ar no retorno (°C)	24,8	26,2	27,0	NR	27,3	28,2
Diferencial de temperatura do ar (°C)	7,4	11,4	7,7	NR	9,8	10,2
Umidade relativa do ar interior (%)	56	53	58	NR	56	53
Umidade relativa do ar frio (%)	76	79	76	NR	75	77
Umidade relativa do ar da mistura (%)	65	77	68	NR	79	68
Umidade relativa do ar no retorno (%)	39	35	41	NR	44	33
Vazão de insuflamento (m ³ /h)	3373,0	4046,4	3538,4	NR	2893,1	3381,9
Vazão de ar frio (m ³ /h)	3090,3	2400,5	5509,2	NR	2073,0	3103,2
Vazão de ar no retorno (m ³ /h)	NR	66,9	NR	NR	NR	NR

Alguns valores não foram registrados (NR) por problemas com os sensores correspondentes nesta etapa das medições.

Os dados exibidos nestas tabelas são as médias dos valores nos períodos de ensaios, ou seja, período ocupado e período desocupado em cada bateria de testes.

Nessas condições de operação do sistema, o ambiente apresentou as condições térmicas representadas pelos perfis determinados a partir das médias de temperaturas e velocidades do ar e de todos os pontos (nas duas situações de ocupação da sala), para cada condição de operação do sistema, sendo os valores plotados abaixo do nível zero os relativos às temperaturas de insuflamento de cada condição (Figura 51, Figura 52, Figura 53 e Figura 54).

Foram gerados gráficos contendo os perfis de temperatura e velocidade do ar de todas as hastes em função da altura (Sala Ocupada e Desocupada), para cada condição de operação do sistema. Estes perfis foram traçados com base nos valores médios ao longo do período de medições. Os mesmos estão ilustrados pelas figuras do ANEXO B.

Figura 51 - Perfis de temperatura do ar (médias das hastes): ambiente ocupado

Figura 52 - Perfis de temperatura do ar (médias das hastes): ambiente desocupado

Figura 53 - Perfis de velocidade do ar (médias das hastes): ambiente ocupado

Figura 54 - Perfis de velocidade do ar (médias das hastes): ambiente desocupado

Em relação às partículas em suspensão, nesta etapa das medições as concentrações de partículas foram medidas separadamente por diâmetros, diferentemente das medidas da primeira etapa quando não houve esta discriminação devido ao tipo de contadores de partículas utilizados. Com o objetivo de verificar a influência da temperatura e velocidade do ar na remoção de partículas em suspensão, os totais de partículas por tamanho (0,5, 1,0, 3,0, 5,0 e 10,0 μm) nas zonas de respiração e de retorno, foram plotados em função dessas variáveis e estão destacados na Figura 55, Figura 56, Figura 57 e Figura 58.

Figura 55 – Total de Partículas por Tamanho X Setpoint de Temperatura do Ar (°C): ambiente ocupado

Figura 56 - Total de Partículas por Tamanho X Setpoint de Temperatura do Ar (°C): ambiente desocupado

Figura 57 - Total de Partículas por Tamanho X Velocidade do Ar (m/s): ambiente ocupado

Figura 58 - Total de Partículas por Tamanho X Velocidade do Ar (m/s): ambiente desocupado

O índice IERC foi calculado em cada diferente valor de temperatura para ambiente ocupado e desocupado, por meio da relação $TPS_{2.60}/TPS_{1.10}$, onde $TPS_{2.60}$ é a média dos $TPS_{n2.60}$ e $TPS_{1.10}$ a média dos $TPS_{n1.10}$ para os oito pontos. Os cálculos foram feitos para os diâmetros de partículas considerados, isto é, 0,5 μm , 1,0 μm , 3,0 μm , 5,0 μm e 10 μm . Os valores resultantes de IERC são apresentados na Figura 59 e Figura 60 para as temperaturas de operação de 21°C a 26°C.

Figura 59 - Índice de Efetividade da Ventilação (remoção de partículas) X Setpoint de Temperatura do Ar (°C) por tamanho de partícula (ambiente ocupado)

Figura 60 - Índice de Efetividade da Ventilação (remoção de partículas) X Setpoint de Temperatura do Ar (°C) por tamanho de partícula (ambiente desocupado)

Os dados referentes às partículas em suspensão coletados durante as medições encontram-se relacionados nas tabelas do Anexo D.

No Quadro 10 (ANEXO C) mostram-se quais eram as condições da sala nas duas aulas, ou seja, o número de pessoas, bem como o número de equipamentos e luminárias ligados para cada *setpoint* de temperatura no período de medição de concentração de partículas. Observam-se variações de situação a cada período e a cada dia, típicas de condição real de uso do ambiente.

Em relação aos níveis de CO₂, o índice IERCO₂ (Índice de Efetividade na Remoção de CO₂) foi calculado em cada diferente valor de temperatura para ambiente ocupado e desocupado, por meio da relação $CO_{2-2.35}/CO_{2-1.10}$, onde CO_{2-2.35} é a média dos valores de CO₂ a 2,35 m e CO_{2-1.10} a média dos valores de CO₂ a 1,10 m. Os valores resultantes de IERCO₂ são apresentados na Figura 61.

Os dados referentes aos níveis de CO₂ coletados durante as medições encontram-se nas tabelas do Anexo E.

Figura 61 - Índice de Efetividade da Ventilação (remoção de CO₂) X Setpoint de Temperatura do Ar (°C) (ambiente ocupado e desocupado)

10 ANÁLISE QUANTITATIVA DA EFETIVIDADE DA VENTILAÇÃO

Com a realização de duas etapas de medições em períodos distintos (transição do Inverno para a Primavera de 2008 e transição da Primavera para o Verão de 2009), foi possível se determinar o nível de efetividade da ventilação proporcionado pelo sistema de climatização com insuflamento de ar pelo piso, por meio da análise dos dados obtidos na pesquisa experimental.

Além disso, foram identificadas as melhores condições de operação do sistema (*setpoints*) para cada período, que promoveram a melhor efetividade da ventilação no ambiente, ou seja, diferencial de temperatura entre retorno e insuflamento, diferencial de pressão entre ambiente e *plenum*, temperatura de ar frio e temperatura de insuflamento.

10.1 Análise das condições do ambiente do ponto de vista da temperatura e velocidade do ar

Embora o enfoque desta pesquisa não seja o conforto térmico, este foi analisado no ambiente tanto para a temperatura como para a velocidade do ar; considerou-se pertinente salientar-se tal fato visto que o projeto do sistema de climatização seguiu esta diretriz.

Os perfis de temperatura do ar no ambiente, nas seis condições térmicas estabelecidas mostraram que dos níveis 0,10 m a 0,60 m, a variação de temperatura não foi significativa. A estratificação da temperatura do ar, fenômeno típico do sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso, apresentou um valor positivo de cerca de 2°C entre os níveis 0,10 m e 1,70 m e, portanto, dentro dos parâmetros de conforto da norma ISO 7730 (2005). Neste aspecto, o conforto térmico no ambiente foi garantido em todas as condições de ensaio.

Pelos perfis de temperatura do ar no ambiente, nas seis condições de ensaio, observa-se que as variações de temperatura ao longo da altura têm a mesma tendência, tanto para ambiente ocupado como desocupado, ou seja, o sistema de distribuição de ar pelo piso promove estratificação da temperatura do ar em qualquer condição térmica dentro da zona de conforto. A faixa de temperaturas médias observadas nos seis dias da primeira etapa de medições a 0,60 m foi, para

Sala Ocupada, de 20,6°C a 25,7°C aproximadamente e a umidade relativa do ar interior esteve entre 50% e 60%. Os valores mais baixos de temperatura do ar mostraram-se próximos ao limite inferior estipulado pela norma NBR 16401 (2008) para conforto térmico no Inverno, 21°C e os mais altos ficaram acima do limite superior, de 23,5°C. Mas segundo LEITE (2003), a temperatura de 25°C no Brasil não causa desconforto aos ocupantes de um ambiente exercendo atividades sedentárias e no Inverno, sendo, por isso, consideradas adequadas neste trabalho. A faixa de temperaturas médias observadas nos seis dias da segunda etapa de medições a 0,60 m foi, para Sala Ocupada, 20,2°C a 25,5°C aproximadamente. Como a umidade relativa do ar interior esteve entre 50% e 60%, os valores de temperatura do ar mostraram-se abaixo do limite inferior estipulado pela norma NBR 16401 (2008) para conforto térmico no Verão, 22,5°C, atendendo ao limite superior de 25,5°C.

Com relação à velocidade do ar, os valores medidos, na maior parte dos pontos na zona ocupada ficaram em torno de 0,10 m/s à altura de 0,60 m, também em conformidade com a ISO 7730 (2005), Categoria A. Pelos perfis de velocidade do ar construídos a partir dos dados coletados foi possível identificar que nos níveis 0,60 m e 2,00 m, grandes movimentações de ar ocorreram provavelmente devido ao ganho de carga térmica até o nível 0,60 m, e aos efeitos do ventilador de exaustão respectivamente.

A partir dos dados coletados, observa-se que o comportamento dos perfis da velocidade do ar nos vários dias de ensaios seguiu a mesma tendência em sua maioria, à exceção de alguns pontos onde ocorreram velocidades mais altas. Provavelmente sofreram influência do escape de ar pelos orifícios nas placas de piso elevado, orifícios esses feitos para a passagem de cabos de conexão dos *dataloggers* das hastes com a central, ou mesmo da proximidade das hastes com difusores de ar. Esses pontos foram descartados para a geração dos gráficos de perfil das velocidades médias (todas as hastes).

Dos perfis de velocidade do ar (médias das hastes), observa-se um comportamento típico do sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso, ou seja, em geral as velocidades diminuem a partir do ponto de insuflamento (difusor), e aumentam progressivamente a partir da zona de ocupação (1,10 m) devido ao ganho de carga térmica, até a proximidade com o nível de saída do ar do ambiente (2,35 m) devido à influência do ventilador de exaustão.

Do ponto de vista do conforto, como a velocidade do ar no nível 0,60 m não ultrapassou 0,10 m/s, não foi constatada condição de desconforto, segundo as normas ISO 7730 (2005), Categoria A, que estipula valores máximos de 0,10 m/s para o Inverno e 0,12 m/s para o Verão, e a NBR 16401 (2008), que estipula o limite para este tipo de sistema no Inverno em 0,20 m/s e no Verão em 0,25 m/s.

10.2 Análise dos resultados de medições de concentrações de partículas

Os valores observados para TPS em todas as condições de operação do sistema na primeira etapa das medições foram extremamente baixos, isto é, inferiores a $0,035 \text{ mg/m}^3$ ou $35 \text{ }\mu\text{g/m}^3$. Para se ter uma idéia da ordem de grandeza destes valores, pela resolução Anvisa RE 09 (2003) o valor máximo recomendável para contaminação por aerodispersóides totais no ar do ambiente climatizado é de $80 \text{ }\mu\text{g/m}^3$.

Pela análise dos resultados de TPS em função da temperatura e da velocidade do ar no ambiente (a 1,10 m e no retorno), observa-se que, no ambiente ocupado a concentração de partículas é maior nas condições de temperatura do ar mais altas (de 24°C a 26°C , com destaque para 25°C) quando são mais altas as temperaturas de insuflamento. Isto, embora o número de pessoas seja praticamente o mesmo que nas condições de temperaturas mais baixas (de 21°C a 23°C). Este fato leva a crer que há uma relação direta do TPS com as vazões de insuflamento que, para temperaturas do ar insuflado mais altas, são menores (Tabela 5).

O principal agente na variação de concentração de partículas ficou evidenciado na comparação dos dados entre sala ocupada e desocupada. Neste último estado, os valores de TPS medidos são significativamente menores que no estado ocupado, mostrando que as pessoas são a maior fonte geradora de partículas.

Já com relação à variação do TPS com a velocidade do ar, aparentemente ela não ocorre, já que os dados apontam neste sentido. Entretanto, não se pode afirmar que realmente não exista, dado que em ambientes com sistema de distribuição de ar pelo piso, com fluxo de deslocamento, as velocidades são muito baixas (cerca de 0,1 m/s).

Os valores resultantes de IERC na primeira etapa das medições foram

quase sempre maiores para ambiente ocupado o que pode indicar uma relação com a presença de pessoas. Isto poderia ser justificado pela ocorrência mais acentuada do processo de convecção natural que facilita o transporte de partículas para as zonas superiores do ambiente, tornando a sua concentração ao nível da exaustão do ar maior que ao nível da zona de respiração, resultando em valores superiores de IERC.

O índice de efetividade da ventilação característico deste tipo de sistema de climatização, que é superior à unidade, foi alcançado em três situações na primeira etapa das medições: no *setpoint* de 23° C para ambiente ocupado, no *setpoint* de 25°C para ambiente ocupado e no de 25°C para ambiente desocupado.

Na segunda etapa das medições, o IERC tanto para sala ocupada como para sala desocupada, e para todos os tamanhos de partículas, está próximo ou superior à unidade. Os IERC para partículas de 0,5 µm foram sempre próximos ou inferiores à unidade. Para partículas a partir de 1 µm, foram sempre superiores à unidade. Os maiores valores de IERC foram observados para partículas de 10 µm (para as condições de operação do sistema de 21°C, 24°C e 22°C), a seguir para partículas de 5 µm (23°C e 25°C) e finalmente para partículas de 3 µm (26°C). Pode-se inferir que este sistema de climatização mostra-se mais eficiente na remoção de partículas maiores ou iguais a 1 µm, partículas consideradas finas a grossas segundo EPA (2007). Analisando-se a relação dos IERC com os *setpoints* de temperatura, para ambiente ocupado, a 22°C e 26°C, todos os índices calculados (para todos os tamanhos de partículas analisados) foram superiores a 1. Possivelmente, nestes dias foram adotadas as melhores condições de operação do sistema para o período em questão (maior efetividade da ventilação). Vale ressaltar que, o diferencial de temperatura entre retorno e insuflamento mais elevado, indicador de maior estratificação da temperatura no ambiente, deve ter propiciado uma maior efetividade na remoção de partículas nestes dias.

Os valores medidos para as vazões de insuflamento e retorno na primeira etapa das medições apontaram algumas discrepâncias como nos *setpoints* de 25°C e 26°C. Nestes casos as vazões de retorno foram significativamente maiores que as vazões de insuflamento. A vazão de retorno está diretamente ligada à frequência de rotação do ventilador de retorno do ar, isto é, quanto maior a frequência de rotação desse ventilador, maior a vazão de retorno do ar. Este acréscimo de vazão em relação à vazão de insuflamento ocorre porque nessa situação há certamente

infiltração de ar externo no ambiente. Esta pode ter sido uma das causas da maior concentração de partículas em suspensão TPS no ambiente, especialmente no *setpoint* de 25°C, conforme observado anteriormente: uma entrada adicional de material particulado no ambiente sem passar pelo sistema filtrante. Não se pode afirmar uma relação direta entre o valor de IERC e o valor da vazão de retorno, pois mesmo para um valor de vazão de retorno mais baixo como no *setpoint* de 23°C, o valor de IERC foi superior à unidade (Tabela 5).

Na segunda etapa das medições, não foi possível nenhuma análise envolvendo as vazões de insuflamento e retorno, pois houve falha do equipamento na medição das mesmas como pode ser observado na Tabela 6 e na Tabela 7.

10.3 Análise dos resultados de medições de níveis de CO₂

Analisando-se os Índices de Efetividade na Remoção de CO₂ (IERCO₂) em função das condições de operação do sistema, observa-se que, tanto para ambiente ocupado como desocupado, os valores mantiveram-se próximos à unidade (0,98 para 25°C, ambiente ocupado) ou superiores (1,16 para 22°C, ambiente desocupado). Portanto, o sistema mostrou-se eficiente na remoção de CO₂ do ambiente.

No entanto, os índices mais elevados foram observados em ambiente desocupado. Isto pode ter ocorrido tanto por influência dos níveis de CO₂ do ar externo (não monitorados neste estudo), como pelo horário da medição para ambiente desocupado. Esta medição foi realizada poucos minutos após a saída dos alunos da última aula, e, portanto é provável que o ar da sala não tenha sido renovado por completo, acarretando concentrações de CO₂ próximo à exaustão do ar superiores ao nível de respiração. Os maiores índices, tanto para ambiente ocupado como desocupado foram registrados na condição de 22°C, quando também foram observados os maiores diferenciais de temperatura entre retorno e insuflamento do ar, o que deve ter favorecido este resultado (maior estratificação da temperatura do ar no ambiente).

11 CONCLUSÃO DO TRABALHO E CONTRIBUIÇÕES

Este trabalho visou verificar, experimentalmente, a contribuição do sistema de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso para a qualidade do ar do ambiente, sendo o objeto de estudo um laboratório utilizado como sala de aula de ensino de CAD no Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em condições reais de uso.

No desenvolvimento do trabalho, constatou-se que as adaptações feitas ao método adotado (originalmente próprio para regimes permanentes) foram adequadas para o regime transiente; no entanto, observou-se que a influência dos fatores externos sobre as variáveis do sistema e do ambiente dificultam as análises dos dados e, conseqüentemente, as conclusões podem não ser tiradas com exatidão. Sendo assim, as conclusões aqui apresentadas são consistentes, mas, devem ser interpretadas como fortes indicadores.

Das análises dos dados coletados, puderam ser tiradas as conclusões em relação à efetividade da ventilação deste sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso, tendo como principais informações os melhores índices de efetividade da ventilação (IERC e IERCO₂) obtidos, e quais as condições de operação do sistema correspondentes.

Toda a pesquisa experimental foi realizada sob condições de conforto térmico, o que foi comprovado pela análise dos dados de temperatura do ar e velocidade do ar.

Em relação à efetividade da ventilação, tanto na remoção de partículas como de CO₂ do ambiente interior, este sistema mostrou-se eficiente, apresentando índices próximos ou superiores à unidade, sendo essa eficiência uma característica do sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso já confirmado por diversos autores referidos neste trabalho. No caso desta pesquisa, todas as combinações de *setpoints* para operação do sistema se mostraram adequadas para se obter efetividade da ventilação. Dos resultados globais observa-se que, para ambiente ocupado, o maior índice de efetividade na remoção de contaminantes para o total de partículas em suspensão é de 1,06 (primeira etapa das medições, para a condição de ensaio em 23°C) e o maior índice de efetividade na remoção de CO₂ de 1,07 (segunda etapa das medições, para a condição de ensaio em 22°C). Para estes

casos em especial, as melhores combinações de *setpoints* de operação do sistema são as apresentadas na Tabela 8 e na Tabela 9.

É importante ressaltar que, no que diz respeito às condições de operação do sistema, as combinações de *setpoints* são dependentes das condições climáticas, ou seja, do ganho de calor externo, em se mantendo constante o ganho interno. Portanto, as condições de operação do sistema apresentadas neste trabalho podem ser ligeiramente diferentes sob condições climáticas diversas das ocorridas durante esta pesquisa.

Tabela 8 – Melhores *setpoints* de operação do sistema e condições climáticas correspondentes (1ª etapa das medições)

Variável / <i>Setpoint</i> de Temperatura (°C)	23
Diferencial de Pressão do Ar ΔP (Pa)	4,00
Temperatura do Ar Frio (°C)	14,0
Temperatura do Ar de Insuflamento (°C)	18,0
Diferencial de Temperatura do Ar ΔT (°C)	6,0
Temperatura do Ar Externo (°C)	27,1
Umidade Relativa do Ar Externo (%)	46

Tabela 9 – Melhores *setpoints* de operação do sistema e condições climáticas correspondentes (2ª etapa das medições)

Variável / <i>Setpoint</i> de Temperatura (°C)	22
Diferencial de Pressão do Ar ΔP (Pa)	5,00
Temperatura do Ar Frio (°C)	13,0
Temperatura do Ar de Insuflamento (°C)	15,5
Diferencial de Temperatura do Ar ΔT (°C)	8,0
Temperatura do Ar Externo (°C)	28,2
Umidade Relativa do Ar Externo (%)	62

Considera-se que os resultados desta pesquisa são de grande valia, principalmente pelo fato da mesma ter sido realizada nas condições reais de uso do ambiente, onde inúmeros fatores externos influem nas variáveis intrínsecas do sistema e do ambiente. Nessas condições, foi possível determinar como este sistema de climatização se comporta quanto à sua potencialidade na remoção de contaminantes e como ele depende das variações dos fatores ambientais, fato esse que deve ser também levado em conta nos projetos deste tipo de sistema.

Os resultados deste trabalho de pesquisa, no que concerne à efetividade da ventilação, contribuíram para preencher lacunas de informações para profissionais

da área de climatização (por exemplo, projetistas de sistemas e de automação) bem como para os usuários e proprietários das edificações.

Além disso, este estudo abre campo para outras pesquisas correlatas, visando ao aprimoramento do projeto e estratégia de operação deste tipo de sistema.

Ficam como sugestões os seguintes temas de pesquisa:

- Influência das condições climáticas na definição dos *setpoints* para operação do sistema.
- Efetividade da ventilação promovida pelo sistema de conforto térmico personalizado.
- Determinação experimental do potencial do sistema para economia de energia.
- Elaboração de um método de avaliação da efetividade da ventilação em ambientes na condição real de uso (regime transiente).

12 REFERÊNCIAS

ABE, V. C.; INATOMI, T. A. H; LEITE, B. C. C. Air Quality in UFAD Systems: literature overview. In: HEALTHY BUILDINGS: CREATING A HEALTHY INDOOR ENVIRONMENT FOR PEOPLE, 2006, Lisboa, Portugal. **Anais...** Lisboa, Portugal: IDMEC/FEUP, 2006. p. 425 - 430 – v. IV.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. **ANSI/ASHRAE Standard 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta - USA: 2004.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. **ANSI/ASHRAE Standard 62.1**: Ventilation for Acceptable Air Quality. Atlanta - USA: 2004.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. **ANSI/ASHRAE Standard 113**: Method of Testing for Room Air Diffusion. Atlanta - USA: 1990.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16401**. Instalações de ar condicionado - Sistemas centrais e unitários – Parte 3: Qualidade do Ar Interior. Brasil, 2008.

Association HQE - Haute Qualité Environnementale. **Certification for non-residential HQE building projects**. França, 2007.

BAUMAN, F.; PECORA, P.; WEBSTER, T. “**How Low Can You Go?**” Air Flow Performance of Low-Height Underfloor Plenums. Center for the Built Environment, University of California, Berkeley. 1999, 28 p.

BAUMAN, F.; WEBSTER, T. Outlook for Underfloor Air Distribution. **ASHRAE Journal**, v. 43, n. 6, p. 18-27, jun. 2001.

BAUMAN, F. S. **Underfloor Air Distribution (UFAD) Design Guide**. United States of America: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2003. 237 p.

BAUMAN, F. Designing Underfloor Air Distribution Systems. In: BETTERBRICKS WORKSHOP, 2005, Seattle, Portland, Estados Unidos. **Anais...** Seattle, Portland, Estados Unidos: BetterBricks, 2005.

BAUMAN, F.; WEBSTER, T.; BENEDEK, C. Cooling Airflow Design Calculations for UFAD. **ASHRAE Journal**. p. 36-44, out. 2007.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução – nº 09**. Determina a publicação de Orientação Técnica elaborada por Grupo Técnico Assessor, sobre Padrões Referenciais de QUALIDADE DO AR Interior, em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. Brasil, 2003. Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=17550&word=qualidade>>

do ar> Acesso em 26 Jul de 2006.

BRE Environmental Assessment Method. **BREEAM**. Reino Unido. Disponível em: <<http://www.breeam.org/page.jsp?id=66>>. Acesso em: 25 abr. 2008.

CANADÁ. Canadian Occupational Safety and Health Regulations (COSHR). **Regulations respecting occupational health and safety**. Part X: Hazardous Substances. 123 p. 2005. Disponível em: <<http://laws.justice.gc.ca/en/L-2/SOR-86-304/31739.html#rid-31844>>. Acesso em 29 jan. 2008.

CARMO, A. T.; PRADO, R. T. A. **Qualidade do Ar Interno**. São Paulo: Escola Politécnica da USP Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1999. 35 p. Texto Técnico/PCC/23. ISSN 1413-0386.

CB RICHARD ELLIS. Mercado de Escritórios – 3º Trimestre de 2009. **Market View - São Paulo e Rio de Janeiro**, 8 p, 2009. Disponível em: <<http://www.cbrichardellis.com.br/market.asp>>. Acesso em 10 dez. 2009.

CENTER FOR THE BUILT ENVIRONMENT. California. Apresenta recursos e atividades de pesquisa desenvolvidas. Disponível em: <<http://www.cbe.berkeley.edu/research/briefs-ufadmodel.htm>>. Acesso em 18 mai. 2009.

CERMAK, R., MELIKOV, A. K. Air Quality and Thermal Comfort in an Office with Underfloor, Mixing and Displacement Ventilation. **The International Journal of Ventilation**. v. 5, n. 3, p. 323-332, 2006.

CHAO, C. Y.; WAN, M. P. Experimental study of ventilation performance and contaminant distribution of underfloor ventilation systems vs. traditional ceiling-based ventilationsystem. **Indoor Air**, v. 14, n. 5, 306 p., Out. 2004.

CHARLES, K. E. Office air distribution systems and environmental satisfaction. **Institute for Research in Construction - National Research Council of Canada**. 23 p., 2002.

CHARLES, K. et al. Indoor Air Quality Guidelines and Standards. **Institute for Research in Construction - National Research Council of Canada**. 44 p., 2005.

CHO, S.; HABERL, J. S. A Survey of High-Performance Office Buildings in the United States. In: H&H-SYMPOSIUM ON IMPROVING BUILDING SYSTEMS IN HOT AND HUMID CLIMATES, 2006. **Anais...** H&H-Symposium on Improving Building Systems in Hot and Humid Climates, 2006.

CHOU, P. C. et al. Influence of Ventilation Routes on Indoor Pollutant Elimination in a Working Environment. **Indoor and Built Environment**. v. 15, n. 5, p. 473–481, 2006.

Comité Européen du Normalisation. **CR 1752**. Ventilation for Buildings: Design Criteria for the Indoor Environment, 1998.

DALY, A. Underfloor Air Distribution: Lessons Learned. **ASHRAE Journal**, v. 44, n. 55, p.21-24, 2002.

DIN Deutsches Institut für Normung. **ISO 7730**. Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Berlin, 2005.

DJUKANOVIC, R.; WARGOCKI, P.; FANGER, P. O. Cost-benefit Analysis of Improved Air Quality in an Office Building. In: **INDOOR AIR**, 2002, Monterey – California, Estados Unidos. **Anais...** Monterey –California, Estados Unidos: Indoor Air, 2002, p. 808-813, v. 1.

ESTADOS UNIDOS.California Energy Commission. **Advanced HVAC Systems for Improving Indoor Environmental Quality and Energy Performance of California K-12 Schools**. California: 2006. 137 p.

ESTADOS UNIDOS.California Energy Commission. **Underfloor air: better models, better performance**. California: 2007a. 2 p.

ESTADOS UNIDOS.California Energy Commission. **Energy Performance of Underfloor Air Distribution Systems**. California: 2007b. 82 p.

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. **Environmental Report**: Chapter 2 – Air. 119 p., 2007.

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. **Code of Federal Regulations**: Title 40, Part 50. National Ambient Air Quality Standards. 44 p. 2000. Disponível em: < <http://www.epa.gov/ttn/naaqs/>>. Acesso em 29 jan. 2008.

European Committee for Standardization. **EN 779**: Particulate filters for general ventilation: Determination of the filtration performance. 2002.

FANG, L. et al. Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance. **Indoor Air**. n. 14 (sup. 7), p. 74-81, 2004.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1970.

FANGER, P. O. What is IAQ? **Indoor Air**. n. 16, p. 328–334, 2006.

FISK, W. J. et al. Performance and costs of particle air filtration technologies. **Indoor Air**. n. 12, p. 223–234, 2002.

FISK, W. J. et al. Performance of Underfloor Air Distribution in a Field Setting. **International Journal of Ventilation**. v. 5, n. 3, p. 291-300, 2005.

FISK, W.; FAULKNER, D.; SULLIVAN, D. Performance of underfloor air distribution: Results of a field study. **Energy Citations Database**, Sep. 2004. Disponível em: <<http://www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/840446-pt59s/native/>>. Acesso em: 19 mar. 2007.

FISK, W.; SEPPANEN, O. Providing Better Indoor Environmental Quality Brings Economic Benefits. In: 9th REHVA WORLD CONGRESS CLIMA: WELLBEING INDOORS, 2007, Helsinki, Finland. **Anais...** Helsinki - Finland: 9th REHVA World Congress Clima: Wellbeing Indoors, 2007. p. 3-19.

GAO, N. P.; NIU, J. L. Modeling particle dispersion and deposition in indoor environments. **Atmospheric Environment**. n. 41, p. 3862–3876, 2007.

GOTO, T. et al. Transient thermal sensation and comfort resulting from adjustment of clothing insulation. In: HEALTHY BUILDINGS: 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ENERGY-EFFICIENT HEALTHY BUILDINGS, 2003, Singapura. **Anais...** Singapura: Healthy Buildings 7th International Conference Energy-Efficient Healthy Buildings, 2003. p. 835-840.

GRANDES REPORTAGENS – O ESTADO DE SÃO PAULO. São Paulo, Agosto de 2008. Megacidades.

GRAUDENZ, G. S., et al. Association of air-conditioning with respiratory symptoms in office workers in tropical climate. **Indoor Air**. n.15, p. 62–66, 2005.

Green Building Council Australia. **Green Star**. Australia. Disponível em: < <http://www.gbca.org.au/green-star/>>. Acesso em: 25 abr. 2008.

HAGHIGHAT, F.; DONNINI, G. Impact of psycho-social factors on perception of the indoor air environment studies in 12 office buildings. **Building and Environment**, n. 23, p. 368-492, 1999.

HO, S. H. **Numerical Simulation of Thermal Comfort and Contaminant Transport in Air Conditioned Rooms**. 2004. 108 p. Tese (Mestrado) - Department of Mechanical Engineering College of Engineering University of South Florida. Florida, 2004.

HONG KONG. Indoor Air Quality Management Group. **A Guide on Indoor Air Quality Certification Scheme**. 2003. 36 p. Disponível em: <<http://www.iaq.gov.hk/second.asp?language=en&page=scheme&sub=>>>. Acesso em 29 jan. 2008.

HUI S. C. M.; LI Y. Enhancing Sustainability of Buildings by Using Underfloor Air Conditioning Systems. In: SYMPOSIUM OF THE CHONGQING-HONG KONG JOINT, 2002, Chongqing, China. **Anais...** China: The Chongqing-Hong Kong Joint, 2002. p. A113-121. Disponível em: <<http://www.arch.hku.hk/~cmhui/chongqing-upac01.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2007.

HUIZENGA, C. et al. Air Quality and Thermal Comfort in Office Buildings: Results of a Large Indoor Environmental Quality Survey. In: HEALTHY BUILDINGS 2006, Lisbon, Portugal. **Anais...** Lisbon - Portugal: Healthy Buildings 2006, v.3, p. 393-397.

IKEDA, M. J. **Determinação de Índices de Ajuste no Controle de Sistema de Condicionamento de Ar do Tipo “Teto Frio”**. 2008. 190 p. Dissertação (Mestrado)

- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

IM, P.; CHO, S.; HABERL, J. Literature Review on Underfloor Air Distribution (UFAD) System. **Energy Systems Laboratory - Texas A&M University Database**, 2005. Disponível em < <http://handle.tamu.edu/1969.1/2846>>. Acesso em 04 set. 2007.

International Standards Organization. **ISO 7726**: Thermal environments – Instruments and methods for measuring physical quantities. Geneva, 1998.

ITACARAMBI, P. **Economia e mercado e as empresas de construção civil**. São Paulo, 05 set. 2008. Palestra proferida por ocasião do I Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável, São Paulo, 2008.

KOSONEN, R.; TAN, F. The effect of perceived indoor air quality on productivity loss. **Energy and Buildings**, n. 36, p. 981–986, 2004.

LAGERCRANTZ, L. et al. Negative impact of air pollution on productivity: Previous Danish findings repeated in new Swedish test room. In: HEALTHY BUILDINGS, 2000, Helsinki, Finland. **Anais...** Helsinki – Finland: Healthy Buildings, 2000, p. 653-658, v.1.

LEHRER, D. R.; BAUMAN, F. S. Hype Vs. Reality: New Research Findings on Underfloor Air Distribution Systems. **CBE Database**, 2003. Disponível em: <http://www.cbe.berkeley.edu/research/pdf_files/Lehrer2003_UFAD.pdf>. Acesso em 14 mai. 2007.

LEITE, B. C. C.; TRIBESS, A.; ORNSTEIN, S. W. Work environment thermal evaluation with underfloor air supply applied to a commercial building in Rio de Janeiro, Brazil. In: ROOMVENT 2000: 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ON AIR DISTRIBUTION IN ROOMS, 2000, Oxford, UK. **Anais...** Oxford – UK: 7th International Conference on Air Distribution in Rooms, 2000. v. 2, p. 989-994.

LEITE, B. C. C.; TRIBESS, A. Conforto Térmico em Ambientes de Escritórios com Distribuição de Ar pelo piso. In: CONBRAVA: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, VENTILAÇÃO E CONDICIONAMENTO DE AR, 2001, São Paulo. **Anais...** São Paulo: VII Congresso Brasileiro de Refrigeração, Ventilação e Condicionamento de Ar, 2001, p.119-127.

LEITE, B. C. C.; TRIBESS, A. Analysis of the Underfloor Air Distribution System: Thermal Comfort and Energy Consumption. In: ROOMVENT 2002: 8th International Conference on Air Distribution in Rooms, 2002, Copenhagen, Denmark. **Anais...** Copenhagen – Denmark: 8th International Conference on Air Distribution in Rooms, 2002a. p. 245 - 248.

LEITE, B. C. C.; TRIBESS, A. Determinação de Parâmetros de Conforto Térmico e Condições de Operação de Sistema de Ar Condicionado com Insuflamento pelo Piso. In: II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA – CONEM, 2002. **Anais...** II Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM, 2002b. 10 p.

LEITE, B.C.C. **Sistema de Ar Condicionado com Insuflamento pelo Piso em Ambientes de Escritórios: Avaliação do Conforto Térmico e Condições de Operação**. 2003. 152 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

LEITE, B.C.C. ; TRIBESS, A. Analysis of thermal comfort in an office environment with underfloor air supply in a tropical climate. **International Journal Of Heating Ventilating Air Conditioning and Refrigerating Research**, Atlanta, USA, v. 12, n. 2, p. 215-229, 2006.

LI, C.; LI, N. **Performance of Supply Airflow Entrainment for Particles in an Underfloor Air Distribution System**. Texas: Energy Systems Laboratory, A&M University System 2006, 7 p. Disponível em: <<http://repository.tamu.edu/handle/1969.1/5436>>. Acesso em 25 nov. 2007.

LI, Y., et al. Effects of building material on levels of volatile organic compounds in Taiwan's typical office buildings. In: **HEALTHY BUILDINGS: 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ENERGY-EFFICIENT HEALTHY BUILDINGS**, 2003, Singapura. **Anais...** Singapura: Healthy Buildings 7th International Conference Energy-Efficient Healthy Buildings, 2003. p. 372 – 379.

LOCKWOOD, C. Building the green way. **Harvard Business Review**, USA, 10 p., 2006.

MEGERSON, J. E.; LARSON, C. R. Underfloor for Schools. **ASHRAE Journal**. p. 28-32, mai. 2008.

MENDELL, M. J. et al. **Indoor Environmental Risk Factors for Occupant Symptoms in 100 U.S. Office Buildings: Summary of Three Analyses from the EPA BASE Study**. 2006. Disponível em: <<http://eetd.lbl.gov/ied/pdf/LBNL-59659.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2007.

MITCHELL, C. S., et al. Current State of the Science: Health Effects and Indoor Environmental Quality. **Environmental Health Perspectives**. v. 115, n. 6., p. 958-964, jun. 2007.

MONTANYA, E. C.; KEITH, D.; LOVE, J. Integrated Design & UFAD. **ASHRAE Journal**. p. 30-41, jul. 2009.

MUHIC, S.; BUTALA, V. The influence of indoor environment in office buildings on their occupants: expected–unexpected. **Building and Environment**, n. 39, p. 289 – 296, 2004.

MUNDT, E. Non-buoyant pollutant sources and particles in displacement ventilation. **Building and Environment**, v. 36, n. 7, p. 829-836, Aug. 2001.

MUNDT, E. et al. **Ventilation Effectiveness**. Guidebook n. 2. Bélgica: Rehva, 2004. 74 p.

NASROLLAHI, N.; KNIGHT, I.; JONES, P. Workplace Satisfaction and Thermal

Comfort in Air Conditioned Office Buildings: Findings from a Summer Survey and Field Experiments in Iran. **Indoor and Built Environment**, v.17, n. 1, p. 69-79, 2008.

OLESEN, B. W. INTERNATIONAL STANDARDS FOR THE INDOOR ENVIRONMENT. WHERE ARE WE AND DO THEY APPLY WORLDWIDE? **Indoor Air**. v. 14, n. 7, p. 18-26, 2004.

OLESEN, B. W. Indoor Environment- Health-Comfort and Productivity. In: CLIMA, Lausanne, Suíça, 2005. **Anais...** Lausanne – Suíça: Clima, 2005, 17 p.

PEREIRA, M. L. et al. Characterization of Particle Concentration at the Respiration Zone in an Office Environment Using Four Different Types of Ventilation Systems. In: MERCOFRIO 2006: V CONGRESSO DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO DO MERCOSUL, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. **Anais...** Porto Alegre – Rio Grande do Sul: Mercofrio, 2006. 10 p.

PEREIRA, M. L. **Medição, Predição e Análise de Partículas Aéreas em Salas Cirúrgicas**. 2008. 196 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

PEREIRA, M. L. et al. Determination of particle concentration in the breathing zone for four different types of office ventilation systems. **Building and Environment**, n. 44, p. 904-911, 2009.

RAIMUNDO, A. M.; COSTA, J. J.; OLIVEIRA, S. A., 2002. Numerical modelling of particle dispersion within a displacement ventilation system. In: ROOMVENT 2002: 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON AIR DISTRIBUTION IN ROOMS, Copenhagen, Denmark. **Anais...** Copenhagen – Denmark: 8th International Conference on Air Distribution in Rooms, 2002. p. 125 – 128.

REYNOLDS, S. J., et al. Indoor Environmental Quality in Six Commercial Office Buildings in the Midwest United States. **Applied Occupational and Environmental Hygiene**, v. 16, n. 11, p. 1065–1077, 2001.

SEKHAR, S. C.; CHING, C. S. Indoor Air Quality and Thermal Comfort Studies of an Underfloor Air Conditioning System in the Tropics. **Energy and Buildings**. n. 34, p. 431-444, 2002.

SEPPANEN, O.; FISK, W. J. Relationship of SBS-Symptoms and Ventilation System Type in Office Buildings. In: INDOOR AIR 2002, Monterey –California, Estados Unidos. **Anais...** Monterey –California, Estados Unidos: Indoor Air, 2002, v. 3, p. 437-442.

SEPPANEN, O. A.; FISK, W. J. Summary of human responses to ventilation. **Indoor Air**. n. 14 (sup.7), p.102–118, 2004.

SHIRAI, R.; BAUMAN, F.; ZAGREUS, L. **First Post-Occupancy Evaluation (POE) of Block 225: Capitol Area East End Complex**. 2003, 50 p. Disponível em: <<http://www.cbe.berkeley.edu/research/briefs-eastend.htm>> Acesso em 04 nov. 2007.

SPENGLER, J.D.; CHEN, Q. Indoor air quality factors in designing a healthy building. **Annual Review of Energy and the Environment**, n. 25, p. 567-600, 2000.

STATE ENERGY CONSERVATION OFFICE. Apresenta recursos e atividades desenvolvidas. Disponível em: <http://www.seco.cpa.state.tx.us/TEP_Production/g/TEPMtgsb5-york_09082004_14.pdf>. Acesso em 20 mai. 2009.

SUNDELL, J. On the history of indoor air quality and health. **Indoor Air**. n.14 (sup. 7), p. 51–58, 2004.

United Nations. **Universal Declaration of Human Rights** (Resolution 217A (III)). New York – USA.1948.

U.S. Green Building Council. **LEED Reference Guide for Green Building Operations and Maintenance**. USA: 2009.

WALKER, C. E.; NORFORD, L. K. **Monitored Performance of an Office Building With an Underfloor Air Distribution System**. Texas: Energy Systems Laboratory, A&M University System 2005, 10 p. Disponível em: <<http://txspace.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/5105/ESL-IC-05-10-13.pdf?sequence=1>>. Acesso em 18 out. 2007.

WARGOCKI, P.; WYON, D. P.; FANGER, P. O. Productivity is Affected by the Air Quality in Offices. In: **HEALTHY BUILDINGS**, Helsinki, Finland, 2000. **Anais...** Helsinki, Finland: Healthy Buildings 2000, p. 635-640 - v. 1.

WARGOCKI, P. et al. The Effects of Outdoor Air Supply Rate in an Office on Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity. **Indoor Air**. n. 10, p. 222–236, 2000.

WARGOCKI, P., et al. Air quality in a simulated office environment as a result of reducing pollution sources and increasing ventilation. **Energy and Buildings**. n. 34 p. 775–783, 2002a.

WARGOCKI, P. et al. Ventilation and health in non-industrial indoor environments: report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN). **Indoor Air**. n. 12, p. 113–128, 2002b.

WARGOCKI, P.; DJUKANOVIC, R. Estimate of an economic benefit from investment in improved indoor air quality in an office building. In: **HEALTHY BUILDINGS: 7th INTERNATIONAL CONFERENCE ENERGY-EFFICIENT HEALTHY BUILDINGS**, 2003, Singapura. **Anais...** Singapura: Healthy Buildings 7th International Conference Energy-Efficient Healthy Buildings, 2003. p. 382-387, v. 3.

WEBSTER, T.; BAUMAN, F.; REESE, J. Underfloor Air Distribution: Thermal Stratification. **ASHRAE Journal**, v. 44, n. 5, mai. 2002.

WEBSTER, T. Alternative Air Conditioning Technologies: Underfloor Air Distribution (UFAD). **Energy Engineering**. v. 102, n. 6, p. 58–77, 2005.

WENER, R.; CARMALT, H. Environmental psychology and sustainability in high-rise structures. **Technology in Society**, n. 28, p. 157–167, 2006.

World Health Organization. **WHO 1985 Constitution**. Genebra – Suíça. 1985.

World Health Organization/EURO. **EUR/00/5020494**: The Right to Healthy Indoor Air. Copenhagen - Dinamarca. 2000.

WOODS, J.E. What real-world experience says about the UFAD alternative. **ASHRAE Journal**, v. 46, n. 2, p. 3-13, Feb. 2004.

WOODS, J. E.; NOVOSEL, D. Task 2: Underfloor Air Distribution (UFAD) – Results of Seminars. **National Center for Energy Management and Building Technologies**. 52 p., 2004.

WYON, D. P. **Enhancing Productivity While Reducing Energy Use in Buildings**. 2000. p. 22. Disponível em: <https://www.rand.org/pubs/conf_proceedings/CF170.1-1/CF170.1.wyon.pdf> Acesso em 25 out. 2007.

WYON, D. P. The effects of indoor air quality on performance and productivity. **Indoor Air**. n.14 (sup. 7), p. 92–101, 2004.

XING H.; HATTON A.; AWBI H. B. A study of the air quality in the breathing zone in a room with displacement ventilation. **Building and Environment**, v. 36, n. 7, p. 809-820, Aug 2001.

YANG, X. et al. Performance of three air distribution systems in VOC removal from an area source. **Building and Environment**. n. 39, p. 1289 –1299, 2004.

YUSOF, M.Z.M.; LEMAN, A.M.; HUSAIN. A.; SHAH, S.M.R. The effectiveness of underfloor air distribution (UFAD) system in controlling thermal comfort and indoor air quality. In: **HEALTHY BUILDINGS: CREATING A HEALTHY INDOOR ENVIRONMENT FOR PEOPLE**, 2006, Lisboa, Portugal. **Anais...** Lisboa, Portugal: IDMEC/FEUP, 2006. p. 135 - 140 - v. II.

ZAGREUS L. et al. Listening to the occupants: a Web-based indoor environmental quality survey. **Indoor Air**. n. 14 (sup. 8), p. 65-74, 2004.

ZHANG, Z.; CHEN, Q. Experimental measurements and numerical simulations of particle transport and distribution in ventilated rooms. **Atmospheric Environment**. n. 40, p. 3396–3408, 2006.

13 BIBLIOGRAFIA

ABE, V. C.; LEITE, B. C. C. Influência do layout em sistemas de distribuição de ar-condicionado pelo piso. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis, SC: ANTAC, 2006.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. **ASHRAE Handbook-Fundamentals (SI)**: Measurement and Instruments (Chapter 14). Atlanta – USA, 2005.

CHIANG, C.M.; CHEN, C. C.; SHAO, W. C.; CHEN, J. L. A Study on VOCs Emitted Characteristics from Taiwan's Furniture & Building Material in Full Scale Chamber. In: HEALTHY BUILDINGS: CREATING A HEALTHY INDOOR ENVIRONMENT FOR PEOPLE, 2006, Lisboa, Portugal. **Anais...** Lisboa, Portugal: IDMEC/FEUP, 2006. p. 151 – 156 - v. IV.

EL ALGHOURY, A. TVOC Emissions of New Vinyl Flooring Formulations. In: HEALTHY BUILDINGS: CREATING A HEALTHY INDOOR ENVIRONMENT FOR PEOPLE, 2006, Lisboa, Portugal. **Anais...** Lisboa, Portugal: IDMEC/FEUP, 2006. p. 41 - 44 – v. IV.

HIRNIKEL, D. J.; LIPOWICZ, P. J.; LAU, R. W. Predicting contaminant removal effectiveness of three air distribution systems by CFD modeling. **ASHRAE Transactions**, v. 108, n. 1, p. 350-359, 2002.

IMP.; CHO S.; HABERL J. S. **Literature Review on Underfloor Air Distribution (UFAD) System**. Texas: Energy Systems Laboratory, A&M University System, Jun. 2005.24p. Disponível em: <<https://txspace.tamu.edu/handle/1969.1/2846?mode=full>>. Acesso em: 22 mar. 2007.

JANG, S. K.; KIM, M. H.; LEE, H. S.; SEO, S. Y.; LEE, W. S. Characteristics of TVOC and Formaldehyde Emission from Building Materials. In: HEALTHY BUILDINGS: CREATING A HEALTHY INDOOR ENVIRONMENT FOR PEOPLE, 2006, Lisboa, Portugal. **Anais...** Lisboa, Portugal: IDMEC/FEUP, 2006. p. 135 – 138 – v. IV.

MCDONELL, G. Underfloor and displacement: why they're not the same. **ASHRAE Journal**, v. 45, n. 7, p. 18-21, Jul. 2003.

MORAES, A. P. **Avaliação da Concentração de Aerodispersóides em Ambientes Internos**. 2006. 162 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

NOVOSELAC, A; SREBRIC, J. Comparison of air exchange efficiency and contaminant removal effectiveness as IAQ indices. **ASHRAE Transactions**. v. 109, n. 2, p. 339-349, 2003.

ANEXO A – PERFIS DE TEMPERATURA E VELOCIDADE DO AR NA PRIMEIRA ETAPA DAS MEDIÇÕES (AMBIENTE OCUPADO E DESOCUPADO)

Figura 62 - Perfis de temperatura do ar: ambiente ocupado e desocupado.

Figura 63 - Perfis de velocidade do ar: ambiente ocupado e desocupado

ANEXO B – PERFÍS E TABELAS DE TEMPERATURA E VELOCIDADE DO AR PARA TODAS AS HASTES - PRIMEIRA E SEGUNDA ETAPAS DAS MEDIÇÕES - (AMBIENTE OCUPADO E DESOCUPADO)

Figura 64 – 1ª Etapa: perfis de temperatura do ar de 21°C a 23°C - ambiente ocupado

Figura 65 – 1ª Etapa: perfis de temperatura do ar de 24°C a 26°C - ambiente ocupado

Figura 66 – 1ª Etapa: perfis de temperatura do ar de 21°C a 23°C - ambiente desocupado

Figura 67 – 1ª Etapa: perfis de temperatura do ar de 24°C a 26°C - ambiente desocupado

Figura 68 – 1ª Etapa: perfis de velocidade do ar de 21°C a 23°C - ambiente ocupado

Figura 69 - 1ª Etapa: perfis de velocidade do ar de 24°C a 26°C - ambiente ocupado

Figura 70 - 1ª Etapa: perfis de velocidade do ar de 21°C a 23°C - ambiente desocupado

Figura 71 - 1ª Etapa: perfis de velocidade do ar de 24°C a 26°C - ambiente desocupado

Figura 72 - 2ª Etapa: perfis de temperatura do ar de 21°C a 23°C - ambiente ocupado

Figura 73 - 2ª Etapa: perfis de temperatura do ar de 24°C a 26°C - ambiente ocupado

Figura 74 - 2ª Etapa: perfis de temperatura do ar de 21°C a 23°C - ambiente desocupado

Figura 75 - 2ª Etapa: perfis de temperatura do ar de 24°C a 26°C - ambiente desocupado

Figura 76 - 2ª Etapa: perfis de velocidade do ar de 21°C a 23°C - ambiente ocupado

Figura 77 - 2ª Etapa: perfis de velocidade do ar de 24°C a 26°C - ambiente ocupado

Figura 78 - 2ª Etapa: perfis de velocidade do ar de 21°C a 23°C - ambiente desocupado

Figura 79 - 2ª Etapa: perfis de velocidade do ar de 24°C a 26°C - ambiente desocupado

Tabela 10 - 1ª Etapa (21°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

1ª etapa															
Ambiente ocupado		Temperatura do Ar (°C)													
Setpoint 21°C		Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)															
0,10	Média	21,3	21,3	21,1	21,3	21,0	21,0	21,1	19,4	21,0	20,6	20,5	20,9	20,6	
	DP	0,8	0,9	0,9	0,6	0,6	0,8	0,8	0,5	0,6	0,6	0,4	0,6	0,6	
0,60	Média	21,1	21,3	21,2	21,5	21,4	21,7	21,2	21,1	20,8	20,8	21,3	21,5	20,9	
	DP	0,9	0,9	0,6	0,7	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	
1,10	Média	NR	22,2	21,7	22,3	22,2	22,6	22,5	22,2	22,7	21,8	22,8	22,2	21,6	
	DP	NR	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	
1,70	Média	22,7	22,7	22,3	22,7	23,0	23,1	22,7	22,7	23,1	22,7	23,2	23,0	22,3	
	DP	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	
2,00	Média	22,9	22,9	22,4	22,9	23,0	23,5	22,8	22,7	23,0	22,8	23,4	23,1	22,0	
	DP	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,7	0,7	
2,35	Média	22,8	23,0	23,0	23,3	23,2	23,5	23,1	23,0	23,1	23,1	24,2	23,5	22,7	
	DP	0,7	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,7	0,7	

Tabela 11 - 1ª Etapa (21°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

1ª etapa															
Ambiente desocupado		Temperatura do Ar (°C)													
Setpoint 21°C		Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)															
0,10	Média	22,2	22,2	21,9	21,6	21,2	21,4	21,7	19,6	21,4	20,9	21,0	21,2	20,9	
	DP	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	
0,60	Média	22,1	22,0	21,5	22,1	22,0	21,8	21,2	21,4	20,9	20,8	21,5	21,6	21,1	
	DP	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	
1,10	Média	NR	22,1	21,6	22,4	22,1	22,8	22,4	22,3	22,4	21,2	23,0	22,1	21,5	
	DP	NR	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	
1,70	Média	22,8	22,7	22,2	23,0	23,0	23,0	22,6	22,5	23,0	22,7	23,2	22,6	22,2	
	DP	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	
2,00	Média	23,0	22,9	22,7	23,1	23,0	23,3	22,6	22,5	22,8	22,7	23,2	22,7	21,8	
	DP	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	
2,35	Média	22,9	22,9	23,3	23,3	22,9	23,3	22,9	22,7	22,7	23,0	23,7	23,0	22,7	
	DP	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	

Tabela 12 - 1ª Etapa (21°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

1ª etapa															
Ambiente ocupado		Velocidade do Ar (m/s)													
Setpoint 21°C		Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)															
0,10	Média	0,03	0,03	0,05	0,11	0,10	0,03	0,04	0,02	0,03	0,10	0,12	0,02	NR	
	DP	0,21	0,03	0,05	0,11	0,10	0,03	0,04	0,02	0,03	0,10	0,12	0,02	NR	
0,60	Média	0,25	0,04	0,09	0,04	0,17	0,28	0,04	0,03	0,05	0,07	0,04	0,03	NR	
	DP	0,02	0,01	0,02	0,01	0,07	0,26	0,01	0,00	0,03	0,02	0,01	0,00	NR	
1,10	Média	NR	0,04	0,05	0,04	0,07	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06	0,02	0,04	NR	
	DP	NR	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,02	NR	
1,70	Média	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,07	0,03	0,43	0,03	0,03	0,03	0,02	
	DP	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,07	0,00	0,01	0,00	0,01	
2,00	Média	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	1,10	0,02	0,38	0,26	0,05	0,03	0,04	
	DP	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,84	0,01	0,05	0,15	0,01	0,00	0,01	
2,35	Média	0,18	0,05	0,03	0,02	0,03	0,03	0,08	0,04	0,36	0,03	0,05	0,03	0,03	
	DP	0,04	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,04	0,01	0,04	0,00	0,02	0,00	0,02	

Tabela 13 - 1ª Etapa (21°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

1ª etapa															
Ambiente desocupado		Velocidade do Ar (m/s)													
Setpoint 21°C		Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)															
0,10	Média	0,22	0,03	0,10	0,14	0,15	0,04	0,03	0,03	0,03	0,10	0,13	0,02	NR	
	DP	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	NR	
0,60	Média	0,21	0,04	0,09	0,03	0,08	0,07	0,06	0,03	0,04	0,08	0,05	0,03	NR	
	DP	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02	0,05	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	NR	
1,10	Média	NR	0,03	0,07	0,03	0,07	0,02	0,03	0,03	0,03	0,10	0,02	0,02	NR	
	DP	NR	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	NR	
1,70	Média	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,07	0,03	0,40	0,02	0,03	0,03	0,02	
	DP	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	
2,00	Média	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,51	0,02	0,40	0,01	0,05	0,03	0,05	
	DP	0,00	0,00	0,06	0,01	0,01	0,00	0,14	0,01	0,03	0,02	0,00	0,00	0,01	
2,35	Média	0,17	0,04	0,07	0,03	0,03	0,03	0,09	0,03	0,37	0,04	0,02	0,03	0,08	
	DP	0,02	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,03	0,00	0,03	0,01	0,01	0,00	0,03	

Tabela 14 - 1ª Etapa (22°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

1ª etapa															
Ambiente ocupado		Temperatura do Ar (°C)													
Setpoint 22°C		Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)															
0,10	Média	22,6	22,8	22,3	22,5	22,1	22,4	22,5	20,7	22,1	21,8	21,6	22,0	21,8	
	DP	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	
0,60	Média	22,5	22,7	22,0	22,6	22,8	22,9	22,3	22,3	21,6	21,9	22,4	22,5	21,9	
	DP	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	
1,10	Média	22,72	22,9	22,1	23,2	23,1	23,6	23,7	23,2	23,6	22,6	23,9	23,2	22,5	
	DP	0,521	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	
1,70	Média	23,6	23,7	22,6	23,7	24,0	24,0	23,9	23,6	24,0	23,8	24,1	23,8	23,4	
	DP	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	
2,00	Média	23,8	23,9	23,4	23,9	24,0	24,4	23,9	23,7	24,0	23,8	24,3	24,0	23,2	
	DP	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	
2,35	Média	23,8	23,9	24,0	24,2	24,2	24,5	24,1	23,9	23,9	24,2	25,0	24,3	23,9	
	DP	0,5	0,5	0,4	0,6	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	

Tabela 15 - 1ª Etapa (22°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

1ª etapa															
Ambiente desocupado		Temperatura do Ar (°C)													
Setpoint 22°C		Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)															
0,10	Média	23,3	23,1	22,7	23,2	22,6	22,9	22,8	21,5	22,6	22,1	22,4	22,4	22,2	
	DP	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	0,2	0,3	
0,60	Média	23,2	22,9	22,3	23,3	23,2	23,4	22,3	22,7	22,0	22,0	23,0	22,7	22,2	
	DP	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	
1,10	Média	23,03	23,0	22,2	23,5	23,3	23,7	23,6	23,7	23,3	22,5	24,4	23,2	22,6	
	DP	0,306	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,3	
1,70	Média	24,0	23,8	22,4	24,1	24,0	24,0	23,7	23,8	24,0	23,9	24,5	23,7	23,5	
	DP	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	
2,00	Média	24,2	24,1	23,4	24,3	24,1	24,2	23,7	23,7	23,9	23,9	24,4	23,8	23,3	
	DP	0,1	0,2	0,4	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	
2,35	Média	24,1	24,1	24,2	24,6	24,1	24,4	23,9	24,1	23,8	24,2	24,9	24,2	24,1	
	DP	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	

Tabela 16 - 1ª Etapa (22°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

1ª etapa														
Ambiente ocupado		Velocidade do Ar (m/s)												
Setpoint 22°C														
	Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)														
0,10	Média	0,19	0,03	0,11	0,10	0,11	0,02	0,04	0,02	0,03	0,11	0,13	0,02	NR
	DP	0,02	0,00	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	NR
0,60	Média	0,24	0,03	0,08	0,04	0,42	0,15	0,05	0,03	0,10	0,11	0,05	0,03	NR
	DP	0,02	0,01	0,01	0,01	0,72	0,11	0,01	0,00	0,03	0,03	0,01	0,00	NR
1,10	Média	0,13	0,04	0,11	0,03	0,10	0,01	0,03	0,04	0,03	0,08	0,03	0,04	NR
	DP	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,06	0,01	0,01	0,01	0,02	NR
1,70	Média	0,03	0,03	0,05	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,38	0,03	0,03	0,03	0,02
	DP	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,06	0,00	0,01	0,00	0,01
2,00	Média	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,43	0,02	0,42	0,13	0,05	0,03	0,02
	DP	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,25	0,01	0,06	0,07	0,01	0,00	0,01
2,35	Média	0,16	0,06	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,40	0,03	0,05	0,03	0,01
	DP	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,05	0,01	0,02	0,00	0,01

Tabela 17 - 1ª Etapa (22°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

1ª etapa														
Ambiente desocupado		Velocidade do Ar (m/s)												
Setpoint 22°C														
	Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)														
0,10	Média	0,17	0,03	0,12	0,11	0,12	0,03	0,02	0,03	0,25	0,12	0,14	0,03	NR
	DP	0,03	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,44	0,01	0,00	0,01	NR
0,60	Média	0,16	0,03	0,06	0,03	0,31	0,62	0,07	0,03	0,10	0,11	0,05	0,03	NR
	DP	0,04	0,01	0,01	0,00	0,05	0,22	0,01	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	NR
1,10	Média	0,15	0,04	0,10	0,03	0,07	0,01	0,03	0,03	0,03	0,09	0,08	0,02	NR
	DP	0,01	0,01	0,01	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	NR
1,70	Média	0,03	0,04	0,07	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,33	0,02	0,03	0,03	0,01
	DP	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,04	0,01	0,02	0,00	0,00
2,00	Média	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,71	0,01	0,33	0,02	0,05	0,03	0,03
	DP	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,32	0,01	0,04	0,03	0,01	0,00	0,01
2,35	Média	0,14	0,07	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,32	0,03	0,03	0,03	0,02
	DP	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01

Tabela 18 - 1ª Etapa (23°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

1ª etapa														
Ambiente ocupado		Temperatura do Ar (°C)												
Setpoint 23°C														
	Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)														
0,10	Média	22,2	22,2	22,0	22,0	21,7	21,9	22,1	20,5	21,6	21,5	21,6	21,8	21,4
	DP	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,2	0,4	0,3	0,3
0,60	Média	22,2	22,2	21,7	22,0	22,1	22,3	21,8	21,4	21,2	21,5	21,9	22,0	21,6
	DP	0,4	0,3	0,2	0,4	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,4	0,3	0,3
1,10	Média	22,2	22,3	21,6	22,3	22,2	22,6	22,6	22,3	22,5	21,9	23,0	22,6	21,7
	DP	0,3	0,3	0,2	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3
1,70	Média	22,7	22,7	21,7	22,8	23,1	23,1	22,9	22,6	23,1	22,7	23,5	23,2	22,5
	DP	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
2,00	Média	22,9	23,0	22,2	23,0	23,0	23,3	22,8	22,6	23,0	22,9	23,6	23,1	22,1
	DP	0,4	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
2,35	Média	22,9	22,9	23,0	23,3	23,0	23,3	23,0	22,8	22,8	23,0	24,0	23,3	22,7
	DP	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Tabela 19 - 1ª Etapa (23°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

1ª etapa														
Ambiente desocupado		Temperatura do Ar (°C)												
Setpoint 23°C														
	Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)														
0,10	Média	22,1	22,1	21,7	21,8	21,3	21,5	21,5	20,2	21,4	21,1	21,8	21,5	21,0
	DP	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,3	0,3
0,60	Média	22,2	21,9	21,4	21,9	21,7	21,8	21,3	21,4	21,1	21,0	21,8	21,5	21,1
	DP	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
1,10	Média	22,7	21,8	21,2	22,1	22,0	22,1	22,0	22,0	21,4	21,2	22,5	21,9	21,2
	DP	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
1,70	Média	22,1	22,0	21,3	22,4	22,5	22,6	22,4	21,9	22,6	21,7	22,9	22,6	21,9
	DP	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4
2,00	Média	22,3	22,5	21,5	22,6	22,7	22,8	22,3	21,9	22,4	22,2	23,1	22,6	21,4
	DP	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4
2,35	Média	22,5	22,6	22,1	22,8	22,6	22,6	22,5	22,4	22,1	22,2	23,9	22,6	22,1
	DP	0,5	0,4	0,6	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5

Tabela 20 - 1ª Etapa (23°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

1ª etapa															
Ambiente ocupado		Velocidade do Ar (m/s)													
Setpoint 23°C		Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)															
0,10	Média	0,16	0,03	0,10	0,12	0,09	0,03	0,03	0,03	0,03	0,09	0,11	0,03	NR	
	DP	0,02	0,00	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	NR	
0,60	Média	0,14	0,03	0,07	0,04	0,20	0,34	0,04	0,03	0,07	0,04	0,04	0,03	NR	
	DP	0,06	0,01	0,01	0,02	0,07	0,17	0,01	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	NR	
1,10	Média	0,12	0,04	0,06	0,03	0,08	0,02	0,03	0,03	0,03	0,07	0,02	0,09	NR	
	DP	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	NR	
1,70	Média	0,04	0,05	0,06	0,03	0,03	0,03	0,08	0,03	0,34	0,03	0,04	0,03	0,02	
	DP	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,05	0,00	0,02	0,00	0,01	
2,00	Média	0,04	0,02	0,05	0,03	0,03	0,03	0,53	0,02	0,34	0,27	0,05	0,03	0,03	
	DP	0,02	0,01	0,06	0,01	0,00	0,00	0,70	0,01	0,05	0,13	0,01	0,00	0,01	
2,35	Média	0,17	0,07	0,03	0,02	0,03	0,03	0,09	0,03	0,29	0,03	0,03	0,03	0,03	
	DP	0,05	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	

Tabela 21 - 1ª Etapa (23°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

1ª etapa															
Ambiente desocupado		Velocidade do Ar (m/s)													
Setpoint 23°C		Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)															
0,10	Média	0,16	0,03	0,11	0,14	0,16	0,02	0,04	0,03	0,06	0,09	0,09	0,03	NR	
	DP	0,02	0,00	0,01	0,01	0,12	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	NR	
0,60	Média	0,16	0,03	0,06	0,04	0,29	0,32	0,04	0,03	0,03	0,02	0,05	0,03	NR	
	DP	0,03	0,00	0,01	0,03	0,07	0,10	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	NR	
1,10	Média	0,13	0,06	0,06	0,04	0,03	0,05	0,03	0,03	0,04	0,08	0,02	0,12	NR	
	DP	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,05	NR	
1,70	Média	0,10	0,08	0,07	0,03	0,02	0,03	0,11	0,02	0,40	0,02	0,02	0,03	0,01	
	DP	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,05	0,01	0,05	0,01	0,01	0,00	0,00	
2,00	Média	0,10	0,03	0,09	0,04	0,02	0,03	0,13	0,01	0,38	0,28	0,05	0,03	0,03	
	DP	0,02	0,00	0,10	0,02	0,01	0,00	0,05	0,01	0,04	0,11	0,01	0,00	0,01	
2,35	Média	0,19	0,09	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,03	0,29	0,03	0,03	0,03	0,00	
	DP	0,04	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,05	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	

Tabela 22 - 1ª Etapa (24°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

1ª etapa															
Ambiente ocupado		Temperatura do Ar (°C)													
Setpoint 24°C		Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)															
0,10	Média	22,4	22,5	21,8	22,1	22,7	22,7	22,3	21,4	22,3	21,9	22,1	22,4	21,8	
	DP	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,8	0,3	0,4	0,4	0,4	
0,60	Média	22,5	22,5	21,8	22,7	22,8	23,1	22,8	22,5	21,9	22,0	23,0	22,7	22,2	
	DP	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,3	0,4	0,3	0,3	
1,10	Média	NR	23,2	22,2	23,3	23,2	23,6	23,5	23,4	23,3	23,1	23,8	23,4	22,7	
	DP	NR	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	
1,70	Média	23,5	23,5	22,8	23,6	23,8	24,0	23,6	23,6	23,7	23,4	24,1	23,7	23,0	
	DP	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	
2,00	Média	23,5	23,6	23,0	23,7	23,8	24,2	23,5	23,5	23,6	23,5	24,2	23,7	22,7	
	DP	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3	0,2	0,2	0,3	
2,35	Média	23,5	23,7	23,4	24,0	23,9	24,2	23,8	23,6	23,5	23,6	24,7	23,8	23,5	
	DP	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3	0,2	0,2	0,3	

Tabela 23 - 1ª Etapa (24°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

1ª etapa															
Ambiente desocupado		Temperatura do Ar (°C)													
Setpoint 24°C		Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)															
0,10	Média	22,4	22,1	21,5	22,2	22,1	22,1	21,7	20,8	21,8	21,4	22,1	22,0	21,2	
	DP	0,2	0,3	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,4	0,3	0,3	0,5	
0,60	Média	22,1	22,1	21,2	22,4	22,4	22,5	22,1	22,0	21,6	21,2	22,6	22,1	21,6	
	DP	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	
1,10	Média	NR	22,0	21,3	22,7	22,5	22,8	22,6	22,8	22,7	22,3	23,4	22,8	22,0	
	DP	NR	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,3	0,3	
1,70	Média	23,1	22,7	22,1	23,0	23,1	22,9	22,6	22,8	23,0	22,7	23,4	22,9	22,2	
	DP	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
2,00	Média	23,1	23,0	22,3	23,1	23,0	23,1	22,6	22,6	22,8	22,9	23,4	22,8	21,8	
	DP	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	
2,35	Média	22,8	23,2	22,9	23,3	22,9	23,1	22,8	22,9	22,7	22,8	23,9	22,9	22,5	
	DP	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	

Tabela 24 - 1ª Etapa (24°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

1ª etapa														
Ambiente ocupado		Velocidade do Ar (m/s)												
Setpoint 24°C														
	Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)														
0,10	Média	0,10	0,03	0,06	0,03	0,10	0,03	0,03	0,02	0,03	0,07	0,11	0,03	NR
	DP	0,03	0,00	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	NR
0,60	Média	0,04	0,03	0,10	0,04	1,07	0,33	0,03	0,03	0,05	0,05	0,02	0,03	NR
	DP	0,02	0,01	0,01	0,01	0,68	0,20	0,00	0,00	0,06	0,01	0,01	0,00	NR
1,10	Média	NR	0,03	0,05	0,04	0,12	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,05	NR
	DP	NR	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	NR
1,70	Média	0,06	0,04	0,04	0,04	0,02	0,03	0,04	0,04	0,30	0,03	0,06	0,02	0,02
	DP	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,06	0,00	0,03	0,01	0,01
2,00	Média	0,07	0,02	0,06	0,06	0,02	0,03	0,10	0,04	0,36	0,14	0,08	0,03	0,05
	DP	0,03	0,01	0,15	0,03	0,01	0,00	0,06	0,02	0,06	0,09	0,02	0,00	0,02
2,35	Média	0,26	0,06	0,05	0,03	0,03	0,03	0,06	0,06	0,35	0,03	0,03	0,03	0,05
	DP	0,03	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00	0,03	0,01	0,07	0,01	0,01	0,00	0,03

Tabela 25 - 1ª Etapa (24°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

1ª etapa														
Ambiente desocupado		Velocidade do Ar (m/s)												
Setpoint 24°C														
	Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)														
0,10	Média	0,03	0,03	0,06	0,03	0,32	0,03	0,02	0,03	0,03	0,07	0,10	0,04	NR
	DP	0,01	0,00	0,01	0,00	0,27	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	NR
0,60	Média	0,02	0,03	0,10	0,03	0,21	0,70	0,03	0,03	0,15	0,09	0,03	0,03	NR
	DP	0,00	0,00	0,01	0,00	0,13	0,16	0,00	0,01	0,12	0,02	0,01	0,00	NR
1,10	Média	NR	0,04	0,05	0,03	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,12	NR
	DP	NR	0,01	0,01	0,00	0,03	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03	NR
1,70	Média	0,08	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,26	0,03	0,03	0,02	0,01
	DP	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,00
2,00	Média	0,08	0,02	0,10	0,10	0,01	0,03	0,06	0,02	0,29	0,05	0,05	0,03	0,04
	DP	0,01	0,01	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,04	0,01	0,01	0,01
2,35	Média	0,21	0,07	0,06	0,07	0,03	0,03	0,02	0,05	0,32	0,02	0,03	0,03	0,03
	DP	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,06	0,01	0,01	0,00	0,01

Tabela 26 - 1ª Etapa (25°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

1ª etapa															
Ambiente ocupado		Temperatura do Ar (°C)													
Setpoint 25°C		Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)															
0,10	Média	26,0	26,0	25,8	25,7	25,3	25,8	25,8	23,7	25,1	25,1	25,0	25,5	25,2	
	DP	0,2	0,1	0,1	0,2	0,5	0,3	0,2	0,8	0,2	0,3	0,4	0,3	0,2	
0,60	Média	25,8	26,0	25,5	25,8	26,0	26,3	25,4	25,1	24,2	25,2	25,6	25,6		
	DP	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,4	0,3	0,2	0,3	0,5		
1,10	Média	NR	26,4	25,3	26,2	26,2	26,8	26,6	26,3	26,1	25,5	26,6	26,4	25,6	
	DP	NR	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	
1,70	Média	26,8	26,7	25,4	27,0	27,0	27,2	26,9	26,8	26,6	26,6	27,4	26,8	26,7	
	DP	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	
2,00	Média	27,0	26,9	26,0	27,1	27,0	27,4	26,8	26,6	26,6	26,9	27,4	26,9	26,6	
	DP	0,1	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	
2,35	Média	27,0	26,9	27,1	27,3	27,1	27,5	27,0	26,8	26,4	27,1	27,9	27,3	27,5	
	DP	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	

Tabela 27 - 1ª Etapa (25°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

1ª etapa															
Ambiente desocupado		Temperatura do Ar (°C)													
Setpoint 25°C		Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)															
0,10	Média	25,1	25,1	24,8	24,8	23,9	24,4	24,6	22,2	24,1	24,0	24,1	24,4	24,1	
	DP	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,2	0,4	0,3	0,2	0,3	0,4	
0,60	Média	25,0	25,1	24,4	24,9	24,8	25,1	24,2	23,8	23,3	24,1	24,5	24,4	24,1	
	DP	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	
1,10	Média	NR	25,3	24,3	25,2	24,9	25,6	25,2	25,1	24,7	24,2	25,4	25,2	24,4	
	DP	NR	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	
1,70	Média	25,5	25,3	24,3	25,7	25,6	25,9	25,6	25,3	25,5	25,0	26,3	25,6	25,4	
	DP	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,7	0,4	0,4	0,5	
2,00	Média	25,8	25,8	24,6	25,8	25,7	26,0	25,6	25,1	25,4	25,6	26,3	25,6	25,4	
	DP	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,5	0,5	
2,35	Média	25,9	25,8	25,3	26,1	25,6	26,2	25,8	25,7	25,1	25,8	26,7	26,1	26,4	
	DP	0,5	0,4	0,7	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	

Tabela 28 - 1ª Etapa (25°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

1ª etapa															
Ambiente Ocupado		Velocidade do Ar (m/s)													
Setpoint 25°C		Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)															
0,10	Média	0,08	0,04	0,12	0,14	0,14	0,05	0,03	0,02	0,03	0,10	0,16	0,03	NR	
	DP	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	NR	
0,60	Média	0,07	0,09	0,09	0,04	0,54	0,13	0,07	0,03	0,10	0,04	0,06	0,03	NR	
	DP	0,03	0,03	0,01	0,02	0,25	0,12	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	NR	
1,10	Média	NR	0,06	0,10	0,04	0,16	0,01	0,03	0,03	0,03	0,10	0,03	0,06	NR	
	DP	NR	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,04	NR	
1,70	Média	0,05	0,03	0,08	0,03	0,02	0,03	0,05	0,03	0,18	0,03	0,06	0,02	0,01	
	DP	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	
2,00	Média	0,05	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,31	0,03	0,31	0,01	0,07	0,03	0,03	
	DP	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,12	0,02	0,03	0,01	0,01	0,00	0,01	
2,35	Média	0,18	0,06	0,04	0,03	0,03	0,02	0,05	0,04	0,29	0,06	0,02	0,03	0,07	
	DP	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00	0,03	

Tabela 29 - 1ª Etapa (25°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

1ª etapa															
Ambiente Desocupado		Velocidade do Ar (m/s)													
Setpoint 25°C		Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)															
0,10	Média	0,08	0,04	0,14	0,15	0,18	0,07	0,04	0,02	0,03	0,10	0,15	0,01	NR	
	DP	0,02	0,01	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	NR	
0,60	Média	0,06	0,06	0,10	0,03	0,32	0,23	0,06	0,02	0,11	0,04	0,06	0,03	NR	
	DP	0,03	0,01	0,01	0,01	0,04	0,10	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	NR	
1,10	Média	NR	0,06	0,07	0,03	0,11	0,01	0,03	0,03	0,03	0,09	0,03	0,03	NR	
	DP	NR	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	NR	
1,70	Média	0,05	0,04	0,09	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,24	0,04	0,11	0,02	0,02	
	DP	0,03	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,04	0,01	0,01	
2,00	Média	0,06	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,15	0,02	0,36	0,03	0,07	0,03	0,05	
	DP	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,08	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	
2,35	Média	0,18	0,07	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,31	0,08	0,03	0,03	0,10	
	DP	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,03	

Tabela 30 - 1ª Etapa (26°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

1ª etapa															
Ambiente ocupado		Temperatura do Ar (°C)													
Setpoint 26°C		Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)															
0,10	Média	25,7	25,6	25,3	25,5	25,3	25,6	25,6	24,1	25,1	24,9	24,7	25,1	24,9	
	DP	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,5	
0,60	Média	25,6	25,8	25,1	25,7	25,8	26,1	25,7	25,4	24,5	25,3	25,9	25,5	25,2	
	DP	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	
1,10	Média	26,2	26,3	25,3	26,3	26,2	26,8	26,8	26,2	26,4	26,1	26,9	26,4	25,8	
	DP	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	
1,70	Média	26,6	26,5	25,7	26,8	26,8	27,2	26,8	26,6	26,7	26,6	27,3	26,8	26,6	
	DP	0,4	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
2,00	Média	26,7	26,6	26,3	26,8	26,9	27,3	26,7	26,5	26,7	26,7	27,3	26,8	26,5	
	DP	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
2,35	Média	26,7	26,7	26,7	27,1	27,0	27,3	26,9	26,6	26,5	27,0	27,8	27,0	27,1	
	DP	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	

Tabela 31 - 1ª Etapa (26°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

1ª etapa															
Ambiente desocupado		Temperatura do Ar (°C)													
Setpoint 26°C		Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)															
0,10	Média	25,0	25,2	24,7	25,0	24,7	25,0	24,8	23,6	24,8	24,1	24,5	24,7	24,3	
	DP	0,2	0,3	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	
0,60	Média	24,9	25,1	24,3	25,2	25,2	25,3	24,5	24,5	24,1	24,1	25,3	24,8	24,4	
	DP	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,2	0,4	0,2	0,3	0,3	
1,10	Média	25,1	25,2	24,3	25,5	25,2	26,0	25,6	25,5	25,4	24,6	26,3	25,5	24,8	
	DP	0,4	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	
1,70	Média	26,0	25,8	24,6	26,0	25,9	26,1	25,5	25,6	25,8	25,7	26,5	25,7	25,4	
	DP	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
2,00	Média	26,1	26,0	25,5	26,0	25,9	26,2	25,5	25,4	25,7	25,7	26,4	25,7	25,1	
	DP	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
2,35	Média	26,0	26,0	26,0	26,3	25,9	26,1	25,6	25,7	25,5	26,0	26,9	25,8	25,9	
	DP	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	

Tabela 32 - 1ª Etapa (26°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

1ª etapa														
Ambiente Ocupado		Velocidade do Ar (m/s)												
Setpoint 26°C														
	Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)														
0,10	Média	0,12	0,04	0,07	0,05	0,11	0,03	0,03	0,02	0,04	0,08	0,16	0,03	NR
	DP	0,04	0,01	0,03	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	NR
0,60	Média	0,06	0,06	0,10	0,04	0,28	0,22	0,03	0,03	0,06	0,03	0,04	0,03	NR
	DP	0,06	0,02	0,02	0,01	0,32	0,12	0,01	0,00	0,04	0,01	0,01	0,00	NR
1,10	Média	0,05	0,05	0,07	0,04	0,14	0,01	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03	0,07	NR
	DP	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,05	NR
1,70	Média	0,05	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,27	0,03	0,06	0,02	0,02
	DP	0,03	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,06	0,00	0,02	0,01	0,01
2,00	Média	0,06	0,03	0,02	0,04	0,02	0,03	0,10	0,03	0,44	0,04	0,08	0,03	0,05
	DP	0,03	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00	0,07	0,02	0,07	0,06	0,02	0,00	0,01
2,35	Média	0,22	0,05	0,04	0,02	0,03	0,03	0,02	0,04	0,44	0,05	0,04	0,03	0,05
	DP	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,06	0,02	0,03	0,00	0,02

Tabela 33 - 1ª Etapa (26°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

1ª etapa															
Ambiente Desocupado		Velocidade do Ar (m/s)													
Setpoint 26°C		Haste	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	N	O	P
Altura (m)															
0,10	Média	0,09	0,04	0,10	0,04	0,21	0,03	0,03	0,02	0,03	0,09	0,16	0,04	NR	
	DP	0,03	0,00	0,01	0,01	0,19	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	NR	
0,60	Média	0,05	0,07	0,08	0,03	0,28	0,16	0,04	0,02	0,12	0,06	0,04	0,03	NR	
	DP	0,04	0,01	0,01	0,01	0,17	0,09	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,00	NR	
1,10	Média	0,04	0,06	0,09	0,03	0,12	0,01	0,03	0,03	0,03	0,07	0,04	0,03	NR	
	DP	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	NR	
1,70	Média	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,20	0,02	0,08	0,01	0,02	
	DP	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	
2,00	Média	0,07	0,03	0,02	0,07	0,02	0,03	0,05	0,03	0,30	0,00	0,08	0,04	0,03	
	DP	0,02	0,00	0,01	0,03	0,01	0,00	0,01	0,01	0,04	0,01	0,02	0,01	0,01	
2,35	Média	0,17	0,06	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,31	0,06	0,03	0,03	0,03	
	DP	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,04	0,01	0,02	0,00	0,01	

Tabela 34 – 2ª Etapa (21°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

2ª etapa															
Ambiente ocupado		Temperatura do Ar (°C)													
Setpoint 21°C		Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	N	P
Altura (m)															
0,10	Média	19,5	20,5	20,4	20,4	19,7	20,9	21,1	19,5	19,4	20,8	20,3	20,4	20,4	
	DP	0,8	0,8	0,7	0,6	0,9	0,8	0,7	1,0	1,0	0,8	0,8	0,9	0,8	
0,60	Média	19,3	20,1	20,0	20,7	20,5	21,4	21,0	20,4	20,6	20,1	20,4	21,1	20,6	
	DP	0,8	0,8	0,7	0,5	0,7	0,6	0,7	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	
1,10	Média	22,1	21,8	20,9	21,4	21,6	22,0	21,7	21,8	21,9	21,1	22,1	21,4		
	DP	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7		
1,70	Média	22,2	22,3	22,3	22,4	22,0	22,4	22,4	22,1	22,1	22,7	22,3	22,9	21,8	
	DP	0,7	0,6	0,6	0,5	0,7	0,7	0,6	0,8	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7	
2,00	Média	22,6	22,6	22,6	22,7	22,2	22,7	22,6	22,1	22,4	22,7	19,7	23,1	21,5	
	DP	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,5	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	
2,35	Média	22,9	23,0	23,0	23,4	22,3	22,8	23,0	22,8	22,2	22,6	22,6	23,7	22,2	
	DP	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	0,5	0,7	0,7	0,7	0,6	0,8	0,7	

Tabela 35 - 2ª Etapa (21°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

2ª etapa															
Ambiente desocupado		Temperatura do Ar (°C)													
Setpoint 21°C		Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	N	P
Altura (m)															
0,10	Média	20,9	21,5	21,3	21,2	20,9	22,1	22,0	20,9	20,8	22,1	21,6	21,9	21,6	
	DP	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	
0,60	Média	20,7	21,0	21,0	21,2	21,5	22,2	21,8	21,5	21,7	21,4	21,4	22,4	21,5	
	DP	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	
1,10	Média	22,6	22,4	21,4	22,0	22,4	22,6	22,6	22,6	22,5	21,9	23,0	22,0		
	DP	0,2	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2		
1,70	Média	23,2	22,9	22,9	22,9	22,8	23,1	23,0	22,8	22,9	23,3	22,6	23,5	22,6	
	DP	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	0,3	0,2	
2,00	Média	23,6	23,3	23,3	23,2	22,9	23,4	23,1	22,9	23,2	23,3	20,5	23,9	22,3	
	DP	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	0,2	0,2	
2,35	Média	23,9	23,8	23,6	23,8	23,2	23,5	23,5	23,8	23,0	23,2	23,3	24,8	22,8	
	DP	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,1	0,4	

Tabela 36 - 2ª Etapa (21°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

2ª etapa														
Ambiente ocupado			Velocidade do Ar (m/s)											
Setpoint 21°C														
	Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	N	P
Altura (m)														
0,10	Média	0,20	0,28	0,03	0,23	0,20	0,06	0,05	0,03	0,10	0,03	0,12	0,03	0,02
	DP	0,02	0,05	0,00	0,02	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00
0,60	Média	0,08	0,39	0,06	0,10	0,36	0,04	0,04	0,05	0,04	0,13	0,12	0,04	0,05
	DP	0,03	0,06	0,01	0,01	0,31	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01
1,10	Média	0,03	NR	0,03	0,06	0,12	0,01	0,03	0,05	0,04	0,06	0,09	0,05	0,01
	DP	0,00	NR	0,00	0,01	0,04	0,01	0,00	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00
1,70	Média	0,08	0,11	0,11	0,10	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	1,02	0,03	0,16	0,03
	DP	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,27	0,01	0,03	0,01
2,00	Média	0,03	0,14	0,04	0,15	0,03	0,03	0,06	0,02	0,04	0,84	NR	0,10	0,02
	DP	0,00	0,02	0,01	0,05	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,15	NR	0,03	0,01
2,35	Média	0,28	0,34	0,14	0,11	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,80	0,03	0,67	0,01
	DP	0,07	0,04	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,18	0,00	0,29	0,01

Tabela 37 - 2ª Etapa (21°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

2ª etapa														
Ambiente desocupado			Velocidade do Ar (m/s)											
Setpoint 21°C														
	Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	N	P
Altura (m)														
0,10	Média	0,23	0,26	0,03	0,23	0,19	0,04	0,05	0,01	0,14	0,03	0,12	0,03	0,02
	DP	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
0,60	Média	0,08	0,39	0,05	0,13	0,26	0,06	0,06	0,04	0,08	0,13	0,16	0,04	0,06
	DP	0,03	0,02	0,00	0,01	0,02	0,05	0,01	0,01	0,04	0,01	0,02	0,01	0,01
1,10	Média	0,03	NR	0,03	0,07	0,12	0,01	0,03	0,08	0,06	0,07	0,10	0,05	0,02
	DP	0,00	NR	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,00	0,01	0,00
1,70	Média	0,10	0,11	0,11	0,09	0,03	0,03	0,04	0,04	0,02	0,95	0,05	0,23	0,01
	DP	0,01	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,05	0,01	0,03	0,01
2,00	Média	0,03	0,13	0,04	0,14	0,03	0,03	0,06	0,02	0,03	0,89	NR	0,16	0,03
	DP	0,00	0,03	0,01	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,05	NR	0,02	0,01
2,35	Média	0,27	0,35	0,14	0,10	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,80	0,02	0,53	0,03
	DP	0,03	0,04	0,04	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,04	0,01	0,11	0,02

Tabela 38 - 2ª Etapa (22°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

2ª etapa														
Ambiente ocupado			Temperatura do Ar (°C)											
Setpoint 22°C			Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L
Altura (m)														
0,10	Média		20,9	23,1	23,1	23,2	21,9	22,9	23,2	20,9	20,5	22,3	21,7	21,6
	DP		0,4	1,3	1,3	1,3	0,9	0,9	1,1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4
0,60	Média		20,9	23,1	23,2	23,2	22,7	23,4	23,1	22,5	22,3	22,1	22,2	23,2
	DP		0,3	1,2	1,1	1,1	0,8	0,9	1,0	0,6	0,5	0,6	0,6	0,7
1,10	Média		24,1	23,7	24,0	23,4	23,7	23,9	23,8	23,8	23,9	24,2	24,0	24,4
	DP		0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7
1,70	Média		24,1	24,2	24,3	24,2	24,2	24,6	24,5	24,1	23,9	24,7	24,2	24,7
	DP		0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	1,0	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
2,00	Média		24,4	24,4	24,5	24,4	24,2	24,9	24,4	24,0	24,1	24,6	22,9	24,8
	DP		0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,7	0,8	0,8	0,9	0,8
2,35	Média		24,5	24,4	24,6	25,1	24,3	24,9	24,7	24,3	23,9	24,5	24,5	25,4
	DP		0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9

Tabela 39 - 2ª Etapa (22°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

2ª etapa														
Ambiente desocupado			Temperatura do Ar (°C)											
Setpoint 22°C			Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L
Altura (m)														
0,10	Média		21,5	24,6	24,6	24,8	22,8	23,9	24,4	21,6	21,1	23,0	22,3	22,2
	DP		0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,60	Média		21,5	24,4	24,6	24,6	23,7	24,4	24,2	23,4	23,0	22,6	22,7	24,0
	DP		0,0	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1
1,10	Média		24,9	24,7	24,9	24,5	24,7	25,1	24,7	24,5	24,7	25,3	24,9	25,2
	DP		0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
1,70	Média		25,0	25,1	25,1	24,9	25,1	25,5	25,5	24,8	24,7	25,6	25,0	25,6
	DP		0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2
2,00	Média		25,4	25,4	25,3	25,1	25,2	25,8	25,5	24,7	25,0	25,5	24,0	25,6
	DP		0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
2,35	Média		25,4	25,5	25,5	25,5	25,3	25,9	25,7	25,2	24,9	25,3	25,4	26,3
	DP		0,1	0,1	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2

Tabela 40 - 2ª Etapa (22°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

2ª etapa														
Ambiente ocupado		Velocidade do Ar (m/s)												
Setpoint 22°C														
	Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	N	P
Altura (m)														
0,10	Média	0,19	0,29	0,03	0,19	0,12	0,05	0,04	0,03	0,09	0,03	0,11	0,03	0,04
	DP	0,02	0,06	0,00	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,00	0,02	0,01	0,01
0,60	Média	0,06	0,27	0,04	0,12	0,23	0,06	0,07	0,04	0,03	0,14	0,05	0,03	0,03
	DP	0,02	0,03	0,01	0,03	0,14	0,08	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,00
1,10	Média	0,03	0,11	0,03	0,07	0,05	0,02	0,02	0,04	0,03	0,10	0,05	0,07	0,01
	DP	0,00	0,03	0,00	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,00
1,70	Média	0,04	0,14	0,13	0,13	0,03	0,03	0,07	0,03	0,09	0,82	0,04	0,11	0,03
	DP	0,01	0,05	0,03	0,03	0,00	0,00	0,02	0,01	0,03	0,10	0,01	0,05	0,01
2,00	Média	0,03	0,17	0,05	0,15	0,03	0,03	0,07	0,02	0,07	0,82	0,47	0,09	0,02
	DP	0,00	0,04	0,02	0,05	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,09	0,47	0,03	0,01
2,35	Média	0,26	0,41	0,13	0,17	0,03	0,03	0,04	0,03	0,07	0,80	0,05	0,08	0,02
	DP	0,11	0,07	0,02	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,10	0,02	0,03	0,01

Tabela 41 - 2ª Etapa (22°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

2ª etapa														
Ambiente desocupado		Velocidade do Ar (m/s)												
Setpoint 22°C														
	Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	N	P
Altura (m)														
0,10	Média	0,20	0,37	0,03	0,24	0,14	0,07	0,06	0,05	0,11	0,03	0,13	0,03	0,05
	DP	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
0,60	Média	0,06	0,29	0,03	0,17	0,11	0,02	0,08	0,03	0,02	0,15	0,10	0,04	0,03
	DP	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00
1,10	Média	0,03	0,14	0,03	0,13	0,05	0,02	0,03	0,03	0,03	0,08	0,05	0,08	0,01
	DP	0,00	0,02	0,00	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
1,70	Média	0,03	0,13	0,11	0,13	0,03	0,03	0,08	0,03	0,10	0,77	0,04	0,10	0,03
	DP	0,01	0,02	0,03	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,05	0,01	0,02	0,00
2,00	Média	0,03	0,17	0,04	0,21	0,03	0,03	0,08	0,02	0,08	0,83	0,17	0,10	0,02
	DP	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,06	0,05	0,02	0,01
2,35	Média	0,24	0,37	0,11	0,19	0,03	0,03	0,03	0,03	0,08	0,68	0,04	0,06	0,03
	DP	0,07	0,03	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,07	0,01	0,02	0,00

Tabela 42 - 2ª Etapa (23°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

2ª etapa														
Ambiente ocupado			Temperatura do Ar (°C)											
Setpoint 23°C			Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L
Altura (m)														
0,10	Média		22,9	23,4	23,1	23,3	22,1	24,2	24,1	22,5	22,4	24,6	23,7	23,8
	DP		0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5
0,60	Média		22,8	22,5	22,8	23,8	23,3	24,8	23,9	23,4	23,6	23,7	23,9	24,7
	DP		0,6	0,6	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6
1,10	Média		25,3	NR	25,3	23,9	24,2	25,0	25,1	24,8	25,1	25,7	24,5	25,4
	DP		0,8	NR	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6
1,70	Média		25,7	25,5	25,5	25,6	24,8	25,9	25,6	25,2	25,4	26,5	25,6	26,3
	DP		0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6
2,00	Média		26,1	25,9	25,8	25,9	25,0	26,1	25,8	25,3	25,7	26,4	24,5	26,6
	DP		0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	1,0	0,6
2,35	Média		26,3	26,2	26,2	26,6	25,3	26,3	26,3	26,1	25,7	26,2	26,0	27,4
	DP		0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,7	0,5

Tabela 43 - 2ª Etapa (23°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

2ª etapa														
Ambiente desocupado			Temperatura do Ar (°C)											
Setpoint 23°C			Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L
Altura (m)														
0,10	Média		22,9	23,4	23,3	23,2	22,2	24,3	24,0	23,0	22,7	24,3	23,5	23,9
	DP		0,2	0,2	0,1	0,1	0,4	0,2	0,1	0,4	0,3	0,3	0,0	0,3
0,60	Média		22,9	22,9	23,1	23,3	22,7	24,5	23,9	23,4	23,6	23,5	23,5	24,5
	DP		0,2	0,3	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,3	0,2	0,4	0,1	0,2
1,10	Média		24,5	NR	24,7	23,7	23,5	24,7	24,7	24,6	24,8	24,7	24,0	25,2
	DP		0,2	NR	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,1	0,5	0,2	0,1
1,70	Média		25,4	25,2	25,1	25,2	24,1	25,4	25,2	25,0	25,2	25,7	25,0	25,9
	DP		0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,4	0,2	0,4	0,3	0,3
2,00	Média		25,8	25,7	25,5	25,6	24,4	25,8	25,4	25,2	25,5	25,7	25,1	26,2
	DP		0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,4	0,3	0,3
2,35	Média		26,1	26,1	25,9	26,4	24,7	26,0	26,0	25,9	25,5	25,6	25,7	27,2
	DP		0,1	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,5	0,3	0,1

Tabela 44 - 2ª Etapa (23°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

2ª etapa																
Ambiente ocupado			Velocidade do Ar (m/s)													
Setpoint 23°C			Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	N	P
Altura (m)																
0,10	Média		0,27	0,16	0,03	0,23	0,13	0,07	0,06	0,02	0,14	0,03	0,12	0,04	0,03	
	DP		0,02	0,04	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	
0,60	Média		0,06	0,30	0,06	0,10	0,21	0,02	0,05	0,05	0,06	0,23	0,12	0,04	0,04	
	DP		0,02	0,04	0,01	0,01	0,12	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	
1,10	Média		0,03	NR	0,03	0,07	0,08	0,01	0,03	0,05	0,04	0,10	0,08	0,07	0,02	
	DP		0,00	NR	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,02	0,01	0,04	0,01	0,02	0,01	
1,70	Média		0,09	0,14	0,13	0,11	0,03	0,03	0,06	0,02	0,01	2,36	0,06	0,22	0,01	
	DP		0,01	0,05	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	1,13	0,01	0,02	0,00	
2,00	Média		0,03	0,18	0,05	0,35	0,03	0,03	0,09	0,02	0,03	1,64	0,88	0,19	0,02	
	DP		0,00	0,04	0,01	0,22	0,00	0,00	0,03	0,01	0,01	0,42	1,77	0,03	0,01	
2,35	Média		0,25	0,39	0,14	0,10	0,03	0,03	0,05	0,03	0,08	1,88	0,04	0,24	0,02	
	DP		0,05	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,70	0,02	0,15	0,01	

Tabela 45 - 2ª Etapa (23°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

2ª etapa														
Ambiente desocupado			Velocidade do Ar (m/s)											
Setpoint 23°C														
	Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	N	P
Altura (m)														
0,10	Média	0,26	0,16	0,03	0,23	0,09	0,04	0,05	0,03	0,15	0,03	0,12	0,03	0,02
	DP	0,01	0,04	0,00	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,00	0,02	0,01	0,01
0,60	Média	0,07	0,30	0,06	0,10	0,13	0,04	0,05	0,05	0,07	0,19	0,13	0,04	0,05
	DP	0,02	0,02	0,01	0,01	0,04	0,03	0,01	0,02	0,05	0,03	0,01	0,01	0,01
1,10	Média	0,03	NR	0,03	0,06	0,08	0,02	0,03	0,06	0,05	0,10	0,09	0,05	0,02
	DP	0,00	NR	0,00	0,01	0,04	0,02	0,00	0,02	0,02	0,06	0,01	0,01	0,01
1,70	Média	0,07	0,15	0,13	0,10	0,03	0,03	0,05	0,03	0,02	1,39	0,06	0,24	0,01
	DP	0,02	0,04	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,68	0,01	0,04	0,00
2,00	Média	0,03	0,20	0,06	0,25	0,03	0,03	0,07	0,02	0,04	1,26	0,01	0,19	0,02
	DP	0,00	0,06	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,28	0,01	0,05	0,01
2,35	Média	0,28	0,52	0,20	0,11	0,03	0,03	0,05	0,03	0,08	1,67	0,04	0,15	0,02
	DP	0,03	0,15	0,07	0,01	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,79	0,03	0,05	0,01

Tabela 46 - 2ª Etapa (24°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

2ª etapa															
Ambiente ocupado		Temperatura do Ar (°C)													
Setpoint 24°C		Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	N	P
Altura (m)															
0,10	Média	21,9	25,2	25,2	25,4	23,4	24,3	24,9	21,9	21,5	23,4	22,9	22,4	22,8	
	DP	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3	0,3	
0,60	Média	21,8	25,0	25,3	25,3	24,4	25,1	24,9	23,5	23,7	23,3	23,6	24,4	23,8	
	DP	0,3	0,4	0,4	0,3	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,6	0,5	0,3	0,3	
1,10	Média	25,4	25,4	25,7	25,2	25,5	25,8	25,4	25,4	25,4	25,9	25,5	25,8	24,9	
	DP	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
1,70	Média	25,5	25,9	25,9	25,7	26,0	26,3	26,2	25,8	25,5	26,2	25,8	26,3	25,5	
	DP	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
2,00	Média	25,8	26,2	26,1	25,9	26,1	26,6	26,2	25,6	25,7	26,3	23,5	26,4	25,3	
	DP	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,5	0,4	0,4	1,6	0,4	0,4	
2,35	Média	25,9	26,4	26,2	26,5	26,2	26,6	26,4	25,9	25,6	26,1	26,2	27,1	25,8	
	DP	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	

Tabela 47 - 2ª Etapa (24°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

2ª etapa															
Ambiente desocupado		Temperatura do Ar (°C)													
Setpoint 24°C		Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	N	P
Altura (m)															
0,10	Média	22,1	25,3	25,2	25,5	23,1	24,3	24,9	22,0	21,6	23,7	22,7	22,6	22,9	
	DP	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
0,60	Média	22,1	25,1	25,4	25,3	24,4	24,9	24,8	23,6	23,6	23,1	23,4	24,4	23,8	
	DP	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	
1,10	Média	25,5	25,4	25,6	25,2	25,2	25,6	25,2	25,0	25,2	25,9	25,4	25,7	24,6	
	DP	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	
1,70	Média	25,3	25,6	25,7	25,2	25,7	26,1	25,8	25,2	25,3	26,1	25,5	26,0	25,2	
	DP	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
2,00	Média	25,8	25,9	25,9	25,5	25,7	26,3	25,8	25,1	25,6	26,0	23,9	26,2	24,9	
	DP	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	1,4	0,1	0,1	
2,35	Média	25,8	26,1	25,9	25,9	25,9	26,3	26,3	25,7	25,3	25,7	25,7	26,9	25,3	
	DP	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	

Tabela 48 - 2ª Etapa (24°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

2ª etapa														
Ambiente ocupado			Velocidade do Ar (m/s)											
Setpoint 24°C														
	Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	N	P
Altura (m)														
0,10	Média	0,23	0,35	0,03	0,23	0,15	0,08	0,06	0,05	0,10	0,03	0,15	0,03	0,04
	DP	0,02	0,04	0,00	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,00	0,02	0,01	0,01
0,60	Média	0,07	0,24	0,03	0,15	0,30	0,10	0,08	0,06	0,03	0,16	0,05	0,04	0,03
	DP	0,02	0,03	0,01	0,01	1,01	0,06	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00
1,10	Média	0,03	0,13	0,03	0,10	0,07	0,02	0,03	0,03	0,03	0,08	0,04	0,07	0,01
	DP	0,00	0,02	0,00	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03	0,00
1,70	Média	0,03	0,12	0,13	0,16	0,02	0,03	0,09	0,03	0,02	0,69	0,05	0,10	0,02
	DP	0,00	0,04	0,03	0,03	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,09	0,02	0,02	0,01
2,00	Média	0,03	0,16	0,04	0,44	0,02	0,03	0,10	0,02	0,04	0,94	0,68	0,10	0,02
	DP	0,00	0,04	0,02	0,23	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,11	0,97	0,02	0,01
2,35	Média	0,28	0,34	0,14	0,15	0,03	0,03	0,05	0,03	0,07	1,12	0,09	0,34	0,02
	DP	0,11	0,05	0,03	0,03	0,00	0,01	0,03	0,00	0,01	0,24	0,03	0,47	0,01

Tabela 49 - 2ª Etapa (24°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

2ª etapa														
Ambiente desocupado			Velocidade do Ar (m/s)											
Setpoint 24°C														
	Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	N	P
Altura (m)														
0,10	Média	0,27	0,38	0,03	0,24	0,17	0,11	0,07	0,06	0,09	0,03	0,18	0,04	0,06
	DP	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
0,60	Média	0,05	0,23	0,03	0,14	0,07	0,06	0,08	0,05	0,03	0,17	0,06	0,06	0,03
	DP	0,01	0,02	0,00	0,01	0,02	0,04	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,00	0,00
1,10	Média	0,03	0,15	0,03	0,09	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,08	0,04	0,04	0,01
	DP	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
1,70	Média	0,03	0,10	0,12	0,13	0,03	0,03	0,10	0,03	0,01	0,76	0,05	0,09	0,03
	DP	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,03	0,01	0,01	0,00
2,00	Média	0,03	0,15	0,04	0,13	0,03	0,03	0,16	0,02	0,05	1,01	0,64	0,10	0,02
	DP	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,07	1,09	0,01	0,01
2,35	Média	0,28	0,32	0,10	0,11	0,03	0,03	0,08	0,03	0,09	0,88	0,05	0,17	0,03
	DP	0,03	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,05	0,01	0,02	0,00

Tabela 50 - 2ª Etapa (25°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

2ª etapa														
Ambiente ocupado		Temperatura do Ar (°C)												
Setpoint 25°C														
	Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	N	P
Altura (m)														
0,10	Média	24,1	24,7	24,5	24,7	23,9	25,5	25,4	23,9	23,7	25,4	24,7	25,1	24,8
	DP	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	1,0	0,1	0,1	0,1
0,60	Média	24,1	24,2	24,4	24,9	24,9	25,8	25,1	24,9	24,9	24,8	24,9	25,8	25,3
	DP	0,1	0,4	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,8	0,2	0,2	0,2
1,10	Média	26,4	26,0	26,4	25,6	25,6	26,0	26,3	26,1	26,2	26,4	26,1	26,8	25,8
	DP	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,9	0,3	0,2	0,2
1,70	Média	26,6	26,4	26,4	26,6	26,3	26,8	26,5	26,5	26,4	26,8	26,5	27,4	26,3
	DP	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,8	0,2	0,3	0,2
2,00	Média	26,9	26,6	26,6	26,7	26,4	26,9	26,4	26,4	26,5	26,7	26,4	27,4	26,0
	DP	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,7	0,2	0,3	0,3
2,35	Média	27,0	26,9	26,8	27,1	26,5	26,9	26,9	26,8	26,4	26,7	27,0	28,0	26,5
	DP	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,7	0,3	0,2	0,3

Tabela 51 - 2ª Etapa (25°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

2ª etapa															
Ambiente desocupado		Temperatura do Ar (°C)													
Setpoint 25°C		Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	N	P
Altura (m)															
0,10	Média	24,0	25,1	24,8	25,0	24,2	25,5	25,3	23,7	23,5	25,4	24,4	25,1	24,6	
	DP	0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,3	0,2	0,5	0,2	0,2	0,2	
0,60	Média	24,0	24,8	24,9	25,0	24,9	25,7	25,0	24,7	24,5	24,5	24,7	25,6	25,2	
	DP	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
1,10	Média	26,4	21,3	26,1	25,3	25,4	25,8	25,8	25,8	25,8	26,5	25,7	26,6	25,5	
	DP	0,1	10,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	0,2	0,1	0,2
1,70	Média	26,2	26,1	26,1	26,3	26,0	26,5	26,3	26,0	26,1	26,8	26,2	26,9	26,0	
	DP	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	
2,00	Média	26,6	26,4	26,3	26,5	26,2	26,7	26,2	25,9	26,3	26,8	26,2	27,0	25,7	
	DP	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	
2,35	Média	26,7	26,6	26,5	27,0	26,2	26,6	26,6	26,4	26,0	26,6	26,5	27,7	26,1	
	DP	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4	0,2	0,4	0,3	0,3	

Tabela 52 - 2ª Etapa (25°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

2ª etapa														
Ambiente ocupado			Velocidade do Ar (m/s)											
Setpoint 25°C														
	Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	N	P
Altura (m)														
0,10	Média	0,19	0,25	0,03	0,18	0,09	0,04	0,04	0,02	0,06	0,03	0,09	0,02	0,02
	DP	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00
0,60	Média	0,04	0,33	0,04	0,09	0,07	0,04	0,04	0,03	0,03	0,28	0,05	0,04	0,03
	DP	0,02	0,02	0,01	0,01	0,05	0,03	0,01	0,01	0,00	0,95	0,01	0,01	0,00
1,10	Média	0,03	0,13	0,03	0,05	0,08	0,01	0,03	0,04	0,03	0,08	0,04	0,05	0,01
	DP	0,00	0,02	0,00	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
1,70	Média	0,06	0,11	0,11	0,10	0,03	0,03	0,07	0,02	0,02	0,69	0,05	0,15	0,01
	DP	0,02	0,03	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,12	0,01	0,03	0,01
2,00	Média	0,03	0,15	0,04	0,37	0,03	0,03	0,10	0,02	0,04	0,90	0,02	0,13	0,02
	DP	0,00	0,03	0,01	0,08	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,13	0,02	0,02	0,01
2,35	Média	0,32	0,38	0,14	0,11	0,03	0,03	0,08	0,04	0,09	1,14	0,11	0,07	0,02
	DP	0,05	0,06	0,03	0,02	0,01	0,00	0,03	0,01	0,01	0,20	0,03	0,02	0,01

Tabela 53 - 2ª Etapa (25°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

2ª etapa														
Ambiente desocupado			Velocidade do Ar (m/s)											
Setpoint 25°C														
	Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	N	P
Altura (m)														
0,10	Média	0,20	0,21	0,03	0,18	0,10	0,03	0,04	0,02	0,08	0,03	0,13	0,03	0,02
	DP	0,02	0,03	0,00	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
0,60	Média	0,03	0,28	0,04	0,11	0,10	0,05	0,05	0,02	0,02	0,35	0,06	0,04	0,03
	DP	0,02	0,04	0,01	0,02	0,04	0,02	0,01	0,00	0,01	0,35	0,01	0,00	0,00
1,10	Média	0,03	0,94	0,03	0,06	0,07	0,01	0,03	0,04	0,03	0,11	0,03	0,04	0,02
	DP	0,00	1,99	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01
1,70	Média	0,04	0,14	0,10	0,10	0,03	0,03	0,09	0,03	0,02	1,01	0,05	0,12	0,02
	DP	0,01	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,22	0,01	0,01	0,01
2,00	Média	0,03	0,17	0,04	0,47	0,03	0,03	0,12	0,02	0,05	1,14	0,02	0,11	0,02
	DP	0,00	0,03	0,01	0,09	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,14	0,02	0,01	0,01
2,35	Média	0,35	0,42	0,14	0,12	0,03	0,03	0,08	0,03	0,09	1,36	0,06	0,08	0,02
	DP	0,05	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,17	0,04	0,02	0,00

Tabela 54 - 2ª Etapa (26°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

2ª etapa															
Ambiente ocupado		Temperatura do Ar (°C)													
Setpoint 26°C		Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	N	P
Altura (m)															
0,10	Média	24,5	25,4	25,1	25,3	24,0	25,9	26,0	24,1	24,1	26,5	25,0	25,3	25,1	
	DP	0,6	0,8	0,8	0,8	0,4	0,5	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	
0,60	Média	24,5	24,6	24,8	25,6	25,3	26,4	25,8	25,3	25,4	25,6	25,4	26,6	25,6	
	DP	0,7	0,9	0,8	0,8	0,3	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7	0,6	
1,10	Média	27,0	NR	27,0	25,9	26,0	26,6	26,9	26,6	26,7	28,0	26,5	27,3	26,2	
	DP	0,7	NR	0,6	0,6	0,2	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	
1,70	Média	27,2	27,2	27,0	27,2	26,7	27,5	27,2	26,9	27,0	28,4	27,1	27,9	26,8	
	DP	0,5	0,5	0,5	0,4	0,2	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	
2,00	Média	27,6	27,5	27,3	27,5	26,8	27,7	27,3	27,0	27,2	28,3	26,2	28,0	26,6	
	DP	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,3	0,4	0,4	
2,35	Média	27,7	27,8	27,6	28,0	27,1	27,8	27,7	27,5	27,2	28,1	27,5	28,6	27,2	
	DP	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	

Tabela 55 - 2ª Etapa (26°C): temperatura do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

2ª etapa															
Ambiente desocupado		Temperatura do Ar (°C)													
Setpoint 26°C		Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	N	P
Altura (m)															
0,10	Média	23,6	24,2	23,9	24,1	23,4	25,0	24,9	23,2	23,1	25,7	24,0	24,4	24,3	
	DP	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	
0,60	Média	23,5	23,1	23,6	24,4	24,6	25,3	24,7	24,4	24,1	24,6	24,4	25,6	24,5	
	DP	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	
1,10	Média	25,8	25,7	26,0	24,6	25,1	25,5	25,7	25,4	25,5	26,7	25,5	26,2	25,2	
	DP	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,4	0,3	0,3	0,3	
1,70	Média	26,2	26,2	26,0	26,2	26,0	26,5	26,1	25,8	25,9	27,5	26,3	26,9	25,9	
	DP	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	
2,00	Média	26,7	26,7	26,4	26,6	26,2	26,8	26,2	26,0	26,2	27,4	23,7	27,2	25,6	
	DP	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4	0,8	0,4	0,4	
2,35	Média	27,1	27,2	26,9	27,3	26,6	26,9	26,8	26,8	26,3	27,3	26,6	27,9	26,5	
	DP	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,3	0,4	

Tabela 56 - 2ª Etapa (26°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente ocupado

2ª etapa														
Ambiente ocupado			Velocidade do Ar (m/s)											
Setpoint 26°C														
	Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	N	P
Altura (m)														
0,10	Média	0,27	0,22	0,03	0,17	0,19	0,05	0,04	0,03	0,12	0,03	0,12	0,06	0,02
	DP	0,01	0,04	0,01	0,01	0,05	0,02	0,01	0,01	0,02	0,00	0,02	0,01	0,00
0,60	Média	0,05	0,31	0,06	0,07	0,48	0,03	0,03	0,04	0,06	0,29	0,08	0,05	0,03
	DP	0,02	0,02	0,01	0,01	1,24	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,00
1,10	Média	0,03	NR	0,03	0,05	0,18	0,01	0,03	0,04	0,04	0,15	0,05	0,05	0,02
	DP	0,00	NR	0,00	0,01	0,06	0,01	0,00	0,01	0,02	0,04	0,02	0,01	0,01
1,70	Média	0,06	0,10	0,11	0,10	0,03	0,03	0,05	0,03	0,02	2,17	0,02	0,20	0,02
	DP	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,53	0,01	0,02	0,01
2,00	Média	0,03	0,13	0,04	0,12	0,03	0,03	0,08	0,02	0,03	1,98	0,24	0,14	0,02
	DP	0,00	0,02	0,01	0,09	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,31	0,09	0,02	0,01
2,35	Média	0,27	0,31	0,14	0,10	0,03	0,03	0,03	0,03	0,09	2,48	0,03	0,43	0,02
	DP	0,05	0,05	0,03	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,35	0,01	0,30	0,01

Tabela 57 - 2ª Etapa (26°C): velocidade do ar por haste (média e desvio padrão), ambiente desocupado

2ª etapa														
Ambiente desocupado			Velocidade do Ar (m/s)											
Setpoint 26°C														
	Haste	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	N	P
Altura (m)														
0,10	Média	0,27	0,15	0,03	0,18	0,21	0,05	0,04	0,03	0,09	0,03	0,12	0,03	0,02
	DP	0,00	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00
0,60	Média	0,03	0,32	0,05	0,07	NR	0,03	0,02	0,04	0,06	0,28	0,07	0,05	0,03
	DP	0,01	0,02	0,00	0,00	NR	0,02	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00
1,10	Média	0,03	0,06	0,03	0,04	0,18	0,01	0,03	0,04	0,03	0,12	0,05	0,05	0,01
	DP	0,00	0,04	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1,70	Média	0,06	0,09	0,10	0,09	0,03	0,03	0,04	0,02	0,01	2,51	0,03	0,21	0,01
	DP	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,49	0,01	0,02	0,00
2,00	Média	0,03	0,13	0,04	0,06	0,03	0,03	0,07	0,01	0,02	2,02	1,31	0,13	0,02
	DP	0,00	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,40	0,44	0,02	0,01
2,35	Média	0,24	0,34	0,13	0,09	0,04	0,03	0,03	0,03	0,06	2,14	0,02	0,82	0,03
	DP	0,02	0,08	0,06	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,30	0,01	0,12	0,00

ANEXO C – CONDIÇÕES NA 1ª E 2ª AULA NA PRIMEIRA E SEGUNDA ETAPA DAS MEDIÇÕES (AMBIENTE OCUPADO)

Quadro 9 – 1ª Etapa: condições da sala ocupada (1ª e 2ª aula)

21°C	Pessoas	Computadores	<i>Notebook</i>	Luminárias	Luz Quadro Branco	Projetor
Pontos A-D	36	25	1	27	2	0
Pontos E-H	41	25	1	27	2	0
22°C						
Pontos A-D	34	19	1	11	0	1
Pontos E-H	34	18	1	11	0	1
23°C						
Pontos A-D	34	1	1	17	0	1
Pontos E-H	30	1	1	17	0	1
24°C						
Pontos A-D	41	25	1	27	0	1
Pontos E-H	39	25	1	27	0	1
25°C						
Pontos A-D	30	6	1	17	0	1
Pontos E-H	30	2	1	17	0	1
26°C						
Pontos A-D	42	25	1	17	0	1
Pontos E-H	34	25	1	17	0	1

Quadro 10 – 2ª Etapa: condições da sala ocupada (1ª e 2ª aula)

21°C	Pessoas	Computadores	<i>Notebook</i>	Luminárias	Luz Quadro Branco	Projektor
Pontos A-D	26	25	1	6	0	1
Pontos E-H	25	25	1	6	0	1
22°C						
Pontos A-D	29	25	1	6	0	1
Pontos E-H	31	25	1	18	0	1
23°C						
Pontos A-D	34	25	1	6	2	1
Pontos E-H	28	25	1	6	2	1
24°C						
Pontos A-D	35	25	1	6	2	0
Pontos E-H	37	25	1	6	2	0
25°C						
Pontos A-D	36	25	1	6	2	0
Pontos E-H	37	25	1	6	2	0
26°C						
Pontos A-D	33	25	1	9	0	1
Pontos E-H	34	25	1	6	0	1

ANEXO D – DADOS REFERENTES ÀS MEDIÇÕES DE PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO NA PRIMEIRA E SEGUNDA ETAPA DAS MEDIÇÕES (AMBIENTE OCUPADO E DESOCUPADO)

**Tabela 58 – 1ª Etapa (21°C): TPS e IERC por ponto e para
ambiente ocupado e desocupado**

1ª Etapa						
Setpoint: 21°C						
Ponto	Ambiente Ocupado			Ambiente Desocupado		
	TPS Médio (mg/m3)		IERC	TPS Médio (mg/m3)		IERC
	h = 1,10m	h = 2,60m		h = 1,10m	h = 2,60m	
1	0,010	0,011	1,06	0,008	0,007	0,96
2	0,012	0,011	0,86	0,006	0,004	0,71
3	0,009	0,010	1,11	0,004	0,004	1,00
4	0,006	0,007	1,17	0,003	0,002	0,88
5	0,012	0,012	0,97	0,002	0,002	0,71
6	0,011	0,010	0,91	0,003	0,002	0,67
7	0,012	0,009	0,77	0,002	0,001	0,57
8	0,009	0,009	1,00	0,002	0,001	0,57
Média	0,0102	0,0098		0,0037	0,0030	
IERC	0,96			0,80		

**Tabela 59 - 1ª Etapa (22°C): TPS e IERC por ponto e para
ambiente ocupado e desocupado**

1ª Etapa						
Setpoint: 22°C						
Ponto	Ambiente Ocupado			Ambiente Desocupado		
	TPS Médio (mg/m3)		IERC	TPS Médio (mg/m3)		IERC
	h = 1,10m	h = 2,60m		h = 1,10m	h = 2,60m	
1	0,015	0,014	0,98	0,008	0,007	0,92
2	0,018	0,012	0,67	0,006	0,004	0,67
3	0,010	0,010	0,97	0,005	0,005	0,94
4	0,007	0,007	1,05	0,004	0,004	0,92
5	0,019	0,020	1,05	0,006	0,004	0,61
6	0,014	0,011	0,80	0,006	0,003	0,50
7	0,013	0,012	0,92	0,005	0,003	0,57
8	0,010	0,011	1,10	0,004	0,003	0,77
Média	0,0130	0,0120		0,0056	0,0041	
IERC	0,92			0,74		

Tabela 60 - 1ª Etapa (23°C): TPS e IERC por ponto e para ambiente ocupado e desocupado

1ª Etapa						
Setpoint: 23°C						
Ponto	Ambiente Ocupado			Ambiente Desocupado		
	TPS Médio (mg/m3)		IERC	TPS Médio (mg/m3)		IERC
	h = 1,10m	h = 2,60m		h = 1,10m	h = 2,60m	
1	0,012	0,012	1,00	0,009	0,009	1,04
2	0,013	0,014	1,10	0,007	0,006	0,90
3	0,012	0,011	0,92	0,003	0,004	1,33
4	0,011	0,013	1,15	0,003	0,003	0,90
5	0,016	0,018	1,17	0,004	0,004	1,00
6	0,011	0,012	1,09	0,003	0,003	0,89
7	0,007	0,008	1,14	0,002	0,003	1,14
8	0,009	0,008	0,89	0,004	0,002	0,64
Média	0,0113	0,0120		0,0044	0,0043	
IERC	1,06			0,97		

Tabela 61 - 1ª Etapa (24°C): TPS e IERC por ponto e para ambiente ocupado e desocupado

1ª Etapa						
Setpoint: 24°C						
Ponto	Ambiente Ocupado			Ambiente Desocupado		
	TPS Médio (mg/m3)		IERC	TPS Médio (mg/m3)		IERC
	h = 1,10m	h = 2,60m		h = 1,10m	h = 2,60m	
1	0,019	0,018	0,98	0,030	0,029	0,95
2	0,015	0,014	0,89	0,010	0,011	1,03
3	0,013	0,014	1,08	0,008	0,007	0,88
4	0,016	0,013	0,83	0,006	0,007	1,05
5	0,034	0,032	0,93	0,006	0,004	0,67
6	0,020	0,019	0,95	0,005	0,004	0,80
7	0,017	0,015	0,88	0,006	0,003	0,53
8	0,014	0,015	1,07	0,003	0,003	1,00
Média	0,0185	0,0175		0,0095	0,0085	
IERC	0,95			0,89		

Tabela 62 - 1ª Etapa (25°C): TPS e IERC por ponto e para ambiente ocupado e desocupado

1ª Etapa						
Setpoint: 25°C						
Ponto	Ambiente Ocupado			Ambiente Desocupado		
	TPS Médio (mg/m3)		IERC	TPS Médio (mg/m3)		IERC
	h = 1,10m	h = 2,60m		h = 1,10m	h = 2,60m	
1	0,032	0,031	0,97	0,011	0,011	0,97
2	0,032	0,034	1,06	0,006	0,006	1,06
3	0,030	0,032	1,09	0,006	0,007	1,17
4	0,022	0,024	1,12	0,005	0,006	1,36
5	0,015	0,015	0,98	0,003	0,003	1,11
6	0,010	0,010	1,00	0,004	0,003	0,69
7	0,019	0,014	0,72	0,003	0,003	1,13
8	0,011	0,011	1,00	0,005	0,005	1,14
Média	0,0214	0,0215		0,0053	0,0056	
IERC	1,00			1,06		

Tabela 63 - 1ª Etapa (26°C): TPS e IERC por ponto e para ambiente ocupado e desocupado

1ª Etapa						
Setpoint: 26°C						
Ponto	Ambiente Ocupado			Ambiente Desocupado		
	TPS Médio (mg/m3)		IERC	TPS Médio (mg/m3)		IERC
	h = 1,10m	h = 2,60m		h = 1,10m	h = 2,60m	
1	0,019	0,018	0,93	0,011	0,012	1,09
2	0,021	0,017	0,82	0,007	0,007	0,95
3	0,014	0,014	1,00	0,008	0,007	0,87
4	0,014	0,012	0,88	0,008	0,008	0,92
5	0,024	0,024	1,03	0,005	0,003	0,71
6	0,016	0,016	0,96	0,004	0,003	0,69
7	0,012	0,010	0,81	0,004	0,002	0,54
8	0,011	0,011	1,00	0,003	0,003	0,90
Média	0,0164	0,0153		0,0063	0,0056	
IERC	0,93			0,88		

Tabela 64 – 1ª Etapa: TPS X temperatura do ar para ambiente ocupado e desocupado

Setpoint (°C)	Ambiente ocupado		Ambiente desocupado	
	TPS (mg/m3)		TPS (mg/m3)	
	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m
21	0,010	0,010	0,004	0,003
22	0,013	0,012	0,006	0,004
23	0,011	0,012	0,004	0,004
24	0,019	0,018	0,009	0,008
25	0,021	0,021	0,005	0,006
26	0,016	0,015	0,006	0,006

Tabela 65 - 1ª Etapa: TPS X velocidade do ar para ambiente ocupado e desocupado

Setpoint (°C)	Ambiente Ocupado				Ambiente Desocupado			
	TPS (mg/m3)		v (m/s)		TPS (mg/m3)		v (m/s)	
	h=1,10m	h=1,10m	h=2,60m	h=2,35m	h=1,10m	h=1,10m	h=2,60m	h=2,35m
21	0,010	0,04	0,010	0,07	0,004	0,04	0,003	0,07
22	0,013	0,05	0,012	0,06	0,006	0,05	0,004	0,06
23	0,011	0,05	0,012	0,06	0,004	0,06	0,004	0,07
24	0,019	0,04	0,018	0,07	0,009	0,05	0,008	0,07
25	0,021	0,06	0,021	0,06	0,005	0,05	0,006	0,07
26	0,016	0,05	0,015	0,07	0,006	0,05	0,006	0,06

Tabela 66 - 2ª Etapa (21°C): Quantidades médias de partículas por tamanho e IERC por ponto e para ambiente ocupado

2ª Etapa		Quantidades Médias de Partículas e IERC											
Ambiente Ocupado													
Setpoint: 21°C													
Ponto	h=1,10m	Ø=0,5µm		Ø=1,0µm		Ø=3,0µm		Ø=5,0µm		Ø=10,0µm			
		h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m
		IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC
1	1147,7	1169,7	102	265,3	287,3	1,08	60,0	67,3	1,12	27,7	32,7	1,18	6,0
2	1075,0	1034,0	0,96	186,3	196,0	1,05	28,0	36,0	1,29	10,0	18,3	1,83	3,0
3	1020,3	1065,7	1,04	193,7	206,3	1,07	35,7	37,3	1,05	16,0	18,3	1,15	4,7
4	1026,0	1022,7	1,00	179,0	191,3	1,07	23,0	37,3	1,62	11,3	19,7	1,74	1,3
5	2100,0	1974,7	0,94	284,7	288,0	1,01	43,7	50,3	1,15	16,0	25,0	1,56	4,3
6	2070,3	1972,3	0,95	291,7	264,3	0,91	49,3	49,7	1,01	24,0	17,0	0,71	6,7
7	1989,3	1929,0	0,97	261,0	259,3	0,99	44,0	50,7	1,15	20,3	23,3	1,15	10,0
8	1998,7	1915,0	0,96	235,3	224,7	0,95	29,7	33,0	1,11	11,7	18,3	1,57	3,7
Média	1553,4	1510,4		237,1	239,7		39,2	45,2		17,1	21,6		5,0
IERC	0,97			1,01			1,15			1,26			1,61

Tabela 67 - 2ª Etapa (21°C): Quantidades médias de partículas por tamanho e IERC por ponto e para ambiente desocupado

2ª Etapa		Quantidades Médias de Partículas e IERC											
Ambiente Desocupado													
Setpoint: 21°C													
Ponto		Ø=0,5µm		Ø=1,0µm		Ø=3,0µm		Ø=5,0µm		Ø=10,0µm			
		h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m
		IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC
1		1840,3	1797,0	0,98	270,3	300,3	1,11	33,3	49,0	1,47	9,7	2,03	4,3
2		1679,7	1616,3	0,96	245,3	236,0	0,96	30,7	32,0	1,04	9,3	0,89	2,7
3		1723,7	1652,3	0,96	236,0	252,0	1,07	29,3	37,0	1,26	7,7	1,57	2,0
4		1504,7	1509,7	1,00	199,0	214,7	1,08	16,7	18,7	1,12	4,3	1,31	1,0
5		1467,0	1410,7	0,96	170,7	169,0	0,99	8,7	15,3	1,77	2,3	2,00	1,3
6		1421,0	1339,0	0,94	146,7	147,7	1,01	6,3	9,3	1,47	3,3	0,90	1,3
7		1344,0	1302,3	0,97	140,0	139,7	1,00	5,7	8,7	1,53	0,7	3,50	0,3
8		1347,7	1242,3	0,92	143,7	137,7	0,96	7,7	8,7	1,13	2,7	0,75	0,7
Média		1541,0	1483,7		194,0	199,6		17,3	22,3		5,0		1,7
IERC		0,96			1,03			1,29			1,44		2,05

Tabela 68 - 2ª Etapa (22°C): Quantidades médias de partículas por tamanho e IERC por ponto e para ambiente ocupado

2ª Etapa		Quantidades Médias de Partículas e IERC											
Ambiente Ocupado													
Setpoint: 22°C													
Ponto	h=1,10m	Ø=0,5µm		Ø=1,0µm		Ø=3,0µm		Ø=5,0µm		Ø=10,0µm			
		h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m
		IERC		IERC		IERC		IERC		IERC		IERC	
1	2010,0	0,98	1976,7	0,98	345,7	1,11	56,7	1,40	23,3	36,0	1,54	6,3	10,3
2	1880,0	1,01	1894,3	1,01	319,7	1,12	49,7	1,38	24,7	29,0	1,18	7,0	9,3
3	1906,7	0,99	1889,0	0,99	339,0	1,00	49,3	1,22	21,0	25,7	1,22	6,7	6,0
4	1764,0	1,01	1785,0	1,01	277,0	1,05	37,0	1,15	14,0	24,7	1,76	2,0	8,3
5	844,7	1,07	901,0	1,07	248,7	1,07	74,0	0,87	32,0	26,0	0,81	7,3	6,3
6	764,3	1,03	787,3	1,03	202,0	1,07	48,7	1,13	20,7	26,3	1,27	6,3	5,3
7	703,7	1,05	738,3	1,05	173,3	1,16	35,7	1,45	12,7	20,7	1,63	1,3	2,7
8	663,7	1,02	678,3	1,02	156,3	1,09	34,7	1,06	13,7	14,0	1,02	1,7	2,7
Média	1317,1		1331,3		257,7		48,2		20,3	25,3		4,8	6,4
IERC	1,01				1,08		1,19		1,25			1,32	

Tabela 69 - 2ª Etapa (22°C): Quantidades médias de partículas por tamanho e IERC por ponto e para ambiente desocupado

2ª Etapa		Quantidades Médias de Partículas e IERC											
Ambiente Desocupado													
Setpoint: 22°C													
Ponto		Ø=0,5µm		Ø=1,0µm		Ø=3,0µm		Ø=5,0µm		Ø=10,0µm			
		h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m
		IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC
1	613,7	599,0	0,98	97,3	82,7	0,85	15,7	13,0	0,83	5,0	5,3	1,07	2,0
2	596,0	557,7	0,94	89,3	70,3	0,79	8,0	7,7	0,96	3,3	3,7	1,10	0,7
3	551,7	560,0	1,02	74,0	75,7	1,02	10,3	9,0	0,87	4,3	2,7	0,62	2,3
4	552,3	531,0	0,96	84,3	76,0	0,90	10,7	10,3	0,97	3,3	4,3	1,30	1,0
5	534,3	513,7	0,96	66,7	69,3	1,04	7,0	8,3	1,19	2,0	2,7	1,33	0,3
6	492,0	520,0	1,06	67,7	64,0	0,95	6,3	4,7	0,74	0,7	2,7	4,00	0,0
7	483,0	472,0	0,98	59,0	60,7	1,03	7,7	8,3	1,09	3,7	3,7	1,00	0,7
8	499,3	452,7	0,91	67,7	54,0	0,80	8,0	5,7	0,71	1,7	2,7	1,60	0,3
Média	540,3	525,8		75,8	69,1		9,2	8,4		3,0	3,5		0,9
IERC	0,97			0,91			0,91			1,15			1,00

Tabela 70 - 2ª Etapa (23°C): Quantidades médias de partículas por tamanho e IERC por ponto e para ambiente ocupado

2ª Etapa		Quantidades Médias de Partículas e IERC											
Ambiente Ocupado													
Setpoint: 23°C													
Ponto		Ø=0,5µm		Ø=1,0µm		Ø=3,0µm		Ø=5,0µm		Ø=10,0µm			
		h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m
		IERC		IERC		IERC		IERC		IERC		IERC	
1	6581,0	0,94	6187,0	0,94	39,7	39,7	1,00	15,3	16,7	1,09	6,0	5,3	0,89
2	6246,0	0,97	6068,3	0,96	26,7	29,7	1,11	8,7	15,7	1,81	2,7	5,3	2,00
3	6288,7	1,03	6468,0	1,10	35,3	43,7	1,24	15,0	19,3	1,29	5,3	4,7	0,88
4	5832,3	0,98	5706,3	0,90	33,0	30,3	0,92	14,0	13,7	0,98	4,7	3,7	0,79
5	4461,3	0,93	4155,7	1,13	40,3	57,3	1,42	13,0	20,0	1,54	4,7	6,7	1,43
6	4341,7	0,92	4010,0	1,09	21,7	39,0	1,80	8,7	13,3	1,54	3,7	3,3	0,91
7	4018,3	0,97	3879,0	0,87	32,0	23,0	0,72	12,3	11,3	0,92	3,7	2,7	0,73
8	3737,7	0,99	3708,3	1,07	18,3	19,0	1,04	6,7	6,7	1,00	2,0	1,3	0,67
Média	5188,4		5022,8		30,9	35,2		11,7	14,6		4,1	4,1	
IERC	0,97				1,14			1,25			1,01		

Tabela 71 - 2ª Etapa (23°C): Quantidades médias de partículas por tamanho e IERC por ponto e para ambiente desocupado

2ª Etapa		Quantidades Médias de Partículas e IERC											
Ambiente Desocupado													
Setpoint: 23°C													
Ponto		Ø=0,5µm		Ø=1,0µm		Ø=3,0µm		Ø=5,0µm		Ø=10,0µm			
		h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m
		IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC
1		3729,0	3909,3	1,05	333,3	1,39	49,0	1,63	19,7	2,19	2,7	2,0	1,33
2		3716,3	3532,3	0,95	219,3	0,99	17,7	0,98	5,3	1,14	1,3	1,0	1,33
3		3854,0	4104,3	1,06	334,3	1,36	49,3	1,97	16,7	2,08	2,7	3,3	0,80
4		3686,0	3570,7	0,97	225,3	1,07	24,7	1,68	9,7	1,45	2,7	1,3	2,00
5		3517,7	3382,7	0,96	186,3	1,00	13,3	1,03	4,0	3,00	0,3	0,0	-
6		3464,0	3106,3	0,90	145,0	0,87	11,7	0,76	4,0	1,00	0,0	1,0	0,00
7		3367,0	3060,3	0,91	137,3	0,85	10,3	0,74	2,3	0,54	0,7	0,3	2,00
8		3265,3	2876,7	0,88	146,0	0,94	11,7	1,25	5,7	1,06	0,7	2,7	0,25
Média		3574,9	3442,8		215,9		23,5		8,4		1,4	1,5	1,4
IERC		0,96		1,09		1,35		1,55		0,94			

Tabela 72 - 2ª Etapa (24°C): Quantidades médias de partículas por tamanho e IERC por ponto e para ambiente ocupado

2ª Etapa		Quantidades Médias de Partículas e IERC													
Ambiente Ocupado															
Setpoint: 24°C															
Ponto	Ø=0,5µm		Ø=1,0µm		Ø=3,0µm		Ø=5,0µm		Ø=10,0µm						
	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m			
	IERC		IERC		IERC		IERC		IERC		IERC				
1	1828,0	1783,3	0,98	240,7	275,7	1,15	60,7	84,7	1,40	29,0	44,0	1,52	7,3	14,0	1,91
2	1847,3	1833,0	0,99	263,3	327,3	1,24	62,0	91,0	1,47	26,3	43,3	1,65	6,7	17,7	2,65
3	1829,7	1779,7	0,97	244,3	239,3	0,98	44,3	57,3	1,29	18,0	25,7	1,43	3,7	7,3	2,00
4	1866,3	1762,3	0,94	228,7	230,7	1,01	40,0	46,0	1,15	17,3	18,7	1,08	5,3	7,3	1,38
5	4290,3	3921,3	0,91	402,0	406,7	1,01	62,3	75,0	1,20	26,7	32,3	1,21	7,7	11,0	1,43
6	4792,3	4249,0	0,89	439,7	412,7	0,94	63,0	71,7	1,14	27,7	34,0	1,23	9,3	13,0	1,39
7	5052,0	4804,7	0,95	478,3	422,7	0,88	68,7	70,7	1,03	29,7	33,0	1,11	9,3	9,7	1,04
8	5328,3	5171,3	0,97	415,3	429,7	1,03	41,7	58,7	1,41	20,0	25,7	1,28	7,3	6,7	0,91
Média	3354,3	3163,1		339,0	343,1		55,3	69,4		24,3	32,1		7,1	10,8	
IERC	0,94			1,01			1,25			1,32			1,53		

Tabela 73 - 2ª Etapa (24°C): Quantidades médias de partículas por tamanho e IERC por ponto e para ambiente desocupado

2ª Etapa		Quantidades Médias de Partículas e IERC											
Ambiente Desocupado													
Setpoint: 24°C													
Ponto		Ø=0,5µm		Ø=1,0µm		Ø=3,0µm		Ø=5,0µm		Ø=10,0µm			
		h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m
		IERC		IERC		IERC		IERC		IERC		IERC	
1	10963,67	10026,33	0,91	302,0	277,7	0,92	21,67	17,67	0,82	10,33	7,33	0,71	3,67
2	11277,33	10133,00	0,90	310,7	262,3	0,84	13,00	16,00	1,23	6,33	5,00	0,79	1,33
3	11573,00	10308,67	0,89	322,7	261,0	0,81	12,67	12,67	1,00	3,33	5,33	1,60	0,33
4	11637,33	10562,33	0,91	313,3	277,7	0,89	11,33	10,67	0,94	6,00	3,00	0,50	2,33
5	11692,33	10603,00	0,91	302,7	279,3	0,92	8,00	10,00	1,25	2,67	3,00	1,13	0,67
6	11742,33	10305,67	0,88	325,0	256,3	0,79	11,67	10,67	0,91	5,33	4,67	0,88	2,00
7	11408,33	10400,33	0,91	297,7	251,7	0,85	8,33	8,33	1,00	3,00	2,33	0,78	1,00
8	11436,00	10155,00	0,89	294,7	240,0	0,81	12,33	9,33	0,76	5,00	4,33	0,87	0,33
Média	11466,3	10311,8		308,6	263,3		12,4	11,9		5,3	4,4		1,5
IERC	0,90			0,85			0,96			0,83			0,74

Tabela 74 - 2ª Etapa (25°C): Quantidades médias de partículas por tamanho e IERC por ponto e para ambiente ocupado

2ª Etapa		Quantidades Médias de Partículas e IERC											
Ambiente Ocupado													
Setpoint: 25°C													
Ponto		Ø=0,5µm		Ø=1,0µm		Ø=3,0µm		Ø=5,0µm		Ø=10,0µm			
		h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m
		IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC
1		8670,3	8134,7	469,3	479,0	48,7	56,7	1,16	24,0	27,0	1,13	7,7	11,3
2		8634,7	8534,3	450,7	461,3	40,0	43,0	1,08	16,0	18,0	1,13	6,7	4,7
3		8985,7	9190,0	483,0	536,7	54,3	61,0	1,12	22,3	24,3	1,09	6,7	7,7
4		8946,0	8556,3	448,7	497,7	35,0	54,7	1,56	11,0	22,7	2,06	2,3	8,0
5		9079,0	8856,0	640,7	638,3	81,7	88,7	1,09	32,0	36,7	1,15	12,0	11,7
6		8559,3	8550,3	579,3	593,3	69,7	71,7	1,03	28,0	22,0	0,79	7,3	5,7
7		8460,0	8231,7	568,7	556,7	53,7	59,7	1,11	16,7	23,3	1,40	6,0	6,3
8		8225,7	7922,7	559,0	542,3	49,0	50,0	1,02	20,0	17,7	0,88	5,0	4,0
Média		8695,1	8497,0	524,9	538,2	54,0	60,7		21,3	24,0		6,7	7,4
IERC		0,98		1,03		1,12			1,13			1,11	

Tabela 75 - 2ª Etapa (25°C): Quantidades médias de partículas por tamanho e IERC por ponto e para ambiente desocupado

2ª Etapa		Quantidades Médias de Partículas e IERC											
Ambiente Desocupado													
Setpoint: 25°C													
Ponto		Ø=0,5µm		Ø=1,0µm		Ø=3,0µm		Ø=5,0µm		Ø=10,0µm			
		h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m
		IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC
1	3192,7	3162,3	0,99	323,7	361,0	1,12	53,3	12,7	20,3	1,61	4,0	6,7	1,67
2	3054,7	2892,3	0,95	289,3	279,7	0,97	32,7	6,0	11,3	1,89	0,7	2,7	4,00
3	3104,0	3166,0	1,02	318,0	363,7	1,14	46,0	14,0	15,3	1,10	3,7	3,3	0,91
4	3056,3	2927,7	0,96	311,7	311,7	1,00	35,3	10,0	14,3	1,43	1,7	2,3	1,40
5	2833,3	2714,3	0,96	265,0	252,0	0,95	21,7	6,7	6,7	1,00	0,7	1,3	2,00
6	2769,7	2708,0	0,98	266,0	263,0	0,99	22,7	9,7	9,0	0,93	1,7	1,3	0,80
7	2649,7	2591,7	0,98	254,0	235,0	0,93	22,0	7,7	7,3	0,96	1,3	1,3	1,00
8	2584,7	2494,7	0,97	244,7	233,7	0,96	19,3	2,0	6,7	3,33	0,7	2,0	3,00
Média	2905,6	2832,1		284,0	287,5		31,6	8,6	11,4		1,8	2,6	
IERC	0,97			1,01			1,22	1,33			1,47		

Tabela 76 - 2ª Etapa (26°C): Quantidades médias de partículas por tamanho e IERC por ponto e para ambiente ocupado

2ª Etapa		Quantidades Médias de Partículas e IERC											
Ambiente Ocupado													
Setpoint: 26°C													
Ponto		Ø=0,5µm		Ø=1,0µm		Ø=3,0µm		Ø=5,0µm		Ø=10,0µm			
		h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m
		IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC
1	1906,3	1875,3	0,98	504,0	479,3	0,95	116,3	129,7	1,11	47,0	56,7	1,21	15,3
2	1687,3	1796,0	1,06	359,7	377,3	1,05	60,7	74,0	1,22	18,3	27,0	1,47	1,7
3	1991,3	2099,7	1,05	424,7	469,0	1,10	85,0	90,0	1,06	34,3	31,3	0,91	6,7
4	1984,0	2096,0	1,06	415,3	448,3	1,08	63,0	94,0	1,49	23,7	37,7	1,59	7,7
5	1682,0	1730,7	1,03	355,7	389,7	1,10	53,3	76,0	1,43	22,3	26,3	1,18	6,7
6	1694,3	1745,3	1,03	343,7	356,7	1,04	58,0	67,0	1,16	25,0	24,0	0,96	4,3
7	1684,0	1735,0	1,03	354,7	360,3	1,02	60,7	59,3	0,98	25,3	21,7	0,86	3,7
8	1601,3	1627,0	1,02	280,7	322,7	1,15	38,7	46,3	1,20	12,7	12,7	1,00	4,0
Média	1778,8	1838,1		379,8	400,4		67,0	79,5		26,1	29,7		6,3
IERC		1,03		1,05		1,19		1,14		1,15			

Tabela 77 - 2ª Etapa (26°C): Quantidades médias de partículas por tamanho e IERC por ponto e para ambiente desocupado

2ª Etapa		Quantidades Médias de Partículas e IERC													
Ambiente Desocupado															
Setpoint: 26°C															
Ponto	Ø=0,5µm		Ø=1,0µm		Ø=3,0µm		Ø=5,0µm		Ø=10,0µm						
	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m			
	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC	IERC			
1	1723,7	1735,7	1,01	237,7	229,7	0,97	22,7	24,3	1,07	7,3	7,3	1,00	2,0	0,7	0,33
2	1732,7	1739,3	1,00	217,7	229,0	1,05	21,3	20,3	0,95	5,0	6,0	1,20	1,3	0,3	0,25
3	1756,7	1836,7	1,05	264,7	287,3	1,09	32,3	38,7	1,20	9,7	11,0	1,14	1,7	2,7	1,60
4	1784,0	1785,7	1,00	257,7	242,0	0,94	29,0	28,3	0,98	10,3	7,7	0,74	1,3	1,7	1,25
5	1708,0	1647,7	0,96	231,0	224,0	0,97	21,7	25,3	1,17	8,0	6,7	0,83	1,7	1,0	0,60
6	1603,0	1555,7	0,97	235,0	205,3	0,87	20,7	23,0	1,11	6,3	8,7	1,37	1,3	0,7	0,50
7	1672,7	1589,0	0,95	245,0	225,7	0,92	32,3	23,7	0,73	12,7	8,7	0,68	2,0	0,7	0,33
8	1550,0	1577,7	1,02	204,3	239,0	1,17	19,7	30,3	1,54	7,7	12,7	1,65	0,3	1,7	5,00
Média	1691,3	1683,4		236,6	235,3		25,0	26,8		8,4	8,6		1,5	1,2	
IERC	1,00			0,99			1,07			1,02			0,80		

Tabela 78 - 2ª Etapa: Quantidades médias de partículas por tamanho X temperatura do ar e velocidade do ar para ambiente ocupado

2ª Etapa Ambiente Ocupado		Quantidades Médias de Partículas X Temperatura e Velocidade do Ar											
		Velocidade do Ar (m/s)		$\varnothing=0,5\mu\text{m}$		$\varnothing=01,0\mu\text{m}$		$\varnothing=3,0\mu\text{m}$		$\varnothing=5,0\mu\text{m}$		$\varnothing=10,0\mu\text{m}$	
Setpoint (°C)		h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m	h=1,10m	h=2,60m
21	0.04	1553	1510	237	240	39	45	17	22	5	8		
22	0.04	1317	1331	258	278	48	57	20	25	5	6		
23	0.04	5188	5023	335	335	31	35	12	15	4	4		
24	0.03	3354	3163	339	343	55	69	24	32	7	11		
25	0.03	8695	8497	525	538	54	61	21	24	7	7		
26	0.03	1779	1838	380	400	67	80	26	30	5	6		

Tabela 79 - 2ª Etapa: Quantidades médias de partículas por tamanho X temperatura do ar e velocidade do ar para ambiente desocupado

2ª Etapa		Quantidades Médias de Partículas X Temperatura e Velocidade do Ar											
Ambiente Desocupado	Setpoint (°C)	Velocidade do Ar (m/s)		$\varnothing=0,5\mu\text{m}$		$\varnothing=01,0\mu\text{m}$		$\varnothing=3,0\mu\text{m}$		$\varnothing=5,0\mu\text{m}$		$\varnothing=10,0\mu\text{m}$	
		h=1,10m	h=2,60m										
	21	0.05	0.15	1541	1484	194	200	17	22	5	7	1	2
	22	0.05	0.08	540	526	76	69	9	8	3	3	1	1
	23	0.05	0.16	3575	3443	199	216	17	23	5	8	1	1
	24	0.04	0.09	11466	10312	309	263	12	12	5	4	1	1
	25	0.03	0.09	2906	2832	284	287	26	32	9	11	2	3
	26	0.04	0.07	1691	1683	237	235	25	27	8	9	1	1

ANEXO E – DADOS REFERENTES ÀS MEDIÇÕES DE CO₂ NA SEGUNDA ETAPA DAS MEDIÇÕES (AMBIENTE OCUPADO E DESOCUPADO)

Tabela 80 - 2ª Etapa (21°C): Níveis de CO₂ e IERCO₂ por ponto e para ambiente ocupado e desocupado

2ª Etapa						
Setpoint: 21°C						
Ponto	Ambiente Ocupado			Ambiente Desocupado		
	CO ₂ (ppm)		IERCO ₂	CO ₂ (ppm)		IERCO ₂
	h = 1,10m	h = 2,60m		h = 1,10m	h = 2,60m	
1	574	599	1,04	654	683	1,04
2	605	627	1,04	623	670	1,07
3	578	646	1,12	619	651	1,05
4	589	656	1,11	587	642	1,09
5	517	549	1,06	555	584	1,05
6	551	572	1,04	552	569	1,03
7	641	599	0,93	546	563	1,03
8	602	610	1,01	537	552	1,03
Média	582	607		584	614	
IERCO ₂	1,04			1,05		

Tabela 81 - 2ª Etapa (22°C): Níveis de CO₂ e IERCO₂ por ponto e para ambiente ocupado e desocupado

2ª Etapa						
Setpoint: 22°C						
Ponto	Ambiente Ocupado			Ambiente Desocupado		
	CO ₂ (ppm)		IERCO ₂	CO ₂ (ppm)		IERCO ₂
	h = 1,10m	h = 2,60m		h = 1,10m	h = 2,60m	
1	644	667	1,04	509	594	1,17
2	623	678	1,09	479	589	1,23
3	596	696	1,17	471	579	1,23
4	598	702	1,18	459	562	1,22
5	582	611	1,05	454	507	1,12
6	696	659	0,95	455	502	1,10
7	646	672	1,04	464	501	1,08
8	631	687	1,09	449	501	1,12
Média	627	672		468	542	
IERCO ₂	1,07			1,16		

Tabela 82 - 2ª Etapa (23°C): Níveis de CO₂ e IERCO₂ por ponto e para ambiente ocupado e desocupado

2ª Etapa		Ambiente Ocupado			Ambiente Desocupado		
Setpoint: 23°C		CO ₂ (ppm)		IERCO ₂	CO ₂ (ppm)		IERCO ₂
Ponto		h = 1,10m	h = 2,60m		h = 1,10m	h = 2,60m	
1		744	793	1,07	784	830	1,06
2		729	809	1,11	759	815	1,07
3		779	827	1,06	724	791	1,09
4		779	829	1,06	700	771	1,10
5		604	626	1,04	674	681	1,01
6		629	661	1,05	659	664	1,01
7		647	686	1,06	671	652	0,97
8		668	696	1,04	499	514	1,03
Média		697	741		684	715	
IERCO ₂		1,06			1,05		

Tabela 83 - 2ª Etapa (24°C): Níveis de CO₂ e IERCO₂ por ponto e para ambiente ocupado e desocupado

2ª Etapa		Ambiente Ocupado			Ambiente Desocupado		
Setpoint: 24°C		CO ₂ (ppm)		IERCO ₂	CO ₂ (ppm)		IERCO ₂
Ponto		h = 1,10m	h = 2,60m		h = 1,10m	h = 2,60m	
1		629	692	1,10	508	593	1,17
2		643	719	1,12	507	587	1,16
3		669	738	1,10	496	581	1,17
4		708	770	1,09	484	568	1,17
5		644	576	0,89	487	515	1,06
6		669	626	0,94	499	511	1,02
7		690	669	0,97	505	508	1,01
8		674	686	1,02	480	502	1,04
Média		666	685		496	546	
IERCO ₂		1,03			1,10		

Tabela 84 - 2ª Etapa (25°C): Níveis de CO₂ e IERCO₂ por ponto e para ambiente ocupado e desocupado

2ª Etapa		Ambiente Ocupado			Ambiente Desocupado		
Setpoint: 25°C		CO ₂ (ppm)		IERCO ₂	CO ₂ (ppm)		IERCO ₂
Ponto		h = 1,10m	h = 2,60m		h = 1,10m	h = 2,60m	
1		633	707	1,12	810	879	1,09
2		661	740	1,12	780	856	1,10
3		711	757	1,06	755	834	1,10
4		755	778	1,03	739	810	1,10
5		847	754	0,89	708	728	1,03
6		960	786	0,82	712	709	1,00
7		836	822	0,98	700	686	0,98
8		903	837	0,93	662	672	1,01
Média		788	772		733	772	
IERCO ₂		0,98			1,05		

Tabela 85 - 2ª Etapa (26°C): Níveis de CO₂ e IERCO₂ por ponto e para ambiente ocupado e desocupado

2ª Etapa		Ambiente Ocupado			Ambiente Desocupado		
Setpoint: 26°C		CO ₂ (ppm)		IERCO ₂	CO ₂ (ppm)		IERCO ₂
Ponto		h = 1,10m	h = 2,60m		h = 1,10m	h = 2,60m	
1		545	620	1,14	713	770	1,08
2		570	645	1,13	697	756	1,08
3		638	672	1,05	677	738	1,09
4		627	691	1,10	658	717	1,09
5		650	654	1,01	614	640	1,04
6		785	678	0,86	620	629	1,01
7		760	710	0,93	594	614	1,03
8		723	720	1,00	572	606	1,06
Média		662	674		643	684	
IERCO ₂		1,02			1,06		