ELIANE HAYASHI SUZUKI

AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO E DO NÍVEL DE CO₂ EM
EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIO COM CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL NA
CIDADE DE SÃO PAULO

São Paulo
2010

ELIANE HAYASHI SUZUKI

AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO E DO NÍVEL DE CO₂ EM
EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIO COM CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL NA
CIDADE DE SÃO PAULO

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

São Paulo
2010

ELIANE HAYASHI SUZUKI

AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO E DO NÍVEL DE CO₂ EM
EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIO COM CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL NA
CIDADE DE SÃO PAULO

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

Área de concentração:
Engenharia de Construção Civil e
Urbana

Orientador: Prof. Dr.
Racine Tadeu Araujo Prado

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, 18 de novembro de 2010.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Suzuki, Eliane Hayashi

Avaliação do conforto térmico e do nível de CO₂ em edifícios de escritório com climatização artificial na cidade de São Paulo / E.H. Suzuki. -- ed.rev. -- São Paulo, 2010.

146 p.

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

1. Conforto térmico das construções 2. Ar condicionado (Qualidade) 3. Edifícios de escritório I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II. t.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais
Massayuki e Suely, à minha irmã Aline e
ao meu namorado Rodrigo, que tanto me
apoiam neste longo período do
mestrado.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Racine T. A. Prado pelo apoio prestado e pelos ensinamentos de vida, além das cerimônias do chá realizadas durante a pesquisa;

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

Aos engenheiros, arquitetos e técnicos de manutenção que viabilizaram o acesso aos edifícios e acompanharam as medições, em ordem alfabética: Alexandre, Amadeu, Antônio, Aparecido, Cesar, Claudinei, Clodoaldo, Daniel, Danilo, Denis, Edgar, Érika, Ernandes, Eronildo, Fernando, Francisco, Gisele, Haroldo, Jackson, Leandro, Luciano, Luis, Marcos B., Marcos M., Marcos R., Marcus, Muller, Paulo, Peter, Reginaldo, Rener, Renildo, Roberto, Rodrigo A., Rodrigo R., Rogério D., Rogério, Severino, Shiroma, Siegel, Tomaz, Valdir, Verônica, Willian e Wilton.

À Samantha Martins do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP) pelo fornecimento dos dados climáticos de temperatura de bulbo seco e umidade relativa diária.

À Profa. Brenda C. C. Leite e ao Prof. José Carlos Morel, pelas informações a respeito de medição em campo e ajuda na obtenção dos contatos.

Aos alunos Júlia Miranda, André Silva e Fábio Kuzuhara pelo auxílio na coleta de dados *in loco*.

Aos técnicos da seção de informática do departamento, Edson e Patrícia, pelos serviços prestados.

Aos amigos Fabio Kacuta e Marcelo Suetake, pelas dicas em informática.

Aos colegas do Laboratório de Sistemas Prediais Paulo Ara, Carolina Mendes, Maria Rastello, Elaine Ferreira, Cristina Ikeda, Vanessa Bessa, Claudio Maluf, Diego Sanchez, Marcos Maran e aos da Sala Buraco Negro Jamil Salim, Ricardo Oviedo, Adriana Rodrigo, Camila Kato, Renato Morettini e Felipe Morasco pelas trocas de informações, companhias para almoços e dicas gerais.

À minha irmã, Aline, pela convivência diária durante a realização desta pesquisa e pelo companheirismo.

Aos meus pais Massayuki e Suely, pelo suporte e motivação, sempre.

Ao meu namorado Rodrigo, pelo incentivo e paciência.

E a todos que colaboraram direta ou indiretamente na execução deste trabalho.

RESUMO

O conforto térmico e a qualidade do ar interior são fatores importantes a serem considerados tanto na fase de projeto quanto na operação dos edifícios. Este trabalho tem como objetivo avaliar as condições do ambiente térmico durante operação do sistema de condicionamento de ar por meio de medições em campo no período de verão. A pesquisa foi realizada em nove edifícios corporativos com climatização artificial na cidade de São Paulo, que foram selecionados conforme critérios pré-estabelecidos de sistema central com distribuição de ar por dutos. A estratégia de medição e o dimensionamento estatístico do número de amostras por edifício foram determinados de acordo com os resultados das primeiras medições. Coletaram-se os dados dos parâmetros ambientais com instrumentação correspondente em três pavimentos aleatórios de cada edifício. Posteriormente, compararam-se os dados com os níveis estipulados por normas técnicas nacionais e internacionais de conforto térmico e qualidade do ar interior, a fim de verificar a eficiência dos sistemas de distribuição de ar dos edifícios pesquisados no que diz respeito à remoção de poluentes, baseado na medição da concentração de dióxido de carbono, e ao provimento do conforto através da análise de variáveis como temperatura, umidade relativa e velocidade do ar. Os resultados mostraram que a maior parte da amostra se enquadrou nas categorias de ambientes térmicos estabelecidos pelas normas e que existe um potencial de conservação de energia nos edifícios de escritório em São Paulo.

Palavras-chave: conforto térmico das construções, ar condicionado (qualidade), edifícios de escritório.

ABSTRACT

Thermal comfort and indoor air quality are important factors to be considered during building design and operation. This study aims to evaluate thermal environment conditions during air conditioning system operation through field measurements in summer. The survey was conducted in nine office buildings with mechanical cooling in São Paulo. Measurement strategy and statistical determination of the number of samples per building were determined in accordance to the results of initial measurements. Environmental parameters data was collected with corresponding instrumentation in buildings and then compared with the levels required by national and international standards for thermal comfort and indoor air quality in order to verify air distribution efficiency in regard of pollutants removal, based on carbon dioxide concentration, and the provision of comfort through the analysis of variables such as temperature, relative humidity and air velocity. The results showed that most of the sample fitted into the categories of thermal environment established by the standards and that there is potential for saving energy in air-conditioned buildings in Sao Paulo.

Keywords: thermal comfort in buildings, air conditioning (quality), office buildings

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1 – Mapa do Brasil com temperaturas máximas do dia 22 fev. 2010. Fonte: http://www.inmet.gov.br/html/clima/mapas/?mapa=tmax . Acesso em 28 fev. 10	27
Figura 3.2 – Velocidade vertical do ar (efeito coanda) (fonte: SIMÕES, 2006)	35
Figura 4.1 – Relação entre PMV e PPD (fonte: ISO 7730, 2005).....	47
Figura 4.2 – Desconforto devido à assimetria de radiação (fonte: ISO 7730, 2005) .	57
Figura 5.1 – Medidor de dióxido de carbono TSI 7535.....	64
Figura 5.2 – Sistema de aquisição de dados (HD32.1) e confortímetro montado	65
Figura 5.3 – TP3227K Sonda composta por 2 sensores de temperatura em haste (fonte: Manual HD 32.1)	68
Figura 5.4 – TP3227PC Sonda composta por 2 sensores de temperatura para o nível do piso (fonte: Manual HD 32.1).....	69
Figura 5.5 – HP3217 Sonda combinada de temperatura e umidade (fonte: Manual HD 32.1).....	69
Figura 5.6 – AP3203 Sonda a fio quente multidirecional para velocidade do ar (fonte: Manual HD 32.1)	70
Figura 5.7 – TP3207TR Sonda para medição de temperatura radiante (fonte: Manual HD 32.1	71
Figura 5.8 – TP3275 sensor de temperatura com globo negro (fonte: Manual HD 32.1)	72
Figura 5.9 – Dados de temperatura do ar medidos ao longo do dia no edifício-piloto	76
Figura 6.1 – Esquema dos pontos de medição no 15º andar do Edifício A.....	83
Figura 6.2 – Valores de velocidade do ar verificados no 15º andar do Edifício A	84
Figura 6.3 – Valores de temperatura operativa do 15º andar do Edifício A.....	84
Figura 6.4 – Esquema dos pontos de medição no 5º andar do Edifício B.....	86
Figura 6.5 – Valores de umidade relativa verificados no 5º andar do Edifício B	86
Figura 6.6 –Esquema dos pontos de medição no 8º andar do Edifício C.....	87
Figura 6.7 – Valores de concentração de CO2 no 8º andar do Edifício C.....	88
Figura 6.8 – Esquema dos pontos de medição no 2º andar do Edifício D.....	89
Figura 6.9 – Valores de temperatura operativa do 2º andar do Edifício D.....	90

Figura 6.10 – Esquema dos pontos de medição no 10º andar do Edifício E	91
Figura 6.11 – Valores de temperatura operativa do 10º andar do Edifício E	91
Figura 6.12 – Esquema dos pontos de medição no 9º andar do Edifício F	93
Figura 6.13 – Temperatura operativa do 9º andar do Edifício F	93
Figura 6.14 – Esquema dos pontos de medição no 8º andar do Bloco C – Edifício G (croqui à esquerda e planta modificada de acordo com o layout do pavimento, à direita)	95
Figura 6.15 – Valores de temperatura operativa do 8º andar do Edifício G	95
Figura 6.16 – Esquema dos pontos de medição no 5º andar do Edifício H.....	97
Figura 6.17 – Valores de temperatura operativa do 5º andar do Edifício H.....	97
Figura 6.18 – Esquema dos pontos de medição no 25º andar do Edifício I	99
Figura 6.19 – Valores de concentração de CO ₂ do 25º andar do Edifício I	100
Figura 6.20 – Intervalos considerados nas normas ABNT NBR 16401, ANVISA e ISO 7730	101
Figura 6.21 – Classificação conforme os parâmetros da ABNT NBR 16401	103
Figura 6.22 – Classificação conforme os parâmetros da Res. nº 9 da ANVISA (2003), sem considerar o dióxido de carbono.....	103
Figura 6.23 – Classificação conforme os parâmetros da Res. nº 9 da ANVISA (2003), considerando o dióxido de carbono.....	103
Figura 6.24 – Classificação conforme os parâmetros da Res. nº 9 da ANVISA (2003), considerando somente o dióxido de carbono	103
Figura 6.25 – Classificação conforme os parâmetros da ISO 7730 (2005), sem considerar a velocidade do ar	104
Figura 6.26 – Classificação conforme os parâmetros da ISO 7730 (2005), considerando a velocidade do ar.....	104
Figura 6.27 – Classificação conforme o índice PMV calculado a partir das médias das variáveis com vestimenta de 0,5 clo (ISO 7730, 2005)	105
Figura 6.28 – Classificação conforme o índice PMV calculado a partir das médias das variáveis com vestimenta de 1,0 clo (ISO 7730, 2005)	105
Figura 6.29 – Classificação conforme desconforto térmico por corrente de ar (ISO 7730, 2005)	106
Figura 6.30 – Classificação conforme os parâmetros da NR-17 (1990)	106
Figura 6.31 – Classificação conforme os parâmetros da ASHRAE 62.1 (2007).....	107

Figura 6.32 – Correlação entre velocidade do ar e concentração de CO₂ de todos os dados115

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Critérios de projeto para edifícios de escritório (fonte: ISO 7730, 2005)	46
Tabela 4.2 – Valores de A em função da velocidade do ar para cálculo da temperatura operativa (fonte: ASHRAE 55, 2004)	48
Tabela 4.3 – Categorias do ambiente térmico (fonte: ISO 7730, 2005)	54
Tabela 4.4 – Valores recomendados para desconforto térmico: estratificação da temperatura, temperatura de superfície e assimetria da temperatura radiante (fonte: ISO 7730, 2005)	54
Tabela 5.1 – Variáveis analisadas na pesquisa	63
Tabela 5.2 – Especificação do medidor de CO ₂	64
Tabela 5.3 – Especificação dos sensores utilizados na pesquisa	66
Tabela 5.4 – Características dos instrumentos de medição (fonte: adaptada da ISO 7726 (1998))	67
Tabela 6.1 – Resultado da simulação de um edifício hipotético no <i>Energy Plus</i> referente ao consumo de energia elétrica pelo sistema de ar condicionado	108
Tabela 6.2 – Classificação dos edifícios conforme os critério da NRE-POLI	110
Tabela 6.3 – Classificação em ordem crescente de idade dos edifícios, relacionando o tipo de sistema de ar condicionado, classificação da NRE-Poli e tecnologia empregada	111
Tabela 6.4 – Resultados da classificação por edifício	112
Tabela 6.5 – <i>Ranking</i> dos edifícios seguindo os critérios nas normas	113

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Ar Condicionado
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento
ADPI	<i>Air Diffusion Performance Index</i>
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BMS	<i>Building Management System</i>
CAG	Central de Água Gelada
CIB	<i>International Council for Research and Innovation in Building and Construction</i>
COP	<i>Coefficient of Performance</i>
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
CPD	Central de Processamento de Dados
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
DR	<i>Draught Rate</i>
ET	<i>Effective Temperature</i>
ED	Expansão Direta
GF	Gerente de Facilidades
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i>
ISAIQ	<i>International Society of Indoor Air Quality and Climate</i>
ISO	<i>International Standard Organization</i>
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
NDIR	<i>Non-dispersive infrared</i>
NR	Norma Regulamentadora

NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
PD	<i>Percentage Dissatisfied</i>
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i>
PPD	<i>Predicted Percent Dissatisfied</i>
PPM	Partes por Milhão
RTD	<i>Resistance Temperature Device</i>
SET	<i>Standard Effective Temperature</i>
TAB	<i>Testing, Adjusting and Balancing</i>
TDV	<i>Thermal Displacement Ventilation</i>
TR	Tonelada de Refrigeração
TSV	<i>Thermal Sensation Vote</i>
UFAD	<i>Underfloor Air Distribution</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
VAC	Volume de Ar Constante
VAV	Volume de Ar Variável
VRF	<i>Variable Refrigerant Flow</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

A_D	Área da superfície do corpo (DuBois) (m^2)
AsR	Assimetria da temperatura radiante ($^{\circ}\text{C}$)
C_s	Concentração de CO_2 no ambiente interno (l/l de ar)
C_o	Concentração de CO_2 no ar externo (l/l de ar)
CO_2	Dióxido de carbono
D	Diâmetro do globo negro (mm)
e_o	Intervalo de confiança
EsT	Estratificação de temperatura (diferença vertical de temperatura) ($^{\circ}\text{C}$)
ET	Temperatura Efetiva ($^{\circ}\text{C}$)
f_{cl}	Fator de vestimenta
h_c	Coeficiente de transferência de calor por convecção [$\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$]
h_1	Coeficiente de transferência de calor por convecção natural [$\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$]
h_2	Coeficiente de transferência de calor por convecção forçada [$\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$]
i_m	Índice de permeabilidade
I_{cl}	Isolamento da roupa ($\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$)
l	Altura (m)
LR	Razão de Lewis (<i>Lewis Ratio</i>) (K/kPa)
M	Taxa metabólica (W/m^2)
m	Massa (kg)
n_A	Número de elementos da amostra do Programa A
n_B	Número de elementos da amostra do Programa B
N	Taxa de produção de CO_2 por pessoa (l/s)
p_a	Pressão parcial do vapor d'água (Pa)
p_{ET}	Pressão de vapor saturado na ET (Pa)
T_a	Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)
T_b	Temperatura do ar na altura do corpo do usuário ($^{\circ}\text{C}$)
T_{BU}	Temperatura de bulbo úmido ($^{\circ}\text{C}$)

T_{cl}	Temperatura da superfície da vestimenta (°C)
T_{co}	Temperatura de conforto (°C)
T_f	Temperatura do piso (°C)
T_g	Temperatura de globo (°C)
T_h	Temperatura do ar na altura da cabeça do usuário (°C)
T_k	Temperatura do ar na altura dos tornozelos do usuário (°C)
T_{med}	Temperatura média mensal (°C)
T_o	Temperatura operativa (°C)
$\bar{T}_r$	Temperatura radiante média (°C)
T_u	Intensidade de turbulência (%)
v_a	Velocidade do ar (m/s)
V_o	Vazão de ar externo por pessoa (l/s)
W	Trabalho (W/m ²)
w	Nível de pele molhada (<i>skin wettedness</i>)
$Z_{\alpha/2}$	Valor de z da distribuição normal padrão para a área à direita $\alpha/2$
σ	Desvio padrão da população

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	9
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	13
LISTA DE SÍMBOLOS	15
1 INTRODUÇÃO	19
2 OBJETIVOS	23
2.1 Objetivo geral	23
2.2 Objetivos específicos	23
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
3.1 Avaliação de ambientes térmicos	24
3.2 Sistemas de ar condicionado	27
3.2.1 Climatização artificial em edifícios	27
3.2.2 Sistemas de ar condicionado	30
3.2.3 Distribuição de ar	33
3.2.4 Sistema de controle	37
4 CONFORTO TÉRMICO E QUALIDADE DO AR	39
4.1 Qualidade do ar interior	39
4.1.1 Utilização do CO ₂ como parâmetro de qualidade do ar interior	41
4.2 Conforto térmico	43
4.2.1 Método de Fanger	44
4.2.2 Parâmetros ambientais e pessoais	47
4.2.3 Desconforto local	53
5 MATERIAIS E MÉTODOS	59
5.1 Composição da amostra	59
5.2 Medições <i>in loco</i>	61
5.3 Variáveis analisadas	63
5.4 Instrumentação	63

5.4.1	Medidor de Dióxido de Carbono	64
5.4.2	Confortímetro.....	65
5.5	Investigação de campo	72
5.6	Estratégia de medição.....	75
5.7	Dimensionamento da amostra	79
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	82
6.1	Edifícios estudados	82
6.1.1	Edifício A	83
6.1.2	Edifício B	85
6.1.3	Edifício C	87
6.1.4	Edifício D	88
6.1.5	Edifício E	90
6.1.6	Edifício F.....	92
6.1.7	Edifício G	94
6.1.8	Edifício H	96
6.1.9	Edifício I.....	98
6.2	Classificação geral conforme as normas.....	100
6.3	Classificação por edifício.....	110
6.4	Correlações.....	114
7	CONCLUSÕES.....	116
	REFERÊNCIAS.....	120
A.	Anexo 1.....	126

1 INTRODUÇÃO

O edifício (ou popularmente prédio) é uma construção com a finalidade de abrigar atividades humanas e se caracteriza pelo tipo de uso: habitacional, comercial, de serviços e cultural. A arquitetura sempre desempenhou um papel importante ao satisfazer as necessidades do homem conforme as demandas da época, levando em consideração os fatores socioculturais e econômicos. O resultado pode ser percebido nas cidades, em como a arquitetura influenciou na paisagem urbana, sendo, por sua vez, reflexo dos desejos humanos.

O processo de construção do edifício passa por diversas fases de execução, que envolvem centenas de pessoas e conhecimentos diferentes desde sua concepção e projeto até a sua construção e acabamento, se estendendo à sua operação e manutenção.

Neste trabalho são exploradas as fases de operação e uso dos edifícios de escritório com climatização artificial que, por apresentarem características mais críticas de ocupação, muitas vezes não atendem às solicitações mínimas de conforto e qualidade do ar.

Nos edifícios corporativos, o custo com manutenção e operação é relativamente alto se comparado ao custo total do empreendimento, de cerca de 80% durante a vida útil de projeto (50 anos)¹. Nesta fase, a possibilidade de intervenção é pequena se comparada à fase de projeto e por isso, as medidas de eficiência energética e conservação de insumos deveriam ser idealmente empregadas na concepção do projeto, a fim de evitar gastos excessivos durante a operação do edifício.

Para cumprir as exigências atuais das grandes empresas, os edifícios devem contar com provimento suficiente de energia para iluminação, sistema de condicionamento de ar, uso simultâneo de milhares de microcomputadores e outros equipamentos de informática, além de abastecer o sistema de automação do edifício, de elevadores e de segurança. Destes sistemas prediais, o que mais consome energia é o sistema de climatização, necessário para manter os ambientes

¹ CEOTTO, L. H. **Custos de construção, operação e manutenção de empreendimentos imobiliários**. São Paulo, Teatro Shopping Frei Caneca, 11 ago. 2009. Palestra proferida por ocasião do Seminário promovido pela Ed. Pini: "Como viabilizar a sustentabilidade na construção civil". São Paulo, 2009.

térmicos de acordo com as atividades exercidas no local, de forma que as condições internas atendam às necessidades dos usuários. Embora dispendioso, é um item indispensável neste tipo de edificação, sobretudo por afetar diretamente a sensação térmica e o rendimento dos usuários. De acordo com a Eletrobrás², calcula-se que cerca de 50% da energia elétrica produzida no Brasil seja utilizada na operação e manutenção de edifícios, e nos sistemas “artificiais”, tais como ar condicionado, iluminação e aquecimento de água.

Esta larga utilização de recursos energéticos em sistemas de climatização de ar existe em função do provimento do conforto dos usuários de tais edifícios. Cada vez mais se tem tentando estabelecer um compromisso entre consumo energético e eficiência dos sistemas artificiais em criar ambientes adequados para a permanência prolongada de pessoas, em um esforço conjunto de fabricantes de ar condicionado, projetistas, engenheiros e arquitetos. Sendo assim, com a necessidade de reduzir os custos com energia e garantir conforto térmico, muitos autores se dedicaram por décadas às investigações relacionadas ao conforto térmico e ao ambiente interior. Isto incluiu desenvolver modelos e índices, conduzir experimentos em câmaras climatizadas, realizar pesquisas de campo e estabelecer normas de conforto e métodos de avaliação (DJONGYANG et al., 2010). Porém, segundo o ISAIQ-CIB TG42 (2004), as reclamações dos ocupantes dos edifícios modernos com relação à saúde e conforto são comuns em todo o mundo.

A garantia de um bom ambiente de trabalho é determinante na melhoria da produtividade das pessoas e influencia a qualidade de vida delas (HAGHIGHAT; DONNINI, 1999). No entanto, satisfazer a todos os ocupantes de um mesmo ambiente é uma tarefa praticamente impossível e por isso, apesar da sensação térmica individual apresentar aspectos subjetivos, estes são quantificáveis e estão relacionados ao balanço térmico do corpo como um todo (KOSONEN; TAN, 2004). Sendo assim, é possível avaliar, através de dados de temperatura e de outros parâmetros que influenciam nas trocas de calor, as situações em que a maioria das pessoas ocupando um mesmo ambiente está em conforto ou desconforto térmico.

Condições apropriadas de ambiente de trabalho são de grande importância para o sucesso econômico das empresas. No entanto, as questões de conforto ainda não são as principais preocupações nas operações diárias dos edifícios

² Em: <http://www.eletrobras.gov.br/elb/procel/main.asp>. Acesso em: 30 jul. 2010.

comerciais, devido à falta de conhecimento sobre conforto humano e sobre os benefícios de se providenciar um ambiente térmico adequado (WAGNER et al., 2007). A exposição prolongada às más condições do ar interno pode causar riscos à saúde, devido tanto aos agentes patológicos quanto ao estresse térmico. As possíveis causas destes fatores se devem aos erros nas fases de concepção do projeto do edifício, projeto de ar condicionado, instalação, operação e manutenção.

Quando não é possível a prevenção, torna-se necessária a detecção destes problemas para que haja uma manutenção corretiva, a fim de garantir o conforto e saúde dos ocupantes de edifícios, uma vez que a maioria das pessoas passa cerca de 90% do tempo em ambientes fechados (ISAIQ-CIB TG42, 2004). Para isto, existem normas regulamentadoras que estipulam níveis ideais dos parâmetros ambientais, que também são referências na verificação do funcionamento correto do sistema de condicionamento de ar.

As normas de conforto térmico e de qualidade do ar têm como objetivo prover ambientes adequados tanto de trabalho quanto de moradia, respeitando os usos e atividades exercidas em cada caso. A ISO 7730 (2005) e a ASHRAE 55 (2004) se basearam no estudo de Fanger (1972) para estabelecer faixas ideais de conforto térmico a partir da equação de conforto, através de parâmetros ambientais como temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e temperatura radiante média, propondo métodos de avaliação tais como simulação e medição em campo.

A simulação pode ser feita tanto na fase de projeto da planta quanto no ambiente construído, se for o caso de *retrofit* ou reforma; já a medição é ideal para a identificação dos parâmetros no local, encontrando situações que só seriam percebidas com a vivência *in loco*, por meio de instrumentação das grandezas físicas e/ou aplicação de questionários. Por exemplo, em pesquisa realizada por Federspiel (1998) com 23.500 usuários de edifícios comerciais, constatou-se que a maioria das reclamações (96,5%) ocorreu a temperaturas menores de 21°C ou maiores de 24°C.

A medição também é importante para verificar se o sistema está operando de acordo com o projeto de ar condicionado. Segundo Federspiel (1998), em edifícios de escritório, a maior parte das reclamações é de muito quente ou muito frio (77% dos casos) e acredita-se que as reclamações de frio e calor dificilmente são devido às preferências individuais de temperatura e geralmente ocorrem por causa de problemas relacionados ao sistema de ar condicionado ou ao mau desempenho do

sistema de controle. Sendo assim, o ajuste do sistema de ar condicionado dos edifícios, sobretudo na cidade de São Paulo, se torna necessária uma vez que existe uma tendência de demanda crescente sobre este equipamento. Novas tecnologias visando à sustentabilidade e à eficiência energética estão sendo constantemente introduzidas no mercado, prometendo também um conforto mais personalizado.

A proposta desta pesquisa é, portanto, verificar se os sistemas de ar condicionado instalados em uma amostra de edifícios corporativos da cidade de São Paulo estão operando de modo a oferecer um ambiente térmico de acordo com as normas ou não. A utilização de instrumentos de medição de acordo com a ISO 7726 (1998) torna-se imprescindível para este tipo de avaliação, caracterizando um estudo de casos em amostragem significativa, com base nas normas ABNT NBR 16401 (2008), NR-17 (1990), ISO 7730 (2005) e ASHRAE 55 (2004), consideradas referências no assunto, que já estudaram as sensações térmicas e transformaram-nas em parâmetros mensuráveis. Com relação à qualidade do ar interno, a avaliação tem como bases o ISAIQ-CIB TG42 (2004), a Resolução nº 9 da ANVISA (2003) e ASHRAE 62.1 (2007), também referências em ventilação e dispersão de poluentes internos.

2 OBJETIVOS:

2.1 Objetivo geral

O objetivo da pesquisa é verificar se os edifícios contemporâneos de escritório com climatização artificial, na cidade de São Paulo, atendem aos requisitos de conforto térmico e de qualidade do ar (em porcentagem de CO₂) de acordo com os padrões tecnológicos atuais das normas técnicas.

2.2 Objetivos específicos

- Revisar as normas nacionais e internacionais de conforto térmico e qualidade do ar interior;
- Utilizar a norma ISO 7726 (1998) como base para as medições, que estabelece os parâmetros ambientais e subjetivos para determinação de conforto térmico, assim como algumas condições de medição;
- Utilizar as normas NBR ABNT 16401 (2008), NR-17 (1990), ISO 7730 (2005) e ASHRAE 55 (2004) como referências para avaliação do conforto térmico;
- Utilizar as normas Resolução nº 9 da ANVISA (2003), ASHRAE 62.1 (2007) e CIB TG42 (2004) como referências para qualidade do ar interior;
- Comparar os resultados com as normas ISO 7730 (2005), NR-17 (1990), ABNT NBR 16401 (2008), Resolução nº 9 da ANVISA (2003) e ASHRAE 62.1 (2007) e fazer correlações das variáveis por meio de métodos estatísticos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Avaliação de ambientes térmicos

A questão do conforto térmico, segundo Webb (1959), teve início na antiguidade, como prova um documento de Hipócrates no século V a.C., na qual ele descreveu as variáveis que influenciavam no conforto térmico: temperatura, umidade, vento e radiação. A medição dessas grandezas, no entanto, surgiu entre os séculos XVII e XVIII e percebeu-se que os instrumentos apresentavam comportamento diferente quando em ambientes térmicos do que em laboratório, devido às variações locais.

A dificuldade em prover, desta forma, ambientes termicamente confortáveis, promoveu o investimento em pesquisas para desenvolver instrumentos mais precisos e mais adequados para medição *in loco*, fornecendo um *feedback* das condições atuais e controlando o ambiente conforme critérios pré-estabelecidos, sobretudo de temperatura e umidade.

Foram feitos diversos tipos de pesquisa para estabelecer as condições ideais de conforto que satisfariam a maioria das pessoas ocupando um mesmo ambiente, testando combinações de situações, vestimentas e metabolismo. Nos últimos 40 anos, os estudos em conforto térmico tiveram duas abordagens distintas: o método estacionário, baseado em laboratório com medições em câmara climatizada e o método adaptativo, que consistia na pesquisa em campo com medições no ambiente construído, sendo que a primeira ajusta o ambiente para verificar a resposta dos usuários, enquanto que a segunda avalia o ambiente construído com o sistema de ar condicionado instalado (DE DEAR, 2004 e KWOK; RAJKOVICH, 2010).

Ambos os tipos de pesquisa fornecem informações que contribuem para a melhoria das condições de conforto praticadas em ambientes de trabalho e em residências, culminando na criação de normas internacionais e mais recentemente, as nacionais. Basicamente, as pesquisas conduzidas em câmara climatizada geram resultados que estabelecem as premissas para normas e referências tanto para projetos de arquitetura e aplicação de sistemas passivos, como para definição de

setpoints dos sistemas de ar condicionado. Um dos estudos mais importantes em conforto térmico foi o realizado por Fanger (1972) em câmara climatizada com um grupo numeroso de estudantes e embora ele tenha criado um índice baseado em um ambiente controlado, foi referência para normas nacionais e internacionais de avaliação para conforto térmico. Sendo assim, para a realização da pesquisa em campo, recomenda-se a realização de medições para a determinação das seis variáveis propostas por Fanger (1972), e questionários para avaliação da sensação térmica dos usuários.

Já as pesquisas em campo dão um panorama dos resultados obtidos a partir do uso de normas e promovem constante aperfeiçoamento das condições internas, contestando empiricamente o que se acreditava previamente e fazendo descobertas a partir da experiência *in loco*, como por exemplo, a verificação do conforto adaptativo observado em locais de climas diferentes do estudo de Fanger (1972) e em ambientes sujeitos às variações das condições climáticas externas, que não possuem sistema mecânico de climatização.

De acordo com Kwok e Rajkovich (2010), o modelo adaptativo considera as ações dos usuários para alcançar o conforto térmico, que consistem em alterações comportamentais, psicológicas e fisiológicas, tais como trocar de roupa, abrir as janelas, alterar o metabolismo em função das condições de estresse térmico e criar expectativas com relação ao ambiente térmico. Desta forma, afirmam que as pessoas são mais tolerantes do que sugerem as pesquisas em câmaras climatizadas e por isso, existe um potencial para conservação de energia nos edifícios devido ao conforto adaptativo. No entanto, ao comparar os edifícios naturalmente ventilados com os condicionados artificialmente, os usuários de edifícios com sistema de ar condicionado são menos tolerantes com relação ao ambiente térmico, devido às condições climáticas controladas (NICOL; HUMPHREYS, 2004).

Segundo De Dear (2004), em edifícios com ar condicionado central, o microclima observado pode ser considerado permanente ao longo do tempo e pode-se afirmar que os ocupantes possuem uma relação de regime estacionário com o ambiente. A medição das condições ambientais depende das variações locais, já que o tipo de sistema de ar condicionado e a eficiência da distribuição de ar influenciam na homogeneidade térmica do ambiente. De acordo com a ISO 7726 (1998), um ambiente pode ser considerado homogêneo, se em um determinado

momento, a temperatura do ar, radiação, velocidade do ar e umidade puderem ser considerados praticamente uniformes em volta do indivíduo. Quando o ambiente é não-homogêneo, as quantidades físicas devem ser medidas em diversos pontos em torno do indivíduo para se chegar a um valor médio. É possível considerar, desta forma, que ambientes com climatização artificial sejam homogêneos, pois as condições de conforto são controladas.

Além do uso de instrumentos para avaliação de ambientes térmicos, é comum a aplicação de questionários para avaliar a satisfação térmica do usuário. A ASHRAE 55 (2004) possui um modelo de questionário na qual há perguntas sobre a época do ano, condições climáticas, tipo de vestimenta, nível de atividade, presença de equipamentos eletrônicos próximos ao usuário e autoavaliação de conforto térmico geral. A ABNT NBR 16401 (2008) já apresenta um questionário com mais ênfase à qualidade do ar interior, com questões como a presença de odores e a indicação da origem, se o entrevistado possui alergia e se os sintomas pioram no ambiente de trabalho.

No Brasil, há estudos em conforto térmico e qualidade do ar baseados tanto em medição em campo quanto em câmara climatizada e mais recentemente, a partir de simulação computacional por meio de *softwares* que avaliam o desempenho termoenergético de edificações. As pesquisas na área englobam diversos tipos de ambientes, tais quais avaliação do conforto térmico em edifícios residenciais (BRAGA; AMORIM, 2004), em hospitais (LUKIENTCHUKI; PRADO; CARAM, 2010) e em ambientes externos (ZAMBRANO; MALAFAIA; BASTOS, 2006), cada qual possuindo um programa de necessidades diferente, respeitando o clima local. A maioria das pesquisas na área abrange aspectos de ventilação natural, simulação em conforto ambiental para avaliar também conforto luminoso e acústico e análise do uso de técnicas arquitetônicas passivas. Esta pesquisa propõe a avaliação do conforto em uma situação mais crítica de ocupação, de escritórios na cidade de São Paulo, devido à geometria dos edifícios em função do aproveitamento do terreno, poluição sonora e do ar, o que não incentiva a prática de aproveitamento da ventilação natural e da liberdade dos usuários em abrir e fechar janelas.

3.2 Sistemas de ar condicionado

A seguir, é apresentada uma breve introdução sobre climatização em edifícios na cidade de São Paulo. Depois, no item 3.2.2, são descritos os tipos existentes de sistemas de ar condicionado (expansão direta e indireta) e os sistemas alternativos encontrados na amostra. No item 3.2.3 discorre-se sobre distribuição do ar e no 3.2.4, sobre sistemas de controle.

3.2.1 Climatização artificial em edifícios

O Brasil é um país com grande diversidade climática e possui basicamente três tipos de clima: equatorial, tropical e temperado. Em geral, a temperatura é elevada em quase todo território³. A Figura 3.1 a seguir apresenta as temperaturas máximas de um dia de verão no ano de 2010, referente ao 2º dia de medição do Edifício I.

Figura 3.1 – Mapa do Brasil com temperaturas máximas do dia 22 fev. 2010. Fonte: <http://www.inmet.gov.br/html/clima/mapas/?mapa=tmax>. Acesso em 28 fev. 10

³ Dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 5 set. 08.

Na cidade de São Paulo, o clima, no entanto, é mais ameno e mesmo assim as temperaturas chegam a mais de 30°C no verão, havendo a necessidade de se ter um sistema mecânico de ventilação e resfriamento. Como pode ser observado na Figura 3.1, no dia 22 de fevereiro de 2010, que correspondeu a um dos dias de medição de um edifício da amostra, considerado o mês mais quente do ano no Brasil, a temperatura máxima atingiu a faixa de 31°C a 34°C.

Alucci (2007) propõe um critério de avaliação de desempenho térmico e eficiência energética, que utiliza a seguinte equação de Humphreys (apud SANTAMOURIS; ASIMAKOPOULUS, 1996) para verificar se existe demanda de uma edificação pelo condicionamento artificial levando em conta o conforto adaptativo, sendo que o limite de aceitação do usuário seria $T_{co} \pm 2,4^{\circ}\text{C}$..

$$T_{co} = 0,53 \cdot T_{med} + 11,9 \quad (3.1)$$

Onde:

T_{co} = temperatura de conforto (°C);

T_{med} = temperatura média mensal (°C).

Considerando os meses de dezembro de 2009, janeiro de 2010 e fevereiro de 2010, meses em que foram feitas as medições desta pesquisa, as médias mensais de temperatura foram, respectivamente, 21,8°C, 22,9°C e 23,8°C, de acordo com os dados coletados pela estação meteorológica do IAG-USP na cidade de São Paulo. Sendo assim, os limites de temperatura de conforto para cada mês seriam:

- Dezembro de 2009 – 21,1°C a 25,9°C ($T_{co} = 23,5^{\circ}\text{C}$)
- Janeiro de 2010 – 21,6°C a 26,4°C ($T_{co} = 24,0^{\circ}\text{C}$)
- Fevereiro de 2010 – 22,1°C a 26,9°C ($T_{co} = 24,5^{\circ}\text{C}$)

Em dezembro de 2009, a máxima mensal foi de 32°C, e a média das máximas, 27,3°C. Em janeiro de 2010, a máxima foi de 33,1°C e a média das máximas, 28,5°C e por fim, em fevereiro, a máxima foi de 34,6°C e a média, 30,6°C e em apenas 6 dos 28 dias a máxima foi menor que 26,9°C. As altas temperaturas indicam que não é possível prover conforto sem a instalação de dispositivos de sombreamento ou de resfriamento mecânico.

Além disso, a mancha urbana de São Paulo é, em média, 3°C mais quente do que o entorno e nos dias de muito calor, a diferença pode chegar a 12°C, devido às mudanças climáticas causadas pela urbanização, nas chamadas ilhas de calor.⁴ De acordo com Holmes e Hacker (2007), em simulação sobre o aquecimento global considerando um cenário de médio-altas emissões de gases do efeito estufa baseado nas informações do Reino Unido, a temperatura média global vai aumentar 3,3°C até o ano de 2080.

Além do fator climático, existe um agravante imobiliário na cidade de São Paulo: os edifícios corporativos normalmente são projetados com uma arquitetura imponente, de modo a aproveitar da melhor forma a taxa de ocupação permitida no terreno e o coeficiente de aproveitamento. Na região da Av. Paulista, por exemplo, considerado o principal centro financeiro da América Latina, o preço do metro quadrado chegou a R\$ 9.507,00 no ano de 2009, enquanto que na Av. Faria Lima, o valor máximo atingiu os R\$ 6.014,00.⁵ Os altos valores imobiliários fazem com que as premissas de conforto ambiental não sejam aproveitadas integralmente, pois muitas vezes os edifícios corporativos são construídos com planta quadrada, o que pode não favorecer o aproveitamento da iluminação e da ventilação natural, demandando o uso de iluminação artificial e consequentemente aumentando a carga térmica. Esta, junto com os equipamentos eletrônicos e com a presença de pessoas, justifica o uso de dispositivos de condicionamento de ar.

O sistema de ar condicionado surge desta necessidade de adaptar o meio às pessoas e tem como objetivo proporcionar bons níveis de conforto térmico e qualidade do ar interior, através de um processo de tratamento de ar com controle da temperatura, umidade, filtragem e movimentação do ar. De acordo com Haghighat e Donnini (1999) em pesquisa realizada no Canadá, há uma relação positiva entre a satisfação com o trabalho e a satisfação com a qualidade do ar, ventilação, temperatura e avaliação quanto ao ambiente de trabalho em escritórios com ventilação mecânica.

Para isto, existem vários tipos de sistemas de ar condicionado que se diferem quanto ao fluido utilizado para resfriamento do ar (água ou fluido refrigerante) e

⁴ ESCOBAR, H. Aquecimento vai agravar efeitos das ilhas de calor. **O Estado de São Paulo**. São Paulo, 24 jul. 2009. Disponível em:

http://www.estadao.com.br/estadaodehoje/20090724/not_imp407529,0.php

⁵ ZANCHETTA, D.; GRANDIN, F.; BRANCATELLI, R. Av. Paulista se valoriza ainda mais. **O Estado de São Paulo**. São Paulo, 19 nov. 2009. Disponível em:

http://www.estadao.com.br/estadaodehoje/20091119/not_imp468761,0.php

também quanto à capacidade necessária para resfriamento, que por sua vez depende das características que contribuem para a carga térmica do ambiente, tais quais volume do ambiente a ser climatizado, material construtivo do envelope, incidência de raios solares diretos e tipo de uso e ocupação do recinto. Para grandes áreas é indicado um tipo com maior capacidade de remoção da carga térmica. Além disso, há um uso específico de cada componente do sistema dependendo da finalidade. Por exemplo, em edifícios de escritório, de acordo com a ASHRAE (2007), o formato do edifício e a orientação influenciam na carga térmica, pois a maioria possui grandes áreas de janelas de vidro, podendo aumentar a carga de refrigeração em até 15%; no entanto, a maior parte do calor produzido é proveniente da iluminação, dos equipamentos eletrônicos típicos de escritório e das pessoas. O horário de funcionamento de tais edifícios geralmente é das 8:00h às 18:00h, mas também varia muito de um caso para outro e existem áreas que devem ter um sistema de climatização separado, como a Central de Processamento de Dados (CPD), elevadores e *lobby* de entrada dos edifícios.

3.2.2 Sistemas de ar condicionado

Os tipos de sistema para o tratamento higrotérmico do ar são basicamente:

- Sistema de expansão direta;
- Sistema de expansão indireta (incluindo o sistema VRF);
- Outras tecnologias complementares ou alternativas.

3.2.2.1 Sistema de expansão direta

O sistema de expansão direta é indicado para construções de menores áreas, como pequenos escritórios, lojas de shopping e residências. Os tipos mais comuns são os *split-systems*, o VRF (*variable refrigerant fluid* - volume de refrigerante

variável), o *self-contained* com condensação à água ou ar e os aparelhos de janela. É assim chamado, pois a serpentina resfria diretamente o ar que é distribuído ao ambiente.

O *split-system*, hoje muito utilizado devido à sua facilidade de instalação, normalmente não possui sistema de renovação de ar necessária à eliminação ou diluição dos poluentes internos.

O sistema VRF, por sua vez, é um equipamento compacto, de expansão direta, que pode ser aplicado tanto em residências como em hotéis e edifícios de grande porte, pois sua capacidade depende da quantidade de unidades condensadoras. Este sistema permite conforto térmico por zonas e normalmente emprega o refrigerante R410A, que é mais eficiente nas trocas de calor e necessita de pequenas quantidades de gás para seu funcionamento. O princípio de funcionamento se baseia no resfriamento ou aquecimento de ar pelas unidades condensadoras, que possuem compressores *inverter* capazes de operar com carga parcial⁶. De acordo com Chen et al. (2009), os compressores convencionais são operados com controle *on/off* quando a carga térmica varia e requerem um maior consumo de energia para acionar o compressor. Já os do tipo *inverter* modulam a velocidade do compressor, mantendo a temperatura interna constante independentemente da temperatura externa e das alterações da carga térmica.

3.2.2.2 Sistema de expansão indireta

O sistema de expansão indireta, por outro lado, como o próprio nome diz, possui um refrigerante primário que troca calor com o refrigerante secundário (fluido intermediário entre a fonte de refrigeração e o ar de suprimento). O tipo mais utilizado é o sistema de água gelada, com *chillers* de grande capacidade de resfriamento e ideal para grandes edifícios comerciais ou de uso industrial. Este tipo de sistema possui três circuitos: (1) o circuito de ar, onde o ar é resfriado pelo *fan coil* e insuflado no ambiente, (2) o circuito do *chiller*, onde se produz a água gelada e (3) o circuito da torre de resfriamento, que dissipa o calor da água de condensação

⁶ Sistema TVR DC Inverter – Catálogo Ingersoll Rand. Disponível em www.trane.com. Acesso em 04 set. 2009.

do *chiller* para o ar externo. O *chiller* opera com fluido refrigerante no compressor, que pode ser o R-22, R-134A, R-410A, entre outros gases que servem como fluido de trabalho para os sistemas de refrigeração e ar condicionado. O *fan coil* pode ser dotado de válvulas ou não, caracterizando o tipo de saída de ar, que influencia na manutenção do conforto térmico do ambiente e no consumo de energia.

Se o *fan coil* for do tipo VAC (Volume de ar constante), o ventilador opera em dois modos: *off* (desligado – à noite ou nos fins de semana) ou *on* (ligado), na qual é estabelecida uma velocidade constante. Com o funcionamento contínuo do ventilador, a temperatura do ambiente é mantida regulando-se o fluxo da água gelada das serpentinas, abrindo ou fechando a válvula de controle.

O *fan coil* VAV (Volume de Ar Variável) opera de forma que o ventilador seja controlado por um motor que varia a velocidade com o ajuste de voltagem de acordo com um sensor de temperatura no ambiente. O sensor regula o fluxo de ar primário nas caixas VAV em resposta à temperatura ambiente comparado com a temperatura de *setpoint* da zona (HARTMAN, 2003). Assim, se a temperatura lida pelo sensor estiver próxima à temperatura de *setpoint*, a velocidade do ventilador é reduzida e a energia demandada pelo ventilador é menor, garantindo uma redução no consumo de energia. Há difusores e grelhas específicos para cada sistema, dependendo da proposta do fabricante e dos requisitos necessários para cada caso. No item 3.2.3 será discutida como é feita a distribuição do ar nos ambientes climatizados.

3.2.2.3 *Tecnologias alternativas ou complementares*

Existem diversas tecnologias empregadas para economia de energia em sistemas de condicionamento de ar, como a termoacumulação em tanques de gelo e a roda entálpica.

A termoacumulação consiste na produção e acumulação de gelo ou água gelada em tanques para poder aproveitar as diferentes modalidades de tarifa de energia elétrica, a fim de reduzir os custos, deslocar a carga para fora do horário de pico e reduzir também a potência instalada e o tamanho do compressor.⁷ O gelo é

⁷ Em: www.eletrobras.gov.br/elb/procel. Acesso em 24 jul. 2009.

produzido de madrugada e é utilizado como alternativa ao *chiller* elétrico no horário de pico, normalmente entre 17:00h e 20:00h. A AES Eletropaulo, concessionária de energia responsável, entre elas, pela região de São Paulo, estabelece o horário de ponta das 17:30h às 20:30h, sendo que no horário de verão, o período de ponta é adiado em uma hora, das 18:30h às 21:30h.⁸

Este dispositivo pode ser instalado com a finalidade de reduzir o consumo de energia elétrica pelo sistema de ar condicionado por meio de um mecanismo de transferência de calor e massa. Quando o ar externo está quente e úmido, ocorre transferência de calor sensível e umidade (calor latente) do ar externo para o ar de retorno, que é mais frio e mais seco. A roda gira entre as correntes de ar externo e a de exaustão, com uma frequência de 20 a 60 rotações por minuto (TRANE, 2005).

Esta tecnologia permite reduzir as cargas de resfriamento e aquecimento nos horários de pico de maior demanda do sistema de condicionamento de ar, isto é, quando as temperaturas externas estão mais elevadas. No caso da cidade de São Paulo, onde praticamente só se utiliza sistema de climatização para resfriamento e não para aquecimento, a roda entálpica é ativada quando a temperatura do ar externo for superior a 23°C, situação que ocorre com frequência nos dias de verão entre o fim da manhã e o fim da tarde.

Ainda segundo Trane (2005), a roda entálpica também possibilita diminuir o tamanho dos equipamentos de resfriamento, desumidificação e umidificação, assim como reduzir o consumo de energia associado a esses processos.

3.2.3 Distribuição de ar

A escolha do tipo de distribuição de ar faz parte do projeto do sistema de ar condicionado e é importante por afetar diretamente os usuários dos edifícios no que diz respeito à ventilação e ao conforto térmico.

Existem diversas configurações diferentes de entrada e saída do ar, dependendo de uma série de fatores que afetam a escolha do sistema de distribuição de ar, tais quais dimensões do ambiente, carga térmica, tipo de uso do

⁸ Em: www.aeseletropaulo.com.br. Acesso em 10 set. 2010.

edifício, exigências acústicas e locais disponíveis para grelhas e difusores (ASHRAE, 2007).

Aqui será descrito apenas o sistema que foi encontrado nos edifícios da amostra, de mistura de ar (*mixed air*). Existem também outros três sistemas: (1) estratificação térmica completa, de fluxo por deslocamento, (2) mistura parcial, o tipo UFAD – *Underfloor air distribution*, de insuflamento pelo piso e (3) o individualizado, que é conhecido como conforto térmico personalizado (ASHRAE, 2007). Normalmente, estes outros sistemas possuem insuflamento de ar pelo piso ou pela parede próximo ao piso.

3.2.3.1 Sistema de mistura de ar (*mixed air*):

O sistema de mistura de ar é caracterizado pela alta velocidade de descarga, misturando-se ao ar da sala, no chamado movimento de ar primário, que ocorre fora da zona ocupada. O movimento do ar secundário ocorre na zona ocupada, com velocidade do ar mais baixa, de até 0,25 m/s, segundo as normas de conforto. O tipo de difusor e a velocidade de descarga determinam a taxa de mistura (ASHRAE, 2007).

Legenda:

- $\dot{V}$ (m³/h) : Vazão de ar
 L (m) : Alcance (quando o jato é dirigido contra parede vertical, pode ser aplicado: $L = A + B$).
 v_L (m/s) : Velocidade do jato à distância L .
 v_H (m/s) : Velocidade vertical do jato à distância H_t no caso de dois jatos de ar dirigidos um contra o outro.
 Δt_L (°C) : Diferença máxima de temperatura entre o ar do jato (na distância L) e a do ambiente.
 Δt_H (°C) : Diferença de temperatura entre o ar insuflado e a do ambiente.
 i = indução = $\frac{\text{Volume total de ar movimentado}}{\text{Volume de ar insuflado}}$
 $b_{0,2}$ (m) : Altura do jato entre o ponto de velocidade máxima (v_L) e 0,2 m/s (v_b)

Figura 3.2 – Velocidade vertical do ar (efeito coanda) (fonte: [SIMÕES, 2006](#))

O tipo mais usado desta configuração é o de insuflamento pelo teto, na qual o ar injetado no ambiente se beneficia do efeito coanda (Figura 3.2). O ar frio percorre horizontalmente o teto e depois verticalmente pelas paredes, até perder velocidade e se misturar com o ar da sala. A exceção se dá em locais com pé-direito muito alto (em aplicações específicas, como em aeroportos) e onde os dutos são aparentes, sem a existência de lajes na saída de ar. Este comportamento do ar faz com que a sua temperatura seja mais uniforme na zona ocupada, isto é, tenha menor gradiente de temperatura vertical.

Segundo a ASHRAE (2007), embora os sistemas de mistura de ar sejam mais usados e mais conhecidos pelos projetistas e instaladores de ar condicionado, possuem algumas desvantagens como maior concentração de poluentes no ambiente, que ficam uniformemente misturados no ar, e comprometimento do conforto térmico quando o sistema VAV opera com carga parcial, pois a redução da vazão de insuflamento pode fazer com que a velocidade do ar seja insuficiente para manter os níveis de conforto na zona ocupada.

3.2.3.2 Distribuição do ar, qualidade do ar interior e conforto térmico

Sabe-se que o sistema de ar condicionado é necessário para manter o conforto térmico em edifícios onde não seja possível a aplicação de soluções passivas ou o aproveitamento da ventilação natural devido, por exemplo, à existência de um código de vestimenta, ou onde não é permitido modificar facilmente as características do local, como abrir as janelas (HOLMES; HACKER, 2007). Sendo assim, o projeto deve prever as vazões e temperaturas corretas para garantir que os usuários fiquem em conforto.

Segundo a ASHRAE (2009), os principais fatores que influenciam na distribuição do ar no ambiente, que por sua vez afetam o conforto térmico dos usuários, são: vazão de ar de suprimento, temperatura do ar de insuflamento, tipo de difusor e velocidade de saída do ar (alcance do difusor). O sistema deve ser projetado de modo que não haja a presença de pessoas em regiões onde ocorre a mistura do ar de insuflamento com o ar do ambiente, pois podem estar sujeitas ao desconforto por turbulência. Além disso, a presença de barreiras sólidas no ambiente (mesas, divisórias, plantas) podem também criar um movimento de ar indesejado ao usuário.

Se um sistema de condicionamento de ar com insuflamento pelo teto for bem projetado, vai garantir uma mistura do ar quase perfeita para resfriamento e alcançar uma eficiência de troca de ar (*air change effectiveness* - ACE) de quase 1,0, sem causar desconforto. O sistema UFAD, que mistura alta velocidade de descarga e ventilação por deslocamento, consegue um ACE superior a 1,0. A ASHRAE 62.1 (2007) fornece uma tabela com valores para calcular a eficiência da ventilação por meio do ACE.

A escolha do tipo de difusor e sua localização são importantes para garantir tanto o conforto térmico quanto a remoção eficiente de poluentes internos e são influenciados pelo *layout* interno do edifício e pela presença de fontes de calor em locais específicos, que podem causar estratificação vertical da temperatura (ASHRAE, 2009).

A ASHRAE (2009) propõe um índice para desempenho do sistema para distribuição de ar, o ADPI (*Air Diffusion Performance Index*), baseado na velocidade do ar e na temperatura de corrente de ar efetiva (*effective draft temperature*), que

por sua vez, é função da temperatura de bulbo seco da corrente de ar, da média de temperatura de controle e da própria velocidade do ar no centro do jato. Para que a maioria dos usuários de um edifício de escritório esteja em conforto, é necessário que a temperatura de corrente de ar efetiva esteja entre $-1,5^{\circ}\text{C}$ e $+1^{\circ}\text{C}$ e a velocidade do ar seja menor que 0,35 m/s. O ADPI corresponde à porcentagem de medições que atendam a esses intervalos, sendo que um ADPI superior a 80% garante que o espaço esteja de acordo com a ASHRAE 55 (2004), que estabelece que a diferença vertical de temperatura não seja maior que 3°C .

Além dos cuidados com o projeto de distribuição de ar, deve ser feita a manutenção do sistema depois de construído e ocupado o edifício, que deve passar por procedimentos de *TAB* (*Testing, adjusting and balancing* – Teste, ajuste e balanceamento) periodicamente, para que o sistema opere de acordo com o que foi projetado ou conforme as especificações dos equipamentos (ASHRAE, 2007), pois com o tempo o equipamento vai sofrendo depreciação, fazendo com que o resultado do processo de climatização seja diferente daquele previsto. Sujeira nos dutos, controles quebrados, ajustes manuais indevidos por parte dos usuários, perda de eficiência do *chiller*, estes e outros fatores podem alterar o bom funcionamento do ar condicionado, afetando os ocupantes dos edifícios.

3.2.4 Sistema de controle

O controle do sistema de ar condicionado é projetado para manter as condições ambientais favoráveis e para isto é necessário que haja sensores em locais estratégicos a fim de informar em tempo real os parâmetros de temperatura e umidade, comparando os valores ao *setpoint* pretendido.

Há dois tipos de controle (ASHRAE, 2009):

Controle de *loop* aberto – não há uma ligação direta entre o valor da variável de controle e a controladora. Este tipo de controle antecipa o efeito de uma variável externa no sistema e ajusta o *setpoint* para evitar desvios. Por exemplo, pode-se utilizar um termostato externo para controlar a temperatura interna quando o projetista presume que há uma relação fixa entre a renovação de ar e a necessidade de resfriamento ou aquecimento do ambiente e neste caso, a temperatura interna

não tem nenhum efeito na controladora. Como não há *feedback* da variável de controle (temperatura do ambiente), o *loop* é aberto.

Controle de *loop* fechado (*feedback*) – mede as mudanças reais na variável de controle e atua no dispositivo de controle. A ação corretiva pode continuar até que a variável atinja o valor desejado dentro das limitações da controladora.

Cada *loop* fechado deve conter sensores, uma controladora e um atuador. O sensor mede a variável de controle e transmite um sinal (pneumático, elétrico ou eletrônico) para a controladora quando houver uma diferença de pressão, voltagem ou corrente. A controladora compara o valor com o *setpoint* estipulado e manda o sinal ao dispositivo de controle para uma ação corretiva. A controladora pode ser do tipo *hardware*, quando for um dispositivo analógico (termostato, umidistato ou controle de pressão) que recebe continuamente e atua nos dados; ou *software*, quando for um dispositivo digital (algoritmo digital) que recebe e atua nos dados em uma base de amostragem. O elemento de controle pode ser uma válvula, *damper* ou um dispositivo de velocidade variável (ASHRAE, 2009).

O controle térmico é pré-requisito nos edifícios de escritório através do monitoramento da temperatura e umidade do ar. Os sistemas de controle de ar condicionado no Brasil são programados para manter a temperatura de *setpoint* do ar interno a 23°C ou 24°C e normalmente, o ar é insuflado no ambiente, pelo teto, a aproximadamente 13°C, havendo uma variação neste valor dependendo das condições locais e do sistema de climatização.

4 CONFORTO TÉRMICO E QUALIDADE DO AR

Embora os parâmetros ambientais de conforto térmico e de qualidade do ar interior sejam distintos, existe uma relação de interdependência entre eles. De acordo com ISAIQ-CIB TG42 (2004), um aumento da temperatura ocasiona também um aumento das emissões de poluentes internos e uma alta umidade relativa do ar pode aumentar a taxa de emissão de alguns outros elementos químicos, tal como o formaldeído. Além disso, a temperatura e a umidade relativa exercem um impacto direto na percepção da qualidade do ar. Estudos mostraram que a aceitabilidade das pessoas com relação ao ar diminui com o aumento da temperatura e da umidade relativa. Nos itens 4.1 e 4.2 a seguir serão discutidos os conceitos básicos de qualidade do ar interior e conforto térmico.

4.1 Qualidade do ar interior

A qualidade do clima interno é afetada igualmente pelo sistema HVAC (*Heating, ventilation and air conditioning*), qualidade da construção, material e operação do edifício. Estes aspectos devem ser levados em consideração durante as etapas de projeto, construção e manutenção do edifício (ISAIQ-CIB TG42, 2004).

Hoje, os bons sistemas de ventilação e ar condicionado são concebidos de forma a fornecer níveis adequados de temperatura e umidade, livre de concentrações nocivas de poluentes, proporcionando sensações de conforto aos usuários. Porém, a falta de manutenção pode afetar a qualidade do ar interior quando a ventilação nos ambientes não for adequada, isto é, quando os processos relacionados à tomada de ar externo, condicionamento e mistura do ar interno, boa distribuição do ar no ambiente e renovação do ar apresentarem deficiências de operação.

Os problemas são verificados quando se observa a presença de sintomas transitórios que afetam parte dos ocupantes somente durante o período de permanência no edifício, devido à presença de agentes químicos, físicos e

biológicos no ar interno. A OMS (1999) definiu este problema como o excesso de irritações na pele e nas mucosas e outros sintomas reportados por trabalhadores de edifícios de escritório, apresentando o conjunto dos seguintes sintomas: dor de cabeça, fadiga, letargia, prurido e ardor nos olhos, irritação de nariz e garganta, anormalidades na pele e falta de concentração, acometendo pelo menos 20% dos trabalhadores.

Na década de 1970, com a crise do petróleo e o consequente aumento do preço dos combustíveis, houve uma crise energética mundial. Desta forma, a fim de diminuir o consumo de energia referente à manutenção e resfriamento do ar no ambiente interno, os edifícios começaram a ser construídos com poucas aberturas, permitindo menos tomada de ar externo no ambiente climatizado. Descobriu-se, no entanto, que a taxa de renovação de ar se tornou insuficiente para dispersar a poluição produzida internamente. Normas técnicas como as da ANVISA e da ASHRAE determinam um número mínimo de trocas de ar por hora, dependendo do tipo de atividade exercida no local, e se há fumantes ou não.

A Resolução nº 9 da ANVISA (2003) estabelece um mínimo de 27 m³/h.pessoa, exceto em ambientes onde haja muita rotatividade de pessoas, sendo o mínimo de 17 m³/h.pessoa. A ASHRAE 62.1 (2007) propõe uma vazão igual ao da ANVISA, de 7,5 l/s.pessoa, sendo que o mínimo para ambientes de escritório é de 2,5 l/s.pessoa. O ISAIQ-CIB TG42 (2004) propõe três categorias de ambientes com níveis de exigências diferentes para renovação do ar, sendo que para o A é de 1 l/s.m², B é 0,7 l/s.m² e C, 0,4 l/s.m². Sugere ainda que a taxa mínima de ventilação seja de 15 l/s.pessoa, que corresponde à taxa da categoria A com uma densidade de ocupação normal.

O ar possui partículas em suspensão de origem diversas, responsáveis pelos sintomas que caracterizam a má qualidade do ar em ambientes internos. A concentração total de poluentes internos depende da taxa de produção do poluente, taxa de remoção do poluente, taxa de troca de ar externo e da concentração de poluentes externos (MORAES, 2006). As fontes internas de poluentes podem ser as próprias pessoas e atividades ligadas a elas, ou de materiais que emitem substâncias nocivas à saúde, como móveis de aglomerado de madeira que liberam compostos orgânicos voláteis (COV) e formaldeído (JONES, 1998). Muitas vezes, a poluição interna supera a poluição externa, havendo a necessidade de se realizar trocas de ar para que o ar externo arraste ou dilua a concentração de poluentes

internos. Porém, se estiverem muito próximos à rua, os primeiros pavimentos ou o subsolo de um edifício de escritório podem sofrer contaminação com substâncias resultantes da combustão dos automóveis (ISAIQ-CIB TG42, 2004).

Os agentes presentes no edifício “doente” são divididos em químicos, físicos e biológicos. Os agentes químicos são os gases e vapores, SO₂, CO, NO, NO₂, COV, aldeídos e compostos inorgânicos (amônia e ozônio). Os físicos são os materiais particulados, amianto, metais pesados (cobre, cádmio, chumbo, manganês e zinco), radônio e campos eletromagnéticos. Por último, os agentes biológicos, que são os ácaros, animais domésticos, insetos, fungos, vírus e bactérias. (MORAES, 2006)

4.1.1 Utilização do CO₂ como parâmetro de qualidade do ar interior

O dióxido de carbono também está presente no ambiente interno, resultado do processo respiratório das pessoas e das máquinas em que ocorre combustão, quando se aplica. Em níveis altos, pode causar sonolência e até asfixia. Embora não seja tão prejudicial quanto os outros gases, é comumente utilizado como um indicador da qualidade do ar e eficiência de ventilação; em salas ocupadas o nível de CO₂ aumenta se a taxa de renovação de ar por pessoa for menor do que a recomendada por normas, por isso, é considerado um bom indicador para verificar a adequação quanto à tomada de ar externo (SEKHAR; CHING, 2002).

Nesta pesquisa, portanto, foi utilizado o dióxido de carbono como representativo dos outros gases, pois se torna complexa a análise de todos os gases presentes no ar.

A Resolução n° 9 da ANVISA (2003) estabelece que a concentração máxima permitida de dióxido de carbono no ambiente seja de 1000 ppm (partes por milhão), isto é, 0,1% da composição do ar. O ar externo possuía, em 2008, uma concentração média aproximada de 383 ppm de CO₂.⁹

⁹ BBC Brasil. Emergentes emitem ‘mais da metade’ de CO₂, diz estudo. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 26 set. 2008. Acesso em 28 set. 2008. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/vidae/not_vid248462,0.htm>

A norma ASHRAE 62.1 (2007) propõe um cálculo para a concentração máxima de um ambiente (apenas de caráter informativo e não deve ser seguido necessariamente para estar adequado à norma), que depende do nível de atividade dos ocupantes, relativo à concentração de dióxido de carbono do ar externo:

$$C_s - C_o = \frac{N}{V_o} \quad (4.1)$$

Onde:

C_s = concentração de CO₂ no ambiente;

C_o = concentração de CO₂ no ar externo;

N = taxa de produção de CO₂ por pessoa;

V_o = vazão de ar externo por pessoa.

Para a atividade típica de escritório de 1,2 met, a taxa de produção de CO₂ por pessoa é de 0,31 L/min. Considerando a renovação de ar necessária por pessoa, de 7,5 l/s, tem-se (ASHRAE 62.1, 2007):

$$C_s - C_o = \frac{0,31}{7,5 \cdot 60}$$

$$C_s - C_o = 0,000689 \text{ de CO}_2/\text{l de ar, o que corresponde a 689 ppm.}$$

Utilizando a concentração de 383 ppm para C_o , o ar interior deve possuir uma concentração máxima de 1072 ppm, valor próximo ao limite de 1000 ppm proposto pela Resolução nº 9 da ANVISA (2003).

Além disso, a ASHRAE 62.1 (2007) especifica algumas normas vigentes nos EUA e Canadá, que estipulam a concentração máxima de 5000 ppm de CO₂ em ambientes industriais e de 3500 ppm para residências.

A RN-02 da ABRAVA (2003), Recomendação Normativa da Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA) para Sistemas de condicionamento de ar e ventilação para conforto e qualidade do ar interior estabelece uma concentração máxima baseada na ASHRAE 62.1 (2007), de 700 ppm, acrescida da concentração de ar externa de CO₂, que pode variar de 350 ppm a 500 ppm. Sendo assim, recomenda uma concentração interna de 1050

ppm a 1200 ppm, estabelecendo um máximo de 3500 ppm. Mesmo assim, sugere-se evitar concentrações acima de 1500 a 2000 ppm, pois pode causar sonolência e redução da produtividade.

O ISAIQ-CIB TG42 (2004) estipula concentração máxima de dióxido de carbono que deve ser usada como referência de projeto para ambientes de escritório, que varia de 600 a 800 ppm e cita que o CO₂ pode ser usado como indicador da renovação de ar, com algumas ressalvas, pois a concentração dificilmente atinge o estado estacionário devido às variações de ocupação, ventilação e concentração externa de poluentes. De qualquer forma, usando como referência o estado estacionário, recomenda-se a utilização do valor de 0,00567 l/s de dióxido de carbono produzido por ocupante de um edifício de escritório, para o cálculo da vazão de ar externo necessário para diluir a concentração de poluentes interno.

4.2 Conforto térmico

“Conforto térmico é a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico” (ASHRAE 55, 2004).

Como a definição de conforto, em geral, varia muito, pois abrange tanto a percepção individual no ambiente (quente/frio, úmido/seco, ruidoso/silencioso, claro/escuro) como a intensidade desta sensação (por exemplo, muito quente ou muito frio), de acordo com Rohles et al. apud ASHRAE (2009), a aceitabilidade pode representar um conceito mais útil de avaliar a resposta do usuário, pois permite uma progressão em direção a um objetivo concreto. A aceitabilidade implicou na criação de normas sobre conforto térmico, que estabelecem intervalos da faixa de conforto considerando as variáveis que influenciam a satisfação térmica dos usuários de um ambiente.

A maior referência em conforto térmico até os dias de hoje é o professor P. Ole Fanger, cuja pesquisa na década de 1960 contribuiu significativamente para os avanços científicos no assunto e serviu como base para as normalizações internacionais existentes. Seus estudos foram conduzidos na Universidade Técnica da Dinamarca (DTU) e na Universidade de Kansas (KSU), nos Estados Unidos.

4.2.1 Método de Fanger

Segundo Fanger (1972), as variáveis mais importantes que influenciam a condição de conforto térmico são: temperatura do ar, pressão de vapor de água no ar ambiente, velocidade relativa do ar e temperatura radiante média – caracterizando as variáveis ambientais – e também nível de atividade (metabolismo) e resistência térmica da roupa, que são as variáveis pessoais. O conforto térmico pode ser obtido por diferentes combinações destas variáveis, sendo quase impossível considerar o efeito de qualquer um dos fatores físicos independentemente. A partir destas informações e também através de experimentos com estudantes em câmara climatizada, pôde-se inferir que a temperatura média da pele e a secreção de suor em um dado nível de atividade, combinados com o balanço de calor do corpo humano, formam a base para a equação geral de conforto, assumindo que o corpo está no estado de equilíbrio térmico com acumulação de energia desprezível.

A equação geral de conforto está demonstrada a seguir:

$$\begin{aligned}
 PMV = & [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot \{(M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot \\
 & [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot \\
 & (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M(34 - T_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(T_{cl} + 273)^4 - \\
 & (\bar{T}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (T_{cl} - T_a)\}k
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Onde:

M = taxa metabólica (W/m^2);

W = trabalho (W/m^2);

f_{cl} = fator de área da vestimenta (adimensional);

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

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

p_a = pressão parcial de vapor d'água (Pa);

T_{cl} = temperatura da superfície da vestimenta ($^{\circ}\text{C}$).

As variáveis T_{cl} , h_c e f_{cl} podem ser deduzidas a partir das eq. (4.3), (4.4), (4.5), (4.6) e (4.7) a seguir:

A temperatura de superfície da vestimenta é determinada em função da atividade, isolamento da roupa, fator de área da vestimenta, temperatura radiante média e temperatura do ar, além do coeficiente de transferência de calor por convecção.

$$T_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \{3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(T_{cl} + 273)^4 - (\bar{T}_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (T_{cl} - T_a)\} \quad (4.3)$$

$$h_c = 2,38 \cdot |T_{cl} - T_a|^{0,25} \quad \text{para } 2,38 \cdot |T_{cl} - T_a|^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \quad (4.4)$$

$$h_c = 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \quad \text{para } 2,38 \cdot |T_{cl} - T_a|^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \quad (4.5)$$

$$f_{cl} = 1,00 + 1,290 I_{cl} \quad \text{para } I_{cl} \leq 0,078 \, \text{m}^2 \cdot \text{K/W} \quad (4.6)$$

$$f_{cl} = 1,05 + 0,645 I_{cl} \quad \text{para } I_{cl} > 0,078 \, \text{m}^2 \cdot \text{K/W} \quad (4.7)$$

Onde:

I_{cl} = Isolamento da roupa ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$);

h_c = coeficiente de transferência de calor por convecção [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$];

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

Fanger (1972) criou um índice chamado PMV (*Predicted mean vote* – voto médio estimado), que prevê a sensação térmica de um grupo grande de pessoas em um mesmo ambiente térmico através de uma escala psicofísica de sete pontos. A equação geral de conforto indica apenas como os parâmetros devem ser combinados a fim de garantir um ambiente termicamente confortável sem, no entanto, fornecer informações diretas sobre a sensação térmica dos indivíduos.

Com o PMV é possível determinar a sensação térmica em qualquer combinação de nível de atividade, valor de clo e os quatro parâmetros ambientais. A escala varia de -3 a 3, sendo que o valor “0” indica neutralidade (confortável):

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

+3 muito quente

A ISO 7730 (2005) também estabelece critérios de projeto para edifícios de escritório, no verão, considerando uma atividade de 70 W/m^2 , por meio da temperatura operativa e velocidade do ar, como mostra a Tabela 4.1. As categorias do ambiente térmico são divididas em A, B e C, sendo que a categoria A é mais rigorosa que a B, que por sua vez, é mais rigorosa que a C. Desde que se enquadre em uma das categorias, o ambiente é considerado como termicamente aceitável de acordo com a norma.

Tabela 4.1 – Critérios de projeto para edifícios de escritório (fonte: ISO 7730, 2005)

<i>Categoria</i>	<i>Temperatura operativa (°C)</i>	<i>Máxima velocidade do ar (m/s)</i>
A	$24,5 \pm 1,0$	0,12
B	$24,5 \pm 1,5$	0,19
C	$24,5 \pm 2,5$	0,24

Todos os critérios devem ser satisfeitos simultaneamente para cada categoria; no caso, a temperatura operativa e a velocidade do ar.

O PPD (*Predicted percentage dissatisfied* – porcentagem estimada de insatisfeitos), índice criado a partir do PMV, estabelece uma estimativa quantitativa da porcentagem de pessoas termicamente desconfortáveis devido ao frio ou ao calor (votos -3, -2 para frio e +2 e +3 para calor) (ASHRAE 55, 2004). A relação entre PMV e PPD está demonstrada na Figura 4.1, onde se percebe que mesmo com o $\text{PMV} = 0$, que indica que o indivíduo estaria em conforto térmico, o $\text{PPD} = 5\%$. Isto significa que mesmo mantendo condições climáticas ótimas de temperatura, umidade etc, haveria ainda 5% de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico.

Figura 4.1 – Relação entre PMV e PPD (fonte: ISO 7730, 2005)

O modelo PMV-PPD é amplamente utilizado e aceito em projetos e trabalhos em campo para condições de conforto (ASHRAE, 2009).

4.2.2 Parâmetros ambientais e pessoais

Segundo Fanger (1972), as variáveis mais importantes que influenciam a condição de conforto térmico são a temperatura do ar, pressão de vapor de água, velocidade relativa do ar, temperatura radiante média, metabolismo e vestimenta, descritos nos itens de 4.2.2.1 a 4.2.2.6, a seguir.

4.2.2.1 Temperatura do ar

A temperatura do ar tem relação com o rendimento de trabalho do usuário do edifício. Para Givoni (1998), o desconforto devido ao calor é detectado quando a temperatura média da pele é elevada acima do nível máximo correspondente ao estado de conforto que, para atividade sedentária (isto é, realizando serviço de

escritório), é de aproximadamente 33-34°C. Já o desconforto devido ao frio, que pode ser geral se sentido no corpo inteiro, ou local se for em algumas partes do corpo, ocorre quando a temperatura média da pele fica abaixo de 32-33°C. Segundo Toftum (1998b) e CIB TG42 (2004), o desconforto devido ao calor e a percepção de uma qualidade ruim do ar se devem aos resfriamentos evaporativo e convectivo insuficientes das mucosas do trato respiratório, fato que ocorre quando a umidade e a temperatura do ar estão muito altas. Em outras palavras, nestas condições climáticas, as pessoas têm a sensação de “estar abafado”.

Além da temperatura do ar, são utilizadas a temperatura operativa e a temperatura efetiva como parâmetros para conforto térmico.

A temperatura operativa, segundo a ASHRAE 55 (2004), é a media entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média, ponderada pelos respectivos coeficientes de transferência de calor. De um modo geral, como a velocidade do ar interfere nas trocas de calor por convecção, quanto maior a velocidade do ar, maior o peso da temperatura do ar no cálculo da temperatura operativa:

$$T_o = A \cdot T_a + (1 - A) \cdot \bar{T}_r \quad (4.8)$$

Onde:

T_o = temperatura operativa (°C);

T_a = temperatura do ar (°C);

$\bar{T}_r$ = temperatura radiante média (°C);

A = valor que varia em função da velocidade relativa do ar (v_{ar}) como pode ser encontrado na tabela a seguir:

Tabela 4.2 – Valores de A em função da velocidade do ar para cálculo da temperatura operativa (fonte: ASHRAE 55, 2004)

v_{ar}	< 0,2 m/s	0,2 a 0,6 m/s	0,6 a 1,0 m/s
A	0,5	0,6	0,7

A temperatura efetiva, por sua vez, é definida a partir da temperatura operativa, combinando o efeito de três variáveis (temperatura do ar, temperatura radiante média e pressão do vapor de água) e obtida por meio da seguinte equação (ASHRAE, 2009):

$$ET = T_o + w \cdot i_m \cdot LR(p_a - 0,5 \cdot p_{ET}) \quad (4.9)$$

Onde:

T_o = temperatura operativa (°C);

w = nível de pele molhada (adimensional), varia de 0,6 a 1,0;

i_m = índice de permeabilidade, é a razão entre a capacidade de fluxo de calor evaporativo entre a pele e o ambiente, e a capacidade de fluxo de calor sensível quando comparado à razão de Lewis;

LR = Razão de Lewis (*Lewis Ratio*), é a relação entre os coeficientes de evaporação e convecção, que em condições internas típicas tem um valor aproximado de 16,5 K/kPa;

p_a = Pressão de vapor de água (kPa);

p_{ET} = Pressão de vapor saturado na ET (kPa).

Na realidade, a segunda parte da eq. (4.9) corresponde à parcela da equação de conforto que se refere à perda de calor por evaporação.

4.2.2.2 Pressão de vapor de água

A umidade também influencia a taxa de evaporação do suor. Quando a evaporação da pele é maior do que a secreção de suor, este evapora assim que emerge dos poros, sem a formação de uma superfície líquida sobre a pele. Porém, com o aumento da transpiração ou com a diminuição da evaporação – por exemplo, quando a umidade relativa está muito alta – o suor se espalha pela pele. A pele molhada, no entanto, causa desconforto (GIVONI, 1998). Além disso, a umidade na superfície da pele aumenta a força de atrito com a roupa, causando maior sensação de desconforto (GWOSDOW apud TOFTUM et al., 1998a). No entanto, em ambientes moderados (isto é, com temperaturas menores que 26°C) e com atividades moderadas (inferior a 2 met), a influência da umidade é pequena (ISO 7730, 2005).

Em termos práticos, de acordo com a ISO 7730 (2005), um aumento de 10% na umidade relativa implica no acréscimo de 0,3°C na temperatura operativa.

4.2.2.3 *Velocidade relativa do ar*

A velocidade do ar em um espaço influencia a troca de calor convectiva entre os ocupantes e o ambiente, afetando o conforto térmico geral expresso pelos índices PMV e PPD (ISO 7730, 2005). A ASHRAE 55 (2004) recomenda uma velocidade do ar de até 0,2 m/s, para que possa ser usado o modelo PMV. A Resolução nº 9 da ANVISA (2003) estabelece um valor máximo recomendável de 0,25 m/s a uma altura de 1,5 m do piso. Na Resolução nº 176 da ANVISA (2000) anterior a esta, estipulava-se um mínimo de 0,025 m/s. Percebeu-se, no entanto, que não era necessário estipular um valor mínimo, desde que o ar não ficasse estagnado, pois o que causa desconforto é um valor alto de velocidade do ar. Sendo assim, devem-se utilizar velocidades maiores somente para casos em que se deseja aumentar o limite de temperatura da zona de conforto, caso contrário pode causar desconforto por corrente de ar.

A corrente de ar é definida como o resfriamento local indesejado do corpo causado pelo movimento do ar (ASHRAE 55, 2004) e pode causar desconforto quando a sensação térmica do indivíduo é avaliada como ligeiramente frio, frio ou muito frio na escala de Fanger (1972), devido à baixa temperatura, pouca vestimenta ou atividade sedentária. Toftum (2002), em pesquisa feita para avaliar os impactos do nível de atividade e das sensações térmicas na sensibilidade humana ao movimento do ar, mostrou que quando os indivíduos estão em atividade sedentária, o que corresponde ao trabalho leve de escritório, o metabolismo se estabiliza, resultando em uma sensação térmica mais fria e uma preferência à maior temperatura ambiente. No entanto, de acordo com a ISO 7730 (2005), a velocidade do ar elevada é mais eficiente na perda de calor quando a temperatura do ar for mais baixa e temperatura radiante média for alta.

4.2.2.4 *Temperatura radiante média*

A temperatura radiante média é definida pela ASHRAE (2009) como a temperatura uniforme da superfície de um envoltório preto imaginário com a qual o

ocupante trocaria a mesma quantidade de calor radiante como no espaço real não uniforme. É obtida indiretamente a partir da medição do sensor de temperatura com globo negro e seu valor depende da temperatura de globo, temperatura do ar e velocidade do ar (ABNT NBR 16401, 2008).

Se o coeficiente de convecção natural for maior do que a de convecção forçada, o cálculo deve ser:

$$\bar{T}_r = \left[(T_g + 273)^4 + 0,4 \cdot 10^8 \cdot |T_g - T_a|^{\frac{1}{4}} \cdot (T_g - T_a) \right]^{\frac{1}{4}} - 273 \quad (4.10)$$

Por outro lado, se o coeficiente de convecção forçada for maior, deve-se usar:

$$\bar{T}_r = \left[(T_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot V_{ar}^{0,6} \cdot (T_g - T_a) \right]^{\frac{1}{4}} - 273 \quad (4.11)$$

Os coeficientes de convecção natural e forçada são, respectivamente:

$$h_1 = 1,4 \left(\frac{T_g - T_a}{D} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (4.12)$$

$$h_2 = 6,3 \frac{V_a^{0,6}}{D^{0,4}} \quad (4.13)$$

Onde:

$\bar{T}_r$ = temperatura radiante média (°C);

T_g = temperatura de globo (°C);

T_a = temperatura do ar (°C);

D = diâmetro do globo (m).

A radiação proveniente de vedações verticais ou horizontais que ocasiona, por exemplo, teto muito quente ou parede muito fria quando comparados à temperatura ambiente pode causar desconforto local devido às diferenças de temperatura radiante entre dois ou mais pontos. Este fenômeno é chamado de assimetria da temperatura radiante e está descrito no item 4.2.3.4 adiante.

4.2.2.5 *Metabolismo*

Com relação aos parâmetros pessoais, a taxa metabólica deve ser considerada e estimada para cada tipo de atividade. Para uma atividade específica, o valor é relacionado à área da superfície ou massa do corpo. Assim, é usada a unidade em W/m^2 , assumindo valores de $1,8 m^2$ e $70 kg$ para o homem e $1,6 m^2$ e $60 kg$ para a mulher (HAVENITH; HOLMÉR; PARSONS, 2002). Estes valores foram calculados por meio da eq.(5.14) proposta por DuBois (1916 apud ASHRAE, 2009) :

$$A_D = 0,202 \cdot m^{0,425} \cdot l^{0,725} \quad (4.14)$$

Onde:

A_D = área de superfície corporal de DuBois (m^2);

m = massa (kg);

l = altura (m).

Parte da energia produzida pelo metabolismo é utilizada na realização do trabalho e a restante é rejeitada como calor. O balanço de energia do corpo depende de variáveis como a perda de calor por evaporação, transferência de calor por radiação e convecção, perda de calor pela respiração e taxa da variação de energia armazenada pelo corpo. A taxa de liberação de calor por um ocupante em um ambiente condicionado pode variar de aproximadamente $120 W$ em atividade sedentária, até $440 W$ em atividade intensa. Este calor representa uma parcela da carga térmica de resfriamento de um sistema de ar condicionado (STOECKER, 1985). Considerando uma atividade sedentária de escritório de $1,2 met$, sendo que $1 met$ corresponde a $58 W/m^2$, um homem liberaria em torno de $147 W$ e uma mulher, $130 W$.

4.2.2.6 *Vestimenta*

A vestimenta oferece uma resistência térmica que interfere na perda de calor do corpo humano. O isolamento proporcionado pela roupa varia em função da área do corpo, diferença de temperatura entre a pele e a superfície da roupa e as trocas de calor por radiação e convecção. Ainda, o isolamento pode ser alterado com a velocidade e movimento do ar, e também com o movimento do corpo. A ISO 7730 (2005) e ASHRAE 55 (2004) apresentam tabelas de resistência térmica de peças de roupas e de combinações típicas de vestuários, com valores em clo e $\text{m}^2.\text{K/W}$. Por exemplo, um tipo de traje masculino típico de escritório, composto por camisa, calça, paletó, meias e sapato descrito na ISO 7730 (2005) apresenta um isolamento de 1,0 clo ou $0,155 \text{ m}^2.\text{K/W}$. Ainda, para atividades sedentárias, uma cadeira padrão de escritório pode contribuir com um isolamento adicional de 0,10 clo, enquanto que uma cadeira executiva, com 0,15 clo.

Segundo Carli et al. (2007), a vestimenta é um fator importante para avaliar ou estimar um ambiente térmico. Em pesquisa realizada sobre o critério de escolha das pessoas para decidir o que vestir de manhã, descobriu-se que um dos fatores poderia ser a temperatura externa, mas para aqueles que trabalhavam em ambientes climatizados, a temperatura interna tinha maior influência. Ainda de acordo com Carli et al (2007), as pessoas têm o costume de alterar o valor do clo durante o dia (tirando ou acrescentando peças de roupa), sendo que em edifícios ventilados mecanicamente a diferença é de 0,2 clo ao longo do dia, independentemente da temperatura externa.

4.2.3 *Desconforto local*

O desconforto local é definido como a insatisfação causada por aquecimento ou resfriamento indesejado em uma determinada parte do corpo, que pode ser causado por corrente de ar, diferença vertical de temperatura, piso quente ou frio ou assimetria da temperatura radiante (ISO 7730, 2005). Mesmo pequenas variações no fluxo de calor podem fazer com que o sistema termorregulatório humano crie uma

compensação, aumentando o esforço fisiológico para manter a temperatura do corpo constante (ASHRAE, 2009); no entanto, a ASHRAE 55 (2004) especifica que o desconforto térmico só pode ser avaliado em pessoas com vestimenta entre 0,5 e 0,7 clo e atividade sedentária de 1,0 a 1,3 met, que são mais sensíveis às adversidades do ambiente térmico.

Assim como o PMV e o PPD, foram criados outros índices de desconforto térmico local, o DR (*draught rate*) e o PD (*percentage dissatisfied* – porcentagem de insatisfeitos), sendo o DR o desconforto devido à corrente de ar e o PD, desconforto devido à diferença vertical de temperatura, piso quente ou frio e assimetria da temperatura radiante, que serão descritos a seguir. Todos eles têm relação com os parâmetros ambientais e seus valores máximos estão resumidos na Tabela 4.3 a seguir:

Tabela 4.3 – Categorias do ambiente térmico (fonte: ISO 7730, 2005)

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

Assim como a Tabela 4.1, a tabela acima também está dividida entre categorias A, B e C do ambiente térmico. Observa-se que as porcentagens de insatisfeitos (PD) para piso frio ou quente e para assimetria radiante são iguais para as categorias A e B, pois as pessoas são menos sensíveis a estes fatores.

Tabela 4.4 – Valores recomendados para desconforto térmico: estratificação da temperatura, temperatura de superfície e assimetria da temperatura radiante (fonte: ISO 7730, 2005)

Categoria	Diferença vertical de temperatura (°C)	Temperatura da superfície (°C)	Assimetria da temperatura radiante (°C)			
			Teto quente	Parede fria	Teto frio	Parede quente
A	< 2	19 a 29	< 5	< 10	< 14	< 23
B	< 3	19 a 29	< 5	< 10	< 14	< 23
C	< 4	17 a 31	< 7	< 13	< 18	< 25

A Tabela 4.4 especifica os mesmos desconfortos térmicos demonstrados a tabela anterior, mas em função da temperatura de contato ou da diferença de temperatura em vez de PPD.

4.2.3.1 Corrente de ar (*draught rate*)

A corrente de ar (*draft*) causa desconforto em áreas do corpo descobertas de vestimenta e é definida pela ASHRAE (2009) como o resfriamento local excessivo de uma pessoa, devido à baixa temperatura e ao movimento do ar. A ISO 7730 (2005) apresenta uma equação que prevê a porcentagem de pessoas insatisfeitas devido à corrente de ar:

$$DR = (34 - T_a)(v_{ar} - 0,05)(0,37 \cdot v_{ar} \cdot T_u + 3,14) \quad (4.15)$$

Para $v_{ar} < 0,05 \text{ m/s}$, usar $v_{ar} = 0,05 \text{ m/s}$

Para $DR > 100\%$, usar $DR = 100\%$

Sendo que:

T_a = temperatura local do ar (°C), 20°C a 26°C;

v_{ar} = velocidade média do ar (m/s), < 0,5 m/s;

T_u = intensidade de turbulência local (%), 10% a 60%.

De acordo com a ASHRAE (2009), a corrente de ar é um dos fatores que mais incomodam em um ambiente climatizado e quando as pessoas sentem este tipo de desconforto, desejam uma temperatura maior do ar ou que o sistema de ventilação mecânico seja desligado.

4.2.3.2 Diferença vertical de temperatura

A diferença vertical de temperatura do ar entre a altura da cabeça e a dos tornozelos pode causar desconforto se a temperatura estiver maior na cabeça e esta diferença for superior a 3 K. A porcentagem de pessoas insatisfeitas devido à estratificação da temperatura pode ser determinada através da seguinte equação:

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(5,76 - 0,856 \cdot EsT)} \quad (4.16)$$

Onde:

PD = porcentagem de insatisfeitos (%);

EsT = diferença vertical de temperatura entre a cabeça e os tornozelos (°C).

A eq.(4.16) se aplica para $EsT < 8^{\circ}\text{C}$ e quando a temperatura é crescente de baixo para cima; no sentido contrário, o indivíduo não sente tanto desconforto com a estratificação de temperatura.

4.2.3.3 Piso quente ou frio

A temperatura da superfície do piso também pode causar desconforto se estiver muito alta ou muito baixa. Tanto a norma ISO 7730 (2005) como a ASHRAE 55 (2004) se aplicam a pessoas usando calçados leves e não descalças. A eq.(4.17) determina a porcentagem de insatisfeitos para esta categoria:

$$PD = 100 - 94 \cdot \exp(-1,387 + 0,118 \cdot T_f - 0,0025 \cdot T_f^2) \quad (5.17)$$

Onde:

PD = porcentagem de insatisfeitos (%);

T_f = temperatura do piso (°C).

4.2.3.4 Assimetria da temperatura radiante

A assimetria de radiação é definida pela ASHRAE (2009) como a diferença da temperatura radiante entre os lados opostos de uma pessoa em um ambiente térmico, podendo ser tanto na horizontal como na vertical, e também pode causar desconforto. As diferenças de temperatura são verificadas em parede quente ou fria e teto quente ou frio, sendo que alguns dos fenômenos incomodam mais do que outros, como mostra a Figura 4.2, onde se observa que a porcentagem de insatisfeitos é maior com teto quente e parede fria, e menor com as outras situações.

Figura 4.2 – Desconforto devido à assimetria de radiação (fonte: ISO 7730, 2005)

As equações de porcentagem de insatisfeitos devido à assimetria de radiação são específicas para cada tipo de desconforto descrito na Figura 4.2.

Insatisfeitos devido à parede fria (para $AsR < 15^{\circ}\text{C}.$):

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(6,61 - 0,345 \cdot AsR)} \quad (4.18)$$

Onde:

PD = porcentagem de insatisfeitos (%);

AsR = assimetria da temperatura radiante ($^{\circ}\text{C}$)

Insatisfeitos devido à parede quente (para $AsR < 35^{\circ}\text{C}$):

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(3,72 - 0,052 \cdot AsR)} - 3,5 \quad (4.19)$$

Insatisfeitos devido ao teto frio (para $AsR < 15^{\circ}\text{C}$):

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(9,93 - 0,50 \cdot AsR)} \quad (4.20)$$

Insatisfeitos devido ao teto quente (para $AsR < 23^{\circ}\text{C}$):

$$PD = \frac{100}{1 + \exp(2,84 - 0,174 \cdot AsR)} - 5,5 \quad (4.21)$$

Na prática, estas equações são utilizadas no caso, por exemplo, quando se necessita instalar um painel radiante no teto, para aquecimento, em um ambiente com grandes superfícies frias ou janelas amplas (ASHRAE, 2009) ou para verificar a incidência direta de raios solares em uma fachada envidraçada ou mesmo no caso de avaliar o último pavimento do edifício, que recebe influencia direta da radiação incidente na laje.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Nos próximos itens serão discutidos os critérios de escolha e número de edifícios da amostra, e descrição da instrumentação, dos procedimentos de medição e da análise dos dados.

5.1 Composição da amostra

Para esta etapa, consultaram-se profissionais ligados a instalação e projeto de sistemas de ar condicionado para determinação do critério de composição da amostra, através de contatos telefônicos e correio eletrônico. Partindo do princípio que seriam selecionados apenas edifícios com sistema central de água gelada, os profissionais responderam espontaneamente a algumas perguntas sobre predominância de Volume de ar variável (VAV) ou Volume de ar constante (VAC) nos *fan coils* dos edifícios comerciais atuais e indicaram ou citaram alguns edifícios de grande porte com sistema VAV na cidade de São Paulo. As respostas foram utilizadas apenas para nortear a decisão de escolha entre um sistema e outro, ou pela opção de mesclar os dois tipos. Alguns responderam que a maioria dos edifícios possuía VAC e por isso, seria mais fácil montar uma amostragem com apenas este tipo de sistema. Outros afirmaram que ultimamente só se usava VAV nos edifícios modernos e ainda houve algumas recomendações sobre a verificação do sistema de automação e controle das VAV, já que o sistema poderia ter a eficiência comprometida se os sensores não estivessem funcionando ou estivessem mal calibrados.

Baseado nas respostas da pesquisa telefônica, nos edifícios disponíveis para pesquisa, nas sugestões dos projetistas de ar condicionado e na falta de consenso entre predominância de VAV ou VAC nos *fan coils* e afins, procurou-se diversificar a amostra com basicamente dois tipos de sistemas: expansão direta com self-contained (VAC) e VRF; e expansão indireta com *chillers* e *fan coils* VAV e VAC. As amostras com expansão indireta, o tipo de sistema de ar condicionado mais

encontrado nos edifícios corporativos de São Paulo, representavam a maior parte, sendo que 33% possuíam *fan coil* VAC e 66%, *fan coil* VAV. No entanto, o número de amostras não foi suficiente para correlacionar dados com os tipos de sistema de condicionamento de ar e gerar resultados significativamente conclusivos, portanto, esta informação foi utilizada apenas para justificar o comportamento de algumas das variáveis, caso houvesse necessidade.

Desta forma, utilizou-se como critério de seleção a facilidade de contatos, áreas de pavimento de 1000 a 3000 m², edifícios de uso corporativo de médio ou grande porte e sistemas de ar condicionado dos tipos citados.

A princípio, a amostra seria composta de dez edifícios, mas devido à dificuldade de autorização da décima amostra para a realização da pesquisa e também à grande quantidade de dados que seriam obtidas nas medições, achou-se suficiente utilizar nove edifícios para a presente pesquisa.

A amostragem final foi, então, constituída de nove edifícios da cidade de São Paulo, com elevada tecnologia e representativos das correntes arquitetônicas contemporâneas, que se concentravam nas regiões da Vila Olímpia, Itaim Bibi, Brooklin, Marginal Pinheiros, Av. Eng. Luis Carlos Berrini e Av. Brigadeiro Faria Lima, sendo que a maioria pertence ao vetor Sudoeste, termo utilizado para designar a atual tendência da centralidade da cidade de São Paulo.

A fim de obter autorização formal para medição nos edifícios, foram contatadas pessoas conhecidas que estivessem ligadas direta ou indiretamente à administração de condomínios comerciais para obtenção de autorização para medição *in loco* junto às empresas locatárias dos pavimentos. Em alguns casos, a aprovação ocorria em três empresas diferentes para cada edifício, dificultando a medição em dias seguidos; no entanto, na maioria dos edifícios o contato foi feito com apenas uma empresa que ocupava os três pavimentos necessários à pesquisa, normalmente em andares consecutivos.

Houve alguns casos de edifícios onde a pesquisa foi autorizada, mas que não puderam ser aproveitados por possuírem pavimentos com áreas reduzidas, edifícios baixos com poucos pavimentos, uso industrial e não de escritórios e localização fora do município de São Paulo.

Por questões éticas, as informações sobre os edifícios, tais quais respectivos nome, empresas, pessoas envolvidas, endereço e imagens não foram divulgadas, ficando a aluna de mestrado responsável pela garantia da veracidade dos dados e

de manter as informações confidenciais guardadas em local seguro. Os edifícios foram identificados por letras (A, B, C, D, E, F, G, H e I).

5.2 Medições *in loco*

A medição *in loco* para conforto térmico é citada pelas normas internacionais ASHRAE 55 (2004), ISO 7730 (2005) e ISO 7726 (1998) e pela norma brasileira ABNT NBR 15575 (2008), que apesar de ser uma norma de desempenho de edifícios residenciais, está sendo citada apenas por motivos de comparação neste quesito.

A ABNT NBR 15575-1 (2008), no item 11 de desempenho térmico, estabelece que a medição da temperatura de bulbo seco deve ser feita a 1,20 m do piso, no centro da sala, com fachadas em orientações mais críticas dependendo da estação do ano, isto é, oeste e norte no verão e sul e leste no inverno e seguindo especificações de equipamentos e montagem dos sensores de acordo com a ISO 7726 (1998). A ABNT NBR 15575 (2008) exige que seja providenciado o conforto térmico dos usuários, porém com ênfase de intervenção no desempenho térmico de materiais construtivos da fachada, cobertura e piso.

A ASHRAE 55 (2004) apresenta um item de avaliação do ambiente térmico, com especificações de instrumentação de acordo com a ISO 7726 (1998), posições (localização e altura), período e condições climáticas para medição, condições de operação dos equipamentos de ar condicionado, tipos de avaliação e métodos de validação. Descreve, portanto, dois tipos de avaliação: o primeiro determina estatisticamente a satisfação dos usuários do edifício por meio dos resultados de entrevistas, e o segundo estabelece as condições de conforto através da análise das variáveis ambientais, verificando se estão de acordo com a própria ASHRAE 55 (2004).

A ISO 7730 (2005) não propõe método de medição, mas apresenta cinco métodos de avaliação, com procedimentos tanto para simulação quanto para medição em edifícios reais. O método “A” propõe calcular o número ou porcentagem de horas que o PMV e a temperatura operativa estiverem fora do intervalo especificado, no período em que o edifício estiver ocupado. No método

“B”, calcula-se o tempo que a temperatura operativa excede o intervalo especificado durante o período ocupado, ponderado por um fator que é função da quantidade de graus que o intervalo é excedido. O método “C” é semelhante ao “B”, mas em vez de utilizar a temperatura operativa, usa-se o PMV em função do PPD. O método “D” calcula a média de PPD durante as horas ocupadas e o “E” soma o PPD durante as horas ocupadas.

A ISO 7726 (1998) já é específica para instrumentação e medição de quantidades físicas em ambientes térmicos. Detalha os parâmetros que devem ser medidos e como devem ser medidos, tipos de instrumentos e respectivos intervalos de operação, normatizando o processo de registro de medição que leva a determinação dos índices de conforto. A ISO 7726 (1998) estabelece como quantidades físicas básicas a temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade absoluta, velocidade do ar e temperatura da superfície. Para cada variável são descritos os sensores ideais e os cuidados que devem ser tomados e estabelece que em ambientes térmicos homogêneos deve ser feita a medição em apenas uma altura, no nível do abdômen (a 0,6 m para pessoas sentadas e 1,1 m para pessoas em pé). Já em ambientes não-homogêneos, parâmetros como velocidade do ar e temperatura, que causam desconforto em determinadas alturas, devem ser medidos em três patamares (níveis dos tornozelos, abdômen e cabeça): para pessoas sentadas, 0,1 m, 0,6 m e 1,1 m respectivamente, enquanto que para pessoas em pé, as alturas devem ser 0,1 m, 1,1 m e 1,7 m respectivamente.

Com relação à qualidade do ar, a Resolução n° 9 da ANVISA (2003) especifica diversos métodos de análise, sendo que o de medição de concentração de dióxido de carbono estabelece que em uma área construída de até 1000 m², deve ser colhida no mínimo uma amostra; de 1000 a 2000 m², três amostras; e de 2000 a 3000 m², cinco amostras, sendo que o amostrador deverá ficar a uma altura de 1,5 m do piso. O CIB TG42 (2004) não fornece método para medição de dióxido de carbono, apenas especifica medições para verificação de umidade dos materiais no canteiro de obra, para emissão de poluentes pelos materiais e para verificação da limpeza nos sistemas de ar condicionado. A ASHRAE 62.1 (2007) e a RN-2 (2003) não apresentam procedimentos de medição.

5.3 Variáveis analisadas

Baseado nas normas e no estudo de Fanger (1972) foram selecionadas as seguintes variáveis para serem coletadas e analisadas nas amostras. Algumas delas não são medidas diretamente, mas obtidas a partir de outras variáveis, como indicado na coluna “variáveis envolvidas”.

Tabela 5.1 – Variáveis analisadas na pesquisa

<i>Variável</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Variáveis envolvidas</i>
Temperatura do ar (de bulbo seco)	T_a	Medição direta
Temperatura radiante média	$\bar{T}_r$	Temperatura de globo Temperatura do ar Velocidade do ar
Temperatura operativa	T_o	Temperatura do ar Temperatura radiante média Velocidade do ar
Temperatura efetiva	ET	Temperatura do ar Temperatura radiante média Pressão de vapor de água
Velocidade relativa do ar	v_{ar}	Medição direta
Umidade relativa do ar	UR	Medição direta
Estratificação de temperatura	EsT	Temperatura do ar em 2 alturas
Assimetria da temperatura radiante	AsR	Medição direta (por radiômetro)
Metabolismo	M	Observação e estimacão
Vestimenta	-	Observação e estimacão
Concentração de CO ₂	-	Medição direta

5.4 Instrumentação

Nos itens a seguir, será feita uma descrição dos tipos de sensores utilizados para obtenção dos parâmetros de conforto térmico e de concentração de CO₂ citados na Tabela 5.1.

5.4.1 Medidor de Dióxido de Carbono

Para obtenção dos dados para qualidade do ar, foi utilizado um medidor de concentração de CO₂, principal parâmetro para determinação da qualidade do ar. O monitor de CO₂ é da marca TSI, modelo 7535, do tipo infravermelho não dispersivo com comprimento de onda duplo (*dual-wavelength NDIR*), a tecnologia mais difundida ultimamente para aplicações em qualidade do ar interior (ASHRAE, 2009).

Figura 5.1 – Medidor de dióxido de carbono TSI 7535

O aparelho fornece informações da concentração do dióxido de carbono em partes por milhão (ppm) e a pressão barométrica em hPa em tempo real no *display*, havendo opções para intervalos de gravação.

Os dados do medidor de CO₂ estão apresentados a seguir:

Tabela 5.2 – Especificação do medidor de CO₂

Modelo	Tipo de sensor	Intervalo de medição	Incerteza de medição
CO ₂ (7535)	NDIR com dual wavelenght	0 a 5000 ppm	± 3% ou ± 50 ppm, o que for maior.

5.4.2 Confortímetro

O confortímetro da marca DeltaOhm, modelo HD 32.1, de análise microclimática, é constituído de um tripé, hastes de apoio para sondas, cabos e sondas para medição dos parâmetros ambientais e de desconforto local. Possui dois sistemas operacionais: (A) Análise de microclima e (B) Análise de desconforto. O sistema A coleta as variáveis de temperatura de bulbo seco, umidade relativa, velocidade do ar, temperatura de bulbo úmido e temperatura de globo, calculando diretamente a temperatura radiante média. Já o sistema B coleta as variáveis de assimetria de temperatura radiante (registro da temperatura em três alturas), estratificação da temperatura, temperatura do ar na altura do piso e cálculo da temperatura efetiva.

Figura 5.2 – Sistema de aquisição de dados (HD32.1) e confortímetro montado

A Tabela 5.3 descreve os tipos de sensores e respectivos intervalos de medição e incerteza de acordo com o manual de uso dos equipamentos, sendo que os modelos especificados são o seguinte:

- TP3275 e TP3227K – Sondas para verificação da estratificação de temperatura;
- TP3227PC – Sensor de temperatura com globo negro;
- HP3201 – Sonda combinada para medição de temperatura e umidade relativa;
- TP3207TR – Radiômetro, que mede radiação solar;

- AP3203 – Anemômetro de fio quente para medir velocidade do ar.

Tabela 5.3 – Especificação dos sensores utilizados na pesquisa

Modelo	Tipo de sensor	Intervalo de medição	Incerteza de medição
TP3275, TP3227K e TP3227PC	Pt100	-10°C a 100°C	Classe 1/3 DIN
HP3201	Pt100 (TBU)	4°C a 80°C	Classe A
HP3217	Pt100 + sensor capacitivo	-10°C a 80°C 5% a 98%	Classe 1/3 DIN ± 2,5%
TP3207TR	Radiômetro / NTC	-10°C a 100°C	NTC ± 0,15
AP3203	Anemômetro (NTC 10Kohm)	0°C a 80°C e 0 m/s a 5 m/s	± 0.02 m/s (0 a 1 m/s) ± 0,1 m/s (1 a 5 m/s)

A incerteza de medição especifica as classes conforme normas europeias:

$$\text{Classe 1/3 DIN} = \pm \frac{1}{3} \cdot (0,3 + 0,005 \cdot T_a) \quad (5.1)$$

$$\text{Classe A} = \pm (0,15 + 0,002 \cdot T_{BU}) \quad (5.2)$$

Onde:

T_a = temperatura de bulbo seco (°C);

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

A incerteza de medição, especificadas pelas normas europeias, depende das variáveis medidas *in loco*. Quanto maior a temperatura, maior a incerteza. Por exemplo, para uma temperatura de bulbo seco de 21°C, o erro para a Classe 1/3 DIN seria de ± 0,135°C. Já para 27°C, seria de ± 0,145°C. Se a sonda HP3217 de temperatura e umidade relativa registrar 27°C, a incerteza de medição seria de ± 0,145°C ± 2,5%, o que corresponderia a uma variação de temperatura de aproximadamente 26,85°C a 27,15°C.

A ISO 7726 (1998) especifica as seguintes características para os instrumentos de medição para conforto térmico (para estresse térmico há outras especificações de intervalo e incerteza de medição):

Tabela 5.4 – Características dos instrumentos de medição (fonte: adaptada da ISO 7726 (1998))

<i>Parâmetro</i>	<i>Intervalo de medição</i>	<i>Incerteza de medição</i>
Temperatura do ar	10°C a 40°C	Solicitada: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ * Desejada: $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ *
Temperatura radiante média	10°C a 40°C	Solicitada: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ** Desejada: $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ **
Velocidade do ar	0,05 m/s a 1 m/s	Solicitada: $\pm (0,05+0,05.v_a)$ m/s Desejada: $\pm (0,02+0,07.v_a)$ m/s
Umidade absoluta	0,5 kPa a 3,0 kPa	$\pm 0,15$ kPa *

* Este nível deve ser garantido com uma diferença de $|\bar{T}_r - T_a|$ de pelo menos 10°C.

** Estes níveis são difíceis ou mesmo impossíveis de alcançar em alguns casos com os equipamentos normalmente disponíveis. Quando não puderem ser alcançados, devem estar indicados.

Tanto os intervalos de medição quanto as incertezas dos equipamentos utilizados estão de acordo com os intervalos e valores estipulados pela norma ISO 7726 (1998) de instrumentação para medição de quantidades físicas.

5.4.2.1 Sensores de temperatura

Os sensores adquiridos para medição da temperatura do ar são do tipo termorresistências, instrumentos que dependem de uma mudança na resistência elétrica de um elemento sensor com a alteração da temperatura. Em geral, as termorresistências são melhores que os termopares, no que se refere à precisão das medições.

Os dispositivos baseados no princípio de variação da resistência com a temperatura (conhecidas como RTD, *Resistance temperature device*) são tipicamente construídos com platina, ródio-ferro, níquel, níquel-ferro, tungstênio ou cobre, caracterizados pelo circuito simples, linearidade, boa sensibilidade e estabilidade. A escolha do material para este dispositivo geralmente depende da aplicação pretendida, faixa de temperatura, proteção à corrosão, estabilidade mecânica e custo.

Atualmente, em aplicações de HVAC, os termistores, que são as resistências feitas de semicondutores, são os mais utilizados por serem mais baratos, porém são menos precisos. Para esta pesquisa, optou-se pela termorresistência de platina por ser extremamente estável, resistente à corrosão e capaz de medir maior faixa de temperatura se comparado a outros materiais. Destes, o mais usado é feito com uma resistência de $100\ \Omega$ a 0°C (Pt100). Outros RTD disponíveis são de baixa resistência a temperaturas acima de 600°C (ASHRAE, 2009).

Os sensores de temperatura presentes no equipamento são utilizados para identificar tanto a temperatura do ar, um dos parâmetros para determinação do conforto térmico, como a diferença vertical de temperatura.

O desconforto local é identificado através dos seguintes instrumentos:

- Equipamento combinado de haste e dois sensores de temperatura Pt100 (Figura 5.3): as alturas dos sensores são reguláveis de acordo com a norma ISO 7726 (1998) para instrumentação de grandezas físicas para conforto térmico, que são de 0,60 m e 1,10 m para pessoas sentadas e 1,10 m e 1,70 m para pessoas em pé.

Figura 5.3 – TP3227K Sonda composta por 2 sensores de temperatura em haste (fonte: Manual HD 32.1)

- Equipamento combinado com dois sensores de temperatura (Figura 5.4), um para medição da temperatura do ar no nível do piso e outro na altura dos tornozelos, a 0,10 m do piso, segundo a ISO 7726 (1998).

Figura 5.4 – TP3227PC Sonda composta por 2 sensores de temperatura para o nível do piso (fonte: Manual HD 32.1)

5.4.2.2 Sensor de umidade relativa

Para medição da umidade, foi usado o sensor tipo capacitivo, no qual a medição da umidade relativa se dá pela variação da capacidade elétrica do sensor (ISO 7726, 1998). A Figura 5.5 mostra uma sonda combinada de temperatura e umidade do equipamento que foi utilizado para medição.

Figura 5.5 – HP3217 Sonda combinada de temperatura e umidade (fonte: Manual HD 32.1)

5.4.2.3 Anemômetro para velocidade do ar

A velocidade do ar é obtida por meio de um anemômetro térmico ou a fio-quente (Figura 5.6), que consiste em uma termorresistência aquecida, uma junção termopar ou um sensor termistor colocado na ponta de uma sonda. O instrumento fornece um método simples e direto para determinar a velocidade do ar em um ponto. O movimento do ar faz com que o sensor de velocidade eletricamente aquecido se esfrie proporcionalmente à velocidade do fluxo do ar. As principais vantagens dos anemômetros térmicos são suas amplas faixas dinâmicas e a sensibilidade a baixas velocidades. (ASHRAE, 2009)

Figura 5.6 – AP3203 Sonda a fio quente multidirecional para velocidade do ar (fonte: Manual HD 32.1)

5.4.2.4 Radiômetro para assimetria da temperatura radiante

A assimetria da temperatura radiante é calculada através de uma rede de radiômetros, instrumento que pode ser usado para medir a assimetria de temperatura radiante ou a temperatura radiante plana em um lado do envoltório (Figura 5.7). Consiste em um pequeno elemento pintado de preto com um medidor de fluxo de calor (termopilha, que são termopares ligados em série) para medir o fluxo de rede entre os dois lados do elemento. Estes dois lados são separados por

um material isolante e cada lado é protegido por um hemisfério de polietileno para eliminar a transferência de calor por convecção do elemento. O instrumento é largamente utilizado em medições internas e externas. (AWBI, 1991)

Figura 5.7 – TP3207TR Sonda para medição de temperatura radiante (fonte: Manual HD 32.1)

5.4.2.5 Sensor de temperatura com globo negro

Consiste em um sensor de temperatura Pt100 que é colocado dentro de um globo negro, geralmente com diâmetro de 150 mm. É usado para obter um valor aproximado da temperatura radiante média através dos valores simultâneos de temperatura de globo (T_g), temperatura ambiente (T_a) e velocidade do ar (v_a) em volta do globo (ASHRAE, 2009). O formato esférico do sensor de globo pode fornecer uma aproximação razoável do formato do corpo de uma pessoa sentada (ISO 7726, 1998).

Figura 5.8 – TP3275 sensor de temperatura com globo negro (fonte: Manual HD 32.1)

5.5 Investigação de campo

Uma vez adquiridos os equipamentos e escolhidos os edifícios, partiu-se para o trabalho em campo.

A instrumentação no local foi instalada após verificação do sistema de ar condicionado e dos problemas apontados pelos gerentes de facilidades. As atividades e vestimentas foram definidas através de observação da rotina dos usuários dos edifícios.

A ISO 7730 (2005) atribui um valor de 1,2 met (aproximadamente 70 W/m²) para atividades de escritório, na qual as pessoas ficam na posição sentada, digitando no teclado do computador ou falando ao telefone e levantando algumas vezes. De acordo com Ruas (1999), a ISO 8996 (*Ergonomics of the thermal environment: Determination of metabolic rate*) propõe três métodos para determinação da atividade metabólica: (1) por meio de medição do consumo de oxigênio e da produção de dióxido de carbono, (2) do registro da frequência cardíaca durante o período de trabalho e (3) da estimativa por tabelas através de valores referenciados. Como os dois primeiros métodos exigem tempo de preparo e uso de equipamentos adequados, normalmente é utilizada a estimativa do metabolismo por tabelas. Ainda segundo Ruas (1999), a experiência do observador também

influencia na determinação do nível de atividade das pessoas, o que pode alterar os resultados. Desta forma, optou-se por basear-se nas normas para seleção do metabolismo de referência para esta pesquisa, para que as subjetividades citadas não interferissem posteriormente na determinação dos valores de PMV.

Quanto à vestimenta, a ASHRAE 55 (2004) propõe um valor de 0,57 clo para o conjunto calça e camisa de manga curta e 0,61 clo para calça e camisa de manga comprida, enquanto a ISO 7730 (2005) se baseia nos valores de 0,5 clo para o verão e 1,0 clo para o inverno para ambientes térmicos. Choi et al (2010), consideraram 0,5 clo no verão e 1,0 clo no inverno para vestimenta e 1,2 met para o metabolismo, afirmando que não havia diferença significativa entre os valores para homens e mulheres. Nesta pesquisa foram selecionados os valores de 0,5 clo para mulheres e 1,0 clo para os homens devido ao código de vestimenta existente em edifícios corporativos. A pesquisa foi conduzida no verão, quando as mulheres normalmente têm maior flexibilidade de utilizar vestimentas adequadas ao clima, por isso foram adotados dois valores de clo.

Estas variáveis foram determinadas para o cálculo do PMV comparando às normas existentes. Além disso, estudos em campo têm mostrado que o modelo PMV é um método eficiente para avaliação do conforto térmico. (Dear; Brager apud Olesen; Parsons, 2002).

Nesta pesquisa, não houve aplicação de questionário aos usuários devido à complexidade deste tipo de avaliação. A maioria das pesquisas da área utiliza este procedimento de entrevistar os usuários do ambiente (todos ou aqueles que estiverem próximos aos pontos de medição) e monitorar os parâmetros ambientais na altura correspondente a do pescoço de uma pessoa sentada, em diferentes locais do pavimento. Porém, de acordo com a pesquisa de Hens (2009) em dois edifícios climatizados na Bélgica, na qual foram feitos questionários a respeito da sensação térmica e medidos os parâmetros ambientais, em ambos os casos não houve correlação entre o PMV calculado a partir das variáveis medidas e os votos obtidos por meio de entrevistas.

A investigação de campo foi seguida nesta ordem:

- a. Foi selecionado um número de edifícios mais elevado do que o da amostra real de nove edifícios, considerando o tipo de sistema de ar condicionado – expansão direta ou indireta – e a distribuição de ar, se era VAC ou VAV;

- b. Para obtenção de licença para visita dos edifícios, foram contatados os Gerentes de Facilidades (GF) ou os próprios inquilinos;
- c. Foram visitados os edifícios para registro de suas características;
- d. Os engenheiros responsáveis pelos sistemas de ar condicionado foram entrevistados para coletar informações relativas à manutenção e reclamações mais frequentes dos usuários.
- e. Os gerentes de facilidades contataram os respectivos proprietários dos edifícios ou inquilinos dos pavimentos para obtenção de licença para monitoramento;
- f. A pesquisadora e os estagiários foram aos pavimentos dos edifícios;
- g. Foram selecionados os locais de medição em cada pavimento dos edifícios, de acordo com as premissas da pesquisa junto com o responsável da manutenção predial ou com algum funcionário da empresa que cedeu o espaço para a pesquisa;
- h. Foram coletados os dados em campo.

Para todos os edifícios foi estipulada a mesma altura dos sensores do confortímetro para coleta dos dados referentes aos parâmetros ambientais para conforto térmico, de 1,1 m. Apesar da maioria das pessoas ficarem na posição sentada nos escritórios, foi utilizada a altura de 1,1 m devido à dificuldade em se medir na altura de 0,6 m sugerida pela ISO 7726 (1998), pois as pessoas poderiam tropeçar no equipamento e causar acidentes.

Com relação ao medidor de CO₂, o amostrador ficou a uma altura de aproximadamente 1,10 m, na linha de respiração de pessoas sentadas, pois se apoiava no tripé do confortímetro, na mesma altura que os demais sensores. Como se tratava de um equipamento portátil, não era possível ser pendurado a uma altura de 1,50 m como prevê a Resolução nº 9 da ANVISA (2003). Além disso, assim como o confortímetro a 0,6 m de altura, a 1,5 m de altura poderia também causar acidentes aos transeuntes. O número de amostras por pavimento foi maior do que o recomendado pela Resolução nº 9 da ANVISA (2003).

Os dados foram armazenados então durante o tempo necessário nos pontos de medição em um sistema de aquisição de dados do próprio confortímetro, com memória de armazenamento suficiente, para depois serem transferidos para um

notebook através de porta USB. As informações foram processadas em planilhas, utilizando o software Excel para tratamento dos dados.

5.6 Estratégia de medição

A estratégia de medição inicialmente fora planejada para que o equipamento permanecesse parado em um único ponto no pavimento. Para todos os edifícios, seria selecionado um ponto em cada pavimento com características semelhantes entre si, como por exemplo, ou no centro do pavimento ou próximo à janela da fachada oeste, onde teoricamente haveria problemas com os efeitos da radiação devido à incidência de raios solares no período da tarde.

A fim de testar a viabilidade desta estratégia, foi selecionado um edifício-piloto, que atendia parcialmente aos propósitos da pesquisa, mas que era suficiente para uma medição inicial, pois se tratava de uma área de escritório junto a uma fábrica em prédios de dois pavimentos, onde era utilizado um sistema de ar condicionado central com *chiller* a ar e os ambientes de escritório eram climatizados, com *layout* do tipo *open-plan*. Sendo assim, as condições ambientais foram favoráveis para medição.

A medição foi feita no fim do mês de novembro de 2009, com céu claro e temperatura do ar elevada. O equipamento foi posicionado em apenas um ponto durante o dia todo. Além disso, como o equipamento possuía algumas limitações de funcionamento, a medição não poderia ser feita com todas as sondas coletando dados ao mesmo tempo. Sendo assim, no edifício-piloto foram feitas várias combinações de medição, intercalando os sistemas operacionais A e B com a instrumentação parada em um ponto. A Figura 5.9 mostra os dados obtidos de temperatura de bulbo seco ao longo de um dia de medição, em apenas um ponto. As interrupções correspondem ao intervalo de troca entre um programa e outro, pois não era possível configurar o *data logger* enquanto o mesmo estava registrando dados.

Figura 5.9 – Dados de temperatura do ar medidos ao longo do dia no edifício-piloto

Como não houve variação significativa de temperatura durante o período medido, mudou-se a estratégia de medição a partir dos resultados deste edifício-piloto. No dia da medição, o controle VAV do sistema de ar condicionado não estava operando como deveria devido a um problema de *software*; mesmo assim, a variação de temperatura de bulbo seco foi de apenas 0,8°C (23,9°C a 24,7°C) ao longo de 8 horas de medição (Figura 5.9) e a velocidade do ar não ultrapassou os 0,11 m/s. A configuração de abertura de válvulas mantida durante a medição correspondia àquela no momento em que a BMS (*Building Management System* – Sistema de gerenciamento do edifício) perdeu o contato com a controladora por problemas técnicos de informática.

Ao analisar superficialmente os dados de medição, o gerente de manutenção concluiu que os níveis de temperatura foram mantidos dentro da faixa de conforto, pois a carga térmica do edifício não sofria grandes variações de um dia para o outro e por isso, mesmo funcionando como VAC, o sistema manteve um nível satisfatório de conforto térmico.

A partir destes resultados, chegou-se à conclusão de que monitorar os parâmetros ambientais em apenas um ponto de cada pavimento talvez não fosse suficiente para se cumprir os objetivos da pesquisa, pois, embora não houvesse a intenção de se caracterizar o ambiente térmico como um todo, a medição em mais pontos por pavimento aumentaria a probabilidade de identificação de possíveis falhas nos sistemas de ar condicionado. A escolha de apenas um ponto poderia mascarar um problema existente no outro lado do pavimento, por exemplo.

A partir daí, as primeiras amostras foram os edifícios A e B, nos quais foram feitas medições em três pavimentos por edifício, no mês de dezembro de 2009 e, portanto, no início do verão, estação caracterizada pelas altas temperaturas e chuvas intensas no fim da tarde na cidade de São Paulo.

Para os edifícios A e B, portanto, foi determinado que fossem feitas medições de sete horas em cada pavimento, sendo 45 minutos em cada ponto, com registro de dados a cada um minuto, considerando um intervalo de 15 minutos para transporte do aparelho de um ponto para o outro. A quantidade de pontos e o tempo de permanência em cada ponto foram determinados de acordo com o horário comercial, que correspondia ao período de funcionamento do sistema de ar condicionado e de permanência dos funcionários nos pavimentos. Além disso, esperava-se abranger o maior número possível de pontos, com medição contínua superior a 10 minutos para cada programa. Precisamente, foram 30 minutos para o A e 15 minutos para o B, e quanto ao medidor de CO₂, este seria acionado concomitantemente ao programa A, monitorando 30 minutos em cada ponto.

As normas não estabelecem tempo mínimo de medição para todos os parâmetros, apenas para a velocidade do ar, que se deve medir em um intervalo de tempo de pelo menos 3 minutos (ASHRAE, 2009; ASHRAE 55, 2004), e para a temperatura de globo, que tem um tempo de resposta de 20 a 30 minutos (ISO 7726, 1998), o que influencia na primeira medição para obtenção da temperatura de globo (T_g). Na pesquisa de Choi et al (2010) em que foram avaliados o conforto térmico e qualidade do ar em edifícios públicos nos Estados Unidos, o equipamento dotado de sensores de temperatura, umidade e concentração de CO₂ permanecia por 15 minutos em cada ponto (estação de trabalho), sendo que os primeiros minutos eram destinados à acomodação dos sensores e os parâmetros eram registrados durante 4 minutos em intervalo de 15 segundos. Na pesquisa de Leite (2003), sobre avaliação do conforto térmico em câmara climatizada para sistema de condicionamento de ar com insuflamento pelo piso, foi estipulado um tempo de medição de 5 minutos em cada ponto, mais um tempo adicional de 5 a 10 minutos para estabilização dos sensores. A aquisição dos dados era feita a cada 0,2 segundo e a gravação das médias, a cada 10 segundos.

Para seleção dos pontos de medição, o pessoal responsável pela manutenção dos sistemas de ar condicionado em cada edifício foi consultado para definir os locais onde as reclamações com os respectivos microclimas eram mais frequentes.

Primariamente, foram considerados os postos de trabalho onde os ocupantes reclamavam de frio ou de calor, sem determinar se a causa se devia à velocidade do ar ou à temperatura, por exemplo. Supôs-se que a análise dos dados seria suficiente para diagnosticar o motivo da insatisfação térmica, já que muitas das pessoas não sabiam dizer quais dos parâmetros causavam desconforto, atribuindo muitas vezes somente à temperatura. O posicionamento dos equipamentos, no entanto, era condicionado aos espaços físicos suficientes para que monitorassem o tempo necessário com segurança, fora da área de circulação e por isso, em alguns casos, não foi possível realizar a medição exatamente nas estações de trabalho apontadas pelo pessoal da manutenção como mais suscetíveis a gerarem desconforto térmico.

Os pontos foram definidos seguindo uma série de critérios que, por sua vez, dependia da política de segurança de cada local. Sendo assim, para cada pavimento de cada edifício, a estratégia de medição foi determinada no próprio local, momentos antes do início da coleta de dados, respeitando as recomendações das normas. A ASHRAE 55 (p.12, 2004) estabelece que em ambientes térmicos onde não seja possível a medição em locais representativos por amostragem, devem ser feitas as medições onde são esperados que pudessem ser encontrados valores extremos dos parâmetros ambientais, como próximos às janelas, cantos, saídas de difusores e entradas do ambiente.

Após análise estatística de dimensionamento de dados a partir dos Edifícios A e B, determinou-se que deveriam ser medidos cinco pontos de 100 minutos em vez de sete de 45 minutos (motivo que será explicado no item 5.7), adequando o número necessário de registros por ponto ao tempo disponível por dia. Por fim, considerou-se definitiva a medição de quatro pontos de 120 minutos cada, respeitando o período de acomodação dos sensores. O critério de escolha dos pontos de medição continuou o mesmo, porém procurou-se da melhor forma possível distribuir os pontos pelo pavimento, já que algumas empresas não permitiam o posicionamento do equipamento em áreas com grande concentração de pessoas ou em áreas de acesso restrito, mesmo que apresentassem reclamações de desconforto.

5.7 Dimensionamento da amostra

Para o dimensionamento estatístico rigoroso da amostra, foi necessário fazer algumas medições iniciais a fim de obter dados suficientes para determinar um número mínimo de amostras, através da estimativa do valor de uma variável, associando ao índice de confiança desejado e respectiva margem de erro. Como a estratégia de medição foi modificada após verificação dos resultados do edifício-piloto, os dados utilizados para dimensionamento da amostra foram os dos edifícios A e B; o primeiro mais antigo, que utiliza um sistema de expansão direta e condensação a água e o outro mais novo, de sistema central com *chiller* a água.

Os resultados das medições nos edifícios A e B foram tabulados e calculados a média e desvio padrão de cada variável, sendo consideradas a temperatura de bulbo seco, a umidade relativa, a velocidade do ar, a concentração de dióxido de carbono e a temperatura radiante média (esta última é obtida indiretamente, por meio de cálculos, mas é calculada diretamente pelo confortímetro).

Para determinar o tamanho da amostra, foi usada a expressão a seguir, pois o desvio populacional σ era conhecido (COSTA NETO, 2002):

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \cdot \sigma}{e_o} \right)^2 \quad (5.3)$$

Onde:

$Z_{\alpha/2}$ = valor de z da distribuição normal padrão para a área à direita $\alpha/2$

σ = desvio padrão da população

e_o = intervalo de confiança

Como a amostra era maior que 30 elementos, foi considerado o desvio padrão da amostra como da população e usada a probabilidade normal padronizada correspondente a uma confiança de 95% e, portanto, $Z_{0,025} = 1,96$. O intervalo de confiança para cada variável foi determinado de acordo com o catálogo do fabricante, considerando a incerteza de medição dos sensores, conforme a Tabela 5.3 (p. 66).

Com estes dados, foi possível calcular, em um primeiro momento, o número de registros para cada ponto, a fim de gerar uma confiança de pelo menos 95% dos dados a serem obtidos. Para cada variável, foi feito o cálculo de dimensionamento de amostra e aquela que apresentasse maior número deveria ser a considerada. No entanto, como as variáveis de umidade relativa e de nível de CO₂ possuem grande amplitude, o cálculo resultou em números de amostras inviáveis, às vezes muito superiores ao tempo disponível para medição em um dia, na casa dos milhares. Foram excluídas estas variáveis para o cálculo de dimensionamento da amostra e também as de um ponto do Edifício A onde ocorreu uma grande variação dos parâmetros medidos, pois o compressor do sistema de ar condicionado encontrava-se desligado no início da gravação, sendo acionado 10 minutos depois, quando as pessoas se deram conta de que estavam sentindo calor e ligaram o equipamento.

Considerando então as demais variáveis do Programa A, o maior valor encontrado foi de 67 registros por ponto, proveniente de uma medição de velocidade do ar em que a variação foi muito grande, pois a vazão de saída de ar pelo difusor estava elevada no 14º pavimento do Edifício A. Este valor foi encontrado introduzindo os valores de desvio padrão de 0,083 e intervalo de confiança de 0,02 na eq.(5.3).

$$n_A = \left(\frac{1,96 \cdot 0,083}{0,02} \right)^2$$

$$n_A = (8,134)^2$$

$$n_A = 66,16$$

Para o Programa B, o maior valor foi de 30 registros (desvio padrão de 0,386 e intervalo de confiança de 0,14 da variável temperatura do ar, no Edifício A).

$$n_B = \left(\frac{1,96 \cdot 0,386}{0,14} \right)^2$$

$$n_B = (5,404)^2$$

$$n_B = 29,2$$

Por questões de praticidade e arredondamento dos valores, para a medição do Edifício C foi utilizada a estratégia de 70 registros no Programa A e 30 registros no B, totalizando 100 minutos por ponto, sendo que o medidor de CO₂ acompanhou o

Programa A. Para adequar ao horário comercial, o número máximo de pontos deveria ser, portanto, de cinco por pavimento, totalizando 500 minutos.

A partir dos resultados das medições do edifício C, verificou-se que havia uma curva nos primeiros valores de temperatura do ar registrados em cada ponto, o que supostamente correspondia ao tempo de estabilização do sensor. Para que os dados permanecessem com 95% de confiança, aumentou-se o número de registros necessários em cada programa para 80 no A (e CO₂) e 40 no B, reduzindo assim o número de pontos de cinco para quatro por pavimento, totalizando 480 minutos (8 horas) de medição por dia. Este procedimento foi utilizado nos demais edifícios da amostra.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Reuniram-se todos os dados referentes às medições, sendo considerados como válidos 7645 registros do Programa A e 3049 do Programa B. Foram excluídos os dados iniciais de cada medição, respeitando o tempo de acomodação dos sensores e também os registros que apresentaram erros devido a um problema inicial de configuração no sistema de aquisição de dados.

A partir daí, foram calculadas as mínimas, médias e máximas de todas as variáveis de cada ponto de medição. Além disso, todos os dados (de minuto a minuto) foram reunidos para comparar as variáveis com os parâmetros das normas.

Para todos os edifícios foram feitas análises detalhadas dos respectivos pavimentos observando-se as tabelas com as mínimas, médias e máximas, gráficos de temperatura operativa e se caso houvesse algum parâmetro fora do intervalo estipulado nas normas, gráfico complementar da referida variável para ajudar na visualização e identificação de um possível problema. As tabelas em questão se encontram no Anexo A.

Os resultados demonstraram os níveis de CO₂ e os parâmetros relacionados ao conforto térmico e foram comparados aos limites impostos pelas normas da ASHRAE, ISO, ANVISA e ABNT. Foi possível também determinar a porcentagem de insatisfeitos com os níveis de desconforto local (diferença de temperatura vertical, corrente de ar, assimetria da temperatura radiante e piso frio ou quente).

6.1 Edifícios estudados

O critério de seleção dos edifícios já foi citado no item 5.1, em “composição da amostra”. Para facilitar o entendimento da análise dos edifícios, os itens a seguir apresentam uma breve descrição das áreas dos pavimentos, tipos de sistema de ar condicionado, tempo de construção, planta dos pontos (pelo menos uma de cada edifício) e alguns gráficos para exemplificar o tratamento dos dados.

6.1.1 Edifício A

Este edifício possuía cerca de 20 anos de idade, pois a planta de ar condicionado datava de 1991. O sistema era do tipo *self* com condensação a água, de expansão direta e não possuía central de água gelada, tendo apenas torres de resfriamento na cobertura. A água era bombeada direto para as condensadoras, que eram duas por pavimento, de 20 TR cada. Como os equipamentos eram antigos e já haviam saído de linha, os filtros de ar eram lavados e não eram trocados por novos por falta de peças de reposição no mercado. O acionamento das condensadoras era manual e não havia um sistema de controle, pois a determinação do *setpoint* era feita no próprio equipamento e por isso, não havia sensores no ambiente. Cada máquina atendia a uma área de 570 m², sendo que o pavimento possuía área total de 1140 m².

Os pavimentos foram medidos na seguinte ordem: 15º, 14º e 8º andares, em dias não consecutivos, em dezembro de 2009. Apesar de serem ocupados pela mesma empresa, os pavimentos possuíam configurações e densidades diferentes.

Figura 6.1 – Esquema dos pontos de medição no 15º andar do Edifício A

Neste edifício, foram encontradas baixas temperaturas no 15º andar, devido às altas velocidades do ar registradas em três pontos (com médias de 0,65 m/s a 0,82

m/s), pois se localizavam embaixo dos difusores lineares, onde havia estações de trabalho. A Figura 6.2 apresenta o registro de velocidade do ar nos sete pontos de medição:

Figura 6.2 – Valores de velocidade do ar verificados no 15º andar do Edifício A

A Figura 6.3 mostra os níveis de temperatura operativa. Observa-se que nos pontos P4, P5 e P6 onde a velocidade do ar estava mais alta, a temperatura operativa estava baixa, com médias abaixo de 22°C.

Figura 6.3 – Valores de temperatura operativa do 15º andar do Edifício A

6.1.2 Edifício B

Edifício de aproximadamente quatro anos de construção, possuía escritórios do 3° ao 14° andares. Havia um *fan coil* de 60 TR por andar e a troca dos filtros de ar era feita a cada três ou quatro meses, ou em menor período de tempo se o filtro acusasse estar visualmente saturado. Havia sensores de temperatura no ambiente, na parede, a uma altura de aproximadamente 1,10 m. A empresa que cedeu o espaço para medição detinha três pavimentos com área média de 1670 m² cada. Como o edifício era escalonado, a área dos pavimentos diminuía conforme a altura aumentava.

A CAG era constituída por quatro *chillers*, sendo dois de absorção e dois do tipo parafuso. Cada um deles possuía capacidade aproximada de 240 TR, totalizando 960 TR e até a realização da pesquisa, nunca havia sido usados todos ao mesmo tempo.

A saída do ar insuflado era feita por difusores quadrados e o retorno através de grelhas retangulares. Próximas às janelas, havia difusores lineares.

As medições foram feitas nos 3°, 4° e 5° andares, pavimentos ocupados pela mesma empresa, em dias consecutivos, no mês de dezembro de 2009. A Figura 6.4 apresenta a configuração do 5° andar, que correspondia à área de diretoria e presidência da empresa. Nos outros pavimentos havia mais área de escritório aberto.

Figura 6.4 – Esquema dos pontos de medição no 5º andar do Edifício B

No 3º andar, um dos pontos apresentou temperatura operativa baixa, com média de 21,9°C. No 5º andar, que possuía divisórias, quatro dos sete pontos apresentou umidade relativa acima de 65%, como pode ser observado na Figura 6.5, e em um dos pontos (P1), a temperatura operativa alcançou 28,7°C devido à incidência direta de raios solares na fachada envidraçada.

Figura 6.5 – Valores de umidade relativa verificados no 5º andar do Edifício B

Ao analisar as temperaturas operativas encontradas no 5º andar do Edifício B por meio das tabelas do Anexo A, observa-se que nos pontos em que a umidade relativa estava alta, a temperatura operativa estava baixa.

6.1.3 Edifício C

Edifício de escritório que possuía 38 andares e 11 anos de uso. A CAG possuía três *chillers* centrífugos de 700 TR cada, sendo que no verão eram usados no máximo dois dos *chillers* com capacidade máxima, permanecendo um de reserva. Havia dois *fan coils* por andar, de 20 TR cada, com sistema VAV, insuflamento pelo teto em difusores quadrados e retorno pela luminária. O *setpoint* de controle era de $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ e a temperatura do ar de insuflamento era de 14°C a 17°C . O sistema passava por balanceamento periodicamente. De acordo com o pessoal responsável pela manutenção do sistema de ar condicionado, alguns pavimentos possuíam sistema independente de ar condicionado por não concordarem com o tipo de equipamento instalado no condomínio, mesmo que isto implicasse em maiores investimentos por parte do locatário.

Foram medidos o 2º, 8º e 34º andares, em empresas diferentes, em dias consecutivos no mês de janeiro de 2010.

Figura 6.6 –Esquema dos pontos de medição no 8º andar do Edifício C

Este edifício apresentou alta umidade relativa e baixa temperatura operativa em um ponto do 2º andar e alta concentração de dióxido de carbono em todos os

pontos de medição do 8º andar, como mostra a Figura 6.7. A linha cinza contínua representa o nível máximo estipulado pela Resolução nº 9 da ANVISA (2003), de 1000 ppm. A alta concentração de CO₂ tem relação com a vazão insuficiente, que causa deficiência no retorno e baixa taxa de renovação.

Figura 6.7 – Valores de concentração de CO₂ no 8º andar do Edifício C

6.1.4 Edifício D

Apesar de pertencer ao mesmo condomínio do Edifício C, este apresentava sistema independente do outro, pois foi construído em época diferente. Este, no caso, possuía 13 anos de uso. A CAG tinha quatro chillers, sendo três centrífugos de 400 TR e um parafuso de 100 TR. O sistema era VAC e cada pavimento possuía quatro fan coils de 3 TR para resfriamento periférico e tomada de ar externo, e dois fan coils de 10 TR que atendiam a área central. O acesso aos fan coils era pelo forro do próprio pavimento ocupado. O insuflamento e o retorno eram feitos pelas luminárias lineares tipo “troffer”, com funções alternadas intercaladas (uma servia de entrada e outra de saída do ar). O sensor de temperatura ficava no retorno, para controle da válvula de água gelada (AG) e a temperatura de insuflamento era próxima à temperatura de conforto, de acordo com o pessoal responsável pela manutenção do sistema de ar condicionado do condomínio.

Os andares utilizados para medição foram o 2º, o 17º e o 25º, em empresas diferentes, e a medição foi feita em janeiro de 2010, em dias quase consecutivos,

interrompidos pelo fim de semana. Neste edifício, os pavimentos eram praticamente divididos em duas partes, pois o hall de entrada ficava no meio do andar e havia dois grandes salões: à direita com fachadas noroeste e nordeste e à esquerda, com fachadas sudeste e sudoeste.

Figura 6.8 – Esquema dos pontos de medição no 2º andar do Edifício D

Os responsáveis pela manutenção de cada pavimento visitado disseram haver um lado mais quente que o outro; porém, o que se percebeu a partir da medição e análise do comportamento da temperatura operativa, era que havia basicamente a predominância de dois *setpoints* diferentes de *fan coil* em cada andar, como mostra a Figura 6.9 em que a temperatura operativa dos pontos P1 e P2 foi, em média, 24°C, e dos pontos P3 e P4, 26°C. Os resultados, no entanto, não tinham correlação com a orientação da fachada, lado do edifício e nem com o horário de medição.

Figura 6.9 – Valores de temperatura operativa do 2º andar do Edifício D

6.1.5 Edifício E

Complexo que abrangia centro de convenções, hotel, academia e edifício de escritório, este possuía pavimento com área de cerca de 1750 m², sendo servido por quatro *fan coils* de 20 a 25 TR em cada andar. Os filtros de ar eram trocados a cada 30 dias.

A CAG era constituída de três *chillers* parafuso de 315 TR e o complexo possuía uma BMS para controle do sistema, que possuía *fan coils* VAV. A temperatura de *setpoint* era de 23°C ± 1°C e o condomínio era submetido a medições periódicas de qualidade do ar. Havia termostatos no ambiente para controle da temperatura interna.

Em salas com CPD, era utilizado um sistema independente de *split* para climatização especial. A empresa que concordou em participar da pesquisa ocupava três pavimentos do edifício e alegou que havia sido feito um balanceamento antes da ocupação.

Os andares utilizados na pesquisa foram o 8º, 9º e 10º andares, ocupados pela mesma empresa, e a medição foi feita em dias consecutivos, na segunda quinzena de janeiro de 2010.

Figura 6.10 – Esquema dos pontos de medição no 10º andar do Edifício E

Os referidos pavimentos eram interligados internamente por uma escada, por isso os funcionários não precisavam sair do espaço privativo para mudar de andar.

Foram encontrados níveis altos de CO_2 em pelo menos um ponto de cada pavimento, sendo que no 10º andar, o ponto que apresentou concentração média de 1112 ppm de CO_2 também estava com a temperatura operativa alta, com média de $28,1^\circ\text{C}$ (que corresponde ao ponto P3 na Figura 6.11).

Figura 6.11 – Valores de temperatura operativa do 10º andar do Edifício E

A medição do ponto P3 foi feita no período da tarde e o local possuía uma fachada oeste envidraçada, na qual havia incidência solar direta no período

observado. Embora a temperatura operativa tenha alcançado o máximo de 29,2°C, aparentemente não causava reclamações de conforto térmico nos usuários, pois a área correspondia à sala de estar, com máquinas de café, onde os funcionários faziam reuniões rápidas com visitantes. A curta permanência das pessoas no local fazia com que as condições de temperatura não incomodassem tanto os usuários ocasionais.

6.1.6 Edifício F

Este edifício tinha cerca de 30 anos de idade e possuía sistema de ar condicionado do tipo *self*, com quatro condensadoras em cada andar e capacidade total de 20 TR. O edifício havia passado por reformas de *retrofit* de *layout* interno e existia uma demanda para alteração do sistema de climatização, já que havia muita reclamação por parte dos usuários com relação à temperatura e qualidade do ar, de acordo com a empresa terceirizada de *facilities*. Havia, no total, 19 andares, sendo 17 pavimentos-tipo e 2 andares no topo tipo mezanino e todo o edifício pertencia a apenas uma empresa.

Os pavimentos visitados foram o 8º, 11º e 19º andares, na segunda quinzena do mês de janeiro de 2010.

Figura 6.12 – Esquema dos pontos de medição no 9º andar do Edifício F

Neste edifício, o 9º e o 19º andares apresentaram temperatura operativa baixa em pelo menos um dos pontos, com médias de 19,7°C e 21,9°C no 19º andar, e 21°C no 9º andar, como se pode observar na Figura 6.13. No 11º andar, a umidade relativa do ar estava baixa em um dos pontos, com média de 39,3%, que se enquadraria na norma brasileira ABNT NBR 16401 (2008), mas não na Resolução nº 9 da ANVISA (2003), que estabelece um mínimo de 40%.

Figura 6.13 – Temperatura operativa do 9º andar do Edifício F

Os pontos P1 e P4 apresentam retas com tendência crescente devido aos efeitos da incidência de radiação solar direta ou difusa próxima às fachadas medidas (P1, de manhã, fachada nordeste e P4, à tarde, fachada sudoeste). A temperatura operativa no P2 se manteve constante e no P3, variou quase 3°C ao longo da medição, apresentando um comportamento de curva. Ao analisar os dados climatológicos do IAG-USP de irradiância, temperatura de bulbo seco e umidade relativa deste dia, constatou-se que a duração do brilho solar foi das 9:00h às 13:00h, que a temperatura baixou quase 6°C das 13:00h às 16:00h e que a umidade aumentou de 65% ao meio dia para 94% às 16:00h. Isto implica que a queda de temperatura verificada no P3 na Figura 6.13 se deveu à ocorrência de chuva no meio da tarde, pois o céu ficou nublado e aumentou a umidade do ar. O aumento da temperatura operativa do meio para o fim da medição não é explicado por dados, pois a variação maior foi de temperatura radiante.

6.1.7 Edifício G

Este pertencia a um condomínio com outros cinco edifícios de escritório e possuía um porte maior com relação aos outros casos. O pé-direito dos edifícios era de 3,0 m e o sistema possuía *fan coils* VAC; a CAG possuía cinco *chillers* elétricos, dois de 1500 TR e três de 800 TR, atendendo a todos os edifícios. Geralmente eram acionados dois *chillers* de cada vez, um de 1500 TR e outro de 800 TR, ou às vezes dois de 800 TR. Só em dias de calor extremo eram ativados três *chillers* ao mesmo tempo. Em cada andar havia 12 *fan coils* de 10 TR cada e a área dos pavimentos era de aproximadamente 2800 m².

Figura 6.14 – Esquema dos pontos de medição no 8º andar do Bloco C – Edifício G (croqui à esquerda e planta modificada de acordo com o layout do pavimento, à direita)

Neste condomínio, devido a impasses para obtenção de autorização para as medições, só foi possível realizar a pesquisa em dois pavimentos, no 2º e 8º andar de blocos diferentes, entre janeiro e fevereiro de 2010. As variáveis medidas apresentaram níveis bons conforme as normas, como podem ser observadas na Figura 6.15, em que a temperatura operativa apresentou um comportamento linear e com uma pequena variação entre um ponto e outro, se comparada à temperatura externa, que teve uma amplitude superior a 10°C e um pico de 33,8°C.

Figura 6.15 – Valores de temperatura operativa do 8º andar do Edifício G

6.1.8 Edifício H

Este edifício possuía 13 andares e se localizava na zona sul de São Paulo; a área dos pavimentos era de aproximadamente 1720 m² e a CAG era composta por dois *chillers* parafuso e dois de absorção a gás, de 250 TR cada. Cada pavimento possuía *fan coils* de 80 TR no total e uma média de 21 caixas VAV. O edifício ainda contava com uma roda entálpica, que era acionada quando a temperatura externa estava elevada. De acordo com o pessoal da manutenção do sistema de ar condicionado, além das caixas VAV, havia alguns cassetes que promoviam uma climatização auxiliar, mas não foi citado o tipo de sistema utilizado para suplementar a capacidade instalada.

As medições foram feitas na mesma empresa, em dias não consecutivos, na segunda quinzena de fevereiro de 2010, nos 3°, 4° e 5° andares.

Nos pavimentos verificados, o insuflamento de ar era feito por difusores lineares e o retorno, pelas grelhas nas laterais das zonas. Na maioria dos casos, as mesas eram compridas e as pessoas se sentavam uma do lado da outra, não havia baias nem divisórias baixas como é costume haver em escritórios abertos. No geral, havia mesas individuais para gerência e diretoria.

Os difusores lineares se localizavam paralelos às mesas, acompanhando o *layout* do escritório. Embora os difusores estivessem imediatamente acima da cabeça dos funcionários, não foi verificada alta velocidade do ar em nenhum dos pavimentos.

Figura 6.16 – Esquema dos pontos de medição no 5º andar do Edifício H

No 5º andar, houve uma ocorrência de temperatura operativa baixa, com média de 21,1°C no ponto P3 da Figura 6.17, que correspondia a uma sala de reunião com apenas uma pessoa presente. Os pontos P1, P2 e P4 foram medidos no mesmo ambiente de escritório aberto, e percebe-se que a temperatura operativa aumentou do P1 para o P2 (e durante a medição no ponto P2 ocorre um acréscimo de 2,2°C na temperatura operativa) e depois no P4 os valores ficaram próximos ao do P1. As medições foram feitas na segunda quinzena de fevereiro de 2010.

Figura 6.17 – Valores de temperatura operativa do 5º andar do Edifício H

O motivo pela qual a temperatura operativa no ponto P2 estava maior se deveu à orientação da fachada e a influência da radiação solar direta na carga térmica do local. O P2 foi posicionado próxima à fachada norte, das 10:30h às 12:33h. Além disso, devido à chuva que ocorreu no meio da tarde, houve uma redução na carga térmica no período de medição do P4, que teve início às 15:32h.

6.1.9 Edifício I

Localizado na zona oeste de São Paulo, este edifício possuía 33 andares e passou pelo processo de certificação ambiental LEED. O sistema de ar condicionado, ao contrário das demais, não possuía uma central de água gelada, mas condensadoras tipo VRF (*variable refrigerant flow* - volume de refrigerante variável) com compressores *inverter*. Estes compressores eram dotados de um dispositivo que diminuía a velocidade de operação ao atingir a temperatura de *setpoint*, ao contrário dos compressores convencionais, que se desligam ao alcançar o *setpoint* e tornam a ligar quando a temperatura começa a aumentar (controle *on/off*).

Segundo o responsável pela manutenção do sistema de ar condicionado, a vantagem deste tipo de equipamento era a facilidade de instalação, conforto personalizado e a possibilidade de desligar algumas das condensadoras quando a demanda por resfriamento fosse menor. As condensadoras estavam instaladas no primeiro pavimento (junto ao piso de garagem) e na cobertura. O edifício contava também com uma roda entálpica, dispositivo utilizado para economizar energia quando a temperatura do ar externo estivesse maior que 25°C.

As medições foram feitas no 23º, 24º e 25º andares, na segunda quinzena de fevereiro de 2010, em dias não consecutivos.

Figura 6.18 – Esquema dos pontos de medição no 25º andar do Edifício I

Os pavimentos utilizados para a pesquisa tinham aproximadamente 1800 m² de área cada e pertenciam à mesma empresa.

Ao contrário dos edifícios em que utilizava central de água gelada, neste, em que havia o sistema VRF para condicionamento de ar, a temperatura oscilava no mesmo ponto, fato que se deve ao compressor *inverter*, que apesar de possuir um sistema de inteligente de operação, ainda mantém características dos compressores convencionais, embora seja mais estável. Em pesquisa de Chen, et al. (2009), na qual se comparou o funcionamento entre os dois tipos de compressores, verificou-se que o compressor com velocidade constante (com controle *on/off*) variava a temperatura interior em $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$, enquanto que o *inverter* variava em apenas $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Foram encontradas altas concentrações de CO₂ no 24º e 25º andares. A Figura 6.19 mostra que apenas o ponto P2 apresentou concentração de CO₂ abaixo de 1000 ppm. De acordo com o responsável pelo sistema de ar condicionado do condomínio, não havia sensores de dióxido de carbono nos pavimentos, apenas nos ventiladores que promoviam a entrada de ar externo e na roda entálpica, portanto a alta concentração deste gás se deveu a uma mudança de *layout* que não favorecia a renovação adequada do ar naquele pavimento.

Figura 6.19 – Valores de concentração de CO₂ do 25º andar do Edifício I

6.2 Classificação geral conforme as normas

Todas as variáveis coletadas foram analisadas e classificadas conforme as normas brasileiras ABNT NBR 16401 (2008), Resolução nº 9 da ANVISA (2003) e NR-17 (1990) e as normas internacionais ISO 7730 (2005) e ASHRAE 62.1 (2007). A ASHRAE 55 (2004) possui os mesmos parâmetros da ISO 7730 (2005); a RN-02 da ABRAVA (2003) segue as recomendações da ASHRAE 62.1 (2007) e da Resolução nº 9 da ANVISA (2003); e o ISAIQ-CIB TG42 (2004) não estipula critérios de avaliação da qualidade do ar baseado na concentração de dióxido de carbono, variável utilizada nesta pesquisa como representativa da qualidade do ar interior, e suas exigências para conforto térmico estão em conformidade com a ASHRAE 55 (2004).

A Figura abaixo exemplifica os limites de temperatura operativa e umidade relativa para a ISO 7730 (2005), ABNT NBR 16401 (2008) e Resolução nº 9 da ANVISA (2003):

Figura 6.20 – Intervalos considerados nas normas ABNT NBR 16401, ANVISA e ISO 7730

A norma ABNT NBR 16401 (2008) estabelece parâmetros de conforto térmico que satisfazem 80% ou mais de pessoas em atividade sedentária ou leve (de 1 a 1,2 met), usando vestimenta típica da estação. Para o verão, a temperatura operativa e a umidade relativa devem estar dentro da zona delimitada por 22,5°C a 25,5°C e umidade relativa de 65%; e 23,0°C a 26°C e umidade relativa de 35%. Além disso, a velocidade do ar deve ser de até 0,2 m/s para distribuição de ar convencional. Na Figura 6.20, o intervalo compreendido pela ABNT NBR 16401 é paralelogramo azul.

A Resolução nº 9 da ANVISA (2003) recomenda que os valores de temperatura, umidade, velocidade do ar, taxa de renovação e grau de pureza do ar devem estar de acordo com a ABNT NBR 6401 (1980), versão anterior à norma revisada ABNT NBR 16401 (2008), mas estabelece faixa recomendável de operação de temperatura de bulbo seco no verão de 23°C a 26°C e umidade relativa de 40% a 65% em ambientes internos. A velocidade do ar a 1,5 m do piso deve ser de até 0,25 m/s e a concentração de CO₂, de no máximo 1000 ppm. O intervalo recomendado de temperatura e umidade foi inserido na Figura 6.20, mas esta condição só é válida se a temperatura do ar for igual à temperatura radiante média, pois o gráfico está representado com temperatura operativa. Como já foi anteriormente citado, a temperatura operativa é a média entre temperatura do ar e temperatura radiante média, ponderada pela velocidade do ar. Para velocidades de até 0,2 m/s, vale a proporção de 50% para cada grandeza.

A ISO 7730 (2005) estabelece uma série de parâmetros para avaliação de ambientes térmicos, sendo que para escritório aberto, o intervalo de temperatura

operativa e a velocidade máxima do ar recomendadas dependem das categorias A, B e C estipuladas pela própria norma, apresentando diferentes níveis de exigência de projeto. Como pode ser observado na Figura 6.20, cada intervalo de cor representa uma categoria. Para a categoria A, a temperatura operativa recomendada é de $24,5^{\circ}\text{C} \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ ($23,5^{\circ}\text{C}$ a $25,5^{\circ}\text{C}$) e velocidade do ar de até 0,12 m/s, para a categoria B, $24,5^{\circ}\text{C} \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ (23°C a 26°C) e até 0,19 m/s, e para a C, $24,5^{\circ}\text{C} \pm 2,5^{\circ}\text{C}$ (22°C a 27°C) e até 0,24 m/s. A norma ainda estabelece níveis máximos recomendados para desconforto local, como foi citado no capítulo 5, itens de 4.2.3.1 a 4.2.3.4: corrente de ar, diferença vertical de temperatura, piso quente ou frio e assimetria da temperatura radiante.

A Norma Regulamentadora NR-17 (1990) do Ministério do Trabalho, sobre ergonomia, é uma regulamentação antiga, cujo documento original data de 1973. A Portaria MTPS nº 3751, de 1990 alterou a regulamentação de 1973, porém, manteve os mesmos parâmetros ambientais. Trata-se, portanto, de uma norma realizada sem a inclusão dos estudos mais recentes de conforto térmico, tal qual a de Fanger (1972). A NR-17 especifica que em ambientes de trabalho que exijam atividade intelectual, a temperatura efetiva deve ser de 20°C a 23°C , a velocidade do ar deve ser menor igual a 0,75 m/s e umidade relativa maior igual a 40%.

Para a ASHRAE 62.1 (2007), a máxima concentração de CO_2 estipulada foi de 1072 ppm, conforme cálculo no item 4.1.1. Além disso, a umidade relativa do ar deve ser de até 65%.

Seguindo estes parâmetros, todos os dados foram inseridos em planilhas, em um total de 7645 pontos de amostras dos nove edifícios para o Programa A, onde se analisaram as variáveis de temperatura operativa (T_o), umidade relativa (UR), velocidade do ar (v_a), desconforto por corrente de ar e concentração de CO_2 . No Programa B, foram utilizados 3049 pontos de amostra, em que se obtiveram informações de temperatura efetiva, diferença vertical de temperatura (EsT) e assimetria da temperatura radiante (AsR).

O resultado geral, como pode ser observado da Figura 6.21 a Figura 6.31 a seguir, mostra a porcentagem de amostras classificadas segundo o critério de cada uma das normas citadas.

Classificação NBR 16401 **Figura 6.21 – Classificação conforme os parâmetros da ABNT NBR 16401**

A Figura 6.21 mostra que 74% do total de amostras estão de acordo com os critérios da ABNT NBR 16401 (2008).

Classificação ANVISA (sem CO2) **Figura 6.22 – Classificação conforme os parâmetros da Res. nº 9 da ANVISA (2003), sem considerar o dióxido de carbono****Classificação ANVISA CO2** **Figura 6.23 – Classificação conforme os parâmetros da Res. nº 9 da ANVISA (2003), considerando o dióxido de carbono****ANVISA somente CO2** **Figura 6.24 – Classificação conforme os parâmetros da Res. nº 9 da ANVISA (2003), considerando somente o dióxido de carbono**

As Figura 6.22, Figura 6.23 e Figura 6.24 demonstram a conformidade das variáveis com a Resolução nº 9 da ANVISA (2003). Foram feitos três gráficos para esta norma para fins de comparação de critérios com a ABNT NBR 16401 (2008) para conforto térmico e com a ASHRAE 62.1 (2007) para qualidade do ar interior. Enquanto a Resolução nº 9 da ANVISA (2003) considera uma faixa de operação fixa

de umidade relativa e temperatura do ar, a ABNT NBR 16401 (2008) considera uma faixa de temperatura operativa que depende da umidade.

Na Figura 6.22, foram considerados os critérios de temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do ar da Resolução n° 9 da ANVISA. Da Figura 6.22 para a Figura 6.23, considerou-se adicionalmente a concentração de dióxido de carbono, aumentando de 36% para 49% a porcentagem de amostras que apresentaram níveis fora da zona de conforto. Já na Figura 6.24 foi considerado somente o critério de concentração de CO₂, sendo que em 83% dos casos a concentração ficou abaixo de 1000 ppm.

As Figura 6.25 e Figura 6.26, mostram as classificações conforme a ISO 7730 (2005). Para esta norma achou-se interessante dividir as categorias B e C entre frio e quente, para determinar se os registros de temperatura operativa estavam abaixo ou acima da temperatura de conforto, que é o caso da Figura 6.25. Analisando a figura em questão, percebe-se que há mais ocorrências de temperatura operativa em B frio e C frio do que em B quente e C quente.

Como deveria ser considerada também a velocidade do ar para cada categoria, a condição desta variável foi incluída na Figura 6.26, somando-se as porcentagens de “B frio” e “B quente” em “B” somente e “C frio” e “C quente” em “C”. Portanto, na Figura 6.25, ao utilizar como critério somente a temperatura operativa, 60% das amostras se enquadraram na categoria A, 10% na B, 18% na C e 12% em nenhuma categoria. Na Figura 6.26, considerando agora a temperatura operativa e a velocidade do ar, diminuiu a porcentagem das amostras na categoria “A” para 53%, aumentou para 15% na “B”, a porcentagem em “C” manteve-se igual e houve um acréscimo para 14% para nenhuma categoria (“X”).

Figura 6.25 – Classificação conforme os parâmetros da ISO 7730 (2005), sem considerar a velocidade do ar

Figura 6.26 – Classificação conforme os parâmetros da ISO 7730 (2005), considerando a velocidade do ar

A Figura 6.27 e Figura 6.28 mostram as porcentagens em cada categoria no critério PMV para vestimentas de 0,5 clo e 1,0 clo. Os valores de PMV foram calculados com o software Ladesys 1.0, desenvolvido pelo Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS). Foram consideradas as médias das variáveis de temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade relativa em cada ponto, mesmo método adotado por Rowe (2001), em pesquisa realizada em um edifício de escritório em Sidney, Austrália. Os gráficos mostram que a proporção de amostras enquadradas em cada categoria difere de um caso para outro, sendo que para a vestimenta de 0,5 clo, há uma porcentagem maior de amostras na categoria A e menor na C, ao contrário do PMV considerando 1,0 clo. Analisando as planilhas com os resultados em PMV (presentes no Anexo 1), observa-se que para 0,5 clo, os valores sugerem uma sensação de frio, pois apresentam números negativos. Já os resultados para 1,0 clo, a maioria dos valores são positivos, havendo uma tendência para a sensação de calor.

**Classificação ISO 7730 (PMV)
0,5 clo**

Figura 6.27 – Classificação conforme o índice PMV calculado a partir das médias das variáveis com vestimenta de 0,5 clo (ISO 7730, 2005)

**Classificação ISO 7730 (PMV) 1,0
clo**

Figura 6.28 – Classificação conforme o índice PMV calculado a partir das médias das variáveis com vestimenta de 1,0 clo (ISO 7730, 2005)

E por último, a Figura 6.29 mostra a porcentagem de insatisfeitos devido à corrente de ar em função das classes A, B e C da norma. 94% da amostra se enquadrou na classe A, que possui uma porcentagem de insatisfeitos de menos de 10%.

Figura 6.29 – Classificação conforme desconforto térmico por corrente de ar (ISO 7730, 2005)

Os demais critérios de desconforto local da ISO 7730 (2005) não foram reproduzidos, pois 100% da amostra se enquadrava na categoria “A” para assimetria da radiação ($< 23^{\circ}\text{C}$) e estratificação de temperatura ($< 2^{\circ}\text{C}$). Embora não seja considerado desconforto a assimetria da temperatura radiante menor que 23°C para a categoria A, foram encontradas algumas situações que incomodavam os usuários quando havia incidência direta de radiação solar na fachada. Os maiores valores encontrados foram nos edifícios B (média de $6,4^{\circ}\text{C}$ no P1 do 5º andar) e E (média de 6°C no P3 do 10º andar e $5,9^{\circ}\text{C}$ no P1 do 9º andar).

Com relação à NR-17 (1990), como a norma é permissiva com as variáveis de umidade relativa e velocidade do ar, sendo que 97,8% dos dados se enquadram nos intervalos estipulados, foi usada apenas a temperatura efetiva para classificação desta:

Figura 6.30 – Classificação conforme os parâmetros da NR-17 (1990)

De acordo com a Figura 6.30, 75% da amostra apresentou temperatura efetiva entre 20°C e 23°C .

Classificação ASHRAE 62.1

Figura 6.31 – Classificação conforme os parâmetros da ASHRAE 62.1 (2007)

Na Figura 6.31 foi considerado o critério da ASHRAE 62.1 (2007) citado anteriormente no item 5.1.2, sendo que 87% da amostra apresentou concentração de CO₂ abaixo de 1072 ppm.

A partir da Figura 6.25, que possui a classificação conforme a ISO 7730 (2005), verificou-se que houve maior ocorrência de temperatura abaixo de 24,5°C do que acima, sugerindo que nos ambientes de escritório está sendo mantida uma temperatura mais baixa do que necessária para a manutenção do conforto térmico.

Guedes et al. (2009), ao avaliar o conforto térmico em edifícios de escritório em Portugal, verificou a utilização dos sistemas de aquecimento no inverno e resfriamento mecânico no verão, independentemente das condições internas, mesmo que fossem favoráveis ao aproveitamento da ventilação natural. Desta forma, pôde concluir que havia um potencial de conservação de energia nos edifícios analisados e que o consumo de energia não era justificado pela garantia do conforto térmico.

A fim de verificar tal potencial de economia de energia no caso dos edifícios da amostra, foi feita uma simulação no *software EnergyPlus 5.0* com modelagem de um edifício de escritórios hipotético utilizado na pesquisa de Bessa (2010), com cerca de 1000 m², pé direito de 2,70 m, planta quadrada com *core* de 10 m², que corresponde ao poço de elevadores, e fachada de *structural glazing*, sistema construtivo comumente utilizado nos edifícios de escritório na cidade de São Paulo, que consiste na composição de alvenaria e vidro colado com silicone estrutural em perfis de alumínio. A simulação foi feita com sistema de ar condicionado compacto, de expansão direta, com equipamento de COP (*Coefficient of performance*) de 3,5.

No *EnergyPlus*, foi considerado um período de 12 horas de funcionamento do sistema de ar condicionado, das 7:00h às 19:00h, horário verificado na maioria dos edifícios da amostra. Como a jornada de trabalho normalmente era das 8:00h às

18:00h, o equipamento era ligado cerca de 1 hora antes para resfriar o ambiente antes da chegada da maioria das pessoas, se estendendo até 1 hora depois, pois sempre havia pessoas presentes nos pavimentos até mais tarde devido ao rodízio municipal de veículos ou horários alternativos de trabalho em função do pico de congestionamento em São Paulo.

A Tabela 6.1 a seguir mostra o resultado da simulação, em termos de consumo de energia total pelo sistema de ar condicionado (HVAC):

Tabela 6.1 – Resultado da simulação de um edifício hipotético no *Energy Plus* referente ao consumo de energia elétrica pelo sistema de ar condicionado

Mês	Consumo de energia total (kWh)		
	Setpoint de 19,1°C	Setpoint de 23,5°C	Setpoint de 24,5°C
Janeiro	7298	5279	4774
Fevereiro	6692	4936	4457
Março	7439	5448	4936
Abril	5997	4291	3856
Maio	6218	4307	3847
Junho	5666	3826	3419
Julho	5355	3571	3172
Agosto	6364	4335	3883
Setembro	5668	3891	3469
Outubro	6309	4406	3956
Novembro	6588	4705	4270
Dezembro	6840	4933	4504
Total (anual)	76434	53928	48542

O valor de *setpoint* de 24,5°C corresponde à temperatura recomendada pela ISO 7730 (2005), considerando a temperatura radiante média igual à temperatura do ar. O valor de 19,1°C foi a menor média de temperatura encontrada (no ponto P2 do 19º andar do Edifício F) e o de 23,5°C foi uma média com quantidade significativa de ocorrências, sendo que 12,4% da amostra apresentou temperatura do ar entre 23,4°C e 23,6°C, enquanto cerca de 8% da amostra ficou entre 24,4°C e 24,6°C.

Observa-se que o consumo de energia anual do sistema de ar condicionado com *setpoint* de 24,5°C do edifício simulado foi de 48,5 MWh. Ao diminuir 1°C na temperatura de *setpoint*, o consumo aumentou para 53,9 MWh. Já com uma diferença maior, de 5,4°C (*setpoint* de 19,1°C), o consumo foi para 76,4 MWh.

Desta forma, o potencial de conservação de energia pode ser calculado em porcentagem. Se o *setpoint* de temperatura do sistema de condicionamento de ar for ajustado de 23,5°C para 24,5°C, tem-se a seguinte relação:

$$\Delta = \left(\frac{53,9 - 48,5}{53,9} \right) * 100 = 10\%$$

Já para o caso de ajustar o *setpoint* de 19,1°C para 24,5°C, a economia de energia sobe de 10% para 36,5%.

$$\Delta = \left(\frac{76,4 - 48,5}{76,4} \right) * 100 = 36,5\%$$

De acordo com a ANEEL (2005), as concessionárias de energia possuem um sistema de tarifação de energia diferenciado para baixa, média e alta tensão, sendo que para média e alta tensão, existem tarifas que variam conforme o perfil do uso de energia elétrica pelo estabelecimento: a convencional e a horo-sazonal verde e azul. Em todas elas, a tarifação é feita em função da demanda em kW e do consumo em MWh, sendo que a convencional possui o mesmo custo independentemente do horário e da época do ano; enquanto que a horo-sazonal azul e a verde possuem tarifas diferentes dependendo da época do ano (período úmido – de dezembro a abril – e período seco – de maio a novembro) e para o horário de pico, de 3 horas por dia, que varia conforme critérios da concessionária local.

Sendo assim, a economia de energia calculada refere-se apenas à tarifa relacionada ao consumo. Devido ao desconhecimento quanto ao tipo de tarifa adotada pelos edifícios corporativos e também à complexidade de se calcular a tarifa no caso, por exemplo, dos Edifícios B e H, que possuem *chillers* de absorção a gás utilizados no horário de ponta, e do Edifício I, que possui roda entálpica, o custo com energia elétrica não foi estimado para esta pesquisa.

6.3 Classificação por edifício

As amostras foram analisadas por edifício. A Tabela 6.2 a seguir apresenta um resumo da classificação de acordo os critérios do Núcleo de Real Estate da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (NRE-POLI/USP)¹⁰ e do tipo de sistema de ar condicionado empregado, para facilitar no entendimento da análise por edifício de acordo com as normas.

Tabela 6.2 – Classificação dos edifícios conforme os critério da NRE-POLI

<i>Edifício</i>	<i>Classificação</i>	<i>Tipo de AC</i>	<i>Idade do Edifício</i>
Edifício A	X*	ED**	18 anos
Edifício B	AAA	VAV	4 anos
Edifício C	AAA	VAV	11 anos
Edifício D	AAA	VAC	13 anos
Edifício E	AA	VAV	7 anos
Edifício F	X*	ED**	30 anos
Edifício G	A	VAC	33 anos
Edifício H	AAA	VAV	3 anos
Edifício I	AAA	VRF + VAV	2 anos

*X = edifício não avaliado (sem classificação)

** ED = expansão direta

O NRE-POLI é uma unidade de prestação de serviços do grupo de pesquisa em Real Estate do curso de Engenharia Civil, que estuda o mercado imobiliário de um modo geral. Embora possua critérios próprios cuja classificação seja incipiente do ponto de vista do conforto térmico, foi citado aqui apenas como referência ao porte dos edifícios.

O grupo criou um processo de classificação da qualidade de edifícios de escritórios, divididos em C, B, BB, BBB, A, AA e AAA, sendo o C mais inferior e o AAA, superior. A classe AAA representa os edifícios que apresentam alta qualidade nos padrões construtivos e na tecnologia de sistemas prediais, com projeto inovador e alta tecnologia embarcada, qualidade no ambiente de trabalho e controle do ambiente pelo usuário. A classe AA pode ter alguns projetos inovadores. Na classe A, por sua vez, nota-se a ausência de elementos de sistemas prediais inovadores.

¹⁰ Em: <http://www.realestate.br>. Acesso em: 13 ago. 2010.

Os edifícios B, C, D, E, G, H, e I já passaram pela avaliação, sendo que cinco deles (correspondente a 55,6% de toda a amostra) obtiveram classificação “*Triple A*” (AAA). A partir da Tabela 6.2, é possível relacionar o tipo de edifício com os resultados obtidos a seguir.

Ordenando a Tabela 6.2, que contém idade da construção e tipo de sistema de ar condicionado, por ordem de idade de edifício, percebe-se que quanto mais novo, mas tecnologia embarcada ele possui.

Tabela 6.3 – Classificação em ordem crescente de idade dos edifícios, relacionando o tipo de sistema de ar condicionado, classificação da NRE-Poli e tecnologia empregada

Edifício	NRE-Poli	Tipo de AC	Idade do Edifício	Tecnologia empregada
Edifício I	AAA	VRF + VAV	2	Sist. VRF, roda entálpica e elevadores inteligentes ¹¹
Edifício H	AAA	VAV	3	Sist. VAV, 2 chillers de absorção a gás usados no horário de pico, roda entálpica e elevadores inteligentes
Edifício B	AAA	VAV	4	Sist. VAV, 2 chillers de absorção a gás usados no horário de pico e elevadores inteligentes
Edifício E	AA	VAV	7	Sist. VAV, 2 jogos de elevadores que atendem metade dos andares cada
Edifício C	AAA	VAV	11	Sist. VAV, 3 jogos de elevadores que atendem 1/3 dos andares cada
Edifício D	AAA	VAC	13	-
Edifício A	X*	ED**	18	-
Edifício F	X*	ED**	30	-
Edifício G	A	VAC	33	-

Dando continuidade à classificação das amostras conforme as normas citadas, as mesmas informações do item anterior foram utilizadas para analisar os edifícios separadamente. De acordo com a Tabela 6.4, é possível verificar a porcentagem de amostras de cada edifício que se enquadraram nas normas citadas e às porcentagens que não atendem para a ABNT NBR 16401 (2008), e Resolução nº9 da ANVISA (2003). Com relação à ISO 7730 (2005), “A”, “B” e “C” correspondem às categorias de ambientes térmicos e “X”, à porcentagem que não se enquadrou em nenhuma categoria.

¹¹ Entende-se por elevadores inteligentes aqueles que possuem sistema de automação e são capazes de reunir as informações dos andares pretendidos quando o usuário passa o cartão de acesso na leitora da catraca ou digita em um painel centralizado no térreo o pavimento de destino, otimizando o seu funcionamento e indicando ao usuário qual dos elevadores utilizar.

Tabela 6.4 – Resultados da classificação por edifício

		<i>Edifícios (%)</i>									Todos
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	
NBR 16401	Atendem aos critérios	63	63	62	56	73	68	95	82	100	74
	Não atendem	37	37	38	44	27	32	5	18	0	26
ANVISA (sem CO ₂)	Atendem aos critérios	50	57	50	65	76	47	80	68	80	64
	Não atendem	50	43	50	35	24	53	20	32	20	36
ANVISA (com CO ₂)	Atendem aos critérios	50	57	26	65	38	45	80	68	47	51
	Não atendem	50	43	74	35	62	55	20	32	53	49
ANVISA (somente CO ₂)	Atendem aos critérios	100	100	69	100	40	96	100	100	64	83
	Não atendem	0	0	31	0	60	4	0	0	36	17
ISO 7730 (T _o)	A	46	54	55	50	62	45	64	66	91	60
	B	15	6	6	1	7	16	23	14	9	10
	C	27	16	15	43	21	17	13	12	0	18
	X (nenhuma categoria)	12	24	24	6	11	22	0	8	0	12
ISO 7730 (T _o + v _a)	A	32	49	46	47	59	33	57	61	82	53
	B	20	11	11	4	8	24	28	18	16	15
	C	25	17	17	43	16	19	15	13	2	18
	X (nenhuma categoria)	24	24	26	6	17	24	0	8	0	14
ASHRAE 62.1	Atendem aos critérios	100	100	71	100	59	100	100	100	73	87
	Não atendem	0	0	29	0	41	0	0	0	27	13

De acordo com a Tabela 6.4, Para a norma ABNT NBR 16401 (2008), todos os edifícios apresentaram a maioria das amostras dentro dos critérios, sendo que o Edifício I possui 100% das amostras em conformidade com a norma brasileira.

A Resolução n° 9 da ANVISA (2003), por agregar tanto parâmetros de conforto térmico quanto de qualidade do ar, apresentou quadros diferentes ao considerar apenas um ou outro ou ambos os critérios. De fato, ao avaliar somente a concentração de CO₂, acabou desclassificando uma porcentagem menor de amostras (17% contra os 36% considerando a temperatura do ar, velocidade do ar e umidade relativa). No entanto, juntando todos os critérios, apenas 51% da amostra apresentou todos os níveis exigidos pela resolução.

Com relação à ISO 7730 (2005), ao considerar a velocidade do ar, em todos os casos houve uma queda de porcentagem na categoria A e aumento na categoria B. Este fato se deveu à inclusão de uma variável na classificação. Se uma amostra

apresentou uma temperatura operativa dentro do intervalo da categoria A ($24,5^{\circ}\text{C} \pm 1,0^{\circ}\text{C}$), mas a velocidade do ar foi, por exemplo, 0,15 m/s, esta já cairia para a categoria B, cujo intervalo recomendado de velocidade do ar é $0,12 < V_a \leq 0,19$ m/s.

Para todos os cinco critérios estabelecidos para as três normas, foi feito um *ranking* entre os edifícios, como mostra a Tabela 6.5 a seguir:

Tabela 6.5 – *Ranking* dos edifícios seguindo os critérios nas normas

	NBR 16401	ANVISA	ANVISA (CO₂)	ISO 7730	ISO 7730 (V_a)
1	Edifício I	Edifício I	Edifício G	Edifício I	Edifício I
2	Edifício G	Edifício G	Edifício H	Edifício H	Edifício H
3	Edifício H	Edifício E	Edifício D	Edifício G	Edifício E
4	Edifício E	Edifício H	Edifício B	Edifício E	Edifício G
5	Edifício F	Edifício D	Edifício A	Edifício C	Edifício B
6	Edifício B	Edifício B	Edifício I	Edifício B	Edifício D
7	Edifício A	Edifício A	Edifício F	Edifício D	Edifício C
8	Edifício C	Edifício C	Edifício E	Edifício A	Edifício F
9	Edifício D	Edifício F	Edifício C	Edifício F	Edifício A

Os edifícios foram classificados de acordo com a porcentagem de “sim” para as normas ABNT NBR 16401 (2008) e Resolução nº 9 da ANVISA (2003), e de porcentagem na categoria “A” para a ISO 7730 (2005).

O Edifício I é o que melhor se classificou entre os edifícios, com exceção da Resolução nº 9 da ANVISA (2003) que acrescentou a variável de concentração de CO₂. O sistema de ar condicionado VRF do Edifício I se comportou de acordo com as normas nos quesitos temperatura do ar, temperatura operativa, umidade relativa e velocidade do ar, sendo que 100% das amostras estavam de acordo com a norma ABNT NBR 16401 (2008); porém apresentou concentração de dióxido de carbono acima dos 1000 ppm recomendados pela Resolução nº 9 da ANVISA (2003) em cerca de um terço da amostra, o que o levou à 6ª colocação neste critério.

O Edifício H se manteve com níveis bons das variáveis analisadas, passando do 4º para o 2º lugar do critério “ANVISA” para o “ANVISA (CO₂)”, pois o primeiro (Edifício I) e o terceiro (Edifício E) colocados do critério “ANVISA” caíram de posição no “ANVISA (CO₂)” devido à alta concentração de CO₂ encontrada em parte da amostra coletada. O Edifício G se manteve bem classificado tanto no “ANVISA” quanto no “ANVISA (CO₂)”, por apresentar concentração abaixo dos 1000 ppm,

apesar da alta densidade do 8º andar, que era ocupado pela seção de *call center* de uma empresa.

De uma forma geral, o Edifício G, que possuía central de água gelada com *fan coils* VAC, se manteve bem classificado pelas normas brasileiras, caindo de posição na norma internacional ISO 7730 (2005), devido ao perfil ligeiramente frio de temperatura operativa e velocidade do ar superior, na média, com relação aos Edifícios I, H e E, respectivamente 1º, 2º e 3º colocados na categoria “ISO 7730 (v_a)”. Apesar de possuir classificação Classe A, ficou na frente de edifícios Classe AAA

Os demais edifícios variaram a colocação nos critérios, sem grandes tendências.

6.4 Correlações

Segundo Sekhar e Ching (2002), em estudo sobre conforto térmico e qualidade do ar em um edifício com sistema de ar condicionado com insuflamento pelo piso, foi feita uma correlação entre a velocidade do ar e concentração de dióxido de carbono e descobriu-se que estas variáveis não eram interdependentes, o que implica que a velocidade do ar não pode ser usada para prever o comportamento do dióxido de carbono, embora se tenha concluído que existe uma correlação moderada entre a velocidade do ar e concentração de poeira.

Ao correlacionar o conforto térmico com a qualidade do ar interior, para tentar encontrar interdependência das variáveis de conforto com a concentração de CO₂, não foi encontrada relação forte entre as variáveis, embora a correlação entre velocidade do ar e dióxido de carbono, que está demonstrada na Figura 6.32 a seguir, tenha apresentado uma dispersão que sugere que em velocidades maiores do ar, a concentração de dióxido de carbono tende a diminuir. A alta velocidade do ar implica em uma vazão maior e também em uma maior difusão de ar, que aumenta a dispersão de poluentes e consequentemente, diminui a concentração de dióxido de carbono.

Figura 6.32 – Correlação entre velocidade do ar e concentração de CO₂ de todos os dados

7 CONCLUSÕES

Nesta pesquisa foi possível observar os critérios de cada uma das normas utilizadas como base da pesquisa, verificar as diferenças nas classificações das amostras coletadas para cada uma das normas referidas, relacionar as variáveis de medição com informações das características dos edifícios e obter algumas conclusões que só foram observadas a partir das estatísticas dos resultados analisados.

Como comentário geral a respeito das normas de conforto térmico e qualidade do ar interior, não é possível compará-las já que cada uma possui uma combinação de critérios diferente, mas a partir dos resultados da avaliação da mesma amostra para as normas referidas, pode-se dizer quais classificam mais ou menos amostras. A ABNT NBR 16401 (2008) considerou em conforto térmico 74% da amostra, enquanto que a Resolução nº 9 da ANVISA (2003), sem a inclusão da variável CO₂, 64% e a ISO 7730 (2005), praticamente 86%, pois ao dividir os ambientes térmicos em categorias, desclassifica menor porcentagem de amostras. Ao considerar somente a categoria “A”, acaba se tornando mais exigente do que as demais normas, por considerar uma faixa mais estreita de resultados. Porém, para a classificação a partir do PMV, a porcentagem de amostras em cada categoria difere da classificação considerando a temperatura operativa e velocidade do ar, já que 77% da amostra para 0,5 clo e 78% para 1,0 clo estariam em conforto térmico. Embora o isolamento da roupa pareça ter influenciado pouco na classificação das amostras, com diferença de apenas 1%, o que mudou de um caso para outro foi a porcentagem de classificação em cada categoria (A, B e C). Para 0,5 clo havia uma concentração maior de amostras nas categorias A e B, enquanto que para 1,0 clo, para as categorias B e C. Considerando que a maioria dos usuários que utilizavam vestimentas com 0,5 clo era mulheres e os votos em PMV eram também, em sua maioria, negativos, e que a maioria dos usuários que utilizavam vestimentas com 1,0 clo era homens e os votos, positivos, estes dados explicam o fato que geralmente as mulheres sentem frio e os homens, calor, em um mesmo ambiente de acordo com informações informais obtidos nos locais de medição. Existe também a diferença de

metabolismo entre homens e mulheres, mas isto não foi avaliado no âmbito desta pesquisa.

A Resolução nº 9 da ANVISA (2003), ao considerar somente a concentração de CO₂ sem as outras variáveis ambientais, desclassificou 17% das amostras, enquanto a ASHRAE 62.1 (2007), 13%, devido à diferença de nível máximo permitido para concentração de dióxido de carbono, de 1000 ppm para a Resolução nº 9 da ANVISA (2003) e 1072 ppm para a ASHRAE 62.1 (2007).

Ao comparar os resultados de qualidade do ar e porte do edifício, embora os Edifícios B, C, D, H e I fossem classificados como *Triple A* e o E como AA, foi encontrada alta concentração de dióxido de carbono nos edifícios C, E e I. Um dos fatores que justificaria tal resultado seria o fato de se utilizar um sistema de ar condicionado compacto para complementação do sistema central, no caso dos Edifícios C e E, que não faria a renovação de ar necessária para diluir os poluentes internos. Na maioria dos edifícios foi verificado que havia uma instalação de condicionamento de ar separada tipo *split* para algumas áreas, como CPD e seção de telemarketing e call center, que demandava resfriamento 24 horas por dia. No Edifício I, que possui sistema VRF, foi verificado que havia sensores de concentração de dióxido de carbono nos locais próximos aos ventiladores que faziam a sucção do ar externo para que ocorresse a renovação de ar dentro do edifício e também próximos da roda entálpica, medindo o nível de CO₂ do ar de retorno. Não havia, porém, sensores de CO₂ nos pavimentos.

Verificando ainda a Tabela 6.3, que possui a classificação da NRE-Poli e as tecnologias existentes nos edifícios, quanto mais recente o edifício, maior a possibilidade de encontrar inovações em automação nos sistemas prediais e também, teoricamente, de medidas de eficiência energética. Os edifícios mais recentes da amostra apresentavam sistema VAV, que é um tipo dotado de *dampers* para variar a vazão do ar de insuflamento, e desde que esteja funcionando corretamente, tem maior probabilidade de garantir conforto térmico e economia de energia, ao contrário do VAC, que por ter vazão constante, pode estar resfriando além do necessário e causar desconforto devido à baixa temperatura.

Com relação à classificação da ISO 7730 (2005) dividida em 6 categorias (“A”, “B frio”, “B quente”, “C frio”, “C quente” e “X”) como se pode ver no gráfico de pizza da Figura 6.25, observa-se que a soma das porcentagens entre “B quente” e “C quente” foi de 6%, enquanto que a soma entre “B frio” e “C frio” ficou em 22%. Isto

significa que os sistemas de condicionamento de ar resfriam a temperaturas abaixo do necessário, o que sugere que ou a sistema de controle não está operando conforme o projeto, pois a temperatura no nível do usuário acaba sendo menor do que a temperatura de *setpoint*, ou a temperatura de *setpoint* estabelecida é menor do que as estabelecidas pelas normas de conforto. Além disso, dos 12% enquadrados na categoria “X”, 10% apresentou temperatura operativa abaixo de 22°C, enquanto que apenas 2% ficou acima dos 27°C.

Diante deste fato, foi feita análise semelhante com as outras normas. Dos 26,4% das amostras que não se classificaram na norma ABNT NBR 16401 (2008), 18,7% foi devido à temperatura operativa inferior a 22,5°C e 23°C, enquanto os demais 7,7% foram devido à temperatura superior a 25,5°C e 26°C (dependendo da umidade). Já com relação à Resolução nº 9 da ANVISA (2003), dos 49% desclassificados, 31,9% foi devido à temperatura do ar abaixo de 23°C, enquanto apenas 1,5% do total da amostra apresentou temperatura do ar acima de 26°C.

O resultado da simulação em um pavimento-tipo de 1000 m² de ambiente de escritório mostrou que aumentar a temperatura em 1°C, de 23,5°C para 24,5°C, geraria uma economia de 10% no consumo de energia elétrica para resfriamento, enquanto que, em um caso extremo de uma amostra em que foi encontrada uma temperatura média de 19,1°C, o ajuste para o *setpoint* de 24,5°C possibilitaria uma economia de 36% no consumo de energia, que é um valor significativo, considerando o porte dos edifícios corporativos. Da amostra analisada, 8 dos 9 edifícios possuíam área de pavimento superior a 1000 m².

É importante então que haja manutenção nos sistemas de controle de modo que o sistema de condicionamento de ar opere de acordo com o *setpoint* de projeto, ou, se o *setpoint* estabelecido for inferior ao das normas, o sistema deve ser projetado e operado para seguir a temperatura recomendada a fim de reduzir o consumo de energia sem prejudicar o conforto térmico dos usuários. Aumentar o *setpoint* não só garante um menor consumo de energia, como diminui o custo inicial de instalação, pois a potência instalada para o sistema de ar condicionado poderia ser menor, devido à redução da carga de resfriamento.

Se for considerado o conforto adaptativo, o *setpoint* de temperatura poderia até ser maior do que 24,5°C, no entanto, para pessoas que trabalham em ambientes climatizados, a tolerância a temperaturas fora da faixa de conforto é menor. Sendo assim, para que houvesse maior economia de energia, poderia haver uma mudança

da temperatura de *setpoint* de projeto adaptado para as regiões do Brasil, de acordo com as temperaturas de conforto apresentadas no item 3.2.1, que variam conforme a média mensal. No verão, seria interessante utilizar a temperatura de 26°C em São Paulo, limite máximo proposto pela ABNT NBR 16401 (2008), já que para os meses de dezembro de 2009, janeiro e fevereiro de 2010, o limite superior da temperatura de conforto foi de 25,9°C, 26,4°C e 26,9°C respectivamente. Para isto, seria necessária uma readaptação por parte dos usuários já acostumados com as temperaturas praticadas nos edifícios de escritório atualmente, além de mudanças nos códigos de vestimenta para que se utilizem roupas mais adequadas às condições climáticas locais.

REFERÊNCIAS

ABRAVA. Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento. RN02/2003 – Cancela e substitui RENABRAVA II RN/2000 – Recomendação Normativa ABRAVA para Sistemas de condicionamento de ar e ventilação para conforto. São Paulo, 2003. Disponível em: <http://www.roboin.com.br/Recomendacao/RN02-2003.pdf>. Acesso em 13 ago. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 16401**: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro, 2008. 91 p.

_____ – **NBR 15575**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2008.

_____ – **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005, 87 p.

ALUCCI, M. P. **TAO: Uma metodologia de implementação de edificação. ênfase no desempenho térmico, acústico, luminoso e eficiência energética**. 2007. 145 p. Tese (Livre docência) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

ANSI/ASHRAE 55. American National Standards Institute. American Society of Heating, Refrigerating and Air–Conditioning Engineers. **Thermal Environmental Conditions of Human Occupancy**. Atlanta: ASHRAE, 2004. 28 p.

ANSI/ASHRAE 62.1. **Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**. Atlanta: ASHRAE, 2007.

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

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

AWBI, H. B. **Ventilation of Buildings**. Londres: E&FN SPON, 1991. Acesso em 5 de março de 2008. Disponível em: <http://books.google.com.br/books>.

BESSA, V. M. T. **Contribuição à metodologia de avaliação das emissões de dióxido de carbono no ciclo de vida das fachadas de edifícios de escritórios.** 2010. 263 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BRAGA, D. K.; AMORIM, C. N. D. **Conforto térmico em edifícios residenciais do Plano Piloto de Brasília.** In: CLACS 04/ ENTAC 04. Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, 1. e Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 10., 2004, São Paulo. **Anais...**São Paulo: ANTAC, 2004.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Tarifas de fornecimento de energia elétrica.** Brasília: ANEEL, 2005. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/caderno4capa.pdf>. Acesso em 27 set. 2010.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução nº 9 de 16 de janeiro de 2003. Dispõe sobre os Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo, e dá outras providências. Disponível em: <http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php>. Acesso em 20 fev. 2009.

_____. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução nº 176 de 24 de outubro de 2000. 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 coletivos. Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/2000/176_00re.htm. Acesso em 01 fev. 2008.

_____. Ministério da Saúde. Portaria nº 3523 de 28 de agosto de 1998. Aprova Regulamento Técnico contendo medidas básicas referentes aos procedimentos de verificação visual do estado de limpeza, remoção de sujidades por métodos físicos e manutenção do estado de integridade e eficiência de todos os componentes dos sistemas de climatização, para garantir a Qualidade do Ar de Interiores e prevenção de riscos à saúde dos ocupantes de ambientes climatizados. Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/3523_98.htm. Acesso em: 31 jan. 2008.

_____. Ministério do Trabalho. Portaria MTPS nº 3751, de 23 de novembro de 1990 – NR-17. Altera Norma Regulamentadora nº 17 – Ergonomia. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 26 set. 1990. Disponível em: http://www.mte.gov.br/legislacao/portarias/1990/p_19901123_3751.pdf. Acesso em 13 ago. 2010.

CARLI, M.; OLESEN, B. W.; ZARELLA, A.; ZECCHIN, R. **People's clothing behavior according to external weather and indoor environment.** *Energy and Buildings*, n° 42, 2007, p. 3965-3973.

CHEN, I. Y.; WEI, C.S.; CHEN, Y. M.; WANG, C. C.; CHANG, Y. J. **A comparative study between a constant-speed air-conditioner and a variable-speed air-conditioner.** *ASHRAE Transactions*, vol. 115 (1), 2009, p. 326-332.

CHOI, J.; AZIZ, A.; LOFTNESS, V. **Investigation on the impacts of different genders and ages on satisfaction with thermal environments in office buildings.** *Building and Environment*, n° 45, 2010, p. 1529-1535.

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

De DEAR, R. J. **Thermal comfort in practice.** *Indoor Air*, Suppl. 7, 2004, p. 32-39.

DJONGYANG, N.; TCHIDA, R.; NJOMO, D. **Thermal comfort: a review paper.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010. Doi: 10.1016/j.rser.2010.07.040 (Article in press)

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

FEDERSPIEL, C. C. **Statistical analysis of unsolicited thermal sensation complaints in commercial buildings.** *ASHRAE Transactions* 1998, vol. 104 (1B), p. 912-923.

GIVONI, B. **Climate consideration in building and urban design.** USA.: Van Nostrand Reinhold, 1998.

GUEDES, M. C.; MATIAS, L.; SANTOS, C. P. **Thermal comfort criteria and building design: Field work in Portugal.** *Renewable Energy*, n° 34, 2009, p. 2357-2361.

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° 34, 1999, p. 479-503.

HAVENITH, G.; HOLMÉR, I.; PARSONS, K. **Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production.** *Energy and Buildings*. RU, n° 34, 2002, p. 581-591.

HARTMAN, T. **Improving VAV zone control**. *ASHRAE Journal*, jun. 2003, p. 24-31.

HENS, H. S. L. C. **Thermal comfort in office buildings: Two case studies commented**. *Building and Environment*, nº 44, 2009, p. 1399-1408.

HOLMES, M. J.; HACKER, J. N. **Climate change, thermal comfort and energy: Meeting the design challenges of the 21st century**. *Energy and Buildings*, nº 39, 2007, p. 802-814.

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

_____. **ISO 7726**: Ergonomics of thermal environment – Instruments for measuring physical quantities. Suíça, 1998. 66 p.

ISAIQ-CIB TG 42. **Performance criteria of buildings for health and comfort**. CIB, nº 292, 2004. 68 p. Disponível em: <http://www.isiaq.org/publications/TG42-report.pdf>. Acesso em: 30 jun 2010.

JONES, A. P. **Asthma and domestic air quality**. *Social Science & Medicine*, China, v. 47, f. 6, 1998, p. 755-764.

KOSONEN, R.; TAN, F. **Assessment of productivity loss in air-conditioned building using PMV index**. *Energy and Buildings*, nº 36, 2004, p. 987-993.

KWOK, A. G.; RAJKOVICH, N. B. **Addressing climate change in comfort standards**. *Building and Environment*, nº 45, 2010, p. 18-22.

LEITE, B. C. C. **Sistema de ar condicionado com insuflamento pelo piso em ambientes de escritório: avaliação do conforto térmico e condições de operação**. 2003. 162 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

LUKIANCHUKI, M. A.; PRADO, M. F. A.; CARAM, R. M. **Análise do conforto térmico para o período de inverno no hospital escola de São Carlos**. In: ENTAC 2010. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 13., 2010, Canela. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2010.

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

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. **A stochastic approach to thermal comfort, occupant behavior and energy use in buildings**. *ASHRAE Transactions* 2004, vol. 110 (2), p. 554-568.

OLESEN, B. W.; PARSONS, K. C. **Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730**. *Energy and Buildings*, nº 34, 2002, p. 537-548.

OMS (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE). **Critérios de Qualidade do Ar**. Genebra, Suíça, 1999.

ROWE, D. M. **Activity rates and thermal comfort of office occupants in Sidney**. *Journal of Thermal Biology*, nº 26, 2001, p. 415-418.

RUAS, A. C. **Avaliação de conforto térmico**: contribuição à aplicação prática das normas internacionais. 1999. 78 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

SANTAMOURIS, M.; ASIMAKOPOULOS, D. **Passive cooling of buildings**. London: James & James, 1996. 472 p.

SEKHAR, S. C.; CHING, C. S. **Indoor air quality and thermal comfort studies of an under-floor air-conditioning system in the tropics**. *Energy and Buildings*, nº 34, 2002, p. 431-444.

SIMÕES, A. C. **Distribuição de ar**. São Paulo: Nova técnica, 2006. 98 p.

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

TOFTUM, J. **Human response to combined indoor environment exposures**. *Energy and buildings*, nº 34, 2002, p.601-606.

TOFTUM, J.; JORGENSEN, A. S.; FANGER, P. O. **Upper limits for indoor air humidity to avoid uncomfortably humid skin.** *Energy and buildings*, n° 28, 1998a, p.1-13.

_____. **Upper limits of air humidity for preventing warm respiratory discomfort.** *Energy and Buildings*, n° 28, 1998b, p.15-23.

TOFTUM, J.; ANDERSEN, R. V.; JENSEN, K. L. **Occupant performance and building energy consumption with different philosophies of determining acceptable thermal conditions.** *Building and Environment*, n° 44, 2009, p. 2009-2016.

TRANE Engineers Newsletter. **Advances in desiccant-based dehumidification - Providing insight for today's HVAC system designer**, v. 34-4, set. 2005.

WAGNER, A.; et al.. **Thermal comfort and workplace occupant satisfaction – Results of field studies in German low energy office buildings.** *Energy and Buildings*, n°39, 2007, p. 758-769.

WANG, D.; FEDERSPIEL, C. C.; ARENS, E. **Correlation between temperature satisfaction and unsolicited complaint rates in commercial buildings.** *Indoor Air*, n° 15, 2005, p. 13-18.

WEBB, C. G. **An Analysis of some observations of thermal comfort in an equatorial climate.** *British Journal of Industrial Medicine*, n° 16, 1959, p.297-310.

WONNACOTT, R. J.; WONNACOTT, T. H. **Fundamentos de estatística.** Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos editora, 1985.

ZAMBRANO, L.; MALAFAIA, C.; BASTOS, L. E. G. **Thermal comfort evaluation in outdoor space of tropical humid climate.** In: PLEA2006: The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, 2006, Genebra. **Proceedings...** Genebra: Universite de Geneve, 2006.

A. ANEXO 1

A seguir estão apresentadas as tabelas com o resumo de todos os resultados das variáveis medidas nos pavimentos dos edifícios A, B, C, D, E, F, G, H e I.

Onde:

Programa A:

T_a = Temperatura do ar (°C);

$\bar{T}_r$ = Temperatura radiante média (°C);

T_o = Temperatura operativa (°C);

UR = Umidade relativa (%);

v_a = Velocidade do ar (m/s);

CO_2 = Concentração de dióxido de carbono (ppm);

PMV (0,5 clo) = Valor de PMV para 0,5 clo;

PMV (1,0 clo) = Valor de PMV para 1,0 clo;

Programa B:

T_h = Temperatura de bulbo seco na altura da cabeça (°C);

T_b = Temperatura de bulbo seco na altura do corpo (°C);

T_k = Temperatura de bulbo seco na altura dos tornozelos (°C);

AsR = Assimetria da temperatura radiante vertical (°C);

EsT = Estratificação da temperatura vertical, de bulbo seco (°C).

Edifício A

15º andar

Programa A

Edifício A – 15º andar (1º dia) – A																					
	P1 (9:45h)			P2 (10:50h)			P3 (11:55h)			P4 (12:55h)			P5 (13:55h)			P6 (14:55h)			P7 (16:00h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T _a [°C]	25,5	25,5	25,6	24,5	24,3	25,3	23,7	23,5	24,0	21,3	21,1	21,6	21,4	21,4	21,5	21,1	21,0	21,2	26,1	25,0	26,5
T _r [°C]	25,7	25,7	25,8	24,9	24,7	25,7	24,6	23,3	25,1	23,4	23,1	24,9	23,0	22,8	23,3	23,0	22,5	25,0	27,1	25,9	27,8
T _o [°C]	25,6	25,6	25,7	24,7	24,5	25,5	24,1	23,9	24,6	22,4	21,8	22,6	22,2	21,9	22,1	22,0	21,5	22,3	26,6	25,5	27,2
UR[%]	52,9	52,1	53,5	54,4	52,1	55,8	57,1	56,4	57,6	64,8	63,3	65,9	65,0	64,4	65,5	66,1	65,3	67,2	53,5	56,5	52,2
v _a [m/s]	0,01	0,0	0,06	0,01	0,0	0,09	0,09	0,03	0,2	0,65	0,5	0,8	0,67	0,51	0,84	0,82	0,61	0,95	0,07	0,01	0,2
CO ₂ [ppm]	689	636	805	835	789	947	814	791	841	642	628	669	795	745	870	900	876	921	963	936	986
PMV (0,5 clo)	0,3	-	-	0,0	-	-	-0,1	-	-	-1,8	-	-	-0,7	-	-	-0,8	-	-	0,5	-	-
PMV (1,0 clo)	1,0	-	-	0,7	-	-	0,6	-	-	-0,3	-	-	0,2	-	-	0,1	-	-	1,1	-	-

Programa B

Edifício A – 15º andar (1º dia) – B																					
	P1 (10:25h)			P2 (11:25h)			P3 (12:30h)			P4 (13:30h)			P5 (14:30h)			P6 (15:30h)			P7 (16:42h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T _h [°C]	25,9	25,9	26,0	24,4	24,4	24,4	23,7	23,6	23,7	21,4	21,3	21,5	21,5	21,4	21,6	21,1	21,0	21,2	24,5	24,4	24,6
T _b [°C]	25,8	25,7	25,9	24,1	23,9	24,2	23,5	23,5	23,7	21,6	21,5	21,7	21,7	21,6	21,8	21,3	21,2	21,5	24,3	24,1	24,5
T _k [°C]	25,3	25,2	25,3	23,9	23,8	24,1	23,4	23,3	23,6	21,4	21,3	21,5	21,5	21,4	21,6	21,1	21,0	21,2	23,9	23,7	24,2
AsR[°C]	0,4	0,4	0,4	0,1	0,0	0,1	0,02	0,0	0,1	0,3	0,1	0,5	0,01	0,0	0,1	0,03	0,0	0,1	0,1	0,0	0,4
EsT[°C]	0,6	0,6	0,7	0,5	0,3	0,6	0,3	0,1	0,4	0,02	0,0	0,1	0,05	0,0	0,1	0,02	0,0	0,1	0,6	0,3	0,7

14º andar

Programa A

Edifício A – 14º andar (2º dia) – A																					
	P1(10:00h)			P2(11:00h)			P3(11:55h)			P4(12:55h)			P5(13:55h)			P6(14:50h)			P7(15:50h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T _a [°C]	23,5	23,5	23,6	22,2	22,1	22,5	22,0	21,8	22,3	25,1	23,2	25,8	23,1	23,0	23,2	22,0	21,7	22,7	22,2	22,2	22,3
T _r [°C]	24,1	24,0	24,4	22,8	22,5	23,5	22,7	22,3	23,1	26,0	23,9	26,9	24,3	23,8	25,1	23,4	22,7	24,7	23,1	22,8	23,6
T _o [°C]	23,8	23,8	24,0	22,5	22,3	23,0	22,3	22,1	22,6	25,6	24,1	26,1	23,7	23,5	23,9	22,7	22,2	23,5	22,7	22,5	22,9
UR[%]	55,0	54,1	56,0	58,1	56,6	58,6	59,2	58,7	59,5	53,9	49,2	58,7	59,9	58,2	61,9	57,3	55,5	58,2	55,9	55,5	56,2
v _a [m/s]	0,02	0,0	0,07	0,05	0,0	0,13	0,1	0,0	0,26	0,26	0,05	0,5	0,09	0,02	0,25	0,19	0,01	0,33	0,08	0,02	0,25
CO ₂ [ppm]	753	688	839	834	810	889	808	796	846	536	481	663	497	449	566	657	645	671	787	733	833
PMV (0,5 clo)	-0,2	-	-	-0,7	-	-	0,9	-	-	-0,2	-	-	-0,4	-	-	-1,1	-	-	-0,7	-	-
PMV (1,0 clo)	0,6	-	-	0,2	-	-	0,1	-	-	0,7	-	-	0,4	-	-	0,0	-	-	0,2	-	-

Programa B

Edifício A – 14º andar (2º dia) – B																					
	P1(10:35h)			P2(11:35h)			P3(12:30h)			P4(13:30h)			P5(14:30h)			P6(15:25h)			P7(16:25h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T _h [°C]	23,6	23,6	23,6	22,3	22,2	22,3	22,0	22,0	22,1	23,0	22,9	23,1	23,3	23,1	23,3	21,9	21,8	21,9	22,2	22,1	22,3
T _b [°C]	23,4	23,2	23,6	22,3	22,2	22,3	22,0	21,9	22,1	23,0	22,8	23,2	23,2	22,9	23,3	21,9	21,8	22,0	22,1	22,0	22,2
T _k [°C]	22,8	22,5	23,0	22,2	22,1	22,3	21,7	21,6	21,8	22,9	22,7	23,0	23,1	22,9	23,3	21,9	21,8	22,0	21,9	21,8	22,2
AsR[°C]	0,3	0,1	0,5	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	0,4	0,1	0,6	0,5	0,5	0,6	0,4	0,3	0,5
EsT[°C]	0,8	0,6	1,1	0,07	0,0	0,1	0,3	0,2	0,4	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0	0,3	0,03	0,0	0,1	0,3	0,1	0,4

8º andar

Programa A

Edifício A – 8º andar (3º dia) – A																					
	P1 (9:30h)			P2(10:30h)			P3(11:25)			P4(12:25h)			P5(13:20h)			P6(14:15h)			P7(15:20h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T _a [°C]	23,0	22,8	23,2	22,9	22,8	23,2	23,7	23,4	24,2	23,4	23,2	23,6	23,6	23,4	23,7	23,8	23,7	23,9	23,8	23,5	24,0
T _r [°C]	23,9	23,5	24,5	24,0	23,6	24,5	24,7	24,3	25,3	25,0	24,4	25,6	24,5	24,2	25,2	24,5	24,2	25,2	24,0	23,9	24,2
T _o [°C]	23,4	23,2	23,9	23,4	23,2	23,7	24,2	23,9	24,6	24,2	23,9	24,5	24,1	23,8	24,5	24,1	24,1	24,5	23,9	23,7	24,1
UR[%]	50,4	50,0	51,0	51,9	51,0	53,9	50,6	49,8	51,5	49,7	49,2	51,2	46,7	46,1	48,0	46,6	46,0	47,4	46,4	45,3	47,1
v _a [m/s]	0,12	0,02	0,33	0,07	0,0	0,17	0,08	0,01	0,24	0,20	0,04	0,37	0,04	0,0	0,15	0,16	0,03	0,4	0,08	0,0	0,22
CO ₂ [ppm]	654	622	699	784	763	805	640	574	683	625	587	742	547	520	595	647	606	667	708	663	737
PMV (0,5 clo)	-0,7	-	-	-0,5	-	-	-0,3	-	-	-0,6	-	-	-0,2	-	-	-0,5	-	-	-0,4	-	-
PMV (1,0 clo)	0,3	-	-	0,3	-	-	0,5	-	-	0,3	-	-	0,5	-	-	0,4	-	-	0,4	-	-

Programa B

Edifício A – 8º andar (3º dia) – B																					
	P1(10:05h)			P2(11:05h)			P3(12:05h)			P4(13:00h)			P5(13:55h)			P6(14:50h)			P7(15:55h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T _h [°C]	23,4	23,2	23,5	23,3	23,2	23,5	23,5	23,4	23,7	23,2	23,2	23,3	23,8	23,8	23,9	24,5	24,2	24,8	24,3	24,2	24,3
T _b [°C]	23,8	23,3	24,1	23,1	22,8	23,7	23,3	23,1	23,5	23,1	23,1	23,2	23,5	23,4	23,7	24,4	23,7	24,8	24,3	24,2	24,4
T _k [°C]	23,6	23,1	24,0	23,1	22,8	23,6	23,1	22,8	23,4	22,8	22,7	22,9	23,4	23,3	23,6	24,2	23,5	24,6	24,0	23,8	24,2
AsR[°C]	1,9	0,6	4,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,5	0,03	0,0	0,1	0,5	0,3	0,5	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
EsT[°C]	0,2	0,1	0,6	0,2	0,0	0,4	0,4	0,1	0,6	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3	0,5	0,3	0,0	0,8	0,3	0,1	0,5

Edifício B

3º andar

Programa A

Edifício B – 3º andar (1º dia) – A																					
	P1(8:35h)			P2(9:35h)			P3(10:35h)			P4(11:35h)			P5(12:35h)			P6(13:30h)			P7(14:25h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T _a [°C]	22,0	21,9	22,3	22,0	21,9	22,1	23,8	23,7	23,9	22,1	21,7	23,0	22,9	22,8	23,0	23,4	23,2	23,5	23,3	23,2	23,4
T _r [°C]	22,7	22,4	23,1	21,7	21,4	22,3	25,0	24,4	25,8	23,4	22,9	24,8	23,7	23,4	24,2	24,2	24,0	24,5	23,7	23,5	23,9
T _o [°C]	22,4	22,2	22,6	21,9	21,7	22,2	24,4	24,1	24,9	22,8	22,4	23,9	23,3	23,1	23,6	23,8	23,6	24,0	23,5	23,4	23,7
UR[%]	62,5	61,5	62,8	62,6	62,1	63,0	56,8	56,6	57,4	61,9	58,5	63,6	58,7	58,2	59,6	57,1	56,8	57,8	58,4	57,6	59,0
v _a [m/s]	0,06	0,01	0,14	0,08	0,01	0,26	0,05	0,01	0,17	0,04	0,0	0,16	0,02	0,0	0,1	0,02	0,0	0,06	0,02	0,0	0,12
CO ₂ [ppm]	610	571	652	757	736	779	785	770	801	822	787	993	725	699	787	730	691	768	827	801	991
PMV (0,5 clo)	-0,7	-	-	-0,9	-	-	-0,2	-	-	-0,5	-	-	-0,4	-	-	-0,2	-	-	-0,3	-	-
PMV (1,0 clo)	0,2	-	-	0,1	-	-	0,6	-	-	0,3	-	-	0,5	-	-	0,6	-	-	0,5	-	-

Programa B

Edifício B – 3º andar (1º dia) – B																					
	P1(10:05h)			P2(11:05h)			P3(12:05h)			P4(13:00h)			P5(13:55h)			P6(14:50h)			P7(15:55h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T _h [°C]	22,0	21,9	22,0	22,4	22,4	22,5	23,9	23,8	24,0	21,7	21,6	21,8	23,0	23,0	23,1	23,6	23,6	23,7	23,4	23,4	23,5
T _b [°C]	21,8	21,7	21,9	22,2	22,1	22,3	23,5	23,4	23,6	21,2	21,0	21,3	22,7	22,6	22,8	23,5	23,4	23,6	23,3	23,2	23,4
T _k [°C]	21,5	21,3	21,6	21,8	21,7	21,9	22,6	22,5	22,8	20,7	20,6	20,7	22,4	22,3	22,6	23,2	23,1	23,3	22,9	22,8	23,1
AsR[°C]	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,5	2,3	2,0	3,0	0,1	0,0	0,1	1,1	1,0	1,1	0,6	0,5	0,8	0,3	0,1	0,2
EsT[°C]	0,5	0,4	0,6	0,7	0,6	0,8	1,3	1,2	1,3	1,0	0,9	1,1	0,6	0,4	0,7	0,4	0,3	0,5	0,5	0,4	0,6

5º andar

Programa A

Edifício B – 5º andar (2º dia) – A																					
	P1(10:10h)			P2(11:21h)			P3(12:20h)			P4(13:20h)			P5(14:20h)			P6(15:25h)			P7(16:25h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T _a [°C]	27,4	27,0	27,5	21,4	21,2	21,7	21,4	21,2	21,6	21,7	21,6	21,7	24,1	23,7	24,6	21,2	20,9	21,9	24,7	24,0	24,8
T _r [°C]	29,7	29,5	29,9	22,1	21,8	22,6	22,1	21,8	22,3	22,6	22,4	23,1	26,5	24,6	27,9	21,9	21,5	22,9	25,1	24,0	25,4
T _o [°C]	28,5	28,3	28,7	21,8	21,5	22,0	21,7	21,6	21,9	22,2	22,0	24,0	25,3	24,3	25,8	21,5	21,3	22,4	24,9	24,0	25,1
UR[%]	49,5	48,9	50,7	68,2	67,4	69,1	68,1	67,3	69,0	67,4	67,1	67,8	59,0	57,2	60,5	70,1	67,2	71,0	58,0	57,4	60,1
v _a [m/s]	0,00	0,0	0,01	0,06	0,0	0,22	0,04	0,0	0,15	0,03	0,0	0,09	0,11	0,0	0,23	0,02	0,0	0,09	0,01	0,0	0,04
CO ₂ [ppm]	626	536	698	608	600	627	626	615	704	604	590	626	629	617	666	665	653	710	801	754	1074
PMV (0,5 clo)	1,2	-	-	-0,9	-	-	-0,8	-	-	-0,7	-	-	0,0	-	-	-0,9	-	-	0,1	-	-
PMV (1,0 clo)	1,6	-	-	0,1	-	-	0,1	-	-	0,2	-	-	0,7	-	-	0,1	-	-	0,8	-	-

Programa B

Edifício B – 5º andar (2º dia) – B																					
	P1(09:50h)			P2(11:55h)			P3(12:55h)			P4(13:55h)			P5(15:00h)			P6(h)			P7(17:00h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T _h [°C]	26,4	26,0	26,7	21,5	21,3	21,6	21,8	21,7	21,8	21,7	21,6	21,8	24,6	24,4	24,7	-	-	-	25,1	25,1	25,2
T _b [°C]	25,4	25,2	25,7	21,4	21,2	21,5	21,8	21,7	21,9	21,4	21,3	21,5	24,0	23,8	24,1	-	-	-	25,1	25,0	25,2
T _k [°C]	24,9	24,8	25,1	21,1	21,0	21,3	21,7	21,5	21,8	21,3	21,2	21,4	23,9	23,7	23,9	-	-	-	24,9	24,8	25,0
AsR[°C]	6,4	5,8	6,7	0,1	0,1	0,1	0,04	0,0	0,1	2,1	2,0	2,3	2,8	2,3	3,1	-	-	-	0,02	0,0	0,1
EsT[°C]	1,4	6,7	1,6	0,4	0,2	0,4	0,1	0,0	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,6	0,8	-	-	-	0,2	0,1	0,3

4º andar

Programa A

Edifício B – 4º andar (3º dia) – A																					
	P1(8:45h)			P2(9:45h)			P3(10:50h)			P4(11:55h)			P5(12:55h)			P6(13:55h)			P7(14:50h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T _a [°C]	23,6	23,5	23,7	24,0	23,7	24,6	24,5	24,1	24,6	23,3	23,2	23,7	23,4	23,2	23,6	23,9	23,7	24,0	23,8	23,7	23,9
T _r [°C]	24,0	23,8	24,3	24,9	24,2	26,0	25,4	24,4	26,2	24,3	23,8	25,6	24,0	23,8	24,3	24,4	24,2	24,6	24,4	24,2	25,0
T _o [°C]	23,8	23,7	24,0	24,5	24,0	25,2	25,0	24,3	25,4	23,8	23,5	24,7	23,7	23,6	24,0	24,2	24,0	24,3	24,1	24,0	24,5
UR[%]	61,2	61,0	61,6	58,7	56,6	60,3	57,3	57,0	58,8	60,6	59,6	61,1	60,5	59,3	61,3	58,8	58,3	59,4	59,1	58,5	59,5
v _a [m/s]	0,02	0,0	0,12	0,09	0,02	0,28	0,05	0,0	0,16	0,08	0,02	0,15	0,03	0,01	0,08	0,02	0,0	0,12	0,03	0,0	0,26
CO ₂ [ppm]	660	639	695	720	710	768	839	822	943	807	768	855	684	673	714	749	713	786	805	784	823
PMV (0,5 clo)	-0,2	-	-	-0,2	-	-	0,1	-	-	-0,4	-	-	-0,1	-	-	-0,1	-	-	0,1	-	-
PMV (1,0 clo)	0,6	-	-	0,6	-	-	0,8	-	-	0,5	-	-	0,7	-	-	0,7	-	-	0,6	-	-

Programa B

Edifício B – 4º andar (3º dia) – B																					
	P1(09:20h)			P2(10:25h)			P3(11:30h)			P4(12:30h)			P5(13:30h)			P6(14:30h)			P7(15:25h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T _h [°C]	23,8	23,8	23,9	23,5	23,3	23,6	25,0	24,9	25,1	23,4	23,3	23,4	23,5	23,4	23,7	24,3	24,2	24,3	23,8	23,6	23,9
T _b [°C]	23,8	23,7	23,9	23,3	23,1	23,5	24,7	24,6	24,7	22,9	22,8	22,9	23,1	23,0	23,2	24,1	24,0	24,3	23,7	23,6	23,7
T _k [°C]	23,7	23,6	23,8	23,3	23,2	23,5	24,3	24,1	24,4	22,3	22,3	22,4	22,8	22,6	22,9	23,7	23,6	24,0	23,6	23,5	23,7
AsR[°C]	0,01	0,0	0,1	0,5	0,5	0,5	2,2	1,8	2,6	2,5	2,3	2,6	2,6	2,3	2,8	0,4	0,3	0,5	0,3	0,0	0,5
EsT[°C]	0,2	0,1	0,2	0,28	0,0	0,3	1,08	0,5	0,9	1,1	1,0	1,1	1,0	0,5	1,1	0,5	0,3	0,7	0,4	0,3	0,5

Edifício C

2º andar

Programa A

Edifício C – 2º andar (1º dia) – A															
	P1 (9:05h)			P2 (11:03h)			P3 (12:39h)			P4 (14:47h)			P5 (16:35h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T_a [°C]	21,4	21,1	22,3	21,3	21,2	21,6	23,7	22,6	24,1	19,7	19,4	22,9	21,8	21,1	21,9
$\bar{T}_r$ [°C]	22,5	21,7	24,3	21,8	21,6	22,6	24,1	23,0	24,5	20,8	20,2	25,1	22,2	21,2	22,4
T_o [°C]	21,9	21,4	23,2	21,6	21,4	22,1	23,9	22,8	24,2	20,3	19,8	24,0	22,0	21,2	22,2
UR [%]	62,6	59,5	63,5	61,9	61,2	62,2	54,9	53,6	58,6	68,7	57,2	70,2	60,9	60,1	64,4
v_a [m/s]	0,08	0,0	0,19	0,02	0,0	0,07	0,02	0,0	0,09	0,03	0,0	0,1	0,002	0,0	0,04
CO ₂ [ppm]	627	556	679	801	770	844	886	860	910	906	886	938	951	938	985
PMV (0,5 clo)	-0,9	-	-	-0,9	-	-	-0,2	-	-	-1,3	-	-	-0,8	-	-
PMV (1,0 clo)	0,1	-	-	0,1	-	-	0,6	-	-	-0,2	-	-	0,2	-	-

Programa B

Edifício C – 2º andar (1º dia) – B															
	P1 (10:26h)			P2 (12:23h)			P3 (14:14h)			P4 (16:00h)			P5 (17:47h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T_h [°C]	21,5	21,4	21,6	21,6	21,5	21,7	24,3	24,3	24,4	19,7	19,6	19,8	22,4	22,3	22,6
T_b [°C]	21,4	21,3	21,5	21,3	21,1	21,5	24,2	24,1	24,4	19,8	19,7	20,0	22,3	22,2	22,5
T_k [°C]	21,2	21,1	21,4	20,6	20,4	20,7	23,9	23,5	24,1	19,9	19,7	20,1	22,1	21,9	22,2
AsR [°C]	0,1	0,0	0,5	0,5	0,1	1,0	0,6	0,5	0,6	0,2	0,1	0,7	0,4	0,1	0,6
EsT [°C]	0,3	0,1	0,4	1,1	0,9	1,2	0,4	0,2	0,9	-0,1	0,0	0,3	0,3	0,2	0,5

8º andar

Programa A

Edifício C – 8º andar (2º dia) – A															
	P1 (8:52h)			P2 (11:22h)			P3 (13:17h)			P4 (15:16h)			P5 (17:03h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T _a [°C]	23,6	23,4	24,9	22,2	22,1	22,3	23,9	23,8	24,0	23,8	23,7	23,8	23,9	23,7	24,1
T _r [°C]	24,2	23,9	24,9	23,0	22,6	23,5	24,8	24,6	24,9	24,9	24,5	25,2	25,0	24,7	25,9
T _o [°C]	23,9	23,7	24,9	22,6	22,4	22,9	24,3	24,2	24,5	24,3	24,1	24,5	24,5	24,2	25,0
UR [%]	49,3	45,0	50,6	51,2	50,6	51,5	46,5	46,0	47,1	46,4	46,1	46,8	45,4	45,0	45,8
v _a [m/s]	0,03	0,0	0,12	0,09	0,01	0,21	0,01	0,0	0,04	0,06	0,01	0,14	0,02	0,0	0,19
CO ₂ [ppm]	1035	847	1252	1446	1415	1485	1418	1338	1582	1696	1669	1742	1674	1619	1814
PMV (0,5 clo)	-0,2	-	-	-0,8	-	-	-0,1	-	-	-0,2	-	-	-0,1	-	-
PMV (1,0 clo)	0,5	-	-	0,1	-	-	0,6	-	-	0,5	-	-	0,6	-	-

Programa B

Edifício C – 8º andar (2º dia) – B															
	P1 (10:04h)			P2 (10:50h)			P3 (12:44h)			P4 (14:44h)			P5 (16:31h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T _h [°C]	23,7	23,6	23,8	22,4	22,3	22,5	23,9	23,7	24,0	24,0	23,9	24,1	24,1	24,0	24,1
T _b [°C]	23,6	23,5	23,8	22,4	22,2	22,5	23,5	23,4	23,6	24,3	24,1	24,5	23,6	23,5	23,8
T _k [°C]	23,5	23,4	23,6	22,2	22,1	22,3	23,5	24,3	23,4	23,6	23,5	23,8	23,5	23,3	23,7
AsR [°C]	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,3	0,4	0,0	0,6	0,4	0,1	0,6	1,2	0,1	0,5
EsT [°C]	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,3	0,4	0,1	0,6	0,4	0,3	0,5	0,6	0,4	0,8

34º andar

Programa A

Edifício C – 34º andar (3º dia) – A															
	P1 (9:50h)			P2 (11:37h)			P3 (13:22h)			P4 (15:11h)			P5 (16:27h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T _a [°C]	23,6	23,5	23,7	23,2	23,1	23,5	21,4	21,3	21,5	22,6	22,5	22,8	23,0	22,3	23,6
T _r [°C]	24,8	24,3	25,2	25,2	24,2	26,7	22,3	21,8	22,8	24,3	23,6	25,0	26,5	23,7	28,6
T _o [°C]	24,2	24,0	24,5	24,2	23,7	25,1	21,8	21,6	22,1	23,5	23,1	23,8	24,7	23,1	25,9
UR [%]	55,5	55,1	55,9	50,0	49,5	50,4	55,1	54,5	55,6	52,3	51,2	53,9	51,9	50,2	53,4
v _a [m/s]	0,11	0,02	0,21	0,10	0,02	0,32	0,10	0,01	0,27	0,17	0,05	0,27	0,01	0,0	0,1
CO ₂ [ppm]	719	674	759	687	662	770	629	600	681	703	684	747	666	649	759
PMV (0,5 clo)	-0,4	-	-	-0,3	-	-	-1,1	-	-	-0,8	-	-	0,0	-	-
PMV (1,0 clo)	0,5	-	-	0,5	-	-	0,0	-	-	0,2	-	-	0,7	-	-

Programa B

Edifício C – 34º andar (3º dia) – B															
	P1 (09:17h)			P2 (11:04h)			P3 (12:50h)			P4 (14:37h)			P5 (17:39h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T _h [°C]	24,0	23,6	24,9	23,8	23,6	24,0	21,8	21,6	22,4	22,5	22,4	22,7	22,2	21,8	22,4
T _b [°C]	23,7	23,4	24,1	23,4	23,2	23,7	21,6	21,4	21,9	22,2	22,0	22,6	21,2	20,7	21,5
T _k [°C]	23,5	23,2	23,9	23,3	23,2	23,4	21,6	21,4	22,0	22,0	21,8	22,1	21,2	20,6	21,8
AsR [°C]	1,0	0,4	1,1	4,0	2,6	4,5	0,4	0,1	0,6	2,0	1,5	2,2	3,5	2,5	7,0
EsT [°C]	0,5	0,2	1,0	0,5	0,3	0,7	0,2	0,0	0,5	0,5	0,4	0,6	1,0	0,6	1,3

*OBS: Th de P1 possui média alta devido à estabilização de sensores

Edifício D**2º andar***Programa A*

Edifício D – 2º andar (1º dia) – A												
	P1 (9:31h)			P2 (11:41h)			P3 (13:43h)			P4 (15:30h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T_a [°C]	24,1	23,8	24,3	23,7	23,6	24,0	25,9	25,7	26,0	25,7	25,6	25,8
$\bar{T}_r$ [°C]	24,7	24,3	25,1	24,3	24,0	24,6	26,4	26,3	26,6	26,7	26,3	27,6
T_o [°C]	24,4	24,1	24,7	24,0	23,8	24,3	26,2	26,1	26,3	26,2	26,0	26,7
UR [%]	54,9	53,8	55,7	55,1	54,0	56,7	52,3	51,5	53,1	52,1	51,1	53,2
v_a [m/s]	0,07	0,0	0,21	0,05	0,0	0,16	0,01	0,0	0,07	0,06	0,0	0,27
CO ₂ [ppm]	612	588	637	528	520	547	536	501	574	586	567	692
PMV (0,5 clo)	-0,2	-	-	-0,2	-	-	0,5	-	-	0,4	-	-
PMV (1,0 clo)	0,6	-	-	0,5	-	-	1,1	-	-	1,0	-	-

Programa B

Edifício D – 2º andar (1º dia) – B												
	P1 (08:59h)			P2 (11:03h)			P3 (13:05h)			P4 (15:12h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T_h [°C]	24,2	24,1	24,3	23,9	23,8	24,0	25,7	25,6	25,9	25,9	25,8	25,9
T_b [°C]	24,1	23,9	24,2	23,8	23,7	23,9	25,6	25,4	25,7	25,5	25,4	25,6
T_k [°C]	24,1	23,9	24,2	23,6	23,4	23,7	25,5	25,4	25,6	25,3	25,2	25,5
AsR [°C]	0,1	0,0	0,3	0,02	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,4
EsT [°C]	0,2	0,0	0,3	0,3	0,2	0,4	0,3	0,2	0,4	0,6	0,4	0,6

*OBS: foram excluídos os 10 primeiros registros.

25º andar*Programa A*

Edifício D – 25º andar (2º dia) – A												
	P1 (9:29h)			P2 (11:35h)			P3 (13:42h)			P4 (15:49h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T_a [°C]	22,3	22,1	22,6	21,7	21,4	21,8	22,1	22,0	22,3	23,7	23,4	23,9
$\bar{T}_r$ [°C]	23,1	22,6	23,7	22,5	22,1	22,6	22,9	22,6	23,6	24,6	24,2	25,1
T_o [°C]	22,7	22,4	23,1	22,1	21,8	22,2	22,5	22,3	22,9	24,1	23,8	24,5
UR [%]	55,9	54,5	57,0	51,9	50,7	54,4	57,5	56,4	59,2	51,2	50,2	52,1
v_a [m/s]	0,07	0,01	0,32	0,001	0,0	0,01	0,04	0,0	0,17	0,05	0,01	0,13
CO ₂ [ppm]	641	550	714	718	698	791	841	772	1009	827	813	869
PMV (0,5 clo)	-0,7	-	-	-0,8	-	-	-0,6	-	-	-0,2	-	-
PMV (1,0 clo)	0,2	-	-	0,1	-	-	0,2	-	-	0,5	-	-

Programa B

Edifício D – 25º andar (2º dia) – B												
	P1 (08:47h)			P2 (10:53h)			P3 (12:59h)			P4 (15:07h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
$T_h [^{\circ}\text{C}]$	23,0	22,7	23,2	21,5	21,5	21,5	22,2	22,0	22,4	23,5	23,4	23,6
$T_b [^{\circ}\text{C}]$	22,7	22,5	22,8	21,2	21,2	21,3	21,9	21,8	22,1	23,3	23,2	23,4
$T_k [^{\circ}\text{C}]$	22,3	22,2	22,6	21,1	21,0	21,2	21,9	21,7	22,1	23,2	23,1	23,3
$AsR [^{\circ}\text{C}]$	0,4	0,1	0,6	0,1	0,0	0,1	0,7	0,5	1,0	0,1	0,0	0,3
$EsT [^{\circ}\text{C}]$	0,7	0,3	1,0	0,4	0,3	0,5	0,3	0,2	0,4	0,3	0,0	0,4

*OBS: foram excluídos os 10 primeiros registros.

17º andar

Programa A

Edifício D – 17º andar (3º dia) – A												
	P1 (9:38h)			P2 (11:43h)			P3 (13:48h)			P4 (15:53h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
$T_a [^{\circ}\text{C}]$	24,2	24,0	24,4	21,1	20,9	21,5	24,4	24,3	24,5	24,6	24,4	24,9
$\bar{T}_r [^{\circ}\text{C}]$	25,4	25,0	26,0	22,8	22,0	23,6	25,2	24,8	25,8	25,6	25,3	26,2
$T_o [^{\circ}\text{C}]$	24,8	24,5	25,2	22,0	21,5	22,3	24,8	24,6	25,2	25,1	24,9	25,5
UR [%]	49,9	48,6	53,0	56,8	55,4	58,6	48,7	48,4	49,1	46,0	45,0	47,1
$v_a [\text{m/s}]$	0,04	0,0	0,15	0,08	0,01	0,25	0,06	0,0	0,23	0,02	0,0	0,1
$\text{CO}_2 [\text{ppm}]$	750	672	811	731	682	862	844	762	908	903	869	956
PMV (0,5 clo)	-0,3	-	-	-1,0	-	-	0,0	-	-	0,1	-	-
PMV (1,0 clo)	0,5	-	-	0,0	-	-	0,7	-	-	0,8	-	-

Programa B

Edifício D – 17º andar (3º dia) – B												
	P1 (08:55h)			P2 (11:01h)			P3 (13:06h)			P4 (15:11h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
$T_h [^{\circ}\text{C}]$	24,9	24,8	25,0	21,5	21,4	21,6	24,2	24,0	24,3	25,0	24,9	25,1
$T_b [^{\circ}\text{C}]$	24,7	24,3	24,9	21,1	21,0	21,1	24,4	24,3	24,5	24,6	24,5	24,8
$T_k [^{\circ}\text{C}]$	24,4	23,9	24,6	20,8	20,7	20,9	24,1	24,0	24,2	24,3	24,1	24,5
$AsR [^{\circ}\text{C}]$	0,2	0,0	0,4	1,6	1,3	1,8	0,1	0,0	0,3	1,3	0,9	1,8
$EsT [^{\circ}\text{C}]$	0,5	0,2	0,9	0,7	0,6	0,9	0,1	0,0	0,3	0,7	0,5	0,9

*OBS: foram excluídos os 10 primeiros registros.

Edifício E**10º andar***Programa A*

Edifício E – 10º andar (1º dia) – A												
	P1 (10:34h)			P2(12:39h)			P3(14:58h)			P4(17:05h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T_a [°C]	23,5	23,2	23,7	23,3	23,1	23,4	26,2	25,1	27,4	24,7	24,2	25,2
$\bar{T}_r$ [°C]	23,9	23,7	24,1	23,7	23,6	24,0	29,9	28,8	31,9	25,3	24,7	26,0
T_o [°C]	23,7	23,5	23,9	23,5	23,4	23,6	28,1	27,0	29,2	25,0	24,5	25,6
UR [%]	55,7	55,0	56,5	52,7	52,4	53,1	44,9	41,3	48,8	48,2	47,3	49,3
v_a [m/s]	0,004	0,0	0,03	0,01	0,0	0,02	0,02	0,0	0,1	0,01	0,0	0,11
CO ₂ [ppm]	690	659	729	861	831	892	1112	1061	1191	1034	954	1106
PMV (0,5 clo)	-0,3	-	-	-0,3	-	-	1,0	-	-	0,1	-	-
PMV (1,0 clo)	0,5	-	-	0,5	-	-	1,4	-	-	0,8	-	-

Programa B

Edifício E – 10º andar (1º dia) – B												
	P1 (09:50h)			P2 (11:57h)			P3 (14:16h)			P4 (16:20h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T_h [°C]	23,7	23,6	23,7	23,5	23,4	23,5	24,7	24,4	23,8	25,4	25,3	25,5
T_b [°C]	23,5	23,4	23,6	23,4	23,3	23,6	24,1	23,8	24,4	24,9	24,8	25,1
T_k [°C]	23,4	23,3	23,5	23,2	23,2	23,4	23,9	23,7	24,2	24,6	24,4	24,8
AsR [°C]	0,6	0,5	0,8	0,03	0,0	0,1	6,0	4,9	11,3	0,3	0,1	0,4
EsT [°C]	0,3	0,1	0,4	0,2	0,1	0,3	0,9	0,7	1,2	0,8	0,6	1,0

*OBS: foram excluídos os 10 primeiros registros.

9º andar*Programa A*

Edifício E – 9º andar (2º dia) – A												
	P1 (9:31h)			P2(11:37h)			P3(13:47h)			P4(15:53h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T_a [°C]	25,5	25,2	25,8	23,6	23,4	23,8	23,9	23,8	24,1	22,3	22,2	22,5
$\bar{T}_r$ [°C]	28,3	27,5	30,4	24,2	23,9	24,7	24,1	23,9	24,3	23,1	22,9	23,5
T_o [°C]	26,9	26,6	28,0	23,9	23,7	24,2	24,0	23,9	24,2	22,7	22,6	22,9
UR [%]	41,9	41,1	43,0	46,0	45,1	46,9	55,7	55,2	56,4	54,3	53,8	55,5
v_a [m/s]	0,01	0,00	0,15	0,01	0,00	0,09	0,02	0,00	0,21	0,07	0,02	0,17
CO ₂ [ppm]	1042	918	1132	1033	961	1101	872	795	954	1093	1062	1116
PMV (0,5 clo)	0,6	-	-	-0,3	-	-	-0,2	-	-	-0,7	-	-
PMV (1,0 clo)	1,1	-	-	0,5	-	-	0,6	-	-	0,2	-	-

Programa B

Edifício E – 9º andar (2º dia) – B												
	P1 (08:44h)			P2 (10:55h)			P3 (13:03h)			P4 (15:11h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
$T_h [^{\circ}\text{C}]$	24,6	24,4	24,9	24,1	24,0	24,3	23,8	23,7	23,9	22,3	22,2	22,5
$T_b [^{\circ}\text{C}]$	23,8	23,5	24,2	23,7	23,6	23,8	23,5	23,4	23,7	22,2	22,1	22,2
$T_k [^{\circ}\text{C}]$	23,9	23,6	24,2	23,0	22,8	23,3	23,2	23,1	23,3	22,1	22,0	22,2
$AsR [^{\circ}\text{C}]$	5,9	3,3	7,0	0,5	0,5	0,8	0,7	0,6	1,1	0,6	0,3	0,8
$EsT [^{\circ}\text{C}]$	0,8	0,6	0,9	1,2	0,9	1,3	0,7	0,5	0,7	0,2	0,1	0,4

*OBS: foram excluídos os 10 primeiros registros.

8º andar

Programa A

Edifício E – 8º andar (3º dia) – A												
	P1 (9:56h)			P2 (12:03h)			P3 (14:14h)			P4 (16:20h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
$T_a [^{\circ}\text{C}]$	23,6	23,1	24,0	23,3	23,0	23,9	25,9	25,3	26,4	24,5	24,3	24,9
$\bar{T}_r [^{\circ}\text{C}]$	24,0	23,5	24,5	24,2	23,6	24,8	26,6	26,0	27,3	24,9	24,6	25,2
$T_o [^{\circ}\text{C}]$	23,8	23,3	24,2	23,7	23,3	24,3	26,3	25,7	26,8	24,7	24,5	25,1
$UR [\%]$	59,6	58,7	60,6	56,4	55,7	56,8	61,0	50,1	62,7	50,1	49,2	51,2
$v_a [\text{m/s}]$	0,03	0,00	0,13	0,08	0,00	0,25	0,01	0,00	0,08	0,004	0,00	0,05
$\text{CO}_2 [\text{ppm}]$	802	699	891	1081	1010	1183	1463	1265	1629	1541	1450	2392
PMV (0,5 clo)	-0,2	-	-	-0,4	-	-	0,6	-	-	0,0	-	-
PMV (1,0 clo)	0,6	-	-	0,4	-	-	1,2	-	-	0,7	-	-

Programa B

Edifício E – 8º andar (3º dia) – B												
	P1 (09:13h)			P2 (11:19h)			P3 (13:30h)			P4 (15:38h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
$T_h [^{\circ}\text{C}]$	23,0	22,9	23,1	24,5	24,0	24,9	25,4	25,2	25,5	25,2	24,9	25,6
$T_b [^{\circ}\text{C}]$	23,3	23,1	23,4	24,5	24,0	24,9	25,0	24,8	25,1	24,9	24,6	25,2
$T_k [^{\circ}\text{C}]$	23,0	22,8	23,1	24,2	23,9	24,5	24,8	24,6	24,9	24,7	24,4	24,9
$AsR [^{\circ}\text{C}]$	0,1	0,0	0,5	0,05	0,0	0,1	0,1	0,0	0,3	0,04	0,0	0,3
$EsT [^{\circ}\text{C}]$	0,04	0,0	0,2	0,3	0,1	0,5	0,6	0,5	0,7	0,6	0,3	0,8

*OBS: foram excluídos os 10 primeiros registros.

Edifício F**19º andar***Programa A*

Edifício F – 19º andar (1º dia) – A												
	P1 (9:26h)			P2 (11:33h)			P3 (13:44h)			P4 (15:53h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T_a [°C]	22,9	22,5	23,5	19,1	18,6	19,5	24,0	23,6	24,4	21,8	21,5	22,2
$\bar{T}_r$ [°C]	23,8	23,4	24,7	20,4	19,6	20,9	24,7	24,3	25,1	21,9	21,5	22,4
T_o [°C]	23,4	23,0	24,1	19,7	19,1	20,1	24,3	24,1	24,6	21,9	21,6	22,2
UR [%]	51,0	47,2	53,7	48,2	46,5	50,7	50,2	43,5	56,7	61,4	51,9	67,3
v_a [m/s]	0,02	0,0	0,18	0,003	0,0	0,03	0,13	0,02	0,28	0,05	0,0	0,17
CO ₂ [ppm]	718	651	812	851	781	903	868	778	1063	758	725	784
PMV (0,5 clo)	-0,4	-	-	-1,6	-	-	-0,4	-	-	-0,8	-	-
PMV (1,0 clo)	0,4	-	-	-0,4	-	-	0,5	-	-	0,1	-	-

Programa B

Edifício F – 19º andar (1º dia) – B												
	P1 (08:44h)			P2 (10:51h)			P3 (12:57h)			P4 (15:11h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T_h [°C]	23,9	23,3	24,5	19,8	19,6	20,1	23,7	23,2	24,3	22,3	21,8	22,8
T_b [°C]	23,5	22,8	24,4	19,0	18,9	19,2	23,5	22,8	24,3	22,1	21,5	22,7
T_k [°C]	23,1	22,3	23,9	19,5	19,3	19,6	22,8	22,0	23,7	22,1	21,4	22,7
AsR [°C]	0,4	0,1	0,6	0,9	0,5	1,7	0,4	0,0	0,6	0,2	0,0	1,0
EsT [°C]	0,9	0,6	1,2	0,3	0,1	0,8	1,0	0,5	1,3	0,3	0,0	0,6

*OBS: foram excluídos os 10 primeiros registros.

11º andar*Programa A*

Edifício F – 11º andar (2º dia) – A												
	P1 (9:11h)			P2 (11:16h)			P3 (13:24h)			P4 (15:45h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T_a [°C]	24,6	23,6	25,2	23,8	22,8	24,7	24,0	23,7	24,2	23,1	22,6	24,0
$\bar{T}_r$ [°C]	26,3	25,6	27,3	25,1	24,0	26,9	24,5	24,3	25,0	23,2	22,9	23,8
T_o [°C]	25,4	24,6	26,0	24,5	23,5	25,5	24,2	24,0	24,6	23,2	22,8	23,9
UR [%]	39,3	37,5	41,3	43,5	39,7	49,5	43,5	41,9	45,6	44,8	40,4	50,9
v_a [m/s]	0,01	0,00	0,13	0,03	0,00	0,23	0,03	0,00	0,20	0,03	0,00	0,10
CO ₂ [ppm]	786	685	842	756	656	914	812	704	919	978	834	1077
PMV (0,5 clo)	0,2	-	-	-0,1	-	-	-0,2	-	-	-0,5	-	-
PMV (1,0 clo)	0,8	-	-	0,6	-	-	0,6	-	-	0,3	-	-

Programa B

Edifício F – 11º andar (2º dia) – B												
	P1 (08:29h)			P2 (10:34h)			P3 (12:40h)			P4 (15:02h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
$T_h [^{\circ}\text{C}]$	23,5	23,1	24,4	24,8	24,7	25,0	24,3	24,1	24,3	23,0	22,8	23,2
$T_b [^{\circ}\text{C}]$	22,4	22,1	22,9	24,1	23,8	24,5	24,5	24,3	24,5	22,8	22,7	23,0
$T_k [^{\circ}\text{C}]$	22,0	21,7	22,4	23,7	23,5	23,9	24,0	23,8	24,2	22,7	22,6	23,0
$AsR [^{\circ}\text{C}]$	1,0	0,5	1,5	2,3	1,9	2,6	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
$EsT [^{\circ}\text{C}]$	1,5	1,3	2,0	1,2	1,0	1,3	0,3	0,1	0,4	0,3	0,1	0,4

*OBS: foram excluídos os 10 primeiros registros.

9º andar

Programa A

Edifício F – 9º andar (3º dia) – A												
	P1 (9:42h)			P2 (11:47h)			P3 (13:54h)			P4 (15:58h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
$T_a [^{\circ}\text{C}]$	20,0	19,5	20,7	22,4	22,0	22,6	24,1	23,4	24,8	23,4	22,6	24,5
$\bar{T}_r [^{\circ}\text{C}]$	21,9	20,8	24,4	23,4	23,0	23,7	26,2	24,4	29,2	24,3	23,3	25,4
$T_o [^{\circ}\text{C}]$	21,0	20,2	22,5	22,9	22,5	23,2	25,2	24,0	26,9	23,9	23,0	25,0
$UR [\%]$	51,8	48,5	54,9	47,7	45,1	50,1	49,1	44,2	55,4	55,6	52,0	57,9
$v_a [\text{m/s}]$	0,05	0,00	0,21	0,06	0,01	0,11	0,11	0,00	0,27	0,14	0,00	0,35
$\text{CO}_2 [\text{ppm}]$	766	709	820	756	700	796	753	677	838	831	722	959
$PMV (0,5 \text{ clo})$	-1,2	-	-	-0,6	-	-	-0,1	-	-	-0,5	-	-
$PMV (1,0 \text{ clo})$	-0,2	-	-	0,2	-	-	0,6	-	-	0,4	-	-

Programa B

Edifício F – 9º andar (3º dia) – B												
	P1 (09:00h)			P2 (11:05h)			P3 (13:12h)			P4 (15:16h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
$T_h [^{\circ}\text{C}]$	19,8	19,6	20,2	22,6	22,5	22,7	24,1	24,0	24,2	23,5	23,2	23,9
$T_b [^{\circ}\text{C}]$	19,3	19,1	19,6	22,3	22,0	22,7	23,3	23,2	23,4	23,0	22,7	23,3
$T_k [^{\circ}\text{C}]$	19,3	19,1	19,6	22,0	21,8	22,1	22,7	22,5	22,9	22,6	22,2	22,9
$AsR [^{\circ}\text{C}]$	0,5	0,3	0,6	0,07	0,0	0,1	3,9	2,6	4,8	0,8	0,3	1,3
$EsT [^{\circ}\text{C}]$	0,5	0,4	0,8	0,7	0,5	0,8	1,4	1,1	1,7	0,9	0,6	1,2

*OBS: foram excluídos os 10 primeiros registros.

Edifício G

2º andar

Programa A

Edifício G – 2º andar B (1º dia) – A												
	P1 (10:55h)			P2 (12:59h)			P3 (15:03h)			P4 (17:07h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T_a [°C]	23,6	23,6	23,8	23,0	22,8	23,1	23,2	22,8	23,5	23,3	22,9	23,8
$\bar{T}_r$ [°C]	23,9	23,9	24,2	23,5	23,2	23,9	24,0	23,4	24,8	23,9	23,5	24,4
T_o [°C]	23,8	23,8	24,0	23,2	23,0	23,5	23,6	23,2	24,0	23,6	23,2	24,1
UR [%]	59,2	56,7	62,1	56,3	54,6	57,7	58,2	55,6	61,0	58,8	56,4	61,8
v_a [m/s]	0,002	0,00	0,07	0,08	0,00	0,19	0,10	0,00	0,28	0,04	0,01	0,16
CO ₂ [ppm]	796	774	825	741	712	794	804	769	846	907	842	982
PMV (0,5 clo)	-0,2	-	-	-0,5	-	-	-0,5	-	-	-0,3	-	-
PMV (1,0 clo)	0,6	-	-	0,3	-	-	0,4	-	-	0,5	-	-

Programa B

Edifício G – 2º andar B (1º dia) – B												
	P1 (10:11h)			P2 (12:17h)			P3 (14:21h)			P4 (16:25h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T_h [°C]	23,9	23,8	24,1	23,0	22,9	23,2	23,5	23,2	23,8	23,7	23,4	23,9
T_b [°C]	23,8	23,6	24,0	23,1	22,9	23,2	23,4	23,1	23,9	23,5	23,2	23,9
T_k [°C]	23,6	23,4	23,8	22,8	22,5	22,9	23,3	23,0	23,7	23,2	22,9	23,6
AsR [°C]	0,02	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,1	0,3	0,01	0,0	0,1
EsT [°C]	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	0,5	0,1	0,0	0,3	0,5	0,2	0,8

*OBS: foram excluídos os 10 primeiros registros.

8º andar

Programa A

Edifício G – 8º andar C (2º dia) – A												
	P1 (10:44h)			P2 (12:55h)			P3 (15:18h)			P4 (17:35h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T_a [°C]	22,2	22,0	22,5	24,4	24,3	24,8	23,4	23,2	24,0	24,0	24,2	23,9
$\bar{T}_r$ [°C]	23,2	22,8	23,6	25,4	24,9	26,0	24,0	23,7	24,5	24,6	24,2	25,2
T_o [°C]	22,7	22,5	23,0	24,9	24,6	25,4	23,7	23,5	24,2	24,3	24,1	24,6
UR [%]	64,9	64,0	66,3	57,1	55,9	57,9	58,7	57,4	60,5	59,5	58,5	61,2
v_a [m/s]	0,06	0,01	0,14	0,08	0,00	0,24	0,04	0,00	0,16	0,03	0,00	0,09
CO ₂ [ppm]	667	614	739	726	671	831	841	817	940	751	702	826
PMV (0,5 clo)	-0,6	-	-	0,0	-	-	-0,3	-	-	0,0	-	-
PMV (1,0 clo)	0,3	-	-	0,7	-	-	0,5	-	-	0,7	-	-

Programa B

Edifício G – 8º andar C (2º dia) – B												
	P1 (10:00h)			P2 (12:11h)			P3 (14:27h)			P4 (16:51h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
$T_h [^{\circ}\text{C}]$	22,5	22,4	22,6	24,5	24,4	24,6	23,6	23,5	23,7	24,3	24,1	24,4
$T_b [^{\circ}\text{C}]$	22,3	22,1	22,5	24,4	24,3	24,5	23,4	23,3	23,5	24,2	24,0	24,4
$T_k [^{\circ}\text{C}]$	22,2	22,0	22,5	24,3	24,2	24,3	22,9	22,8	23,1	23,9	23,7	24,0
$AsR [^{\circ}\text{C}]$	0,3	0,1	0,5	0,03	0,0	0,1	0,2	0,0	0,3	0,1	0,0	0,5
$EsT [^{\circ}\text{C}]$	0,3	0,0	0,5	0,2	0,1	0,3	0,7	0,5	0,8	0,4	0,2	0,5

*OBS: foram excluídos os 10 primeiros registros.

Edifício H

5º andar

Programa A

Edifício H – 5º andar (1º dia) – A												
	P1 (9:05h)			P2 (11:13h)			P3 (13:23h)			P4 (15:32h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
$T_a [^{\circ}\text{C}]$	22,1	21,7	22,6	22,9	22,3	23,7	21,0	20,8	21,1	22,2	22,0	22,4
$\bar{T}_r [^{\circ}\text{C}]$	23,9	23,4	24,7	25,5	24,5	27,4	21,1	21,0	21,7	23,4	22,7	24,7
$T_o [^{\circ}\text{C}]$	23,0	22,7	23,5	24,2	23,4	25,6	21,1	20,9	21,4	22,8	22,4	23,4
$UR [\%]$	52,5	50,6	53,0	49,5	47,6	50,6	55,4	55,1	55,7	53,2	51,8	55,6
$v_a [\text{m/s}]$	0,01	0,00	0,09	0,02	0,00	0,07	0,13	0,00	0,23	0,07	0,00	0,32
$\text{CO}_2 [\text{ppm}]$	481	473	530	538	509	582	606	577	680	788	739	818
PMV (0,5 clo)	-0,5	-	-	-0,2	-	-	-1,4	-	-	-0,7	-	-
PMV (1,0 clo)	0,3	-	-	0,6	-	-	-0,2	-	-	0,2	-	-

Programa B

Edifício H – 5º andar (1º dia) – B												
	P1 (08:23h)			P2 (10:30h)			P3 (12:40h)			P4 (14:50h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
$T_h [^{\circ}\text{C}]$	22,8	22,6	23,0	22,4	22,3	22,6	20,7	20,6	20,9	22,2	22,0	22,4
$T_b [^{\circ}\text{C}]$	22,1	21,7	22,6	21,5	21,4	21,6	20,6	20,4	20,8	-	-	-
$T_k [^{\circ}\text{C}]$	22,7	22,4	23,0	21,1	21,0	21,5	20,5	20,3	20,8	-	-	-
$AsR [^{\circ}\text{C}]$	0,9	0,6	1,1	2,5	1,6	3,2	0,4	0,1	1,2	-	-	-
$EsT [^{\circ}\text{C}]$	0,2	0,0	0,4	1,2	0,9	1,5	0,2	0,0	0,4	-	-	-

*OBS: foram excluídos os 10 primeiros registros.

3º andar

Programa A

Edifício H – 3º andar C (2º dia) – A												
	P1 (8:34h)			P2 (10:41h)			P3 (12:47)			P4 (15:00h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T_a [°C]	24,4	24,3	24,7	24,9	24,7	25,1	24,9	24,6	25,1	24,4	23,9	24,8
$\bar{T}_r$ [°C]	25,3	25,1	25,6	25,9	25,2	26,5	27,3	25,9	28,7	25,6	24,9	26,4
T_o [°C]	24,9	24,7	25,1	25,4	25,0	25,8	26,1	25,3	26,9	25,0	24,4	25,5
UR [%]	48,7	46,4	52,8	48,5	46,4	49,9	46,9	44,8	48,6	49,0	47,2	51,0
v_a [m/s]	0,02	0,00	0,07	0,10	0,00	0,25	0,06	0,00	0,19	0,04	0,00	0,14
CO ₂ [ppm]	648	594	744	842	767	907	714	684	774	944	898	990
PMV (0,5 clo)	0,0	-	-	0,0	-	-	0,3	-	-	0,1	-	-
PMV (1,0 clo)	0,7	-	-	0,7	-	-	0,9	-	-	0,7	-	-

Programa B

Edifício H – 3º andar (2º dia) – B												
	P1 (07:52h)			P2 (09:59h)			P3 (12:04h)			P4 (14:17h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T_h [°C]	24,5	24,4	24,9	24,5	24,4	24,7	25,1	24,8	25,3	24,3	24,0	24,6
T_b [°C]	24,2	23,8	24,4	24,4	24,2	24,5	24,5	24,2	24,7	23,9	23,6	24,3
T_k [°C]	24,0	23,8	24,3	24,3	24,0	24,5	24,1	23,8	24,3	23,8	23,4	24,3
AsR [°C]	0,04	0,0	0,1	0,3	0,1	0,6	1,3	1,1	1,6	0,6	0,4	0,8
EsT [°C]	0,6	0,1	0,9	0,3	0,1	0,5	1,0	0,9	1,2	0,4	0,2	0,7

*OBS: foram excluídos os 10 primeiros registros.

4º andar

Programa A

Edifício H – 4º andar (3º dia) – A												
	P1 (8:26h)			P2 (10:38h)			P3 (12:47h)			P4 (14:55h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T_a [°C]	23,6	23,6	23,9	24,5	24,3	24,7	23,7	23,6	23,8	24,1	23,8	24,3
$\bar{T}_r$ [°C]	24,0	23,8	24,4	25,1	24,9	25,6	24,9	24,4	25,5	25,6	24,7	26,4
T_o [°C]	23,8	23,7	24,1	24,8	24,6	25,1	24,3	24,0	24,7	24,8	24,4	25,4
UR [%]	64,2	62,8	66,0	57,8	55,9	58,8	59,9	59,0	60,6	59,5	58,2	60,5
v_a [m/s]	0,07	0,00	0,21	0,02	0,00	0,12	0,05	0,00	0,12	0,06	0,01	0,14
CO ₂ [ppm]	710	634	821	717	690	755	652	619	808	759	738	818
PMV (0,5 clo)	-0,3	-	-	0,1	-	-	-0,1	-	-	0,0	-	-
PMV (1,0 clo)	0,5	-	-	0,8	-	-	0,6	-	-	0,7	-	-

Programa B

Edifício H – 4º andar (3º dia) – B												
	P1 (07:43h)			P2 (09:55h)			P3 (12:05h)			P4 (14:11h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
$T_h [^{\circ}\text{C}]$	23,7	23,4	23,8	24,7	24,6	24,8	23,7	23,6	23,7	24,2	24,1	24,4
$T_b [^{\circ}\text{C}]$	23,6	23,5	23,9	24,5	24,3	24,7	23,4	23,3	23,5	25,2	25,0	25,3
$T_k [^{\circ}\text{C}]$	23,5	23,3	23,8	23,8	23,6	23,8	22,9	22,8	23,0	23,5	23,4	23,7
AsR[°C]	0,4	0,0	0,5	0,1	0,0	0,3	0,8	0,6	1,1	1,2	0,9	1,6
EsT[°C]	0,2	0,0	0,4	0,9	0,0	1,1	0,8	0,6	0,9	0,7	0,6	0,9

*OBS: foram excluídos os 10 primeiros registros.

Edifício I

25º andar

Programa A

Edifício I – 25º andar (1º dia) – A												
	P1 (10:35h)			P2 (11:59h)			P3 (14:05h)			P4 (16:14h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
$T_a [^{\circ}\text{C}]$	24,5	24,2	24,9	23,6	23,3	23,9	23,1	22,5	23,6	24,3	23,9	24,6
$\bar{T}_r [^{\circ}\text{C}]$	25,3	24,9	25,9	24,7	24,3	25,9	24,4	23,7	25,1	25,2	24,6	26,2
$T_o [^{\circ}\text{C}]$	24,9	24,6	25,4	24,1	23,8	24,9	23,8	23,1	24,3	24,8	24,3	25,3
UR [%]	46,9	45,2	49,0	53,1	50,4	56,4	53,6	49,9	61,2	49,4	47,9	51,6
$v_a [\text{m/s}]$	0,04	0,00	0,11	0,01	0,00	0,13	0,03	0,00	0,10	0,05	0,00	0,20
CO ₂ [ppm]	1194	1106	1286	917	884	1021	1053	972	1098	1189	1154	1240
PMV (0,5 clo)	0,0	-	-	-0,1	-	-	-0,3	-	-	0,0	-	-
PMV (1,0 clo)	0,7	-	-	0,6	-	-	0,5	-	-	0,7	-	-

Programa B

Edifício I – 25º andar (1º dia) – B												
	P1 (09:52h)			P2 (11:59h)			P3 (14:06h)			P4 (16:14h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
$T_h [^{\circ}\text{C}]$	24,9	24,7	25,0	24,3	24,1	24,6	23,3	23,0	23,7	24,2	24,1	24,3
$T_b [^{\circ}\text{C}]$	24,5	24,0	24,8	23,5	23,1	24,1	22,7	22,0	23,2	24,7	24,6	24,9
$T_k [^{\circ}\text{C}]$	24,2	23,1	24,9	22,9	22,3	23,7	22,7	22,1	23,2	23,5	23,3	23,7
AsR[°C]	0,04	0,0	0,1	0,7	0,3	1,3	0,3	0,0	0,6	0,08	0,0	0,1
EsT[°C]	0,6	0,0	1,7	1,5	0,7	2,1	0,6	0,4	0,9	0,7	0,4	0,9

*OBS: foram excluídos os 10 primeiros registros.

24º andar

*OBS: A partir desta medição, terminou o horário de verão 2009-2010.

Programa A

Edifício I – 24º andar C (2º dia) – A												
	P1 (9:30h)			P2 (11:39h)			P3 (13:48h)			P4 (15:57h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T_a [°C]	24,0	23,9	24,1	23,8	23,6	24,1	23,1	22,8	23,5	22,9	22,6	23,1
$\bar{T}_r$ [°C]	24,6	24,4	24,9	24,6	24,3	25,2	24,3	23,6	25,1	25,3	24,5	26,1
T_o [°C]	24,3	24,2	24,5	24,2	24,0	24,7	23,7	23,3	24,2	24,1	23,7	24,5
UR [%]	49,2	48,8	49,6	47,0	46,4	48,5	50,6	49,9	52,4	55,8	54,7	57,3
v_a [m/s]	0,06	0,01	0,19	0,03	0,00	0,12	0,11	0,00	0,34	0,06	0,00	0,13
CO ₂ [ppm]	794	652	961	1209	1179	1232	947	906	1011	827	789	906
PMV (0,5 clo)	-0,2	-	-	-0,2	-	-	-0,6	-	-	-0,2	-	-
PMV (1,0 clo)	0,5	-	-	0,6	-	-	0,3	-	-	0,5	-	-

Programa B

Edifício I – 24º andar (2º dia) – B												
	P1 (08:45h)			P2 (10:54h)			P3 (13:05h)			P4 (15:13h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T_h [°C]	24,1	24,0	24,3	24,3	24,2	24,4	23,0	22,6	23,3	23,0	22,8	23,2
T_b [°C]	24,0	23,8	24,4	24,1	24,0	24,2	22,7	22,3	23,2	22,5	22,2	22,8
T_k [°C]	24,0	23,8	25,5	24,0	23,9	24,4	22,5	22,0	23,1	22,4	22,0	22,8
AsR [°C]	0,07	0,0	0,1	0,2	0,1	0,5	0,2	0,0	0,5	1,5	1,1	2,0
EsT [°C]	0,2	0,0	1,2	0,3	0,0	0,4	0,4	0,0	1,2	0,6	0,3	0,8

*OBS: foram excluídos os 10 primeiros registros.

23º andar

Programa A

Edifício I – 23º andar (3º dia) – A												
	P1 (8:26h)			P2 (10:38h)			P3 (12:47h)			P4 (14:55h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T_a [°C]	24,0	23,6	24,4	23,5	23,2	23,7	22,8	22,5	23,0	23,2	22,8	23,8
$\bar{T}_r$ [°C]	26,1	25,3	27,7	24,8	24,3	25,4	24,0	23,4	24,7	24,8	23,9	26,4
T_o [°C]	25,1	24,6	25,7	24,1	23,8	24,5	23,4	23,0	23,8	24,0	23,5	25,1
UR [%]	52,0	49,4	54,5	49,7	48,2	51,3	49,9	48,2	51,3	51,1	48,3	53,9
v_a [m/s]	0,07	0,00	0,28	0,04	0,00	0,14	0,02	0,00	0,13	0,07	0,00	0,21
CO ₂ [ppm]	974	876	1062	791	712	911	797	764	836	915	883	969
PMV (0,5 clo)	0,0	-	-	-0,2	-	-	-0,4	-	-	-0,3	-	-
PMV (1,0 clo)	0,7	-	-	0,5	-	-	0,4	-	-	0,5	-	-

Programa B

Edifício I – 23º andar (3º dia) – B												
	P1 (09:09h)			P2 (11:24h)			P3 (13:39h)			P4 (15:46h)		
	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx
T_h[°C]	23,5	23,5	23,6	23,7	23,6	23,9	22,4	22,3	22,6	23,2	23,1	23,3
T_b[°C]	22,9	22,5	23,2	23,2	23,0	23,4	22,0	21,8	22,3	22,7	22,5	22,9
T_k[°C]	23,0	22,7	23,2	23,1	22,8	23,4	21,5	21,4	21,7	22,3	22,0	22,6
AsR[°C]	2,3	2,1	2,5	0,5	0,3	0,6	0,7	0,5	1,0	1,7	1,1	2,0
EsT[°C]	0,6	0,4	0,8	0,6	0,3	1,0	0,9	0,7	1,1	1,0	0,6	1,2

*OBS: foram excluídos os 10 primeiros registros.