

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

LUCIANO E. F. LUIZETTO

**CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES DE  
ESCRITÓRIO**

São Paulo  
2014

**LUCIANO E. F. LUIZETTO**

**CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES DE  
ESCRITÓRIO**

**Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do título de MBA  
em Gerenciamento de Facilidades**

**São Paulo  
2014**

**LUCIANO E. F. LUIZETTO**

**CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES DE  
ESCRITÓRIO**

**Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do título de MBA  
em Gerenciamento de Facilidades**

**Área de Concentração:  
Gerenciamento de Facilidades / MBA -  
USP**

**Orientador:  
Prof. Dr. Racine T. A. Prado**

**São Paulo  
2014**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Luizetto, Luciano Emmanuel Ferreira**  
**Conforto térmico em ambientes de escritório / L.E.F.**  
**Luizetto. -- São Paulo, 2014.**  
**67p.**

**Monografia (MBA em Gerenciamento de Facilidades) – Uni -  
versidade de São Paulo. POLI.INTEGRA.**

**1.Ar condicionado 2.Conforto térmico 3.Conforto ambiental**  
**4.Balanceamento de ar 5.TAB I.Universidade de São Paulo.**  
**POLI.INTEGRA II.t.**

Dedico este trabalho à minha esposa e minha filha, que são minhas motivações para seguir sempre adiante e crescer.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Prof. Dr. Racine, por todo apoio educacional durante o trabalho. À Bianca, que deu grande auxílio na formatação da monografia e aos meus colegas de MBA de Gerenciamento de Facilidades da USP, pelos extensos debates e trocas de informações que motivaram ainda mais o desenvolvimento desse trabalho.

## RESUMO

Atualmente não há o que se questionar sobre a relação entre condições de ambiente de trabalho e rendimento dos respectivos usuários. As condições para desenvolvimento das atividades dentro da empresa são de grande importância. Maior ainda em ambientes internos de edifícios de escritório, onde há o condicionamento do ar e exigem-se padrões adequados de qualidade do ar interior e conforto térmico.

Gerentes de Facilidades tem interesse na qualidade de ar em ambientes, pelo uso racional do sistema, conforto e, conseqüentemente, melhor uso de energia. Por outro lado, empresas desejam conforto aos funcionários e redução de absenteísmo e afastamentos por problemas de saúde.

O conteúdo a seguir informa exatamente esses pontos ligados aos padrões adequados de saúde, em ambientes de escritórios, onde as pessoas passam a maior parte de seu tempo. O estudo de caso está vinculado a uma pesquisa, com avaliação das condições de um escritório em São Paulo, com base nos parâmetros normatizados de conforto térmico.

Palavras-chave: Ar condicionado. Conforto térmico. Conforto ambiental. Balanceamento de ar. TAB.

## **ABSTRACT**

Currently almost there isn't any question about relationship between workplace conditions and employees' performance. The conditions for activities developments at companies are most important. Even larger indoor office buildings, where there is air conditioning that require an appropriate standard of indoor air quality environmental and comfort.

Facilities Managers (FM) are interested in the quality of air, system's rational use, thermal comfort and, consequently, better use of energy. Whatever, employers desire comfort of employees for reduce absenteeism and sick leave for health problems.

The paper bellow tells exactly these points related to appropriate standards of health at environmental offices, where people spend most of their time. The case is linked to an investigation, about conditions in the office at São Paulo city, based on standard parameters of thermal comfort.

Key words: air conditioning. Thermal comfort. Environmental comfort. Air balance. Tests, adjusting and balance – TAB.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Pesquisa NIOSH sobre fontes de problema na qualidade do ar interior .....	13
Figura 3.1 – Relação entre desempenho no trabalho e temperatura ambiente, baseado em análise estatística .....	21
Figura 3.2 – Relação entre PMV e PPD .....	25
Figura 3.3 – Relação da velocidade do ar versus compensação de temperatura ....	27
Figura 3.4 – Velocidade vertical do ar – Medição de vazão .....	33
Figura 4.1 – Circuito primário de distribuição de água gelada .....	36
Figura 4.2 – Circuito secundário de distribuição de água gelada .....	37
Figura 4.3 – Distribuição e zoneamento (quadrantes).....	38
Figura 4.4 – Zoneamento – áreas atendidas por cada fan-coil, limitados pela linha vermelha .....	39
Figura 4.5 – Conexões típicas do fan-coil que atende o pavimento tipo .....	40
Figura 4.6 – Detalhe de instalação de <i>troffer</i> simples .....	41
Figura 4.7 – Equipamento de aquisição de dados .....	44
Figura 4.8 – Pontos de coleta no pavimento-tipo .....	47
Figura 4.9 – Quantidade de pessoas presentes (ocupantes) no pavimento-tipo, no dia da coleta .....	50
Figura 4.10 – Temperatura Operativa ótima em função da vestimenta e atividade, considerando umidade relativa de 50% (aceita variação de 10%).....	51
Figura 4.11 – Máxima velocidade média do ar admissível, em função da temperatura do ar local e intensidade de turbulência .....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Estimativa de ganhos potenciais de produtividade, devido melhorias nas condições de conforto do ambiente interior – em 1996 .....	16
Tabela 3.1 – Escala de sensação térmica.....	23
Tabela 3.2 – Intervalos dos parâmetros para determinação do PMV.....	23
Tabela 3.3 – Tabela do PMV para atividade metabólica de 1,2 met (69,6 W/m <sup>2</sup> ) e umidade relativa do ar de 50%.....	24
Tabela 3.4 – Parâmetros de conforto .....	26
Tabela 3.5 – Ambiente térmico aceitável para conforto geral.....	28
Tabela 3.6 – Categorias de conforto térmico e respectivas percentagens de insatisfeitos devido ao conforto térmico geral e desconforto localizado .....	29
Tabela 3.7 – Diferença de temperatura do ar vertical, entre cabeça e tornozelo (1,1 e 0,1m do chão) para as três categorias de ambientes térmicos .....	30
Tabela 3.8 – Variação da temperatura do piso para as três categorias de ambientes térmicos.....	30
Tabela 3.9 – Temperatura assimétrica radiante para as três categorias de ambientes térmicos .....	30
Tabela 3.10 - Exemplos de temperatura operativa e velocidade do ar recomendadas, baseados na ISO 7730 e CR-1752.....	30
Tabela 4.1 – Características previstas no projeto padrão do pavimento-tipo, divididos por zonas A a H.....	40
Tabela 4.2 – Informações de área de um pavimento tipo .....	42
Tabela 4.3 – Registro de reclamações da empresa no condomínio.....	46
Tabela 4.4 – Identificação dos pontos e locais definidos no pavimento-tipo para coleta de amostras .....	48
Tabela 4.5 – Valores das amostras coletadas no pavimento-tipo e cálculo de índices To, Tu e DR.....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BAC	Bomba de água de condensação
BAG	Bomba de água gelada
CAG	Central de Água de Gelada
CBM	<i>Condition-Based Maintenance</i> (Manutenção baseada em condição)
CIB	<i>International Council for Research and Innovation in Building and Construction</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
COV	Composto Volátil Orgânico
CPM	Ciclos por minuto
CPU	Central Processing Unit (Unidade Central de Processamento)
CSA	<i>Canadian Standards Association</i>
DC	<i>Direct current</i> (corrente contínua)
DGA	<i>Dissolved Gas Analysis</i> (Análise de gases dissolvidos)
END	Ensaios não destrutivos
ESA	<i>Electrical Signature Analysis</i> (Análise de assinatura elétrica)
EUA	Estados Unidos da América
FC	<i>Fan coil</i>
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (Análise do modo e efeitos de falhas)
FTA	<i>Failure Tree Analysis</i> (Análise de árvore de falhas)
FT-IR	<i>Fourier Transform – Infrared Spectroscopy</i>
IA	Índice de absorção
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IP	Índice de polarização
ISO	International Organization for Standardization
MC	Manutenção corretiva

MCC	Manutenção centrada em confiabilidade
MP	Manutenção preventiva
MP-BC	Manutenção preventiva baseada em condição
MPd	Manutenção preditiva
MP-P	Manutenção preventiva periódica
PdM	<i>Predictive Maintenance</i>
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied
PPI	Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas
RCM	<i>Reliability-Centered Maintenance (Manutenção baseada em confiabilidade)</i>
RTF	<i>Run-to-Failure</i>
TR	Tonelada de Refrigeração
VAV	Volume de ar variável
VME	Voto Médio Estimado
VRF	<i>Variable refrigerant flow</i> (Volume variável de refrigerante)
VOC	<i>Volatile Organic Compost</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

°C	Unidade de temperatura – graus Celsius
$\Delta$	Delta
$\Delta_t$	Diferença de temperatura
$\theta$	Fi
CFC	Clorofluorcarbono
Clo	Unidade de isolamento térmico da vestimenta - clothing (= 0,155 m <sup>2</sup> . °C/W)
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
<i>dB</i>	Decibel
$f_l$	Frequência de linha (60 Hz)
HC	Hidrocarbono
HCFC	Hidroclorofluorcarbonos
HFC	Hidrofluorcarbono
Hz	Hertz – Unidade de frequência elétrica – ciclos por segundo
m <sup>2</sup>	Unidade de área – Metro quadrado
m <sup>3</sup>	Unidade de volume – Metro cúbico
m/s	Unidade de velocidade - Metros por segundo
mm/s	Unidade de velocidade - Milímetros por segundo
m <sup>3</sup> /s	Unidade de vazão - Metro cúbico por segundo
met	Unidade de Taxa metabólica (= 58,2 W/m <sup>2</sup> )
Pa	Unidade de pressão – Pascal
Q	Vazão
T	Temperatura
T <sub>a</sub>	Temperatura do ar
T <sub>r</sub>	Temperatura radiante média
W	Unidade de Potência ou Trabalho - Watt

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	12
2.	OBJETIVO, JUSTIFICATIVA E METODOLOGIA.....	15
2.1.	Objetivo da monografia .....	15
2.2.	Justificativa do presente trabalho .....	15
2.3.	Metodologia .....	17
2.3.1.	Aspectos gerais .....	17
2.3.2.	Método empregado .....	17
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	19
3.1.	Sistema de ar condicionado e parâmetros básicos de conforto .....	19
3.2.	Produtividade relacionada ao conforto térmico.....	20
3.3.	Os índices PMV ( <i>Predicted Mean Vote</i> ) e PPD ( <i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i> ) de Fanger .....	21
3.4.	Parâmetros de qualidade ambiental – ventilação, temperatura e umidade	25
3.5.	Condição térmica aceitável.....	28
3.6.	Tipos de sistemas de condicionamento de ar.....	31
4.	ESTUDO DE CASO – VERIFICAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO E ADEQUAÇÃO DO SISTEMA.....	35
4.1.	Descrição do sistema de ar condicionado padrão do prédio – sistema central.....	35
4.2.	Condicionadores de ar do pavimento-tipo – <i>fan-coils</i> .....	36
4.3.	Características do pavimento-tipo e layout – ambiente relativo ao estudo de caso .....	41
4.4.	Registro de informações de campo .....	43
4.4.1.	Instrumentação .....	44
4.4.2.	Levantamento de dados em campo .....	45
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
	REFERÊNCIAS.....	57
	ANEXO 1 .....	60

## 1. INTRODUÇÃO

O mais antigo documento com registro sobre edifício de escritório que se tem conhecimento se trata de uma carta de Giorgio Vasari com um pedido feito pelos Medici de Florença para a Galleria degli Uffizi, sobre um edifício para treze magistrados civis de sua cidade, por volta do ano 1565 na Itália (FUJIOKA, 1996).

A Europa despontou em sedes administrativas e prédios comerciais de escritórios, porém, de fato, nos EUA foi onde apareceu a torre vertical de escritórios. A partir de 1871, foi iniciado na pioneira cidade de Chicago um período de grandes inovações arquitetônicas para edifícios. As construções estavam atreladas às necessidades frente ao desenvolvimento natural da indústria e comércio.

Por volta de 1906, começaram a ser desenvolvidos os primeiros estudos sobre o conforto dos edifícios, como o de Max Weber e Frederick Taylor, deixando de lado somente o foco construtivo e comercial. Entre 1910 e 1920, atrelada a esse conforto, a importância era o aumento da eficiência no trabalho (FIALHO, 2007).

As inovações ao longo do tempo foram marcantes. Da década de 80 em diante, com a introdução do computador e demanda de infraestrutura, necessária pela expansão das empresas, bem como o respectivo aumento da carga térmica instalada nos ambientes, os projetos de ventilação e condicionamento de ar passaram a ser primordiais.

As condições do ambiente e o rendimento dos usuários estão diretamente relacionados. Deve ser provido conforto para os usuários e, conseqüentemente, condições para desenvolvimento de suas atividades dentro da empresa. Daí a importância para essa questão no ambiente interno em edifícios de escritórios.

A qualidade do ambiente interno está relacionada aos confortos térmico, luminoso, acústico, qualidade do ar interior, ergonomia, estética e segurança. Deve ser tratada com atenção pelas empresas, por seus próprios benefícios, bem como pelo direito do bem-estar e das pessoas respirarem um ar limpo. Inclusive, é também de grande importância para o sucesso econômico da empresa.

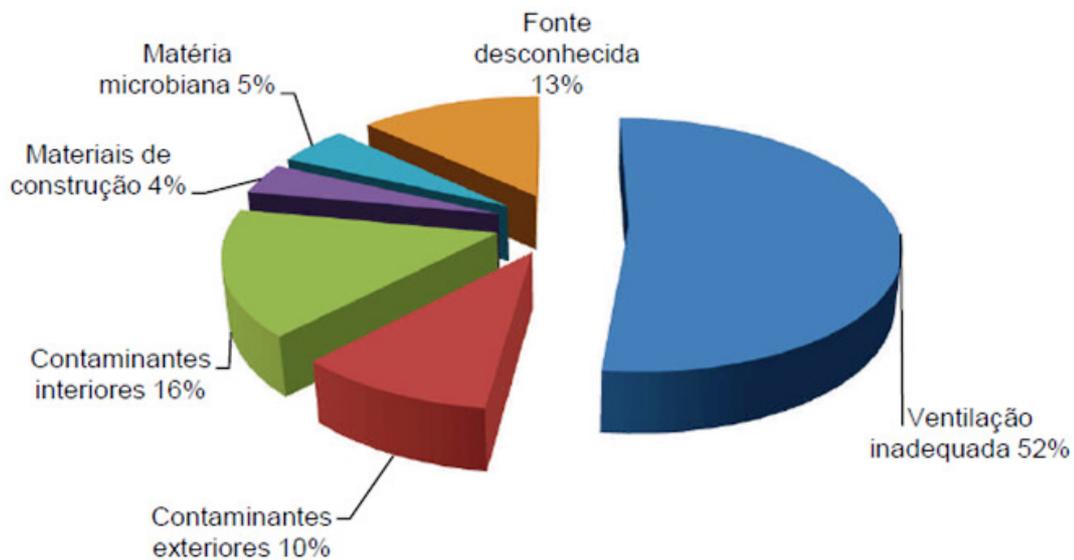
A exposição dos usuários às condições não adequadas de qualidade do ambiente interno, por períodos prolongados, pode causar riscos à saúde por diversos fatores. As pessoas passam maior parte do seu tempo em ambientes fechados, principalmente em escritórios.

Estudos comprovam que a produtividade dos indivíduos em ambientes de escritório pode ser melhorada ou prejudicada em função dos parâmetros associados ao conforto térmico (SILVA, L. B. 2001).

Portanto, a pesquisa em questão será direcionada especificamente para o conforto térmico e sua relação com os padrões adequados para saúde.

Segundo pesquisa com aproximadamente 500 empresas na última década, realizada pela NIOSH – National Institute of Occupational Safety and Health, descobriu-se que as principais fontes dos problemas de qualidade interna do ar estavam relacionadas à ventilação, conforme representado na figura a seguir.

**Figura 1.1 – Pesquisa NIOSH sobre fontes de problema na qualidade do ar interior**



**Fonte: NIOSH**

Os edifícios com problemas na qualidade do ar são chamados de “doentes”, segundo Robertson, G. (1995). Esses edifícios apresentam em torno de 20% de usuários com uma série de sintomas, dentre eles: dor de cabeça, náusea, cansaço, irritação nos olhos, nariz e garganta, falta de concentração e problemas de pele. Daí a expressão Sick Building Syndrome (SBS), caracterizado por ter usuários com doenças temporárias cujos sintomas normalmente desaparecem quando deixam de frequentar os recintos de um edifício “doente”.

Outra expressão para problemas relacionados à qualidade do ar interior é Building Related Illness (BRI), que já trata de uma infecção verdadeira dos usuários (não temporária) que pode ser causada por bactérias, vírus e fungos.

Em outras palavras, o edifício SBS agrava as doenças, enquanto o edifício BRI provoca as doenças.

O conforto térmico é afetado inicialmente pela qualidade do próprio projeto e execução do sistema de ar condicionado e ventilação e, posteriormente, por sua manutenção (estado de conservação dos equipamentos).

A observância de legislações e normas técnicas relacionadas a esse assunto é obrigatória. Nesse campo, o estudo de Fanger (1972) serviu de base para as normas ISO 77330 (2005) e ASHRAE 55 (2010), que discursam sobre os parâmetros de conforto térmico (temperatura, umidade relativa, velocidade do ar, temperatura radiante média), objeto deste estudo.

## **2. OBJETIVO, JUSTIFICATIVA E METODOLOGIA**

### **2.1. Objetivo da monografia**

O objetivo da monografia é caracterizar o conforto térmico, com o estudo de caso de um ambiente de escritório em edifício comercial, frente às queixas e reclamações formais dos respectivos ocupantes sobre desconforto. O trabalho descreve ainda sobre os benefícios e problemas relacionados ao assunto.

### **2.2. Justificativa do presente trabalho**

Este trabalho discorre sobre o conforto térmico em ambientes de escritório, principalmente com relação à adequação do ambiente às boas condições oferecidas para os usuários e influência em suas atividades diárias. As condições do ambiente são essenciais e influenciam na qualidade de vida e do trabalho dos ocupantes do edifício. A falta de conforto térmico e a má qualidade do ar interior ocorrem por uma série de fatores, dentre eles o projeto e a adequação das instalações ao layout do ambiente.

Fisk (2000) estimou na tabela 2.1 a seguir, os valores de redução de custos e ganhos de produtividade em relação a um ambiente saudável, nos EUA, apesar da dificuldade em se calcular isso e da considerável incerteza dessas estimativas.

Como mencionado, o conforto térmico faz parte dos requisitos para um adequado padrão de saúde em ambientes interiores e deve ser tratado com extrema importância, até mesmo pelo fato das pessoas passarem grande parte de seu tempo diário em escritórios, que são ambientes fechados com circulação de ar artificial (ar condicionado).

**Tabela 2.1 – Estimativa de ganhos potenciais de produtividade, devido melhorias nas condições de conforto do ambiente interior – em 1996**

<b>Fontes de ganho de produtividade</b>	<b>Potencial anual de benefícios para a saúde</b>	<b>E.U.A. Potencial anual de economia ou de ganhos de produtividade US\$</b>
Redução de doenças respiratórias	16 a 37 milhões de casos evitados de resfriados ou gripes	6 - 14 bilhões
Redução de alergias e asma	8% a 25% de diminuição dos sintomas entre os 53 milhões que sofrem com alergias e 16 milhões que são asmáticos	1 - 4 bilhões
Redução dos sintomas da Síndrome dos Edifícios Doentes	20% a 50% de redução nos sintomas de Síndrome dos Edifícios Doentes frequentemente vivenciados no trabalho por cerca de 15 milhões de trabalhadores	10 - 30 bilhões
Melhoria do desempenho devido ajustes da temperatura ambiente e da iluminação	Não aplicável	20 - 160 bilhões

**Fonte: FISK, 2000, adaptada**

Apesar dos indivíduos entre si terem necessidades distintas, especificamente para maximização de seu desempenho, a produtividade pode ser melhorada com a própria melhora dos fatores relacionados ao conforto térmico e, não somente a isso, também à qualidade do ar (apud Silva, AFS 2010).

Assim, se espera que toda e qualquer empresa possa entender o tema e se beneficiar da pesquisa, pela grande massa de empresas que possui unidades de escritório, sejam em grandes ou pequenas áreas. A abrangência está limitada aos ambientes de escritório, com atividades meramente administrativas. Excluem-se desse ambiente, por exemplo, áreas com trabalhos químicos, laboratoriais e galpões industriais.

## **2.3. Metodologia**

### **2.3.1. Aspectos gerais**

Para obtenção das informações para elaboração da dissertação foi realizada revisão bibliográfica em livros, teses de mestrado, internet e artigos de periódicos científicos.

Nessa revisão bibliográfica, foi prioridade:

- Entender os conceitos e princípios essenciais das questões de conforto térmico, por uso de sistemas de ar condicionado;
- Identificar critérios técnicos e comparar referências com sistema real verificado em campo (estudo de caso);
- Indicar alternativas e/ou boas práticas para adequação de ambientes atendidos por sistemas de ar condicionado.

No capítulo 3 é apresentado o conceito sobre ar condicionado e parâmetros básicos, produtividade relacionada ao conforto e condições térmicas aceitáveis.

No capítulo 4 é apresentado o estudo de caso, com informações coletadas em campo, tanto de variáveis como de características ambientais.

No quinto e último capítulo, é apresentada a respectiva conclusão com considerações gerais sobre o tema.

### **2.3.2. Método empregado**

Primeiramente, o ambiente do estudo de caso foi escolhido, em um andar típico de escritório em edifício comercial, principalmente devido queixas de usuários sobre desconforto térmico no ambiente de trabalho. Em seguida, de forma geral, foi feito levantamento de características de layout, ocupação e situação de distribuição de ar e equipamentos que atendem a empresa.

Após isso, de modo pontual, foi feita instalação de equipamento específico para registro das variáveis térmicas ambientais e feita extração para planilha de dados para estudo.

Sobre essa extração, as medições das condições do ar feitas foram comparadas com a norma nacional (ABNT NBR 16401:2008), bem como com as normas internacionais (ISO 7730:2005, ASHRAE Standard 111 e ASHRAE 55:2010).

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Sistema de ar condicionado e parâmetros básicos de conforto

A função básica de um sistema de ar condicionado é gerar conforto em um ambiente, de forma a deixar as pessoas em condições ideais no trabalho, por meio de um processo de tratamento e controle do ar. Para caracterizar o ambiente térmico e conforto, um grande estudioso no assunto, o Prof. Fanger (1972), usou os parâmetros listados a seguir em seus estudos:

- Temperatura;
- Umidade;
- Temperatura média radiante;
- Velocidade do ar;
- Nível de atividade (unidade em met);
- Resistência térmica do vestuário (unidade em clo).

São ainda, segundo Olesen e Parsons (2002, apud Maran 2005), seguindo critérios da norma CR 1752, relacionados os seguintes parâmetros relacionados ao conforto localizado que uma pessoa pode ter:

- Ventilação projetada – DR (*Draught Rate*);
- Diferença vertical de temperatura do ar - temperatura entre tornozelo e cabeça;
- Temperatura do piso;
- Assimetria de temperatura radiante.

Esses parâmetros tem importância por formarem as condições de um ambiente e são necessários para entender os capítulos a seguir.

A ASHRAE 55 (2010), em seu item sobre “condições que garantem o conforto térmico”, descreve seis fatores primários que devem ser abordados com relação a essas condições. São eles:

- Taxa metabólica;
- Isolamento de roupas;
- Temperatura do ar;
- Temperatura radiante;
- Velocidade do ar e;
- Umidade.

Já a norma ABNT NBR 16401-2 (2008), descreve os seguintes fatores que afetam o conforto térmico:

- Temperatura operativa;
- Velocidade do ar e;
- Umidade relativa do ar.

A norma ABNT esclarece ainda que esses parâmetros dependem dos fatores pessoais sobre o tipo de roupa usado e o nível de atividade física das pessoas.

Muitos são os pontos comuns dessas normas e, de forma principal, pode-se destacar o embasamento dessas normas internacionais nos parâmetros de Fanger. Consequentemente, a norma nacional foi baseada nessas normas internacionais.

### **3.2. Produtividade relacionada ao conforto térmico**

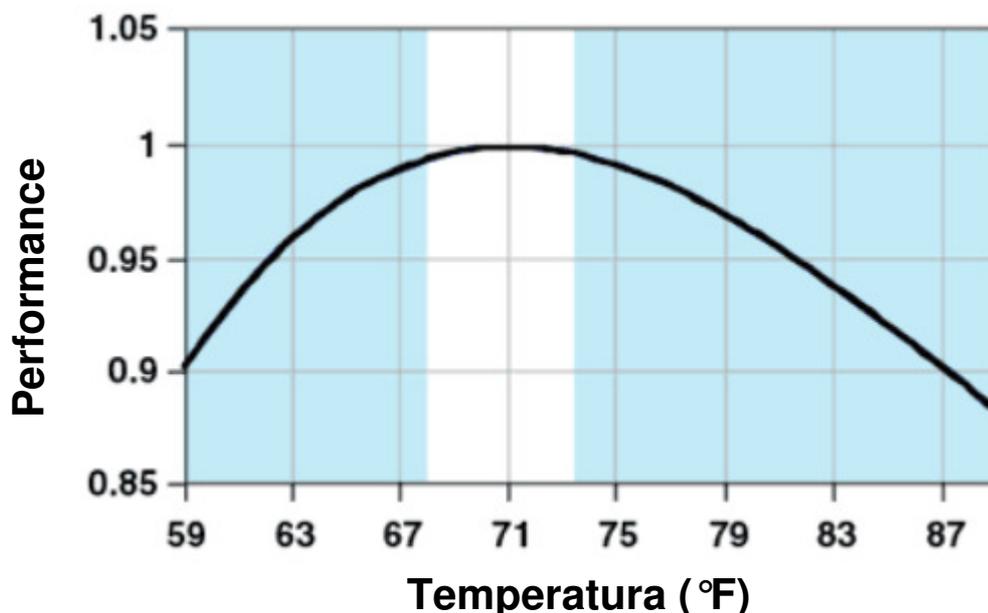
De acordo com uma pesquisa realizada no Canadá por Haghghat e Donnini (1999, apud Suzuki 2010), há uma relação positiva entre a satisfação com o trabalho e a satisfação com a qualidade do ar, ventilação e temperatura.

Fisk e Seppanen (2006), da *Indoor Environment Department* e *Helsinki University of Technology* respectivamente, por meio de um trabalho experimental em *call center* e também em um laboratório que simula um escritório real, desenvolveram testes para se medir a capacidade da pessoa se concentrar.

Os testes foram feitos com a manipulação somente da temperatura, mantendo os demais parâmetros constantes, com exceção do *call center*, cuja temperatura naturalmente variou, sem a necessidade de manipulação. Uma meta-análise de 24 estudos foi completada para avaliar a relação média entre temperatura e desempenho de trabalho, sendo primeiramente os estudos feitos em escritórios e

laboratórios que simulam escritórios e três testes em salas de aula. Os resultados estão representados na figura 3.1 a seguir, por Fisk e Seppanen (2007), onde a curva representa a melhor estimativa do quanto o desempenho varia em função da temperatura. A figura mostra que o desempenho é máximo com 71°F, ou seja, 21,7°C. O bom desempenho está representado na faixa branca e está entre 68°F e 74°C, ou seja, 20°C e 23°C. Fora dessa faixa, percebe-se a mudança na performance. Apesar de o estudo ser americano, esses valores de temperatura são compatíveis e coerentes com o Brasil.

**Figura 3.1 – Relação entre desempenho no trabalho e temperatura ambiente, baseado em análise estatística**



Fonte: Fisk e Seppanen (2007)

### **3.3. Os índices PMV (*Predicted Mean Vote*) e PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) de Fanger**

O professor dinamarquês Fanger (1972) desenvolveu um estudo que foi referência para normas nacionais e internacionais de avaliação para conforto térmico. Serviu de base para as normas ISO 7730 (2005) e ASHRAE 55 (2010) para estabelecer faixas ideais de conforto térmico, por meio dos parâmetros de

temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e temperatura radiante média (apud Suzuki 2010).

Fanger desenvolveu equações de balanço térmico que relacionam as diversas variáveis pessoais e ambientais, com o objetivo de estabelecer condições para obtenção de conforto térmico (apud Maran 2005). A equação geral de conforto desenvolvida por Fanger está representada a seguir:

$$\begin{aligned} PMV = & [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot \{(M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot \\ & [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - P_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot \\ & (5,867 - P_a) - 0,0014 \cdot M(34 - T_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [T_{cl} + 273]^4 - \\ & (T_r + 273)^4\} - f_{cl} \cdot h_c \cdot (T_{cl} - T_a) \} k \end{aligned}$$

Onde:

M = taxa metabólica (W/m<sup>2</sup>);

W = trabalho (W/m<sup>2</sup>);

f<sub>cl</sub> = fator de área da vestimenta (adimensional);

T<sub>a</sub> = temperatura do ar (°C);

T<sub>r</sub> = temperatura radiante média (°C);

P<sub>a</sub> = pressão parcial de vapor d'água (Pa);

T<sub>cl</sub> = temperatura da superfície da vestimenta (°C).

Fanger ainda criou a escala de sensação térmica, chamada de PMV – Predicted Mean Vote, após experimentos com pessoas no interior de câmaras climatizadas, conforme tabela 3.1. Na escala dessa tabela, o valor “zero” se refere à neutralidade (conforto atendido), os valores positivos se referem à sensação de calor e os valores negativos, sensação de frio. O PMV deve se restringir ao intervalo de + 2 até -2, em acordo com os principais parâmetros de determinação indicados na tabela 3.2.

**Tabela 3.1 – Escala de sensação térmica**

+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Ligeiramente quente
0	Neutro
-1	Ligeiramente frio
-2	Frio
-3	Muito frio

Fonte: ASHRAE 55, 1995

**Tabela 3.2 – Intervalos dos parâmetros para determinação do PMV**

Taxa metabólica	46 W/m <sup>2</sup> a 232 W/m <sup>2</sup>	0,8 met a 4 met
Resistência de isolamento das roupas	0 a 0,310 m <sup>2</sup> .°C/W	0 clo a 2 clo
Temperatura radiante média	10 a 40 °C	
Temperatura do ar	10 a 30 °C	
Velocidade relativa do ar	0 a 1 m/s	
Pressão parcial do vapor de água no ar	0 a 2700 Pa	
Umidade relativa do ar	30 a 70%	

Fonte: Fanger (1972)

O cálculo do índice PMV de Fanger é muito trabalhoso, como visto na equação mencionada, o que faz ser comum o uso das tabelas da ISO 7733 para determinação desse índice, conforme exemplo tabela 3.3 a seguir.

**Tabela 3.3 – Tabela do PMV para atividade metabólica de 1,2 met (69,6 W/m<sup>2</sup>) e umidade relativa do ar de 50%**

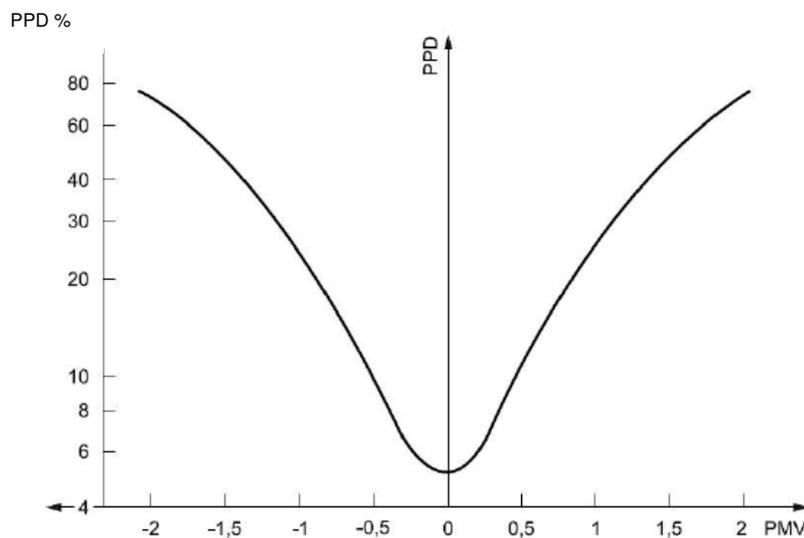
Vestimenta		Temperatura Operativa °C	Velocidade Relativa do ar – m/s								
Clo	m <sup>2</sup> . °C/W		< 0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	
0	0	25	-1,33	-1,33	-1,59	-1,92					
		26	-0,83	-0,83	-1,11	-1,40					
		27	-0,33	-0,33	-0,63	-0,88					
		28	0,15	0,12	-0,14	-0,36					
		29	0,63	0,56	0,35	0,17					
		30	1,10	1,01	0,84	0,69					
		31	1,57	1,47	1,34	1,24					
		32	2,03	1,93	1,85	1,78					
0,25	0,039	23	-1,18	-1,18	-1,39	-1,81	-1,97	-2,25			
		24	-0,79	-0,79	-1,02	-1,22	-1,54	-1,80	-2,01		
		25	-0,42	-0,42	-0,64	-0,83	-1,11	-1,34	-1,54	-2,21	
		26	-0,04	-0,07	-0,27	-0,43	-0,68	-0,89	-1,06	-1,65	
		27	0,33	0,29	0,11	-0,03	-0,25	-0,43	-0,58	-1,09	
		28	0,71	0,64	0,49	0,37	0,18	0,03	-0,10	-0,64	
		39	1,07	0,99	0,87	0,77	0,61	0,49	0,39	0,03	
		30	1,43	1,35	1,25	1,17	1,05	0,95	0,87	0,58	
0,50	0,078	18	-2,01	-2,01	-2,17	-2,38	-2,70				
		20	-1,41	-1,41	-1,76	-2,04	-2,25	-2,42			
		22	-0,79	-0,79	-0,97	-1,13	-1,36	-1,54	-1,69	-2,17	
		24	-0,17	-0,20	-0,36	-0,48	-0,68	-0,83	-0,95	-1,35	
		26	0,44	0,39	0,26	0,16	-0,01	-0,11	-0,21	-0,52	
		28	1,05	0,98	0,88	0,81	0,70	0,61	0,54	-0,31	
		30	1,84	1,57	1,51	1,46	1,39	1,37	1,29	1,14	
		32	2,25	2,20	2,17	2,15	2,11	2,09	2,07	1,99	
0,75	0,118	16	-1,77	-1,77	-1,91	-2,07	-2,31	-2,49			
		18	-1,27	-1,27	-1,42	-1,56	-1,77	-1,93	-2,05	-2,45	
		20	-0,77	-0,77	-0,92	-1,04	-1,23	-1,36	-1,47	-1,82	
		22	-0,25	-0,27	-0,40	-0,51	-0,66	-0,78	-0,87	-1,17	
		24	0,27	0,23	0,12	0,03	-0,10	-0,19	-0,27	-0,51	
		26	0,78	0,73	0,64	0,57	0,47	0,40	0,34	0,14	
		28	1,29	1,23	1,17	1,12	1,04	0,99	0,94	0,80	
		30	1,80	1,74	1,70	1,67	1,62	1,58	1,55	1,46	
1,00	0,155	16	-1,18	-1,18	-1,31	-1,43	-1,59	-1,72	-1,82	-2,12	
		18	-0,75	-0,75	-0,88	-0,98	-1,13	-1,24	-1,33	-1,59	
		20	-0,32	-0,33	-0,45	-0,54	-0,67	-0,76	-0,83	-1,07	
		22	0,13	0,10	0,00	-0,07	-0,18	-0,26	-0,32	-0,52	
		24	0,58	0,54	0,46	0,40	0,31	0,24	0,19	0,02	
		26	1,03	0,98	0,91	0,86	0,79	0,74	0,70	0,58	
		28	1,47	1,42	1,37	1,34	1,28	1,24	1,21	1,12	
		30	1,91	1,86	1,83	1,81	1,78	1,75	1,73	1,67	
1,50	0,233	12	-1,09	-1,09	-1,19	-1,27	-1,39	-1,48	-1,55	-1,75	
		14	-0,75	-0,75	-0,85	-0,93	-1,03	-1,11	-1,17	-1,35	
		16	-0,41	-0,42	-0,51	-0,58	-0,67	-0,74	-0,79	-0,96	
		18	-0,06	-0,09	-0,17	-0,22	-0,31	-0,47	-0,42	-0,56	
		20	0,28	0,25	0,18	0,13	0,05	0,00	-0,04	-0,16	
		22	0,63	0,60	0,54	0,50	0,44	0,39	0,36	0,25	
		24	0,99	0,95	0,91	0,87	0,82	0,78	0,76	0,67	
		26	1,35	1,31	1,27	1,24	1,20	1,18	1,15	1,08	
2,00	0,310	10	-0,77	-0,78	-0,86	-0,92	-1,01	-1,06	-1,11	-1,24	
		12	-0,49	-0,51	-0,58	-0,63	-0,71	-0,76	-0,80	-0,92	
		14	-0,21	-0,23	-0,29	-0,34	-0,41	-0,46	-0,49	-0,60	
		16	0,80	0,06	0,00	-0,04	-0,10	-0,15	-0,18	-0,27	
		18	0,37	0,34	0,29	0,26	0,20	0,17	0,14	0,05	
		20	0,67	0,83	0,59	0,58	0,52	0,48	0,43	0,39	
		22	0,97	0,93	0,89	0,87	0,83	0,80	0,78	0,72	
		24	1,27	1,23	1,20	1,18	1,15	1,13	1,11	1,06	

Fonte: ISO 7730 (1994)

A partir do PMV, Fanger estabeleceu o PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied, que estabelece a relação entre o próprio PMV e número de pessoas insatisfeitas, por meio da equação a seguir e, de modo mais fácil, pelo gráfico da figura 3.2.

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2)$$

**Figura 3.2 – Relação entre PMV e PPD**



Fonte: ISO 7730 (2005)

Do gráfico da figura 3.2 pode-se notar que na condição de neutralidade térmica,  $PMV=0$ , existem 5% de insatisfeitos.

### **3.4. Parâmetros de qualidade ambiental – ventilação, temperatura e umidade**

A ABNT NBR 16401-2:2008, conforme tabela 3.4 a seguir, “estipula os parâmetros ambientais susceptíveis de produzir sensação aceitável de conforto térmico”, baseados nas zonas de conforto estipuladas pela ASHRAE, considerando

os seguintes fatores pessoais: grupos homogêneos de pessoas, usando roupa típica da estação e em atividade sedentária ou leve (1,0 met a 1,2 met).

**Tabela 3.4 – Parâmetros de conforto**

		Verão (roupa típica 0,5 clo)	Inverno (roupa típica 0,9 clo)
Temperatura Operativa / Umidade Relativa, dentro da zona		22,5°C a 25,5°C / 65%	21,0°C a 23,5°C / 60%
		23,0°C a 26,0°C / 35%	21,5°C a 24,0°C / 30%
Velocidade média do ar (não direcional), na zona de ocupação (valor não deve ultrapassar)	Conven- cional	0,20 m/s	0,15 m/s
	Fluxo de desloca- mento	0,25 m/s	0,20 m/s
Intensidade de turbulência, na zona de ocupação	Conven- cional	30% a 50%	30% a 50%
	Fluxo de desloca- mento	< 10%	< 10%

Fonte: ABNT NBR 16401-2:2008, p.3

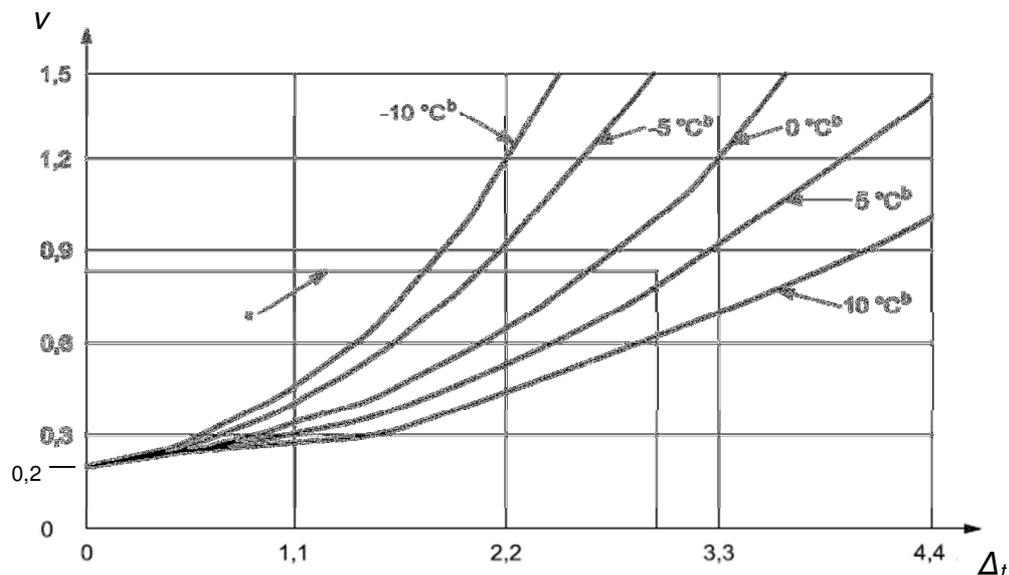
A Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho NR-17 – Ergonomia, original de junho/1978 com sua última revisão de junho/2007, que “visa estabelecer parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente”, descreve que os ambientes de trabalho devem obedecer aos seguintes parâmetros:

- Temperatura efetiva entre 20°C e 23°C;
- Velocidade do ar não superior a 0,75m/s;
- Umidade Relativa do ar não inferior a 40%.

Com relação à distribuição de ar, a ISO 7730 (2005) esclarece que a velocidade do ar influencia a troca de calor convectiva entre ocupantes e ambientes, que por sua vez influencia no conforto térmico geral do corpo (perda de calor)

expresso pelos índices PMV e PPD, bem como influencia no desconforto térmico local devido ao projeto. Não há velocidade mínima necessária para conforto, porém o aumento de velocidade pode ser usado para compensar a sensação de calor provocada pelo aumento de temperatura. O gráfico da figura 3.3 a seguir, da própria ISO 7730 (2005), representa uma combinação entre velocidade do ar e temperatura, que resulta na mesma transferência total de calor da pele. O ponto de referência (ponto “zero”) nas curvas do gráfico é 26°C e velocidade do ar 0,20m/s. Supondo  $T_a = T_r$ , a curva a ser levada em consideração, por exemplo, é a equivalente a “0°C”. Seguindo essa curva, pode-se concluir que o aumento da velocidade de 0,2m/s (ponto de referência) para 0,6m/s, causa a sensação térmica compensada de aproximadamente 2,1°C sobre os 26°C de referência, ou seja, a sensação térmica será de 23,9°C. Cabe ressaltar que o aumento da velocidade do ar pode trazer benefícios, por outro lado, uma alta velocidade pode provocar o desconforto térmico.

**Figura 3.3 – Relação da velocidade do ar versus compensação de temperatura**



Para atividade primária sedentária,  $\Delta t$  deve ser  $<3^{\circ}\text{C}$  e  $v < 0,82\text{m/s}$ .

**Legenda**

$\Delta t$ , diferença de temperatura, aumento (acima de 26°C), em °C

$v$  velocidade média do ar, em m/s

<sup>a</sup> limites para principais atividades sedentárias

<sup>b</sup>  $(tr - ta)$ , °C ( $ta$ , temperatura do ar, °C;  $tr$ , temperatura radiante média, °C)

**Fonte: ISO 7730 (2005)**

A velocidade do ar recomendada é de até 0,2m/s pela ASHRAE 55 (2010) e 0,25m/s nas Resoluções nacionais. Ademais a isso, a própria norma ABNT NBR

16401-2:2008, ainda recomenda que a velocidade do ar não seja elevada acima de 0,8m/s.

### 3.5. Condição térmica aceitável

A norma ASHRAE 55 (2010) apresenta uma metodologia para caracterizar as condições de conforto térmico em ambientes condicionados que deve ser usada para quase todas as aplicações, inclusive não somente às situações de espaços internos. Esta norma, como condição térmica aceitável, faz referência sobre uma percentagem específica de ocupantes satisfeitos com o conforto (aceitável) e os valores de temperatura associados a essa percentagem. A tabela a seguir, esclarece esses valores, baseados nos critérios de PMV e PPD de Fanger.

**Tabela 3.5 – Ambiente térmico aceitável para conforto geral**

PPD	Faixa PMV
< 10	-0,5 < PMV > +0,5

**Fonte: ASHRAE 55 (2010), pag. 7**

Enquanto a ISO 7730 e a ASHRAE 55 especificam somente um nível de conforto, segundo Olesen e Parsons (2002, apud Maran 2005), é sugerido especificar diversos níveis de aceitabilidade como na CR 1752 (1998), conforme tabela 3.6, que indica três categorias de ambientes para esses níveis.

Além do estado térmico geral de um corpo, uma pessoa pode ter desconforto localizado, influenciado no corpo pela assimetria da temperatura radiante, ventilação, diferença de temperatura vertical (diferença de temperatura entre os níveis da cabeça e tornozelo) e contato com outros corpos quentes ou frios (máquinas, por exemplo). Essa situação, inclusive, é mais propensa para os casos de atividades até 1,2met, pois, acima disso, as pessoas não tendem a sentir desconforto localizado (Olesen, 2000).

**Tabela 3.6 – Categorias de conforto térmico e respectivas percentagens de insatisfeitos devido ao conforto térmico geral e desconforto localizado**

Categoria	Estado térmico do corpo como um todo		Desconforto Local (% de insatisfeitos)			
	PPD %	PMV	Ventilação DR	Diferença vertical de temperatura do ar	Temperatura do piso	Assimetria da temperatura radiante
A	< 6	-0,2 < PMV < + 0,2	< 15	< 3	< 10	< 5
B	< 10	-0,5 < PMV < + 0,5	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	-0,7 < PMV < + 0,7	< 25	< 10	< 15	< 10

**Fonte: CR - 1752 (CR, 1998) apud Maran, 2005**

Cada categoria descreve a percentagem de desconforto geral, bem como do desconforto localizado em suas quatro tipologias. Alguns pontos são difíceis de ser encontrados, porém outros são mais fáceis. No entanto, essas categorias se aplicam a espaços com pessoas submetidas às mesmas condições térmicas ambientes. Se fosse possível implantar um controle para cada um desses pontos de desconforto localizado, seria também possível criar um equilíbrio entre as necessidades pessoais e, assim, ter um número menor de pessoas insatisfeitas.

Ainda segundo Olesen (2000), as variações dos parâmetros de desconforto localizado para as três categorias (A, B e C) estão registradas nas tabelas 3.7, 3.8 e 3.9 a seguir. Nesses casos, a “velocidade média do ar é função da temperatura local e intensidade de turbulência”. Essa intensidade de turbulência deve estar entre 30% e 60% (diferente da norma ABNT NBR 16401, que recomenda entre 30% e 50%), para ambientes com fluxo de ar e distribuição convencionais. Olesen também recomenda, baseado nas normas ISO 7730 e CR-1752, na tabela 3.10, na sequência, as faixas de temperatura operativa para conforto térmico, em acordo com essas mesmas categorias.

**Tabela 3.7 – Diferença de temperatura do ar vertical, entre cabeça e tornozelo (1,1 e 0,1m do chão) para as três categorias de ambientes térmicos**

Categoria	Diferença de temperatura do ar vertical (°C)
A	<2
B	<3
C	<4

Fonte: Olesen (2000)

**Tabela 3.8 – Variação da temperatura do piso para as três categorias de ambientes térmicos**

Categoria	Variação da temperatura de face do piso (°C)
A	19 – 29
B	19 – 29
C	17 - 31

Fonte: Olesen (2000)

**Tabela 3.9 – Temperatura assimétrica radiante para as três categorias de ambientes térmicos**

Categoria	Variação da temperatura de face do piso (°C)			
	Teto quente	Parede fria	Teto frio	Parede quente
A	<5	<10	<14	<23
B	<5	<10	<14	<23
C	<7	<13	<18	<35

Fonte: Olesen (2000)

**Tabela 3.10 – Exemplos de temperatura operativa e velocidade do ar recomendadas, baseados na ISO 7730 e CR-1752**

Tipo de espaço	Vestimenta na estação (clo)		Atividade de (met)	Cate-goria	Temperatura Operativa (°C)		Velocidade média do ar (m/s)	
	verão	inverno			verão	inverno	verão	inverno
Escritório <i>Landscaped</i>				A	24,5±0,5	22,0±1,0	0,18	0,15
	0,5	1,0	1,2	B	24,5±1,5	22,0±2,0	0,22	0,18
				C	24,5±2,5	22,0±3,0	0,25	0,21

Fonte: Olesen (2000)

### 3.6 Tipos de sistemas de condicionamento de ar

Os sistemas de condicionamento de ar são formados basicamente por três tipos, que serão esclarecidos nas seções seguintes:

- Sistema de expansão direta;
- Sistema de expansão indireta;
- Sistema com outras tecnologias ou alternativas.

#### 3.5.1. Sistema de ar condicionado tipo expansão direta

É assim denominado o sistema que é composto por aparelhos que utilizam a serpentina para condicionar diretamente o ar distribuído no ambiente, por meio de uso de fluído refrigerante.

Os equipamentos mais comuns desse tipo de sistema são os condicionadores autônomos (ABNT NBR 16401-1:2008), tais como de janela, *mini-split*, compacto (*self contained*) e, de tecnologia mais moderna, a central *multi-split* VRV (Volume de Refrigerante Variável, ou, em inglês, *VRF-Variable Fluid Refrigerant*).

Esses equipamentos possuem facilidade de instalação, até mesmo pelo seu porte, porém não possuem sistema de renovação de ar para diluição de poluentes internos.

#### 3.5.2. Sistema de ar condicionado tipo expansão indireta

É assim denominado o sistema que utiliza uma serpentina e um fluído refrigerante para condicionar um segundo fluído que, por sua vez, troca calor com o ar ambiente por meio de uma segunda serpentina (esta última, do equipamento condicionador de ar do ambiente).

O tipo mais comum do segundo fluído refrigerante é a água gelada (AG), que circula pela serpentina do equipamento chamado *fan coil*, que faz o condicionamento do ar ambiente. Com relação à ventilação, o *fan coil* pode ter volume de ar constante (VAC) ou volume de ar variável (VAV). No sistema VAC, o motor do ventilador opera no modo ligado (velocidade constante do motor) ou desligado (velocidade zero). Já no VAV, o motor recebe alimentação elétrica por meio de um variador de frequência que modula a frequência da rede elétrica e,

consequentemente, a velocidade do próprio motor conforme diferenciais de pressão na rede de distribuição de ar. Na distribuição de ar, a pressão nos dutos tende a aumentar à medida que as saídas de ar nos ambientes se fecham. A abertura ou fechamento das saídas de ar (difusores) ocorre pela atuação de dampers na linha de distribuição, conectados a sensores de temperatura ambiente que controlam, conforme seus respectivos ajustes (set point), a necessidade de mais ou menos condicionamento de ar ambiente.

### **3.5.3. Sistema com outras tecnologias ou alternativas**

Nesse caso, se enquadram as tecnologias como termoacumulação (tanques de gelo) e roda entálpica.

A termoacumulação trata a produção e armazenamento de gelo em tanques para uso posterior de condicionamento de fluidos em sistemas de expansão indireta.

A roda entálpica, de forma simplificada, trata o aproveitamento de energia para pré-condicionar o ar ao passar pelo *fan coil*, por exemplo.

Ambos os casos mencionados visam a economia de energia nos sistemas de condicionamento de ar, porém não serão tratados no presente trabalho por não se enquadrarem no tipo de estudo de caso.

### **3.5.4. Distribuição de ar**

Em ambientes ocupados por pessoas, onde o objetivo é o conforto, a distribuição do ar tem relação direta com a qualidade do ar interior (QAI ou, em inglês, *IAQ-Indoor Air Quality*).

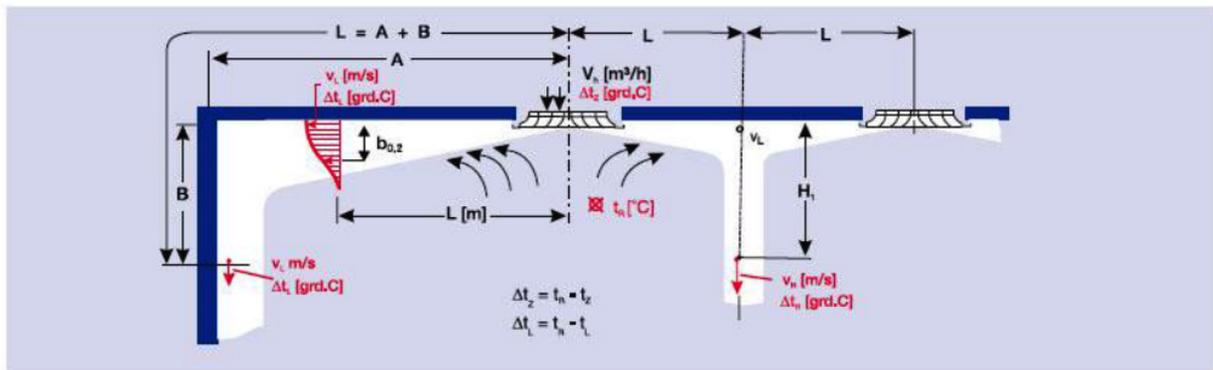
A distribuição do ar tem papel fundamental nesse processo, com a função de viabilizar o deslocamento adequado de ar tratado, de modo a produzir movimentos que permitam a mistura de massas de ar, troca de calor, garantindo o atendimento das condições de projeto. A orientação dos fluxos de ar depende de componentes e acessórios, bem como estratégia de posicionamento e sistema adotado para o projeto.

Em função do estudo de caso a seguir, será comentado apenas o tipo de distribuição de mistura de ar (*mixed air*), definido pela ASHRAE (2007, apud Suzuki 2010).

O sistema de mistura de ar possui alta velocidade de descarga, misturando-se com o ar ambiente fora da zona de ocupação (área clara da figura 3.4). O movimento do ar chega à zona ocupada a uma velocidade mais baixa, em acordo com as normas vigentes (limites esclarecidos na seção 3.4).

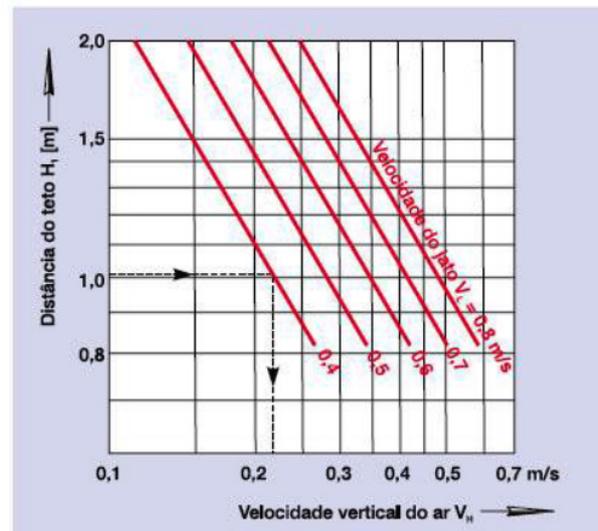
Na distribuição de ar, a maneira mais tradicional de insuflar é pelo teto. Como demonstrado na figura 3.4, o ar insuflado percola teto e paredes até perder velocidade e misturar com o ar do ambiente da zona ocupada. Esse efeito é chamado de Efeito Coanda. Nessa área de mistura não pode haver pessoas, pois as mesmas podem estar sujeitas ao desconforto pela intensidade de turbulência.

Figura 3.4 – Velocidade vertical do ar – Medição de vazão



**Legenda:**

- $\dot{V}$  (m<sup>3</sup>/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  $H_1$  no caso de dois jatos de ar dirigidos um contra o outro.  
 $\Delta t_L$  (°C) : Diferença máxima de temperatura entre o ar do jato (na distância L) e a do ambiente.  
 $\Delta t_Z$  (°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 ( $v_b$ )



Fonte: Alexandre, C.S. 2010

O projeto do sistema é extremamente importante e deve ter atenção e cuidado para se alcançar boa eficiência de troca de ar (*air change effectiveness - ACE*). Além disso, deve ser feita a manutenção depois do sistema projetado,

executado e o ambiente ocupado. Deve ser executado principalmente o *TAB* (sigla em inglês para *Testing, Adjusting and Balancing*, ou seja, Teste, Ajuste e Balanceamento), para garantir que cada parte da instalação seja executada e opere de acordo com os objetivos e requisitos do projeto (ABNT NBR 16401-1:2008).

#### **4. ESTUDO DE CASO – VERIFICAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO E ADEQUAÇÃO DO SISTEMA**

Neste capítulo é apresentado o estudo realizado em um escritório, implantado em um edifício comercial de grande porte em São Paulo – Capital. É apresentado também as características relacionadas ao sistema de ar condicionado que atende o pavimento-tipo, que é do tipo selado (as janelas não abrem), layout da empresa e situação encontrada de conforto térmico para os ocupantes.

O empreendimento em referência possui 6 blocos com 8 pavimentos-tipo cada. Cabe destacar que esse empreendimento desenvolveu um histórico sobre qualidade do ar ao longo de muitos anos e foi pioneiro no acompanhamento e controle do ar interior, contribuindo, inclusive, fortemente para formulação de normas e parâmetros de legislações brasileiras ainda na década de 90.

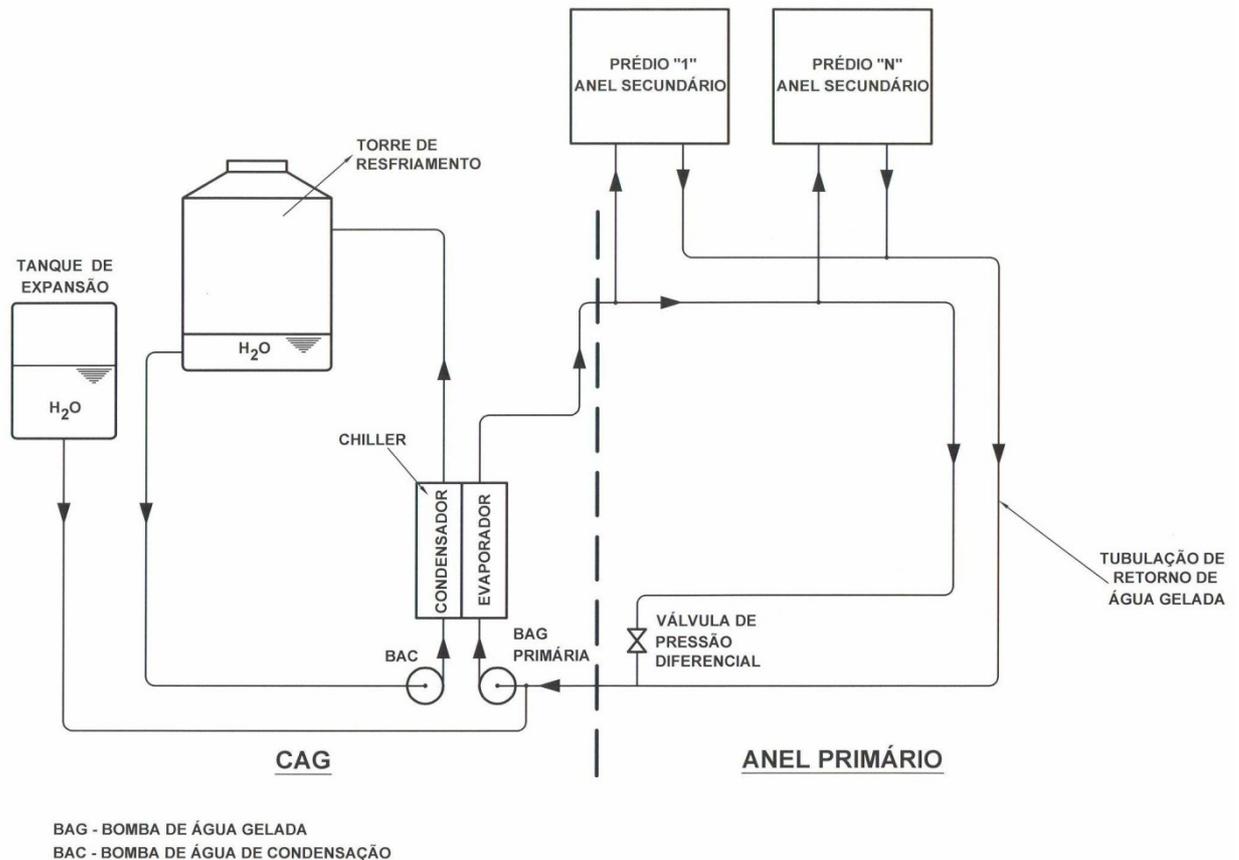
##### **4.1. Descrição do sistema de ar condicionado padrão do prédio – sistema central**

O sistema de ar condicionado que atende o ambiente de escritório é do tipo de expansão indireta com condensação a água, dotado de Central de Água Gelada (CAG) única para atendimento de todos os blocos e pavimentos dos edifícios.

A água gelada é bombeada dessa CAG por um anel chamado de primário, onde passa pelos blocos do empreendimento. Em cada bloco existe um sistema secundário de bombeamento que promove a circulação de água gelada nos pavimentos-tipo, especificamente para os *fan coils* dos respectivos andares. Em ambas as redes, primária e secundária, existem as linhas de Alimentação de Água Gelada (AAG) e Retorno de Água Gelada (RAG).

As bombas de água gelada, parte integrante desse sistema, possuem sistemas de controle e supervisão e utilizam variadores de frequência.

**Figura 4.1 – Circuito primário de distribuição de água gelada**

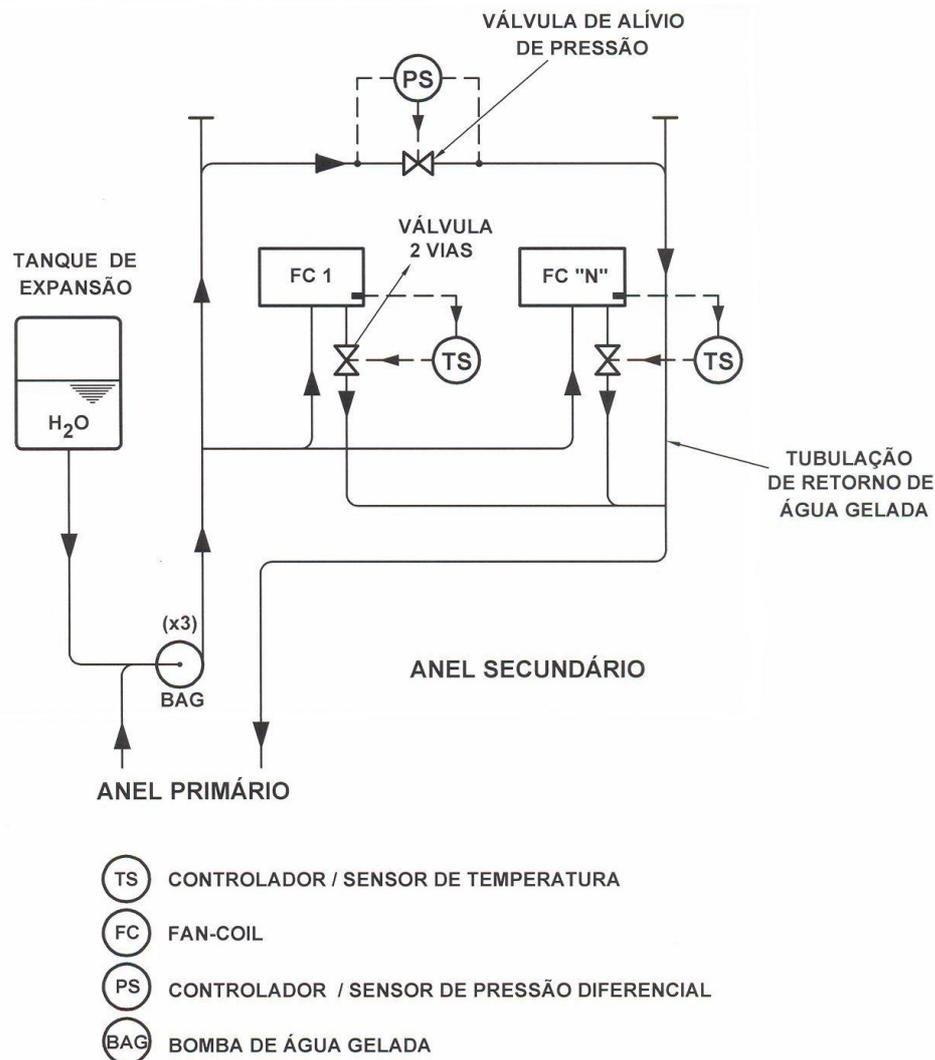


Fonte: apud Maran (2005)

## 4.2. Condicionadores de ar do pavimento-tipo – *fan coils*

Os *fan coils* que atendem os pavimentos-tipo estão localizados no pavimento técnico (interpiso). São do tipo VAF (Volume de Ar Fixo) e sua rede de circulação de água gelada conta, cada um, com uma válvula de 2 vias comandada por controlador/atuator proporcional. A saída de água gelada de cada *fan coil* está conectada à tubulação de RAG do prédio. Todo o excesso de água bombeada é também dirigido à tubulação de retorno por meio da válvula de alívio de pressão controlada por meio de dispositivo de controle de pressão diferencial. O diagrama simplificado dessa instalação está mostrado na figura 4.2.

**Figura 4.2 – Circuito secundário de distribuição de água gelada**



**Fonte: apud Maran (2005)**

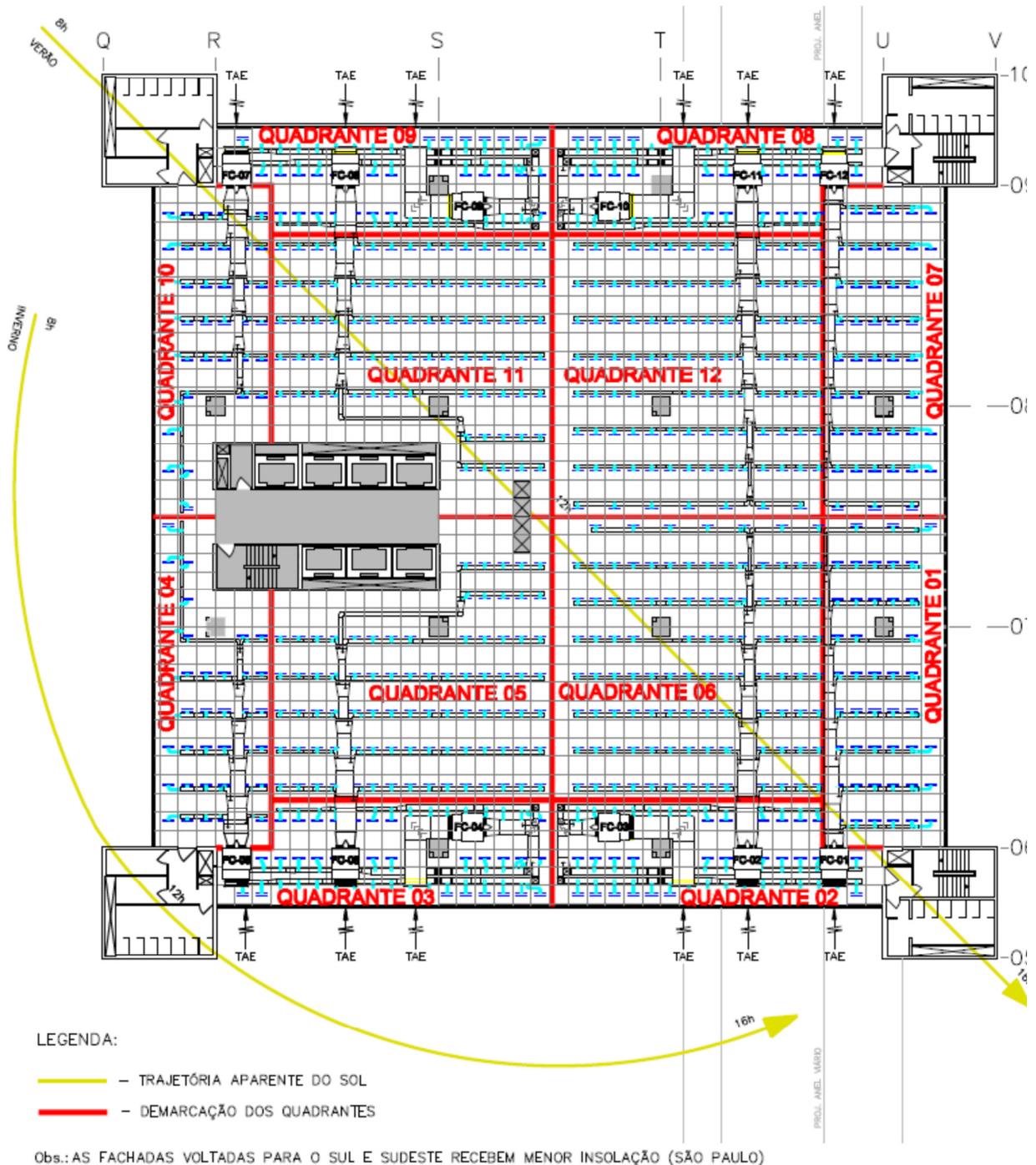
Os *fan coils* possuem gabinete metálico com dois ventiladores do tipo centrífugo, dupla aspiração e de pás curvadas para frente, motor para acionamento dos ventiladores, serpentinas de resfriamento, filtros de ar, bandeja de recolhimento de água de condensação e acessórios (suportes, registros etc., conforme figura 4.5).

O sistema de controle é composto por termostato, válvula atuadora eletromecânica acoplada à válvula de 2 vias.

A distribuição de ar é feita pelo teto, por meio de dutos em chapas galvanizadas, isolados termicamente com isopor em toda sua extensão, dutos flexíveis e difusores duplos ou simples do tipo linear (“troffer”). O retorno de ar é feito pelas próprias aberturas das luminárias (totalizando 400cm<sup>2</sup> de abertura para retorno, cada luminária), caracterizando um sistema do tipo “plenum” no interpisso,

que se trata de um pavimento técnico acima do andar. Na figura a seguir, se apresenta o layout tipo *open space* do andar, com a respectiva localização de equipamentos e distribuição de ar dividida em quadrantes (nº 01 ao nº 12), bem como a trajetória do Sol no verão e no inverno (linha amarela) e tomadas de ar externo para renovação.

**Figura 4.3 – Distribuição e zoneamento (quadrantes)**

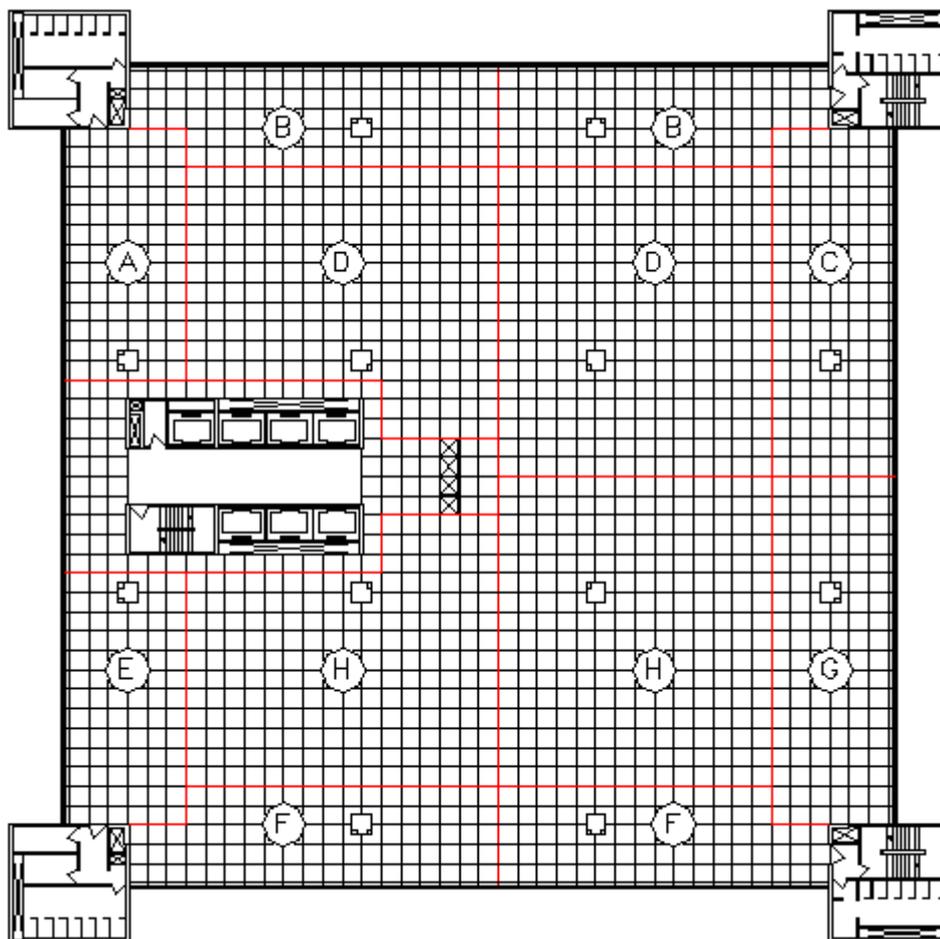


**Fonte: Cópia de projeto original do prédio com sistema de distribuição de ar**

Os difusores utilizados na distribuição do ar são do tipo “Light Troffer Diffuse” da então fabricante Starco, em chapas de aço galvanizado, interligados à rede de dutos com tubos espirais (conhecido no mercado popular como flexíveis). Os referidos *troffers* são apoiados na laje de teto e no interior do ambiente ainda contam com um acabamento estético chamado de porta-*troffer*.

Na figura 4.4 a seguir, se apresentam as mesmas divisões citadas anteriormente como quadrantes, porém agora com zonas A a H para melhor entendimento e representação na tabela 4.1 sobre as características técnicas previstas no projeto original do prédio.

**Figura 4.4 – Zoneamento – áreas atendidas por cada fan-coil, limitados pela linha vermelha**



**Fonte: Projeto original do prédio**

Nessa mesma tabela 4.1, estão as premissas do projeto original do prédio, conforme sua zona (A a H), incluindo carga térmica no horário de pico, área atendida em m<sup>2</sup>, capacidade em TR dos equipamentos e respectiva taxa de renovação de ar

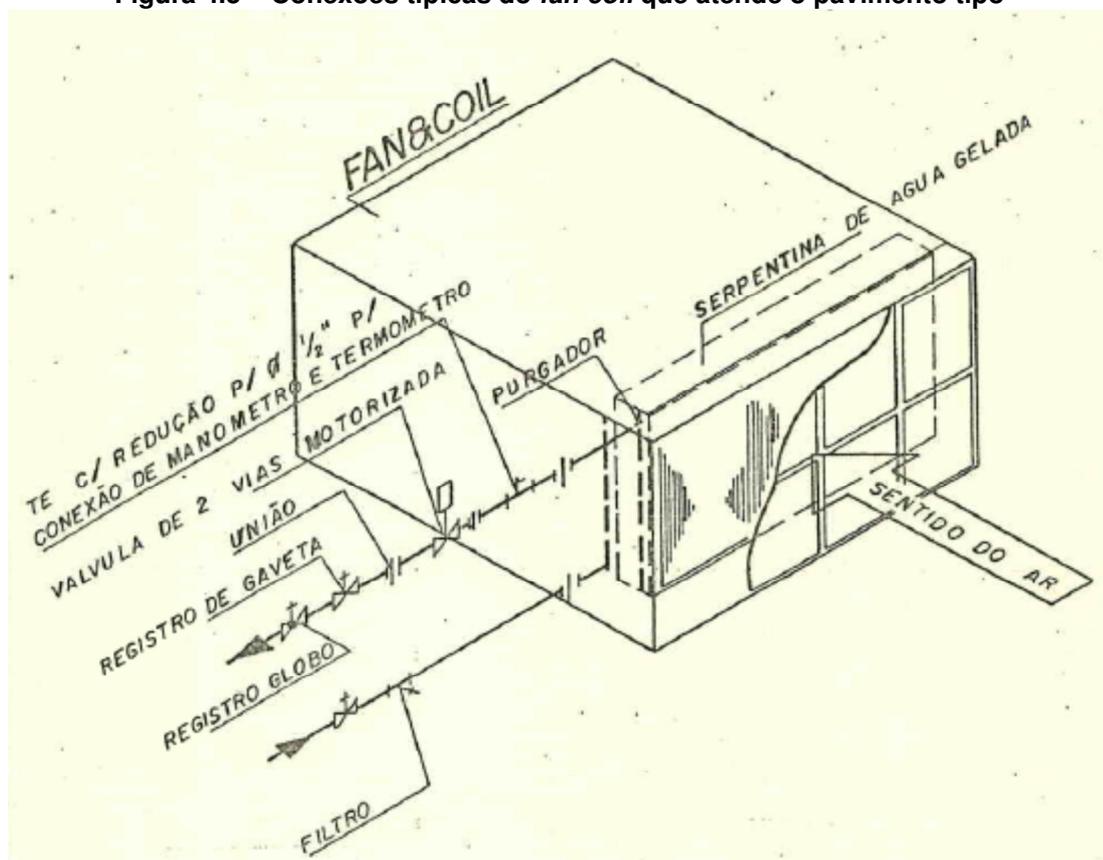
que, ressaltando, segundo a Portaria 3.253 do Ministério da Saúde é de  $27\text{m}^3/\text{h}/\text{pessoa}$ .

**Tabela 4.1 – Características previstas no projeto padrão do pavimento-tipo, divididos por zonas A a H**

ZONA do layout	Nº pessoas prevista em projeto	Capacidade fan-coil (TR)	Carga equiv. às 16h (TR)	Vazão de ar recirculado ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	Vazão de ar externo ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	Área Condicionada ( $\text{m}^2$ )	Capacidade TR / $\text{m}^2$	Capacidade TR equiv/ $\text{m}^2$	Nº pessoas por $\text{m}^2$	$\text{m}^2$ / pessoa
A	34	11	7	8.305	867	122	0,09	0,05	0,28	4
B	34	11	10	8.288	867	139	0,08	0,07	0,24	4
B	34	11	10	8.288	867	123	0,09	0,08	0,28	4
C	30	11	10	8.381	765	141	0,08	0,07	0,21	5
D	65	13	9	7.370	1.658	350	0,04	0,03	0,19	5
D	65	13	9	7.370	1.658	303	0,04	0,03	0,21	5
E	34	11	7	8.305	867	122	0,09	0,05	0,28	4
F	34	11	7	7.846	867	139	0,08	0,05	0,24	4
F	34	11	7	7.846	867	123	0,09	0,05	0,28	4
G	30	11	10	8.381	765	141	0,08	0,07	0,21	5
H	65	13	9	7.370	1.658	350	0,04	0,03	0,19	5
H	65	13	9	7.370	1.658	303	0,04	0,03	0,21	5
<b>Total</b>	524	139	103	95.120	13.364	2.356	-	-	-	-
						Média	0,07	0,05	0,24	4

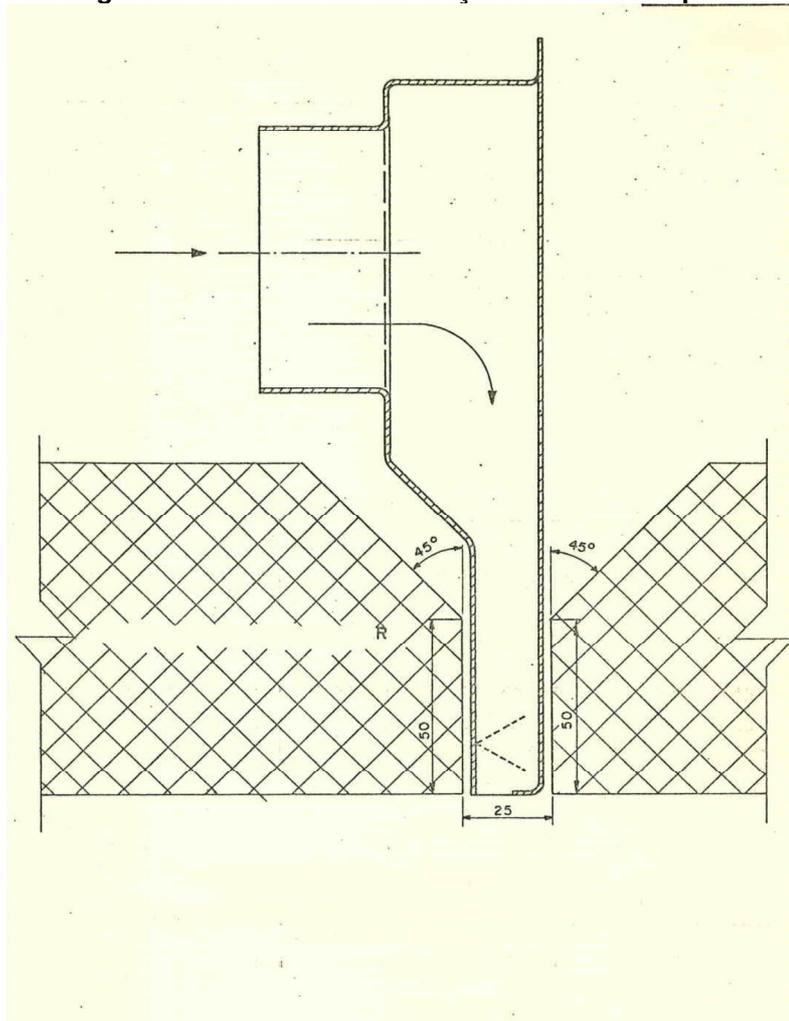
Fonte: Projeto original do prédio de junho/1982

**Figura 4.5 – Conexões típicas do fan coil que atende o pavimento tipo**



Fonte: Projeto original do prédio

**Figura 4.6 – Detalhe de instalação de *troffer* simples**



**Fonte: Projeto original do prédio de junho/1982**

#### **4.3. Características do pavimento-tipo e layout – ambiente relativo ao estudo de caso**

O pavimento-tipo ou andar-tipo objeto do estudo de caso trata-se do 4º andar do edifício corporativo com ocupação do tipo multiusuário e é do tipo selado (as janelas não abrem). O edifício está localizado na Marginal Pinheiros, vetor Sudoeste da cidade de São Paulo e possui classe BBB, na classificação regional (válido para a cidade de São Paulo), segundo critérios do NRE – Núcleo de Real Estate da USP avaliados no ano de 2007.

O NRE se trata da “unidade de prestação de serviços à comunidade do Grupo de Ensino e Pesquisa em Real Estate da Escola Politécnica da USP, orientado para

a economia e os negócios no âmbito do REAL ESTATE.”. Seu sistema avalia a qualidade dos edifícios brasileiros de escritório, por meio de pontuação fornecida a atributos considerados relevantes para ocupantes de edifícios de escritório, com posterior enquadramento à seguinte escala: AAA, AA, A, BBB, BB, B e C.

A escala AAA é a maior e compreende os edifícios de altíssimo padrão que atendem uma série de exigências. A menor escala, classe C, se refere aos edifícios de qualidade inadequada e altamente vulneráveis, onde o usuário não tem qualquer controle sobre os sistemas prediais, neste caso, sendo normal a instalação de sistemas independentes.

A escala do edifício do estudo de caso, classe BBB, é considerada intermediária, vai pouco além das funcionalidades básicas de um edifício comercial e se refere a um prédio de boa qualidade e pouco vulnerável, bem como com boa aderência para elevar sua classificação aos altos padrões. Essa classificação é regional e tem como diferença o parâmetro de “localização dentro da malha urbana”.

As características padrão de área do andar estão representadas na tabela 4.2 a seguir.

**Tabela 4.2 – Informações de área de um pavimento tipo**

<b>Descrição</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Observações</b>
Área Total do Andar	3.033,9	Áreas comum e privativa
Área de carpete	2.638,72	Não considera sanitários, copas, escadas, pilares e shafts, por exemplo.
Área útil	2.844,05	Área considerada no cálculo de locação, contida em contrato.

**Fonte: Projeto padrão do prédio**

Por ética, os nomes do empreendimento e da empresa foram preservados, ficando com o autor desta monografia a responsabilidade sobre as informações descritas.

O layout implantando no andar em referência, em agosto/2009, possui diversas particularidades que, inclusive, interferem diretamente no fluxo de ar do ambiente. Originalmente, o projeto foi elaborado para ambientes do tipo *open space*,

porém a empresa ocupante optou por um layout com as seguintes características principais:

- Ocupação de  $\frac{3}{4}$  do espaço do andar somente (os demais  $\frac{1}{4}$  foram relocados para outra empresa);
- Construção de muitas salas fechadas, com divisórias do tipo piso-teto;
- *Work Stations* com baias baixas;
- Segregação e isolamento de um ambiente denominado “Laboratório” no meio do andar, desativando parte do sistema de ar condicionado condominial;
- Densidade de ocupação de 20m<sup>2</sup>/pessoa;
- Instalação de sistemas independentes de ar condicionado e exaustão/ventilação.

#### **4.4. Registro de informações de campo**

O andar objeto da pesquisa de campo é atendido por sistema de ar condicionado do tipo expansão indireta, com uso de água gelada, equipamentos tipo *fan coil* com volume de ar constante. As respectivas manutenção e operação são de boa qualidade e com procedimentos firmes no edifício.

A ocupação do andar é de usuários com atividades administrativas de uma empresa multinacional de tecnologia em aparelhos auditivos.

Para efeito de carga térmica, cabe ressaltar que os andares superior e inferior são condicionados da mesma forma.

A coleta de informações foi feita com instrumentação apropriada, composta de sensores e anemômetro, detalhados no item “4.4.1 Instrumentação” a seguir. Foram definidos pontos estratégicos de registro e instalados os instrumentos em conformidade com boas práticas para cada tipo de levantamento.

As medições seguiram os critérios da ABNT NBR16401-2 (2008), em seu item “6. Avaliação e Controle” e os sensores posicionados a 1,1m do piso.

Dos registros feitos, cabe destacar os seguintes pontos levantados:

- Temperatura do Ar Ambiente Bulbo Seco,  $T_a$ , em °C;
- Temperatura do Ar Ambiente Bulbo Úmido,  $T_a$ , em °C;
- Temperatura Operativa,  $T_o$ , em °C;

- Temperatura Radiante,  $T_r$ , em  $^{\circ}\text{C}$ ;
- Intensidade de Turbulência,  $T_u$ , em %;
- Umidade Relativa do Ar, RH, em %;
- Velocidade do Ar,  $v_a$ , em m/s.

De posse dessas informações, a pesquisa foi seguida da avaliação das condições do local, com base nos parâmetros de conforto térmico.

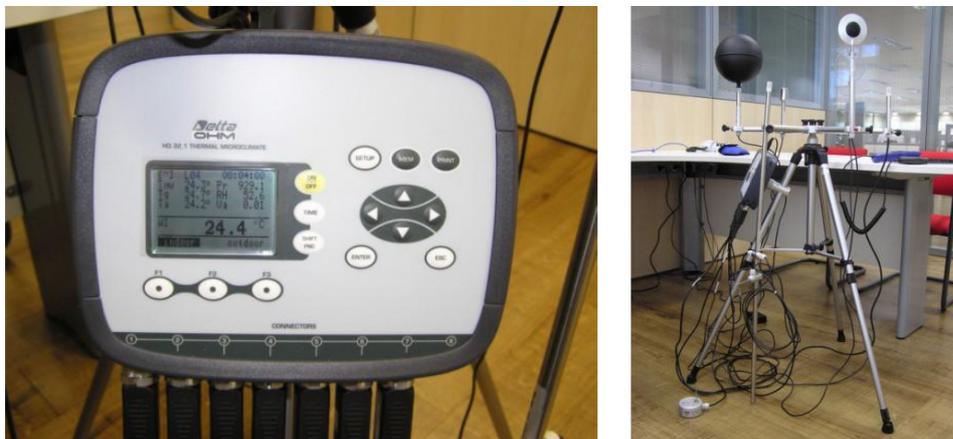
#### 4.4.1. Instrumentação

Para aquisição de dados foi utilizado um equipamento de medição microclimática, constituído por tripé e hastes de apoio para sondas, cabeamento e as próprias sondas para medição dos respectivos parâmetros ambientais (sistema operacional A) e de desconforto (sistema operacional B).

Os sistemas operacionais do equipamento em questão coletam as seguintes variáveis:

- A: temperaturas de bulbo seco, úmido e de globo, umidade relativa e velocidade do ar, calculando a temperatura radiante média;
- B: assimetria de temperatura radiante (registro em três alturas), estratificação da temperatura, temperatura do ar no nível do piso e calculo da temperatura efetiva.

**Figura 4.7 – Equipamento de aquisição de dados**



Fonte: apud Suzuki 2010

Os sensores do equipamento são os seguintes:

- TP3275 e TP3227K: sondas de temperatura, tipo Pt100, com intervalo de medição entre -10 °C e 100 °C, incerteza de medição Classe 1/3 DIN;
- TP3227PC: sensor de temperatura de globo negro, tipo Pt100, com intervalo de medição entre -10 °C e 100 °C, incerteza de medição Classe 1/3 DIN;
- HP3201: sonda combinada para medição de temperatura e umidade relativa, tipo Pt100 (TBU), com intervalo de medição entre 4 °C e 80 °C, incerteza de medição Classe A;
- TP3207TR: Radiômetro para medição de radiação solar, com intervalo de medição de -10 °C a 100 °C, incerteza de medição NTC $\pm$ 0,15;
- AP3203: Anemômetro de fio quente para medir a velocidade do ar, com intervalo de medição de 0 °C a 80 °C e 0m/s a 5m/s, incerteza de medição  $\pm$ 0,02m/s (0 a 1m/s) e  $\pm$ 0,0m/s (1 a 5m/s).

#### **4.4.2 Levantamento de dados em campo**

Por meio de um setor específico do condomínio onde a empresa possui suas instalações, foram registradas as reclamações dos usuários sobre a sensação de desconforto no pavimento-tipo objeto do estudo de caso. Portanto, foram agrupadas as reclamações no período de julho/2010 a março/2013. Trata-se apenas do registro de desconforto por calor ou frio (temperatura ambiente alta ou baixa), sentida pelos usuários quando os mesmos se dispuseram a efetuar contato pelo canal de atendimento. Queixas internas e recorrentes foram verificadas em visitas ao local, porém não foram consideradas no registro até mesmo por poder ser duplicada, bem como por considerar que essas queixas se trataram de individualidade do ocupante (fatores individuais como idade, sexo e vestimenta, por exemplo) e momento de oportunidade de manifestação com a presença do responsável pela medição. Em outras palavras, para não inserir no registro, também foi levado em consideração que a sensação de desconforto em um ambiente pode estar associada a uma insatisfação particular do usuário e não necessariamente relacionada ao ambiente (uma pessoa reclamou e seu vizinho no posto de trabalho não). De qualquer forma, os resultados descritos adiante evidenciam o problema de desconforto.

Na tabela 4.3 a seguir, é apresentado o levantamento simplificado dos registros efetuados de desconforto por calor ou frio, em estações do ano diferenciadas.

**Tabela 4.3 – Registro de reclamações da empresa no condomínio**

Estação do ano	Período	Quantidade de reclamações sobre sensação térmica	
		Frio	Calor
Inverno	21.06.10 a 22.09.10	20	3
Primavera	23.09.10 a 20.12.10	7	8
Verão	21.12.10 a 19.03.11	20	6
Total	21.06.10 a 19.03.11	47	17

**Fonte: Registro efetuado pela Central de Atendimento do prédio**

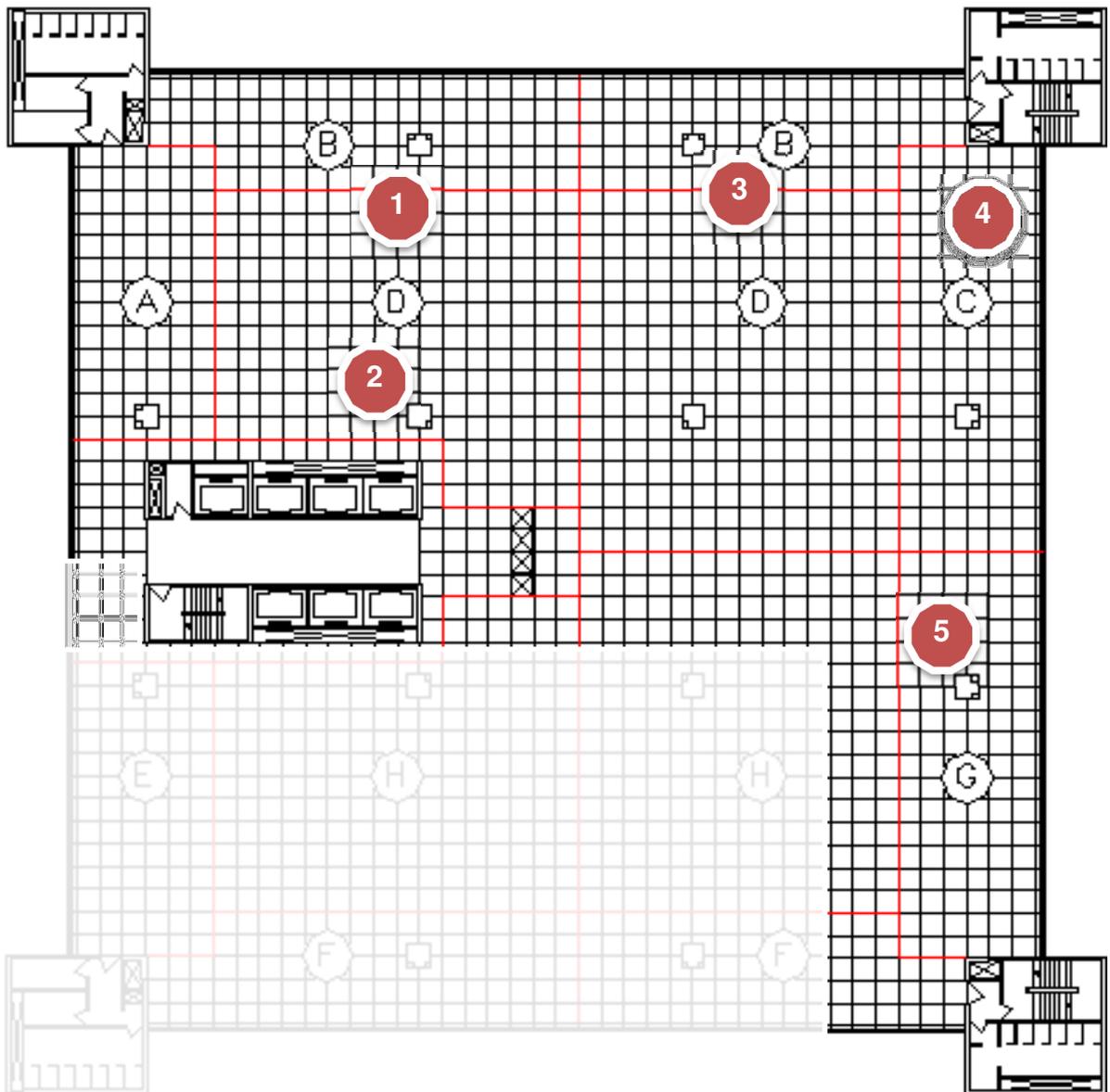
Naturalmente, as reclamações de sensação térmica de frio no ambiente durante o inverno se destacaram, já que o prédio não conta com sistema de arrefecimento entre outros fatores descritos mais adiante. Na meia estação, ou seja, primavera, as sensações de frio ou calor foram registradas em quantidades similares. No entanto, as reclamações de frio também foram altas na temporada de verão. No geral, as reclamações, independente de inverno ou verão, não tiveram relação com a temperatura ambiente externa, pois foi verificado que as reclamações de frio, por exemplo, foram feitas com temperatura do ar externo de 10,8°C com umidade relativa 91%, no inverno e a 29,3°C com umidade relativa a 58%, no verão.

Em apenas um dos registros feitos, com relação à sensação de frio no ambiente, foi verificado falha no equipamento que atende o andar. A válvula de água gelada do sistema estava permitindo passagem e, assim que descoberto o problema, foi feita a regularização e ajuste.

No levantamento em questão, não foi considerada a vestimenta dos ocupantes e outros fatores influentes na sensação térmica, uma vez que somente coube fazer o registro e não análise situacional. Por mais que isso seja importante, o interesse foi de tomar conhecimento da sensação térmica e realizar algum ajuste (regulagem de termostato, por exemplo) ao alcance da área de utilidades ou *facilities*. Analisar a situação, portanto, coube ao presente trabalho e o resultado pode ser verificado logo adiante.

Para realização do estudo de caso em referência, além de entendimento mais completo do assunto, inclusive para descobrir a motivação sobre o desconforto, procedeu-se com a medição em vários pontos do pavimento. Em função do layout existente da empresa, foram determinados exatos cinco pontos de medição e coleta de informações, conforme figura 4.8 a seguir.

**Figura 4.8 – Pontos de coleta no pavimento-tipo**



**Fonte: Adaptação do projeto original do prédio**

Os pontos determinados para coleta das amostras se tratam dos locais com as características indicadas na tabela a seguir.

**Tabela 4.4 – Identificação dos pontos e locais definidos no pavimento-tipo para coleta de amostras**

Ponto	Nome do local	Característica do local
1	Vendas	Área situada em espaço aberto, com doze postos de trabalho de baias baixas, com forro original e difusores de ar condicionado no padrão do andar.
2	Sala Reunião 3	Ambiente fechado por divisórias piso-teto, forro rebaixado, alteração dos difusores padrão do andar, capacidade para oito pessoas.
3	Esc. Adm.	Área situada em espaço aberto, com dez postos de trabalho de baias baixas, com forro original e difusores de ar condicionado no padrão do andar.
4	RH	Área situada em espaço aberto, junto à fachada do prédio, com três postos de trabalho de baias baixas, com forro original e difusores de ar condicionado no padrão do andar.
5	Auditório	Ambiente fechado por divisórias piso-teto, forro rebaixado, alteração dos difusores padrão do andar, capacidade para vinte pessoas.

**Fonte: projeto da empresa e verificação de campo**

Para coleta e análise de amostra, foram selecionadas as seguintes variáveis:

- Tw: Temperatura de Bulbo Úmido em °C;
- Tg: Temperatura de globo em °C;
- Ta: Temperatura do ar (Bulbo Seco) em °C;
- Pr: Pressão de vapor d'água em Pa;
- RH: Umidade Relativa do ar em %;
- Va: Velocidade do ar em m/s;
- Tr: Temperatura radiante média (°C);
- WBGT: Índice de Bulbo Úmido e Temperatura de Globo (°C) – “i”, interior; “o”, exterior.

Os valores coletados nos cinco pontos distintos no pavimento-tipo podem ser verificados detalhadamente no Anexo 1. Na tabela a seguir, é apresentado o resumo dos valores das amostras, o cálculo da Temperatura Operativa ( $T_o$ , em °C) e Intensidade de Turbulência ( $T_u$ , em %), sendo este último referente à intensidade de turbulência do ar no ambiente, bem como cálculo do DR – Draught Rate (Taxa de Corrente de Ar), que trata a percentagem prevista de pessoas incomodadas com

corrente de ar. Enfim, os parâmetros nessa tabela tratam-se na maioria daqueles que afetam o conforto térmico, conforme normas ABNT NBR 16401-2: 2008 (p. 2) e ISO 7730 (2005).

**Tabela 4.5 – Valores das amostras coletadas no pavimento-tipo e cálculo de índices To, Tu e DR**

Ponto	Local	Ta (°C)	Va média (m/s)	Va desvio (m/s)	Tr (°C)	To (°C)	Tu (%)	DR (%)
1	Vendas	23,19	0,09	0,06	24,12	23,66	66,67	7,88
2	S. Reunião 3	23,84	0,05	0,03	24,17	24,01	60,00	0,00
3	Esc. Adm.	24,39	0,05	0,04	24,94	24,67	80,00	0,00
4	RH	23,05	0,15	0,10	24,50	23,78	66,67	17,97
5	Auditório	23,93	0,004	0,01	24,22	24,08	-	-

**Fonte: Levantamento de campo**

Especificamente sobre os cálculos de Tu (%) e DR (%), o valor foi obtido por meio das seguintes fórmulas:

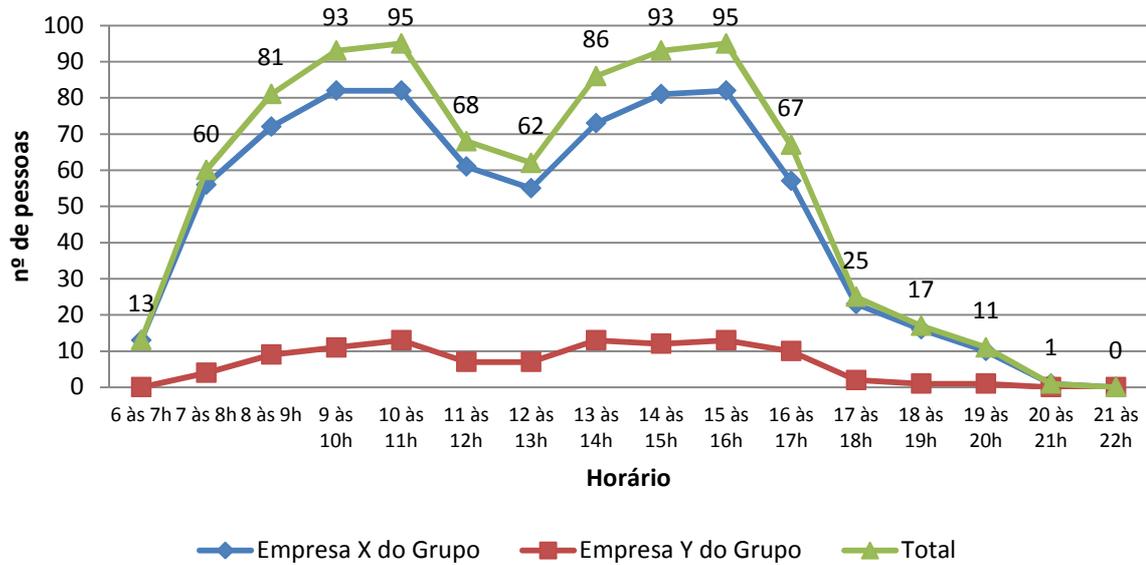
$$Tu (\%) = (Va_{\text{desvio}} / Va_{\text{média}}) \cdot 100$$

$$DR (\%) = (34 - Ta) \cdot (Va_{\text{média}} - 0,05)^{0,62} \cdot [(0,37 \cdot Va_{\text{média}} \cdot Tu) + 3,14]$$

De acordo com o resumo do registro, a velocidade do ar  $Va_{\text{média}}$  esteve entre 0,004 m/s e 0,15 m/s, que pode gerar dúvida sobre a intensidade de turbulência calculada. No entanto, no registro detalhado indicado no Anexo 1, nota-se velocidade do ar alta em alguns pontos, em determinados momentos. A mistura dessa velocidade do ar alta com velocidade do ar baixa é o que sugere essa intensidade de turbulência, comprovada pelo cálculo e valores da tabela 4.5.

No período de coleta das amostras, também foi verificada a ocupação do andar, conforme figura 4.9 a seguir. A ocupação simultânea teve picos de 95 pessoas e maior adensamento entre 8h e 17h, no mesmo dia da coleta.

**Figura 4.9 – Quantidade de pessoas presentes (ocupantes) no pavimento-tipo, no dia da coleta**

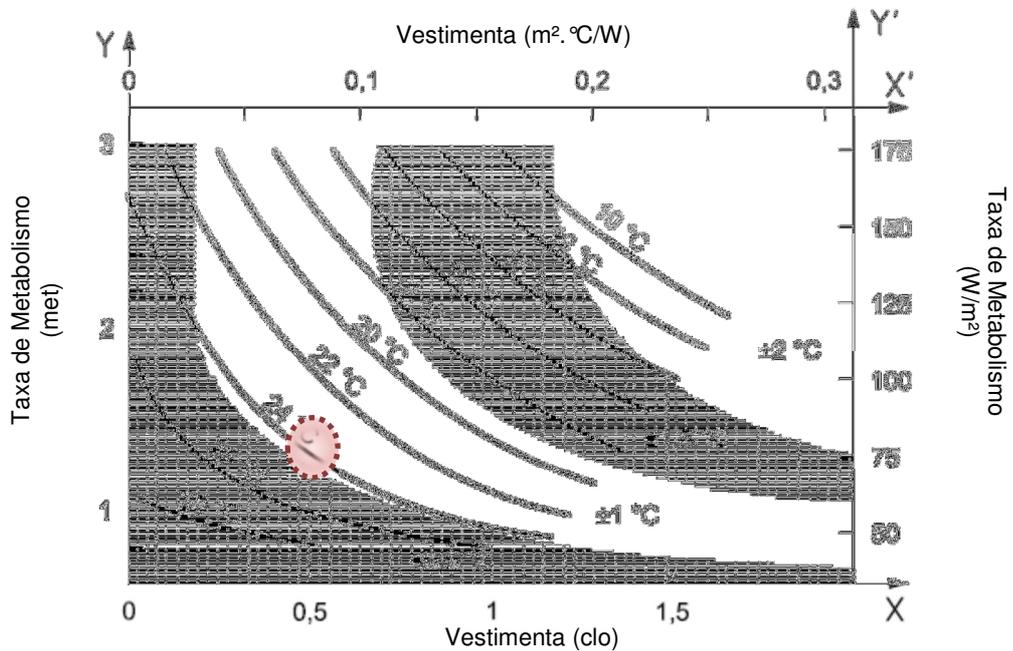


**Fonte: Registro de frequência do condomínio via controle de acesso**

Conforme verificado em campo, havia um padrão de vestimenta usado pelos ocupantes de escritório, típico com os critérios da ISO 7730 (2005). Dessa forma, foram considerados 0,5 clo no verão e 1,0 clo no inverno, de acordo com os critérios dessa própria ISO 7730 (2005), com taxa metabólica de 1,2 met e 70W/m<sup>2</sup> (taxa considerada para atividades de escritório). Conforme tabela 3.3 do capítulo 3, considerando que a medição de campo foi realizada no verão, portanto vestimenta 0,5 clo e atividade metabólica de 1,2 met, o PMV está entre -0,17 e -0,36 nos cinco pontos coletados, sugerindo a leve sensação de frio. O PPD, conforme gráfico de Fanger também no capítulo 3, deve ser de até 6%, situação esta para ser considerada aceitável.

Por outro lado, como se pode notar na figura 4.10 a seguir, extraída da ISO 7730 (2005), a Temperatura Operativa – To, entre 23,66°C e 24,67°C, está dentro dos padrões aceitáveis que nessa norma é de 24,5 ±1 °C no verão.

**Figura 4.10 – Temperatura Operativa ótima em função da vestimenta e atividade, considerando umidade relativa de 50% (aceita variação de 10%)**

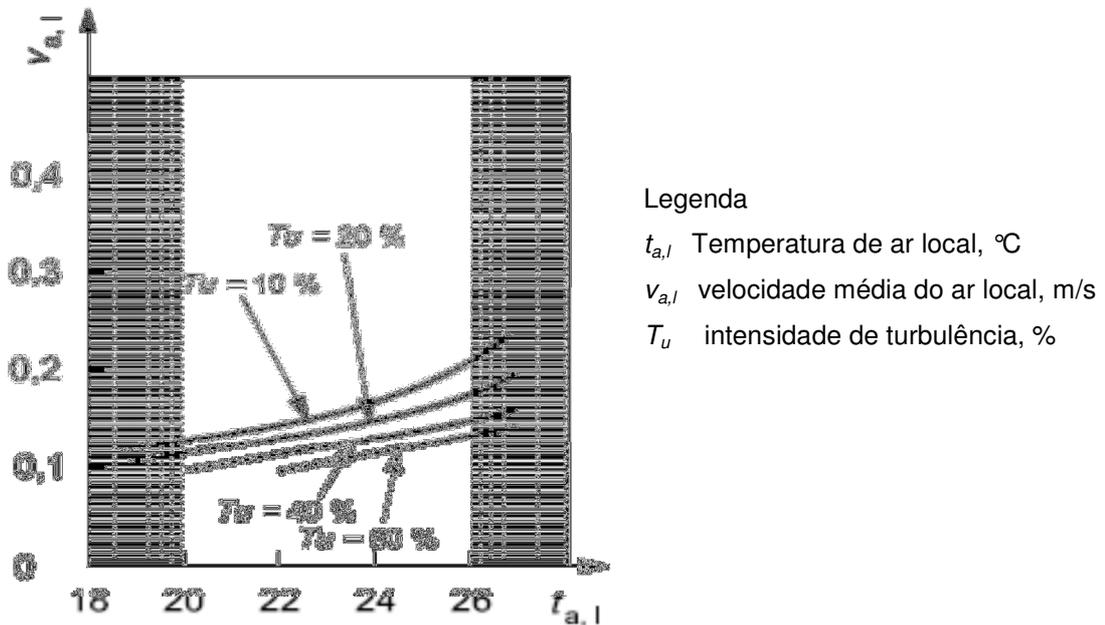


**Categoria A: PPD<6%**

**Fonte: ISO 7730 (2005)**

No entanto, a Intensidade de Turbulência -  $T_u$  (%) calculada é superior à referência de 50% recomendada pela norma ABNT NBR 16401-2: 2008, em sua página 3. Isso significa que o ocupante, no ambiente, tende a sentir uma considerável sensação de ventilação, de forma a provocar incômodo. A única exceção foi o ponto nº 5, que possui registro de ventilação baixa. Ainda segundo critério da ISO 7730 (2005) na figura 4.11 a seguir, a intensidade de turbulência (ou grau de turbulência) deve estar entre 30% e 60%.

**Figura 4.11 – Máxima velocidade média do ar admissível, em função da temperatura do ar local e intensidade de turbulência**



**Categoria A: DR = 10%**

Fonte: ISO 7730 (2005)

Ademais a isso, a ocupação do pavimento-tipo é relativamente baixa, chegando a picos de 95 ocupantes simultâneos no andar, representando uma carga térmica abaixo da referência de projeto. Para os 1.882m<sup>2</sup> ocupados pela empresa no pavimento tipo, a projeção é de 211 pessoas no projeto original de ar condicionado do prédio.

Em virtude do exposto, vários são os fatores que influenciam no desconforto térmico das pessoas, porém, ao que tudo indica, a intensidade de turbulência parece ser o principal nos ambientes verificados. De acordo com o levantamento do Anexo 1, a ventilação foi registrada com períodos de alta e baixa velocidade ao longo do tempo e, apesar da temperatura do ar estar dentro dos padrões citados e, inclusive, da ABNT NBR 16401-2: 2008, essa ventilação passa a sensação térmica de frio para as pessoas, dependendo de suas vestimentas. Portanto, as reclamações são plausíveis, tanto que isso também ficou claro na quantidade de reclamações registradas na tabela 4.3 anterior. Cabe ainda ressaltar que na passagem pelos ambientes do pavimento-tipo durante as medições, foi perceptível a intensidade de turbulência em questão, principalmente ventilação sobre as cabeças de usuários.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo a norma ABNT NBR 16401-2: 2008, em sua página 4, a conformidade dos parâmetros ambientais, de forma resumida, deve ser avaliada em dois momentos:

- Após implantação ou reforma de instalações, como providencia de TAB – Tests, Adjusting and Balance (testes, ajustes e balanceamento, em português);
- Sempre que houver queixa.

A empresa do estudo de caso não aproveitou o momento da implantação no andar para realização do TAB e, posteriormente, pouco fez após as reclamações, além de ações e tentativas de erro e acerto (fechamento e abertura de saídas, revezamento de equipamentos – liga/desliga em determinados períodos, etc.).

O problema encontrado na qualidade do ar, sobre o estudo em questão, foi isso. Percebe-se que normalmente as empresas deixam de lado as adequações do sistema de ar condicionado por já haver saídas, uniformemente ou não, distribuídas ao longo da área de ocupação. E o resultado não pode ser diferente das queixas e problemas de saúde com os ocupantes do andar.

Não existe rastreamento de perdas por produtividade ou absenteísmo na empresa e, portanto, não se tem certeza dos prejuízos com a falta de qualidade ambiental nas condições citadas. No entanto, sabe-se que existe, mesmo que mínima, até por apontamentos nos estudos citados nesse trabalho, uma perda no desenvolvimento das atividades na organização.

Deve-se ter atenção e cuidado com o estudo do sistema predial como um todo, não só de layout, mas como também ar condicionado e luminotécnico, por exemplo, extrapolando um pouco o objetivo do tema deste estudo que é apenas do conforto térmico na qualidade do ar ambiente. O foco deve ser alcançar boa eficiência de troca de ar (air change effectiveness - ACE).

Portanto, sobre o conforto térmico, os resultados do levantamento mostram temperatura operativa no ambiente dentro dos parâmetros de normas internacionais e regulamentadoras nacionais. No entanto, a intensidade de turbulência causa muito incômodo e a ventilação percebida no andar passa uma sensação térmica de frio.

Ainda em referência ao caso da intensidade de turbulência, em campo foram encontradas evidências para ocasionar esse problema, bem como para as razões do desconforto: (i) ramais de distribuição desativados no pavimento técnico, sem alterar vazão das máquinas (vazão constante); (ii) desconfiguração do ambiente *landscape* ou *open space* com construção de divisórias; (iii) execução de forros de gesso em alguns ambientes com redistribuição e modificação das saídas de ar originais do andar; (iv) interferências no fluxo de ar, por barreiras e por saídas fechadas aleatoriamente ao longo da distribuição.

Para melhorar a situação, deve-se concentrar os esforços em novo projeto e no *TAB* (sigla em inglês para *Testing, Adjusting and Balancing*, ou seja, Teste, Ajuste e Balanceamento), para garantir que cada parte da instalação seja executada e opere de acordo com os objetivos e requisitos desse projeto.

Segundo a ASHRAE Standard 111, capítulo 38, os testes, ajustes e balanceamento significam determinar o ponto de desempenho do equipamento, regular as taxas especificadas de fluxos de fluidos e ar e proporcionar fluxo na distribuição de ar conforme especificações projetadas, para conforto térmico dos ocupantes. Um *TAB* efetivo e eficiente requer uma sistemática específica, por meio de projeto e planejamento por pessoal experiente e qualificado.

O projeto deve prever o melhor número de válvulas de regulagens possível e ramais com acesso para controle de fluxo para melhor ajuste em campo, de acordo com as zonas atendidas e com o layout atendido. Quanto mais individual esse controle de fluxo for, melhor. Por outro lado, deve-se tomar cuidado para não elevar os custos de implantação em função da excelência no projeto.

Um projeto considerado normal minimiza condições que podem causar turbulência, atrito e, conseqüentemente, perda de pressão. Com base nesta concepção, aplica-se sobre o projeto o procedimento de balanceamento que segue um critério para cada tipo de sistema, sendo o sistema do estudo de caso em questão o tipo volume de ar constante.

Como parte do produto final do *TAB*, deve-se obter o relatório pós-intervenção (relatório final), cujo documento deve constar as informações de:

- Projeto: fluxos, vazões, pressões, taxa de renovação de ar (tomada de ar externo), velocidades do ar e ventilação;

- Instalação: equipamentos instalados, códigos utilizados em campo (FC nº 3, por exemplo, para equipamento tipo fancoil), características desses equipamentos e componentes (filtros, válvulas etc.);
- Resultado dos testes e medições: fluxos, vazões e pressões ajustadas;
- Outras informações convenientes sobre o referido sistema.

Assim, a luz desses procedimentos, se espera possuir um ambiente saudável, com, ao menos, uma boa qualidade interior do ar, por meio de adequada taxa de ventilação e distribuição de ar.

Cabe ressaltar, segundo a ISO 7730 (2005), que pessoas que trabalham e vivem sob clima quente, podem mais facilmente aceitar e manter alto desempenho de trabalho em ambientes quentes do que quem vive sob clima frio. Pode-se fazer uma analogia com o inverso também. Portanto, no caso em questão, o ambiente frio não traz aceitação dos ocupantes, salvo preferências individualizadas.

Além disso, visto que os estudos de conforto térmico levam em consideração aspectos pessoais e ambientais, a ISO 7730 (2005) esclarece que é impossível um grupo de pessoas, num mesmo ambiente, ao mesmo tempo, totalmente satisfeito (todas as pessoas do grupo) com as condições térmicas do local. Portanto, é aceitável um número mínimo de insatisfeitos.

Ademais ao exposto, a qualidade do ar interno faz parte dos requisitos para um edifício ou escritório obter a certificação LEED® EB 2009: *Existing Buildings – Operations and Maintenance* (Edifícios Existentes – Operação e Manutenção). Somente neste quesito, há possibilidade de se alcançar 15 pontos de uma base máxima de 110 pontos para a referida certificação. Os níveis de certificação vão desde uma quantidade mínima de 40 pontos, com certificação simples, até 80, que se refere ao selo “platina”. A certificação é interessante para companhias comprometidas com a qualidade ambiental e sustentabilidade.

Um crédito interessante nessa certificação é referente ao “conforto dos ocupantes – inspeção”, que prevê a avaliação do edifício pelos próprios ocupantes. Outro é referente ao “conforto dos ocupantes – monitoramento do conforto térmico” que trata do conforto como apoio a produtividade e bem-estar dos ocupantes do edifício.

Portanto, é visível a relação de todo procedimento de adequação mencionado (TAB e projeto) com a certificação, que visa a qualidade do ar e o conforto para as pessoas.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT-NBR 16401: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários**. São Paulo, SP, 2008.

ALEXANDRE, C. S. **Distribuição de ar**. 1ª edição. Nova Técnica editorial, São Paulo, 2006.

ANVISA. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução – RE nº 9** de 16.01.2003: Determina a publicação de orientação técnica sobre padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente e de uso público e coletivo. Disponível em: <[http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/d094d3004e5f8dee981ddcd762e8a5ec/Resolucao\\_RE\\_n\\_09.pdf?MOD=AJPERES](http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/d094d3004e5f8dee981ddcd762e8a5ec/Resolucao_RE_n_09.pdf?MOD=AJPERES)>. Acesso em: 20 nov. 2013.

ASHRAE. ANSI ASHRAE. **Standard 55-2010**: Thermal environmental conditions for human occupancy, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta, EUA, 2010.

ASHRAE. ANSI ASHRAE. **Standard 62.1-2013**: Ventilations for acceptable indoor air quality, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. Atlanta, EUA, 2013.

ASHRAE. ANSI ASHRAE **Standard 111-2008**: Measurement, testing, adjusting and balancing of building HVAC systems. Atlanta, EUA, 2008.

ASHRAE. How IEQ affects Health. **ASHRAE Journal**. Productivity, by Fisk, William J. 2002, 56, 57 e 58p.

European Committee for Standardization. **CEN – CR 1752, 1998**. Ventilation for Buildings: Design Criteria for the Indoor Environment. CEN, Brussels.

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

FIALHO, R. N. **Edifícios de escritório na cidade de São Paulo**. 2007. 285p. Tese (Doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FISK, William J. **Health and productivity gains from better indoor environments and their relationship with building energy efficiency**, 2000. Annual Review of Energy and the Environment, Vol. 25, DOI: 10.1146/annurev.energy.25.1.537., 2000, 537-566p.

FISK, William J.; Seppanen, O. **CLIMA 2007** Conference, 2007. Disponível em: <[http://immobilierdurable.umapresence.com/images/2128\\_uploads/b\\_n\\_fices\\_\\_co\\_et\\_confort\\_DK\\_.pdf](http://immobilierdurable.umapresence.com/images/2128_uploads/b_n_fices__co_et_confort_DK_.pdf)>. Acesso em: 14 nov. 2013.

FISK, William J.; Seppanen, O. Some Quantitative Relations between Indoor Environmental Quality and Work Performance or Health. **ASHRAE Journal**, 2006.

FUJIOKA, P. Y. **Edifício Itália e a arquitetura dos edifícios de escritórios em São Paulo**. 1996. 127p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1996.

ISO. **Standard 7730/2005**. Moderate thermal environments – determination of the PMV and PPD indices and specifications of the conditions for thermal comfort, Geneva: International Organization for Standardization, 2005.

LEED – Leadership in Energy and Environmental Design. **2009 for Existing Buildings – Operation and Maintenance**, Green Building Council Brasil. 2009.

Disponível em:

<<http://gbcbrasil.org.br/sistema/certificacao/CheckListLEEDEBOM2009Portugues.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2013.

MARAN, M. **Modernização de Sistema de ar condicionado – estudo de caso de implantação de melhorias para um edifício de escritórios**. 2005. 106p.

Monografia (MBA em Gerenciamento de Facilidades). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Programa de Educação Continuada em Engenharia, São Paulo, 2005. Disponível em: < <http://poli-integra.poli.usp.br/library/pdfs/c5dfdee35810a1f78ae080acf521dd98.pdf>>.

Acesso em: 05 out. 2013.

Ministério do Trabalho – **Norma Regulamentadora NR nº 17 – Ergonomia**.

Disponível em:

<[http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEFBAD7064803/nr\\_17.pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEFBAD7064803/nr_17.pdf)>. Acesso em: 16 nov. 2013.

NIOSH: National Institute of Occupational Safety and Health. NIOSH Publications and Products, **Building Air Quality; Workplace Solutions**. Disponíveis em: <<http://www.cdc.gov/niosh/>>. Acesso em 10 set. 2013.

NRE – Núcleo de Real Estate da Universidade de São Paulo. Classificação de Edifícios de Escritórios. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.realestate.br/site/>>. Acesso em 15 out. 2013.

OLESEN, B. W. **Thermal Environments**, Wirsbo-Velta GmbH, Norderstedt, Germany. 2000, 30p. Disponível em: <[http://www.healthyheating.com/Thermal\\_Comfort\\_Working\\_Copy/downloads/Thermal%20Comfort.pdf](http://www.healthyheating.com/Thermal_Comfort_Working_Copy/downloads/Thermal%20Comfort.pdf)>. Acesso em 24 out. 2013.

OLESEN, B. W.; PARSONS, K.C. Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730 – Energy and building. **Elsevier Science**, Loughborough, UK, 34, 2002, 537-548p.

PRADO, R. T. A.; CARMO, A. T. **Qualidade do Ar Interno**. Texto Técnico da Escola Politécnica da USP - ISSN 1413-0386, TT/PCC/23, São Paulo, SP, 1999.

ROBERTSON, G. **Sick Buildings: Effects, causes, analysis and prevention**. In: COUNCILL ON TALL BUIDINGS AND URBAN HABITAT. Rehabilitation of Damaged Buildings. Bethlehem, Le High University, 1995, 70-88p.

SILVA, L. B. **Análise da relação entre produtividade e conforto térmico: o caso dos digitadores do centro de processamento de dados e cobrança da Caixa Econômica Federal do estado de Pernambuco**. Tese (Doutorado). 2001. 169p. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2001.

SILVA, A. F. S. **Avaliação da qualidade ambiental interior de um edifício climatizado artificialmente, com ênfase na análise do conforto térmico**. 2010. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2010.

SUZUKI, E. H. **Avaliação do conforto térmico e do nível de CO<sub>2</sub> em edifícios de escritório com climatização artificial na cidade de São Paulo**. 2010. 146p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

## ANEXO 1

A seguir estão as tabelas com os valores coletados nos cinco pontos distintos do andar-tipo, objeto do estudo de caso. As medições foram feitas em 11/03/2011, estação de verão do ano.

Cabe ressaltar o significado das abreviaturas, em inglês e português, conforme segue:

- Tw: Wet Teperature - Temperatura de Bulbo Úmido, em °C;
- Tg: Globe Temperature - Temperatura de globo, em °C;
- Ta: Air Temperature – Temperatura do ar (Bulbo Seco), em °C;
- Pr: Water Vapour partial Pressure - Pressão de vapor d'água parcial, em Pa;
- RH: Relative Humidity ou UR: Umidade Relativa do ar, ambos em %;
- Va: Air Velocity - Velocidade do ar, em m/s;
- Tr: Mean Radiant Temperature - Temperatura radiante média, em °C;
- WBGT: Wet Bulb Globe Temperature - Índice de Bulbo Úmido e Temperatura de Globo, em °C – sendo, “i”, interior; “o”, exterior;
- Text: Temperatura do ar externo ao prédio, em °C;

**Tabela 1 – Condições do ar externo em 11.03.2011, período da medição de campo realizada no estudo de caso**

Condições do Ar Externo 11.03.2011		
Horário	T ext (°C)	UR (%)
10h	23,1	68
11h	24,1	66
12h	25,1	62
13h	25,2	69
14h	24,2	75
15h	23,6	76

**Fonte: Estação meteorológica do prédio**

Tabela 2 – Registro dos valores das amostras do Ponto 1 de medição

PONTO 1 - Vendas									
Horário da amostra	Tw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Pr (Pa)	RH (%)	Va (m/s)	Tr (°C)	WBGT (i) (°C)	WBGT (o) (°C)
10:40:00	19,50	23,90	23,40	923,60	66,10	0,01	24,00	20,80	20,80
10:41:00	19,70	23,80	23,30	923,60	67,40	0,03	24,10	20,90	20,90
10:42:00	19,70	23,80	23,30	923,60	68,60	0,06	24,30	21,00	20,90
10:43:00	19,90	23,80	23,30	923,60	69,10	0,02	24,00	21,00	21,00
10:44:00	19,80	23,70	23,20	923,60	68,70	0,00	23,90	21,00	20,90
10:45:00	19,80	23,70	23,20	923,60	69,00	0,02	23,90	21,00	20,90
10:46:00	20,00	23,70	23,20	923,60	69,80	0,02	23,90	21,10	21,00
10:47:00	20,00	23,60	23,20	923,50	70,40	0,12	24,30	21,10	21,00
10:48:00	20,10	23,60	23,20	923,50	70,70	0,12	24,30	21,10	21,10
10:49:00	20,10	23,60	23,20	923,50	71,00	0,20	24,40	21,10	21,10
10:50:00	20,10	23,60	23,20	923,50	69,80	0,09	24,10	21,20	21,10
10:51:00	19,90	23,60	23,20	923,50	68,60	0,04	23,90	21,00	21,00
10:52:00	19,70	23,60	23,20	923,50	67,20	0,03	23,90	20,90	20,80
10:53:00	19,60	23,60	23,20	923,50	66,70	0,12	24,20	20,80	20,70
10:54:00	19,50	23,60	23,20	923,50	67,50	0,14	24,30	20,80	20,70
10:55:00	19,60	23,60	23,10	923,50	68,60	0,08	24,10	20,80	20,80
10:56:00	19,80	23,60	23,10	923,50	69,40	0,21	24,50	20,90	20,90
10:57:00	19,80	23,60	23,10	923,50	70,00	0,08	24,10	21,00	20,90
10:58:00	19,90	23,60	23,10	923,50	69,30	0,04	23,90	21,00	21,00
10:59:00	19,80	23,60	23,10	923,50	69,40	0,05	23,90	20,90	20,90
11:00:00	19,80	23,60	23,10	923,50	69,90	0,16	24,30	20,90	20,90
11:01:00	19,90	23,60	23,20	923,50	70,40	0,02	23,80	21,00	21,00
11:02:00	20,00	23,60	23,20	923,50	70,90	0,07	24,00	21,10	21,00
11:03:00	20,10	23,60	23,20	923,40	71,10	0,11	24,20	21,10	21,10
11:04:00	20,10	23,60	23,20	923,50	70,10	0,07	24,00	21,10	21,10
11:05:00	19,90	23,60	23,20	923,50	68,70	0,11	24,20	21,00	21,00
11:06:00	19,80	23,60	23,20	923,40	67,60	0,14	24,30	20,90	20,90
11:07:00	19,60	23,60	23,20	923,40	66,90	0,15	24,30	20,80	20,70
11:08:00	19,50	23,60	23,10	923,40	67,30	0,06	24,00	20,70	20,70
11:09:00	19,60	23,60	23,10	923,40	68,40	0,22	24,60	20,80	20,70
média	19,82	23,64	23,19	923,51	68,95	0,09	24,12	20,96	20,92
desvio	0,19	0,08	0,07	0,06	1,38	0,06	0,20	0,12	0,13

Fonte: Levantamento de campo

Tabela 3 – Registro dos valores das amostras do Ponto 2 de medição

PONTO 2 - S. Reunião 3									
Horário da amostra	Tw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Pr (Pa)	RH (%)	Va (m/s)	Tr (°C)	WBGT (i) (°C)	WBGT (o) (°C)
11:30:00	20,40	24,10	23,90	923,30	67,40	0,03	24,20	21,50	21,50
11:31:00	20,30	24,10	23,90	923,30	67,10	0,07	24,30	21,40	21,40
11:32:00	20,30	24,10	23,90	923,20	66,90	0,01	24,20	21,40	21,40
11:33:00	20,20	24,10	23,90	923,30	66,70	0,03	24,20	21,40	21,40
11:34:00	20,20	24,10	23,90	923,30	66,60	0,07	24,30	21,40	21,40
11:35:00	20,30	24,10	23,90	923,20	66,50	0,04	24,20	21,40	21,40
11:36:00	20,20	24,10	23,90	923,20	66,70	0,12	24,40	21,40	21,40
11:37:00	20,20	24,10	23,90	923,20	66,80	0,04	24,20	21,30	21,30
11:38:00	20,20	24,00	23,90	923,20	67,00	0,01	24,10	21,40	21,40
11:39:00	20,30	24,00	23,90	923,20	67,00	0,05	24,20	21,40	21,40
11:40:00	20,20	24,00	23,80	923,20	67,10	0,05	24,20	21,40	21,40
11:41:00	20,30	24,00	23,80	923,20	67,10	0,03	24,10	21,40	21,40
11:42:00	20,30	24,00	23,80	923,20	67,10	0,03	24,10	21,40	21,40
11:43:00	20,20	24,00	23,80	923,20	66,80	0,01	24,10	21,40	21,30
11:44:00	20,20	24,00	23,80	923,20	66,50	0,01	24,10	21,30	21,30
11:45:00	20,20	24,00	23,80	923,20	66,50	0,06	24,20	21,30	21,30
11:46:00	20,20	24,00	23,80	923,20	66,40	0,10	24,20	21,30	21,30
11:47:00	20,10	24,00	23,80	923,10	66,40	0,10	24,20	21,30	21,30
11:48:00	20,10	24,00	23,80	923,10	66,20	0,01	24,00	21,30	21,30
11:49:00	20,10	24,00	23,80	923,10	66,30	0,02	24,10	21,30	21,30
11:50:00	20,20	24,00	23,80	923,10	66,40	0,02	24,10	21,30	21,30
11:51:00	20,20	24,00	23,80	923,10	66,60	0,02	24,10	21,30	21,30
11:52:00	20,20	24,00	23,80	923,10	66,60	0,02	24,10	21,30	21,30
11:53:00	20,20	24,00	23,80	923,10	66,60	0,09	24,20	21,40	21,40
11:54:00	20,20	24,00	23,80	923,00	66,70	0,12	24,20	21,40	21,30
11:55:00	20,20	24,00	23,80	923,00	66,90	0,08	24,20	21,30	21,30
11:56:00	20,20	24,00	23,80	923,00	66,90	0,05	24,20	21,40	21,30
11:57:00	20,30	24,00	23,80	923,00	66,90	0,00	24,10	21,40	21,40
11:58:00	20,30	24,00	23,90	923,00	66,90	0,02	24,10	21,40	21,40
11:59:00	20,30	24,00	23,90	923,00	66,90	0,04	24,20	21,40	21,40
média	20,23	24,03	23,84	923,15	66,75	0,05	24,17	21,37	21,36
desvio	0,07	0,04	0,05	0,10	0,28	0,03	0,08	0,05	0,06

Fonte: Levantamento de campo

Tabela 4 – Registro dos valores das amostras do Ponto 3 de medição

PONTO 3 - Esc. Adm.									
Horário da amostra	Tw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Pr (Pa)	RH (%)	Va (m/s)	Tr (°C)	WBGT (i) (°C)	WBGT (o) (°C)
12:10:00	20,70	24,60	24,50	922,80	66,50	0,00	24,60	21,90	21,90
12:11:00	20,70	24,70	24,50	922,80	65,80	0,08	24,90	21,90	21,90
12:12:00	20,60	24,70	24,50	922,80	65,80	0,03	24,90	21,80	21,80
12:13:00	20,60	24,80	24,60	922,70	65,50	0,02	24,90	21,90	21,80
12:14:00	20,50	24,80	24,60	922,70	64,40	0,02	25,00	21,80	21,80
12:15:00	20,40	24,90	24,60	922,70	63,30	0,02	25,00	21,70	21,70
12:16:00	20,20	24,90	24,50	922,70	62,30	0,09	25,20	21,60	21,60
12:17:00	20,00	24,80	24,50	922,70	62,20	0,13	25,30	21,50	21,40
12:18:00	19,90	24,80	24,50	922,60	61,80	0,07	25,20	21,40	21,40
12:19:00	20,00	24,80	24,40	922,60	62,90	0,05	25,10	21,40	21,40
12:20:00	20,00	24,80	24,40	922,60	63,10	0,17	25,40	21,50	21,40
12:21:00	20,20	24,80	24,40	922,60	63,50	0,00	24,90	21,50	21,50
12:22:00	20,10	24,70	24,40	922,60	62,80	0,00	24,80	21,50	21,50
12:23:00	19,90	24,70	24,40	922,60	62,00	0,08	25,10	21,40	21,30
12:24:00	20,00	24,70	24,40	922,60	61,80	0,04	25,00	21,40	21,40
12:25:00	19,80	24,70	24,30	922,60	61,40	0,14	25,30	21,30	21,30
12:26:00	19,90	24,70	24,30	922,60	62,20	0,04	25,00	21,30	21,30
12:27:00	20,10	24,70	24,30	922,50	63,40	0,02	24,90	21,50	21,40
12:28:00	20,20	24,70	24,40	922,50	64,60	0,04	24,90	21,60	21,50
12:29:00	20,30	24,70	24,40	922,50	65,30	0,04	24,90	21,60	21,60
12:30:00	20,30	24,70	24,40	922,50	65,30	0,12	25,10	21,60	21,60
12:31:00	20,20	24,70	24,40	922,50	64,20	0,10	25,10	21,50	21,50
12:32:00	20,20	24,70	24,40	922,50	64,00	0,05	24,90	21,50	21,50
12:33:00	20,20	24,70	24,30	922,40	64,50	0,03	24,90	21,60	21,50
12:34:00	20,30	24,70	24,30	922,40	65,00	0,04	24,90	21,60	21,60
12:35:00	20,40	24,70	24,40	922,40	65,80	0,02	24,80	21,70	21,60
12:36:00	20,50	24,70	24,40	922,40	66,10	0,05	24,90	21,70	21,70
12:37:00	20,40	24,70	24,40	922,40	65,40	0,08	25,00	21,70	21,60
12:38:00	20,30	24,70	24,40	922,40	64,40	0,02	24,80	21,60	21,60
12:39:00	20,10	24,70	24,30	922,40	64,40	0,02	24,80	21,50	21,40
12:40:00	20,10	24,70	24,30	922,40	63,70	0,02	24,80	21,50	21,50
12:41:00	20,20	24,70	24,30	922,30	64,50	0,03	24,90	21,50	21,50
12:42:00	20,30	24,60	24,30	922,30	65,30	0,08	25,00	21,60	21,60
12:43:00	20,40	24,70	24,30	922,30	66,00	0,02	24,80	21,70	21,70
12:44:00	20,50	24,70	24,30	922,30	66,50	0,03	24,90	21,70	21,70
12:45:00	20,50	24,70	24,40	922,30	67,00	0,02	24,80	21,80	21,70
12:46:00	20,60	24,70	24,40	922,30	67,60	0,02	24,80	21,80	21,80
12:47:00	20,70	24,70	24,40	922,20	67,70	0,03	24,80	21,90	21,90
12:48:00	20,70	24,70	24,50	922,20	66,50	0,05	24,90	21,90	21,90
12:49:00	20,60	24,80	24,50	922,20	65,30	0,05	25,00	21,80	21,80

Continua

									<b>Conclusão</b>
12:50:00	20,40	24,80	24,50	922,20	64,40	0,09	25,10	21,70	21,70
12:51:00	20,30	24,80	24,40	922,20	64,10	0,00	24,90	21,70	21,60
12:52:00	20,30	24,70	24,40	922,20	64,60	0,03	25,00	21,70	21,60
12:53:00	20,30	24,70	24,40	922,20	64,40	0,04	25,00	21,60	21,60
12:54:00	20,30	24,70	24,40	922,20	64,00	0,03	24,90	21,60	21,60
12:55:00	20,30	24,70	24,40	922,20	63,70	0,00	24,80	21,60	21,60
12:56:00	20,20	24,70	24,30	922,20	62,90	0,03	24,90	21,50	21,50
12:57:00	20,10	24,70	24,30	922,20	63,20	0,05	25,00	21,50	21,50
12:58:00	20,20	24,70	24,30	922,20	64,10	0,08	25,10	21,50	21,50
12:59:00	20,20	24,60	24,30	922,20	65,00	0,02	24,80	21,60	21,50
13:00:00	20,40	24,60	24,30	922,10	66,00	0,00	24,70	21,70	21,60
13:01:00	20,50	24,60	24,30	922,10	66,50	0,02	24,80	21,80	21,70
13:02:00	20,50	24,60	24,30	922,10	67,00	0,13	25,10	21,80	21,70
13:03:00	20,60	24,70	24,40	922,00	67,30	0,04	24,90	21,80	21,80
13:04:00	20,60	24,70	24,40	922,00	67,80	0,05	24,90	21,80	21,80
13:05:00	20,60	24,70	24,40	922,00	68,00	0,04	24,90	21,80	21,80
13:06:00	20,60	24,70	24,40	922,00	67,20	0,01	24,70	21,80	21,80
13:07:00	20,60	24,70	24,40	922,00	67,00	0,03	24,80	21,80	21,80
13:08:00	20,60	24,60	24,40	922,00	67,30	0,03	24,80	21,80	21,80
13:09:00	20,50	24,60	24,30	921,90	66,60	0,03	24,80	21,70	21,70
média	20,33	24,71	24,39	922,37	64,85	0,05	24,94	21,64	21,61
desvio	0,23	0,07	0,08	0,24	1,74	0,04	0,15	0,16	0,16

**Fonte: Levantamento de campo**

Tabela 5 – Registro dos valores das amostras do Ponto 4 de medição

PONTO 4 - RH									
Horário da amostra	Tw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Pr (Pa)	RH (%)	Va (m/s)	Tr (°C)	WBGT (i) (°C)	WBGT (o) (°C)
13:45:00	19,20	24,00	23,40	921,70	63,10	0,23	25,40	20,70	20,60
13:46:00	19,30	23,90	23,30	921,70	64,20	0,13	24,90	20,70	20,60
13:47:00	19,20	23,90	23,30	921,70	63,40	0,07	24,50	20,60	20,50
13:48:00	19,20	23,80	23,20	921,60	64,60	0,07	24,40	20,60	20,50
13:49:00	19,20	23,80	23,20	921,60	64,40	0,14	24,70	20,60	20,50
13:50:00	19,20	23,70	23,20	921,60	64,40	0,10	24,40	20,50	20,50
13:51:00	19,10	23,70	23,20	921,60	64,20	0,13	24,50	20,50	20,50
13:52:00	19,10	23,70	23,10	921,50	64,30	0,11	24,40	20,50	20,40
13:53:00	19,10	23,60	23,10	921,60	64,30	0,06	24,20	20,50	20,40
13:54:00	19,10	23,60	23,10	921,60	64,00	0,14	24,50	20,50	20,40
13:55:00	19,10	23,60	23,10	921,60	65,10	0,51	25,40	20,40	20,40
13:56:00	19,00	23,60	23,00	921,50	63,50	0,08	24,20	20,40	20,30
13:57:00	19,10	23,60	23,00	921,50	64,80	0,11	24,30	20,40	20,40
13:58:00	19,20	23,60	23,00	921,50	64,60	0,08	24,10	20,50	20,40
13:59:00	19,10	23,60	23,00	921,50	64,00	0,11	24,30	20,50	20,40
14:00:00	19,10	23,60	23,00	921,50	64,40	0,13	24,40	20,40	20,40
14:01:00	19,00	23,60	23,00	921,50	64,60	0,23	24,70	20,40	20,30
14:02:00	19,00	23,60	23,00	921,50	63,90	0,05	24,00	20,40	20,30
14:03:00	19,10	23,50	23,00	921,50	64,50	0,13	24,40	20,40	20,40
14:04:00	19,10	23,60	23,00	921,50	65,00	0,13	24,40	20,40	20,40
14:05:00	19,10	23,50	23,00	921,50	64,10	0,09	24,20	20,40	20,40
14:06:00	19,10	23,50	23,00	921,50	64,20	0,06	24,10	20,40	20,40
14:07:00	19,10	23,50	23,00	921,50	65,10	0,10	24,30	20,40	20,40
14:08:00	19,10	23,50	23,00	921,40	64,30	0,12	24,30	20,40	20,40
14:09:00	19,10	23,50	22,90	921,40	64,80	0,25	24,80	20,40	20,30
14:10:00	19,10	23,50	22,90	921,40	65,10	0,20	24,60	20,40	20,30
14:11:00	19,00	23,50	22,90	921,40	65,70	0,35	25,10	20,40	20,30
14:12:00	19,00	23,50	22,90	921,40	64,90	0,07	24,10	20,40	20,30
14:13:00	19,10	23,50	22,90	921,30	64,80	0,31	24,90	20,40	20,30
14:14:00	19,10	23,50	22,90	921,40	65,20	0,15	24,40	20,40	20,40
média	19,11	23,62	23,05	921,52	64,45	0,15	24,50	20,46	20,40
desvio	0,07	0,14	0,13	0,10	0,56	0,10	0,36	0,09	0,09

Fonte: Levantamento de campo

Tabela 6 – Registro dos valores das amostras do Ponto 5 de medição

PONTO 5 - Auditório									
Horário da amostra	Tw (°C)	Tg (°C)	Ta (°C)	Pr (Pa)	RH (%)	Va (m/s)	Tr (°C)	WBGT (i) (°C)	WBGT (o) (°C)
14:40:00	20,00	24,10	23,80	921,00	64,20	0,00	24,20	21,30	21,20
14:41:00	19,90	24,10	23,80	921,00	64,60	0,01	24,20	21,20	21,20
14:42:00	20,00	24,10	23,80	920,90	65,80	0,02	24,20	21,20	21,20
14:43:00	20,10	24,10	23,80	920,90	66,40	0,01	24,20	21,30	21,30
14:44:00	20,20	24,10	23,80	920,90	67,10	0,01	24,10	21,40	21,30
14:45:00	20,20	24,00	23,80	920,90	67,60	0,01	24,10	21,40	21,30
14:46:00	20,20	24,00	23,80	920,80	67,60	0,00	24,10	21,40	21,40
14:47:00	20,30	24,00	23,80	920,80	67,40	0,00	24,10	21,40	21,40
14:48:00	20,30	24,00	23,80	920,80	67,20	0,00	24,10	21,40	21,40
14:49:00	20,30	24,00	23,80	920,80	66,90	0,00	24,10	21,40	21,40
14:50:00	20,30	24,10	23,90	920,80	66,80	0,00	24,10	21,40	21,40
14:51:00	20,30	24,10	23,90	920,80	66,70	0,02	24,20	21,40	21,40
14:52:00	20,40	24,10	23,90	920,70	66,50	0,00	24,10	21,50	21,50
14:53:00	20,40	24,10	23,90	920,70	66,20	0,02	24,20	21,50	21,50
14:54:00	20,40	24,10	24,00	920,80	65,90	0,00	24,20	21,50	21,50
14:55:00	20,40	24,20	24,00	920,80	65,70	0,00	24,20	21,50	21,50
14:56:00	20,40	24,20	24,00	920,80	65,60	0,00	24,20	21,50	21,50
14:57:00	20,40	24,20	24,10	920,80	65,60	0,01	24,30	21,50	21,50
14:58:00	20,30	24,30	24,10	920,80	65,40	0,00	24,30	21,50	21,50
14:59:00	20,40	24,30	24,10	920,70	65,10	0,00	24,30	21,50	21,50
15:00:00	20,30	24,30	24,10	920,70	63,60	0,00	24,30	21,50	21,50
15:01:00	20,00	24,30	24,10	920,70	62,60	0,00	24,40	21,30	21,30
15:02:00	19,90	24,30	24,10	920,70	62,20	0,00	24,40	21,20	21,20
15:03:00	19,90	24,30	24,00	920,70	63,10	0,00	24,30	21,20	21,20
15:04:00	20,00	24,30	24,00	920,70	64,00	0,00	24,30	21,30	21,30
15:05:00	20,10	24,20	24,00	920,70	65,20	0,00	24,30	21,30	21,30
15:06:00	20,20	24,20	24,00	920,70	66,00	0,01	24,30	21,40	21,40
15:07:00	20,30	24,20	23,90	920,80	66,50	0,00	24,30	21,50	21,40
15:08:00	20,40	24,20	23,90	920,70	67,00	0,00	24,20	21,50	21,50
15:09:00	20,50	24,20	23,90	920,80	67,40	0,00	24,20	21,60	21,60
média	20,23	24,16	23,93	920,79	65,73	0,004	24,22	21,40	21,39
desvio	0,18	0,10	0,11	0,09	1,49	0,01	0,09	0,11	0,12

Fonte: Levantamento de campo