

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**PERCEPÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO:  
PREFERÊNCIAS SUBJETIVAS E CONFORTO TÉRMICO**

**AUTORA: MÁRCIA SILVA FONTANELLA**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Henor Artur de Souza

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências da Engenharia Civil, área de concentração: Construção Metálica.

Ouro Preto, Fevereiro de 2009.

F679p

Fontanella, Márcia Silva.

Percepção do ambiente térmico [manuscrito] : preferências subjetivas e conforto térmico / Márcia Silva Fontanella - 2009.

xvii, 145f.: il. color., graf., tabs., mapas.

Orientador: Prof. Dr. Henor Artur de Souza.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Metálica.

1. Conforto térmico - Teses. 2. Salas de aula - Teses. I. Universidade Federal de Ouro Preto. II. Título.

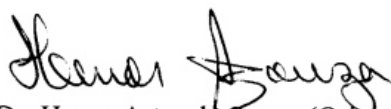
CDU: 697

Catálogo: [sisbin@sisbin.ufop.br](mailto:sisbin@sisbin.ufop.br)

**PERCEPÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO: PREFERÊNCIAS  
SUBJETIVAS E CONFORTO TÉRMICO**

**AUTORA: MÁRCIA SILVA FONTANELLA**

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 20 de fevereiro de 2009, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



Prof. Dr. Henor Artur de Souza (Orientador / UFOP)



Prof. Dr. Marcílio Sousa da Rocha Freitas (UFOP)



Prof. Dr. Eduardo Leite Krüger (UTFPR)

À minha família e ao Juliano.



## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus que me permitiu mais esse aprimoramento.

À minha família, pelo incentivo e compreensão pelo tempo de ausência.

Ao Juliano Paiva Bianco da Silva, pela incondicional ajuda, carinho e motivação.

Ao meu orientador Prof<sup>o</sup>. Henor Artur de Souza, pela orientação e confiança.

Aos professores Andrea Dias Silva e João Artur de Souza pela ajuda e esclarecimentos.

Aos bolsistas da graduação Lidiane Rodrigues de Deus, Vítor Lisboa Silveira, Pedro Henrique Sousa Prado e Renato Fernandes Ferreira, pela disposição e ajuda.

Aos colegas do Mestrado e Doutorado, pela amizade.

Ao PROPEC e professores, pela oportunidade e ensino.

À CAPES, pelo fomento à pesquisa.

E a todos que contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho, obrigada.

## RESUMO

O conforto interno de um ambiente construído, em relação ao ambiente térmico, luminoso e à transmissão de ruído, está na adequação do sistema de fechamento (externo e interno) da edificação, além de um projeto arquitetônico que aproveite, de forma eficiente, as condições climáticas locais e a iluminação natural. A qualidade, a expressão e os efeitos dos ambientes proporcionados pelas diversas soluções arquitetônicas mostram em alguns casos, sintomas da falta de critério e de aprofundados estudos em relação à qualificação dos ambientes com relação ao uso da luz tanto na falta, quanto no excesso, sistema de fechamento adequado ao clima e às condições de ruído do local. Condições microclimáticas adequadas são importantes em qualquer ambiente construído, em particular, nos ambientes educacionais. Nesses ambientes, a qualidade, ou seja, as condições de conforto (térmico, acústico e luminoso) no mesmo, podem atuar no rendimento do aluno, influenciando na concentração, compreensão, aprendizagem e desempenho global. Avalia-se o ambiente térmico das salas de aula da Universidade Federal de Ouro Preto, especificamente na Escola de Minas e no Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (edifícios com sistemas construtivos diferentes), investigando-se a percepção dos usuários. A investigação é realizada por meio da aplicação de questionários e medição das variáveis ambientais *in loco*, simultaneamente, ao longo dos meses de junho, outubro e novembro de 2008. Os resultados obtidos são tratados estatisticamente obtendo-se os limites de conforto para a população em estudo, por meio da análise probit. No caso em estudo, obtém-se uma percentagem de aproximadamente 70% de satisfeitos com o ambiente térmico.

## **ABSTRACT**

The indoor comfort in the built environment, concerning the thermal, luminous environment and the noise transmission, lies on the adequacy of the building envelope, besides an architectonic project that takes the advantage of the local climatic conditions and the natural illumination in an efficient way. The quality, the expressiveness, and the effects of the environments provided by the several architectonic solutions show, in some cases, symptoms of the lack of criteria and the lack of deeper studies concerning the qualification of the environments regarding to the use of the light, both in its lack and in its excess, an enclosure system which is adequate to the climate and the local noise. Adequate microclimatic conditions are important for any built environment, especially for educational environments. In these environments, the comfort conditions (thermal, acoustic, and luminous comfort) may influence on the student's performance, concentration, comprehension, learning and global performance. In this study, the thermal environment of the classrooms of the Federal University of Ouro Preto (UFOP) was evaluated, specifically at the "Escola de Minas" and the "Instituto de Ciências Exatas e Biológicas" (both with different building systems), by the perceptions of the students. The investigation was carried out by questionnaires and measurement of the environmental variables in loco, simultaneously, throughout the months of June, August, and November of 2008. The results were statistically treated, obtaining the comfort limits for the sample of this study by the probit analysis. In this study, the percentage of satisfaction with the thermal environment was 70%.

## SUMÁRIO

Resumo	vi
Abstract	vii
Lista de figuras	xi
Lista de tabelas	xvii
1 . INTRODUÇÃO	1
1.1 . Homeotermia e corpo humano	1
1.1.1 . Homeotermia	1
1.1.2 . A termo-regulação	1
1.1.3 . Fadiga higratérmica e estresse térmico	2
1.2 . Importância do conforto humano x desempenho das edificações	3
1.3 . Objetivo	4
1.4 . Justificativa	4
1.5 . Estrutura do trabalho	5
2 . CONFORTO TÉRMICO	6
2.1 . Definição geral e Estado da Arte	6
2.1.1 . Parâmetros importantes	9
2.1.1.1 . Parâmetros individuais	10
2.1.1.2 . Parâmetros ambientais	10
2.2 . Índices de conforto térmico	11
2.2.1 . Diagrama Bioclimático de Olgyay	12
2.2.2 . Diagrama Bioclimático de Givoni	16
2.2.3 . Índice de Temperatura Efetiva	19
2.2.4 . Diagrama Bioclimático de Szokolay	21
2.2.5 . Método Fanger de PMV e PPD	23
2.2.5.1 . Voto Médio Estimado (PMV)	23
2.2.5.2 . Percentual de pessoas insatisfeitas (PPD)	25
2.2.6 . Temperatura de Globo de Bulbo Úmido (WBGT)	27
2.3 . Conforto x Ambiente Escolar	29

2.4 . Desempenho térmico do ambiente x conforto	41
3 . METODOLOGIA ADOTADA	44
3.1 . Formulação do Problema	44
3.2 . Etapas de desenvolvimento da pesquisa	45
3.2.1 . Definição e planejamento do projeto	45
3.2.2 . Coleta de dados e tipos de variáveis manipuladas	45
3.2.3 . Parâmetros físico-ambientais medidos diretamente	46
3.2.3.1 . Temperatura do ar	46
3.2.3.2 . Umidade absoluta do ar	49
3.2.3.3 . Temperatura de Globo	51
3.2.4 . Parâmetros físico-ambientais calculados	51
3.2.4.1 . Temperatura radiante	52
3.2.4.2 . Temperatura operativa	52
3.2.5 . Parâmetros psico-fisiológicos	53
3.2.6 . Tratamento dos dados e obtenção dos resultados	54
3.3 . Caracterização do objeto de estudo	56
3.3.1 . Região climática	56
3.3.2 . Edificações	57
3.3.2.1 . Escola de Minas	58
3.3.2.2 . Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB)	62
3.4 . Procedimentos adotados para a pesquisa de campo	66
3.5 . Amostragem	68
3.5.1 . Tamanho da amostra	69
3.5.2 . Caracterização da amostra	70
3.6 . Limites da pesquisa e incertezas experimentais	75
4 . RESULTADOS	77
4.1 . Análise das salas avaliadas	77
4.2 . Variáveis ambientais	78
4.3 . Correlações entre as variáveis psico-fisiológicas	83
4.4 . Análise do cruzamento das variáveis ambientais e as psico-fisiológicas	96
4.4.1 . Sensação térmica	99

4.4.2 . Satisfação com o ambiente	102
4.4.3 . Adaptação ao ambiente	104
4.5 . Definição dos limites de conforto térmico	107
4.6 . Comparação dos resultados com os índices de conforto estudados	120
4.6.1 . Diagrama bioclimático de Olgyay	121
4.6.2 . Diagrama bioclimático de Givoni	122
4.6.3 . Índice de temperatura efetiva	123
4.6.4 . Diagrama Bioclimático de Szokolay	125
4.6.5 . Método de Fanger de PMV e PPD	125
5 . CONCLUSÕES	128
5.1 . Sugestões para trabalhos futuros	129
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIOS	138
A.1 . Formulário – Usuário	138
A.2 . Formulário – Pesquisador	140
APÊNDICE B – ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS DE OURO PRETO-MG	141
B.1 . Temperaturas do ar externo	141

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Zona de conforto térmico de Olgyay	14
Figura 2.2 – Condições que se deve cumprir para devolver o ambiente à zona de conforto	15
Figura 2.3 – Carta Bioclimática de Givoni com limites da Zona de Conforto ampliados para países de clima quente	17
Figura 2.4 - Ábaco da Temperatura Efetiva	20
Figura 2.5 – Carta Bioclimática de Szokolay (1987)	22
Figura 2.6 – PPD em função do PMV	26
Figura 2.7 - Percentagem de aceitação (a) e preferência (b) em função do PMV, temperatura operativa, resistência da roupa e da sala avaliada	38
Figura 2.8 – Resultados da pesquisa sobre ambiente interno e externo	40
Figura 2.9 – Três diferentes estratégias de controle de CO <sub>2</sub> segundo os resultados da pesquisa	41
Figura 3.1 – Sensor utilizado para medir temperatura e umidade	47
Figura 3.2 – Data Logger ALMEMO 3290-8	48
Figura 3.3 – Estação meteorológica	49
Figura 3.4 – Sensor de umidade capacitivo	50
Figura 3.5 – Termômetro de Globo	51
Figura 3.6 – Localização da região em estudo: Ouro Preto - MG	57
Figura 3.7 – Fachada principal da Escola de Minas: (a) 1998; (b) 2005	58
Figura 3.8 – Fachada norte da entrada principal da Escola de Minas em 2008	58
Figura 3.9 – Planta baixa esquemática da edificação	60
Figura 3.10 – Salas de aula da Escola de Minas	61
Figura 3.11 – Fachada sul do bloco de salas de aula da Escola de Minas	61
Figura 3.12 – Salas de aula utilizadas para a pesquisa no segundo bloco do edifício da EM	62
Figura 3.13 – Entradas principal (a) e secundária (b) do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas	63

Figura 3.14 – Planta esquemática do prédio do ICEB	64
Figura 3.15 – Fachada leste do ICEB1 e sala de aula	65
Figura 3.16 – Fachada oeste do ICEB1 e sala de aula.	65
Figura 3.17 – Planta do 1º pavimento do ICEB1 com marcação das salas utilizadas	66
Figura 3.18 – Equipamentos na sala de aula	67
Figura 3.19 – Leitura dos dados durante a aula	68
Figura 3.20 – Distribuição da frequência relativa do sexo dos pesquisados da (a) EM e (b) ICEB1	70
Figura 3.21 – Distribuição da frequência relativa da idade dos pesquisados (E.M.)	71
Figura 3.22 – Distribuição da frequência relativa da idade dos pesquisados (ICEB1)	71
Figura 3.23 – Distribuição da frequência relativa ao peso dos pesquisados (E.M.)	72
Figura 3.24 – Distribuição da frequência relativa ao peso dos pesquisados (ICEB1)	72
Figura 3.25 – Distribuição da frequência relativa à altura dos pesquisados (E.M)	73
Figura 3.26 – Distribuição da frequência relativa à altura dos pesquisados (ICEB1)	73
Figura 3.27 – Histograma de frequência com curva normal da idade dos pesquisados	74
Figura 3.28 – Histograma de frequência com curva normal do peso dos pesquisados	74
Figura 3.29 – Histograma de frequência com curva normal da altura dos pesquisados	75
Figura 4.1 – Histograma de frequência com curva normal (a) e gráfico da probabilidade (b) da Temperatura do ar	81
Figura 4.2 – Histograma de frequência com curva normal (a) e gráfico da probabilidade (b) da Umidade	81
Figura 4.3 – Histograma de frequência com curva normal (a) e gráfico da probabilidade (b) da Temperatura de Globo	81



Figura 4.4 – Histograma de frequência com curva normal (a) e gráfico da probabilidade (b) da Temperatura Radiante	82
Figura 4.5 – Histograma de frequência com curva normal (a) e gráfico da probabilidade (b) da Temperatura Operativa	82
Figura 4.6 – Julgamentos subjetivos gerais sobre conforto térmico	84
Figura 4.7 – Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico (EM)	84
Figura 4.8 – Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico (ICEB)	85
Figura 4.9 – Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico em termos de aceitabilidade das salas (E.M.)	86
Figura 4.10 – Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico em termo de aceitabilidade das salas (ICEB1)	86
Figura 4.11– Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico de acordo com o sexo dos usuários (E.M.)	87
Figura 4.12– Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico de acordo com o sexo dos usuários (ICEB1)	87
Figura 4.13– Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico de acordo com a vestimenta (E.M.)	88
Figura 4.14– Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico de acordo com a vestimenta (ICEB1)	88
Figura 4.15– Sensações percebidas de acordo com os julgamentos subjetivos (E.M.)	89
Figura 4.16– Sensações percebidas de acordo com os julgamentos subjetivos (ICEB1)	89
Figura 4.17– Movimento do ar percebido de acordo com as sensações térmicas subjetivas (E.M.)	90
Figura 4.18– Movimento do ar percebido de acordo com as sensações térmicas subjetivas (ICEB1)	90
Figura 4.19– Percepção sobre os ruídos interno e externo à sala de aula (E.M.)	91
Figura 4.20– Percepção sobre os ruídos interno e externo à sala de aula (ICEB1)	91
Figura 4.21– Percepção sobre a iluminação das salas de aula (E.M.)	92
Figura 4.22– Percepção sobre a iluminação das salas de aula (ICEB1)	93

Figura 4.23– Incidência solar e necessidade de controle através de cortinas/persianas (E.M.)	93
Figura 4.24– Incidência solar e necessidade de controle através de cortinas/persianas (ICEB1)	94
Figura 4.25– Aceitabilidade do ambiente e capacidade de estudo (E.M.)	95
Figura 4.26– Aceitabilidade do ambiente e capacidade de estudo (ICEB1)	95
Figura 4.27 – Cruzamento da temperatura do ar com a sensação térmica	99
Figura 4.28 – Cruzamento da umidade com a sensação térmica	100
Figura 4.29 – Cruzamento da temperatura de globo com a sensação térmica	100
Figura 4.30 – Cruzamento da temperatura operativa com a sensação térmica	101
Figura 4.31 – Cruzamento da temperatura do ar com a variável de satisfação com o ambiente	102
Figura 4.32 – Cruzamento da umidade com a variável de satisfação com o ambiente	102
Figura 4.33 – Cruzamento da temperatura operativa com a variável de satisfação com o ambiente	103
Figura 4.34 – Cruzamento da temperatura do ar com a aceitação do ambiente	104
Figura 4.35 – Cruzamento da temperatura operativa com a aceitação do ambiente	105
Figura 4.36 – Cruzamento da temperatura do ar com a capacidade de estudar no ambiente	106
Figura 4.37 – Cruzamento da umidade com a capacidade de estudar no ambiente	106
Figura 4.38 – Cruzamento da temperatura operativa com a capacidade de estudar no ambiente	107
Figura 4.39 – Comportamento dos probites observados e estimados relativos aos graus de satisfação MQ+Q+LQ em função da temperatura do ar	111
Figura 4.40 – Comportamento dos probites observados e estimados relativos aos graus de satisfação MQ+Q+LQ+C em função da temperatura do ar	111
Figura 4.41 – Comportamento das curvas das percentagens estimadas relativas às combinações dos graus de conforto térmico em função da temperatura do ar	112
Figura 4.42 – Frequências estimadas por regressão probit em função da temperatura do ar	115

Figura 4.43 – Percentagem de pessoas insatisfeitas estimada por regressão probit em função da temperatura do ar	115
Figura 4.44 - Comportamento das curvas das percentagens estimadas relativas às combinações dos graus de conforto térmico em função da umidade do ar	116
Figura 4.45 - Comportamento das curvas das percentagens estimadas relativas às combinações dos graus de conforto térmico em função da temperatura operativa.	117
Figura 4.46 – Comportamento das curvas das percentagens estimadas relativas às combinações MF+F+LF e MF+F+LF+C dos graus de conforto térmico em função da temperatura do ar	118
Figura 4.47 – Comportamento das curvas das percentagens estimadas relativas às combinações MF+F+LF e MF+F+LF+C dos graus de conforto térmico em função da umidade do ar	118
Figura 4.48 – Comportamento das curvas das percentagens estimadas relativas às combinações MF+F+LF e MF+F+LF+C dos graus de conforto térmico em função da temperatura operativa	119
Figura 4.49 – Diagrama psicrométrico com os parâmetros de conforto térmico determinados	120
Figura 4.50 – Diagrama de Olgyay de acordo com os limites da população em estudo	122
Figura 4.51– Comparação do diagrama de Givoni com os limites de conforto obtidos	123
Figura 4.52 - Comparação dos limites de conforto obtidos e a zona de conforto da norma ASHRAE 55:2004	124
Figura 4.53 - Comparação dos limites de conforto obtidos e a zona de conforto de Szokolay (1987)	125
Figura 4.54 - Comparação entre os modelos de Fanger e os dados experimentais levantados para a região em estudo	126
Figura B.1 – Temperatura externa do ar nos dias 28, 29 e 30 de setembro de 2008	142
Figura B.2 – Temperatura externa do ar nos dias 30 de setembro, 01 e 02 de outubro de 2008	142
Figura B.3 – Temperatura externa do ar nos dias 05, 06 e 07 de outubro de 2008	143

Figura B.4 – Temperatura externa do ar nos dias 15, 16 e 17 de novembro de 2008	143
Figura B.5 – Temperatura externa do ar nos dias 17, 18 e 19 de novembro de 2008	144
Figura B.6 – Temperatura externa do ar nos dias 18, 19 e 20 de novembro de 2008	144
Figura B.7 – Carta psicrométrica para a cidade de Ouro Preto	145

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Escala de sensação térmica	24
Tabela 2.2 – Distribuição dos votos da sensação térmica individual para diferentes valores da média de votação	27
Tabela 2.3 – Limites de tolerância da TGBU para exposição ao calor	28
Tabela 3.1 – Posições de medição para as quantidades físicas de um ambiente	47
Tabela 3.2 – Detalhamento do número de salas e questionários aplicados na pesquisa de campo	70
Tabela 4.1 – Principais características das salas de aula analisadas	78
Tabela 4.2 – Variáveis ambientais levantadas <i>in loco</i> e calculadas	79
Tabela 4.3 – Parâmetros estatísticos descritivos das variáveis ambientais	80
Tabela 4.4 – Frequências relativas às sensações subjetivas de conforto térmico	97
Tabela 4.5 – Matriz de correlação direta entre as variáveis ambientais e as variáveis psico-fisiológicas	98
Tabela 4.6 – Frequência absoluta da resposta para o grau de satisfação segundo a variação da temperatura do ar ( $T_{ar}$ )	108
Tabela 4.7 – Frequências relativas e absolutas das correlações em relação à temperatura do ar	109
Tabela 4.8 – Distribuição das frequências observadas e estimadas dos probites por categoria do grau de satisfação	110
Tabela 4.9 – Distribuição das frequências estimadas segundo a variação da temperatura do ar	114
Tabela 4.10 – Intervalo de conforto térmico para as variáveis ambientais estudadas	119

# **I. INTRODUÇÃO**

## **1.1 . Homeotermia e corpo humano**

### **1.1.1 . Homeotermia**

O sucesso do funcionamento dos organismos vivos depende do seu relacionamento com o ambiente externo. O homem pertence ao grupo dos animais homeotérmicos, que são aqueles que mantêm sua temperatura interna relativamente constante por mecanismos fisiológicos de acordo com a produção e perda de calor. Dessa forma, seu organismo é mantido a uma temperatura interna aproximadamente constante, da ordem de 37° C, com limites muito estreitos, entre 36,1 e 37,2° C, sendo 32° C o limite inferior e 42° C o limite superior para sobrevivência, em estado de enfermidade (CONFORTO..., 2008).

O organismo dos homeotérmicos pode ser comparado a uma máquina térmica, cuja energia é conseguida por meio de fenômenos térmicos. A energia térmica produzida pelo organismo humano advém de reações químicas internas, sendo a mais importante a combinação do carbono, introduzido no organismo sob a forma de alimentos, com o oxigênio, extraído do ar pela respiração. Esse processo de produção de energia interna a partir de elementos combustíveis orgânicos é denominado metabolismo.

### **1.1.2 . A termo-regulação**

A manutenção da temperatura interna do organismo relativamente constante, em ambientes cujas condições termo-higrométricas são as mais variadas possíveis, se faz por meio de seu aparelho termo-regulador, que comanda a redução ou aumento das perdas de calor pelo organismo por meio de alguns mecanismos de controle.

A termo-regulação, mesmo sendo o meio natural de controle de perdas de calor pelo organismo, representa um esforço extra e, conseqüentemente, uma queda de potencialidade de trabalho. A termo-regulação em animais pode ser dividida em

respostas comportamentais (voluntárias) e fisiológicas (involuntárias) aos estímulos externos.

As respostas comportamentais ou voluntárias mais comuns são: movimento, postura, ingestão e construção de abrigos, entre outros.

As reações fisiológicas, ou involuntárias, ao calor excessivo incluem mudanças no metabolismo, dilatação e contração de vasos sanguíneos, aumento ou diminuição da pulsação cardíaca, suor, tiritar, eriçar de pelos, entre outros.

A pele é o principal órgão termo-regulador do organismo humano, e é através dela que se realizam as trocas de calor. A temperatura da pele é regulada pelo fluxo sanguíneo que a percorre. Ao sentir desconforto térmico, o primeiro mecanismo fisiológico a ser ativado é a regulação vasomotora do fluxo sanguíneo da camada periférica do corpo, a camada subcutânea, por meio da vasodilatação ou vasoconstrição, reduzindo ou aumentando a resistência térmica dessa camada subcutânea. Outro mecanismo de termo-regulação da pele é a transpiração ativa, que tem início quando as perdas por convecção e radiação, somadas às perdas por transpiração insensível, são inferiores às perdas necessárias à termo-regulação. A transpiração ativa se faz por meio das glândulas sudoríparas. Os limites da transpiração são as perdas de sais minerais e a fadiga destas glândulas sudoríparas.

### **1.1.3 . Fadiga higrotérmica e estresse térmico**

O organismo humano passa diariamente por uma fase de fadiga, catabolismo, e por uma fase de repouso, anabolismo. O catabolismo, sob o ponto de vista fisiológico, compreende a fadiga física, muscular, resultante do trabalho de força; a fadiga termo-higrométrica, relativa ao calor ou ao frio e a fadiga nervosa, particularmente visual e sonora.

A fadiga física faz parte do processo normal de metabolismo. A fadiga termo-higrométrica é resultante do trabalho excessivo do aparelho termo-regulador, pela

existência de condições ambientais desfavoráveis, no que diz respeito à temperatura do ar, tanto com relação ao frio quanto ao calor, e à umidade do ar.

O excesso de calor, umidade, vento, ruído etc, afetam a saúde e o bem-estar das pessoas. O calor em excesso pode, por exemplo, afetar seu desempenho, causando inquietação e perda de concentração. A umidade provoca desconforto, sonolência, aumento do suor. O ruído em excesso causa inquietação, perda do sossego, concentração etc. Essas e outras perturbações que ocorrem, causam o estresse e depois de um certo tempo provocam, nas pessoas, doenças mais complexas, como as cardiovasculares, respiratórias, diabetes etc.

## **1.2 . Importância do conforto humano x desempenho das edificações**

As exigências atuais relativas à conservação de energia e conforto humano apontam para projetos de edificações que apresentem um desempenho global adequado. A eficiência global de uma edificação está associada à concepção de um projeto estrutural adequado e a um sistema de fechamento que apresente um bom desempenho termo-acústico em relação às condições climáticas locais. A escolha de materiais e métodos de construção, o conceito e disposição de formas e espaços, a procura do belo, do funcional e do seguro marcaram a evolução das construções, refletindo o nível de conhecimento, desenvolvimento e cultura da sociedade.

Além dos sistemas estrutural e construtivo, a eficiência global do ambiente construído é outro fator importante no projeto e construção de quaisquer habitações. Uma edificação projetada de forma adequada para o clima no qual está inserida torna-se mais confortável, ou menos desconfortável, além de economizar energia. Em relação à construção estruturada em aço, os sistemas de fechamento, superfícies que definem os espaços construídos de uma edificação, são uma das etapas mais importantes no processo construtivo como um todo, pois estão diretamente ligados à imagem e ao conforto termo-acústico de qualquer edificação. As interfaces, entre a estrutura e o



sistema de fechamento, são partes relevantes para um bom desempenho da edificação, bem como o aproveitamento das condições climáticas locais e da iluminação natural.

### **1.3 . Objetivo**

O objetivo deste trabalho é investigar a qualidade do ambiente térmico nas salas de aula da UFOP, especificamente na Escola de Minas (EM) e Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB1), no período de junho a novembro de 2008, assim como avaliar a percepção que os usuários têm delas.

### **1.4 . Justificativa**

Nesse sentido, o objeto de estudo do presente trabalho é o conforto térmico de usuários de edificações, cujas sensações estão associadas com o ritmo de trocas de calor entre o corpo e o meio ambiente, considerando a função das variáveis do meio e das variáveis do indivíduo adaptado à sua região e, portanto, sob a influência dos usos e costumes da população (ARAÚJO, 2001).

Os resultados obtidos poderão fornecer uma correlação entre os dados reais objetivos (medidos *in loco*) e os julgamentos subjetivos e verificação das variáveis relevantes, na avaliação de um projeto arquitetônico.

## **1.5 . Estrutura do trabalho**

Além deste capítulo introdutório, este trabalho compreende mais cinco capítulos, descritos a seguir.

No capítulo 2 explana-se sobre o conforto térmico, sua definição, os estudos precedentes na área, descrevendo e analisando os principais índices de conforto térmico, suas bases teóricas, formulação físico-matemática e gráfica, bem como restrições à sua aplicação. Além desses, descreve-se sobre o conforto em ambientes escolares, que vem a ser o foco principal deste trabalho.

No capítulo 3 expõe-se os objetivos do trabalho e formula-se e conceitua-se a situação-problema, caracterizando o objeto de estudo. Explica-se também a metodologia adotada para a execução do trabalho, enumera-se as etapas e detalha-se os procedimentos experimentais adotados nas medições de campo e os procedimentos estatísticos utilizados no tratamento dos dados levantados.

No capítulo 4 mostra-se os resultados obtidos por meio do tratamento estatístico dos dados, por meio de análises quantitativas e qualitativas. Estes são ainda discutidos e apresentados em formato gráfico compatível com os índices de conforto térmico estudados.

No capítulo 5 faz-se uma avaliação crítica do que foi executado e estudado, e indica-se possibilidades para o seu aperfeiçoamento e desenvolvimento em trabalhos posteriores.

No apêndice A, traz-se os questionários que foram preenchidos nos ensaios de campo, pelos usuários e pelo pesquisador.

No apêndice B, apresenta-se as temperaturas do ar externo nos dias que foram realizadas as medições, e a carta psicrométrica de Ouro Preto, cidade na qual a Universidade Federal de Ouro Preto está inserida.

## **II . CONFORTO TÉRMICO**

### **2.1 . Definição geral e Estado da Arte**

O conforto térmico num ambiente pode ser definido como a sensação de bem-estar experimentada por uma pessoa. Esta sensação é subjetiva, ou seja, varia de acordo com cada pessoa, o que faz um ambiente termicamente confortável para uma ser desconfortável para outra. Assim, as condições ambientais de conforto num ambiente são aquelas que propiciam bem-estar ao maior número de pessoas (ASHRAE 55:2004).

Desta forma, o conforto térmico pode ser visto e analisado sob dois pontos de vista: pessoal ou ambiental. Se considerar apenas o ponto de vista pessoal, define-se conforto térmico como sendo uma condição mental que expresse satisfação com o ambiente térmico. Do ponto de vista físico, confortável é o ambiente cujas condições permitam a manutenção da temperatura interna do corpo sem a necessidade de serem acionados os mecanismos termo-reguladores, ou seja, é necessário que o organismo humano se encontre em balanço térmico com o meio ambiente.

Já que a sensação de conforto térmico está relacionada com as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente, quanto mais agradáveis forem as condições de conforto no ambiente, mais otimizada poderá ser a tarefa realizada nesse local. Estas condições não são somente as ambientais, mas também da capacidade de aclimação ao meio ambiente, dos hábitos alimentares, das atividades, da altura, do peso, do tipo de roupa de cada indivíduo e até mesmo da idade e do sexo.

Por outro lado, as situações de desconforto podem ser causadas por temperaturas extremas, ventilação insuficiente, umidade excessiva combinada com altas temperaturas, radiação térmica devido a superfícies aquecidas, e podem ser prejudiciais criando efeitos psicológicos sobre uma pessoa num determinado ambiente, além de efeitos sobre o corpo humano, como alteração nos batimentos cardíacos e aumento da sudorese.

O reconhecimento da importância de fatores que influenciam no conforto térmico remonta à Antiguidade. Segundo Webb<sup>1</sup> (1959 apud ARAÚJO, 2001, p.297), Hipócrates (400aC) deixou uma descrição do clima fisiológico em termos de temperatura, umidade, ventos e radiação, ainda hoje qualitativamente válida.

A exatidão na medição das variáveis ambientais, sua combinação em um único índice e seu relacionamento com as necessidades dos seres humanos que vivem em condições climáticas específicas, foram os principais problemas que perduraram durante séculos. Os primeiros estudos relacionados com os índices térmicos tiveram início na Europa no século XIX, com a industrialização gerando sérios problemas de saúde para os trabalhadores, dadas as condições insalubres dos locais.

Em 1950, a ASHRAE, Associação Americana dos Engenheiros de Refrigeração, Ar Condicionado e Aquecimento, iniciou o planejamento de um amplo programa de pesquisa para reavaliar os ábacos de conforto. Destaca-se no grupo dos índices classificados como teóricos, o proposto por Fanger (1972), que formulou uma equação de conforto térmico, que correlaciona com a sensação térmica a atividade metabólica do corpo humano, sendo que esta última é função da atividade realizada pelo indivíduo. Este índice determinou três requisitos de conforto: que o corpo humano vive em constante balanço térmico com o ambiente, que a temperatura média da pele pode ser um indicativo de conforto, e que existe uma taxa preferencial de sudação para o conforto, que é também em função da taxa metabólica. Fanger elaborou também as relações entre o denominado voto médio estimado (PMV) e a percentagem de pessoas insatisfeitas (PPI) (RUAS, 1999, 2001).

A avaliação do conforto térmico pela norma ISO 7730: 2006 exige o conhecimento de outras como a norma ISO 7726: 1996 que especifica métodos e características dos instrumentos para avaliação do conforto térmico, a norma ISO 8996: 1990 que descreve métodos para a obtenção da taxa de metabolismo e a norma ISO 9920: 1995 que apresenta métodos para estimar as características térmicas das vestimentas. Entretanto, isso às vezes não é o suficiente para se obter resultados confiáveis, pois existem fatores

---

<sup>1</sup> WEBB, C. G. **An analysis of some observations of thermal comfort in equatorial climate.** London: Britain J. Industr. Med., 16, p. 297-310, 1959.

que influenciam nos resultados e que não são tratados com profundidade pelas normas, devido à abrangência do assunto.

No Brasil, da mesma forma que na Europa, as pesquisas na área foram basicamente desenvolvidas por higienistas e voltadas para as condições de trabalho. Estes estudos foram desenvolvidos na década de 1930 e 1940 durante o Governo Vargas, em instituição ligada ao Ministério do Trabalho. Dispõe da NBR 6401: 1980, que estabelece parâmetros para o projeto de instalações de ar condicionado para conforto. Nela estão especificados intervalos de temperatura do ambiente e umidade relativa para o conforto térmico de pessoas em atividade sedentária. Embora a norma não faça referência quanto à influência da temperatura radiante média, da velocidade do ar, da vestimenta e da atividade física no conforto, os intervalos recomendados não estão em desacordo com a ISO 7730: 2006, que tem como objetivo apresentar um método para prognosticar a sensação térmica e a proporção de pessoas insatisfeitas quando expostas a ambientes térmicos moderados, bem como especificar condições ambientais aceitáveis para o conforto térmico.

A partir de 1990, foi realizado no país o Encontro Nacional e Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC), um encontro bi-anual realizado por professores, pesquisadores e discentes de graduação e pós-graduação que atuam na área de conforto ambiental no ambiente construído. Gradualmente consagrado como principal fórum brasileiro e um dos mais importantes congressos latino-americanos em seu campo específico de conhecimento, o ENCAC discute pesquisas e resultados de projetos em desenvolvimento na área de conforto e desempenho de edificações, além de outros tópicos relacionados à eficiência energética de edificações, arquitetura sustentável e desenvolvimento urbano, particularmente nos países Latino-Americanos. Já na sua 9ª edição (2007), o fórum apóia pesquisas relacionadas ao conforto do ambiente construído e assim integra e atualiza informações sobre o tema em todo o país.

### **2.1.1 . Parâmetros importantes**

O conforto térmico é, em linhas gerais, obtido por trocas térmicas que dependem de vários fatores, ambientais ou pessoais, governados por processos físicos, como convecção, radiação, evaporação e eventualmente condução. Estes processos de trocas térmicas dependem da produção de calor metabólico, do nível de fatores ambientais (velocidade do vento, temperatura do ar, umidade relativa e temperatura média radiante) e do tipo de vestimenta que o indivíduo estiver usando. O efeito conjugado dos mesmos é que define o grau de conforto ou desconforto térmico sentido pelas pessoas.

Quando a reunião dessas variáveis, que atuam em conjunto, proporciona uma perda de calor no corpo em maior quantidade do que aquela que está sendo produzida pelo organismo, o ambiente é considerado frio; quando essa união propicia uma perda de calor em menor quantidade do que a produzida pelo corpo, o ambiente é considerado quente; e um ambiente pode ser considerado neutro termicamente quando ambas as dissipações estão em equilíbrio.

A influência climática sobre o comportamento e a saúde das pessoas é tão óbvia que freqüentemente ela é menosprezada.

A influência do tempo e clima sobre os organismos vivos tem sido estudada intensivamente durante as últimas décadas. Estudos efetuados por meio da descrição da Biometeorologia mostram diversos trabalhos relacionando variáveis ambientais e doenças em geral. As doenças brônquio-asmáticas e cardio-vasculares mostram-se muito sensíveis à variabilidade da temperatura do ar e conseqüentemente de índices de conforto térmico, bem como de níveis de poluição.

Os parâmetros mais importantes do conforto térmico subdividem-se em duas classes: os parâmetros individuais (metabolismo e vestuário) e os parâmetros ambientais (temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do ar e temperatura radiante média).

#### **2.1.1.1 . Parâmetros individuais**

O metabolismo refere-se ao conjunto de processos fisiológicos e químicos pelos quais se mantém a vida no organismo. A quantia total de calor metabólico produzido depende do ambiente externo e também da dieta, tamanho corporal, idade e nível de atividade destes. A produção de calor metabólico pode ser dividida em duas componentes: (a) taxa de metabolismo basal, que depende do volume corpóreo, cobertura superficial e idade (aumenta com o tamanho e diminui com a idade) e (b) aquele calor que é produzido pela atividade muscular.

A vestimenta relaciona-se a uma resistência térmica existente entre o corpo e o meio ambiente e, também, à permeabilidade ao vapor d'água. A quantidade de calor trocada depende da diferença de temperatura entre o meio e a vestimenta e entre o meio e o corpo. Portanto, quanto mais espessas, menos condutivas e menos permeáveis forem às roupas, maior dificuldade terá o organismo para trocar calor com o meio ambiente. Uma vez que a vestimenta reduz a perda de calor, a mesma pode ser classificada de acordo com o seu valor de isolamento. A unidade normalmente usada é o clo (clothing), sendo que 1 clo equivale a  $0,15 \text{ }^{\circ}\text{C W/m}^2$ . A escala de clo é projetada de modo que uma pessoa despida tenha um valor de 0,0 clo e outra vestindo um terno típico tenha um valor de 1,0 clo (ISO 7730:2006).

#### **2.1.1.2 . Parâmetros ambientais**

A temperatura do ar influencia na troca de calor convectivo do corpo humano e na temperatura do ar expirado. Assim, a perda de calor pelo aquecimento e umidificação do ar expirado é influenciada pela temperatura do ar. Uma temperatura elevada é um verdadeiro obstáculo à dissipação de calor por convecção.

A umidade do ar é outro fator climático que influencia o conforto térmico. Ela interfere diretamente em três mecanismos de perda de água do corpo humano: a difusão de vapor d'água através da pele (transpiração imperceptível), a evaporação do suor da pele e a umidificação do ar respirado.

A velocidade do ar, assim como a temperatura do ar, é determinante na troca de calor por convecção entre o corpo e meio ambiente. Quanto mais intensa for a ventilação em uma temperatura do ar de até 37°C, maior será a quantidade de calor trocada entre o corpo humano e o ar, conseqüentemente menor será a sensação de calor. Em temperaturas superiores a 37°C, há ganho e não perda de calor.

A temperatura radiante média corresponde à temperatura uniforme de um meio constituído de superfícies negras, com o qual a pessoa, também admitida como superfície negra, troca a mesma quantidade de calor por radiação que aquela trocada com o meio real. Também tem influência no processo de troca de calor por radiação térmica entre a pessoa e as superfícies do ambiente, objetos e equipamentos nele existentes.

## **2.2 . Índices de conforto térmico**

Os primeiros estudos sobre conforto térmico datam do início do século passado. Esses estudos tinham o objetivo principal de avaliar de que maneira as condições termohigrométricas afetavam o rendimento do trabalho (OLGYAY, 1963; GIVONI, 1976; FANGER, 1972).

Os índices de conforto térmico procuram englobar em um único parâmetro, diversas variáveis como a atividade exercida pela pessoa, o tipo de vestimenta e os parâmetros ambientais que proporcionam as trocas de calor entre o corpo e o ambiente. Estes índices foram desenvolvidos com base em diferentes aspectos do conforto e podem ser classificados em índices biofísicos, fisiológicos e subjetivos.

Os índices biofísicos baseiam-se nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, correlacionando os elementos do conforto com as trocas de calor que dão origem a esses elementos.



Os índices fisiológicos baseiam-se nas reações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar.

Os índices subjetivos baseiam-se nas sensações subjetivas de conforto experimentadas em condições em que os elementos de conforto térmico variam.

Em geral, os índices são desenvolvidos fixando um tipo de atividade e a vestimenta utilizada, e a partir daí, relacionam as variáveis do ambiente às respostas subjetivas ou fisiológicas dos indivíduos sob a forma de gráficos, cartas ou namogramas, em que são delimitadas as zonas de conforto térmico.

Os índices apresentam grande variabilidade, em termos de sua origem e classificação. Neste trabalho, são estudados e discutidos aqueles que estimam a sensação térmica para atividade sedentária ou que procuram englobar, em um único parâmetro, o efeito combinado de várias variáveis.

### **2.2.1 . Diagrama Bioclimático de Olgyay**

Os irmãos Olgyay (1963) foram os primeiros a aprofundar a noção de conforto térmico e tentar estabelecer relações desse conforto com os ambientes interiores nos edifícios. Eles representaram em uma carta os parâmetros de conforto térmico, considerando os dados do clima externo na proposição de estratégias de adaptação da arquitetura ao clima, que permitiram estabelecer uma “zona de conforto”.

O termo projeto bioclimático foi criado por esses autores, que referencia uma concepção arquitetônica que, por meio de seus próprios elementos, utiliza as condições favoráveis do clima a fim de satisfazer as exigências de conforto térmico do homem.

Na década de 50, eles propuseram um diagrama que apresentava as condições de temperatura e umidade para o conforto do homem em um determinado clima. A proposição era de que são aceitáveis para o conforto humano variações de temperatura

associada à umidade. Entretanto, temperatura e umidade ambiente, devem estar em sintonia com a atividade, bem como as vestimentas dos indivíduos. Para que ocorra a condição de conforto fora desses limites aceitáveis e combinados com os parâmetros entre si, algumas medidas devem ser adotadas. As medidas de correção são o aumento ou a diminuição da movimentação do ar, o sombreamento e o aumento ou a diminuição de radiação sobre os ocupantes dos espaços (SILVA; KINSEL, 2006).

Este método é baseado em condições muito específicas, por uma pessoa com atividade ligeira (a pé), vestida com roupas de meia-estação (1 clo), sem vento e sombra. Na Figura 2.1, é mostrada a zona de conforto (região hachurada), definida por Olgyay (1963), e delimitada pela temperatura do ar entre 21°C e 27°C, a umidade relativa entre 20% e 75%, com uma zona de exclusão para o ar muito quente e úmido (suor).

Na Figura 2.1 mostra-se também as sensações fisiológicas das áreas periféricas, os limites da atividade ou de risco, dependendo das condições de calor e umidade, e a tolerância a baixas temperaturas quando se aumenta a resistência térmica da vestimenta, expressa em clo.

Na Figura 2.2 mostra-se o movimento da zona de conforto quando se aplicam medidas corretivas no ambiente, tais como: (a) aumento da radiação incidente contra o frio; (b) aumento da velocidade do vento (m/s) contra o excesso de calor e umidade e (c) evaporação contra o calor excessivo e a secura.

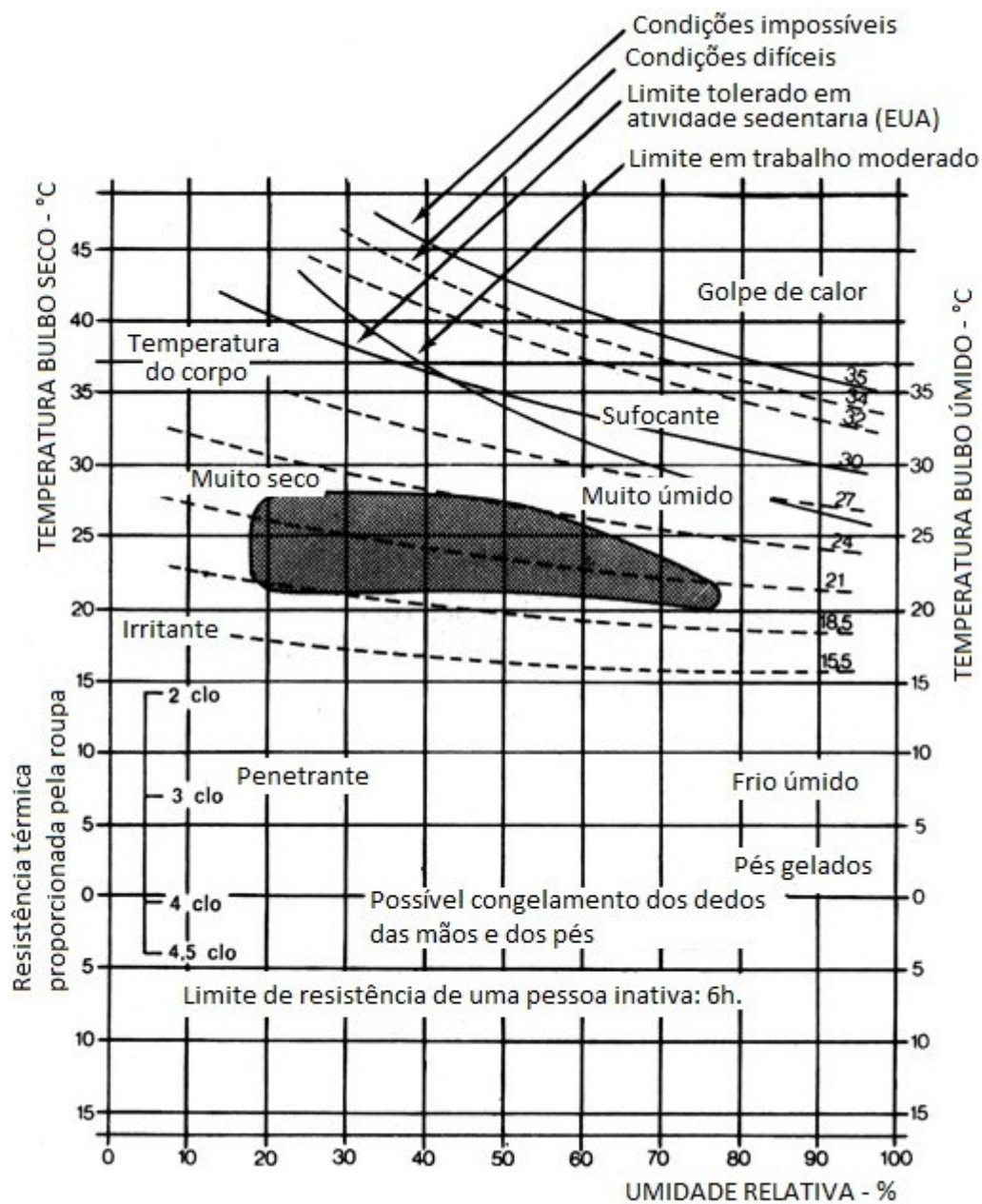


Figura 2.1 – Zona de conforto térmico de Olgyay.  
Fonte: IZARD; GUYOT, 1980.

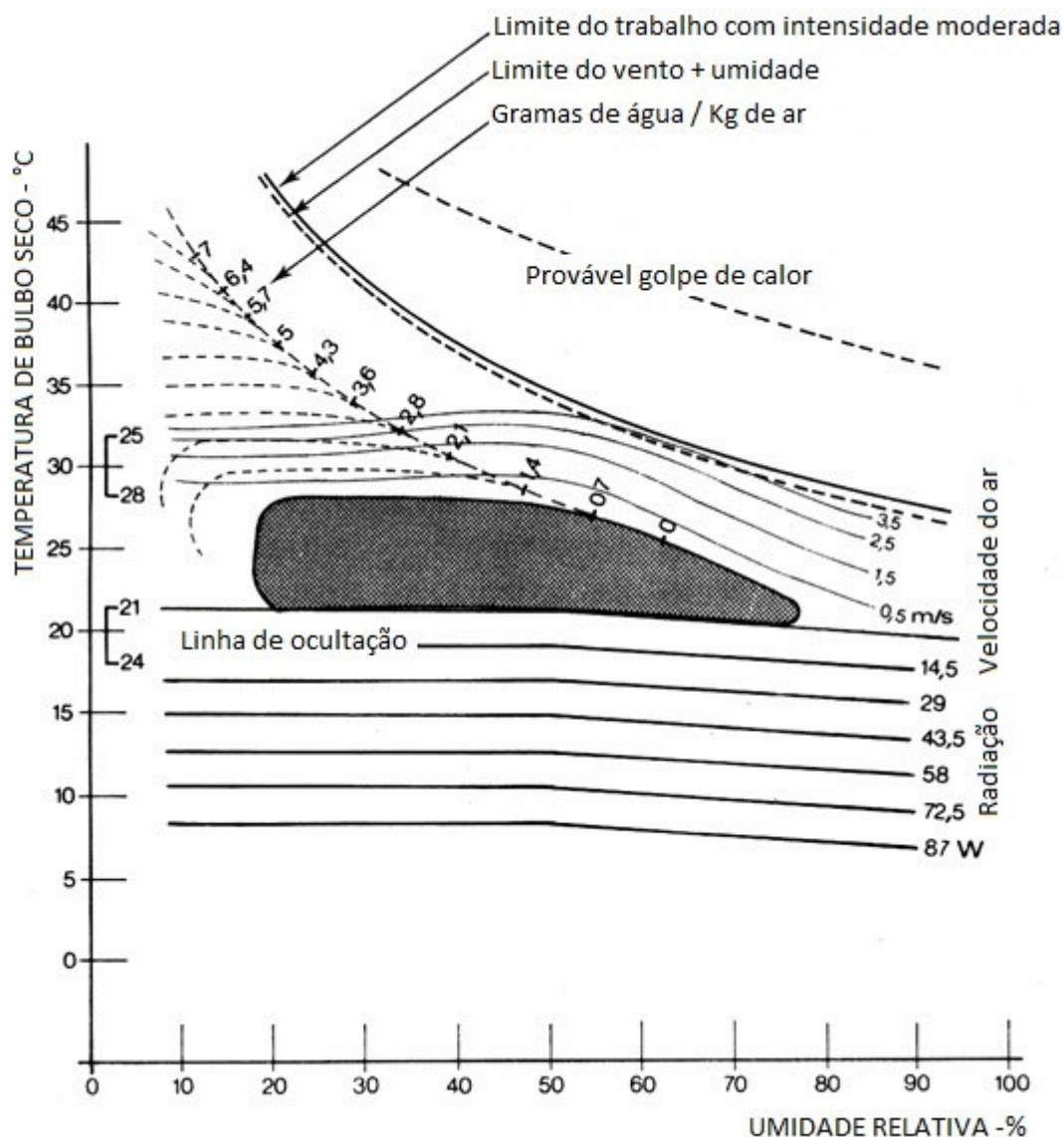


Figura 2.2 – Condições que se deve cumprir para devolver o ambiente à zona de conforto.  
Fonte: IZARD; GUYOT, 1980.

A principal crítica que pode ser feita deste método é o fato de ele considerar uma condição completamente aberta ao meio externo, desconsiderando as características da edificação. Ele apresenta somente as estratégias de ganho solar, ventilação e resfriamento evaporativo. No entanto, uma metodologia completa deve apresentar procedimentos que permitam definir exigências e características da envoltória, mas essas proposições não aparecem na carta pelo autor.

Embora se deva reconhecer a importância do trabalho de Olgyay (1963) como pioneiro em estudos de bioclimatologia aplicada à arquitetura, o método desenvolvido por esse

autor possui algumas limitações. A partir de estudos realizados na Austrália, Koenigsberger et al.<sup>2</sup> (1977 apud GOULART et al., 1994) adaptaram a carta de Olgyay de 1963 a países quentes e observaram que as conclusões desse autor, apesar de válidas, não serviam como índice de conforto térmico.

As vantagens desse método estão na possibilidade de comparar um ambiente construído com medições das variáveis climáticas externas e de se obter correções a serem adotadas para fazer com que o espaço interior fique confortável. Por ter essa dupla entrada é que ele é chamado de diagrama bioclimático.

### **2.2.2 . Diagrama Bioclimático de Givoni**

Givoni (1976) elaborou novos estudos sobre o trabalho de Olgyay (1963), onde se baseou em pesquisas realizadas nos EUA, Europa e Israel. Passou a utilizar, como modelo biofísico, que descreve os mecanismos de troca de calor entre o corpo e o meio ambiente, o Índice de *Stress* Térmico (ITS). Este índice utiliza a temperatura de ar, umidade (pressão de vapor), movimento de ar, radiação solar, taxa metabólica e vestimentas como variáveis incluídas no cálculo.

Desenvolvido em Israel, o diagrama bioclimático de Givoni (1976) é construído sobre uma carta psicrométrica (Figura 2.3), onde estão traçados os limites das zonas de conforto. Esta carta apresenta uma revisão nos limites de conforto e nas estratégias bioclimáticas, baseada em pesquisas do autor, considerando a aclimação das pessoas em países de clima quente e em desenvolvimento. Como o diagrama está desenhado sobre uma carta psicrométrica, pode-se usar como dados de entrada a temperatura de bulbo seco, a temperatura de bulbo úmido, a umidade relativa ou a umidade absoluta.

---

<sup>2</sup> KOENIGSBERGER, O. H. et al. **Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales**. Madrid: Paraninfo, 1977.

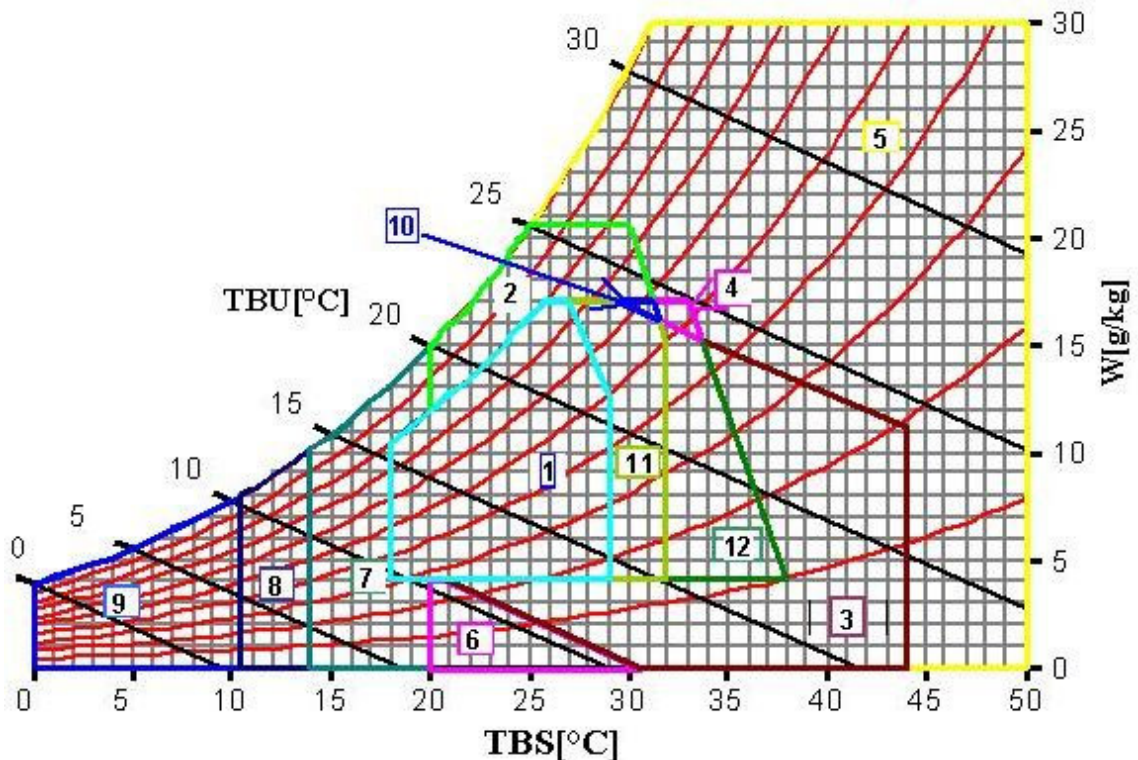


Figura 2.3 – Carta Bioclimática de Givoni com limites da Zona de Conforto ampliados para países de clima quente. (1) Zona de Conforto higrotérmico, (2) Zona de ventilação, (3) Zona de resfriamento evaporativo, (4) Zona de massa térmica para resfriamento, (5) Zona de ar condicionado, (6) Zona de umidificação, (7) zona de massa térmica e aquecimento solar, (8) Zona de aquecimento solar passivo, (9) Zona de aquecimento artificial, (10) Zona de ventilação + massa térmica para resfriamento, (11) Zona de ventilação + massa térmica para resfriamento + Resfriamento evaporativo, (12) Zona de massa térmica para resfriamento. + Resfriamento evaporativo.

Fonte: SCHUCH; LAMBERTS; DUTRA,1996.

Givoni (1992) especifica o grau de transpiração necessário em função do metabolismo e das diversas trocas térmicas entre o corpo e o ambiente,

$$E_{\text{req}} = [(M - W) \pm C \pm R] \cdot \left( \frac{1}{R_{e,\text{roupa}}} \right) \quad (2.1)$$

onde  $E_{\text{req}}$  é a taxa de transpiração necessária ( $\text{W/m}^2$ );  $M$  é a taxa metabólica de calor gerado pelo organismo, em função da atividade desempenhada ( $\text{W/m}^2$ );  $W$  é a taxa de trabalho mecânico realizado (met ou  $\text{W/m}^2$ );  $C$  é a taxa de trocas térmicas por convecção ( $\text{W/m}^2$ );  $R$  é a taxa de trocas térmicas por radiação ( $\text{W/m}^2$ );  $R_e$  é a resistência à troca de calor por evaporação da roupa ( $\text{m}^2\text{kPa/W}$ ), sendo

$$R_{e,roupa} = 0,155 \cdot I_{roupa} \quad (2.2)$$

onde  $I_{roupa}$  é o isolamento da roupa (clo).

Os limites dessas perdas por transpiração são os que fixam os limites de variação das variáveis envolvidas com o conforto térmico.

Considerando os valores das variáveis de entrada, o diagrama de Givoni (1976), que é um dos mais utilizados para análise de desempenho térmico de edifícios, permite dizer se uma determinada solução arquitetônica é adequada ou não ao clima do lugar, e que estratégias bioclimáticas devem ser tomadas para atingir a zona de conforto, se for necessário (Figura 2.3).

Esta análise inicial de Givoni (1976) apresentou-se limitada na adequação dos limites da zona de conforto para climas quentes, o que resultou em revisões posteriores por Givoni e Milne (1979) e pelo próprio Givoni (1992).

A carta revisada por Givoni e Milne<sup>3</sup> (1979 apud ANDRADE, 1996) procurou adaptar a carta original para climas mediterrâneos e tropicais para ser utilizada em cidades da Venezuela. Os limites tanto da zona de conforto quanto das demais estratégias, ampliaram-se, principalmente nos casos das estratégias de ventilação e massa térmica.

Em seu trabalho de 1992, Givoni apresenta uma nova revisão para sua carta, com alterações baseadas em questionamentos e observações de estudos desenvolvidos por vários pesquisadores, sobre a aplicabilidade de certos padrões de conforto até então utilizados para qualquer país ou região. Pelos resultados, ele constatou a necessidade de haver uma diferenciação das diretrizes para projeto de edificações, baseadas em diagramas de conforto. E propôs, também, duas cartas bioclimáticas, uma para países desenvolvidos, (clima temperado) e outra para países em desenvolvimento (climas quentes e úmidos ).

---

<sup>3</sup> GIVONI, B.; MILNE, M. **Architectural Design Based on Climate, Energy Conservation Through Buildings Design**. New York, MacGraw Hill Book Company, 1979.

### 2.2.3 . Índice de Temperatura Efetiva

O Índice de Temperatura Efetiva (TE) foi o primeiro dos índices empíricos estabelecidos e foi inicialmente proposto por Houghten, Yaglou e Miller em 1923 para a American Society of Heating and Ventilation Engineers (ASVHE, posteriormente ASHRAE). Concebido a princípio como um critério de avaliação de conforto térmico, o método está baseado no estudo das respostas de grandes conjuntos de pessoas que trabalham em ambientes com diferentes combinações de temperatura, umidade e movimentação de ar (NETTO, 2008). A idéia fundamental do método foi de reunir, em uma única designação, ou seja, em um Índice, todas as condições climáticas que produzem uma mesma ação fisiológica (ASHRAE, 2003).

O Índice de Temperatura Efetiva leva em consideração os seguintes parâmetros: temperatura do ar (bulbo seco), umidade relativa do ar e velocidade do ar. Ele foi apresentado de forma que o seu valor pode ser determinado para qualquer combinação de temperaturas de bulbo seco e úmido e velocidade do ar. Foram pesquisados indivíduos do sexo masculino, que passavam de uma câmara de controle para uma câmara de teste adjacente, e então comparava-se as sensações térmicas nos dois ambientes.

Na Figura 2.4 apresenta-se as curvas de TE que permitem calcular o índice de temperatura efetiva. As temperaturas estão em Fahrenheit (°F).

Neste ábaco, entra-se com a temperatura de bulbo seco (escala da esquerda), com a temperatura de bulbo úmido (escala da direita) e traça-se uma reta ligando os dois valores. No ponto onde a reta intercepta as curvas de velocidade de ar obtém-se o índice de temperatura efetiva.

A TE perde representatividade quando aplicada em exposições ao calor em condições distintas das de conforto térmico, já que não completa nenhum fator para avaliação do metabolismo total. Outra restrição que se apresenta quando da aplicação desse Índice é que o mesmo não leva em conta a troca de calor devida à radiação. Quando existem



fontes de calor radiante no ambiente, as variáveis utilizadas não são suficientemente representativas das verdadeiras condições de exposição ao calor.

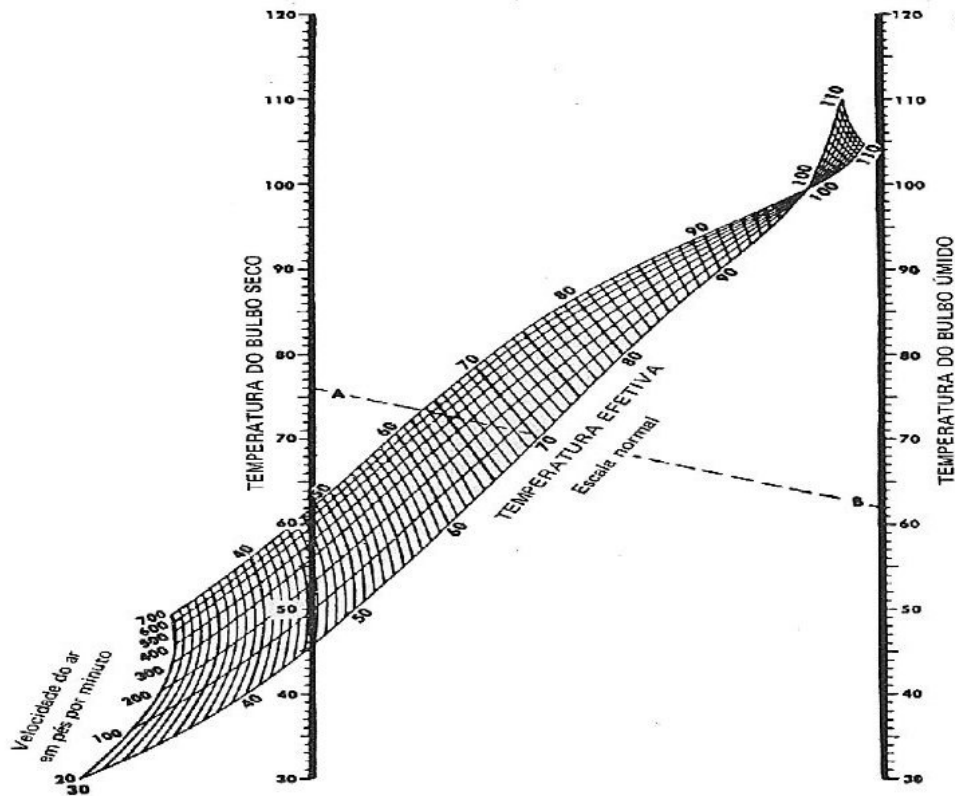


Figura 2.4 - Ábaco da Temperatura Efetiva.  
Fonte: Koenigsberger et al<sup>1</sup> (1977 apud GOULART, et al., 1994)

Levando essas restrições em consideração, Bedford (1946) introduziu um procedimento para incluir esse fator (radiação) neste método, substituindo a temperatura de bulbo seco pela temperatura de globo. Com essa correção, o índice passou a se chamar Temperatura Efetiva Corrigida. Posteriormente, Yaglou (1947) estendeu a aplicação desse índice para avaliações de estresse térmico em ambientes industriais.

Gagge et al. (1972) definiram a nova temperatura efetiva ( $TE^*$ ), que combina o efeito de três fatores em um único índice: temperatura radiante média, temperatura do ar e pressão parcial do vapor d'água no ar. A umidade da pele e o índice de permeabilidade devem ser especificados e são constantes para uma dada linha de  $TE^*$ , em uma situação particular.

A temperatura efetiva depende da vestimenta e da atividade desempenhada pelo indivíduo, o que inviabiliza a geração de uma carta universal de temperatura efetiva. A ASHRAE 55:2004 propôs então utilizar-se de um conjunto de condições representativas das condições típicas para ambientes internos que definem a padronização da avaliação da temperatura efetiva (*Standard Effective Temperature*).

A temperatura efetiva pode ser definida como sendo aquela temperatura de bulbo seco equivalente num ambiente isotérmico com umidade relativa de 50% em que um indivíduo, usando uma roupa padrão (0,6 clo) para a atividade em questão, tem a mesma perda (ou ganho) de calor, o que implica na mesma temperatura da pele, e gasta a mesma carga de energia para adaptar-se, o que implica na mesma umidade da pele, em relação ao ambiente real.

No caso do Brasil, a Norma Regulamentadora NR 17:2007 do Ministério do Trabalho e Emprego recomenda que para condições de conforto, o índice de temperatura efetiva deve estar entre 20°C e 23°C.

#### **2.2.4 . Diagrama Bioclimático de Szokolay**

Em 1987, Szokolay desenvolveu um método, chamado CPZ (*Control Potential Zone*), de análise de clima e projeto, onde os dados climáticos são calculados e transferidos para uma carta psicrométrica (Figura 2.5), marcando-se a zona de conforto a partir da temperatura neutra, que é variável conforme o clima. Ela está relacionada com a temperatura média externa.

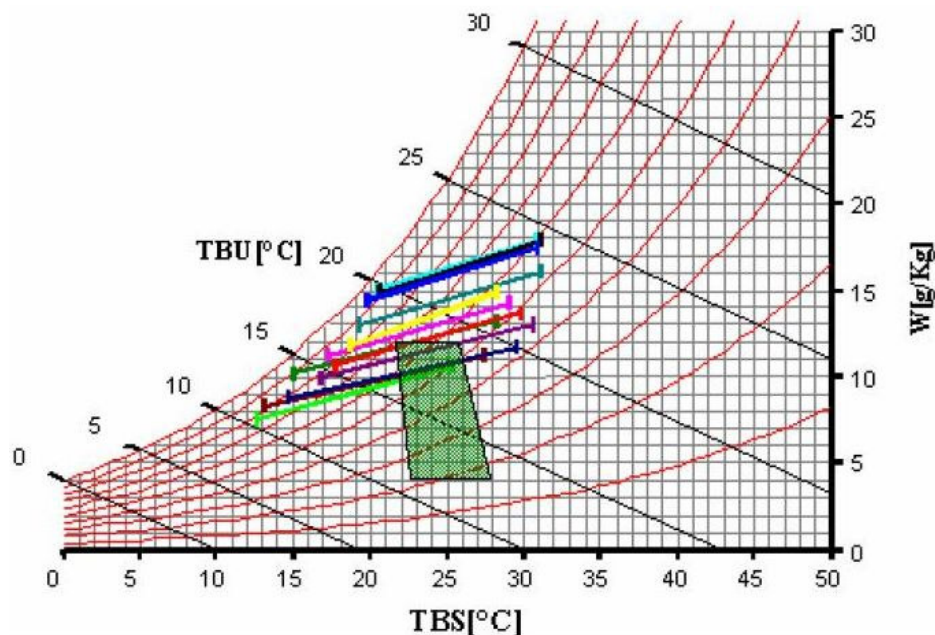


Figura 2.5 – Carta Bioclimática de Szokolay (1987)  
 Fonte: SHALDERS NETO, 2003.

Sobre a mesma carta são definidas seis zonas básicas de controle climático, que são obtidas também por parâmetros singulares a cada clima e região, apresentando-se como um método flexível, prático, de fácil aplicabilidade e direto.

Posteriormente, em 1995, Szokolay, apresenta uma complementação ao seu método, associando a variação das condições de temperaturas e da umidade média, propiciando uma análise mais abrangente. Esta complementação utiliza-se de dados climáticos plotados sobre a carta psicrométrica para cada mês, retratados por linhas (normais climatológicas), determinadas interligando-se a temperatura média máxima com a umidade da tarde, a temperatura média mínima com a umidade matutina de cada mês e por todo o ano climático.

Após, são calculados três índices pela relação do somatório parcial dos comprimentos de retas, abaixo e acima de determinados parâmetros de limites, divididos por um denominador único, este definido pelo somatório total dos comprimentos das linhas dos 12 meses. Pelos valores destes índices assim obtidos, consegue-se definir melhor a potencialidade de determinadas estratégias bioclimáticas, determinando quais as mais hábeis para modificar e criar condições internas de maior conforto. A aplicação

posterior do método CPZ sofre alterações em alguns limites, ao apresentar uma zona de conforto ampliada para o verão e para o inverno, com dados calculados do mês mais frio e do mês mais quente. O método, com esta complementação, torna-se agora mais abrangente, porém de aplicabilidade menos direta (ANDRADE, 1996).

#### **2.2.5 . Método Fanger de PMV e PPD**

Dentre os modelos biofísicos, que combinam as variáveis físicas e fisiológicas envolvidas com o conforto térmico, o mais conhecido é o Voto Médio Estimado (*PMV – Predicted Mean Vote*) desenvolvido por Fanger (1972). Esse modelo é a base da norma ISO 7730:2006.

Fanger (1972) ampliou ainda o conceito do PMV para prever a proporção de um dado grupo de pessoas que ficariam insatisfeitas num dado ambiente. Essa condição de insatisfação das pessoas foi definida em termos dos votos de conforto. Assim, a Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (*PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied*) é definida em termos do PMV.

##### **2.2.5.1 . Voto Médio Estimado – (*PMV - Predicted mean vote*)**

O PMV é um índice que indica o valor médio dos votos de um grande grupo de pessoas sobre os 7 pontos da escala de sensação térmica (Tabela 2.1), baseado no equilíbrio térmico do corpo humano (ASHRAE 55:2004). O equilíbrio térmico é obtido quando a produção interna de calor no corpo é igual à perda de calor para o meio ambiente. Em um ambiente moderado, o sistema termorregulador humano irá automaticamente tentar modificar a temperatura da pele e produzir ou não suor para manter o equilíbrio térmico.

Tabela 2.1: Escala de sensação térmica

+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Ligeiramente Quente
0	Confortável
-1	Ligeiramente Frio
-2	Frio
-3	Muito Frio

Fonte: ASHRAE 55:2004.

Segundo as normas ASHRAE 55:2004 e ISO 7730:2006, para o cálculo do PMV utilizam-se as seguintes expressões:

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028]. \quad (2.3)$$

$$\begin{cases} (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \\ -1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - T_{ar}) \\ -3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{roupa} [(T_{roupa} + 273)^4 - (T_r + 273)^4] - f_{roupa} \cdot h_c \cdot (T_{roupa} - T_{ar}) \end{cases}$$

$$T_{roupa} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{roupa} \cdot \{3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{roupa} [(T_{roupa} + 273)^4 - (T_r + 273)^4] + f_{roupa} \cdot h_c \cdot (T_{roupa} - T_{ar})\} \quad (2.4)$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 \cdot |T_{roupa} - T_{ar}|^{0,25} & \text{para } 2,38 \cdot |T_{roupa} - T_{ar}|^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{V_{ar}} \\ 12,1 \cdot \sqrt{V_{ar}} & \text{para } 2,38 \cdot |T_{roupa} - T_{ar}|^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{V_{ar}} \end{cases} \quad (2.5)$$

$$f_{roupa} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 \cdot I_{roupa} & \text{para } I_{roupa} \leq 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \\ 1,05 + 0,645 \cdot I_{roupa} & \text{para } I_{roupa} > 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{cases} \quad (2.6)$$

onde  $M$  é a taxa metabólica ( $\text{W/m}^2$ ), sendo  $1 \text{ MET} = 58,2 \text{ W/m}^2$ ;  $W$  é a potência mecânica eficaz ( $\text{W/m}^2$ );  $I_{roupa}$  é o isolamento da roupa ( $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ), sendo  $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ;  $f_{roupa}$  é o fator de superfície do vestuário;  $T_{ar}$  é a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_r$  é a temperatura radiante média ( $^{\circ}\text{C}$ );  $V_{ar}$  é a velocidade relativa do ar ( $\text{m/s}$ );  $p_a$  é o vapor da pressão parcial da água ( $\text{Pa}$ );  $h_c$  é o coeficiente de transferência de calor convectivo [ $\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ];  $T_{roupa}$  é a temperatura superficial da roupa ( $^{\circ}\text{C}$ ).

O PMV pode ser calculado para diferentes combinações de taxa metabólica, isolamento de vestuário, temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade do ar (ISO 7726:1996). As equações para  $T_{roupa}$  e  $h_c$  podem ser resolvidas por iteração.

O índice PMV é derivado das condições do estado de equilíbrio, mas pode ser aplicado com boa aproximação durante menores flutuações de uma ou mais variáveis, desde que as médias ponderadas do tempo das variáveis durante o período anterior de 1 h sejam aplicadas. O índice deve ser usado somente para valores de PMV entre -2 e +2, e quando os seis principais parâmetros estão dentro dos seguintes intervalos:  $M$  : 46 W/m<sup>2</sup> a 232 W/m<sup>2</sup> (0,8 met a 4 met);  $I_{roupa}$  : 0 m<sup>2</sup> K/W a 0,310 m<sup>2</sup> K/W (0 clo a 2 clo);  $T_a$  : 10 °C a 30 °C;  $T_r$  : 10 °C a 40 °C;  $V_{ar}$  : 0 m/s a 1 m/s;  $p_a$  : 0 Pa a 2 700 Pa (ASHRAE, 2003).

Pode-se determinar o PMV das seguintes maneiras: a partir da Equação (2.3) usando um computador, diretamente do anexo E da norma ISO 7730:2006, e por medida direta, utilizando um sensor integrado (temperaturas equivalente e operativa).

Como aplicações, o PMV pode ser usado para checar se um dado parâmetro está em conformidade com critérios de conforto térmico do ambiente, e para estabelecer requisitos para os diferentes níveis de aceitabilidade.

Ao definir  $PMV = 0$ , é estabelecida uma equação que prediz combinações de atividade, vestuário e parâmetros ambientais que, em média, irá proporcionar uma sensação térmica neutra.

#### **2.2.5.2 . Percentual de pessoas insatisfeitas (*PPD - Predicted percentage dissatisfied*)**

O percentual de pessoas insatisfeitas (PPD) é um índice que estabelece uma previsão quantitativa do percentual de pessoas insatisfeitas termicamente quando sentem muito calor ou muito frio. Para efeitos da norma internacional ISO 7730:2006, pessoas termicamente insatisfeitas são aquelas que vão votar muito quente, quente, frio ou muito fria sobre a sensação térmica na escala de 7 pontos indicados na Tabela 2.1.

Com o valor do PMV determinado, calcula-se o PPD por meio da Equação (2.7), resultando na curva mostrada na Figura 2.6:

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2) \quad (2.7)$$

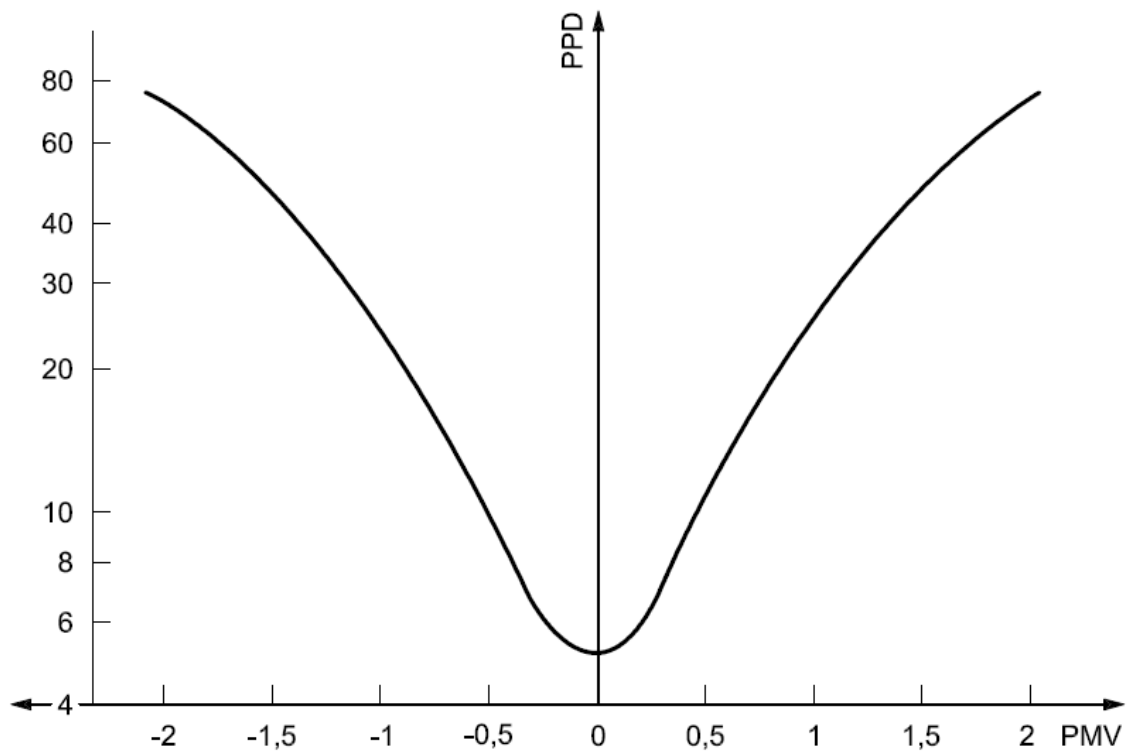


Figura 2.6 – PPD em função do PMV.  
Fonte: ISO 7730:2006.

O PPD prediz o número de pessoas insatisfeitas termicamente em um grupo grande de pessoas. O resto do grupo vai se sentir termicamente neutro, ligeiramente quente ou um pouco frio. A previsão da distribuição dos votos é apresentada na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 . Distribuição dos votos da sensação térmica individual para diferentes valores da média de votação

PMV	PPD (%)	Pessoas preditas a votar (a) %		
		0	-1;0 ou +1	-2; -1; 0; +1 ou +2
+2	75	5	25	70
+1	25	30	75	95
+0,5	10	55	90	98
0	5	60	95	100
-0,5	10	55	90	98
-1	25	30	75	95
-2	75	5	25	70
(a) Baseado em um experimento envolvendo 1300 indivíduos				

Fonte: ISO 7730:2006.

### 2.2.6 . Temperatura de Globo de Bulbo Úmido – (WBGT- Wet Bulb Globe Temperature)

O índice de temperatura de globo de bulbo úmido (TGBU) foi desenvolvido em 1957 como uma base para o acompanhamento do *stress* térmico em campos de treinamento militar. Como vantagens deste índice têm-se a pequena exigência em termos de instrumentação, pois utiliza equipamentos simples e baratos, além da facilidade da resolução dos cálculos envolvidos.

O TGBU é um índice extensivamente usado para monitorar o *stress* térmico em ambientes industriais. O seu valor (média ponderada no tempo, em °C) adotado como limite máximo de exposição ocupacional em um ambiente de trabalho depende da Taxa Metabólica (*M*) (média ponderada no tempo, em W/m<sup>2</sup>) do trabalhador, a qual é função da atividade que o mesmo exerce. Esse limite máximo representa as condições de calor sob as quais se acredita que a maioria dos trabalhadores possa estar exposta, repetidamente, durante toda a sua vida de trabalho, sem sofrer efeitos adversos à sua saúde (EXPOSIÇÃO..., 2008).



No Brasil, este índice é adotado pelo Ministério do Trabalho na Norma Regulamentadora NR-15:2008, anexo nº 3, para fixar os limites de tolerância para exposição ao calor (Tabela 2.3):

Tabela 2.3 – Limites de tolerância da TGBU para exposição ao calor

Regime de trabalho intermitente com descanso no próprio local de trabalho (por hora)	Tipo de atividade		
	Leve	Moderada	Pesada
Trabalho contínuo	até 30,0	até 26,7	até 25,0
45 minutos trabalho 15 minutos descanso	30,1 a 30,5	26,8 a 28,0	25,1 a 25,9
30 minutos trabalho 30 minutos descanso	30,7 a 31,4	28,1 a 29,4	26,0 a 27,9
15 minutos trabalho 45 minutos descanso	31,5 a 32,2	29,5 a 31,1	28,0 a 30,0
Não é permitido o trabalho, sem a adoção de medidas adequadas de controle	acima de 32,2	acima de 31,1	acima de 30,0

Fonte: NR15:2008.

Este índice também é adotado na norma ISO 7243:1989, sendo definido para ambientes internos ou externos sem carga solar, como:

$$IBUTG = 0,7 T_{BU} + 0,3 T_G \quad (2.8)$$

e para ambientes externos com carga solar, como:

$$IBUTG = 0,7 T_{BU} + 0,2 T_G + 0,1 T_{BS} \quad (2.9)$$

onde  $T_{BU}$  é a temperatura de bulbo úmido natural (°C);  $T_G$  é a temperatura de globo (°C) e  $T_{BS}$  é a temperatura de bulbo seco ou temperatura do ar (°C).

Os aparelhos utilizados neste tipo de avaliação são: termômetro de bulbo úmido natural, termômetro de globo e termômetro de mercúrio comum. Para o ponto de medição, deve ser considerado o local onde permanece o trabalhador, à altura da região do corpo mais atingida.

A norma ISO 7243:1989 coloca que o índice de temperatura de globo de bulbo úmido não se aplica na avaliação de períodos curtos de exposição ou na avaliação do *stress* térmico próximo da zona de conforto.

### **2.3. Conforto x Ambiente Escolar**

Como trabalhos significativos na área de estudo sobre o conforto térmico para usuários de edificações escolares pode-se comentar o realizado por Xavier (1999), que determinou os índices e parâmetros de conforto térmico a partir de estudo de campo efetuado sobre a atividade escolar, realizado na Escola Técnica Federal de Santa Catarina, onde foram coletadas todas as variáveis ambientais, bem como dados a respeito de variáveis e sensações pessoais.

O método proposto pelo autor apresentou uma melhoria de correlação entre as sensações determinadas pelo modelo estatístico e as sensações relatadas pelas pessoas, quando comparadas a metodologia proposta nas normas. Como resultados, o percentual de pessoas insatisfeitas com o ambiente mostrou-se superior ao apresentado nas normas, que não leva em conta as preferências térmicas das pessoas. A zona de conforto obtida é diferente da encontrada em trabalhos realizados em outras partes do país, e distinta também da zona de conforto adotada para o Brasil, tendo-se verificado maior tolerância à altas umidades relativas do ar. Essas diferenças evidenciam a adaptação das pessoas ao clima, bem como sugerem a necessidade da especificação das zonas de conforto diferenciadas para cada região. A temperatura externa média mensal, também se mostrou pelo estudo, um bom parâmetro de conforto térmico a ser adotado.

Pode-se citar também o trabalho realizado por Araújo (2001), que determinou os parâmetros das variáveis ambientais que propiciam conforto térmico, a partir da técnica de avaliação pós-ocupação junto aos usuários escolares na cidade de Natal, estado do Rio Grande do Norte, e confrontá-los com os índices e zonas de conforto térmico comumente utilizados no país.

Com base nos resultados encontrados, pode-se verificar que a metodologia proposta comprovou a sua validade operacional e científica e que os procedimentos descritos podem ser aplicados para outras regiões climáticas do Brasil, determinando parâmetros mais próximos da realidade brasileira, além de permitir a montagem de um banco de dados consistente relacionado às exigências térmicas de usuários aclimatados às condições brasileiras (ARAÚJO, 2001). Após discussão dos dados obtidos, com o apoio do referencial bibliográfico consultado, a autora evidencia os aspectos mais importantes do estudo desenvolvido e recomenda práticas de intervenção a partir dos dados identificados e coletados.

Gonçalves (2000) pesquisou os índices de conforto térmico considerados mais significativos, determinando os limites de aplicabilidade e/ou adaptabilidade desses índices para uso em Belo Horizonte – MG, levando em conta as características climáticas da região e a adaptação dos indivíduos estudados (população universitária), por meio da determinação dos limites de conforto térmico para estes indivíduos.

Ele se propôs a responder a seguinte questão: em que medida os índices de conforto térmico encontrados na literatura técnica, e que são convencionalmente utilizados, correspondem às condições de conforto levantadas especificamente para a população estudada, levando em consideração as características climáticas da região em estudo e a adaptação climática dos indivíduos?

A metodologia utilizada foi baseada em trabalhos similares precedentes, resultando da combinação e aperfeiçoamento de metodologias diversas. Assim, como especifica Gonçalves (2000), por exemplo, foi efetuada a montagem de questionários de pesquisa, observando vários modelos, o uso da escala de sete pontos para avaliar a sensação térmica, o uso de escalas subjetivas auxiliares de preferência e satisfação para refinar os votos na escala de sensações térmicas, a análise de mecanismos adaptativos por parte dos usuários, o suporte utilizado para os instrumentos; a formatação e apresentação gráfica dos resultados e outros tópicos importantes.

Krüger e Zannin (2004) fazem uma pesquisa cujo objetivo é resumir os resultados de diferentes avaliações do conforto ambiental dentro das salas de aula que ocorreram no

CEFET - Paraná, a fim de cobrir a extensa área definida como conforto ambiental, já que esses fatores na própria edificação irão afetar o processo de aprendizagem e de ensino. Eles analisam o conforto acústico, lumínico e térmico das salas de aula do CEFET-Paraná.

A avaliação térmica foi executada em dois edifícios (uma construção mais antiga, com grande inércia térmica, e outra mais recente, construída com tijolos e blocos cerâmicos convencionais de concreto) e foram realizadas ao mesmo tempo dentro de todas as salas de aula avaliadas, no inverno e no verão. Na análise foi percebida que a orientação da fachada pode influenciar o conforto térmico em ambos os edifícios. No entanto, para a transferência de calor pelas paredes no inverno, ambas as edificações tiveram praticamente os mesmos resultados, enquanto que para o verão o edifício antigo acumulou muito mais calor.

Dos resultados obtidos nas três diferentes avaliações, Krüger e Zannin (2004) notam que há uma forte interdependência entre os fatores do conforto ambiental. Também as influências do ambiente externo no ambiente construído foram analisadas (ruído externo, clima, luz solar), que mostram a importância de considerar estes fatores como um todo no estágio do projeto.

Silva, Maurício e Sousa (2005) avaliam as condições de conforto térmico em uma unidade escolar em João Pessoa – PB. Este trabalho constitui parte de uma pesquisa que intenta gerar bases teóricas para definirem, por meio da aplicação dos conhecimentos por eles gerados, diretrizes de conforto ambiental para edificações escolares para a Região Nordeste do Brasil.

Esse trabalho avaliou o conforto do edifício escolar a partir do seu projeto de arquitetura, assim como as condições de implantação física e micro-climáticas a que estava submetido. Dados foram colhidos *in loco*, para geração de gráficos e planilhas que seriam analisadas, e posteriormente definidas as condições de conforto do ambiente.

Como resultados, notou-se que as técnicas construtivas utilizadas para melhorar o conforto na edificação não surtem o efeito esperado, tanto para ventilação como

iluminação. Os materiais construtivos (características térmicas) e suas aplicações não condizem com o clima local, contribuindo para reduzir os níveis de conforto térmico no edifício.

Disto pode-se concluir que as intenções de engajamento nos âmbitos de conforto térmico não bastam sem antes ter-se o conhecimento e a consideração das inter-relações entre o clima e o ambiente construído (SILVA; MAURÍCIO; SOUSA, 2005).

Kowaltowski et al. (2005), Kowaltowski e Graça (2007), Kowaltowski, Graça e Petreche (2007), realizaram várias pesquisas ligadas ao conforto térmico, lumínico e acústico, voltadas para tipos diferentes de públicos e analisando projetos de edificações em relação ao conforto ambiental.

Especificamente em ambientes escolares, foi estudado os indicadores de eficiência energética e conforto ambiental em escolas da rede pública de Campinas –SP (KOWALTOWSKI et al., 2007). Para a obtenção de melhores resultados nestes aspectos, o edifício deve ser planejado conscientemente, considerando as variáveis ambientais físicas e climáticas envolvidas.

Esse estudo pretende avaliar a eficiência energética das edificações escolares e o desempenho da envoltória em simulações com *softwares*, além de oferecer subsídio ao desenvolvimento de selo de eficiência energética para materiais construtivos e sistemas de aberturas nas edificações.

Para tal pesquisa, implantou-se uma estação meteorológica para aquisição de dados climáticos, e posteriormente estes dados foram estudados por meio de *softwares* de simulação de conforto ambiental e eficiência energética. Posteriormente, foram feitos ensaios com sistemas de aberturas e materiais opacos, além do levantamento e identificação da tipologia arquitetônica, os materiais construtivos utilizados, a tipologia e orientação dos sistemas de aberturas e o uso de proteção solar. Usuários também foram entrevistados para avaliar o conforto ambiental nas salas de aula.

A par de todos os dados, foram observados problemas de projeto nas edificações em relação à orientação, tipo de abertura e inadequação de uso. Comparando as simulações

e medições dos ambientes escolares, foram identificadas possibilidades de intervenção na edificação para a redução do consumo energético e melhoria do conforto do usuário.

Sobre o conforto térmico em ambientes escolares nos períodos de verão e inverno, pode-se citar o trabalho realizado por Pasquotto, Salcedo e Fontes (2007), no qual se faz uma análise qualitativa e quantitativa do Centro de Convivência Infantil da UNESP – Bauru.

Embora o ambiente escolar seja um importante instrumento de desenvolvimento do ser humano, infelizmente a maioria das construções não está adequada às atividades exercidas e ao conforto térmico, tão importante para o bem estar e a aprendizagem das crianças. Isto também ocorre com este Centro, cujos espaços foram organizados de maneira precária, não comportando as condições ideais em relação à área, ventilação e iluminação. Ele tem a finalidade de proporcionar a prestação de serviços necessários ao acolhimento, ao atendimento e à socialização, nos aspectos pedagógicos e educacionais, de crianças menores de 7 anos de idade.

O trabalho objetiva avaliar as condições de conforto térmico qualitativa e quantitativamente dos prédios. Os levantamentos de campo foram realizados nos períodos de inverno (2006) e verão (2007), a partir dos monitoramentos de variáveis microclimáticas (temperatura do ar, temperatura de globo, umidade relativa do ar e velocidade do vento de áreas internas e externas) e da aplicação de questionários aos funcionários e desenhos temáticos às crianças, para a identificação da sensação térmica.

Os dados das medições *in loco* são referenciados, tanto no inverno quanto no verão, e os votos de conforto térmico foram então confrontados com os calculados por meio do Voto Médio Estimado (PMV), gerando gráficos que facilitaram o entendimento do estudo em questão.

A aplicação dos dois métodos permitiu identificar uma proximidade entre os votos de conforto térmico com o calculado. Entretanto, as diferenças encontradas quanto à insatisfação dos usuários, estão relacionadas, na prática, com a variabilidade das

atividades desenvolvidas, idade, além das questões subjetivas, que são influenciadas pelas características individuais, temperamento, entre outros.

Para atenuar as insatisfações e o desconforto, algumas intervenções são utilizadas: toldos nas salas de atividades, que são abaixados no inverno para proteger as salas das correntes de ar frio, e no verão, eles não são utilizados, para que a brisa circule livremente nas salas de aula. Porém, essa medida não resolve o desconforto pelo calor e outras intervenções devem ser estudadas para esse ambiente. Como sugestão, Pasquotto, Salcedo e Fontes (2007) propõem a utilização de brises móveis, que podem ser direcionadores de vento no período de verão e barreiras protetoras contra os ventos frios no inverno. Para isso, é necessário um estudo da posição do fluxo de ar, para que sejam eficazes, e propõe-se cores diferenciadas, para que os brises possam constituir um elemento lúdico no projeto, que é um aspecto importante em ambientes de educação infantil.

A pesquisa realizada por Lazzarotto e Santos (2007) teve como objetivo a avaliação do conforto térmico de estudantes do ensino fundamental na região noroeste do Rio Grande do Sul. Esse trabalho verificou a aplicabilidade dos modelos normatizados para a avaliação de conforto térmico de crianças em atividade escolar.

Segundo esses autores, condições de desconforto térmico no ambiente escolar podem ser responsáveis por sonolência, aumento de sudação, além de alterações nos batimentos cardíacos. Tais manifestações fisiológicas acabam por dificultar a concentração do aluno, e assim, interferir significativamente no aprendizado.

As pesquisas foram realizadas em salas de aula com alunos com idades compreendidas entre 8 e 11 anos de escolas da cidade de Ijuí (RS), no período de março a agosto de 2006. Foram coletadas as variáveis ambientais (através de equipamentos apropriados) e pessoais, bem como as sensações e preferências térmicas das crianças. Efetuou-se análises descritivas e comparativas entre os resultados e os índices calculados segundo os modelos normatizados.

Foi calculada também a taxa metabólica dos usuários, de acordo com a ISO 7730:2006 e ASHRAE 55:2004, que apresentam tabelas com valores da taxa metabólica para atividades usuais considerando pessoas adultas. Sendo esta variável mais elevada na infância, em função do período de crescimento rápido, é possível que a mesma tenha interferência direta na condição de conforto térmico.

A partir dos valores das variáveis ambientais e pessoais coletados nas salas de aula, foram calculados os valores do Voto Médio Estimado (PMV), Percentagem Estimada de Insatisfeitos (PPD), segundo os padrões da ISO 7730:2006 e o Percentual de Insatisfeitos Reais para cada uma das pesquisas realizadas. Após os cálculos, foram realizadas análises descritivas e comparativas entre os resultados obtidos e os índices de conforto calculados, e também foram analisados os resultados segundo o método alternativo proposto pela ASHRAE (2003).

Seguindo o objetivo do trabalho, que era verificar a adequação do Modelo do Voto Médio Estimado (PMV), desenvolvido por FANGER (1972), e do método alternativo para a determinação das condições térmicas aceitáveis em espaços condicionados naturalmente, proposto pela ASHRAE (2003), considerando as reais condições de conforto térmico de crianças do ensino fundamental em atividade escolar, Lazzarotto e Santos (2007) chegaram a vários resultados comparativos, validando o método da ASHRAE e conceituando o modelo PMV positivo e negativamente de acordo com as características da pesquisa.

Significativos estudos internacionais sobre conforto térmico também merecem ser aqui mencionados, como o realizado por Wong e Khoo (2002), que reforça que a condição térmica nas salas de aula em edifícios escolares tem de ser cuidadosamente considerada principalmente por causa de sua alta densidade de ocupação e também por causa das influências negativas que um ambiente térmico insatisfatório tem sobre a aprendizagem e desempenho dos seus usuários. Sua pesquisa foi efetuada em salas de aula em Cingapura, região tropical, que são ventiladas mecanicamente por ventiladores de teto, para avaliar as suas condições térmicas durante as horas em que os estudantes as frequentam. As variáveis de conforto térmico foram medidas com instrumentos, ao



mesmo tempo em que alunos e professores respondiam a um questionário sobre as suas percepções e sensações do clima no interior daquele ambiente.

A análise objetiva dos dados mostrou que nenhuma das turmas tinha condições térmicas dentro da zona de conforto proposta pela norma ASHRAE 55:2004. Os usuários estavam expostos a variações de temperaturas para além da zona de conforto aceitável, sugerindo então que a norma não é aplicável em edifícios do clima local.

A análise pelo modelo PMV mostrou discrepância na previsão de sensação térmica, especialmente com temperaturas mais baixas. A comparação dos diferentes métodos de avaliação da aceitabilidade térmica mostrou que eles produzem resultados muito díspares, com a escala de Bedford (1946), também analisada nesta pesquisa, dando o mais alto nível de aceitabilidade.

Com esta análise chegaram à conclusão que os usuários das salas de aula geralmente aceitam sensações térmicas frias mais facilmente do que sensações térmicas quentes. Foi proposto o uso de ar-condicionado nas salas, no entanto, as implicações da energia gasta nesta proposta devem ser cuidadosamente consideradas, assim como a qualidade do ar do interior dos ambientes.

Outro estudo, realizado em Portugal por Conceição e Lúcio (2007), é efetuado em um edifício escolar na região de Algarve no período de inverno, já que a região possui clima peculiar, apresentando altos níveis de radiação solar durante todo o ano. Devido a esta característica, durante o inverno a temperatura do ar não é muito baixa, mas pode-se experimentar valores térmicos desconfortáveis dentro das salas de aula. E fazer um estudo térmico durante os meses mais frios do ano é importante, pois a maior parte do período letivo ocorre nesta época do ano.

A pesquisa foi realizada a partir da planta da escola, e foram observados os materiais construtivos, ventilação, qualidade do ar, radiação solar incidente no prédio, transferência de massa, sistema de aquecimento, entre outros, que foram simulados em *software* específico que simula a resposta térmica da edificação diante das variáveis observadas, gerando gráficos para estudo.

Após os resultados obtidos, Conceição e Lúcio (2007) analisam os detalhes mais importantes, com a idéia de reduzir o consumo de energia do edifício e aumentar os níveis de conforto térmico dos usuários, utilizando os elevados níveis de radiação solar disponíveis na região a seu favor.

Corgnati, Fillipi e Viazzo (2007) realizaram uma pesquisa sobre a percepção do ambiente térmico em salas de aula de uma escola secundária e de uma universidade, analisando as preferências subjetivas e o conforto térmico, que pode ter um efeito significativo no desempenho dos estudantes em termos de atenção, compreensão e níveis de aprendizado.

Nesse trabalho, os autores mostram alguns resultados de um estudo de campo sobre investigações de conforto ambiental em salas de aula, analisando o conforto térmico, acústico, visual e aspectos da qualidade do ar. Foram analisadas 13 salas dentre quatro diferentes escolas secundárias da Província di Torino e outras 4 salas de tamanho médio típico da universidade Politécnica di Torino, na Itália. As investigações foram realizadas durante o período de calor, e as medidas de campo e pesquisas subjetivas foram realizadas ao mesmo tempo durante os períodos de aula regular.

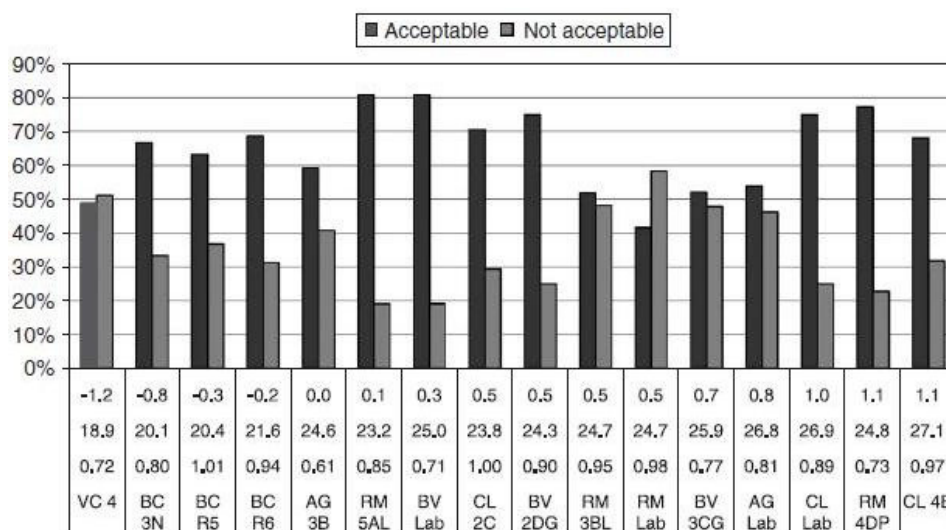
A metodologia utilizada foi medir os parâmetros de temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade relativa do ar e velocidade do ar. Por meio destes dados, os índices de conforto térmico de Fanger (PMV), e a percentagem de pessoas insatisfeitas (PPD) foram calculados, levando em consideração o vestuário e a taxa metabólica de cada pessoa.

A pesquisa subjetiva envolveu questões sobre a percepção do ambiente térmico, investigando a aceitabilidade térmica do meio ambiente e preferências. Além disso, um julgamento baseado na escala térmica de 7 pontos (ASHRAE 55:2004) foi também questionada, e por meio da elaboração do questionário de dados, o percentual de pessoas insatisfeitas da população foi avaliado.

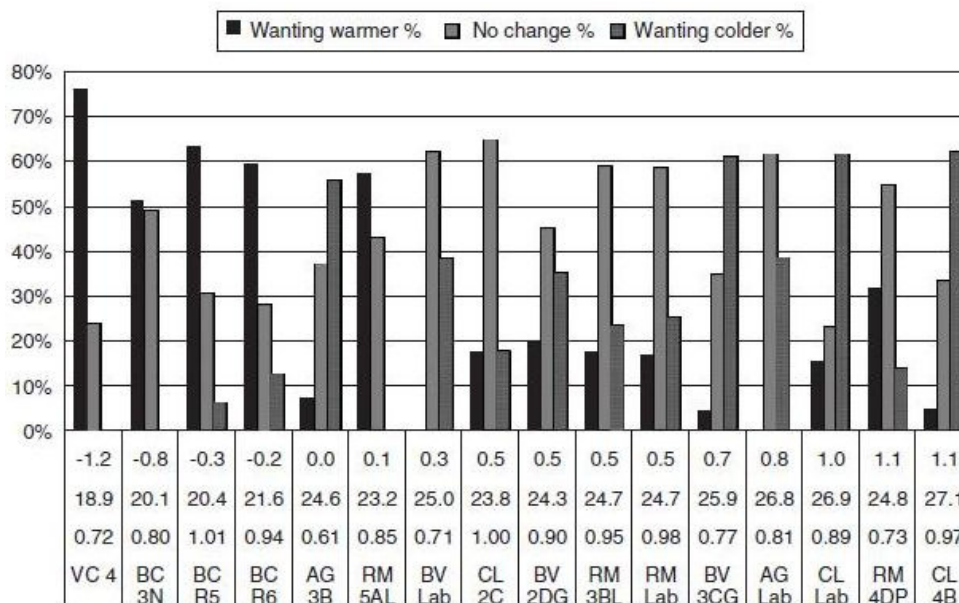
Uma nova metodologia de investigação de campo sobre o conforto térmico foi aplicada: os parâmetros que influenciam o conforto térmico foram medidos enquanto que, ao

mesmo tempo, as percepções subjetivas das pessoas sobre o ambiente foram expressas, tendências significativas e correlações foram descobertas.

Os julgamentos sobre o ambiente térmico foram comparados com os resultados das medições de campo e os votos médios subjetivos foram comparados com as percepções no ambiente térmico em termos de aceitação e de preferência, sendo apresentados em forma de gráficos (Figura 2.7).



(a)



(b)

Figura 2.7 – Percentagem de aceitação (a) e preferência (b) em função do PMV, temperatura operativa, resistência da roupa e da sala avaliada.

Fonte: CORGNATI; FILLIPI; VIAZZO, 2007.

Outro estudo realizado foi sobre o conforto térmico e de vestuário de uma escola primária com crianças com idades compreendidas entre 7 a 9 anos. Esta pesquisa foi feita durante os verões de 1971 e 1972 na Inglaterra por Humphreys (2003). Das 641 crianças que participaram, 262 produziram registros adequados para análise. O peso da roupa seguiu a tendência da temperatura ambiente durante vários dias, mas não respondeu às mudanças de temperatura diurna. O calor subjetivo, seguindo as variações de temperatura ambiente, estavam entre os 17°C e 23°C, mas não foi relacionado com a média de temperaturas das salas de aula. As crianças diferiram significativamente entre si na sua resposta à temperatura subjetiva, mas não houve sensível diferença entre as respostas dos meninos e das meninas. Como resultado, é apresentada a distribuição do conforto térmico e são discutidas as suas implicações para as temperaturas das salas de aula.

Também há um estudo significativo sobre sistemas de ventilação, bem como conforto térmico em edifícios escolares, como o realizado por Mysen et al (2004). Nesse estudo, os autores perceberam que muitos edifícios escolares nos países industrializados têm uma má qualidade para o clima interior, de acordo com o conhecimento de hoje sobre o impacto do ambiente interno sobre o bem-estar e a produtividade. Restrições de orçamento e limitações práticas, como a falta de espaço para as unidades de movimentação central de ar e de dutos de ventilação, têm motivado a aplicação de sistemas de ventilação simplificada em algumas escolas, tendo como principal fornecimento de ar aquele que provém diretamente a partir da fachada. Uma dessas escolas, que sofreu uma remodelação no sistema de ventilação, foi avaliada na Noruega.

O caso da Escola Secundária Revetal foi o mesmo da maioria das escolas que são reequipadas: como instalar um novo sistema de ventilação é caro e pode muitas vezes ser problemático para a integração ao edifício, foi necessário então buscar alternativas que acabou em um sistema de ventilação simplificado, com tomada de ar a partir da fachada e distribuído às salas com dutos ao nível do forro.

Como método para a pesquisa, foram medidas as variáveis de conforto térmico nas salas de aula, que englobou medições da condição geral do ar, velocidade, temperatura e intensidade da turbulência, em duas salas de aula diferentes em Janeiro de 2003.

Também foi aplicado um questionário aos alunos, sobre o ambiente interno e informações básicas, aplicados em Janeiro e Junho de 2003. Os dados foram analisados estatisticamente e seus resultados foram comparados a outras três escolas, que já foram avaliadas por estarem em situação similar, como pode ser observado na Figura 2.8.

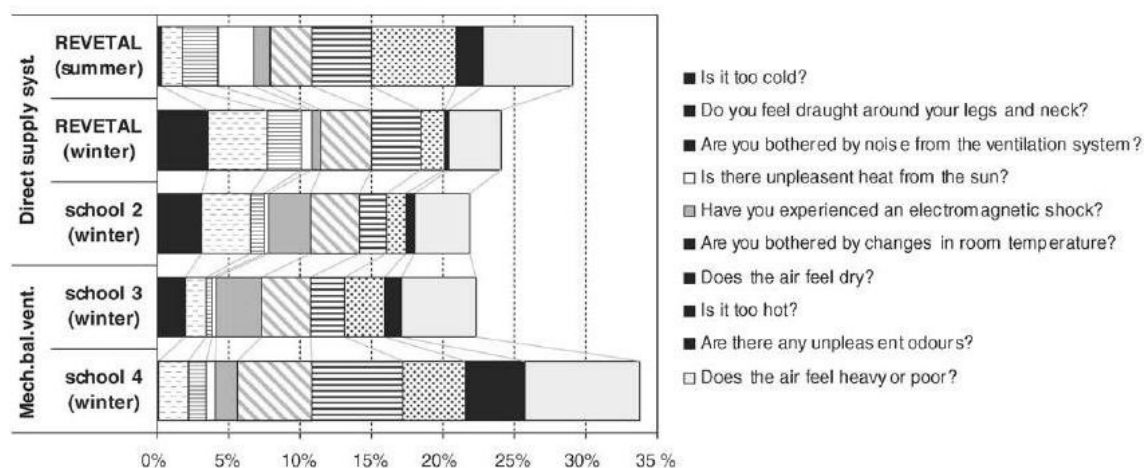


Figura 2.8 – Resultados da pesquisa sobre ambiente interno e externo.

Fonte: MYSEN et al., 2004.

Testes sobre a presença de microorganismos no ar também foram realizados, já que os dutos de distribuição são ambientes propícios para a proliferação destes, e que podem causar alergias aos usuários dos ambientes. Os dados, que foram medidos e obtidos pelo questionário, foram analisados, e posteriormente apresentados e correlacionados por meio de gráficos.

E como conclusão do estudo, Mysen et al. (2004) afirmam que a aplicação de sistemas simplificados de ventilação com abastecimento de ar direto da fachada, requer um controle da demanda de ventilação, para controle do CO<sub>2</sub> presente no ambiente assim como para melhorar o conforto térmico e reduzir a utilização da energia para aquecimento (Figura 2.9). Para o risco da proliferação de microorganismo no ar, isto pode ser resolvido com projeto bem feito, e com bons acessos, aos dutos e inspeção e limpeza regular. Para a avaliação de uma melhor solução, é necessário, então, um estudo prévio para o melhor uso da ventilação, de acordo com o tipo de clima no qual está sendo instalada, assim como observar as características construtivas do edifício escolar.

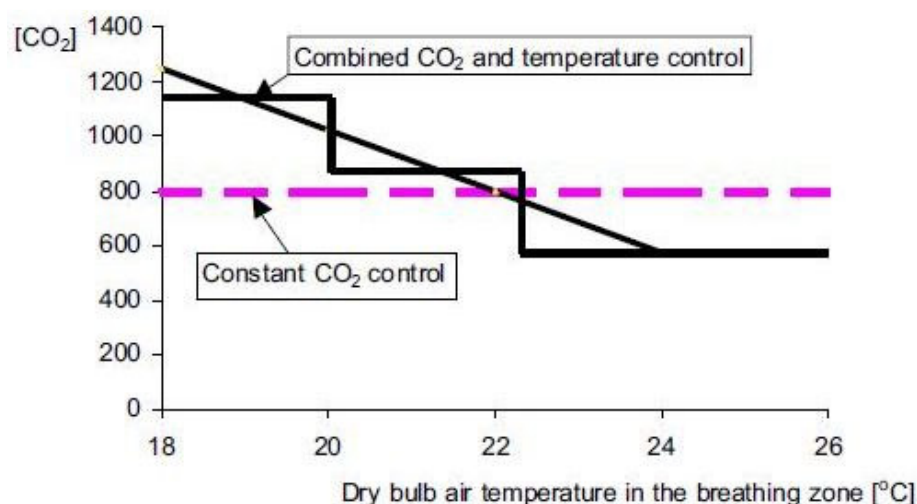


Figura 2.9 – Três diferentes estratégias de controle de CO<sub>2</sub> segundo os resultados da pesquisa.  
Fonte: MYSEN et al., 2004.

## 2.4 . Desempenho térmico do ambiente escolar x conforto

O conforto térmico dos usuários em uma edificação está diretamente ligado ao desempenho térmico dessa edificação. No Brasil, a avaliação do desempenho térmico é feita considerando a resposta global da habitação e não por um componente isolado da mesma, por meio de cálculos das interações térmicas entre o meio interno e o externo, que utilizam *softwares* de simulação numérica, ou por meio de medições *in loco*.

O processo de avaliação de desempenho térmico de uma edificação possui as seguintes fases: caracterização das exigências humanas de conforto térmico; caracterização das condições típicas de exposição ao clima; caracterização da edificação e sua ocupação; caracterização do comportamento térmico da edificação (determinação das condições internas de conforto térmico) e avaliação do desempenho térmico da edificação (AKUTSU, 1998; IPT, 1998).

Sendo a educação um dos fatores que mais influem no desenvolvimento de um país, a qualidade de ensino torna-se algo de grande importância para que esta educação seja eficiente. É do ambiente escolar que surgirão os futuros profissionais, que poderão levar o Brasil a patamares de desenvolvimento mais avançados. Uma boa qualidade de ensino

não só depende da capacitação dos professores, mas também das condições físicas das salas de aulas, ambientes em que os mesmos interagem com os alunos.

Uma escola deve ser um ponto de referência na comunidade na qual se insere, principalmente, pelo seu caráter sócio-cultural. Uma arquitetura bem desenvolvida e pesquisada pode caracterizar uma edificação de espaços otimizados, influenciando diretamente na prática de suas atividades fundamentais.

O conforto ambiental, fator intimamente relacionado à produtividade de trabalho e ao rendimento escolar, depende do projeto da edificação e de seus ajustes para as atividades de seus usuários. Itens como qualidade do ar interno, temperatura e umidade, condições de ventilação e de iluminação e acústica têm grande influência no aprendizado dos alunos. No entanto, condições de conforto ambiental não são consideradas como ponto de partida para desenvolvimento de projetos e tampouco são avaliadas alternativas de projeto para resolver problemas de conforto. A qualidade de projetos é baseada em escolhas, experiências e habilidades dos projetistas, conhecimento do programa construtivo, compatibilização dos projetos e detalhamento adequado desses. Avaliações de desempenho de edificações escolares, no Brasil, concentram-se primordialmente no estudo das patologias construtivas com pouca referência às condições de conforto. Sendo assim, os critérios de projeto, de conhecimento profissional e retroalimentação de avaliações de desempenhos construtivos são fatores imprescindíveis para a obtenção da qualidade de edifícios escolares (GRAÇA; KOWALTOWSKI; PETRECHE, 2006, ORNSTEIN; ONO, 2005).

Para que se avalie a situação de conforto numa edificação escolar, é necessário realizar medições de variáveis termofísicas nas suas salas de aulas e analisá-las para avaliar o nível de desconforto ou de insalubridade. Algumas soluções simples de projeto arquitetônico, tanto para criação como adequação, podem garantir economia e bem estar a alunos e professores, como salas de aula bem dimensionadas, com temperaturas amenas e índices de iluminação e ventilação naturais adequados, e panos de vidro em paredes externas protegidos por beirais ou brises, garantindo iluminação e ventilação naturais nas salas.

Resultados obtidos de estudos a partir da aplicação da teoria de conforto de Fanger (1972) demonstram nos trópicos que as salas de aula tornam-se, em geral, desconfortáveis na estação quente e aceitáveis na estação fria, para o nível de vestuário utilizado pelos seus ocupantes em climas com estações fria e quente. No Brasil, alguns estudos vêm sendo feitos tentando adequar determinadas edificações escolares ao clima. Dada a diversidade climática existente no país, os resultados obtidos desses estudos limitam-se praticamente às regiões onde acontecem (SILVA; MAURÍCIO; SOUSA, 2005; KRÜGER; ZANNIN, 2004; RIBAS, 2006).

Uma edificação possui sua arquitetura caracterizada pelo seu tipo, finalidade e utilização e essa arquitetura específica deve suprir os requisitos de maneira adequada e economicamente viável. Já que existe relação direta da qualidade e da produtividade com o ambiente de trabalho, pode-se afirmar que as salas de aulas precisam prover os alunos e professores de condições saudáveis, garantindo a maior naturalidade de uma das atividades mais importantes para a sociedade.



### **III . METODOLOGIA ADOTADA**

Neste capítulo são expostos os objetivos do trabalho. A situação problema é definida, delimitando o objeto do estudo. Uma explanação sobre as variáveis envolvidas no problema é apresentada, com a classificação e descrição das mesmas, visando a definição da metodologia experimental a ser adotada.

Com as etapas de desenvolvimento do trabalho e uma breve síntese dos procedimentos adotados em cada uma delas, expõe-se a metodologia adotada para medição das variáveis ambientais e psico-fisiológicas na pesquisa de campo, descrevendo as características dos equipamentos e questionários utilizados. Apresenta-se a seqüência dos procedimentos adotados nos ensaios de campo, assim como detalhes sobre os ambientes analisados, finalizando com uma discussão sobre as limitações do trabalho.

#### **3.1 . Formulação do Problema**

O presente trabalho consiste na avaliação do conforto térmico nas salas de aula da UFOP (Universidade Federal de Ouro Preto) em dois edifícios distintos construtivamente, mediante pesquisa sobre adaptação climática e as preferências quanto à sensação térmica da população em estudo. Os resultados são apresentados de forma gráfica, e a análise dos mesmos pode contribuir no aperfeiçoamento das metodologias de projeto arquitetônico sob um enfoque bioclimático.

A técnica de pesquisa utilizada para o levantamento de votos de conforto e sensações térmicas dos indivíduos foi a aplicação de questionários *in loco*, focando a interação usuário-ambiente, com uma medição simultânea das variáveis em cada ambiente estudado.

### **3.2 . Etapas de desenvolvimento da pesquisa**

#### **3.2.1 . Definição e planejamento do projeto**

Para a delimitação e concretização do objeto de estudo e a posterior elaboração e desenvolvimento da pesquisa, foi feita uma revisão bibliográfica, que compreendeu dissertações e teses, trabalhos científicos e técnicos, artigos científicos e informações técnicas, entre outros, com relação ao conforto térmico e sua avaliação em salas de aula.

O planejamento da metodologia a ser aplicada no experimento, abrange além da definição e detalhamento da fase de coleta de dados, a definição das variáveis envolvidas, como seriam obtidas durante o processo experimental e a elaboração dos questionários a serem aplicados e utilizados. Também fez parte desta fase, a aproximação aos equipamentos que seriam utilizados nas medições *in loco*.

#### **3.2.2 . Coleta de dados e tipos de variáveis manipuladas**

A pesquisa foi realizada na população universitária que frequenta dois prédios da UFOP com características distintas: um estruturado em aço e outro com estrutura convencional em concreto. A coleta de dados consiste em se obter, ao mesmo tempo, o valor das variáveis ambientais que influenciam no conforto térmico dos usuários das salas de aula dessas edificações, assim como a percepção que estes indivíduos têm delas.

Para a obtenção das variáveis ambientais foram utilizados instrumentos de medição como sensores para aferir a temperatura e a umidade do ambiente, e um termômetro de globo. Simultaneamente, foram aplicados questionários para se levantar a resposta dos usuários principalmente em termos de sensações e conforto térmico, além de condições como vestimentas, iluminação e ruído.

Os parâmetros utilizados neste estudo do conforto térmico de um ambiente podem ser divididos em dois grupos: os físico-ambientais e os psico-fisiológicos.

O grupo dos parâmetros físico-ambientais subdivide-se em outros dois: aqueles que podem ser medidos diretamente no ambiente e aqueles que são calculados a partir dessas medições. Os equipamentos utilizados na aferição das variáveis físico-ambientais serão descritos no decorrer deste capítulo.

### **3.2.3 . Parâmetros físico-ambientais medidos diretamente**

Dentre as variáveis físicas usadas neste trabalho, foram medidas diretamente a temperatura do ar interno e externo, a umidade e a temperatura de globo nos ambientes.

#### **3.2.3.1 . Temperatura do ar**

A temperatura do ar, ou temperatura de bulbo seco, é uma variável utilizada pela maioria dos índices de conforto térmico, constituindo um primeiro parâmetro de análise da condição térmica do ambiente. Ela influencia nos mecanismos de trocas de calor entre o corpo e o ambiente e atua no processo de evapotranspiração indicando o quanto ele está sendo aquecido ou resfriado.

É um indicador simples, e está fortemente ligada com a sensação térmica dos indivíduos e, nos modelos empíricos, geralmente é a variável principal. No Brasil, a temperatura é medida em graus Celsius (°C), mas existem também outras escalas bastante utilizadas como a escala Fahrenheit nos Estados Unidos e em alguns países da Europa, e a escala Kelvin em trabalhos científicos.

Neste trabalho a temperatura do ar foi medida usando dois sensores diferentes, um para a temperatura interna do ambiente analisado e outro para o exterior. Para medir a temperatura do ar interno são utilizados sensores do tipo resistivos ALMEMO (ALMEMO..., 2003). Os sensores de resistência elétrica utilizam o princípio que a variação da temperatura provoca também uma variação de sua resistência. O tipo de

sensor utilizado, os NTC (termistores), têm uma resistência alta e um coeficiente negativo de temperatura, logo a resistência diminui quando aumenta a temperatura.

Nos equipamentos utilizados nesta pesquisa, os sensores de temperatura estão integrados aos sensores de umidade. Eles são fixados em um suporte metálico, conforme a Figura 3.1, e ligados ao *data logger*, Figura 3.2.

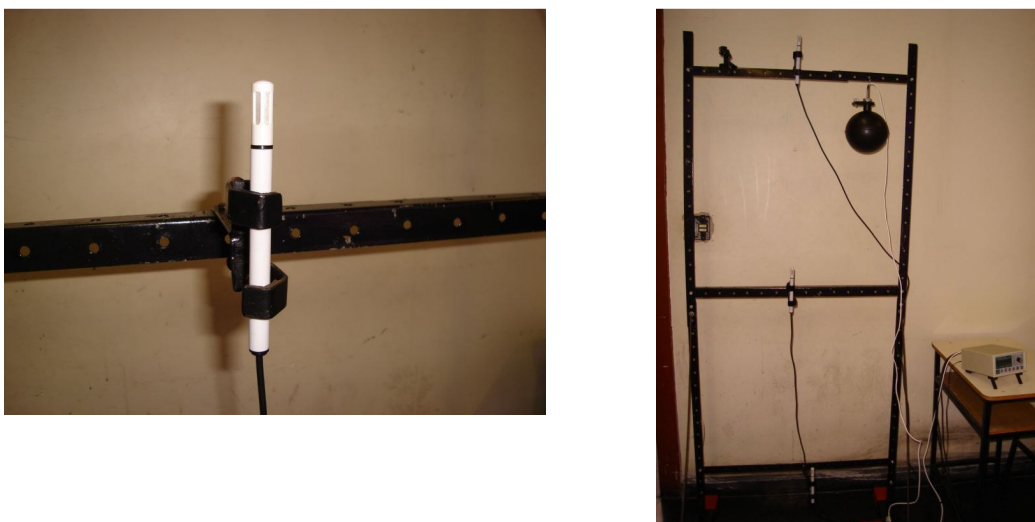


Figura 3.1 – Sensor utilizado para medir temperatura e umidade.

As posições dos três sensores no suporte metálico são determinadas seguindo recomendação da norma ISO 7726:1996, e que correspondem às alturas da cabeça, do abdômen e do calcanhar, descrito na Tabela 3.1.

*Tabela 3.1 - Posições de medição para as quantidades físicas de um ambiente.*

	Coeficiente de Ponderação					
	Ambiente homogêneo		Ambiente heterogêneo		Altura recomendada	
Posição	Classe C	Classe S	Classe C	Classe S	Sentado	De pé
Cabeça			1	1	1,1 m	1,7 m
Abdômen	1	1	1	2	0,6 m	1,1 m
Calcanhar			1	1	0,1 m	0,1 m

Fonte: ISO 7726:1996

Para a aquisição dos dados utiliza-se um sistema com *data logger* da marca ALMEMO 3290-8 (ALMEMO... , 2003), que possui oito entradas individuais, que podem ser duplicadas quando um sensor faz mais de um tipo de medição, como os sensores de umidade capacitivos utilizados, que possuem embutidos neles os sensores NTC (termistores) para medições de temperatura. Este *data logger* possui também duas saídas de dados, uma que faz interface com o computador, e outra que é a saída analógica do equipamento.

O equipamento tem a capacidade de realizar medições agendadas, ou seja, programando data e hora que se deseja começar e terminar automaticamente uma série de medições. Sua memória tem capacidade de cerca 20.000 medições sem necessidade de transferência de dados para um computador. As frequências com que as tomadas de valores são realizadas também podem ser programadas.

O sistema *data logger*, que é mostrado na Figura 3.2, foi utilizado para as medições internas, *in loco*, para coletar os dados de temperatura do ar, umidade e temperatura de globo, obtidos pelos sensores e pelo termômetro de globo.



Figura 3.2 – Data Logger ALMEMO 3290-8.

As medições de temperatura externa foram aferidas durante este estudo por uma estação profissional climatológica de controle remoto. O modelo é da marca La Crosse WS 2308 (LA CROSSE..., 2009) e é formado por um conjunto de sensores (termo-higrômetro, sensor de chuva e vento) conectados a um sistema principal de aquisição (Figura 3.3), que fornecem informações de variáveis relacionadas com o clima local.

Para medir a temperatura do ar externo, foi utilizado o sensor termo-higrômetro (Figura 3.3) da marca La Crosse WS 2308 (LA CROSSE..., 2009), que permite obter medidas de temperatura e umidade relativa do ar, ligado à estação principal, que recebe os dados dos sensores instalados no ambiente externo.



(a) Sensor termo-higrômetro



(b) Sistema de aquisição

Figura 3.3 – Estação meteorológica.

### 3.2.3.2 . Umidade absoluta do ar

A umidade existente no ar afeta diretamente o metabolismo do corpo humano. Quando aumenta a umidade do ar, o corpo transpira menos, o suor se condensa na pele e há a sensação de mais calor ainda, além da dificuldade de respirar. Quando a umidade do ar

é baixa, o ar fica mais seco e, mesmo com a temperatura elevada, não há a sensação de tanto calor.

Para medir a umidade interna do ambiente foi utilizado um sensor capacitivo da marca ALMEMO (ALMEMO... , 2003). Este sensor (Figura 3.4) é ligado ao sistema de aquisição de dados *data logger* (Figura 3.2).

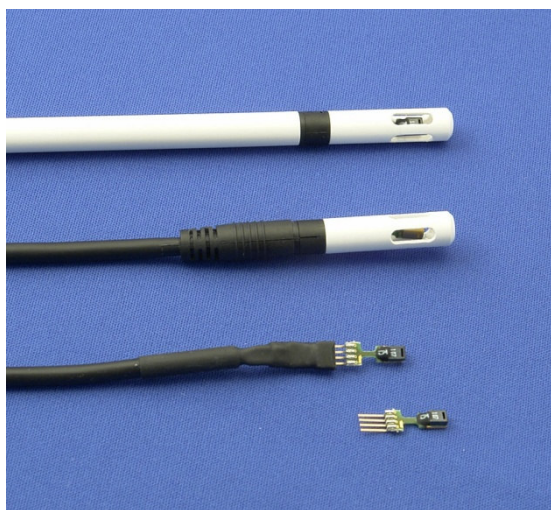


Figura 3.4 – Sensor de umidade capacitivo.

Os sensores capacitivos possuem um substrato de vidro junto a uma camada de polímero sensível à umidade entre dois eletrodos de metal. Pela absorção da água, correspondente à umidade relativa, a constante dielétrica, e em consequência, a capacidade da camada fina do capacitor tendem a variar. O sinal medido é diretamente proporcional à umidade relativa e não é dependente da pressão atmosférica.

O tipo de sensor escolhido possui faixa de operação que atende às necessidades da pesquisa, além de estarem embutido nele os sensores resistivos para medir a temperatura do ar.

### **3.2.3.3 . Temperatura de Globo**

A temperatura de globo é usada para calcular a temperatura radiante média e é medida por meio do termômetro de globo negro. A temperatura de globo, medida por meio deste instrumento, representa, num único valor, os efeitos combinados da energia radiante, temperatura e velocidade do ar, a partir do qual pode-se concluir sobre o nível de conforto de um dado ambiente.

O termômetro de globo, da marca ALMEMO (ALMEMO..., 2003) e mostrado na Figura 3.5, consiste em um globo metálico de 150 mm de diâmetro, pintado externamente com tinta preta fosca, com uma parede de espessura bem fina (0,5mm), e no interior dessa esfera oca é adaptado um elemento sensor de temperatura e colocado na região de estudo (FUNDACENTRO, 2001).



Figura 3.5 – Termômetro de Globo

### **3.2.4 . Parâmetros físico-ambientais calculados**

Dentre as variáveis calculadas a partir das variáveis físicas medidas durante a pesquisa, são utilizadas a temperatura radiante e a temperatura operativa.



#### 3.2.4.1 . Temperatura Radiante

A temperatura radiante é a temperatura na superfície dos elementos que envolvem um ambiente. Influencia tanto o calor perdido através da radiação do corpo como a perda de calor por condução, quando o corpo está em contacto com superfícies mais frias.

Neste trabalho, para o cálculo desta variável, considera-se convecção natural e o cálculo é feito por meio da expressão,

$$T_r = [(T_G + 273)^2 + 0,4 \cdot 10^8 \cdot (T_G - T_{ar})^{\frac{1}{4}} \cdot (T_G - T_{ar})]^{\frac{1}{4}} - 273 \quad (3.1)$$

onde  $T_r$  é a temperatura radiante ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_G$  é a temperatura de globo ( $^{\circ}\text{C}$ ) e  $T_{ar}$  é a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ).

#### 3.2.4.2 . Temperatura Operativa

A temperatura operativa é a temperatura uniforme de um ambiente negro imaginário no qual o ocupante poderia trocar a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real não uniforme (ASHRAE 55:2004). Para o cálculo desta temperatura, utilizou-se a expressão:

$$T_o = \frac{h_c \cdot T_{ar} + h_r \cdot T_r}{h_c + h_r} \quad (3.2)$$

onde  $T_o$  é a temperatura operativa ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_{ar}$  é a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_r$  é a temperatura radiante ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $h_c$  é o coeficiente de troca de calor por convecção ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ), e que foi considerado  $h_c=3,1 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$  (pessoa sentada com velocidade do ar entre 0 e 0,2 m/s), e  $h_r$  é o coeficiente de troca de calor por radiação ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ), adotado o valor típico de  $h_r=4,7 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$  (ASHRAE 55:2004).

### **3.2.5 . Parâmetros psico-fisiológicos**

A variável psico-fisiológica mais importante levantada neste trabalho é a sensação térmica dos indivíduos. Esta variável é obtida por meio da aplicação de questionários, utilizando uma escala de sete pontos, denominada escala de sensação térmica (+3 - muito quente, +2 - quente, +1 - ligeiramente quente, 0 - confortável, -1 - ligeiramente frio, -2 - frio e -3 - muito frio), e representa o grau de satisfação dos indivíduos no dado ambiente.

Além da sensação térmica, outros parâmetros psico-fisiológicos foram levantados neste trabalho com a aplicação de questionários junto aos usuários amostrados (Apêndice A). A elaboração dos questionários utilizados na pesquisa de campo foi realizada baseando-se na análise de exemplos anteriores de trabalhos semelhantes como o de Araújo (2001), Gonçalves (2000), Corgnati; Filippi; Viazzi (2007).

Foram utilizados dois tipos de formulários: um para o pesquisador e outro para os usuários. Ambos os formulários são apresentados no Apêndice A.

No formulário do pesquisador, é feita a identificação da sala pesquisada, como local, pavimento e sala, assim como a disciplina, o nome do professor, data, início e término do preenchimento do formulário do usuário pelos alunos e o número de alunos totais pesquisados no ensaio. Há também um espaço para a realização de um croqui da sala, onde pode ser localizado os pontos de medição, posição de portas e janelas e detalhes construtivos que achar necessário serem anotados. Depois são anotadas em uma tabela as variáveis ambientais medidas no intervalo de tempo definido, que são temperatura e umidade do ar, nas três posições diferentes do sensor, e a temperatura de globo. Finalmente, são anotadas observações relevantes como, por exemplo, condições do tempo externo, descrições da sala, entre outras.

O formulário do usuário tem ao todo 16 itens a serem respondidos pelos usuários. O campo 1 destina-se a fazer uma identificação da sala pesquisada, possibilitando seu reconhecimento em caso de separação do restante. No campo 2 encontram-se os dados individuais do usuário: sexo, idade, peso e altura. O campo 3 traz a definição do tipo de

roupa que o aluno está usando no momento e o campo 4 trata da sensação térmica em relação ao ambiente naquele momento, numa escala de 7 pontos. Os campos 5, 15 e 16 tratam da satisfação e aceitabilidade da sala de aula naquele momento. Os campos 6 e 7 referem-se ao movimento do ar e à necessidade de intervenções para melhorar o conforto térmico. O campo 8 lista sensações que podem ter ocorrido com o usuário na última hora, os campos 9 e 10 discutem a incidência solar e o seu controle durante o período de aula se considerar necessário, os campos 11 e 12 buscam levantar a satisfação e o tipo de iluminação do ambiente e os campos 13 e 14 identificam a satisfação do usuário em relação ao ruído proveniente de dentro e de fora do edifício, durante as aulas.

### **3.2.6 . Tratamento dos dados e obtenção dos resultados**

Esta fase consistiu em se fazer a contagem dos dados obtidos na aplicação dos questionários e na análise dos dados obtidos por meio das medições *in loco*. Posteriormente, essas informações foram analisadas estatisticamente gerando gráficos para seu melhor entendimento, assim como o cruzamento das variáveis. O estudo dos dados obtidos na pesquisa foi baseado nas referências bibliográficas estudadas.

Para análise mais aprofundada das correlações que foram desenvolvidas neste trabalho, escolheu-se utilizar o método estatístico Probit, que é um método para análise dos dados ligados ao estímulo biológico. Este método é adequado para os casos em que existem variáveis dependentes qualitativas e limitadas, além de ser útil para descrever o comportamento de escolha e não usar variável dependente contínua usual, trabalhando com variáveis dependentes binárias que se utilizam de decisões do tipo sim ou não, falha ou sucesso. A análise via Probit busca identificar quanto cada fator afeta a probabilidade de ocorrência das variáveis dependentes e relaciona-se com a distribuição normal de probabilidade, sendo representada por uma curva em forma de S (SANTOS, 2005; GOUVÊA, 2004; SCARE, 2003; ARAÚJO, 2001; GONÇALVES, 2000).

Uma análise probit tem a característica de transformar a distribuição de proporções observadas de uma variável dependente em relação a uma determinada variável contínua, numa distribuição de probabilidade, cujo valor fica restrito entre 0 e 1. Essa transformação possibilita a interpretação da relação entre as variáveis. A aplicação deste método permite conhecer para um determinado nível de estímulo qual a percentagem de indivíduos que sentirão calor, conforto ou frio a partir de uma distribuição probabilística baseada nos dados obtidos em campo.

Lay e Reis (2005) fazem uma análise quantitativa na área de estudos ambiente-comportamento, que introduz procedimentos de pesquisa geralmente aplicados na área de estudos de Ambiente-Comportamento, disponíveis e aplicáveis aos diversos tópicos que abordam aspectos do ambiente construído, desde estudos da edificação a estudos urbanos. Estes autores apresentam os métodos utilizados para analisar e descrever quantitativamente os dados coletados em pesquisas na área de ambiente e comportamento, além da análise de dados obtidos por meio de questionários e análises quantitativas alternativas, complementares e sintática, aplicada em estudos urbanos ou de uma edificação.

A área ambiente-comportamento tem como objetivo investigar as relações existentes entre características físico-espaciais do ambiente construído e o comportamento dos indivíduos. O estudo dessas relações pretende medir como o ambiente construído afeta o comportamento dos indivíduos e vice-versa, de forma a produzir conhecimento que venha a auxiliar na compreensão das reações psicológicas e comportamentais dos indivíduos em relação ao ambiente construído, assim como gerar subsídios para a produção de ambientes construídos mais adequados a seus usuários (LAY; REIS, 2005).

Devido à particularidade de cada ambiente e aos objetivos específicos de cada caso, as estratégias metodológicas necessitam ser constantemente adequadas e adaptadas. A maneira mais efetiva para a realização de estudos dessa natureza se dá por meio da utilização conjunta dos vários métodos e técnicas existentes, cuja escolha dependerá do tipo específico de cada problema a ser investigado e da situação de cada pesquisa.

Os métodos de análise de dados, com diferentes tipos de análises e testes, são apresentados, com a finalidade de possibilitar a visualização de seus resultados e facilitar a compreensão e despertar o interesse de pesquisadores e demais interessados nos temas investigados.

Andrade (1996) após obter os dados de temperatura de sua pesquisa, analisou-os a partir dos aspectos mais importantes referentes a cada estratégia bioclimática que estava em estudo. A autora analisou a ventilação, massa térmica/aquecimento passivo e inércia térmica. Seus métodos para obtenção de resultados baseavam-se nas teorias de Fanger (1972), com gráficos dos índices de PMV e PPD para cada situação.

No seu trabalho, Andrade (1996) obtém a distribuição das frequências absolutas e relativas, a partir dos dados coletados junto aos usuários, e analisa os cruzamentos das variáveis ambientais com as variáveis psico-fisiológicas. A partir desses cruzamentos, analisa a correlação entre as variáveis para determinar quais poderiam constituir um modelo estatístico para se obter a variável grau de satisfação do usuário e define os limites de conforto para a população estudada, utilizando o método probit.

Para este trabalho, o tratamento dos dados levantados na pesquisa de campo possibilitou o estudo do conforto térmico ambiental da população em estudo, que vem a ser o principal resultado do trabalho e que será apresentado no capítulo 4.

### **3.3 . Caracterização do objeto de estudo**

#### **3.3.1 . Região climática**

A região em estudo, Ouro Preto – MG, cidade na qual está inserida a UFOP, caracteriza-se por possuir clima tropical de altitude úmido, característico das regiões montanhosas com chuvas durante os meses de dezembro a março, geadas raras em junho e julho. Localiza-se a uma latitude 20°23'08" sul e a uma longitude 43°30'29" oeste, estando a uma altitude de 1179 m (Figura 3.6).



Figura 3.6 – Localização da região em estudo: Ouro Preto - MG

Como temperaturas da cidade, têm-se os dados: média anual: 17,4°C; média máxima: 22,6°C; média mínima: 13,1°C; temperatura mínima 6°C (julho); temperatura máxima 28°C (janeiro).

### 3.3.2 . Edificações

São analisadas a qualidade do ambiente térmico das salas de aula de dois prédios pertencentes a UFOP, o da Escola de Minas e do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB1), que possuem tipos distintos de construção: uma estruturada em aço e outra , em concreto convencional, respectivamente.

### 3.3.2.1 . Escola de Minas

A Escola de Minas foi fundada em 1876, em Ouro Preto, e o seu atual prédio em estrutura metálica foi construído no Campus Morro do Cruzeiro e inaugurado em Julho de 1996, fora dos limites do centro histórico deste município tombado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), Figuras 3.7 e 3.8.



Figura 3.7 – Fachada principal da Escola de Minas: (a) 1998; (b) 2005.



Figura 3.8 – Fachada norte da entrada principal da Escola de Minas em 2008.

A estrutura metálica possibilitou um período de construção relativamente rápido, aproximadamente de um ano e meio, e, já na praça de entrada, vê-se um expressivo

pórtico em aço de onde flui toda a trama de pilares e vigas aparentes em estrutura metálica, que remontam às pontes, linhas e estações ferroviárias do início do século XX, enquanto semantizam as novas potencialidades e contemporaneidade da estrutura metálica, reverenciando simultaneamente passado e futuro (RIBAS, 2006).

A edificação possui dois pavimentos e compreende dois blocos: o primeiro, com a portaria, salas administrativas, laboratórios e salas de estudo, e o segundo, com as salas de aula que serão avaliadas e uma biblioteca. Na figura 3.9, apresenta-se a planta baixa esquemática da edificação.

No segundo bloco, onde estão as salas de aula, o fechamento interno é constituído por paredes de tijolo furado rebocado com argamassa nas duas faces. O fechamento externo, no primeiro pavimento, é em alvenaria (tijolo laminado requeimado a vista por fora e revestimento em reboco por dentro) até meia altura e vidro no restante da parede. No segundo pavimento, o fechamento externo é todo feito em esquadria de alumínio e vidro. O piso de ambos os pavimentos é em agregado cimentício de alta resistência, polido e escurecido, fundido sobre o contrapiso de concreto no térreo e sobre a laje maciça de concreto no segundo piso. A cobertura da edificação é feita em telhas de aço zincadas pré-pintadas em uma parte e telhas de fibra de vidro em outra, apoiadas sobre terças de perfis formados a frio de seção C e fixadas por parafusos também zincados. O forro é em PVC e reveste a laje maciça nos dois pavimentos, existindo entre o forro e a laje um espaço de aproximadamente 0,40 m (RIBAS, 2006).

A iluminação e ventilação são feitas pelas janelas do tipo máximo ar que ocupam toda a extensão da parede, e os vidros são cobertos por insulfilme para diminuir a incidência de luz, sendo ainda necessária em algumas salas, a presença de persianas, como é mostrado na Figura 3.10. A estrutura metálica é externa ao corpo da edificação e aparente, como é apresentado na Figura 3.11.



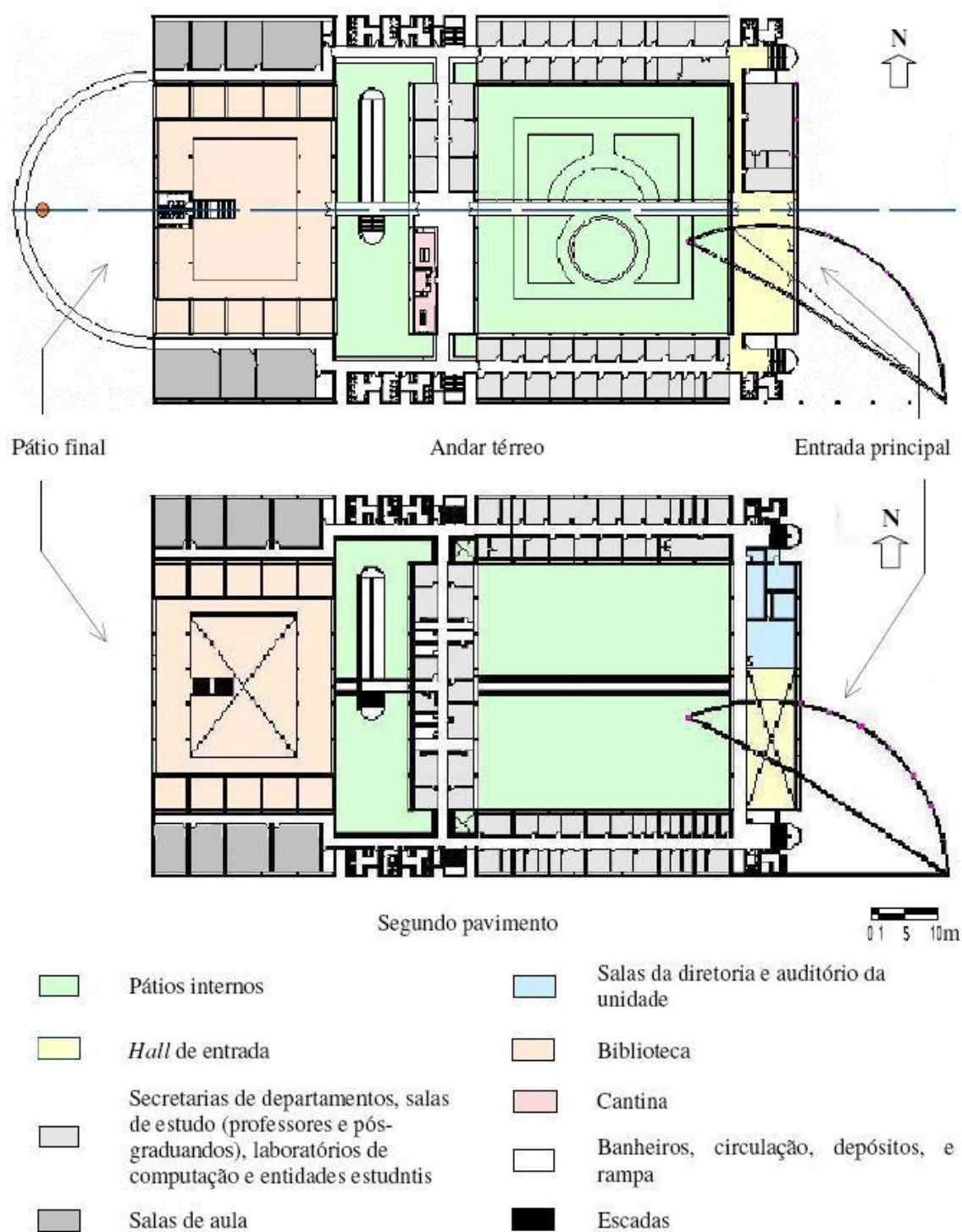


Figura 3.9 – Planta baixa esquemática da edificação



Figura 3.10 – Salas de aula da Escola de Minas.



Figura 3.11 – Fachada sul do bloco de salas de aula da Escola de Minas.

Na Escola de Minas são ministradas as aulas para Arquitetura e Urbanismo e para todas as Engenharias (Ambiental, Civil, de Controle e Automação, de Minas, de Produção, Geológica e Metalúrgica), além de alguns outros cursos como Farmácia que tem algumas disciplinas pertencentes aos departamentos da Engenharia.

Para este trabalho, as medições englobaram cinco salas de aula da Escola de Minas, no segundo bloco, e em pavimentos distintos. Na figura 3.12, apresenta-se a planta do edifício de salas de aula e estão em destaque as salas utilizadas para as medições.

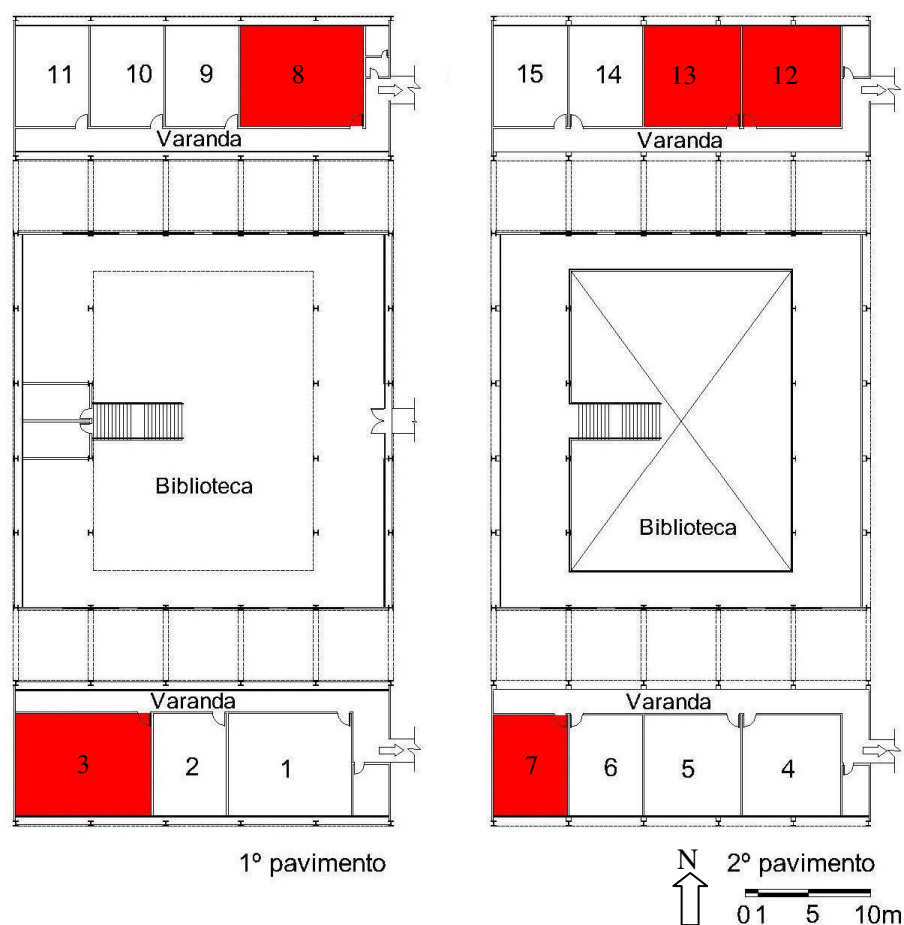


Figura 3.12 – Salas de aula utilizadas para a pesquisa no segundo bloco do edifício da EM.

### 3.3.2.2 . Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB)

O ICEB deu início às suas atividades em março de 1982, mas somente em 16 de julho, do mesmo ano que ele foi inaugurado oficialmente. O edifício, mostrado na Figura 3.13, abriga os departamentos de Ciências Biológicas, Computação, Física, Matemática e Química, que também ministram as disciplinas do ciclo básico para os cursos de Engenharia (Ambiental, Civil, de Controle e Automação, de Minas, de Produção, Geológica e Metalúrgica), para as graduações de Farmácia, Nutrição, Medicina e Educação Física.



(a)



(b)

Figura 3.13 – Entradas principal (a) e secundária (b) do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas.

O ICEB é subdividido em quatro setores (Figura 3.14): o primeiro prédio, que engloba portaria, área administrativa e departamentos, com um pavimento em dois níveis diferentes; ICEB1 e ICEB2, que comportam salas de aula, laboratórios e salas de professores, com dois pavimentos e o ICEB3, em ampliação, que comporta a biblioteca.



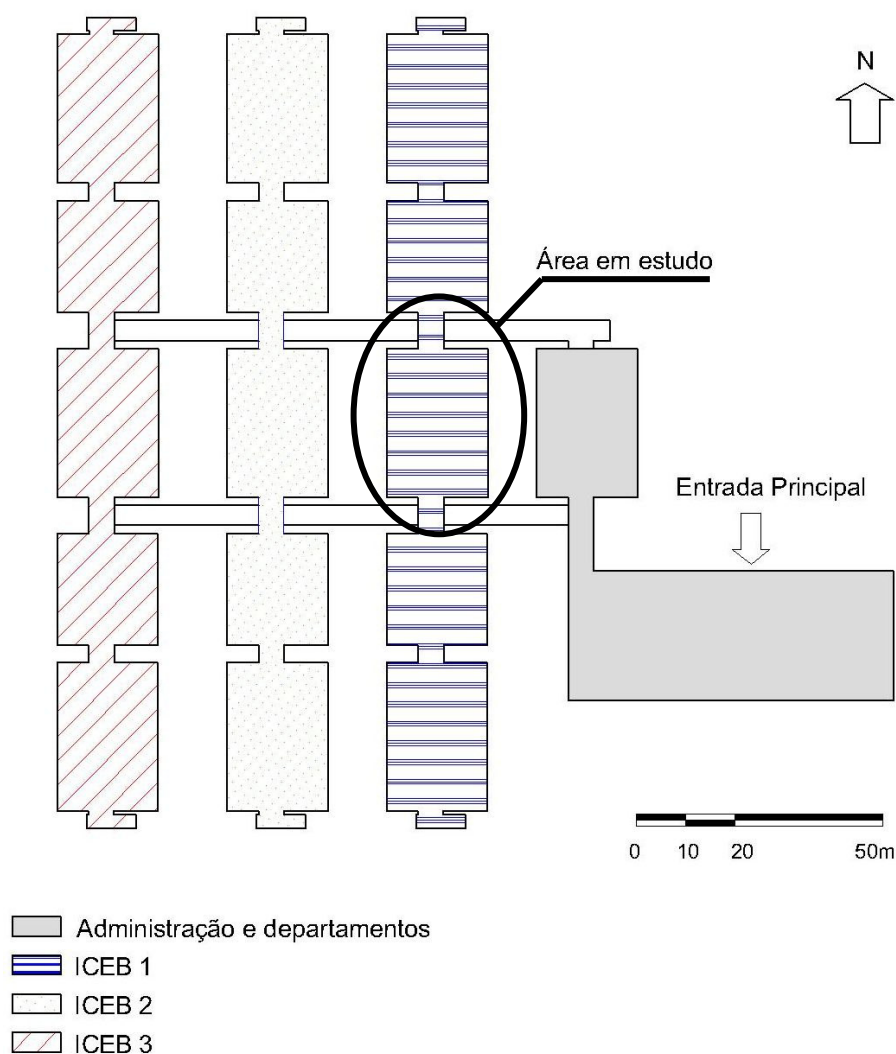


Figura 3.14 – Planta esquemática do prédio do ICEB.

Os principais blocos de salas de aula do ICEB (ICEB1 e 2) são estruturados em concreto convencional. As paredes são em alvenaria, exteriormente revestidas por tijolos cerâmicos e dentro das salas, rebocada com argamassa e pintada. O piso é de paviflex e o teto em concreto aparente. As instalações elétricas são aparentes. A iluminação e ventilação são feitas pelas janelas do tipo máximo ar que ocupam toda a extensão da parede e têm altura de 1,40 m. Nas salas, como pode ser visto nas Figuras 3.15 e 3.16, os vidros são cobertos por insulfilm, para diminuir a incidência de luz.



Figura 3.15 – Fachada leste do ICEB1 e sala de aula.



Figura 3.16 – Fachada oeste do ICEB1 e sala de aula.

Para este estudo, são realizadas as medições em cinco salas de aula do ICEB1 no primeiro pavimento e localizadas na parte central do bloco. Na figura 3.17 apresenta-se a planta esquemática do bloco central do edifício e as salas utilizadas nesta pesquisa estão em destaque.

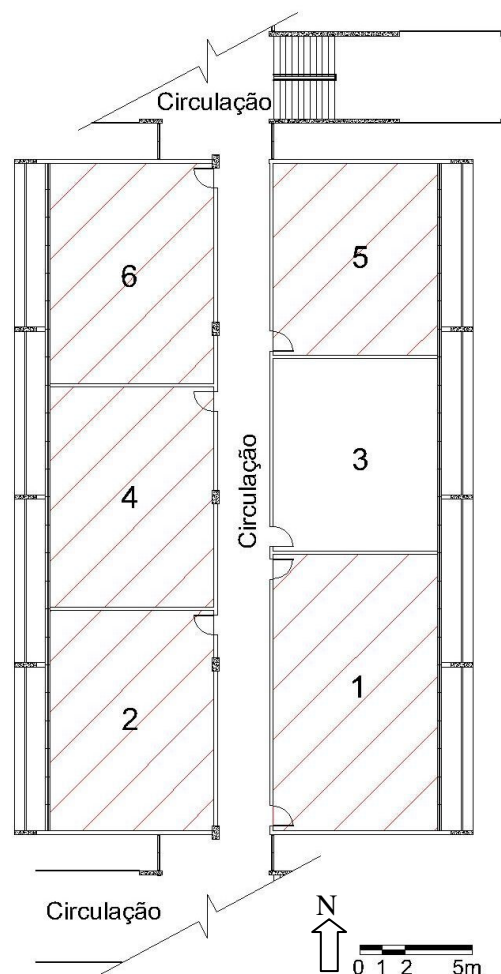


Figura 3.17 – Planta do 1º pavimento do ICEB1 com marcação das salas utilizadas.

### 3.4 . Procedimentos adotados para a pesquisa de campo

Com base na situação-problema e nos parâmetros medidos e calculados, descritos anteriormente, é apresentada uma metodologia para a determinação dos limites de conforto térmico para a população em estudo. Os ensaios de campo foram realizados no período de junho a novembro de 2008, mais precisamente nos meses de junho, outubro e novembro, épocas escolhidas em função do calendário escolar da universidade.

Os procedimentos adotados em campo estão descritos a seguir.

A aferição das temperaturas e umidade eram realizadas durante um período de 1 hora, medidas de 5 em 5 minutos, a partir dos 10 minutos iniciais da aula, e anotadas no formulário do pesquisador. Para o uso dos sensores de temperatura e umidade e termômetro de globo, foi utilizado um suporte confeccionado de barras de alumínio, que possuía três alturas distintas, de forma a permitir o posicionamento dos sensores a 0,10 m, 1,10 m e 1,70 m de altura, posições nas quais foram realizadas as medições e que são citadas na norma ISO 7726:1996. O *data logger* ficava em uma mesa ao lado ou atrás do suporte, onde era preenchido o formulário do pesquisador (Figura 3.1), e o equipamento era montado antes do início da aula e da chegada dos alunos na sala.

Explicava-se os objetivos da pesquisa aos alunos da sala e os procedimentos que seriam realizados durante o ensaio. Distribuía-se, em seguida, os formulários aos alunos e normalmente após 5 minutos do início do preenchimento, eles eram recolhidos. Continuava-se coletando o dados de temperaturas e umidade até o final do período determinado, no caso, 1 hora.

Nas figuras 3.18 e 3.19 ilustram-se alguns dos procedimentos adotados durante a pesquisa de campo.



Figura 3.18 – Equipamentos na sala de aula.





Figura 3.19 – Leitura dos dados durante a aula.

### **3.5 . Amostragem**

A escolha da população universitária como amostra para o presente trabalho se deu por apresentar, além da temática principal desta dissertação, que é fazer um levantamento e análise das temperaturas das salas de aula de dois prédios da UFOP, as seguintes características: familiarização com o instrumento questionário, pressupondo discernimentos nas respostas e consciência sobre a importância da pesquisa, similaridade de idade e hábitos de vestimenta e grupamento de indivíduos compatível com a operacionalidade necessária para a pesquisa.

Para elaboração do plano amostral, foi levantada a quantidade de alunos que freqüentam os dois edifícios estudados, por meio de visita à secretaria dos mesmos. De acordo com os dados obtidos, freqüentam aproximadamente a Escola de Minas no período diurno, 1353 alunos, e no Instituto de Ciências Exatas e Biológicas prédio 1, aproximadamente 842 alunos, perfazendo então uma população diurna de 2195 alunos.

### 3.5.1 . Tamanho da amostra

Para o cálculo do tamanho da amostra, considera-se o método apresentado por Renckly (1996), que se aplica nos casos em que os resultados são apresentados de várias maneiras ou quando existe dificuldade em estimar a porcentagem e o desvio padrão do atributo de interesse.

$$n = \frac{NZ^2 \cdot 0,25}{[L^2 \cdot (N - 1)] + [Z^2 \cdot 0,25]} \quad (3.3)$$

onde n é o tamanho necessário para a amostra, N é o número de indivíduos conhecido ou estimado da população, Z é o número de unidades de desvio padrão correspondente ao nível de confiança desejado e L é a precisão desejada, tolerância em torno da média.

Considerando o número de indivíduos da população (N) de 2195 alunos, um nível de confiança de 90% para um coeficiente de confiança (Z) de 1,645, a precisão desejada (L) de 0,05, obtém-se uma amostra de 241 indivíduos.

Um outro método pressupõe que a amostra é extraída por meio de uma amostragem aleatória simples (BARBETTA, 2002).

$$n = \frac{N \cdot \frac{1}{E^2}}{N + \frac{1}{E^2}} \quad (3.4)$$

onde E é o erro amostral.

Admitindo neste caso um erro amostral (E) de 0,05, resulta numa amostra de 338 indivíduos.

A amostra utilizada foi de 570 indivíduos (26% da população total em estudo), tendo sido realizados no total 24 ensaios de campo com aplicação de questionários e medições das temperaturas e umidade do ambiente. Destes ensaios, 11 foram realizados no ICEB1 e 13 na Escola de Minas, nos dias 24, 25 e 26 de junho, 01, 02 e 07 de outubro e 18, 19 e 20 de novembro de 2008, como pode ser visto em detalhes na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Detalhamento do número de salas e questionários aplicados na pesquisa de campo

		Junho	Outubro	Novembro
<b>ICEB1</b>	Nº salas pesquisadas	3	4	4
	Nº questionários	50	96	122
<b>EM</b>	Nº salas pesquisadas	2	6	5
	Nº questionários	27	149	126

### 3.5.2 . Caracterização da amostra

A amostra utilizada de 570 indivíduos pesquisados pode ser analisada e caracterizada com os dados mostrados nas Figuras 3.20 a 3.26, que ilustram a distribuição de frequência relativa quanto ao sexo, idade, peso e altura dos entrevistados, separados por edificação analisada.

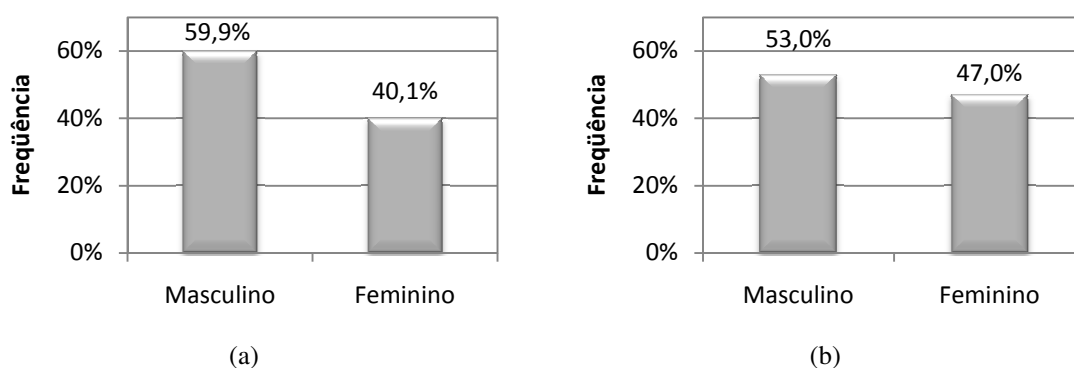


Figura 3.20 – Distribuição da frequência relativa do sexo dos pesquisados da (a) EM e (b) ICEB1.

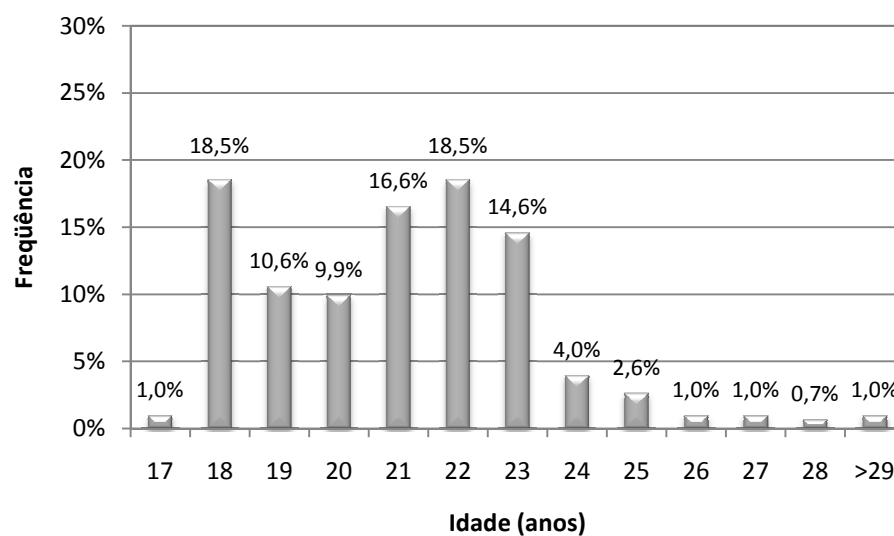


Figura 3.21 – Distribuição da frequência relativa da idade dos pesquisados (E.M.).

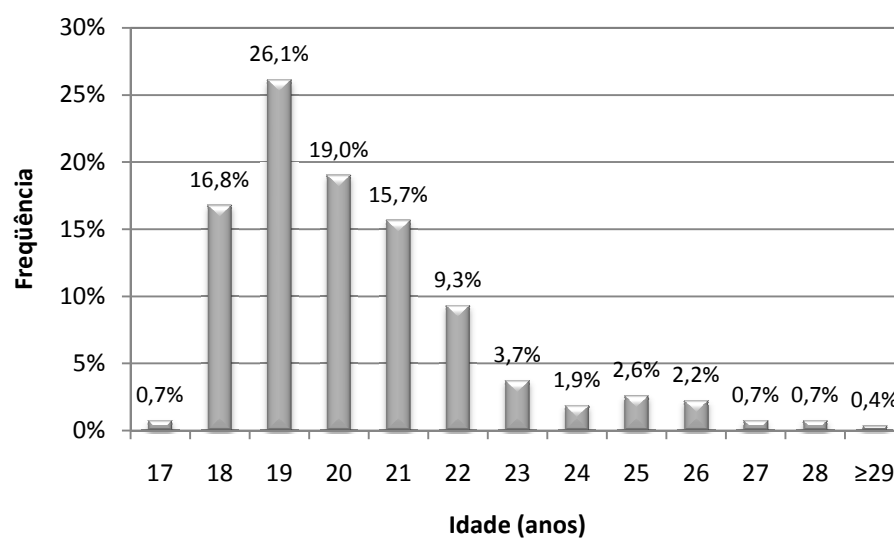


Figura 3.22 – Distribuição da frequência relativa da idade dos pesquisados (ICEB1)

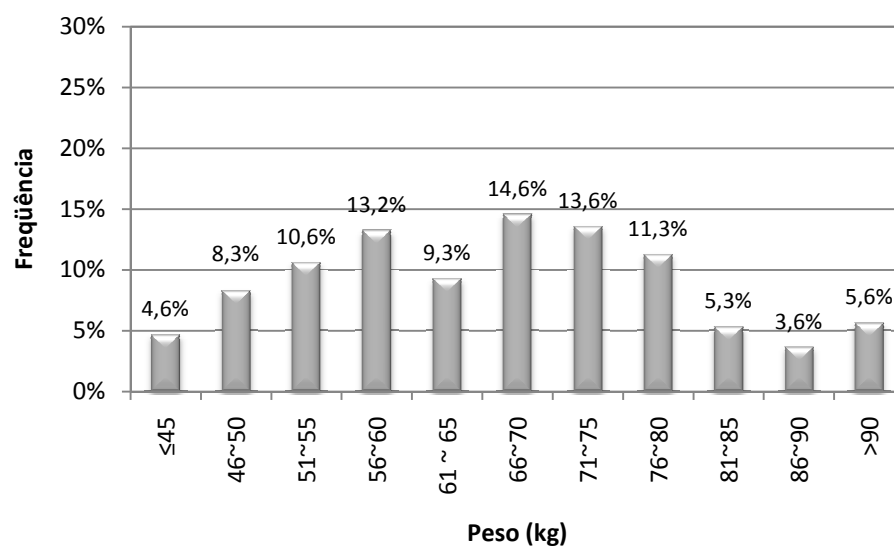


Figura 3.23 – Distribuição da frequência relativa ao peso dos pesquisados (E.M.).

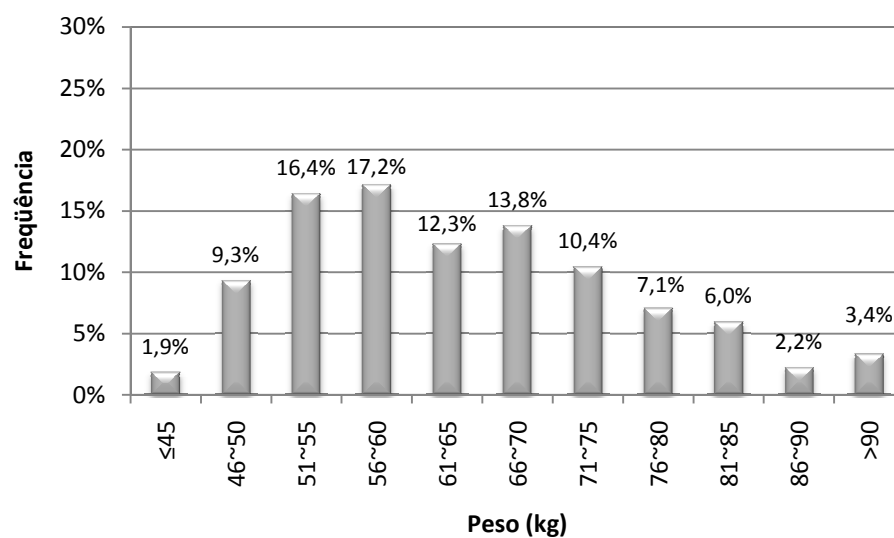


Figura 3.24 – Distribuição da frequência relativa ao peso dos pesquisados (ICEB1)

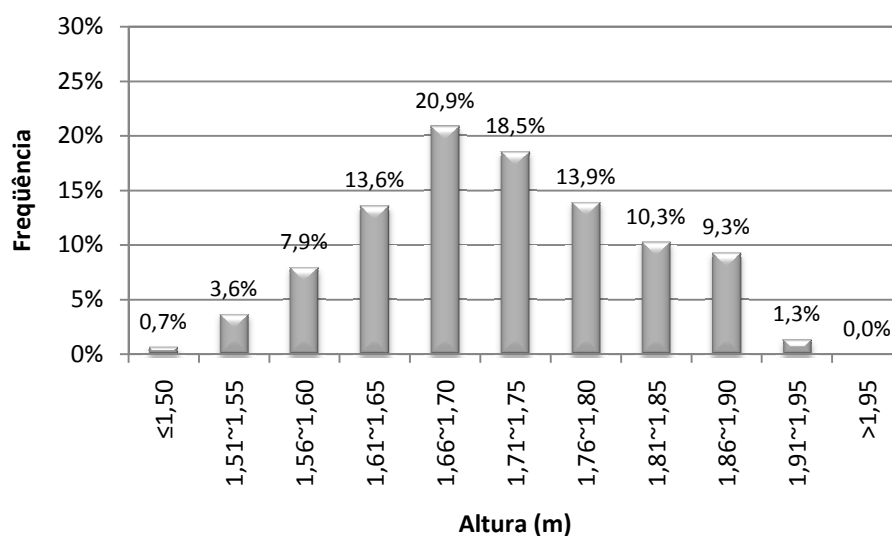


Figura 3.25 – Distribuição da frequência relativa à altura dos pesquisados (E.M)

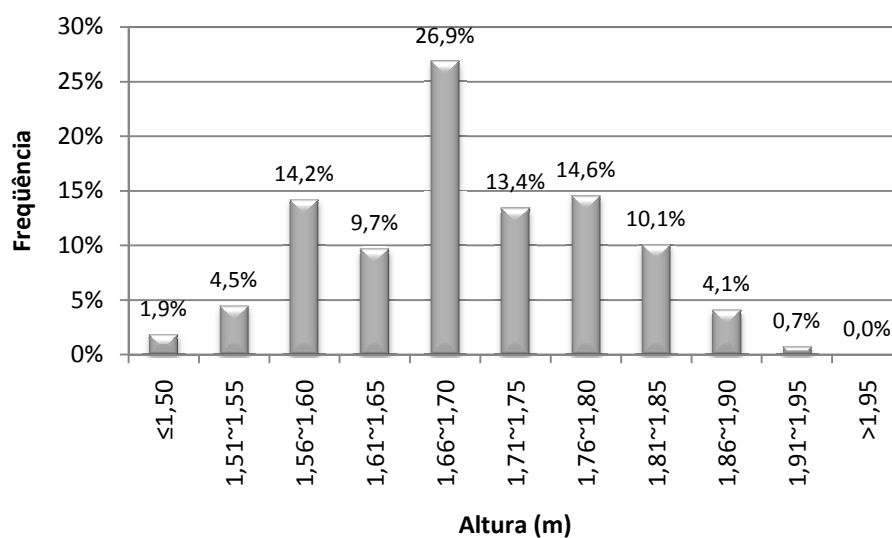


Figura 3.26 – Distribuição da frequência relativa à altura dos pesquisados (ICEB1)

Pela análise da frequência dos dados obtidos da amostra da pesquisa, observa-se que a distribuição de sexo resultou em um maior número de homens e a idade resultou em uma frequência maior na faixa de 18 a 23 anos, o peso e a altura apresentaram uma boa

distribuição. Analisando os dados apresentados nas Figuras 3.21 a 3.26, chegou-se aos histogramas das frequências das variáveis fisiológicas Idade, Peso e Altura (Figuras 3.27, 3.28 e 3.29) da população pesquisada.

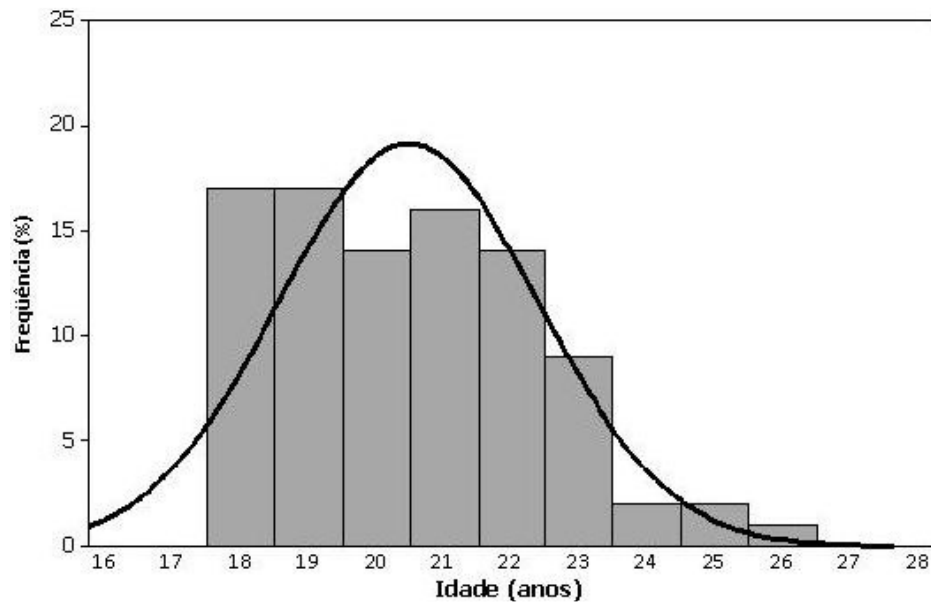


Figura 3.27 – Histograma de frequência com curva normal da idade dos pesquisados.

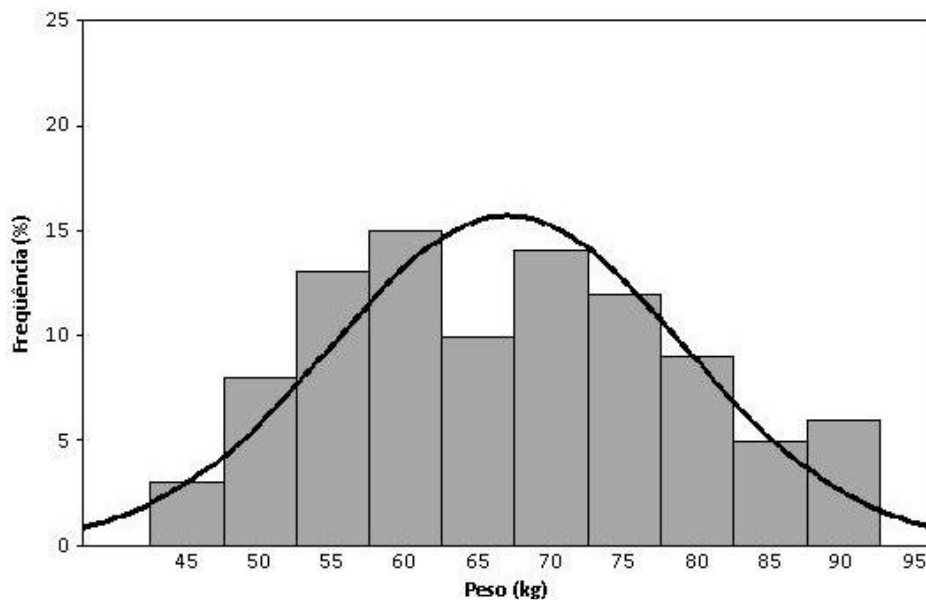


Figura 3.28 – Histograma de frequência com curva normal do peso dos pesquisados.

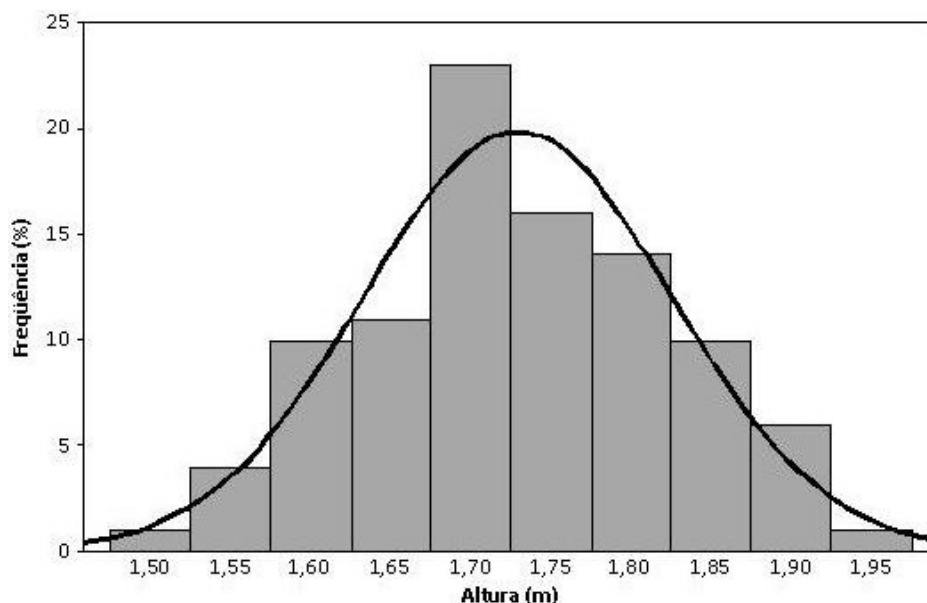


Figura 3.29 – Histograma de frequência com curva normal da altura dos pesquisados.

Os dados mostrados nas Figuras 3.27 a 3.29 representam os valores das variáveis fisiológicas e pessoais de todos os usuários da pesquisa. Como esperado, as variáveis apresentam comportamento normal (FISHER; YATES, 1971).

### 3.6 . Limites da pesquisa e incertezas experimentais

A julgar-se o mérito desta pesquisa, bem como a validade dos resultados apresentados, deve-se considerar as suas limitações, bem como as fontes de erro envolvidas.

Quanto ao planejamento do experimento, um aspecto deve ser discutido: o período de medições. O período de realização dos ensaios de campo compreendeu os meses de junho a novembro de 2008, totalizando 24 ensaios realizados, sendo 7 em junho, 10 em outubro e 9 em novembro. Esse procedimento foi escolhido em função da operacionalidade e da viabilidade da pesquisa, além da conformidade com o calendário da UFOP, que estava desregulado devido a greves anteriores.



Quanto às fontes de erro durante as medições pode-se citar as seguintes: influência de fontes de radiação circundantes, como janelas ou paredes expostas à radiação solar, portas abertas ou fechadas, que poderiam influenciar nos valores obtidos pelos equipamentos.

Quanto às aplicações dos resultados, deve-se salientar que as proposições elaboradas estão direcionadas para a situação típica estudada: condições de conforto térmico para estudantes universitários, em edificações com métodos construtivos distintos (uma estruturada em aço e outra em concreto tradicional) e sem refrigeração mecânica do ar, na cidade de Ouro Preto. É importante enfatizar que as condições de conforto térmico são diferenciadas de acordo com o tipo de situação analisada e local.

Os equipamentos utilizados nos ensaios de campo foram verificados, a fim de comprovar que os mesmos estavam operando corretamente, no Laboratório de Conforto Ambiental da UFOP.

## **IV . RESULTADOS**

Neste capítulo, são apresentadas as análises dos dados levantados na pesquisa de campo, como as variáveis ambientais medidas e as variáveis fisiológicas e pessoais, bem como as correlações entre as variáveis psico-fisiológicas, de cada edifício em estudo nos diferentes meses que ocorreram as pesquisas. Analisa-se ainda cada sala, as medidas tomadas nelas e o grau de satisfação e aceitabilidade dos ambientes. Logo após, as variáveis são manipuladas para a obtenção de um modelo de predição da sensação térmica. Por último, são obtidos os limites de conforto para a população em estudo através do método probit.

### **4.1 . Análise das salas avaliadas**

Foram realizados 24 ensaios de campo, nos dias 24, 25 e 26 de junho, 01, 02 e 03 de outubro e 18, 19 e 20 de novembro de 2008, totalizando uma amostragem de 570 indivíduos. Foram avaliadas cinco salas de aulas em cada edifício, Escola de Minas (EM) e Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB1).

Como foi explicado na metodologia, em cada ensaio foram feitas medições das variáveis ambientais, e aplicado um questionário (Apêndice A) sobre as preferências individuais de cada usuário.

Na Tabela 4.1 são apresentadas as principais características das salas analisadas, considerando que nenhuma delas possui algum tipo de ventilação mecânica.

Tabela 4.1 – Principais características das salas de aula analisadas

Prédio	Sala	NC	NE	V (m³)	A (m²)	P (m)	W/A	EXP	I
ICEB I	1	64	21	333,67	90,18	3,70	0,20	L	-
	2	49	18	265,96	71,88	3,70	0,20	O	-
	4	54	38	266,77	72,10	3,70	0,20	O	-
	5	40	16	232,10	62,73	3,70	0,20	L	-
	6	52	32	265,96	71,88	3,70	0,20	O	-
E.M.	3	78	41	300,55	96,33	3,12	0,22	S	P
	7	37	24	150,79	48,33	3,12	0,27	S	P
	8	46	20	247,38	79,29	3,12	0,22	N	P
	12	40	31	197,15	63,19	3,12	0,27	N	P
	13	41	12	193,41	61,99	3,12	0,27	N	P

NC: número de carteiras; NE: número de estudantes (média); V: volume (m³); A: área do piso (m²); P: pé direito (m); W/A: área envidraçada/área do piso; EXP: orientação da exposição das janelas; I: controle da incidência solar por (C) cortinas, (P) persianas ou ( - ) nenhuma.

## 4.2 . Variáveis ambientais

Como parte do processo de tratamento e análise dos dados levantados nos edifícios da UFOP, processou-se os dados obtidos das medições das variáveis ambientais. Os dados obtidos da temperatura externa nos dias em que foram realizadas as medições constam no Apêndice B.

A análise descritiva dos dados levantados *in loco* das variáveis ambientais é mostrada na Tabela 4.2. Nela são especificados o prédio, a sala, o dia e o período do dia em que ocorreu a medição. São mostradas também os valores médios da temperatura do ambiente ( $T_{ar}$ ), da umidade ( $\Phi$ ), da temperatura de globo ( $T_G$ ), e das variáveis calculadas, que foram a temperatura radiante ( $T_r$ ) e a temperatura operativa ( $T_o$ ). Nas medições de junho, não foram calculadas a temperatura radiante e a temperatura operativa, uma vez que a temperatura de globo não foi medida.

Tabela 4.2 – Variáveis ambientais levantadas *in loco* e calculadas.

Prédio	Dia	Sala	T <sub>ar</sub> (°C)	Φ (%)	T <sub>G</sub> (°C)	T <sub>r</sub> (°C)	T <sub>o</sub> (°C)
ICEB1	24/06/08	2 manhã	18,65	76,17	-	-	-
	25/06/08	5 manhã	17,41	82,11	-	-	-
		5 tarde	19,02	80,84	-	-	-
EM	26/06/08	13 manhã	18,03	68,59	-	-	-
		13 tarde	18,76	65,51	-	-	-
EM	1/10/2008	8 tarde	27,23	48,41	27,36	27,39	27,33
		12 manhã	24,63	67,09	24,83	24,88	24,78
		13 tarde	27,13	49,58	27,60	27,74	27,50
	2/10/2008	3 tarde	23,04	71,40	23,51	23,66	23,41
		7 manhã	22,41	70,77	22,91	23,07	22,81
		7 tarde	23,89	65,15	24,14	24,21	24,08
ICEB1	7/10/2008	1 manhã	23,31	67,88	23,81	23,97	23,71
		1 tarde	24,09	60,02	24,60	24,76	24,50
		6 manhã	24,35	66,47	24,50	24,54	24,46
		6 tarde	24,75	60,76	25,35	25,55	25,23
ICEB1	18/11/2008	1 manhã	21,70	76,32	22,28	22,48	22,17
		1 tarde	21,71	83,16	22,27	22,46	22,16
		4 tarde	22,70	75,79	23,39	23,63	23,26
		6 manhã	22,27	73,97	22,71	22,85	22,62
EM	19/11/2008	8 tarde	22,79	70,51	23,30	23,47	23,20
		12 manhã	21,68	77,61	21,97	22,05	21,90
		13 tarde	21,67	71,26	22,11	22,25	22,02
	20/11/2008	3 tarde	22,66	65,79	23,07	23,20	22,98
		7 tarde	21,30	68,82	21,67	21,78	21,59
Média Global			23,30	69,33	23,76	23,89	23,67

Na Tabela 4.3 mostram-se os parâmetros estatísticos descritivos das variáveis ambientais.

Tabela 4.3 – Parâmetros estatísticos descritivos das variáveis ambientais.

<b>Estatística - Variável</b>	<b>T<sub>ar</sub> (°C)</b>	<b>Φ (%)</b>	<b>T<sub>G</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>r</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>o</sub> (°C)</b>
<b>Média</b>	22,30	69,33	23,76	23,89	23,67
<b>Erro padrão</b>	0,53	1,79	0,38	0,38	0,39
<b>Mediana</b>	22,54	69,67	23,39	23,63	23,26
<b>Modo</b>	22,97	80,90	22,09	23,69	23,40
<b>Desvio padrão</b>	2,57	8,78	1,67	1,65	1,68
<b>Variância da amostra</b>	6,62	77,15	2,79	2,73	2,82
<b>Curtose</b>	-0,10	0,83	0,85	0,87	0,84
<b>Assimetria</b>	-0,12	-0,74	1,09	1,08	1,10
<b>Intervalo</b>	9,82	34,75	5,93	5,96	5,91
<b>Mínimo</b>	17,41	48,41	21,67	21,78	21,59
<b>Máximo</b>	27,23	83,16	27,60	27,74	27,50
<b>Soma</b>	535,18	1663,98	451,38	453,94	449,71
<b>Contagem</b>	24	24	19	19	19
<b>Maior(1)</b>	27,23	83,16	27,60	27,74	27,50
<b>Menor(1)</b>	17,41	48,41	21,67	21,78	21,59
<b>Nível de confiança(95,0%)</b>	1,09	3,71	0,80	0,80	0,81
<b>Limite Inferior</b>	21,21	65,62	22,95	23,09	22,86
<b>Limite Superior</b>	23,39	73,04	24,56	24,69	24,48
<b>Coefficiente de Variação</b>	11,54%	12,67%	7,03%	6,92%	7,09%

Nas figuras 4.1 a 4.5 apresentam-se o histograma da frequência observada e o gráfico da probabilidade normal para cada variável ambiental medida em campo (temperatura do ar, umidade e temperatura de globo) e calculada (temperatura operativa e temperatura radiante), obtido a partir dos dados das Tabelas 4.2 e 4.3. A normalidade é aceita ao nível de confiança de 95%.

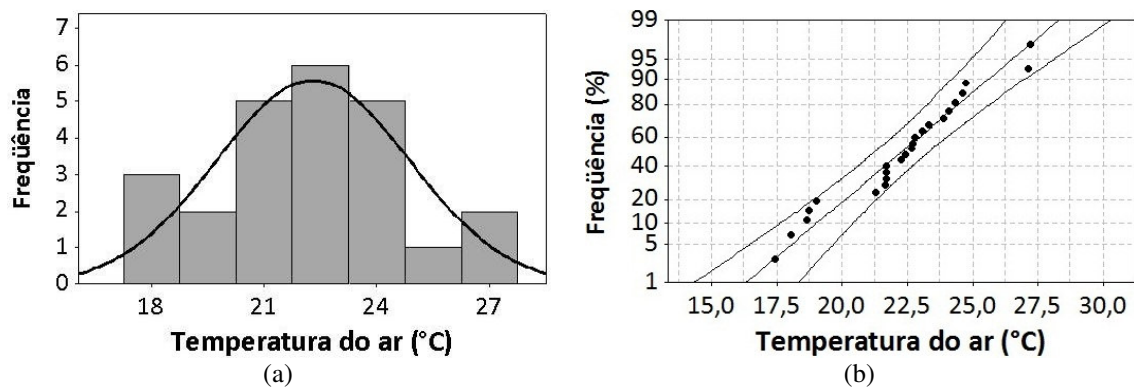


Figura 4.1 – Histograma de frequência com curva normal (a) e gráfico da probabilidade (b) da Temperatura do ar.

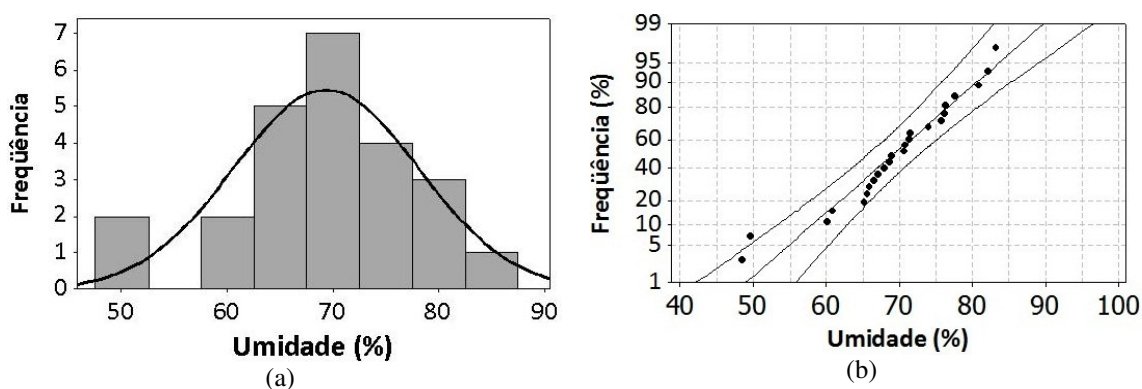


Figura 4.2 – Histograma de frequência com curva normal (a) e gráfico da probabilidade (b) da Umidade.

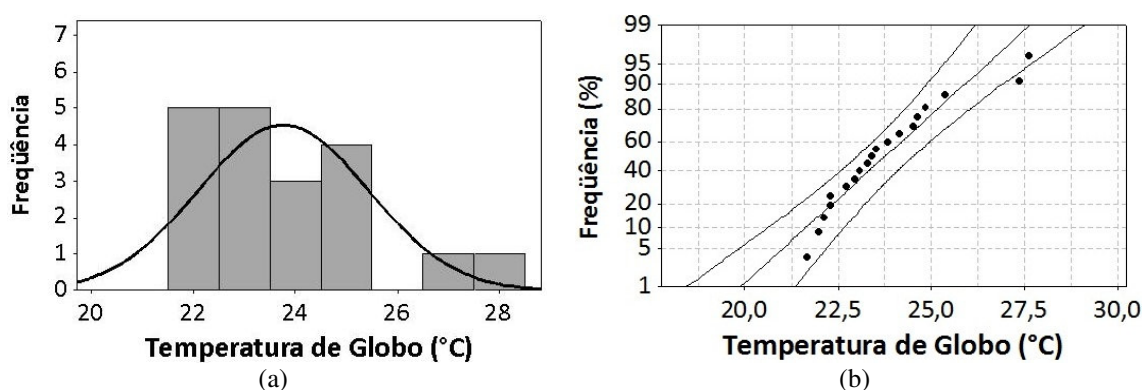


Figura 4.3 – Histograma de frequência com curva normal (a) e gráfico da probabilidade (b) da Temperatura de Globo.

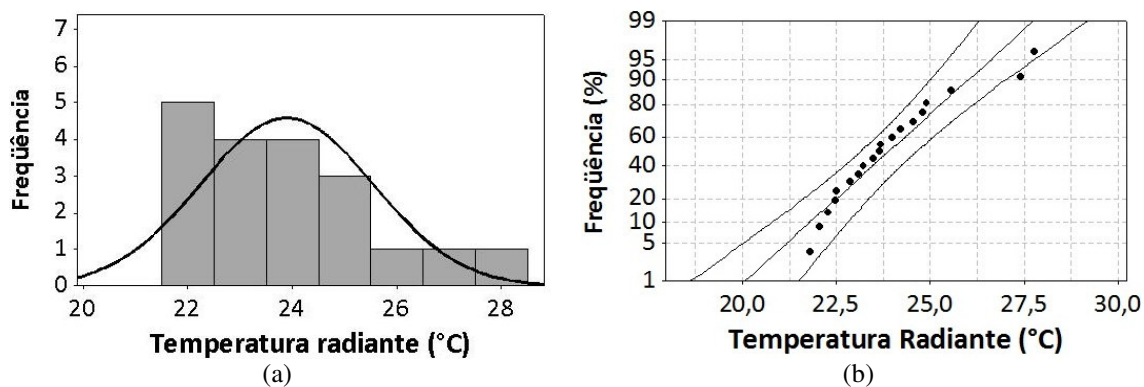


Figura 4.4 – Histograma de frequência com curva normal (a) e gráfico da probabilidade (b) da Temperatura Radiante.

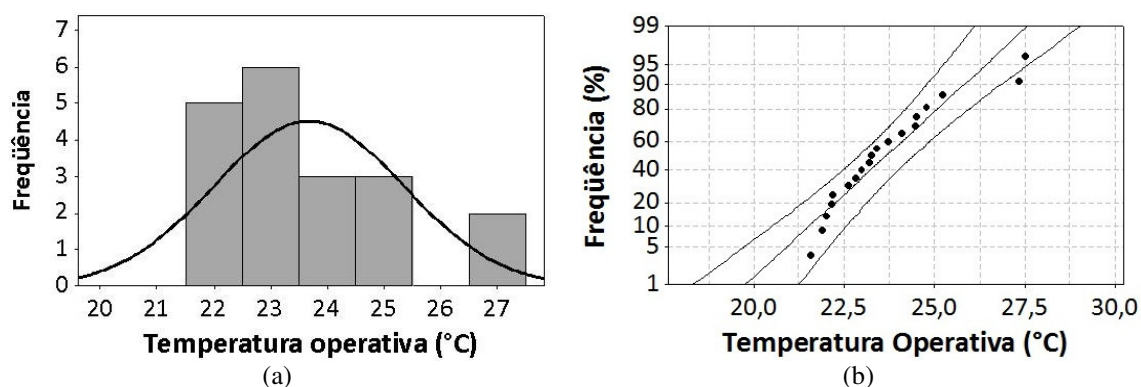


Figura 4.5 – Histograma de frequência com curva normal (a) e gráfico da probabilidade (b) da Temperatura Operativa.

O uso do valor médio das variáveis ambientais analisadas mostrou-se adequado. A distribuição dos valores de temperatura do ar e umidade (Fig. 4.1 e 4.2) são os que mais se aproximam de uma melhor distribuição normal. Para os demais gráficos (Fig. 4.3 a 4.5), apesar dos picos de frequência, não foi adotado nenhum procedimento adicional para a normalização destes valores.

O uso e análise das variáveis ambientais são importantes, pois elas que têm influência direta no conforto de um ambiente, assim como é a partir delas que intervenções devem ser estudadas para o ambiente construído.

#### **4.3 . Correlações entre as variáveis psico-fisiológicas**

Após a análise dos dados ambientais e fisiológicos, a amostra foi dividida em subgrupos, para verificar a influência de fatores fisiológicos e de adaptação nas variáveis psico-fisiológicas. Foram feitas correlações entre os dados obtidos pelo questionário que foi preenchido pelos usuários dos ambientes.

Além dos dados relativos ao conforto térmico e sua influência no comportamento dos usuários, também foi analisado brevemente o movimento do ar, o ruído, a iluminação e incidência solar (Apêndice A).

Para a análise das correlações dos dados obtidos por meio do questionário aplicado, foi dividida a sensação térmica em uma escala de 7 pontos (ASHRAE 55: 2004), que representam muito frio (-3), frio (-2), ligeiramente frio (-1), confortável (0), ligeiramente quente (+1), quente (+2) e muito quente (+3). Nas figuras 4.6 a 4.8 são apresentados os julgamentos dos usuários das salas de aula avaliadas da Escola de Minas (EM) e do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB1) em relação a esta escala de preferência subjetiva de conforto.



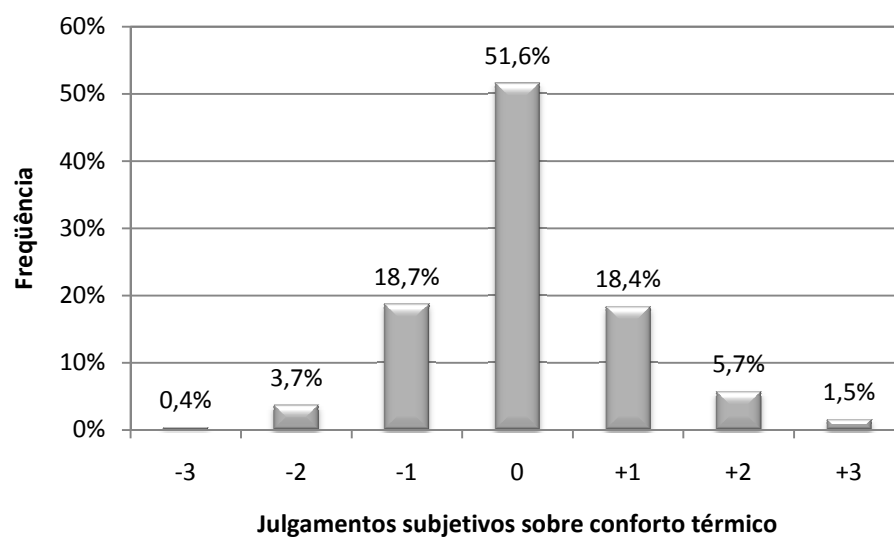


Figura 4.6 – Julgamentos subjetivos gerais sobre conforto térmico.

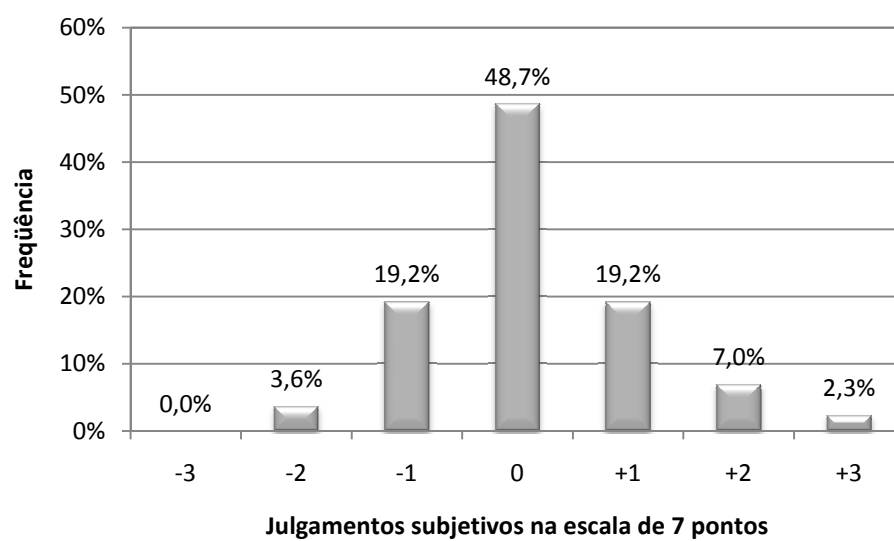


Figura 4.7 – Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico (EM).

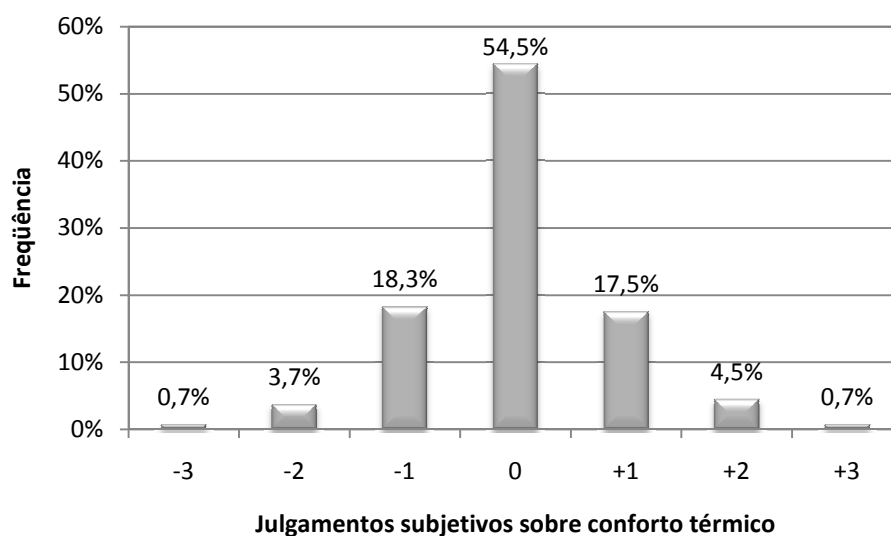


Figura 4.8 – Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico (ICESB1).

Nota-se que os ambientes analisados são considerados confortáveis pela metade dos ocupantes do ambiente. Os julgamentos, levando-se em conta cada prédio em separado (Escola de Minas e ICESB1), são também similares, com a maioria votando em confortável (0), depois em ligeiramente frio e ligeiramente quente (-1 e +1) e a minoria em frio ou quente (-2 e +2) e poucos em muito frio ou muito quente (-3 e +3).

Prosseguindo com os julgamentos subjetivos sobre conforto térmico, são apresentadas nas Figuras 4.9 a 4.14, ainda em relação à escala de 7 pontos, a aceitabilidade dos usuários quanto aos ambientes que freqüentam, o sexo e o tipo de vestimenta que estão vestindo no momento do preenchimento do questionário.

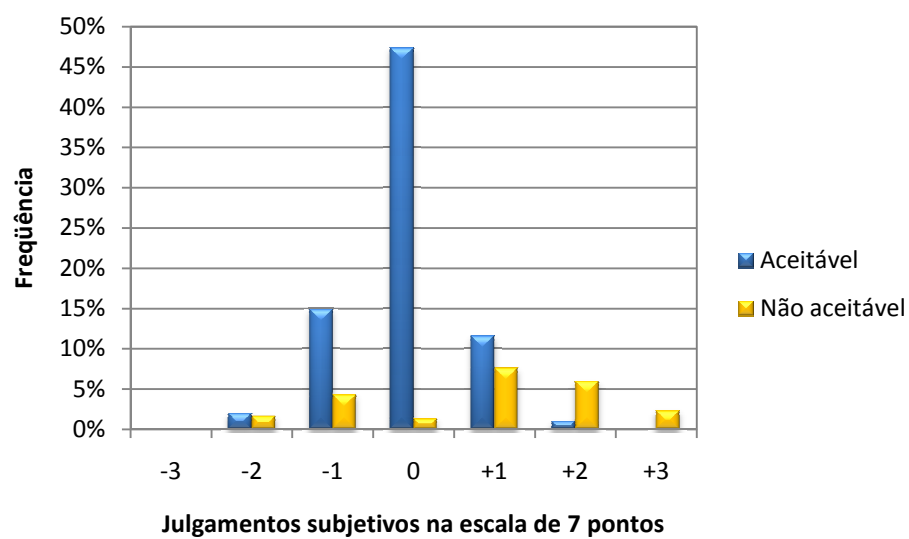


Figura 4.9 – Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico em termos de aceitabilidade das salas (E.M.).

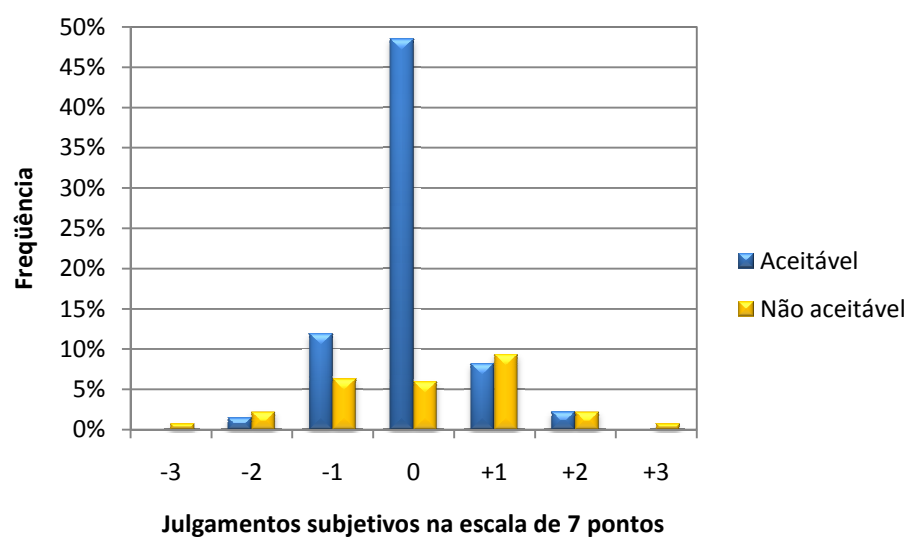


Figura 4.10 – Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico em termos de aceitabilidade das salas (ICEB1).

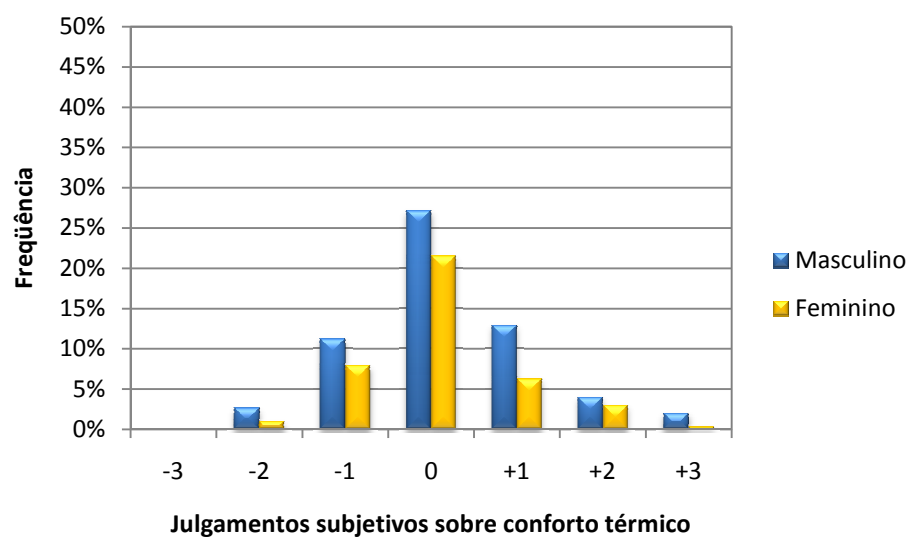


Figura 4.11– Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico de acordo com o sexo dos usuários (E.M.).

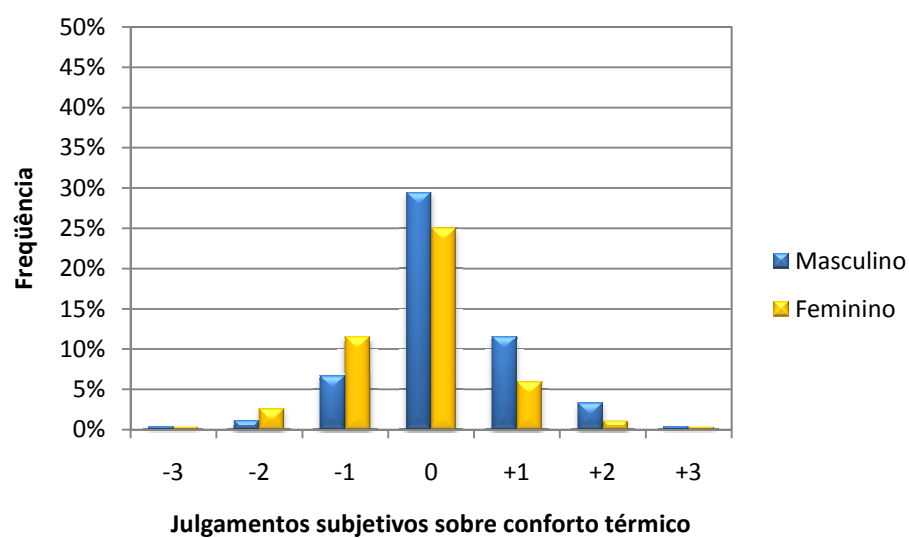


Figura 4.12– Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico de acordo com o sexo dos usuários (ICEB1).

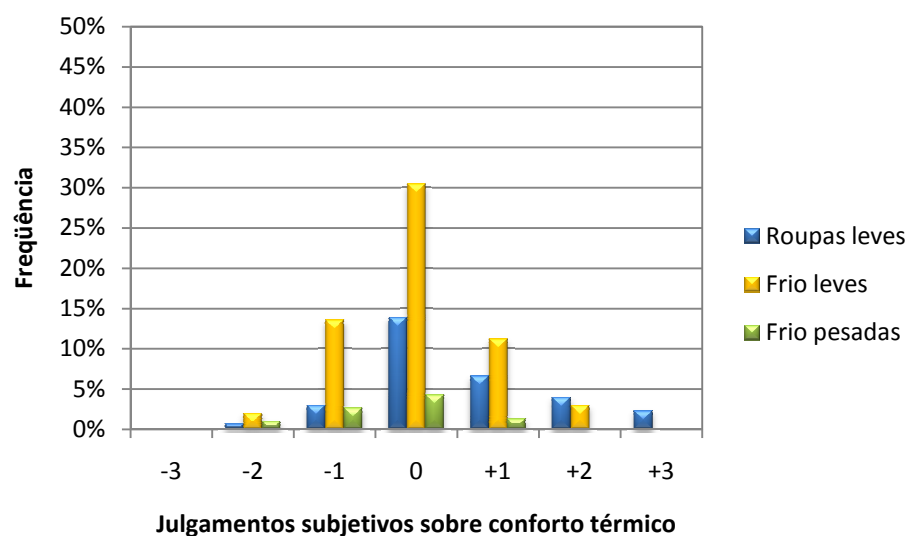


Figura 4.13– Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico de acordo com a vestimenta (E.M.).

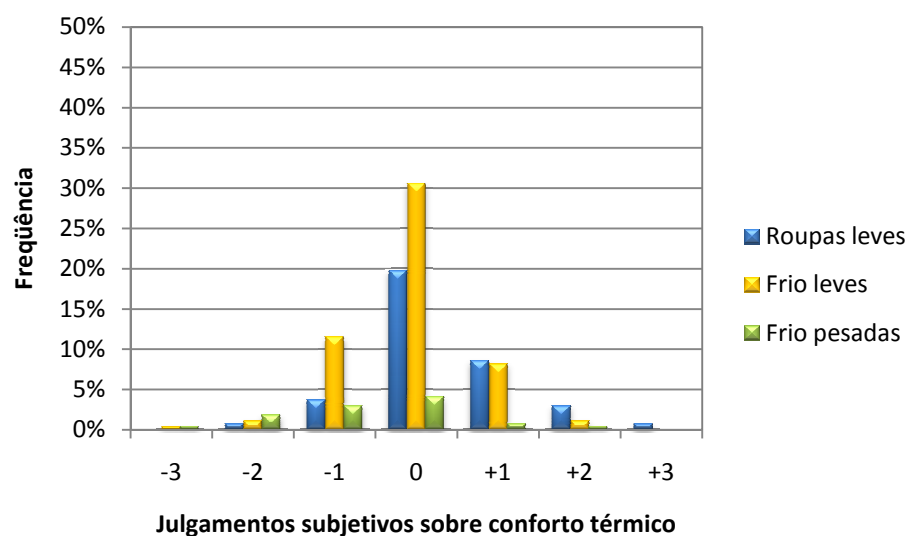


Figura 4.14– Julgamentos subjetivos sobre conforto térmico de acordo com a vestimenta (ICEB1).

Observando-se os dados mostrados, tem-se que os usuários das salas de aula são em sua maioria homens em ambos os prédios analisados (EM e ICEB1), os ambientes são considerados confortáveis termicamente e aceitáveis para se estar todos os dias naquele período. Em relação a vestimenta, a opção para a maioria dos usuários foi a do tipo frio

leve que se constitui de calça comprida, camisa de manga comprida ou camisa de manga curta com uma jaqueta leve.

De acordo com estas sensações de conforto térmico, foi questionado também aos alunos as sensações percebidas no momento da medição (Figuras 4.15 e 4.16).

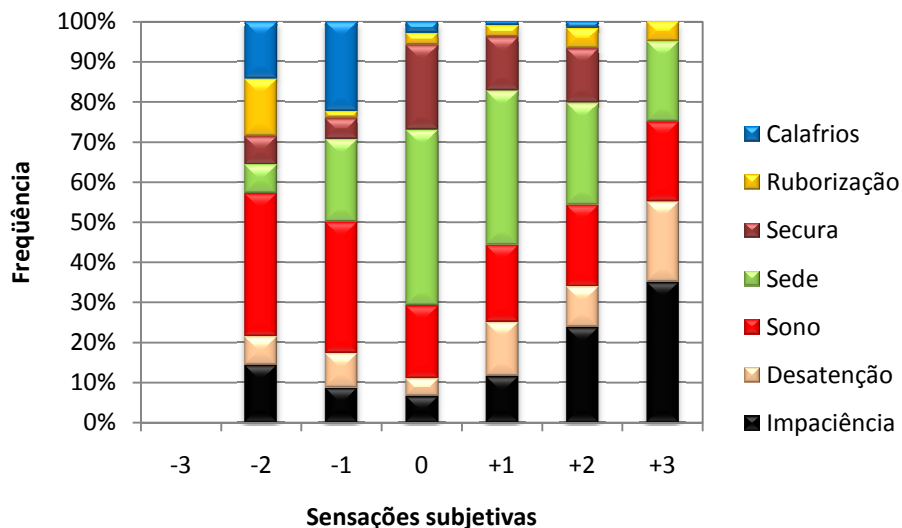


Figura 4.15– Sensações percebidas de acordo com os julgamentos subjetivos (E.M.).

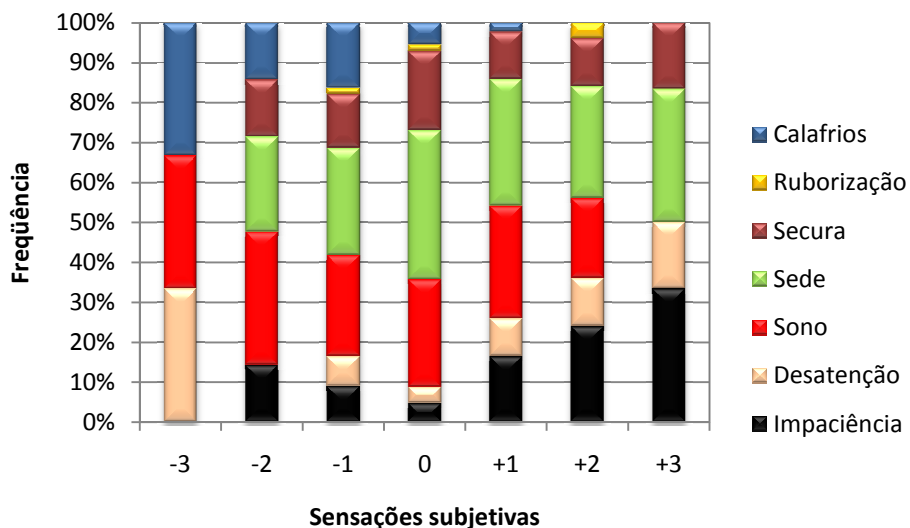


Figura 4.16– Sensações percebidas de acordo com os julgamentos subjetivos (ICEB1).

As principais sensações percebidas pelos usuários no momento das medições são sede, sono e secura. Quando o ambiente é considerado mais frio, há o aumento da presença de calafrios, e quanto o ambiente fica mais quente, aumenta-se a desatenção e a impaciência.

Continuando a análise, foi questionado sobre a circulação de ar nas salas de aula dos prédios avaliados (Figuras 4.17 e 4.18), ainda em função da escala subjetiva de 7 pontos que avalia o conforto ambiental.

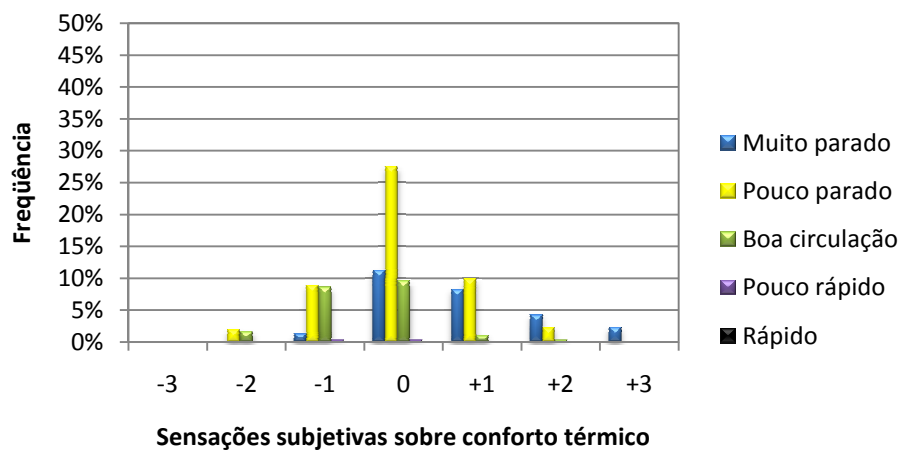


Figura 4.17– Movimento do ar percebido de acordo com as sensações térmicas subjetivas (E.M.).

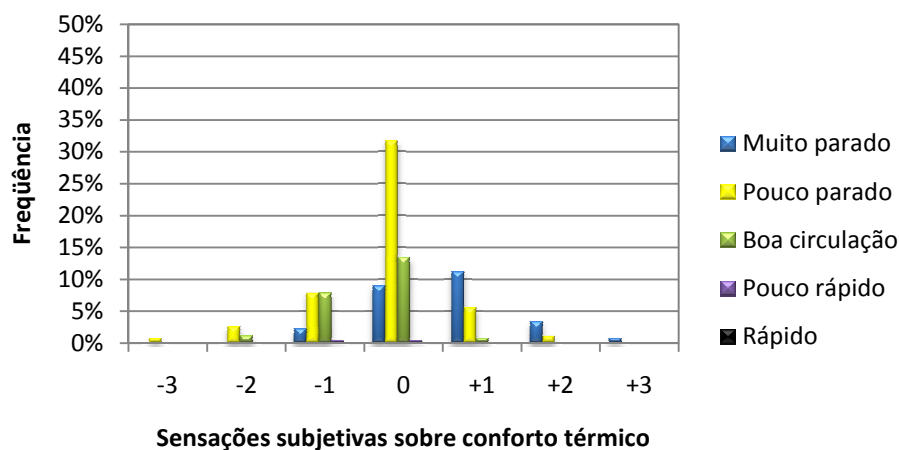


Figura 4.18– Movimento do ar percebido de acordo com as sensações térmicas subjetivas (ICEB1).

Quanto ao movimento do ar, observa-se que, de forma geral, ele é considerado um pouco parado, o que caracteriza um ambiente com ventilação natural baixa.

Avalia-se ainda a interferência do ruído e da iluminação no conforto das salas de aula. Sabe-se que o ruído é um dos fatores importantes na avaliação de um ambiente e que pode de alguma forma interferir na avaliação térmica do ambiente (Figuras 4.19 e 4.20).

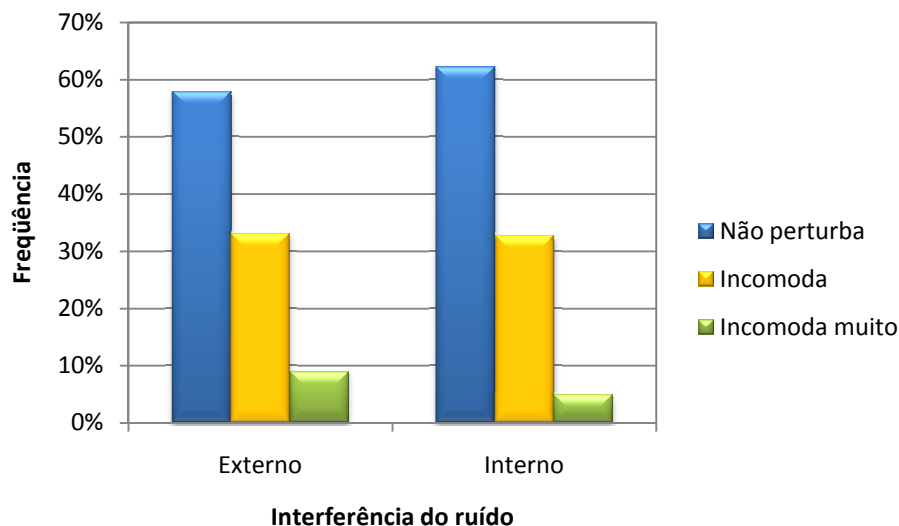


Figura 4.19– Percepção sobre os ruídos interno e externo à sala de aula (E.M.).

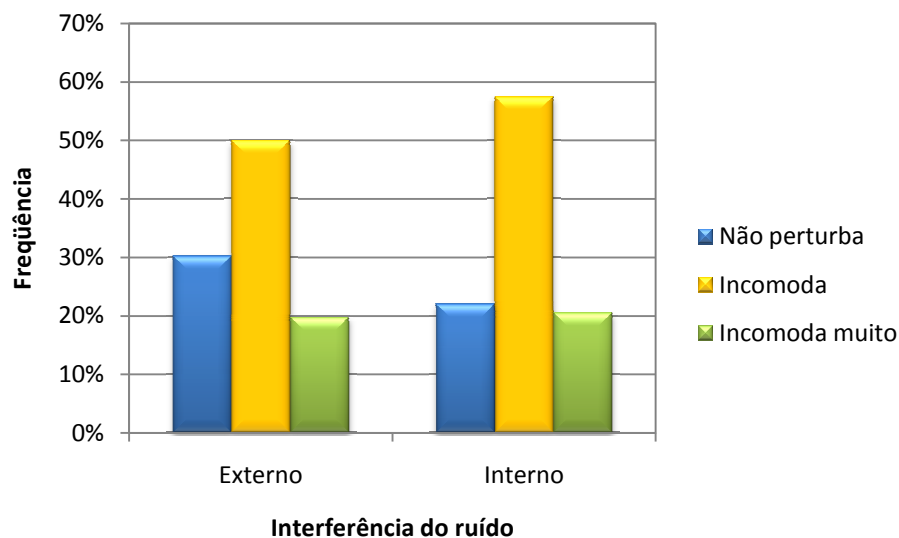


Figura 4.20– Percepção sobre os ruídos interno e externo à sala de aula (ICEB1).



Nesta avaliação, a diferença dos locais de medição é importante na análise dos dados. Os ruídos externo e interno na Escola de Minas não perturbam a maioria dos alunos no desenvolvimento de suas atividades, e a minoria acha que incomoda um pouco. Já no ICEB1, a maioria dos votos considera que os ruídos incomodam as aulas, seguido de “não perturba” e “incomoda muito” com pouca diferença entre eles.

É questionado também o tipo de iluminação que é utilizado no ambiente (artificial ou natural) e como os usuários a consideram, como ótima, razoável ou péssima (Figuras 4.21 e 4.22). Também foi avaliado se há ou não a incidência de luz solar no ambiente e se há o controle desta incidência para o conforto lumínico da sala de aula (Figuras 4.23 e 4.24).

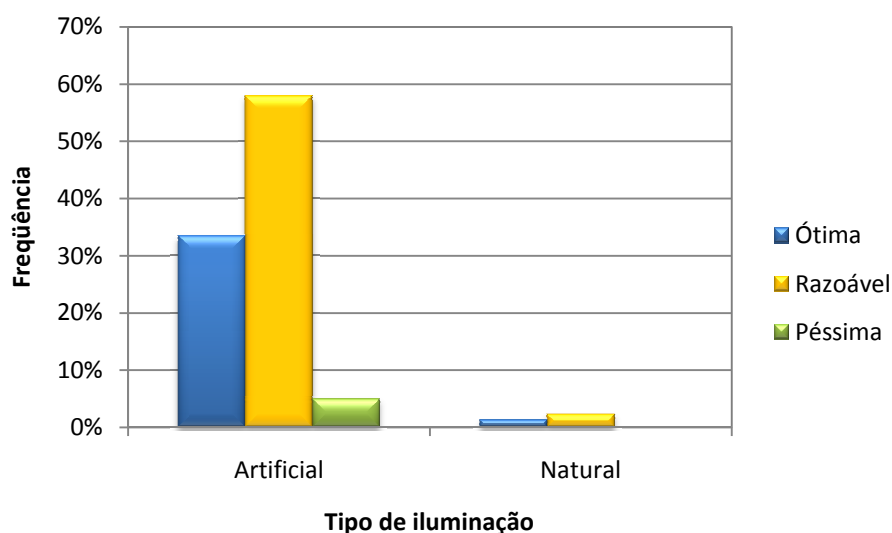


Figura 4.21– Percepção sobre a iluminação das salas de aula (E.M.).

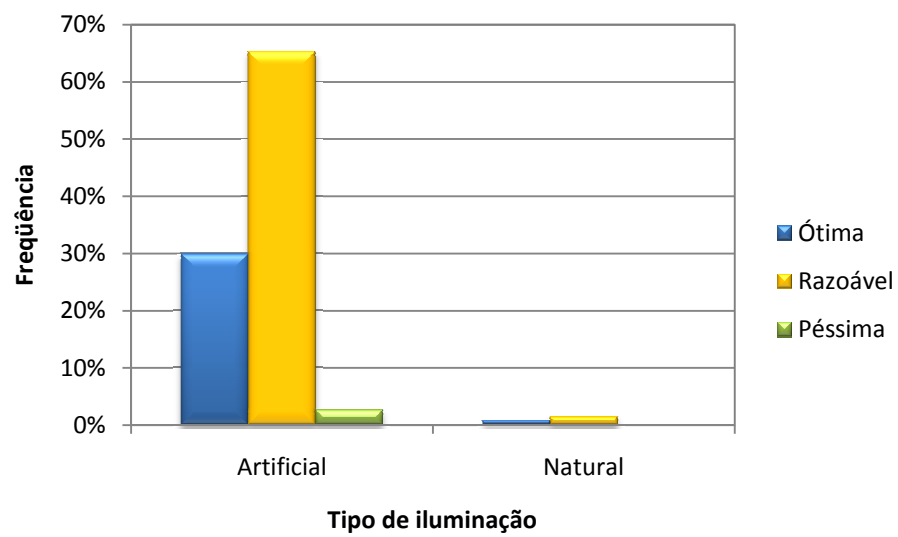


Figura 4.22– Percepção sobre a iluminação das salas de aula (ICEB1).

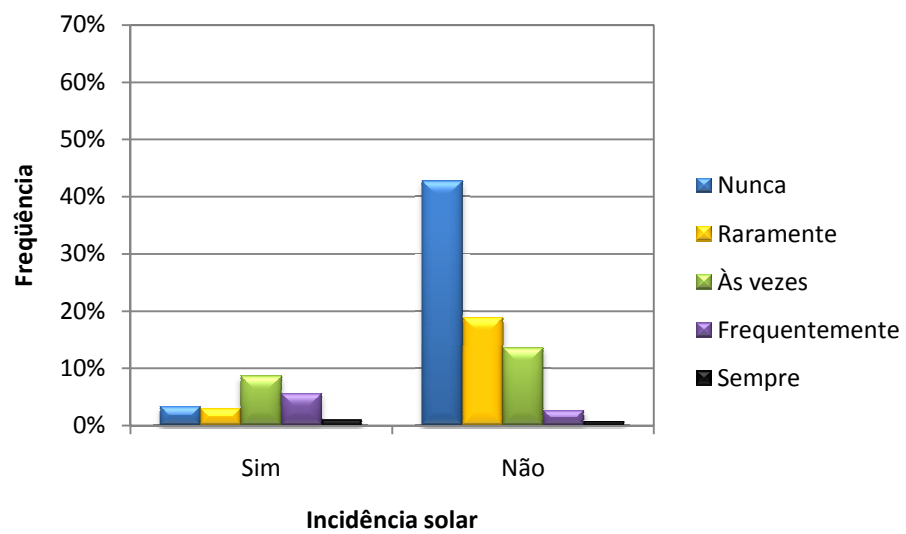


Figura 4.23– Incidência solar e necessidade de controle através de cortinas/persianas (E.M.).

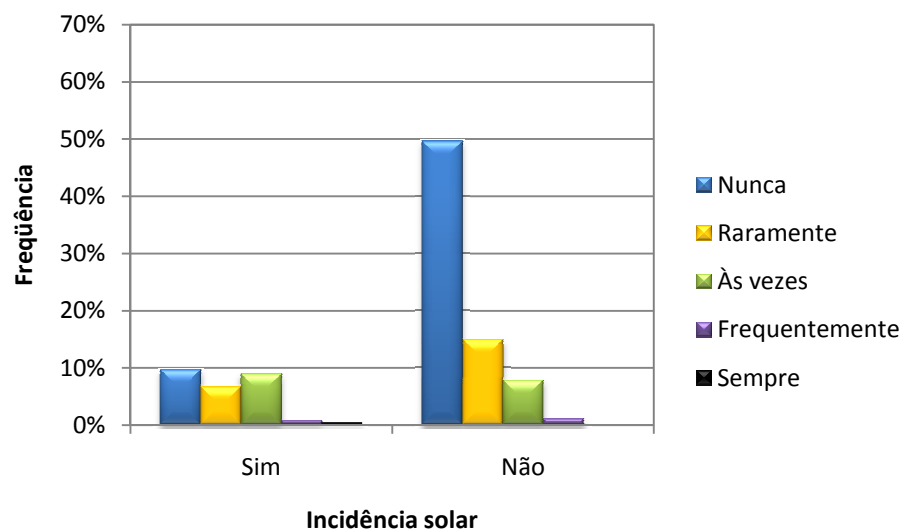


Figura 4.24– Incidência solar e necessidade de controle através de cortinas/persianas (ICEB1).

Quanto à avaliação da iluminação dos ambientes, em ambos os prédios utiliza-se luz artificial, e é considerada razoável por grande parte dos seus usuários. Já sobre a incidência solar, por meio da contagem dos votos, a maioria deles afirma que não há a incidência solar nas salas e que nunca tem necessidade de controle da mesma.

Para finalizar a análise dos dados obtidos, foi questionada a aceitabilidade do ambiente por parte dos usuários, e se as atividades de estudo realizadas naquele ambiente térmico eram desenvolvidas normalmente ou ficavam prejudicadas (Figuras 4.25 e 4.26).

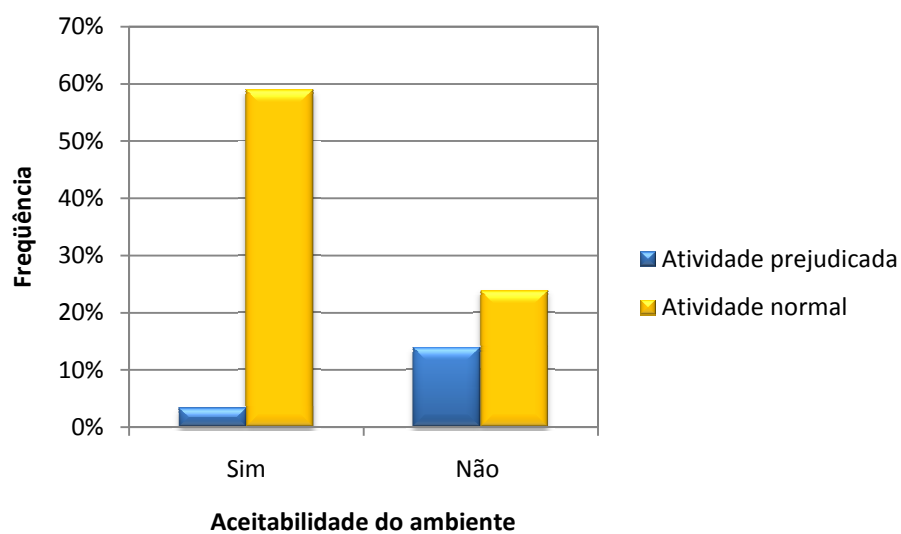


Figura 4.25– Aceitabilidade do ambiente e capacidade de estudo (E.M.).

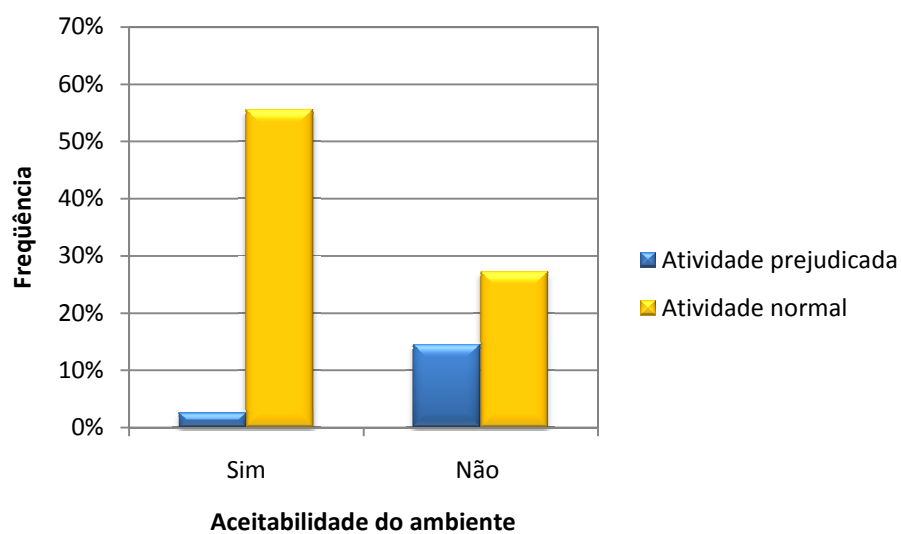


Figura 4.26– Aceitabilidade do ambiente e capacidade de estudo (ICEB1).

Pelos dados apresentados, há grande aceitabilidade do ambiente, e a sua atividade de estudo é realizada normalmente para a maioria dos entrevistados.

De acordo com todos os resultados apresentados, o ambiente mostra-se confortável, com aceitabilidade do ambiente pela maioria dos usuários (aproximadamente 75%) e o ambiente é aceitável onde os alunos executam suas funções normalmente.

#### **4.4 . Análise do cruzamento das variáveis ambientais e as psico-fisiológicas**

Após a tabulação e descrição estatística das variáveis ambientais e psico-fisiológicas, procedeu-se a análise de correlação entre elas. A análise foi feita baseando-se na Tabela 4.2 e na Tabela 4.4, que apresenta as frequências relativas às sensações de conforto térmico obtidas por meio dos questionários aplicados aos alunos nas salas de aula.

Para a análise, foi produzida uma matriz de correlação direta entre as variáveis, apresentada na Tabela 4.5. Foram considerados os dados obtidos das medições de outubro e novembro/2008, pois é a partir destes que se obteve a temperatura radiante e a operativa, já que na medição de junho não foi possível a obtenção da temperatura de globo.

Tabela 4.4 – Frequências relativas às sensações subjetivas de conforto térmico.

Sala - turno	Frequência de sensação térmica (%)							Aceitação (%)		Satisfação (%)		Atividade de estudo (%)	
	-3	-2	-1	0	1	2	3	Sim	Não	Sim	Não	Prej.	Normal
2 manhã	5,6	5,6	22,2	61,1	0,0	5,6	0,0	27,8	72,2	66,7	33,3	22,2	77,8
5 manhã	0,0	25,0	16,7	58,3	0,0	0,0	0,0	50,0	50,0	66,7	33,3	25,0	75,0
5 tarde	5,0	5,0	35,0	55,0	0,0	0,0	0,0	35,0	65,0	35,0	65,0	25,0	75,0
13 manhã	0,0	30,8	53,8	7,7	7,7	0,0	0,0	38,5	61,5	76,9	23,1	30,8	69,2
13 tarde	0,0	7,1	71,4	14,3	7,1	0,0	0,0	57,1	42,9	64,3	35,7	21,4	78,6
8 tarde	0,0	0,0	0,0	0,0	38,5	46,2	15,4	3,8	96,2	15,4	84,6	57,7	42,3
12 manhã	0,0	0,0	6,5	45,2	41,9	6,5	0,0	80,6	19,4	87,1	12,9	3,2	96,8
13 tarde	0,0	0,0	0,0	22,2	33,3	22,2	22,2	22,2	77,8	33,3	66,7	55,6	44,4
3 tarde	0,0	0,0	7,9	60,5	26,3	5,3	0,0	63,2	36,8	81,6	18,4	10,5	89,5
7 manhã	0,0	4,2	8,3	66,7	16,7	4,2	0,0	66,7	33,3	83,3	16,7	16,7	83,3
7 tarde	0,0	4,8	19,0	66,7	9,5	0,0	0,0	61,9	38,1	90,5	9,5	23,8	76,2
1 manhã	0,0	0,0	28,6	60,7	10,7	0,0	0,0	75,0	25,0	92,9	7,1	0,0	100,0
1 tarde	0,0	0,0	0,0	42,9	50,0	7,1	0,0	78,6	21,4	85,7	14,3	28,6	71,4
6 manhã	0,0	0,0	7,7	53,8	33,3	5,1	0,0	59,0	41,0	71,8	28,2	17,9	82,1
6 tarde	0,0	0,0	0,0	20,0	53,3	13,3	13,3	40,0	60,0	40,0	60,0	40,0	60,0
1 manhã	0,0	14,3	28,6	52,4	4,8	0,0	0,0	71,4	28,6	81,0	19,0	9,5	90,5
1 tarde	0,0	0,0	27,3	68,2	0,0	4,5	0,0	86,4	13,6	90,9	9,1	9,1	90,9
4 tarde	0,0	0,0	10,5	55,3	26,3	7,9	0,0	47,4	52,6	68,4	31,6	23,7	76,3
6 manhã	0,0	4,9	22,0	56,1	12,2	4,9	0,0	61,0	39,0	78,0	22,0	9,8	90,2
8 tarde	0,0	0,0	7,1	71,4	14,3	7,1	0,0	50,0	50,0	78,6	21,4	7,1	92,9
12 manhã	0,0	6,5	32,3	51,6	9,7	0,0	0,0	87,1	12,9	93,5	6,5	3,2	96,8
13 tarde	0,0	0,0	30,0	50,0	10,0	10,0	0,0	70,0	30,0	70,0	30,0	40,0	60,0
3 tarde	0,0	2,3	20,9	62,8	14,0	0,0	0,0	79,1	20,9	90,7	9,3	7,0	93,0
7 tarde	0,0	3,6	25,0	60,7	7,1	0,0	3,6	64,3	35,7	85,7	14,3	7,1	92,9

Tabela 4.5 – Matriz de correlação direta entre as variáveis ambientais e as variáveis psico-fisiológicas.

	$T_{ar}$ (°C)	$\Phi$ (%)	$T_G$ (°C)	$T_r$ (°C)	$T_o$ (°C)	F	LF	C	LQ	Q	MQ
$T_{ar}$ (°C)	<b>1,000</b>	-0,895	0,996	0,993	0,997	-0,433	-0,765	-0,781	0,728	0,768	0,772
$\Phi$ (%)	-0,895	<b>1,000</b>	-0,889	-0,884	-0,890	0,361	0,685	0,761	-0,660	-0,719	-0,780
$T_G$ (°C)	0,996	-0,889	<b>1,000</b>	0,999	1,000	-0,441	-0,782	-0,783	0,738	0,766	0,789
$T_r$ (°C)	0,993	-0,884	0,999	<b>1,000</b>	0,999	-0,443	-0,787	-0,782	0,741	0,764	0,793
$T_o$ (°C)	0,997	-0,890	1,000	0,999	<b>1,000</b>	-0,440	-0,779	-0,783	0,737	0,767	0,786
F	-0,433	0,361	-0,441	-0,443	-0,440	<b>1,000</b>	0,504	0,209	-0,490	-0,371	-0,240
LF	-0,765	0,685	-0,782	-0,787	-0,779	0,504	<b>1,000</b>	0,536	-0,862	-0,577	-0,525
C	-0,781	0,761	-0,783	-0,782	-0,783	0,209	0,536	<b>1,000</b>	-0,684	-0,852	-0,828
LQ	0,728	-0,660	0,738	0,741	0,737	-0,490	-0,862	-0,684	<b>1,000</b>	0,506	0,475
Q	0,768	-0,719	0,766	0,764	0,767	-0,371	-0,577	-0,852	0,506	<b>1,000</b>	0,759
MQ	0,772	-0,780	0,789	0,793	0,786	-0,240	-0,525	-0,828	0,475	0,759	<b>1,000</b>

$T_{ar}$ : temperatura do ar (°C),  $\Phi$ : umidade (%);  $T_G$ : temperatura de globo (°C),  $T_r$ : temperatura radiante (°C),  $T_o$ : temperatura operativa (°C); F: frio; LF: ligeiramente frio; C: confortável; LQ: ligeiramente quente; Q: quente; MQ: muito quente.

Observa-se que o percentual de votos na categoria C da escala de sensação térmica apresentou uma correlação negativa moderada com todas as variáveis ambientais, exceto com a umidade, que foi moderada positiva. Os graus MQ, Q e LQ mostraram uma correlação positiva moderada com as variáveis  $T_{ar}$  (temperatura do ar),  $T_G$  (temperatura de globo),  $T_r$  (temperatura radiante) e  $T_o$  (temperatura operativa). Os graus LF e F apresentaram uma correlação de fraca a moderada e negativa com estas variáveis. O grau MF não possui correlação porque não houve nenhum voto para essa categoria.

Os graus LF e F apresentaram correlações positivas, moderada e fraca, respectivamente, com a variável umidade, enquanto os graus MQ, Q e LQ, apresentaram uma correlação moderada negativa com a mesma.

Analisando-se as correlações entre as variáveis ambientais, nota-se uma correlação positiva muito forte entre a temperatura do ar ( $T_{ar}$ ), temperatura de globo ( $T_G$ ), temperatura radiante ( $T_r$ ) e temperatura operativa ( $T_o$ ). Tal correlação se explica pelo fato de que a obtenção dessas variáveis depende do valor de  $T_{ar}$ .

Na correlação com a umidade ( $\Phi$ ), a temperatura do ar, temperatura de globo, temperatura radiante e temperatura operativa mostram-se como forte negativa.

Dando continuidade à tabulação dos dados, foi efetuado o cruzamento entre as variáveis medidas e as variáveis psico-fisiológicas. Estas variáveis foram medidas em escalas subjetivas, segundo os campos 4, 5, 15 e 16 do questionário do Formulário 1 (Apêndice A) e foram analisadas considerando-se a sensação térmica, satisfação e adaptação ao ambiente.

#### 4.4.1 . Sensação térmica

Nas figuras 4.27 a 4.30 apresentam-se os cruzamentos da variável sensação térmica com as variáveis ambientais medidas.

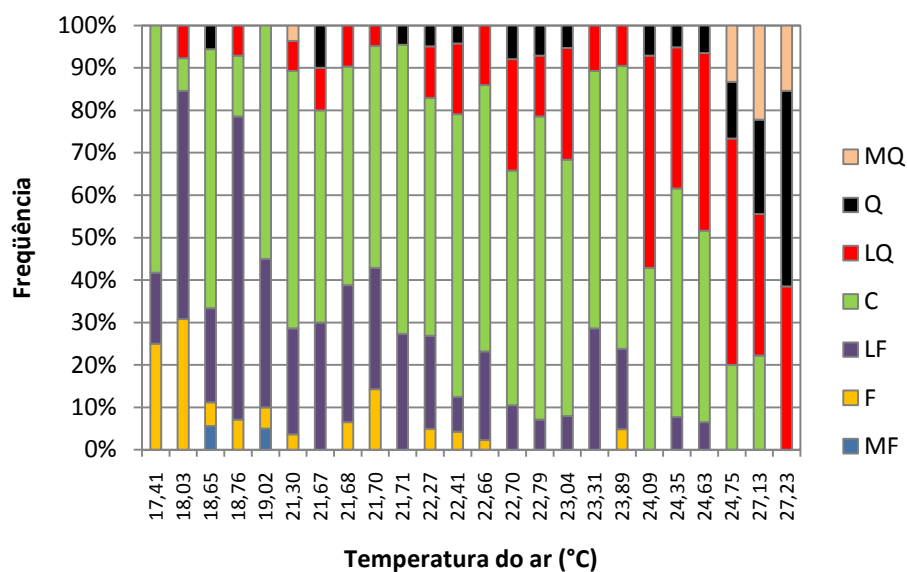


Figura 4.27 – Cruzamento da temperatura do ar com a sensação térmica.



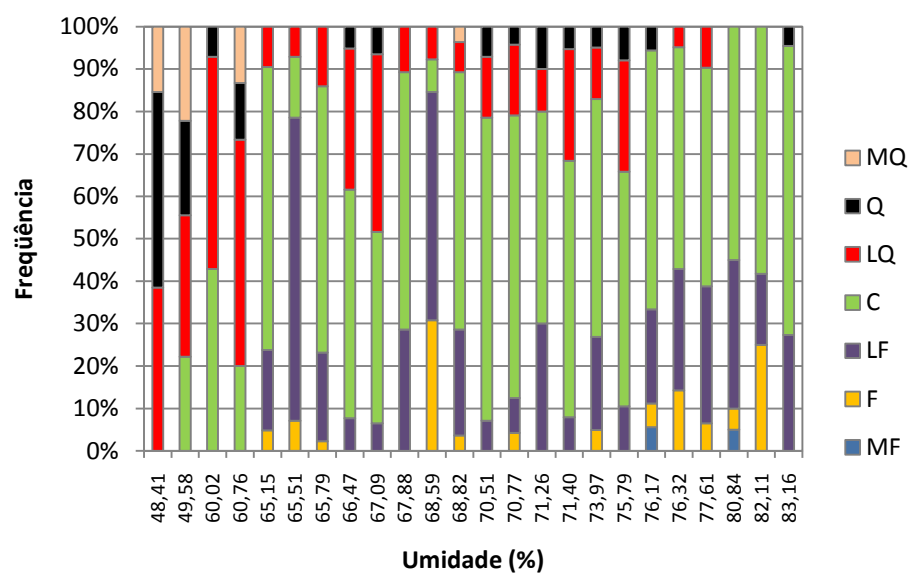


Figura 4.28 – Cruzamento da umidade com a sensação térmica.

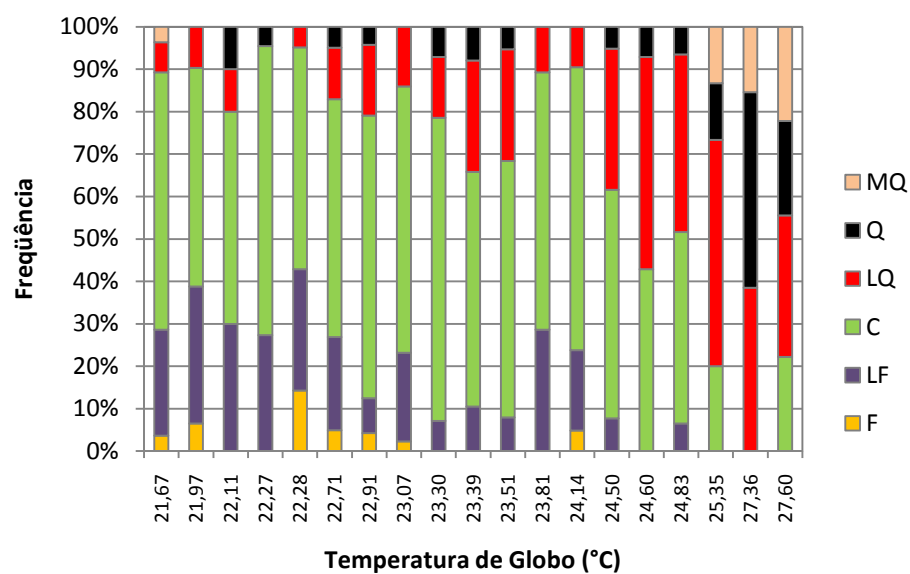


Figura 4.29 – Cruzamento da temperatura de globo com a sensação térmica.

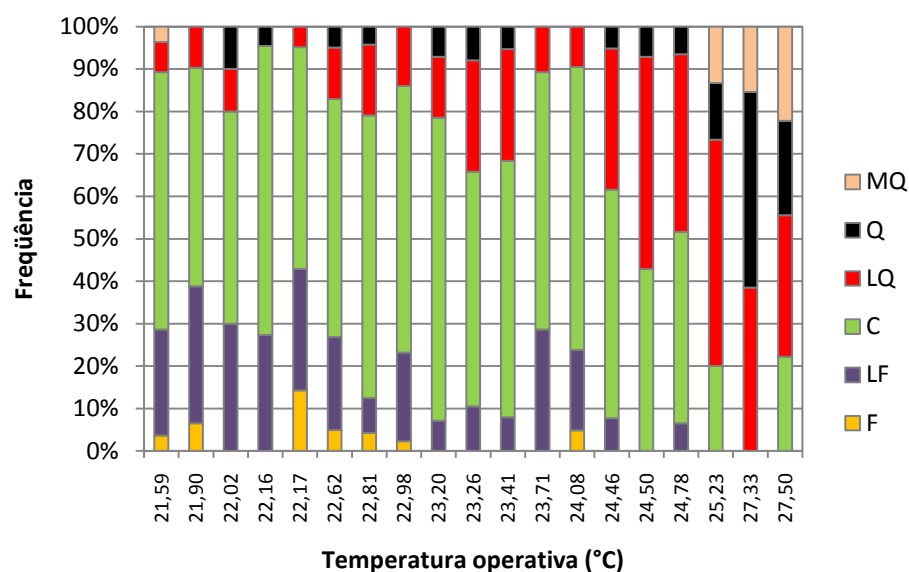


Figura 4.30 – Cruzamento da temperatura operativa com a sensação térmica.

A análise gráfica dos resultados do cruzamento das variáveis ambientais com a sensação térmica demonstrou que, à medida que a temperatura do ar e a temperatura de globo vão aumentando, há uma tendência dos percentuais dos graus de sensação térmica levemente quente (LQ), quente (Q) e muito quente(MQ) aumentarem e os percentuais dos graus levemente frio (LF), frio (F) e muito frio (MF) diminuírem. As mesmas tendências foram observadas em relação à temperatura operativa, assim como o grau de conforto (C) diminuindo com o aumento da temperatura.

Observa-se nos dados mostrados nas Figuras 4.29 e 4.30 que a sensação térmica muito frio (MF) não ocorre. Isso é explicado pelo fato de que durante as primeiras avaliações não foi medida a temperatura de globo (Tabela 4.2), período em que ocorreu temperaturas mais amenas.

Com relação à umidade, ela estava com valores mais baixos quando o ambiente estava considerado quente e mais alta em ambientes mais frios. Pode-se levar em consideração também o clima da região, que em dias frios é comum névoa e chuva.

#### 4.4.2 . Satisfação com o ambiente

Nas Figuras 4.31 a 4.33 apresenta-se o cruzamento desta variável com a temperatura do ar, umidade e temperatura operativa.

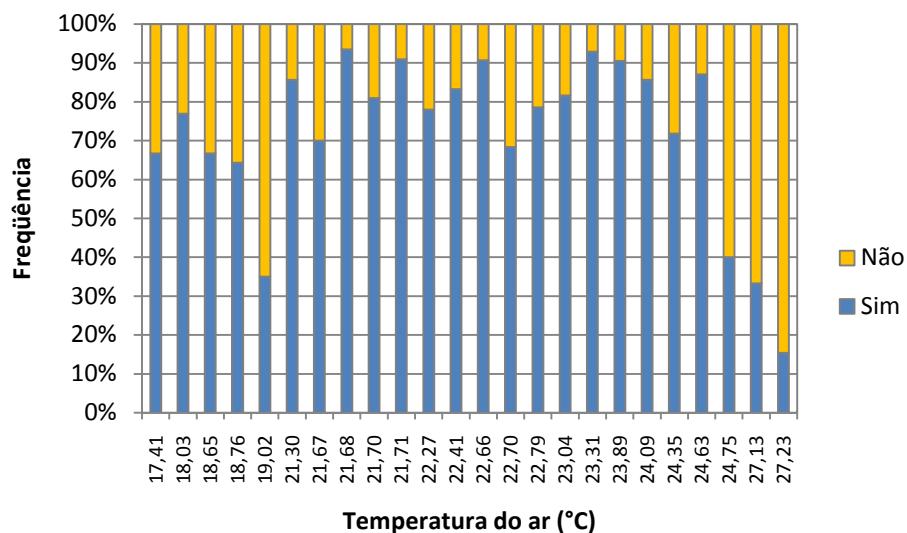


Figura 4.31 – Cruzamento da temperatura do ar com a variável de satisfação com o ambiente.

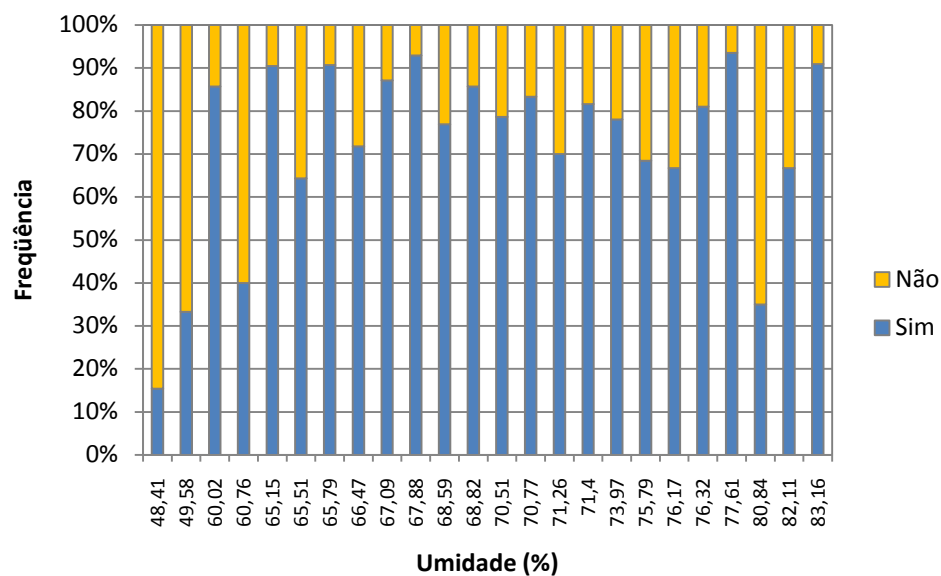


Figura 4.32 – Cruzamento da umidade com a variável de satisfação com o ambiente.

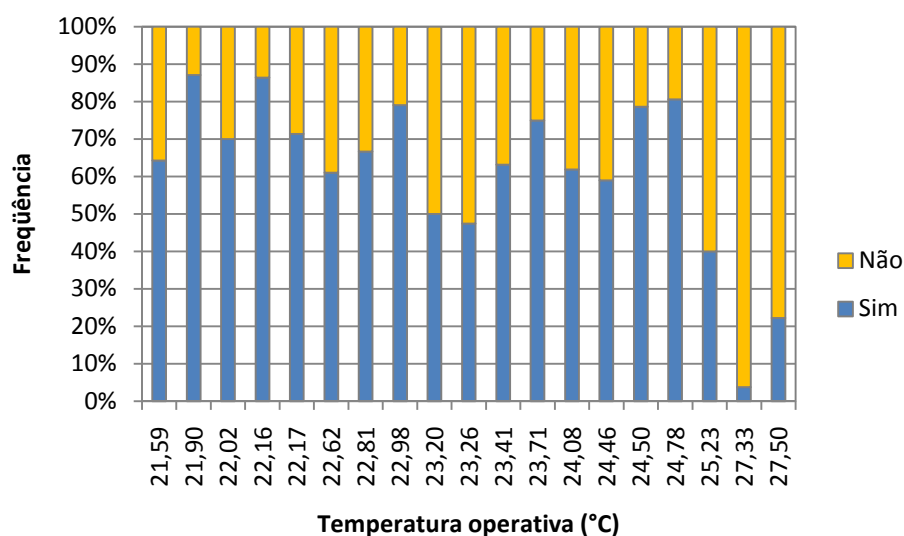


Figura 4.33 – Cruzamento da temperatura operativa com a variável de satisfação com o ambiente.

Pode-se observar que, de forma geral, o nível de satisfação permanece bom, com pequenas oscilações, durante quase toda a faixa de temperatura observada, caindo consideravelmente a partir de 24,8°C, tanto para  $T_{ar}$  quanto para  $T_o$ .

Há uma maior oscilação no grau de satisfação em relação à umidade do ambiente e nos valores extremos da faixa observada nota-se que umidade baixa gera insatisfação, e umidade mais alta, satisfação.

Esses resultados mostram o que foi discutido sobre os índices biofísicos de conforto: o nível de satisfação não é em função exclusiva das condições ambientais. As oscilações podem ter ocorrido em função do uso de mecanismos adaptativos (neste caso, por exemplo o tipo de vestimenta) por parte dos usuários, resultando em níveis de satisfação diferenciados.

#### 4.4.3 . Adaptação ao ambiente

A adaptação ao ambiente foi pesquisada por meio de duas escalas subjetivas: aceitação do ambiente e capacidade de estudar nele, correspondendo aos campos 5 e 16 do Formulário 1 (Apêndice A).

Nas Figuras 4.34 e 4.35 apresenta-se o cruzamento da aceitação do ambiente com a temperatura do ar e operativa.

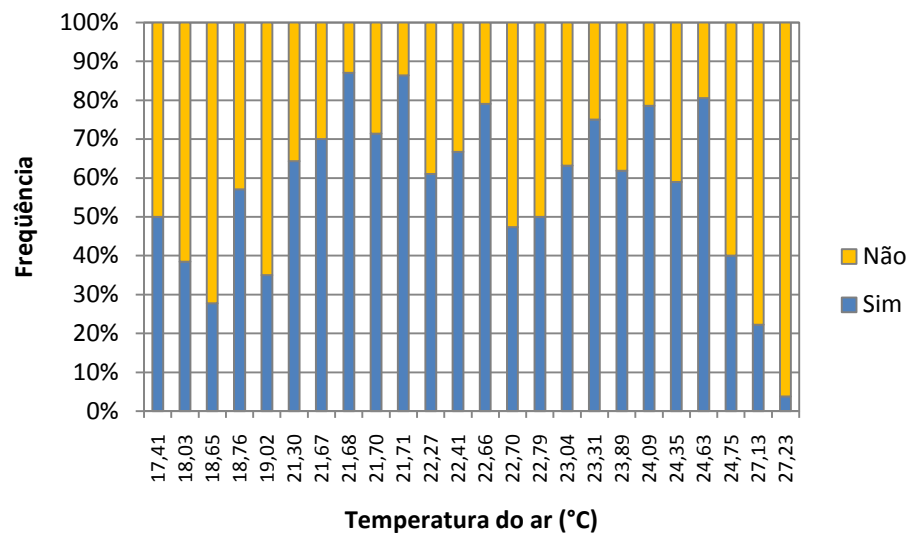


Figura 4.34 – Cruzamento da temperatura do ar com a aceitação do ambiente.

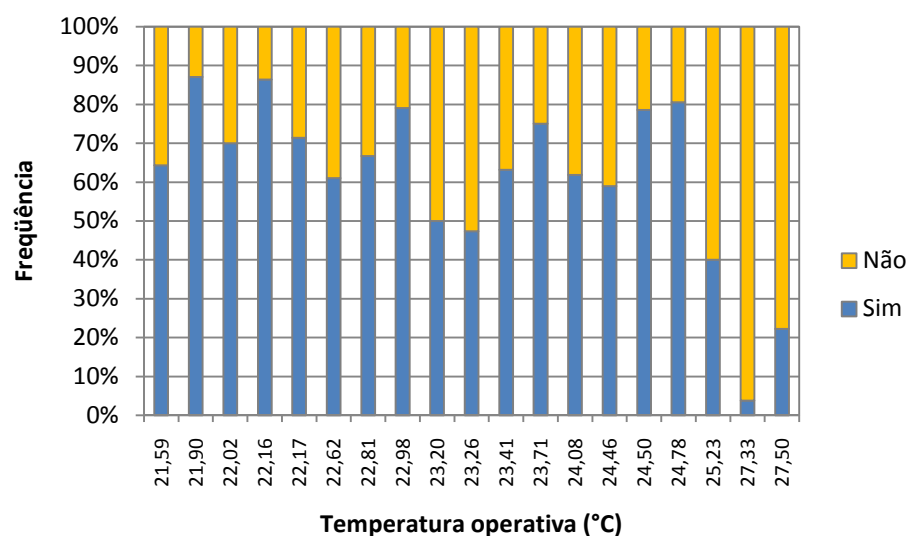


Figura 4.35 – Cruzamento da temperatura operativa com a aceitação do ambiente.

Observa-se que o nível de aceitação do ambiente, de forma geral, cai a partir de temperaturas mais altas, acontecendo o mesmo em temperaturas mais baixas. Entre estes extremos, há uma oscilação, mas o ambiente continua sendo aceitável para a maioria dos usuários.

Nas Figuras 4.36 a 4.38 apresentam-se o cruzamento dos julgamentos da capacidade de estudar no ambiente (considerada pelos alunos em normal ou prejudicada) com a temperatura do ar, umidade e temperatura operativa.

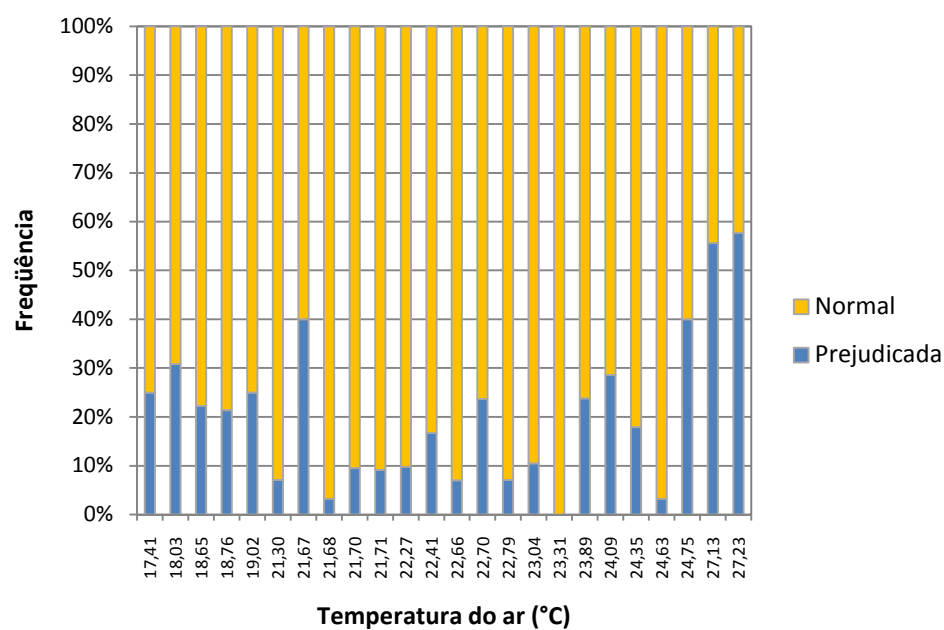


Figura 4.36 – Cruzamento da temperatura do ar com a capacidade de estudar no ambiente.

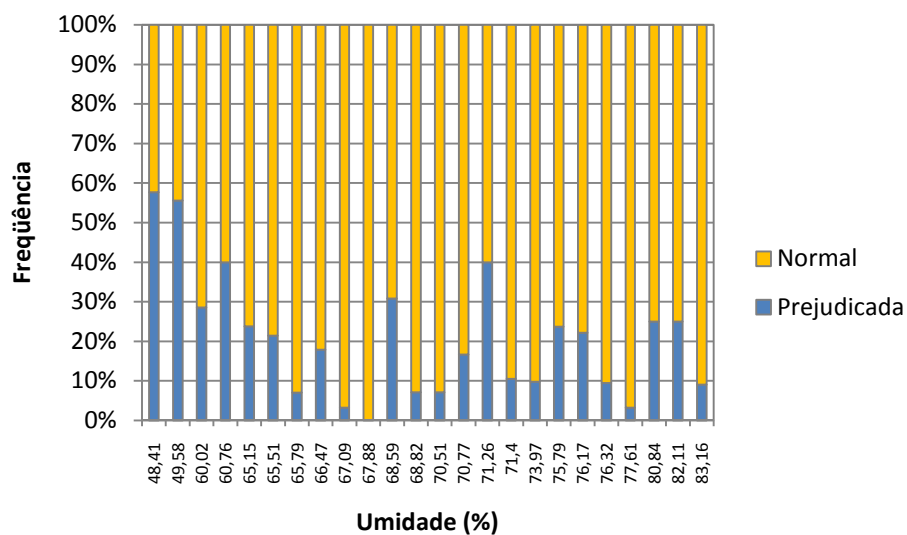


Figura 4.37 – Cruzamento da umidade com a capacidade de estudar no ambiente.

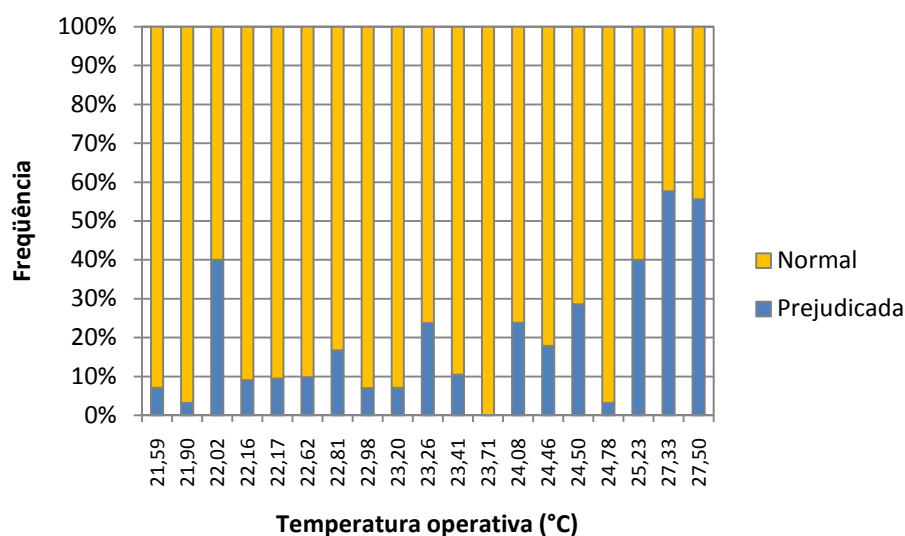


Figura 4.38 – Cruzamento da temperatura operativa com a capacidade de estudar no ambiente.

A partir destas análises, considera-se que, de forma geral, o conforto do ambiente não prejudica a capacidade de estudar dos usuários das salas de aula. Nota-se que essa atividade fica mais prejudicada quando a temperatura aumenta e quando a umidade está a níveis mais baixos.

#### 4.5 . Definição dos limites de conforto térmico

Após a formatação dos dados levantados em campo, procedeu-se a determinação dos limites de conforto térmico para a população em estudo, a partir das proporções de votos levantados para cada grau de sensação térmica.

Inicialmente, tratou-se todos os valores da temperatura do ar ( $T_{ar}$ ), mostrando-se a frequência absoluta dos dados obtidos dos votos das sensações subjetivas de conforto térmico muito frio (-3 ou MF), frio (-2 ou F), ligeiramente frio (-1 ou LF), confortável (0 ou C), ligeiramente quente (+1 ou LQ), quente (+2 ou Q) e muito quente (+3 ou MQ) a partir do questionário aplicado aos usuários (Tabela 4.6).



Tabela 4.6 – Frequência absoluta da resposta para o grau de satisfação segundo a variação da temperatura do ar ( $T_{ar}$ ).

	<b>Sensação térmica - frequência absoluta</b>							
<b><math>T_{ar}</math> (°C)</b>	<b>-3 (MF)</b>	<b>-2 (F)</b>	<b>-1 (LF)</b>	<b>0 (C)</b>	<b>+1 (LQ)</b>	<b>+2 (Q)</b>	<b>+3 (MQ)</b>	<b>Total</b>
17,41	0	3	2	7	0	0	0	12
18,03	0	4	7	1	1	0	0	13
18,65	1	1	4	11	0	1	0	18
18,76	0	1	10	2	1	0	0	14
19,02	1	1	7	11	0	0	0	20
21,30	0	1	7	17	2	0	1	28
21,67	0	0	3	5	1	1	0	10
21,68	0	2	10	16	3	0	0	31
21,70	0	3	6	11	1	0	0	21
21,71	0	0	6	15	0	1	0	22
22,27	0	2	9	23	5	2	0	41
22,41	0	1	2	16	4	1	0	24
22,66	0	1	9	27	6	0	0	43
22,70	0	0	4	21	10	3	0	38
22,79	0	0	1	10	2	1	0	14
23,04	0	0	3	23	10	2	0	38
23,31	0	0	8	17	3	0	0	28
23,89	0	1	4	14	2	0	0	21
24,09	0	0	0	6	7	1	0	14
24,35	0	0	3	21	13	2	0	39
24,63	0	0	2	14	13	2	0	31
24,75	0	0	0	3	8	2	2	15
27,13	0	0	0	2	3	2	2	9
27,23	0	0	0	0	10	12	4	26
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>21</b>	<b>107</b>	<b>293</b>	<b>105</b>	<b>33</b>	<b>9</b>	<b>570</b>

Observa-se que quando um estímulo térmico é aplicado a vários seres humanos, com o mesmo nível de intensidade, a resposta varia de um indivíduo para o outro. Então, os estímulos diferentes podem ser comparados em termos da magnitude das respostas que produzem em vários indivíduos (ARAÚJO, 2001; GONÇALVES, 2000).

Na Tabela 4.7 apresenta-se as frequências relativas e absolutas das correlações entre as sensações de conforto térmico nas categorias presença de desconforto por calor, ausência de desconforto por frio, ausência de desconforto por calor e desconforto por frio, em relação à temperatura do ar ( $T_{ar}$ ).

Tabela 4.7 – Frequências relativas e absolutas das correlações em relação à temperatura do ar.

Tar (°C)	Frequência absoluta (n° de votos)				Frequência relativa (%)			
	Com calor	Ausência de frio	Ausência de calor	Com frio	Com calor	Ausência de frio	Ausência de calor	Com frio
	MQ+Q+LQ	MQ+Q+LQ+C	MF+F+LF+C	MF+F+LF	MQ+Q+LQ	MQ+Q+LQ+C	MF+F+LF+C	MF+F+LF
17,41	0	7	12	5	0,00	58,33	100,00	41,67
18,03	1	2	12	11	7,69	15,38	92,31	84,62
18,65	1	12	17	6	5,56	66,67	94,44	33,33
18,76	1	3	13	11	7,14	21,43	92,86	78,57
19,02	0	11	20	9	0,00	55,00	100,00	45,00
21,30	3	20	25	8	10,71	71,43	89,29	28,57
21,67	2	7	8	3	20,00	70,00	80,00	30,00
21,68	3	19	28	12	9,68	61,29	90,32	38,71
21,70	1	12	20	9	4,76	57,14	95,24	42,86
21,71	1	16	21	6	4,55	72,73	95,45	27,27
22,27	7	30	34	11	17,07	73,17	82,93	26,83
22,41	5	21	19	3	20,83	87,50	79,17	12,50
22,66	6	33	37	10	13,95	76,74	86,05	23,26
22,70	13	34	25	4	34,21	89,47	65,79	10,53
22,79	3	13	11	1	21,43	92,86	78,57	7,14
23,04	12	35	26	3	31,58	92,11	68,42	7,89
23,31	3	20	25	8	10,71	71,43	89,29	28,57
23,89	2	16	19	5	9,52	76,19	90,48	23,81
24,09	8	14	6	0	57,14	100,00	42,86	0,00
24,35	15	36	24	3	38,46	92,31	61,54	7,69
24,63	15	29	16	2	48,39	93,55	51,61	6,45
24,75	12	15	3	0	80,00	100,00	20,00	0,00
27,13	7	9	2	0	77,78	100,00	22,22	0,00
27,23	26	26	0	0	100,00	100,00	0,00	0,00

Aplicando a análise probit obtém-se as probabilidades ou percentuais estimados para as categorias desconfortável devido ao calor (MQ+Q+LQ) e desconfortável devido ao frio (MQ+Q+LQ+C), em função das variáveis ambientais medidas. Na Tabela 4.8 mostra-se a frequência dessas ocorrências do grau de satisfação em função da temperatura do ar.

Tabela 4.8 – Distribuição das frequências observadas e estimadas dos probites por categoria do grau de satisfação.

T <sub>ar</sub> (°C)	MQ+Q+LQ+C					MQ+Q+LQ				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
17,41	7	58,33	5,21	4,02	16,20	0	0,00	0,00	1,44	0,10
18,03	2	15,38	3,98	4,28	23,60	1	7,69	3,57	1,78	0,10
18,65	12	66,67	5,43	4,55	32,60	1	5,56	3,41	2,12	0,20
18,76	3	21,43	4,21	4,60	34,30	1	7,14	3,53	2,18	0,30
19,02	11	55,00	5,13	4,71	38,50	0	0,00	0,00	2,32	0,40
21,30	20	71,43	5,57	5,69	75,40	3	10,71	3,76	3,57	7,70
21,67	7	70,00	5,52	5,85	80,10	2	20,00	4,16	3,78	11,00
21,68	19	61,29	5,28	5,85	80,20	3	9,68	3,70	3,78	11,20
21,70	12	57,14	5,18	5,86	80,50	1	4,76	3,34	3,79	11,40
21,71	16	72,73	5,60	5,86	80,60	1	4,55	3,32	3,80	11,50
22,27	30	73,17	5,62	6,10	86,50	7	17,07	4,05	4,11	18,50
22,41	21	87,50	6,15	6,16	87,80	5	20,83	4,19	4,18	20,70
22,66	33	76,74	5,73	6,27	89,80	6	13,95	3,92	4,32	24,80
22,70	34	89,47	6,25	6,29	90,10	13	34,21	4,59	4,34	25,50
22,79	13	92,86	6,47	6,33	90,80	3	21,43	4,21	4,39	27,10
23,04	35	92,11	6,41	6,43	92,40	12	31,58	4,52	4,53	31,80
23,31	20	71,43	5,50	6,55	93,90	3	10,71	5,75	4,68	37,30
23,89	16	76,19	5,71	6,80	96,40	2	9,52	3,69	4,99	49,70
24,09	14	100,00	8,72	6,88	97,00	8	57,14	5,18	5,10	54,10
24,35	36	92,31	6,43	7,00	97,70	15	38,46	4,71	5,25	59,70
24,63	29	93,55	6,52	7,12	98,20	15	48,39	4,96	5,40	65,50
24,75	15	100,00	8,72	7,17	98,40	12	80,00	5,84	5,47	67,90
27,13	9	100,00	8,72	8,19	99,90	7	77,78	5,77	6,77	96,20
27,23	26	100,00	8,72	8,23	99,90	26	100,00	8,72	6,83	96,60

Nas colunas A e B são apresentadas as frequências absolutas e relativas respectivamente. As percentagens da coluna B são convertidas em probites e mostradas

na coluna C. Para a obtenção dos probites, utiliza-se como referência a Tabela de Probites indicada por Fisher e Yates (1971, Tabela IX, p.72-74). As linhas de regressão são traçadas entre estes probites e os valores da temperatura do ar correspondentes (Figura 4.39 e 4.40).

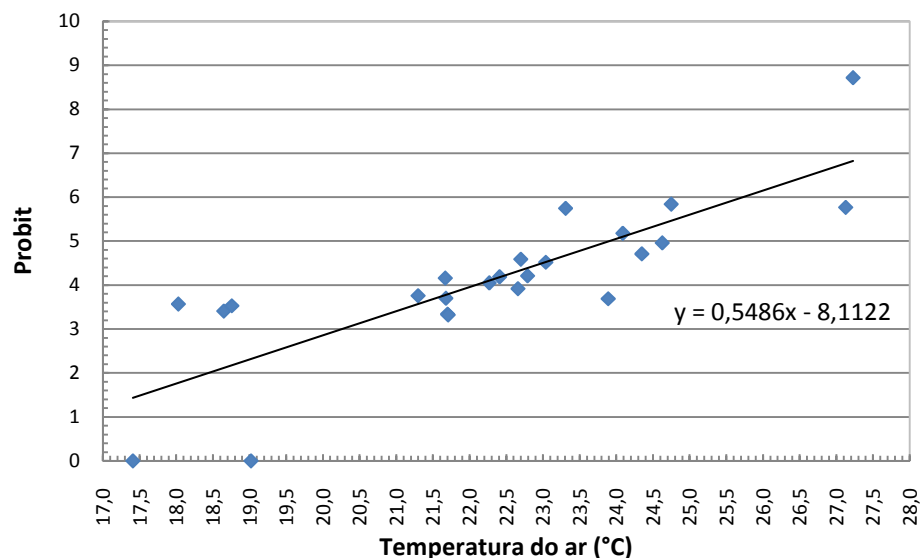


Figura 4.39 – Comportamento dos probites observados e estimados relativos aos graus de satisfação MQ+Q+LQ em função da temperatura do ar.

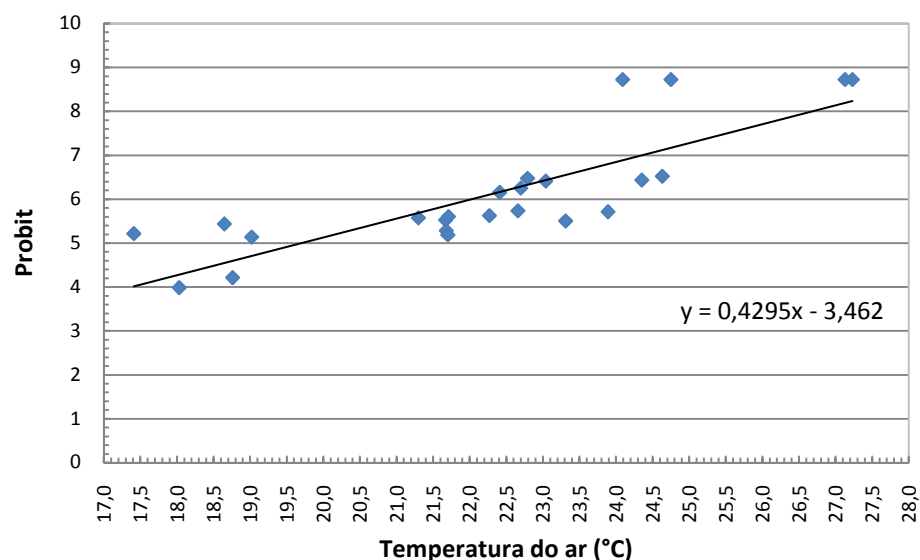


Figura 4.40 – Comportamento dos probites observados e estimados relativos aos graus de satisfação MQ+Q+LQ+C em função da temperatura do ar.

Os probites calculados a partir das retas de regressão encontram-se nas colunas D e E, estes probites são convertidos novamente em percentagens utilizando-se as Tabela de Probites indicadas por Fisher e Yates (1971, Tabela IX, p.72-74). As diferenças entre as percentagens reais e as obtidas das curvas senóides suavizadas em função da regressão probit podem ser vistas nas colunas B e E, para cada temperatura do ar medido.

Em seguida, as curvas senóides são traçadas (Figura 4.41) entre as percentagens estimadas (coluna E) e os valores correspondentes de temperatura do ar, relativas às referidas combinações de graus de satisfação.

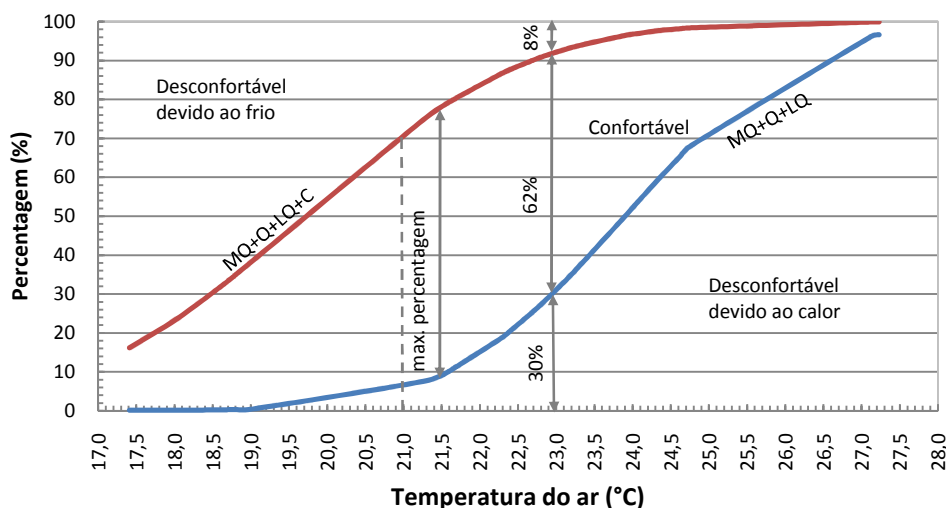


Figura 4.41 – Comportamento das curvas das percentagens estimadas relativas às combinações dos graus de conforto térmico em função da temperatura do ar.

Por meio das curvas mostradas na Figura 4.41 pode-se fazer algumas considerações em relação ao grau de satisfação do usuário. Uma linha traçada em algum valor de temperatura, como 23°C, por exemplo, intercepta estas curvas formando três segmentos de reta. O comprimento total da linha representa 100% dos votos do grau de satisfação, mas cada segmento tem um significado diferente: o segmento mais baixo representa a percentagem de escolha relativa ao desconfortável devido ao calor (30%). O segmento central representa a percentagem confortável (62%) e o outro segmento representa a percentagem relativa ao desconforto devido ao frio (8%).

A partir destas considerações pode-se concluir que a área entre as curvas representa a percentagem dos votos relativos ao grau de satisfação confortável, ocorrendo em aproximadamente 70% sua percentagem máxima de votos.

Se as percentagens da coluna E da combinação MQ+Q+LQ+C na Tabela 4.8 forem subtraídas das percentagens da combinação MQ+Q+LQ, o resultado representa a percentagem relativa ao grau de satisfação confortável para cada valor de temperatura do ar ( $T_{ar}$ ). Assim, a percentagem relativa ao grau de satisfação desconfortável devido ao calor e desconfortável devido ao frio também pode ser obtida.

As percentagens das frequências estimadas relativas aos graus de satisfação desconfortável devido ao calor, confortável e desconfortável devido ao frio são apresentadas na Tabela 4.9 e são representadas pelas suas respectivas curvas na Figura 4.42.

Tabela 4.9 – Distribuição das frequências estimadas segundo a variação da temperatura do ar.

<b>T<sub>ar</sub> (°C)</b>	<b>Desconfortável devido ao calor</b>	<b>Confortável</b>	<b>Desconfortável devido ao frio</b>
17,41	0,1	16,1	83,8
18,03	0,1	23,5	76,4
18,65	0,2	32,4	67,4
18,76	0,3	34,0	65,7
19,02	0,4	38,1	61,5
21,3	7,7	67,7	24,6
21,67	11,0	69,1	19,9
21,68	11,2	69,0	19,8
21,7	11,4	69,1	19,5
21,71	11,5	69,1	19,4
22,27	18,5	68,0	13,5
22,41	20,7	67,1	12,2
22,66	24,8	65,0	10,2
22,7	25,5	64,6	9,9
22,79	27,1	63,7	9,2
23,04	31,8	60,6	7,6
23,31	37,3	56,6	6,1
23,89	49,7	46,7	3,6
24,09	54,1	42,9	3,0
24,35	59,7	38,0	2,3
24,63	65,5	32,7	1,8
24,75	67,9	30,5	1,6
27,13	96,2	3,7	0,1
27,23	96,6	3,3	0,1

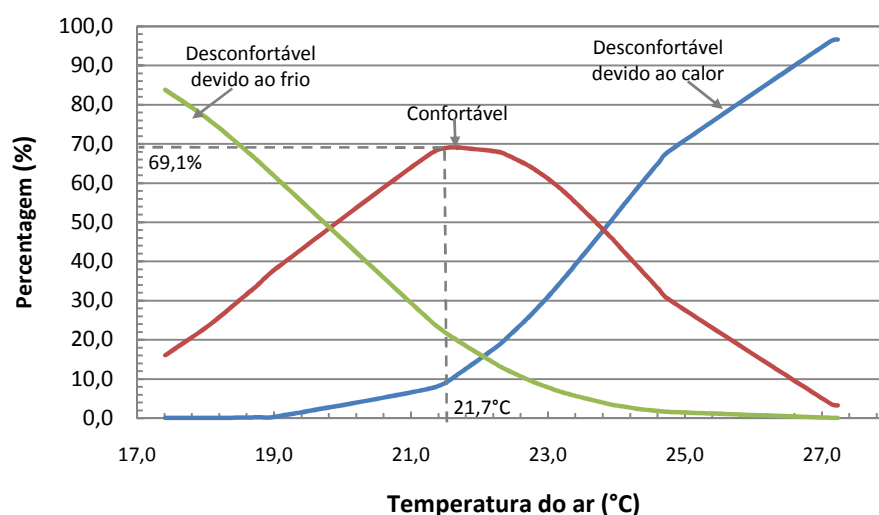


Figura 4.42 – Frequências estimadas por regressão probit em função da temperatura do ar.

Verifica-se que o máximo da categoria confortável corresponde a uma temperatura do ar de 21,7°C e o máximo estimado de pessoas confortáveis é de 69,1% (satisfeitos) contra uma percentagem de insatisfeitos de 30,9%. Subtraindo-se ainda de 100 os percentuais da coluna confortável na Tabela 4.9, tem-se a curva de percentagem estimada de pessoas insatisfeitas (Figura 4.43).

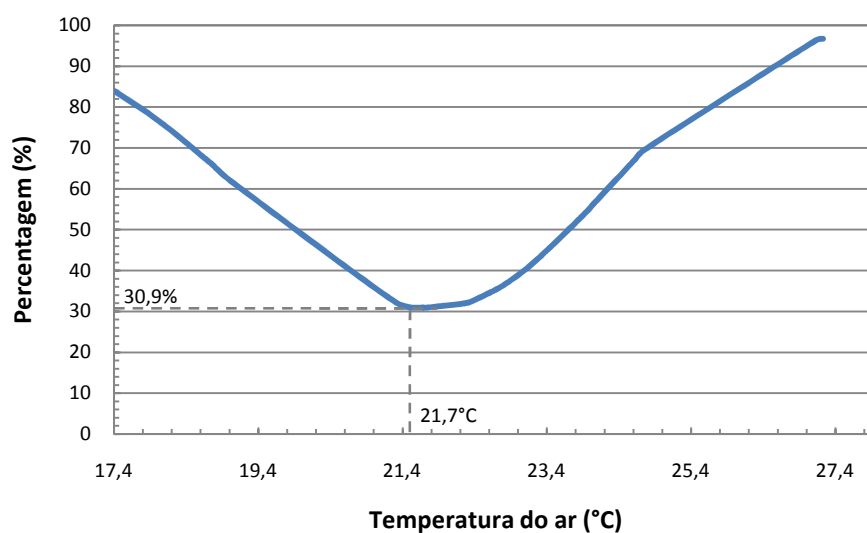


Figura 4.43 – Percentagem de pessoas insatisfeitas estimada por regressão probit em função da temperatura do ar.



A partir desta análise de percentagens de pessoas satisfeitas e insatisfeitas, traça-se uma linha horizontal com nível de frequência de 70% (satisfeitos) e 30% (insatisfeitos), aproximadamente, com as curvas traçadas na Figura 4.41, nas interseções encontram-se os valores de  $T_{ar}$  na mudança do grau de satisfação. O valor desta mudança de desconfortável devido ao frio para confortável (70%) é de aproximadamente 21°C, e o valor da mudança de confortável para desconfortável devido ao calor (30%) é aproximadamente 23°C. Estes dois valores representam os parâmetros de conforto térmico para a variável temperatura do ar.

Em seguida, o mesmo tipo de análise foi feito na definição dos parâmetros de conforto para outras variáveis, e as curvas representativas são vistas nas Figuras 4.44 e 4.45.

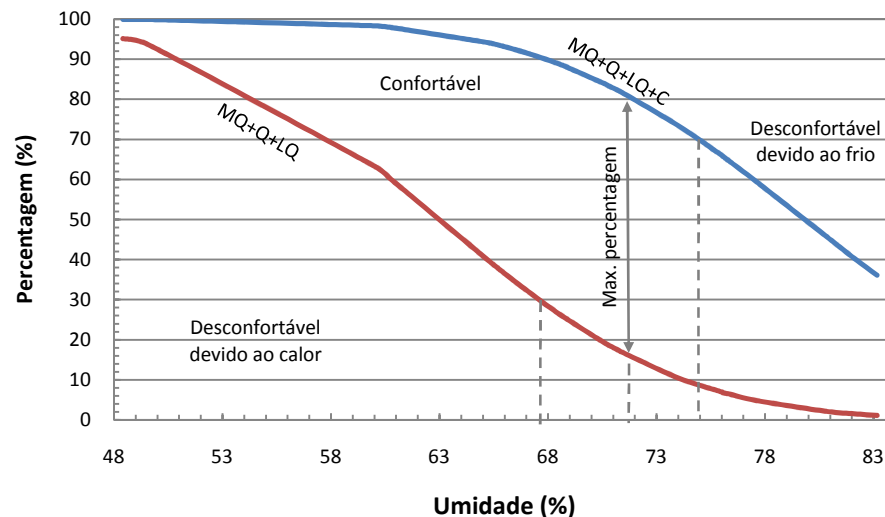


Figura 4.44 - Comportamento das curvas das percentagens estimadas relativas às combinações dos graus de conforto térmico em função da umidade do ar.

Na interseção da linha horizontal com as frequências de 70% e 30% com as curvas traçadas encontram-se os valores aproximados de umidade na mudança do grau de satisfação para os satisfeitos e insatisfeitos, respectivamente. O valor de mudança da umidade de desconfortável devido ao frio para confortável e de confortável para desconfortável devido ao calor é de aproximadamente 75% e 68% respectivamente.

Pode-se notar também que a percentagem máxima de votos para o grau de satisfação confortável ocorre por volta de 72% de umidade.

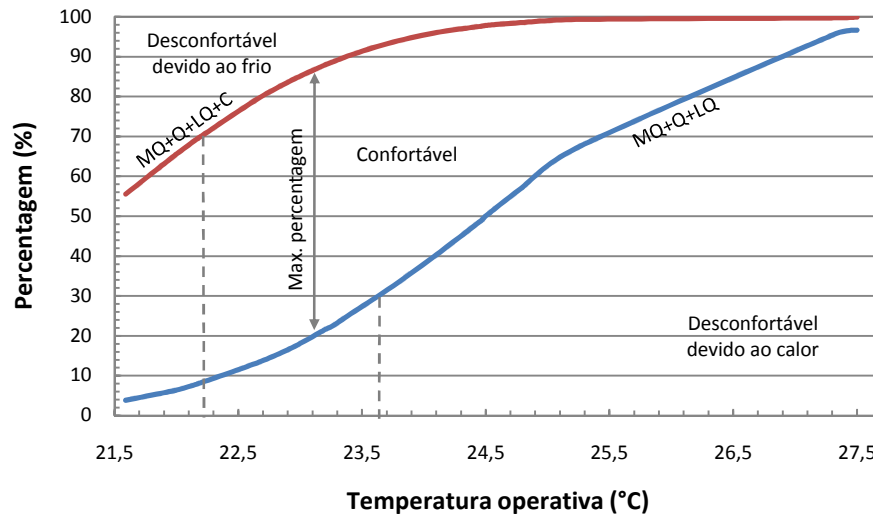


Figura 4.45 - Comportamento das curvas das percentagens estimadas relativas às combinações dos graus de conforto térmico em função da temperatura operativa.

Em relação à temperatura operativa, a percentagem máxima de votos para o grau confortável ocorre no valor de 22,8°C, Figura 4.55. Entretanto, por esta variável estar presente somente em 19 dos 24 ensaios de campo totais (Tabela 4.2), suas curvas possuem a singularidade de começarem em temperaturas mais altas que as demais, já que a época considerada para os dados utilizados era mais quente. Para o grau de satisfação de 70%, a temperatura de transição entre desconfortável devido ao frio e confortável é de 22,3°C. Para a mudança de confortável para desconfortável devido ao calor é de aproximadamente 23,7°C.

Continuando a linha de análise dos dados, apresenta-se o resultado das correlações MF+F+LF e MF+F+LF+C para as variáveis ambientais consideradas: temperatura do ar (Figura 4.46), umidade (Figura 4.47) e temperatura operativa (Figura 4.48).

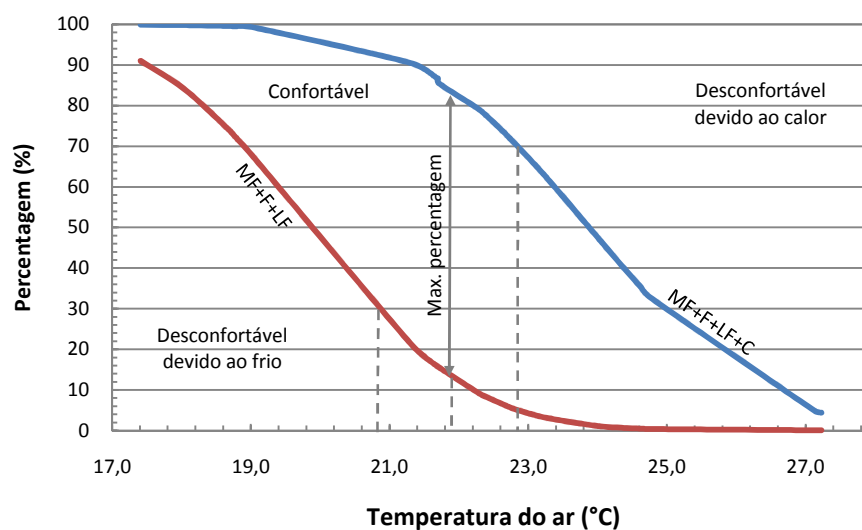


Figura 4.46 – Comportamento das curvas das percentagens estimadas relativas às combinações MF+F+LF e MF+F+LF+C dos graus de conforto térmico em função da temperatura do ar.

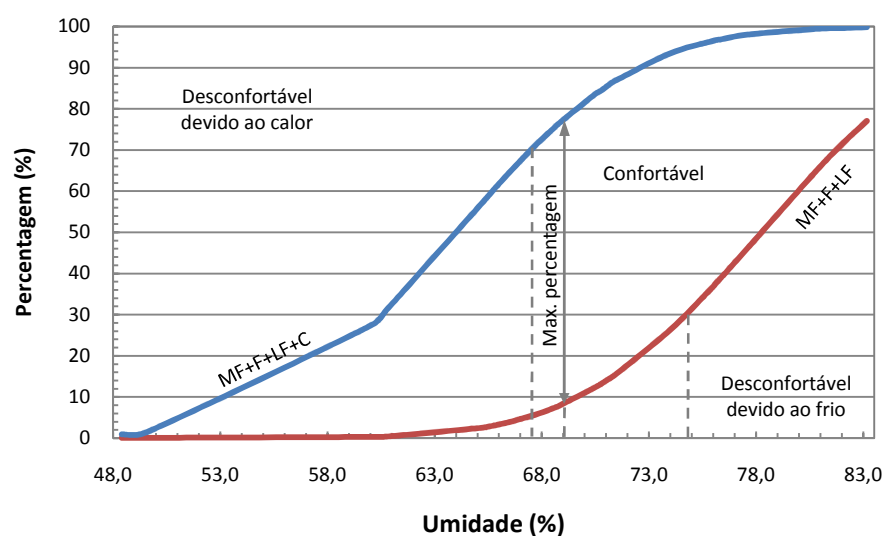


Figura 4.47 – Comportamento das curvas das percentagens estimadas relativas às combinações MF+F+LF e MF+F+LF+C dos graus de conforto térmico em função da umidade do ar.

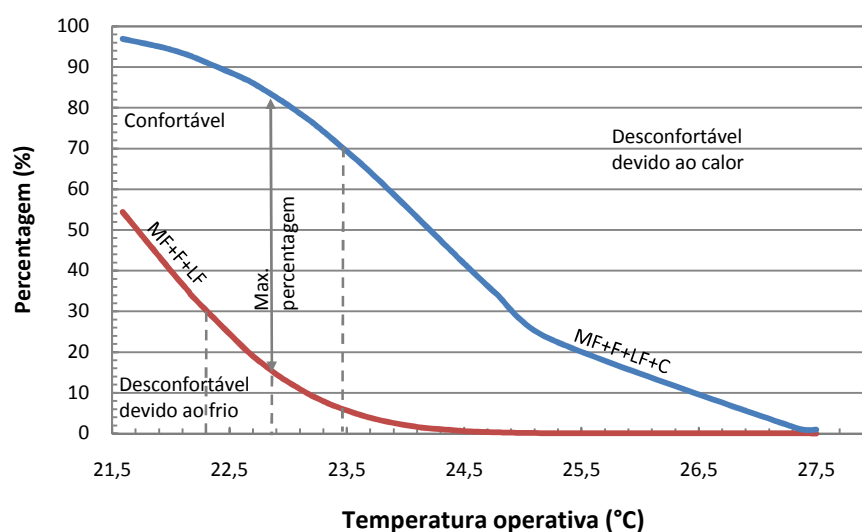


Figura 4.48 – Comportamento das curvas das percentagens estimadas relativas às combinações MF+F+LF e MF+F+LF+C dos graus de conforto térmico em função da temperatura operativa.

Os valores percebidos das análises das correlações MF+F+LF e MF+F+LF+C (Figura 4.46 a 4.48) aproximam-se daqueles obtidos quando considerando as combinações MQ+Q+LQ e MQ+Q+LQ+C (Figuras 4.41, 4.44 e 4.45) e são apresentados na Tabela 4.10. Os parâmetros de conforto representam os valores das variáveis ambientais na mudança de desconfortável devido ao frio para confortável e de desconfortável devido ao calor para confortável, representando o percentual de pessoas insatisfeitas e satisfeitas. O máximo percentual equivale ao valor da variável quando ocorre o maior número de usuários confortáveis com as condições do ambiente.

Tabela 4.10 – Intervalo de conforto térmico para as variáveis ambientais estudadas.

Variáveis ambientais	MQ+Q+LQ e MQ+Q+LQ+C		MF+F+LF e MF+F+LF+C	
	Intervalo	Máx. % C	Intervalo	Máx. % C
Temperatura do ar ( $T_{ar}$ )	21° a 23° C	21,4°C	20,9° a 22,9°C	21,9°C
Umidade ( $\Phi$ )	68% a 75%	72%	67,5% a 75%	69%
Temperatura operativa	22,3° a 23,7°C	22,8°C	22,3° a 23,5°C	22,9°C

Finalmente, para melhor visualização e utilização prática dos parâmetros de conforto térmico, optou-se apresentá-los num diagrama psicrométrico apresentado na Figura 4.49. Para tal, considerou-se a carta psicrométrica de Ouro Preto (Figura B.7 do Apêndice B) e os valores de umidade e temperatura do ar sendo a média das combinações quente e frio (Tabela 4.10).

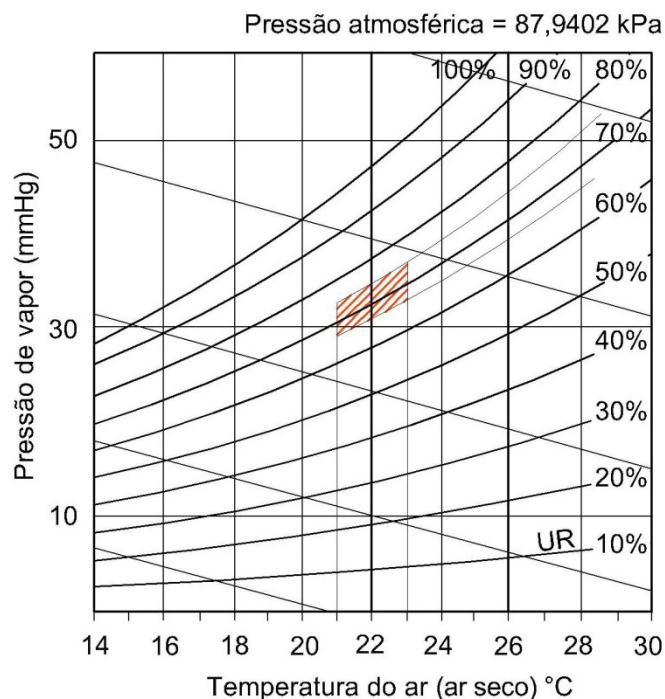


Figura 4.49 – Diagrama psicrométrico com os parâmetros de conforto térmico determinados.

Na análise dos dados verifica-se que os índices são válidos, em princípio, para as condições experimentais sob as quais foram determinadas.

#### 4.6 . Comparação dos resultados com os índices de conforto estudados

Os limites de conforto térmico obtidos nesta pesquisa foram comparados com os índices e zonas de conforto estudados no Capítulo 2.2. Destes, foi descartado o Índice de Temperatura de Globo de Bulbo Úmido, uma vez que ele não se aplica na avaliação de

períodos curtos de exposição ou na avaliação do *stress* térmico próximo da zona de conforto.

#### **4.6.1 . Diagrama bioclimático de Olgyay**

Olgyay (1963), baseando-se em informações fisiológicas, construiu a carta bioclimática determinando a zona de conforto em termos de temperatura de bulbo seco e umidade relativa. Além disso, indica as medidas corretivas necessárias, como movimento do ar, calor radiante, esfriamento evaporativo, entre outros, quando as condições exteriores de temperatura e umidade relativa encontram-se fora da zona proposta. Trata-se de um instrumento utilizado fundamentalmente para avaliar as condições climáticas de um determinado lugar frente às exigências de conforto térmico do usuário (ARAÚJO, 2001).

Na Figura 4.50 mostra-se a comparação dos limites de conforto para a população em estudo, obtidos neste trabalho, com os limites propostos por Olgyay (1963).

Pode-se observar tendo como base os limites de conforto das variáveis temperatura do ar (compreendida entre 21° e 23°C) e umidade (entre 68% e 75%), definidos pela pesquisa, que a zona de conforto delimitada conforme mostrado na Figura 4.50, encontra-se quase toda dentro dos limites propostos pelo estudo anteriormente mencionado, não sendo necessárias medidas corretivas.

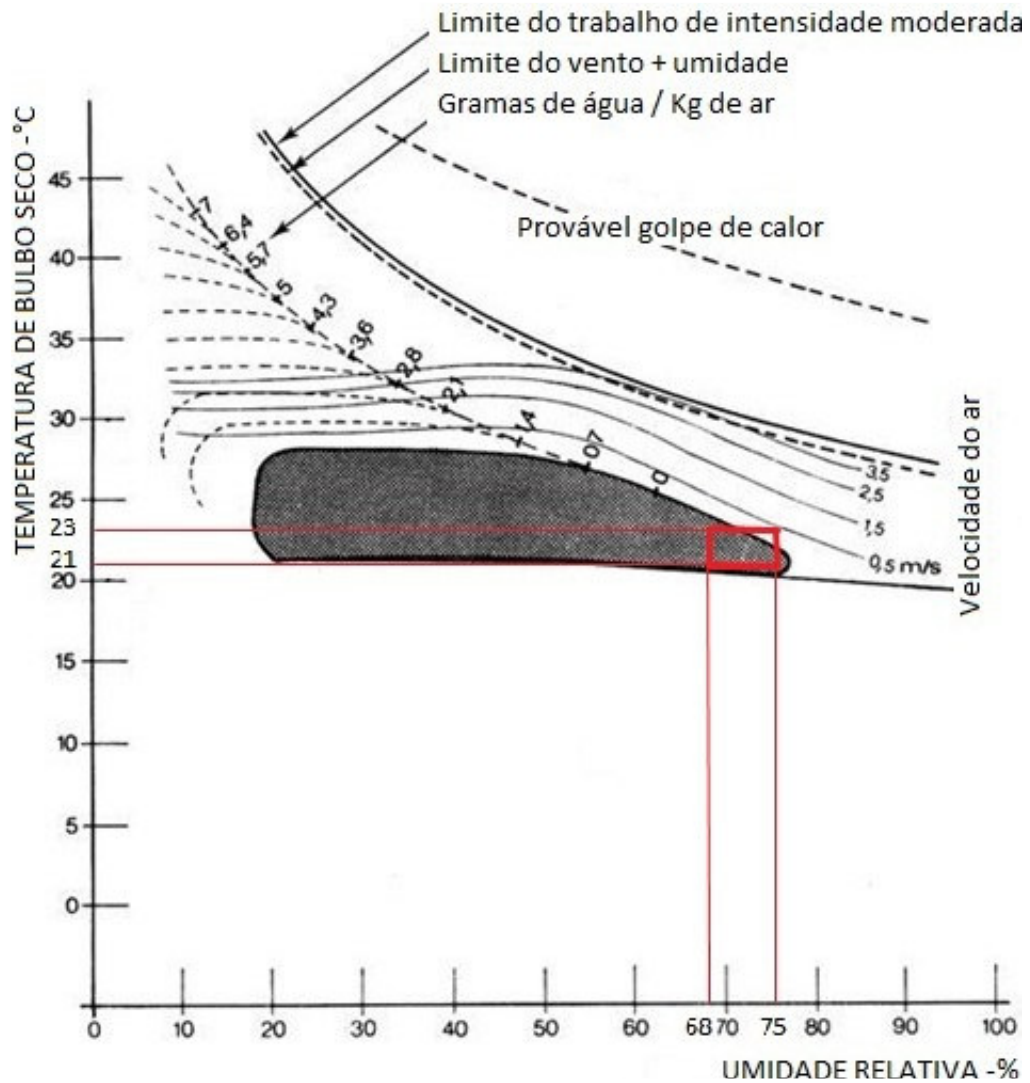


Figura 4.50 – Diagrama de Olgyay de acordo com os limites da população em estudo.  
 Fonte: Adaptado de IZARD; GUYOT, 1980.

#### 4.6.2 . Diagrama bioclimático de Givoni

A carta bioclimática de Givoni (1992) com limites da Zona de Conforto ampliados para países de clima quente tem como parâmetros alguns estudos fisiológicos, além de algumas estratégias de controle. Trata-se de um instrumento que permite, a partir das condições exteriores, definir os princípios básicos para o projeto com condições internas dentro da zona de conforto.

Na Figura 4.51 apresenta-se a comparação dos limites de conforto para a população em estudo de acordo com os limites propostos por Givoni (1992).

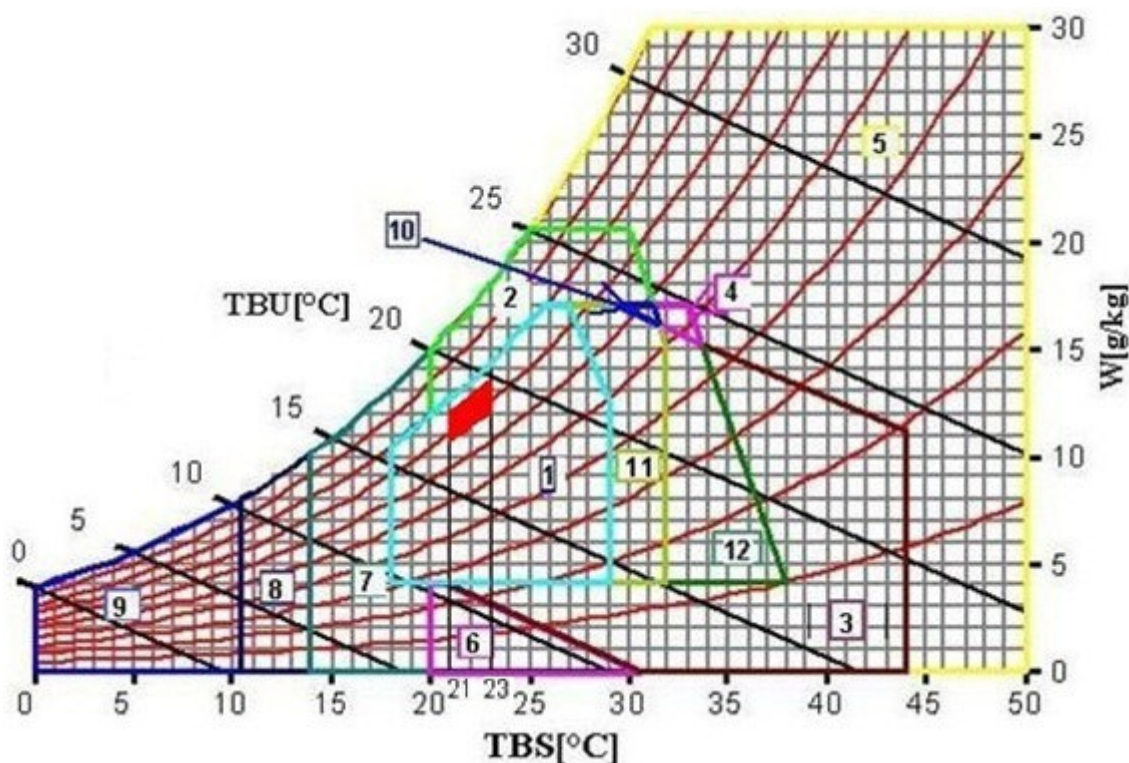


Figura 4.51– Comparação do diagrama de Givoni com os limites de conforto obtidos.  
Fonte: Adaptado de SCHUCH; LAMBERTS; DUTRA, 1996.

Com base nos limites de conforto das variáveis temperatura do ar ( $21^{\circ}$  a  $23^{\circ}\text{C}$ ) e umidade (68% a 75%), a área delimitada, mostrada na Figura 4.51, representa a zona de conforto encontrada para a região de estudo. Ela está dentro da zona de conforto proposta pelo autor (Zona de Conforto higrotérmico) e pode-se afirmar que, em princípio este instrumento de avaliação é aplicável para a população em estudo.

#### 4.6.3 . Índice de temperatura efetiva

Baseados nos dados de vários estudos, principalmente os desenvolvidos na Austrália e em Cingapura, Koenigsberger et al<sup>1</sup> (1977 apud GOULART, S. et al., 1994) consideram



válidos os limites de 22 a 27°C para a temperatura efetiva (TE). A comparação dos dados da pesquisa com a carta da temperatura efetiva (Figura 2.4) não será possível devido à falta da temperatura de bulbo úmido que não foi medida neste trabalho.

Entretanto, considerando a temperatura efetiva padrão, com seus limites propostos pela norma ASHRAE 55:2004, e os limites da temperatura operativa que foi obtida (apesar de ter sido calculada apenas em parte dos ensaios de campo), pode-se obter a seguinte comparação (Figura 4.52).

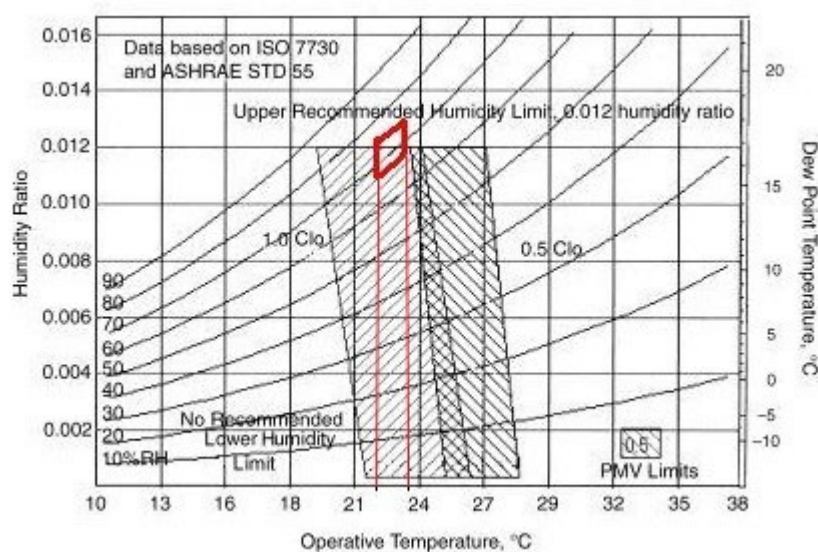


Figura 4.52 - Comparação dos limites de conforto obtidos e a zona de conforto da norma ASHRAE 55:2004.

Fonte: Adaptado de ASHRAE 55:2004.

Verifica-se que a área delimitada, conforme mostrada na Figura 4.52, pertence aos limites das variáveis umidade (68% a 75%) e temperatura operativa (22,3° a 23,5°C), valores estes obtidos na pesquisa. Metade desta área se localiza na zona de conforto proposta pela ASHRAE 55:2004, e mais especificamente na área relativa ao inverno. Embora os valores de temperatura operativa estejam dentro da zona de conforto, pode-se afirmar que a aplicabilidade do instrumento para o estudo é reduzida.

#### 4.6.4 . Diagrama Bioclimático de Szokolay

Na Figura 4.63 mostra-se a comparação dos limites de conforto para a população em estudo obtidos neste trabalho (área delimitada na Figura 4.53) com a zona de conforto proposta por Szokolay (1987).

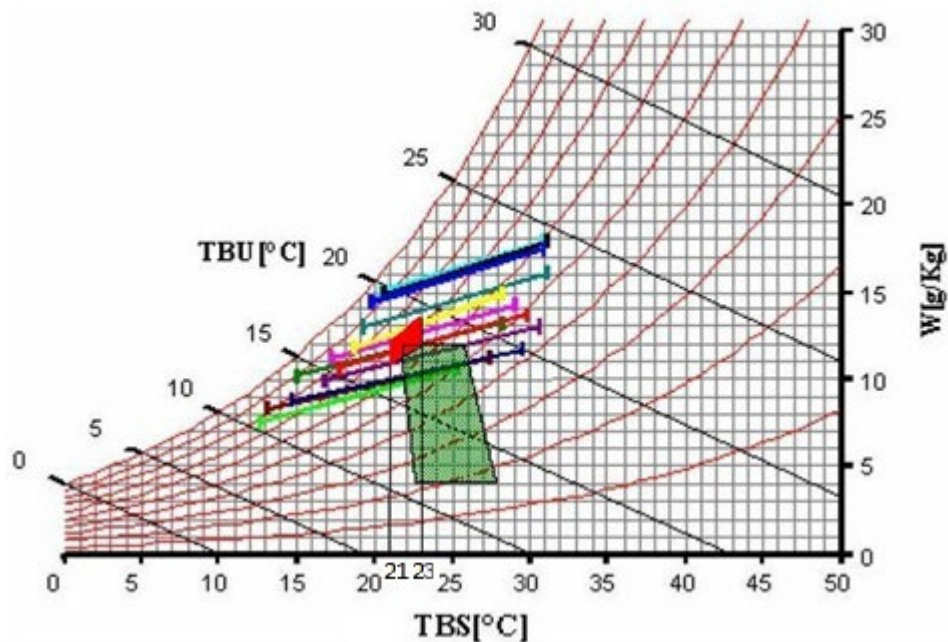


Figura 4.53 - Comparação dos limites de conforto obtidos e a zona de conforto de Szokolay (1987).

Fonte: Adaptado de SHALDERS NETO, 2003

Verifica-se que a maior parte da zona de conforto obtida (área delimitada menor) situa-se fora da zona de conforto original (área delimitada maior). Mesmo desconsiderando os limites de umidade relativa, a zona compreendida pelos limites da temperatura do ar coincide menos que 50%, fazendo com que a aplicabilidade para a situação em estudo desta proposta seja bem reduzida.

#### 4.6.5 . Método de Fanger de PMV e PPD

Dando continuidade ao estudo comparativo, analisa-se o método proposto por Fanger (1972), com grande aceitação e recomendação no país.

De acordo com a curva mostrada na Figura 4.43, verifica-se que a porcentagem de pessoas insatisfeitas estimadas por regressão probit para o caso em estudo em função da temperatura do ar é de 30,9%, conseqüentemente a porcentagem de satisfeitos é de 69,1%.

Substituindo-se o valor de 95% proposto por Fanger para o cálculo do percentual de pessoas insatisfeitas na Equação (2.7) pelo valor encontrado neste trabalho, que é 69,1%, obtém-se a expressão

$$PPD = 100 - 69,1 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2) \quad (4.1)$$

Na Figura 4.54 apresenta-se a curva resultante da Equação (2.7) proposta por Fanger (1972) plotada juntamente com a curva resultante da Equação (4.1) obtida por meio dos dados estimados por regressão probit desta pesquisa.

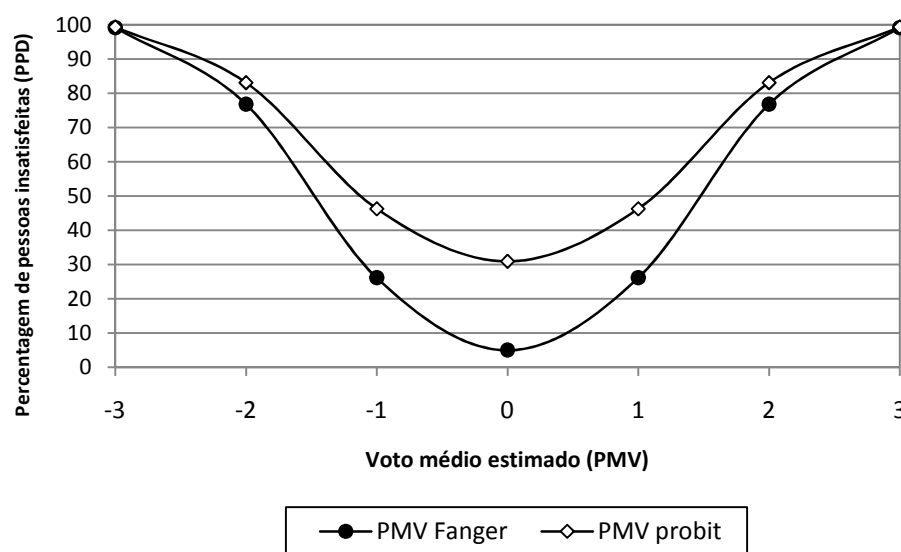


Figura 4.54 – Comparação entre os modelos de Fanger e os dados experimentais levantados para a região em estudo.

Com base nesta comparação, a porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD) no voto médio estimado (PMV) igual a zero tem valor de 30,9%, valor superior aos 5% de pessoas insatisfeitas nas condições “confortáveis” propostas por Fanger (1972). Esta diferença pode ser explicada, pois, diferentemente dos dados experimentais de Fanger

(1972), que foram definidos por meio de sistemas ambientais controlados artificialmente, os dados neste trabalho foram levantados nas condições ambientais naturais considerando toda a não uniformidade térmica dos ambientes.

Na comparação dos limites obtidos para a população em estudo com os índices convencionais, conclui-se que os índices analisados podem ser usados, mediante adaptações específicas à natureza de cada um. Destaca-se o uso do diagrama bioclimático de Givoni, cuja zona de conforto englobou os limites obtidos neste trabalho, e o de Olgyay, que englobou quase toda a área de conforto estudada.

## **V . CONCLUSÕES**

Neste trabalho, inicialmente, foram introduzidos os conceitos principais da relação temperatura com corpo humano. Após, há uma concentração maior no tema conforto térmico, principalmente nas edificações escolares, tendo então a revisão bibliográfica como um estudo mais aprofundado para esta conceituação. A revisão resultou em um estudo aprofundado dos mecanismos de termorregulação, explorando ainda os índices de conforto térmico, convencionalmente usados em estudos bioclimáticos. Estudou-se os principais métodos, procurando discutir as vantagens e desvantagens de cada índice, bem como suas aplicações propostas e restrições decorrentes de seu uso. Alguns trabalhos já realizados sobre o tema foram estudados, para se ter um melhor embasamento para a pesquisa.

A metodologia utilizada foi elaborada com base em uma pesquisa extensa de trabalhos similares precedentes, resultando da combinação e aperfeiçoamento de metodologias diversas. A metodologia proposta comprovou a sua validade operacional e científica, e que os procedimentos aqui descritos podem ser aplicados para outras regiões do Brasil.

Os resultados foram apresentados graficamente, de modo a permitir sua análise visual a partir dos dados coletados e estudados, que foram tratados estatisticamente conforme a necessidade. Foram também analisados os parâmetros estatísticos descritivos das variáveis ambientais, e apresentados em tabela, assim como os resultados obtidos pelas contagens do grau de satisfação e sensações subjetivas, e suas correlações.

Tendo em vista que o trabalho foi realizado em ambientes reais, onde as variáveis ambientais e pessoais, bem como a interpretação da escala de sensações por parte dos indivíduos questionados são fatores de difícil controle, podem ser encontradas divergências nos resultados.

Comparando os resultados dos julgamentos subjetivos na escala de 7 pontos em relação a cada edificação (EM estruturada em aço e ICEB em concreto convencional) observa-se um melhor desempenho nas salas do ICEB, alcançando-se um percentual de conforto em torno de 6 % maior do que em relação aos índices de conforto na EM.

A partir dos resultados obtidos utilizando-se a análise probit, onde se determinaram as probabilidades de ocorrência de calor, conforto e frio, foi possível identificar os limites de conforto, definido como a faixa correspondente entre a percentagem de satisfeitos (70%) e insatisfeitos (30%). A temperatura do ar para a qual este fato ocorreu corresponde ao intervalo entre 21°C e 23°C, já em relação à umidade relativa do ar corresponde ao intervalo entre 68% e 75%, levando em consideração a época e o local da pesquisa.

Considerando que a grande maioria dos estudantes universitários da UFOP é oriunda de outras regiões de Minas Gerais e também de outros Estados do País, com condições climáticas diferentes da cidade de Ouro Preto, poder-se-ia ter alguma influência e/ou problema de aclimação às condições climáticas locais. No entanto, do total da amostra a grande maioria dos universitários já reside na cidade de Ouro Preto a mais de um semestre, 65,3 % mais de dois semestres e 77,4 % mais de um semestre, e desse modo pode-se desconsiderar a influência da aclimação nos resultados obtidos.

Os dados coletados são particularmente valiosos devido às condições experimentais sob as quais os dados foram levantados, no entanto, sua aplicação prática é, de certa forma, limitada, já que são válidos somente para condições características sob as quais a experiência foi realizada.

### **5.1 . Sugestões para trabalhos futuros**

No presente trabalho não foram estudadas a fundo as características construtivas das edificações, nem sua relação direta com as variáveis medidas. Os dados levantados, de certa forma, já traduzem o desempenho térmico das edificações em relação ao clima exterior.

Esta lacuna abre margem para alguns temas interessantes a serem tratados em trabalhos futuros, como a análise em situações extremas (principalmente no verão, em dias típicos) dos dados de conforto térmico, levando em consideração as características físicas das edificações, no que diz respeito ao isolamento térmico das envoltórias, às

condições de ventilação, implantação e orientação quanto à exposição aos ventos e à radiação solar na época em questão.

Prosseguindo nessa vertente, analisar os dados ambientais e posteriormente esclarecer o grau de potencialidades na utilização de estratégias bioclimáticas, como ventilação, resfriamento evaporativo, aquecimento solar passivo, uso de massa para inércia térmica e outras, objetivando a melhora das condições ambientais internas das edificações.

Complementando ainda, sendo também um tema interessante, o estudo de intervenções para melhorar o conforto das edificações principalmente em condições de calor extremo, como o uso de ventilação mecânica, brises nas janelas para minimizar a incidência solar direta, isolamento térmico da cobertura, condicionamento do ar, entre outros, levando em consideração também o gasto energético dessas intervenções.

Os dados e análises que constam neste trabalho representam a influência significativa que o ambiente tem no aprendizado dos alunos, o que sugeriria uma outra vertente para a pesquisa, com interface dos profissionais da área pedagógica no sentido do desenvolvimento de estudos em que a questão ambiental e o desempenho escolar sejam considerados.

Por fim, espera-se que haja a continuidade e aprofundamento das pesquisas na área com o apoio de universidades e agências de fomento à pesquisa.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AKUTSU, M. **Métodos para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil**. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998. 170p.

ALMENO **manual for all ALMENO measuring instruments**. 2003, version 5, 4th revised edition. Publisher: Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH, Holzkirchen, Germany, 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERING. **Handbook of Fundamentals**. ASHRAE. New York, 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERING. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. ANSI/ASHRAE 55:2004. Atlanta, 2004.

ANDRADE, S. F. **Estudo de estratégias bioclimáticas no clima de Florianópolis**. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

ARAÚJO, V. M. D. **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares**. Natal: EDUFRRN, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Instalações centrais de ar condicionado para conforto – Parâmetros básicos de projeto**. NBR 6401. Rio de Janeiro, 1980.

BARBETTA, P. A. **Estatística Aplicada às Ciências Sociais**. 5. ed., Florianópolis: Ed. UFSC, 2002.



BEDFORD, T. **Environmental warmth and its measurement**. Londres: H. M. Office, 1946.

CONCEIÇÃO, E. Z. E.; LÚCIO, M. M. J. R. Thermal study of school buildings in winter conditions. **Building and Environment**, v. 43, p. 782-792, 2007.

CONFORTO Térmico. Disponível em <<http://www.master.iag.usp.br/conforto/oqueeh.php>>. Acesso em: 15 jul. 2008.

CORGNATI, S. P; FILIPPI, M.; VIAZZO, S. Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort. **Building and Environment**, v. 42, p. 951-959, 2007.

DIAS, L. A. M.; MACHADO, L.; KOURY, R. **Software para obter cartas psicrométricas**. Disponível em <<http://www.demec.ufmg.br/Grupos/Refrigera/downloads.html>>. Acesso em 12 abr. 2008.

EXPOSIÇÃO ao calor. Disponível em <[http://www.fundacentro.sc.gov.br/calor/exp\\_calor.php](http://www.fundacentro.sc.gov.br/calor/exp_calor.php)>. Acesso em: 15 jul. 2008.

FANGER, P. O. **Thermal Confort, Analysis and Applications in Environmental Engineering**. New York, McGraw-Hill Book Company, 1972.

FISHER, R. A; YATES, F. Tabelas estatísticas: para pesquisa em biologia, medicina e agricultura. Tradução de Salvator Licco Haim. São Paulo: Ed. Da Universidade de São Paulo e Ed. Polígono, 1971.

FUNDACENTRO – Ministério do Trabalho. **Avaliação da Exposição Ocupacional ao Calor: NHO 06**. São Paulo, 2001.

GAGGE, A. P. at al. **Standard effective temperature – A single temperature index of temperature sensation and thermal discomfort**. In: Thermal comfort and moderate heat stress, Building Research Station, p. 229-250, 1972.

GIVONI, B. Confort climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v.18, p. 11-23, 1992.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. Londres: Elsevier, 1976.

GONÇALVES, W. B. **Estudo de índices de conforto térmico, avaliados com base em população universitária na região metropolitana de Belo Horizonte**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000. 241p.

GOULART, S. et al. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico**. Florianópolis: UFSC, 1994. Relatório interno 02/94 - NPC.

GOUVÊA, T. C. **Avaliação do conforto térmico: uma experiência na indústria da confecção**. 2004. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004. 149p.

GRAÇA, V.; KOWALTOWSKI, D.; PETRECHE, J. An evaluation method for school building design at the preliminary phase with optimisation for aspects of enviornmental comfort for the school system of the State of São Paulo in Brazil. **Building and Environment**, v. 42, p. 984-999, 2006.

HUMPHREYS, M. A. Study of the thermal comfort of primary school children in summer. **Building and Environment**, v.12, p. 231-239, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Ergonomics – Determination of Metabolic Heat Production** - ISO 8996:1990. Genebra, 1990.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria** - ISO 7730:2006. Germany, 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Ergonomics of the thermal environment -- Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble** - ISO 9920:1995. Genebra, 1995.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Hot Environments – Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT – index (wet-bulb globe temperature)** - ISO 7243:1989. Genebra, 1989.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Thermal environments instruments and methods for measuring physical quantities**. ISO 7726:1996. Genebre, 1996.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social**. São Paulo: IPT, 1998.

IZARD, J.; GUYOT, A. **Arquitectura Bioclimática**. Barcelona: Gustavo Gili, 1980.

KOWALTOWSKI, D. et al. **Indicadores de eficiência energética e conforto ambiental em escolas da rede pública de Campinas, SP**. In: IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 9, 2007, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto, 2007, p. 2112-2113.

KOWALTOWSKI, D. et al. **Manual de Conforto Ambiental**. São Paulo: FAPESP, 2005.

KOWALTOWSKI, D.; GRAÇA, V. **Aspectos de conforto ambiental, escritórios de arquitetura e projetos de escolas**. In: IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 9, 2007, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto, 2007, p. 835-844.

KOWALTOWSKI, D.; GRAÇA, V.; PETRECHE, J. **O uso de metodologia de projeto axiomático para a integração de aspectos de conforto ambiental no desenvolvimento de projetos para a tipologia escolar no Estado de São Paulo**. In:

IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 9, 2007, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto, 2007, p. 845-854.

KRÜGER, E. L.; ZANNIN, P. H. Acoustic, Thermal and Luminous Comfort in Classrooms. **Building and Environment**, v. 39, p. 1055-1063, 2004.

LA CROSSE Technology Operation Manual. Disponível em <[http://www.heavyweather.info/new\\_english\\_us/2308pdf/ws2308\\_main.pdf](http://www.heavyweather.info/new_english_us/2308pdf/ws2308_main.pdf)>. Acesso em: 2 fev. 2009.

LAY, M. C. D.; REIS, A. T. L. Análise quantitativa na área de estudos ambiente-comportamento. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 21-36, abr./jun. 2005.

LAZZAROTTO, N.; SANTOS, J. C. P. **Avaliação do conforto térmico de estudantes do Ensino Fundamental na região noroeste do RS**. In: IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 9, 2007, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto, 2007, p. 1038-1046.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Atividades e operações insalubres**: NR 15. Brasília, 2008.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Ergonomia**: NR 17. Brasília, 2007.

MYSEN, M. et al. Evaluation of simplified ventilation system with direct air supply through the façade in a school in a cold climate. **Energy and Buildings**, v. 37, p. 157-166, 2004.

NETTO, A. L. **Exposição ao Calor**: documento de trabalho. Disponível em <<http://www.sobes.org.br/Figuras/calor.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2008.

OLGYAY, V. **Design with climate**. New Jersey: Princeton University, 1963.

ORNSTEIN, S.; ONO, R. **Avaliação pós-ocupação (APO) do conforto ambiental de escolas: comparação entre ferramentas qualitativas e quantitativas**. In: VIII

Encontro Nacional e IV Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 8, 2005, Maceió. Anais... Maceió, 2005, p. 1387-1396.

PASQUOTTO, G. B.; SALCEDO, R. F. B.; FONTES, M. S. G. C. **Conforto térmico em ambientes escolares nos períodos de verão e inverno: uma análise qualitativa e quantitativa do Centro de Convivência Infantil da UNESP – Bauru**. In: IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 9, 2007, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto, 2007, p. 1376-1384.

RENCKLY, R. T. **Air university sampling and surveying handbook – Guide lines for planning, organizing and conducting surveys**. Air University, Maxwell Force Base, Alabama, 1996.

RIBAS, R. A. J. **Avaliação das condições físico-construtivas e de desempenho de uma edificação estruturada em aço. Estudo de caso: prédio da EM da UFOP**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006. 187p.

RUAS, A. C. **Avaliação de Conforto Térmico – Contribuição à aplicação prática das normas internacionais**. 1. ed. São Paulo: Fundacentro, 2001.

RUAS, A. C. **Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho**. 1. ed. São Paulo: Fundacentro, 1999.

SANTOS, A. M. A. **Exposição Ocupacional a Poeiras em Marmorarias: Tamanhos de Partículas Característicos**. 2005. Tese (Doutorado em Tecnologia Mineral) - Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005. 174p.

SCARE, R. F. **Escassez de água e mudança institucional: análise da regulação dos recursos hídricos no Brasil**. 2003. Dissertação (Mestrado em Administração) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. 150p.

SCHUCH, L. M. S.; LAMBERTS, R.; DUTRA, M. **ANALYSIS 1.5**. Florianópolis: UFSC, 1996. Disponível em < <http://www.npc.ufsc.br>>. Acesso em: 7 abr. 2008.

SHALDERS NETO, A. **Regulamentação de desempenho térmico e energético de edificações**. 2003. Dissertação (Mestrado em Energia) Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. 199p.

SILVA, H. C.; KINSEL, L. S. **Região Climática de Porto Alegre - revisão para um desenho inteligente e uma arquitetura adequada**: documento de trabalho. Porto Alegre, UFRGS: 2006. Disponível em: < <http://www.ufrgs.br/propar/publicacoes/ARQtextos/Heitor.pdf>>. Acesso em: 08 jul. 2008.

SILVA, N.; MAURÍCIO, L.; SOUSA, V. **Avaliação das condições de conforto térmico em uma unidade escolar – João Pessoa – PB**. In: VIII Encontro Nacional e IV Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 8, 2005, Maceió. Anais... Maceió, 2005, p. 1902-1911.

SZOKOLAY, S. V. **Thermal Design of Buildings**. Australia: Raia Education Division, 1987.

SZOKOLAY, S. V. **The CPZ (Control Potential Zone) method and its use to develop climate zones**. ISES'95, Congress at Harvey, USA: 1995.

WONG, N. H.; KHOO, S. S. Thermal comfort in classrooms in the tropics. **Energy and Buildings**, v. 35, p. 337-351, 2002.

XAVIER, A. A. P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999. 198p.

YAGLOU, C. P. **A method for improving the effective temperature index**. ASHVE Transactions, v.53, p. 307, 1947.

**APÊNDICE A**  
**QUESTIONÁRIOS**

**Pesquisa - Percepção do ambiente térmico: preferências subjetivas e conforto térmico**

**A.1 . Formulário - Usuário**

1. Identificação da sala pesquisada  
Local:\_\_\_\_\_ Pav:\_\_\_\_\_ Sala:\_\_\_\_\_ Localização na sala:\_\_\_\_\_
  
2. Dados do usuário:  
Sexo: ( ) Fem. ( ) Masc. Idade:\_\_\_\_\_ Peso:\_\_\_\_\_ Altura:\_\_\_\_\_
  
3. Tipos de roupa que esta usando no momento:  
( ) Roupas leves  
( ) Roupas de frio, porém leves  
( ) Roupas de frio, pesadas
  
4. Qual é a sua sensação térmica em relação ao ambiente da sala neste momento:  
( ) Muito quente  
( ) Quente  
( ) Ligeiramente quente  
( ) Confortável  
( ) Ligeiramente frio  
( ) Frio  
( ) Muito frio
  
5. Num ambiente térmico como este, você:  
( ) Consegue desenvolver sua atividade de estudo normalmente.  
( ) Sua atividade de estudo fica prejudicada.
  
6. Qual a sensação em relação ao movimento do ar no lugar em que você está:  
( ) Muito parado  
( ) Um pouco parado  
( ) Boa circulação  
( ) Um pouco rápido  
( ) Muito rápido

7. Você vê a necessidade de ventiladores, no momento, para melhorar seu conforto térmico:  
☐ Sim ☐ Não
8. Marque abaixo se alguma das sensações listadas ocorreu na ultima hora:  
☐ Impaciência devida ao desconforto térmico  
☐ Dificuldade de prestar atenção devida ao desconforto térmico  
☐ Sonolência devida ao desconforto térmico  
☐ Sede  
☐ Secura nas mucosas da boca, nariz ou garganta  
☐ Ruborização da pele  
☐ Calafrios e/ou contrações musculares
9. Há incidência solar direta na sala durante o período de aula:  
☐ Sim ☐ Não
10. Ao assistir aulas nesta sala, com que frequência você tenta (ou pede para que alguém o faça) controlar a incidência do sol, através de porta, janelas, cortinas ou persianas:  
☐ Nunca ☐ Raramente ☐ As vezes ☐ Frequentemente ☐ Sempre
11. Como você considera a iluminação da sala de aula:  
☐ Ótima ☐ Razoável ☐ Péssima
12. Na maioria das vezes, utiliza-se iluminação:  
☐ Natural ☐ Artificial
13. Em relação ao ruído proveniente de fora do edifício, durante as aulas:  
☐ Não perturba ☐ Incomoda ☐ Incomoda muito
14. Em relação ao ruído proveniente de dentro do edifício, durante as aulas:  
☐ Não perturba ☐ Incomoda ☐ Incomoda muito
15. Você está satisfeito com o ambiente térmico neste momento:  
☐ Sim ☐ Não
16. Você acha que esse seria um ambiente térmico aceitável para estar todos os dias:  
☐ Sim ☐ Não



## A.2 . Formulário - Pesquisador

Identificação da sala pesquisada:

Local: \_\_\_\_\_ Pavimento: \_\_\_\_\_ Sala: \_\_\_\_\_

Disciplina: \_\_\_\_\_

Professor: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Início do preenchimento do formulário: \_\_\_\_:\_\_\_\_

Término do preenchimento do formulário: \_\_\_\_:\_\_\_\_

Número de alunos pesquisados: \_\_\_\_\_

Croqui da sala:



Variáveis ambientais medidas:

Hora	Posição 1		Posição 2		Posição 3		T. Globo T <sub>G</sub> (°C)
	T <sub>ar</sub> (°C)	Φ (%)	T <sub>ar</sub> (°C)	Φ (%)	T <sub>ar</sub> (°C)	Φ (%)	

Observações relevantes:

---

---

---

## **APÊNDICE B**

### **ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS DE OURO PRETO - MG**

#### **B.1 . Temperaturas do ar externo**

As tomadas de temperatura nas salas de aulas ocorreram nos dias 24, 25 e 26 de junho, 01, 02 e 07 de outubro e 18, 19 e 20 de novembro de 2008. A estação climatológica que coletava as temperaturas externas ficava no Laboratório de Transferência de Calor e Massa e Conforto Térmico no campus da UFOP, e os equipamentos utilizados foram descritos no capítulo 3.

Os dados coletados referentes ao mês de junho foram perdidos por problemas no microcomputador (vírus), tendo-se somente o valor médio medido durante a realização da pesquisa. No dia 24 de junho, a temperatura externa do ar considerada então foi de 13,3°C, no dia 25, 13,6°C e no dia 26, 12,1°C.

Foram coletados os dados de temperatura externa, tomados de 30 em 30 minutos, para a apresentação neste apêndice 3 dias antes das datas específicas das medições (em outubro e novembro) nos edifícios da Escola de Minas e Instituto de Ciências Exatas e Biológicas e plotados de três a três dias nos gráficos B.2 a B.7. Os dados da temperatura externa relativos ao mês de junho não foram possíveis de serem coletados com maior detalhamento.

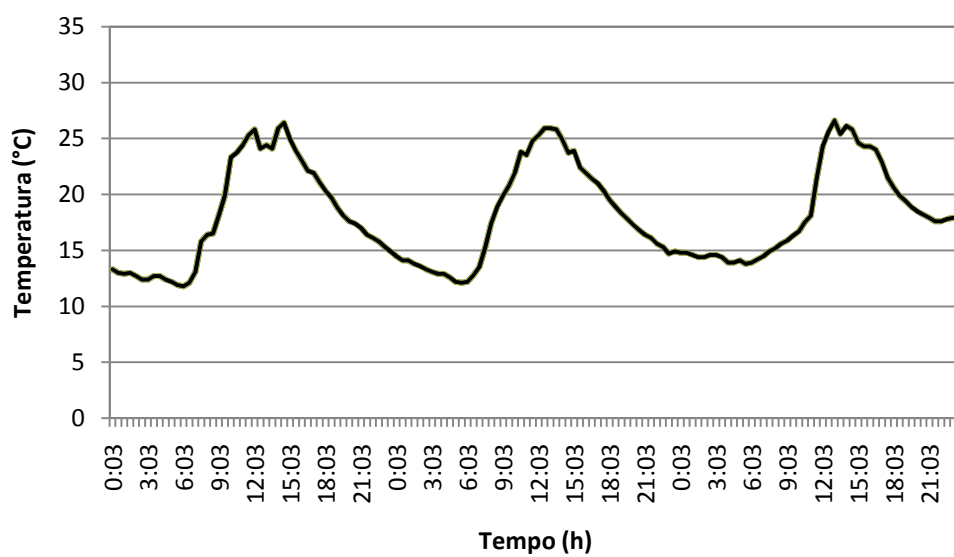


Figura B.1 – Temperatura externa do ar nos dias 28, 29 e 30 de setembro de 2008.

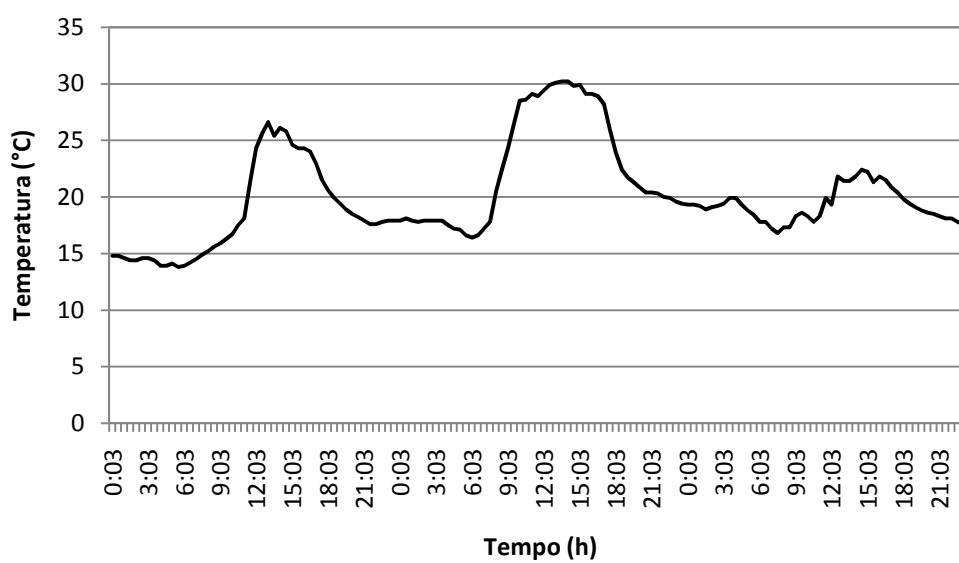


Figura B.2 – Temperatura externa do ar nos dias 30 de setembro, 01 e 02 de outubro de 2008.

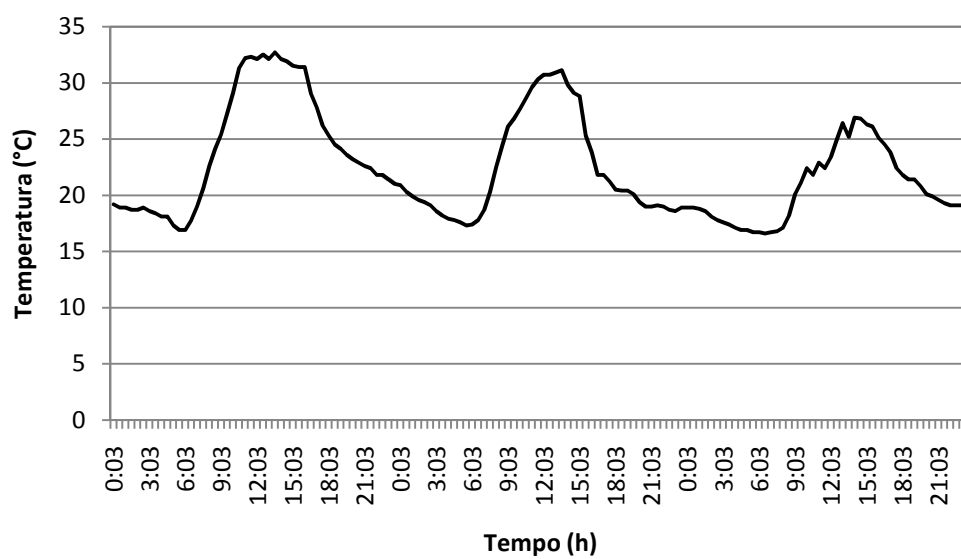


Figura B.3 – Temperatura externa do ar nos dias 05, 06 e 07 de outubro de 2008.

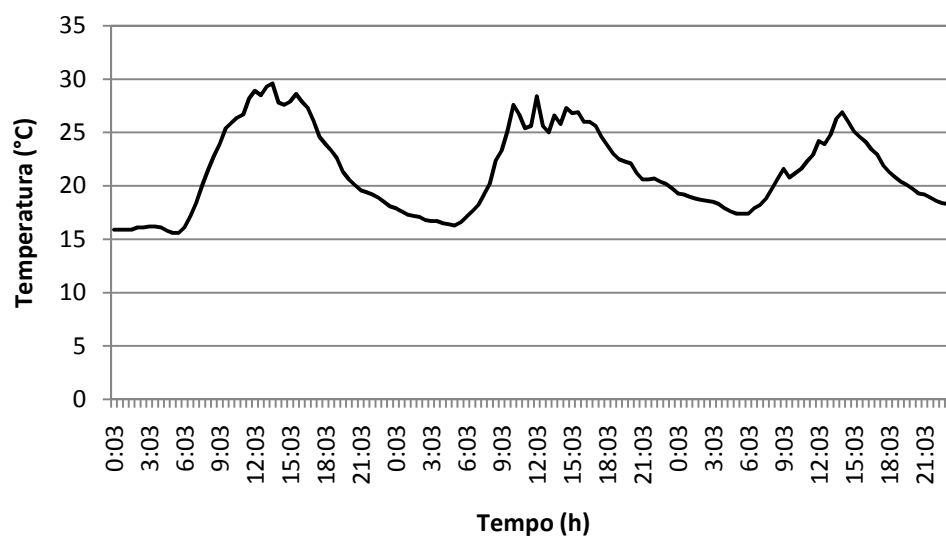


Figura B.4 – Temperatura externa do ar nos dias 15, 16 e 17 de novembro de 2008.

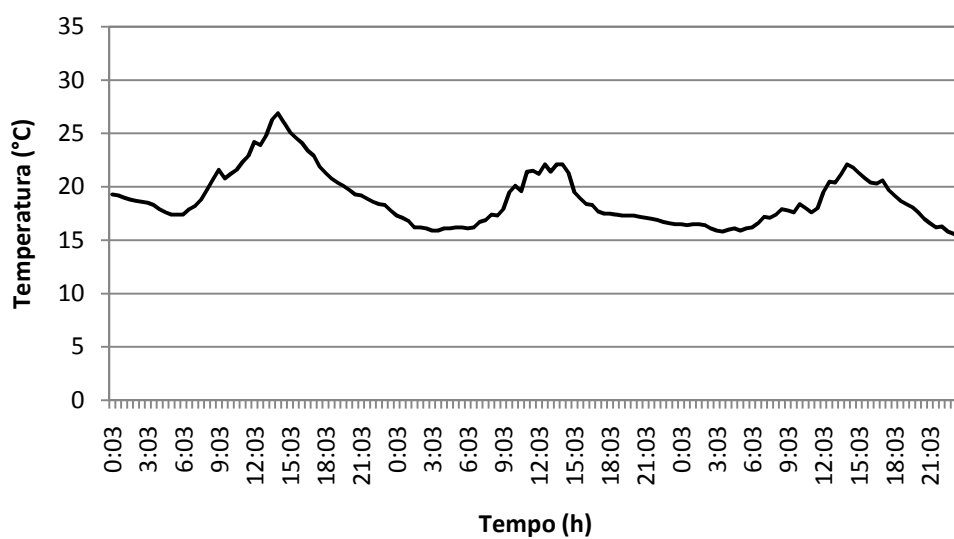


Figura B.5 – Temperatura externa do ar nos dias 17, 18 e 19 de novembro de 2008.

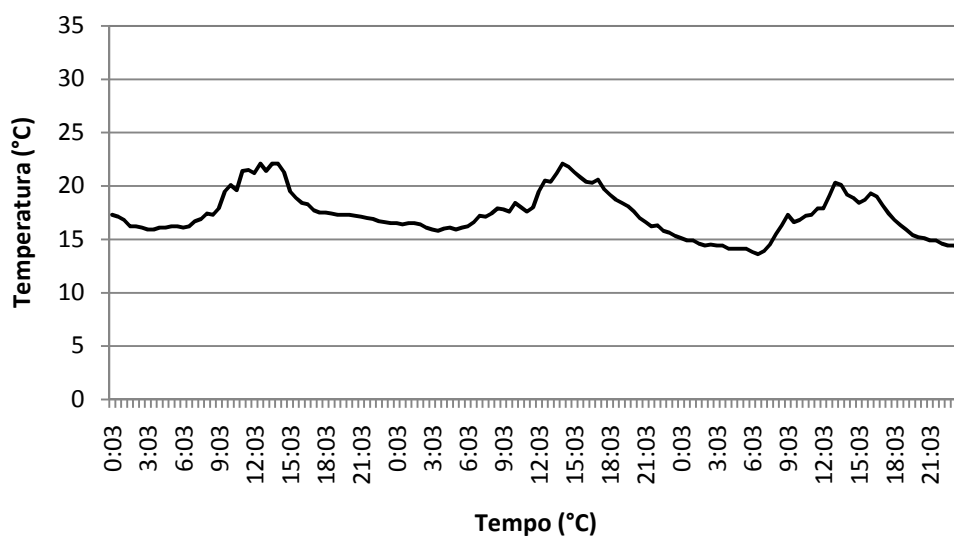


Figura B.6 – Temperatura externa do ar nos dias 18, 19 e 20 de novembro de 2008.

Na Figura B.7, apresenta-se a carta psicrométrica para a cidade em estudo, Ouro Preto, que foi feita a partir de um software para se obter cartas psicrométricas, desenvolvido pelo Grupo de Refrigeração da UFMG, cujo dado utilizado foi a altitude em que a cidade se localiza, no caso, 1179m.

