

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

**“RELAÇÕES ENTRE PREFERÊNCIAS TÉRMICAS HUMANAS NO INTERIOR DE
EDIFICAÇÕES E AS TEMPERATURAS EXTERNAS: UM ESTUDO SOBRE O
MÉTODO ADOTADO NA NORMA AHSRAE 55-2004”**

ADRIANA DIAS GOMES

SÃO CARLOS

2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

**“RELAÇÕES ENTRE PREFERÊNCIAS TÉRMICAS HUMANAS NO INTERIOR DE
EDIFICAÇÕES E AS TEMPERATURAS EXTERNAS: UM ESTUDO SOBRE O
MÉTODO ADOTADO NA NORMA AHSRAE 55-2004”**

ADRIANA DIAS GOMES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Área de Concentração: Sistemas Construtivos de Edificações

Orientador: Prof. Dr. Maurício Roriz

SÃO CARLOS

2007

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

G633rp

Gomes, Adriana Dias.

Relações entre preferências térmicas humanas no interior de edificações e as temperaturas externas : um estudo sobre o método adotado na norma AHSRAE 55-2004 / Adriana Dias Gomes. -- São Carlos : UFSCar, 2007. 177 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2006.

1. Arquitetura e meio ambiente. 2. Conforto térmico. 3. Sensação e Preferência Térmica. 4. Variáveis ambientais. 5. Variáveis pessoais. 6. Temperatura. I. Título.

CDD: 720.47 (20ª)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil

Via Washington Luís, Km 235 - Caixa Postal 676 - Fone (16) 3351-8262 - Fax (16) 3351-8259 - CEP 13565-905 - São Carlos - SP - Brasil

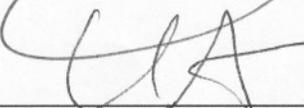
**“Relações entre Preferências Térmicas Humanas no
Interior de Edificações e as Temperaturas Externas:
Um Estudo sobre o Método Adotado na Norma
AHSRAE 55-2004”**

ADRIANA DIAS GOMES

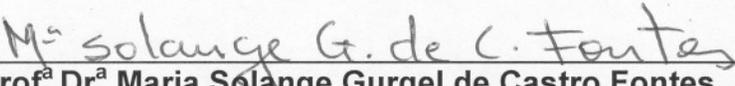
Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 09 de março de 2006,
pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:



Prof. Dr. Mauricio Roriz
DECiv / PPGCIV / UFSCar
Orientador



Prof. Dr. Leonardo Salazar Bittencourt
Universidade Federal de Alagoas / UFAL
Examinador Externo



Prof.ª Dr.ª Maria Solange Gurgel de Castro Fontes
FAAC / UNESP / Bauru
Examinadora Externa

Epígrafe

“A verdadeira medida de um homem não é como ele se comporta em momentos de conforto e conveniência, mas como ele se mantém em tempos de controvérsia e desafio”.

(Martin Luther King Jr.)

Dedicatória

À minha filha Marília Dias Gomes Correia, aos meus pais Joaquim Gomes Neto e Marluce Dias Gomes, aos meus avós maternos, José Bezerra de Abreu e Margarida Dias de Abreu, à minha irmã Luciana Dias Gomes, aos meus amados sobrinhos Stephany, Gessyka, Matheus, Klinger e Gabryell, e à memória do meu irmão Klinger Dias Gomes e avós paternos Antônio Fragoso de Mello e Ana Anita Gomes Fragoso, com todo amor e gratidão, DEDICO.

Agradecimentos

Os meus sinceros agradecimentos à todas as contribuições, de ordem institucional ou pessoal.

A Deus, que permitiu a minha vida, me concedeu certeza na determinação dos meus objetivos, saúde e força para enfrentar e transpor as dificuldades encontradas.

Aos meus amados pais Joaquim e Marluce, pelo grande esforço, amor, incentivo, companheirismo e empenho na minha educação formal, intelectual, profissional e ética. Pelo excelente exemplo de dignidade, honestidade, compromisso e retidão.

À minha amada filha Marília, grande companheira e incentivadora do meu trabalho, pelo amor incondicional, apoio, paciência e compreensão. Por aceitar e entender minhas ‘ausências’ e irritações no período de elaboração da pesquisa.

À minha irmã Luciana, pelo apoio, cuidado e preocupação comigo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Maurício Roriz, da Universidade Federal de São Carlos, pela orientação competente e conhecimentos irrestritos transmitidos na execução desta pesquisa.

À banca examinadora, pela presença, atenção, valiosas contribuições e sugestões a este trabalho.

À CAPES, pela bolsa de estudos.

Ao coordenador do Programa de Pós-Graduação em Construção Civil (PPG-CIV) Prof. Dr. Almir Sales e aos demais professores membros, que muito contribuíram para a realização da pesquisa e obtenção do título de mestre.

À Maria Cecília, à MariaTeresa e à Solange, secretárias da Pós-Graduação, **e a todos os funcionários do Departamento de Engenharia Civil**, pela disponibilidade na prestação de serviços.

Aos professores da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, pelo apoio na decisão de realizar o mestrado. Em especial aos queridos amigos **Prof^a. Dr^a. Maria Emília Couto Sarmento, Prof^a. Dr^a. Giana Barbirato e Prof. Dr. Valmir Pedrosa**, pelo incentivo e amizade sempre presentes.

Aos meus tios José Gomes Fragoso e Luíza Ribeiro Fragoso, por todo amor, apoio e afeto transmitidos durante toda a minha vida.

Aos amigos Andrigo Demétrio, Caroline Moraes, Claudius Barbosa, Gizela Peralta, Jerônimo Peixoto, Luciana Kataoka, Marcus André Campos, Maysa Fontoura, Paula Sardeiro, Rachel Baracho, Romel Vanderley e Rosângela Pereira, pela acolhida em São Carlos, valiosa amizade, companheirismo e apoio em todos os momentos.

Ao casal amigo Ivete Lopes e João Padilha, pela preocupação incessante, amizade incondicional e convivência quase diária. Por todo apoio e incentivo, principalmente nos momentos mais difíceis.

Ao amigo Luiz Augusto Pires, pela imprescindível colaboração e valiosas contribuições a esta pesquisa.

A todos do Colégio São Carlos, pelo carinho e receptividade. Em especial ao **orientador educacional Marco Antônio Nunes**, pela amizade, apoio, diálogo e incentivo.

Aos meus queridos amigos da minha terra natal – Maceió, pela amizade, preocupação e incentivo sempre transmitidos.

Aos colegas do curso e todos que direta ou indiretamente contribuíram ao desenvolvimento e à execução desta pesquisa.

RESUMO

GOMES, Adriana Dias. **Relações entre Preferências Térmicas Humanas no Interior de Edificações e as Temperaturas Externas: Um Estudo sobre o Método Adotado na Norma ASHRAE 55-2004**. 2006. 177 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2006.

O termo “conforto térmico” abrange muitos fatores do comportamento térmico subjetivo na relação com o clima interno e externo. A aceitabilidade térmica do homem aos efeitos do clima depende de vários aspectos, não só das condições climáticas do local, mas também de fatores pessoais que podem interferir significativamente nas suas preferências térmicas, bem como no rendimento físico e mental do seu organismo. A interação destes dois grupos de fatores determina o grau de satisfação e aceitabilidade térmica do homem em relação a um determinado ambiente. Quanto maior a variação destas condições, maior será a porcentagem de insatisfeitos em um ambiente, devido às exigências pessoais de cada indivíduo. Assim, atender as expectativas do homem em relação ao conforto térmico, considerando suas necessidades e limitações, tem sido um dos focos de estudos nesta área, que destaca a importância do tema no planejamento, projeto e execução de edificações. As sensações e preferências térmicas humanas em relação ao calor e ao frio, portanto, constituem informação indispensável para inúmeros setores de atividades, pois o conforto e o desempenho humano dependem diretamente das condições térmicas dos ambientes. Sendo a arquitetura, em particular o edifício, feito para o homem, conclui-se que este deve atender satisfatoriamente ao usuário, dentro das condições climáticas locais. Para isto, é necessário conhecer as temperaturas de conforto sob as quais o homem melhor desenvolve suas atividades de trabalho, otimizando seu bem-estar físico, intelectual e mental. Esta pesquisa consiste em um estudo teórico-analítico da ampla base internacional de dados, compilada pela ASHRAE (1997), relacionando condições climáticas do ar e sensações e preferências térmicas humanas. A metodologia utilizada por Richard De Dear (1997) no projeto ASHRAE RP-884 foi o procedimento probit no software SAS, versão 8 (SAS Institute, Cary, NC, USA, 1999) para as temperaturas preferidas obtidas, e de regressão linear para os limites de conforto aceitáveis pela população avaliada. Estes limites de conforto resultantes expressam a relação entre temperatura de conforto do usuário e temperatura externa do ar, apresentando variações de 80% e 90% de aceitabilidade térmica, em edifícios naturalmente ventilados. O objetivo geral desta pesquisa é interpretar o método adotado por De Dear (1997) e aplicá-lo nos dados obtidos da ampla Base de Dados da ASHRAE (2004), como fim de entender como foram obtidas as temperaturas de conforto (temperaturas preferidas) e a aceitabilidade térmica de pessoas submetidas a determinadas condições térmicas internas, em ambientes naturalmente ventilados. Os resultados da análise Probit mostram que a temperatura preferida é aproximadamente 25°C, a exatamente 0,5 de probabilidade de respostas, ou seja, 50% dos entrevistados. Diante dos resultados obtidos, verificou-se a aplicabilidade da análise Probit, como um método de grande eficácia para o estudo e a determinação de probabilidades de variáveis binárias, as quais apontam duas situações de interesse para a pesquisa.

Palavras-chave: Conforto Térmico, Sensação e Preferência Térmica, Variáveis Ambientais, Variáveis Pessoais, Temperatura do Ar.

ABSTRACT

GOMES, Adriana Dias. **Correlation between Indoor and Outdoor Human Thermal Preferences: A Study of the 55-2004 ASHRAE Standard Method.** 2006. 177 p. Dissertation (Master in Civil Construction) – Graduate Program in Civil Construction. Federal University of Sao Carlos at Sao Carlos, 2006.

Thermal comfort is specifically related to thermal behavior in response to both indoor and outdoor air temperature. Human thermal acceptability to climate changes and its effects depend on several aspects. It relies not only on local climatic conditions, but also on personal traits which can interfere seriously with thermal preferences as well as with someone's mental and physical performance. The combination of these factors determines the human thermal acceptability and the satisfaction degree in relation to a specific environment. The more those conditions vary, the higher the percentage of dissatisfied people with an environment is, due to personal requirements of each person.

Thus, meeting those expectations of thermal comfort, considering people's needs and limitations, has been an important subject of studies in this field highlighting its importance when planning, designing, and constructing a building. Therefore, human thermal preferences and thermal sensations to hot and cold environments are essential information to various activity sectors because comfort and human performances depend directly on environmental thermal conditions. Since architecture, mainly buildings, is intended for humans, it can be said that it should satisfy its occupants, regarding local climate conditions. In order to have this, it's necessary to determine the comfort temperatures in which people develop better their work activities, optimizing their mental, physical, and intellectual well being. This research consists of a theoretical-analytical study of the international large database, compiled by ASHRAE (1997), combining climate conditions with human thermal preferences and sensations. The methodology used by Richard De Dear (1997) in the RP-884 ASHRAE's project was the probit procedure using SAS software, release 8 (SAS Institute, Cary, NC, USA, 1999) to the optimum temperatures obtained, and linear regression to the acceptable comfort limits of the population studied. The comfort limits obtained demonstrate the ratio between occupants comfort temperature and the outdoor temperature, featuring fluctuations of 80% to 90% of thermal acceptability in well-ventilated buildings. The aim of this study is to interpret the method adopted by Richard De Dear (1997) and apply it to the data resulting from the large ASHRAE (2004) Database to understand how the comfort temperatures (optimum temperatures) and the thermal acceptability were obtained for a group of people under predetermined indoor thermal conditions in well-ventilated buildings. The Probit analysis indicates the optimum temperature is 25°C approximated, exactly 0,5 probability responses, that is, 50% interviewees. In the face the obtained results, it's succeeded the Probit analysis applicability has a great efficacy method to binary variable probability study and determination, which points out two interesting situations to research.

Key-words: Thermal Comfort, Thermal Preference and Sensation, Environmental Variables, Personal Variables, Air Temperature.

Sumário

Resumo.....	vii
Abstract.....	viii
Sumário.....	ix
Lista de Tabelas.....	xiii
Lista de Figuras.....	xiv
Lista de Siglas e Abreviaturas.....	xvii
Lista de Equações.....	xx

CAPÍTULO 1

1. Introdução.....	2
1.1 Meio Ambiente, Arquitetura e Homem.....	2
1.2 Objeto de estudo.....	6
1.3 Justificativa.....	6
1.3.1 Contribuições potenciais da pesquisa a nível teórico.....	6
1.3.2 Contribuições potenciais da pesquisa a nível prático.....	7
1.4 Objetivos.....	8
1.4.1 Geral.....	8
1.4.2 Específicos.....	8
1.5 Estrutura do Texto de Defesa.....	8

CAPÍTULO 2

2. Revisão Bibliográfica.....	11
2.1 Estudos Realizados.....	11
2.1.1 Antecedentes Históricos.....	11
2.1.1.1 A pesquisa de <i>Paulo Sá</i>	12
2.1.2 Modelos Teóricos (Estudos Contemporâneos).....	13
2.1.2.1 <i>Fanger</i>	13
2.1.2.2 <i>Humphreys</i>	19
2.1.2.3 <i>Richard De Dear</i>	20
2.1.2.4 <i>Roriz</i>	20
2.2 Percepção Térmica.....	21
2.3 Sensação Térmica.....	23
2.4 Clima, Meio Térmico e Corpo Humano.....	26

2.4.1	Calor.....	27
2.4.2	Processos diretos de trocas de calor.....	28
2.4.2.1	Condução.....	28
2.4.2.2	Convecção.....	28
2.4.2.3	Radiação.....	28
2.4.3	Processos indiretos de trocas de calor.....	29
2.4.3.1	Evaporação.....	29
2.4.3.2	Respiração.....	29
2.5	Regulação Térmica do Corpo Humano.....	29
2.6	Variáveis Ambientais.....	33
2.6.1	Radiação Solar.....	34
2.6.1.1	Incidência da Radiação Solar no Brasil.....	34
2.6.2	Amplitude Térmica.....	35
2.6.3	Temperatura do Ar.....	35
2.6.4	Temperatura de Bulbo Úmido.....	36
2.6.5	Temperatura de Globo.....	36
2.6.6	Temperatura Radiante Média.....	37
2.6.7	Temperatura Operativa.....	38
2.6.8	Umidade Absoluta do Ar.....	38
2.6.9	Umidade Relativa do Ar.....	39
2.6.10	Velocidade do Ar.....	39
2.7	Variáveis Pessoais.....	41
2.7.1	Ciclo Circadiano e Metabolismo (Taxa metabólica).....	41
2.7.2	Hábitos Alimentares.....	46
2.7.3	Adaptação Térmica Humana e Aclimação.....	47
2.7.4	Atividades Exercidas.....	48
2.7.5	Vestimenta.....	50
2.7.6	Sexo.....	53
2.7.7	Idade.....	54
2.7.8	Tipo Físico.....	54
2.7.9	Nível de estresse emocional.....	55
2.8	Conforto Térmico.....	55
2.8.1	Premissas.....	56
2.8.1.1	Equilíbrio térmico do corpo humano.....	56
2.8.1.2	Limites de conforto.....	57
2.8.2	O Conforto Térmico e a saúde do homem.....	59
2.8.3	O Conforto Térmico e a produtividade do homem.....	61
2.8.4	O Conforto Térmico como direito do homem.....	62
2.8.5	O Conforto Térmico como aspecto econômico.....	63
2.8.6	Normatização.....	63
2.8.7	Preferência Térmica.....	64
2.8.8	Votos de conforto e Aceitabilidade Térmica.....	64

2.8.9 Índices de Conforto Térmico.....	65
2.8.10 Zona de Conforto.....	67
2.9 Desconforto Térmico.....	68
2.10 Modelo Estático e Modelo Adaptativo.....	70
2.10.1 O processo adaptativo.....	70

CAPÍTULO 3

3. Material e Método.....	75
3.1 Delimitação do campo da pesquisa.....	75
3.2 Pesquisa Bibliográfica.....	75
3.3 Projeto ASHRAE RP-884 (atualmente, Norma ANSI/ASHRAE 55-2004) e Base de Dados da ASHRAE.....	76
3.3.1 Objetivos do Projeto ASHRAE RP-884.....	78
3.4 Método de análise dos dados e forma de apresentação.....	79
3.4.1 Metodologia de Richard De Dear.....	79
3.4.1.1 Origem dos Dados.....	79
3.4.1.2 Avaliação dos dados submetidos ao RP-884.....	79
3.4.1.3 Padronização dos dados.....	80
3.4.1.4 Dados climatológicos/meteorológicos para a base de dados.....	80
3.4.1.5 Subdivisão dos experimentos de campo padrão.....	81
3.4.1.6 Análise dos dados e unidade de análise para o RP-884.....	81
3.4.1.7 Método de Análise Probit.....	83
3.5 Amostragem e Tratamento estatístico dos dados.....	89
3.6 Plano de Trabalho.....	90

CAPÍTULO 4

4. Aplicação do método e Discussão dos resultados.....	93
4.1 O Método de Análise Probit – Software SAS: Modelos Probit para cada edifício naturalmente ventilado (NV) da Base de Dados do Projeto RP-884.....	93
4.2 Curva de Gauss e Curvas de insatisfeitos por frio e insatisfeitos por calor no procedimento Probit.....	94
4.3 Temperaturas preferidas obtidas na Base de Dados ASHRAE – Edifícios Naturalmente Ventilados (NV).....	97
4.4 Regressão Linear das temperaturas de conforto e temperaturas efetivas médias externas diárias.....	108
4.5 Considerações Finais.....	111
4.6 Sugestões para futuros trabalhos.....	113

BIBLIOGRAFIA.....115

Referências Bibliográficas.....115
Bibliografia Adicional Consultada.....121

ANEXOS.....123

Anexo A: Descrição dos grupos de pesquisa do projeto ASHRAE RP-884.....124
Anexo B: Legenda da Base de Dados RP-884 – Convenções dos códigos e variáveis.....125
Anexo C: Esquema da estrutura da base de dados da ASHRAE.....128
Anexo D: Análise probit (Projeto RP-884) em edifícios naturalmente ventilados (NV).....129
Anexo E: Faixas de aceitabilidade térmica de 80% e 90 % em locais naturalmente ventilados.....131
Anexo F: Porcentagem dos votos de preferência.....132
Anexo G: Resultados da análise probit nos edifícios naturalmente ventilados.....139
Anexo H: Cd com a Base de Dados da ASHRAE e as variáveis utilizadas na pesquisa.....177

Lista de Tabelas

Capítulo 2

Tabela 2.1: Escala do PMV.....	15
Tabela 2.2: Orientação para a escolha do fator de expectativa e para correção do VME em climas quentes.....	17
Tabela 2.3: Escala Sensorial de sete pontos.....	23
Tabela 2.4: Escala de sensações térmicas.....	24
Tabela 2.5: Atividades físicas e respectivas taxas de metabolismo.....	49
Tabela 2.6: Valores de resistência térmica das vestimentas.....	51
Tabela 2.7: Isolamento térmico para peças de roupa.....	52
Tabela 2.8: Limites Confortáveis de Temperatura (Planilhas de Mahoney).....	59
Tabela 2.9: Comparativo entre os intervalos de conforto para atividade sedentária recomendados pelas normas NBR 6401 (1980) e ISO 7730 (1994).....	64
Tabela 2.10: Escala de sete pontos - Preferência Térmica.....	64

Capítulo 3

Tabela 3.1: Escalas comumente usadas na avaliação de pesquisas de campo em conforto.....	82
Tabela 3.2: Escala de sensação correlacionada com a de preferência.....	90

Anexos

Tabela 1: Descrição dos grupos de pesquisa do projeto ASHRAE RP-884.....	124
Tabela 2: Legenda da Base de Dados RP-884 – Convenções dos códigos e variáveis.....	125
Tabela 3: Porcentagem de cada voto na temperatura correspondente para cada edifício Naturalmente Ventilado (NV) analisado.....	132
Tabela 4: Análise proibit e respectivos resultados de cada edifício Naturalmente Ventilado (NV).....	139

Lista de Figuras

Capítulo 1

Figura 1.1: Mapeamento Climático Global.....	5
-----------------------------------------------------	---

Capítulo 2

Figura 2.1: Diagrama de Conforto de Fanger.....	14
Figura 2.2: Escalas de valores do PMV e PPD.....	15
Figura 2.3: Assimetria da temperatura do ar em ambientes pouco ventilados.....	25
Figura 2.4: Relação entre a regulação térmica do corpo humano e as sensações térmicas do homem	33
Figura 2.5: Diagrama Psicrométrico (Umidade/Temperatura).....	36
Figura 2.6: Termômetro de globo.....	37
Figura 2.7: Psicômetro.....	39
Figura 2.8: Relação entre velocidade do vento, temperatura do ar e sensações térmicas.....	40
Figura 2.9: Termômetro de Kata utilizado nos trabalhos de campo.....	41
Figura 2.10: O Mecanismo do sono no cérebro.....	42
Figura 2.11: Representação esquemática do processo metabólico.....	44
Figura 2.12: Valores médios do metabolismo em função da atividade exercida.....	45
Figura 2.13: Relação entre temperatura do ar, atividade exercida e sensação térmica do homem	49
Figura 2.14: Área corporal em função da altura e do peso.....	54
Figura 2.15: Equilíbrio energético do corpo humano – primeira condição para o conforto térmico	57
Figura 2.16: Relação entre a frequência de acidentes e o rendimento.....	59
Figura 2.17: Histograma dos votos de conforto aceitáveis em função da temperatura de globo....	65
Figura 2.18: Zona de Conforto.....	68
Figura 2.19: Assimetria de temperatura do corpo humano em relação ao efeito da velocidade do ar	69
Figura 2.20: Relação entre o voto médio estimado e a porcentagem de insatisfeitos em função do PMV.....	70
Figura 2.21: Os três componentes da adaptação ao clima interno.....	71
Figura 2.22: Mecanismo Comportamental.....	72
Figura 2.23: Mecanismo Fisiológico.....	72
Figura 2.24: Mecanismo Psicológico.....	73

Capítulo 3

Figura 3.1: Origem geográfica das contribuições de dados para a base de dados mundial RP-884 de pesquisa de campo em conforto térmico.....	77
Figura 3.2: A homepage para o RP-884 na Internet.....	78
Figura 3.3: Modelo Probit.....	84
Figura 3.4: Curva Normal acumulada.....	84
Figura 3.5: Curva Normal acumulada inversa.....	84
Figura 3.6: Curva de distribuição do Qui-Quadrado.....	88

Capítulo 4

Figura 4.1: Curva de Gauss.....	94
Figura 4.2: Área da Curva de Gauss dividida em trapézios.....	95
Figura 4.3: Curvas de insatisfeitos por frio e insatisfeitos por calor.....	96
Figura 4.4: Planilha 4, edifício 3.....	97
Figura 4.5: Planilha 4, edifício 4.....	97
Figura 4.6: Planilha 12, edifício 1.....	97
Figura 4.7: Planilha 12, edifício 2.....	98
Figura 4.8: Planilha 12, edifício 3.....	98
Figura 4.9: Planilha 12, edifício 4.....	98
Figura 4.10: Planilha 12, edifício 5.....	99
Figura 4.11: Planilha 16, edifício 1.....	99
Figura 4.12: Planilha 16, edifício 2.....	99
Figura 4.13: Planilha 19, edifício 1.....	100
Figura 4.14: Planilha 20, edifício 2.....	100
Figura 4.15: Planilha 21, edifício 3.....	100
Figura 4.16: Planilha 22, edifício 3.....	101
Figura 4.17: Planilha 23, edifício 4.....	101
Figura 4.18: Planilha 24, edifício 4.....	101
Figura 4.19: Planilha 25, edifício 5.....	102
Figura 4.20: Planilha 27, edifício 1.....	102
Figura 4.21: Planilha 27, edifício 3.....	102
Figura 4.22: Planilha 27, edifício 4.....	103
Figura 4.23: Planilha 27, edifício 5.....	103
Figura 4.24: Planilha 27, edifício 6.....	103
Figura 4.25: Planilha 28, edifício 1.....	104
Figura 4.26: Planilha 28, edifício 2.....	104
Figura 4.27: Planilha 28, edifício 3.....	104
Figura 4.28: Planilha 33, edifício 1.....	105
Figura 4.29: Planilha 33, edifício 5.....	105

Figura 4.30: Planilha 33, edifício 6.....	105
Figura 4.31: Planilha 35, edifício 1.....	106
Figura 4.32: Planilha 35, edifício 5.....	106
Figura 4.33: Planilha 35, edifício 6.....	106
Figura 4.34: Regressão Linear entre as Temperaturas preferidas obtidas na pesquisa e a Temperatura Efetiva média diária externa.....	109
Figura 4.35: Regressão Linear entre as Temperaturas preferidas obtidas por Richard De Dear (1997) e a Temperatura Efetiva média diária externa.....	110
Figura 4.36: Comparação entre a regressão linear obtida na pesquisa e a regressão linear obtida pelo pesquisador Richard De Dear (1997).....	111

Anexos

Figura 1: Esquema da estrutura da base de dados da ASHRAE.....	128
Figura 2: Análise probit (Projeto RP-884) em edifícios Naturalmente Ventilados (NV).....	129
Figura 3: A otimização e os limites da zona adaptativa de conforto para um nível de aceitabilidade de 80% em locais naturalmente ventilados.....	131
Figura 4: A otimização e os limites da zona adaptativa de conforto para um nível de aceitabilidade de 90% em locais naturalmente ventilados.....	131

Lista de Siglas e Abreviaturas

SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers – Sociedade Americana de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado

ASHVE – American Society of Heating and Ventilation Engineers – Sociedade Americana de Aquecimento e Ventilação

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

ISO – International Organization for Standardization – Organização Internacional de Normatização.

ABREVIATURAS

ADu (Área de DuBois) – Área de superfície corporal do corpo humano (m^2), determinada em função da massa e da altura de uma pessoa, expressa em m^2

ASH – Denominação utilizada nesta pesquisa para a sensação térmica real relatada pelas pessoas entrevistadas, através de votos adotados em uma escala de sete pontos, com variação de +3 (muito quente) até -3 (muito frio), e voto médio correspondente ao valor 0 (conforto térmico ou neutralidade térmica)

C – Perda de calor sensível por convecção pela pele (W/m^2)

C_{res} – Perda de calor sensível por convecção pela respiração (W/m^2)

dayav_{et} – Temperatura efetiva média diária externa ($^{\circ}C$)

E_{dp} – Perda de calor latente por difusão de suor pela pele (W/m^2)

E_{ep} – Perda de calor latente por evaporação de suor pela pele (W/m^2)

E_{res} – Perda de calor latente por evaporação através da respiração (W/m^2)

f_{cl} – Fator de área de vestimenta

I_{cl} – Índice de Resistência Térmica de Vestimenta (expresso em m²K/W ou pela unidade clo = 0.155 m²°C/W)

I – Altura do corpo (m)

m – Massa do corpo (kg)

M – Taxa metabólica de produção de calor pelo organismo, em função da atividade exercida (expressa em W/m²) (unidade: met = 58.15 W/m²)

MCI – Denominação utilizada nesta pesquisa para a preferência térmica relatada pelas pessoas entrevistadas, através de votos adotados em uma escala de três pontos, com variação de 1 (prefere mais frio), 2 (neutralidade térmica) e 3 (prefere mais quente)

η – Eficiência mecânica externa do corpo

PA – Pressão de vapor d'água no ambiente (mmHg)

PVS – Pressão de Vapor Saturante (mmHg)

PMV – Predicted Mean Vote = **VME** – Voto Médio Estimado. Sensação analítica de conforto

PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied = **PPI** – Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas

Q_p – Total das perdas de calor através da pele (W/m²)

Q_{res} – Total das perdas de calor através da respiração (W/m²)

R – Perda de calor sensível por radiação pela pele (W/m²)

SET – Standard Effective Temperature (Temperatura Efetiva Padrão)

TA – Temperatura do ar ambiente (°C), também conhecida como **TBS** – Temperatura de Bulbo Seco (°C)

TBU – Temperatura de Bulbo Úmido (°C)

T_c – Temperatura de conforto (°C)

t_{cl} – Temperatura superficial média da vestimenta (°C)

T_{em} – Temperatura externa média (°C)

TG – Temperatura de Globo (°C)

T_i – Temperatura interna média (°C)

t_{mp} – Temperatura média da pele (°C)

T_n – Temperatura neutra (°C)

TO – Temperatura Operativa (°C)

TRM – Temperatura Radiante Média (°C)

UR – Umidade Relativa do Ar (%)

V – Velocidade do Ar (m/s)

W – Trabalho muscular ou eficiência mecânica (W/m²)

Lista de Equações

Capítulo 2

Equação 2.1: Equação de Conforto.....	14
Equação 2.2: Equação do PMV.....	16
Equação 2.3: Equação do PPD.....	18
Equação 2.4: Relação entre temperatura interna de conforto e temperatura interna média.....	19
Equação 2.5: Relação entre temperatura interna de conforto e temperatura externa média.....	19
Equação 2.6: Temperatura Radiante Média.....	38
Equação 2.7: Temperatura Operativa.....	38
Equação 2.8: Área de superfície corporal (DuBois).....	55
Equação 2.9: Equação de balanço térmico.....	56

Capítulo 3

Equação 3.1: Equação que representa o modelo de análise probit.....	85
Equação 3.2: Equação da função ϕ	85
Equação 3.3: Equação de probabilidades acumuladas para cada temperatura.....	86
Equação 3.4: Equação do Teste Qui-Quadrado.....	87

CAPÍTULO 1

Introdução

1. Introdução

1.1 Meio Ambiente, Arquitetura e Homem

As condições térmicas do meio exercem grande importância nas edificações. Os parâmetros físico-químicos variam de acordo com a função de cada espaço ou do local em que está inserido o edifício. Soluções arquitetônicas de climas totalmente diferentes em quase nada se assemelham, resultado das condições térmicas específicas de cada meio urbano. O condicionamento térmico natural estuda métodos para que o espaço apresente as condições térmicas adequadas ao organismo humano. O meio, o homem e a envolvente representam os três primeiros elementos principais neste processo, cujas inter-relações entre si se dão pelos princípios da transmissão de calor.

A orientação, a forma e a disposição dos volumes, bem como a utilização racional dos materiais de construção facilita o processo de transmissão de calor, atribuindo à envolvente grande influência na obtenção do conforto térmico do homem através do controle das variações físicas e químicas do meio (RIVERO, 1986). A relação entre meio ambiente, arquitetura e o homem resulta em trocas de calor que favorecem ou não o conforto térmico humano. O termo “conforto térmico” abrange muitos aspectos do comportamento térmico subjetivo, ou seja, de cada indivíduo, na sua relação com os climas interno e externo, e outros fatores contextuais.

O conhecimento das sensações e preferências térmicas humanas, que são avaliadas pela forma como o homem se sente em relação ao clima de determinado ambiente, e como gostaria de se sentir, respectivamente, é de significativa importância ao alcance de estratégias para a melhoria térmica dos ambientes, de forma a adequá-los às necessidades do homem, visto que a intensidade e o rigor das condições climáticas podem causar desconforto no seu organismo. Desta forma, determinar as relações entre temperaturas do ar exterior e temperaturas de conforto do usuário representa uma necessidade ao processo de otimização do conforto térmico em edificações. Para isto é preciso, antes de tudo, conhecer os parâmetros considerados na determinação das sensações e preferências térmicas humanas. Existem duas correntes de pensamento para a avaliação e definição das condições de conforto – analítica (também denominada racional) e adaptativa, cujas diferenciações são descritas a seguir:

- A corrente analítica ou racional considera que pessoas de qualquer localidade devem ter as mesmas preferências térmicas, por serem biologicamente iguais, considerando a influência que os parâmetros individuais (tipo físico, vestimenta e taxa metabólica) e os parâmetros ambientais (temperatura radiante média, temperatura, umidade e velocidade do ar) exercem na preferência térmica das pessoas. P. O. Fanger¹ é o principal representante desta linha, com pesquisas aprofundadas, na Dinamarca e nos Estados Unidos, acerca da avaliação das sensações térmicas e do equacionamento para sua quantificação. Com o uso de câmaras climatizadas, o pesquisador controlou as variáveis ambientais, e pôde monitorar e avaliar as respostas de determinados grupos de pessoas,

¹ P. O. Fanger, pesquisador dinamarquês, autor de estudos em conforto térmico. Autor do método PMV (Predicted Mean Vote) ou VME (Voto Médio Estimado) para a avaliação das sensações térmicas do homem.

através de questionários específicos sobre as respectivas sensações térmicas mediante determinadas condições climáticas.

- O pressuposto de que o homem não é passivo diante das condições térmicas do ambiente, mas utiliza mecanismos para buscar o conforto térmico, de acordo com resultados de pesquisas experimentais, é uma das razões que contribuíram para o surgimento da corrente chamada adaptativa. “Se uma mudança ocorre de forma a produzir o desconforto, as pessoas reagem de maneira a tentar restaurar o conforto” (NICOL & HUMPHREYS, 2001). A corrente adaptativa baseia-se na teoria de que, na ocorrência de uma condição ambiental qualquer que provoque algum desconforto, as pessoas tendem a tomar providências capazes de restabelecer as condições confortáveis. Essas medidas vão de mudanças no comportamento (agasalhar-se ou despir-se), ao uso de equipamentos elétricos que possam reverter o quadro de desconforto térmico. Ao exposto deve-se agregar a aclimatação, que é a adaptação do homem ao meio térmico e representa fator importante no processo adaptativo, conceituada mais adiante, no capítulo 2.

Por meio da observação dos hábitos das pessoas, se pode constatar que existe uma relação de medidas tomadas pelo homem para se proteger do frio ou calor excessivos. A exemplo, o acionamento de aparelhos refrigeradores ou calefadores, o uso de roupas coerentes com o rigor climático local, o abrir ou fechar de aberturas – portas e janelas, parece esclarecer a hipótese de idiosincrasias na determinação de sensações térmicas de cada pessoa e de possíveis alterações térmicas diferenciadas em cada período do dia. A isto se denomina oportunidade adaptativa, na qual as pessoas respondem às condições térmicas indesejadas com a adoção de medidas que proporcionem condições de conforto.

Assim sendo, a avaliação qualitativa e quantitativa das condições térmicas de um ambiente determina o grau de satisfação/insatisfação térmica humana. As sensações térmicas humanas, segundo Fanger (1970), podem ser definidas a partir da exposição do homem a valores de temperatura, velocidade e umidade do ar e temperatura radiante média – Variáveis Ambientais, sob determinada vestimenta (isolamento térmico) e atividade física exercida (taxa de metabolismo) – Variáveis Pessoais. Estes são os dois grupos de variáveis que mais influenciam no conforto térmico do ser humano.

A suscetibilidade do homem às condições ambientais adversas (por calor ou frio), varia conforme a região ou outros fatores tais como a própria subjetividade das variáveis pessoais, inerentes a cada indivíduo. Outros aspectos como a cultura do local, incluindo neste aspecto os hábitos alimentares da região, a herança genética e até mesmo os fatores psicológicos, como as expectativas térmicas do homem em relação ao ambiente, também exercem influência nas sensações e preferências térmicas humanas.

Sabendo que o desempenho humano depende muito da situação térmica fornecida pelo ambiente, conclui-se que o edifício deve atender satisfatoriamente ao usuário, dentro das condições climáticas locais. Portanto, é necessário conhecer as temperaturas de conforto nas quais o homem melhor desenvolve suas atividades de trabalho e tem maior bem-estar físico, intelectual e mental. Porém, não é suficiente conhecer o comportamento térmico dos componentes construtivos para conhecer o comportamento térmico do homem. Neste processo, estão inerentes os fatores inter-

relacionados que fazem com que o homem reaja ao calor ou ao frio de maneiras diferentes, devido a aspectos biológicos de cada corpo.

As alterações climáticas ocorridas durante o dia se somam às alterações metabólicas do organismo humano, dando origem a uma nova e complexa cadeia de intercâmbios térmicos, pela enorme quantidade de variáveis envolvidas. Desta forma, para atingir um nível considerável de conforto térmico em um ambiente ou traçar diretrizes neste propósito, se faz necessário o conhecimento das sensações do homem, levando em conta as necessidades e tolerâncias humanas às condições térmicas, como parâmetro de avaliação e método para o planejamento otimizado das edificações.

Hoje em dia, a grande falta de atenção dos profissionais de projeto de edificações em relação ao conforto térmico refere-se, em parte, ao crescente progresso tecnológico que o faz ‘esquecer’ dos recursos disponíveis em abundância na natureza e de utilizá-los nos edifícios, a favor do conforto térmico do homem, principalmente diante da grande permanência do homem na edificação. “É comum estimar que a população de países economicamente desenvolvidos passe no mínimo 80% de seu tempo em ambientes internos” (DE DEAR, BRAGER e COOPER, 1997).

Do ponto de vista da humanização na arquitetura, considerando que a maioria dos ambientes internos tem refrigeração artificial, pode-se concluir que esta permanência pode implicar em alterações na saúde do usuário, uma vez que ambientes internos naturalmente ventilados são mais favoráveis ao desempenho do homem. Isto deveria alertar para uma crescente preocupação com o bem-estar humano, tanto por parte da sociedade, quanto dos profissionais na construção civil.

Humanizar é resgatar a importância dos aspectos emocionais, indissociáveis dos aspectos físicos na intervenção em saúde. Humanizar é aceitar esta necessidade de resgate e articulação dos aspectos subjetivos, indissociáveis dos aspectos físicos e biológicos. Mais do que isso, humanizar é adotar uma prática em que profissionais e usuários considerem o conjunto dos aspectos físicos, subjetivos e sociais que compõem o atendimento à saúde. Humanizar refere-se, portanto, à possibilidade de assumir uma postura ética de respeito ao outro, de acolhimento do desconhecido e de reconhecimento dos limites (BRASIL, 2001).

Ao exposto, deve-se agregar outro aspecto que vem aumentando a preocupação dos pesquisadores da área e direcionando a pesquisa científica para estudos do conforto térmico do homem; trata-se do aquecimento global, cujo aumento vem sendo significativo a cada ano. Desconfiados de que a Terra esteja cada vez mais quente, pesquisadores dos Estados Unidos têm monitorado as temperaturas anuais e constataram que 2004 foi, sem dúvida, o ano mais quente do século. De acordo com a Nasa, agência espacial norte-americana, a temperatura global teve suas quatro maiores médias, em 1998, 2002, 2003 e 2004 (AGÊNCIA FAPESP, 2005) (Figura 1.1).

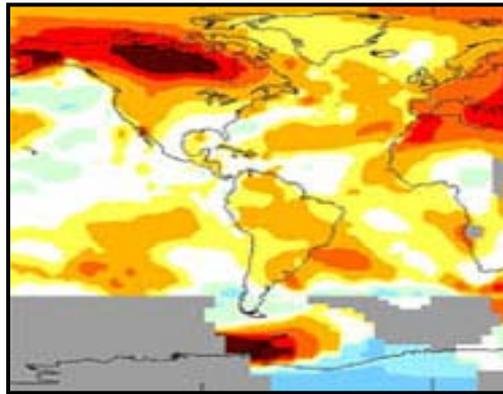


Figura 1.1: Mapeamento Climático Global.
Fonte: Adaptado de AGÊNCIA FAPESP, 2005.

A pesquisa, comandada por Makiko Sato e James Hansen, do Instituto Goddard para Estudos Espaciais, mostrou um aumento de $0,48^{\circ}\text{C}$ na temperatura média em 2004, entre as normais climatológicas de 1951 e 1980. Para os resultados, os cientistas analisaram as temperaturas médias obtidas, a princípio diariamente e depois anualmente, em um grande número de pontos espalhados em todo o planeta. As temperaturas foram medidas em terra e na superfície de oceanos, através de estações terrestres e satélites.

De acordo com os pesquisadores, o aquecimento global deve fazer com que os próximos anos tenham temperatura média ainda maior. Apesar de considerarem os fenômenos naturais, que provocam alterações climáticas no planeta (a exemplo do El Niño, que espalha águas quentes pelo Oceano Pacífico, ajudando a temperatura global a atingir seu recorde em 1998) os pesquisadores da Nasa ressaltam o prejuízo decorrente da poluição feita pelo homem no impacto climático global. “Tem havido uma forte tendência de aquecimento nos últimos 30 anos, uma tendência cujos motivos têm sido mostrados como derivados primordialmente do aumento na atmosfera de gases que provocam o efeito estufa”, relatam os autores. Estas alterações climáticas têm forte efeito sobre o homem, resultando em prejuízos ao seu conforto térmico, não apenas em condições climáticas quentes, mas também em localidades de baixas temperaturas.

A partir de uma revisão bibliográfica, pode-se supor que as pessoas tenham sensações e preferências térmicas distintas, e que possam ser mutáveis ao longo das horas do dia mediante a alteração da temperatura do ar. A temperatura que uma pessoa prefere ao meio dia possivelmente não será a mesma preferida à meia noite. Então, uma temperatura aceita como confortável nas horas da tarde pode ser considerada insuportável se vier a acontecer durante a madrugada (RORIZ, 2003).

Isto pode acontecer devido a vários fatores, entre eles a variação biológica do organismo humano e alterações no metabolismo, que tende a cair durante o sono. Todo o processo desta possível constatação parece óbvio. Porém, como as variáveis intervenientes são muitas, o que parece óbvio é mais complexo do que se imagina. Durante décadas se acreditou que o homem é um receptor passivo das condições climáticas. Esta teoria foi reforçada pelo conceito de que, segundo Fanger (1970), pela constituição biológica semelhante e sob mesmas condições climáticas, o ser

humano tem sensações térmicas iguais em qualquer ponto do planeta e provavelmente imutáveis com o passar das horas do dia.

Graças a estas abordagens climáticas, o problema ambiental vem ganhando novos objetivos e diretrizes, principalmente por ser o Brasil um país que até há pouco tempo não dava importância à possibilidade de extinção dos recursos naturais, em face da abundância existente. Assim, não considerava a prevenção uma das atitudes emergenciais em favor de suas reservas naturais, muito menos investia em campanhas de conscientização pelo meio ambiente e sequer fazia uso destes recursos em prol da melhoria de seus edifícios.

Esta pesquisa aborda o estudo das preferências térmicas humanas e sua relevância dentro das aplicações climáticas, que resulta em interesse não só para as atividades de trabalho, mas também para o turismo e a saúde pública. Através da interpretação da metodologia utilizada pelo pesquisador Richard De Dear, analisou-se os efeitos da temperatura do ar nas preferências térmicas do homem, quando submetido a determinadas condições térmicas. Tais efeitos podem receber a influência da sensibilidade, suscetibilidade e subjetividade de cada pessoa. Este é o ponto central desta discussão, que objetiva obter conclusões no que tange as preferências térmicas do homem frente a condições climáticas específicas.

1.2 Objeto de Estudo

O objeto de estudo desta pesquisa consiste na ampla Base de Dados da ASHRAE (1997) resultante do projeto ASHRAE RP-884, hoje Norma ASHRAE 55-2004. Este projeto foi baseado na abordagem adaptativa – relações adaptativas entre conforto interno humano e clima externo.

1.3 Justificativa

Seguem abaixo algumas contribuições teóricas e práticas deste estudo, as quais justificam ainda mais a realização desta pesquisa.

1.3.1 Contribuições potenciais da pesquisa a nível teórico

- **Conhecimento de outras abordagens diferentes da visão e do modelo de Fanger:** A literatura mostra estudos realizados, em sua grande maioria, que seguem os resultados das pesquisas de Fanger, os quais consideram a sensação humana ao calor e ao frio semelhante em qualquer parte do globo terrestre. Estes estudos não consideram os aspectos geográficos na análise das sensações térmicas humanas. Contudo, se trata de um aspecto de suma importância, uma vez que as condições climáticas diferem de uma região para outra. Diante deste fato, esta pesquisa ressalta a importância de outras abordagens que diferem daquela utilizada por Fanger. Como exemplo, a metodologia utilizada por Richard De Dear no RP-884, que utilizou a hipótese adaptativa como interveniente na percepção e preferência térmica. As respostas comportamentais a determinadas

condições térmicas e os ajustes necessários ao conforto térmico do homem representam importantes fatores na abordagem adaptativa.

- **Disseminação do Projeto ASHRAE RP-884 e da Base de Dados da ASHRAE:**

Pela primeira vez a ASHRAE leva em conta o modelo adaptativo e as condições externas para definir o clima interno. Por este motivo, esta base de dados, que ainda é pouco divulgada no campo da pesquisa científica, precisa ser de maior conhecimento aos pesquisadores da área de conforto térmico. Assim sendo, este trabalho também tem o propósito de contribuir para a disseminação desta Base, além dos objetivos traçados pela pesquisa.

1.3.2 Contribuições potenciais da pesquisa a nível prático

- **Aumento da produtividade humana:** É comprovado o quanto um ambiente termicamente desconfortável pode ser prejudicial ao bom desempenho do homem nas suas atividades de trabalho, causando reações indesejadas e inadequadas, tais como fadiga, cansaço e estresse térmico. É sabido que a produtividade do homem está relacionada a fatores de várias espécies. Ressaltam-se neste estudo as condições do meio térmico. Estas condições, relacionadas com as condições do corpo humano, produzem uma faixa de conforto aceitável pelo corpo humano, o que possibilita avaliar a produtividade humana, e quando necessário, contribuir para a melhoria do espaço habitado pelo homem.

- **Redução do consumo de energia:** Dentro de todos os parâmetros considerados no planejamento arquitetônico, a eficiência energética representa um dos mais importantes. Tanto quanto a forma e função, a estrutura, a estética, o contexto cultural e sócio-econômico, a eficiência energética tem sua importância centrada, principalmente, no conforto térmico do usuário. Por isto, o aspecto economia, a nível individual ou coletivo, é parte relevante do contexto em que este fator se insere. A preocupação com a possibilidade futura de escassez hídrica representa o alerta necessário para o uso racional da energia e, como consequência, à redução do seu consumo. Neste sentido, tentativas de se obter diretrizes para a redução do consumo energético são plausíveis, na intenção de propor a melhoria do espaço habitado pelo homem. Os sistemas artificiais de condicionamento de ar nem sempre são indispensáveis. São as peculiaridades locais do clima e o contexto de cada espaço que definem a necessidade deste uso. Em condições climáticas favoráveis, ou seja, com níveis de ventilação satisfatórios, estes sistemas são desnecessários.

O ponto central da discussão sobre o conforto térmico é, e aí intervêm o trabalho e a responsabilidade do arquiteto e profissionais da área da Construção Civil, reconhecer as potencialidades do espaço e saber que a eficiência energética vai muito além de eliminar qualquer possibilidade de utilização de sistemas artificiais de iluminação ou condicionamento de ar. A eficiência energética se traduz pela maneira correta do uso dos recursos, sejam eles naturais ou

artificiais, necessários ao bom desempenho térmico do edifício e conseqüentemente, ao conforto térmico do usuário.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é interpretar o método adotado por Richard De Dear (1997) e aplicá-lo nos dados obtidos na ampla Base de Dados da ASHRAE (2004), com o objetivo de verificar as temperaturas de conforto preferidas e a aceitabilidade térmica de pessoas submetidas a determinadas condições térmicas internas, em ambientes naturalmente ventilados. É legítimo o objetivo desta pesquisa, na intenção de disseminar as variáveis consideradas no projeto ASHRAE RP-884 e a ampla base de dados resultante deste, bem como observar a aplicabilidade do método adotado por De Dear em estudos de campo em conforto térmico.

O conhecimento dos parâmetros térmicos para a elaboração de diretrizes de projeto, bem como dos limites térmicos aceitáveis pela maior parte das pessoas de determinado clima, pode possibilitar a simulação de intervenções nos ambientes, seja na fase de projeto ou de pós-ocupação, com o fim de colaborar para o processo de tomada de decisão para a melhoria das condições térmicas dos ambientes, principalmente nos locais de trabalho, onde a perda de produtividade por condições térmicas indesejáveis é mais freqüente.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar as variáveis ambientais e individuais que exercem maior influência na determinação das Zonas de Conforto;
- Interpretar o procedimento estatístico de análise probit adotado por Richard De Dear para a determinação da temperatura ideal de conforto (temperatura preferida), que definiu as faixas de aceitabilidade térmica para 80% e 90% das pessoas, com os valores máximo e mínimo de temperatura, em ambientes naturalmente ventilados;
- Verificar as temperaturas obtidas no Projeto RP-884, por meio da aplicação do método de análise probit adotado por Richard De Dear, nos dados obtidos na Base de Dados do projeto ASHRAE RP-884.

1.5 Estrutura do Texto de Defesa

Este capítulo introdutório descreve um panorama geral da importância do Conforto Térmico nas edificações, o objeto de estudo, a justificativa, os objetivos e a estrutura do texto apresentado. A seguir, no capítulo 2, **Revisão Bibliográfica**, são apresentados alguns estudos realizados na área, bem como os conceitos principais inerentes ao objeto de estudo, tais como percepção térmica, sensações térmicas, escalas sensoriais, processos de trocas térmicas, regulação térmica do corpo humano, variáveis ambientais e pessoais intervenientes no processo de verificação

das condições térmicas do homem, conforto térmico, preferências térmicas, índices de conforto térmico e zona de conforto. Mostram-se também neste capítulo os conceitos de modelo estático e modelo adaptativo, bem como os fatores intrínsecos ao processo e à hipótese adaptativos, completando o embasamento teórico para a pesquisa proposta.

O capítulo 3, **Material e Método**, apresenta a metodologia adotada, o material e método utilizados para se obter os resultados desta pesquisa, bem como os procedimentos estatísticos necessários para o tratamento dos dados analisados. O capítulo 4, **Aplicação do método e Discussão dos resultados**, apresenta a discussão dos resultados obtidos no andamento da pesquisa. São discutidos os dados necessários à análise do Conforto Térmico na referida pesquisa. O capítulo 5, **Considerações Finais**, apresenta as considerações finais obtidas na pesquisa, retratando as discussões levantadas durante sua execução. A **Bibliografia** utilizada no escopo desta pesquisa se encontra no capítulo seguinte e se divide em **Referências Bibliográficas e Bibliografia Adicional Consultada**. Finalmente, nos **Anexos**, divididos em Anexo A, Anexo B, Anexo C, Anexo D, Anexo E, Anexo F, Anexo G e Anexo H encontram-se informações complementares ao desenvolvimento e à conclusão da pesquisa.

CAPÍTULO 2

Revisão Bibliográfica

2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo são apresentadas algumas pesquisas realizadas sobre o objeto de estudo deste trabalho, bem como conceitos, publicações e citações acerca do assunto abordado.

2.1 Estudos realizados

2.1.1 Antecedentes Históricos

As tentativas de se obter o bem estar físico, psicológico e fisiológico do homem vêm ocorrendo desde os tempos mais remotos. Há indícios de que no século I AC, Vitruvius já escrevia sobre a importância do clima nas construções, por muitas razões, entre elas, saúde e conforto térmico e ressaltava:

Ora, se é verdade que a diversidade das regiões, dependem do aspecto do céu, efeitos diferentes sobre as pessoas que aí nascem, que são de um tipo diferente, tanto no que concerne à estrutura do corpo como na forma do espírito, está fora de dúvida que é uma escolha de grande importância a adequação dos edifícios à natureza e ao clima de cada região, o que não é difícil, posto que a natureza nos ensina a maneira que devemos seguir (VITRÚVIO, 1982).

Por volta do século IV AC (400 AC) Hipócrates e Sócrates, através de uma descrição do clima em termos de temperatura, umidade, ventos e radiação, analisavam a adequação climática das edificações, relacionando-a com o conforto térmico do homem (WEBB, 1959). Por volta dos séculos dezessete e dezoito, já se media a combinação e relação das variáveis ambientais. Porém, as conclusões obtidas para sua relevância em ambientes internos foram consideradas evasivas (WATSON, 1979, citado por ARAÚJO, 2001). Os estudos do conforto térmico tiveram suas primeiras realizações no século XIX na Europa, em função de sérios problemas de saúde para os trabalhadores da mineração e da indústria têxtil, ocasionados em grande parte pelas condições insalubres e inadequadas dos locais de trabalho (KOENIGSBERGER et al., 1977). Os primeiros modelos eram bastante simplificados, em função da precariedade de meios para analisar o grande número de variáveis intrínsecas à determinação da zona de conforto térmico.

A grande preocupação científica do homem com o seu conforto térmico é muito antiga. Numa obra escrita por Walter Bernan, publicada em 1845, *History and Art of Warming and Ventilation Rooms and Buildings*, o autor já previa que a criação e o controle de ambientes climatizados artificialmente assumiriam a dimensão de uma ciência que contribuiria para o desenvolvimento da humanidade, preservação da saúde e longevidade do ser humano (RUAS, 1999). Ainda assim, estes estudos não tiveram a devida importância até a Revolução Industrial. Esta importância só começou a ser reconhecida no início do século XX, com o advento da industrialização (quando as condições ambientais passaram a ser consideradas importantes para o desenvolvimento do trabalho, em relação à saúde e à produtividade) e da computação (quando pesquisadores da Europa e dos Estados Unidos conseguiram elaborar modelos que consideravam grande parte das variáveis envolvidas no processo).

As primeiras iniciativas foram tomadas pelo Conselho de Pesquisa de Fadiga Industrial, no Reino Unido, em 1920 (BEDALE, 1924), e a partir da segunda guerra mundial, diversos pesquisadores deram continuidade a esses estudos, como Wyndham (1970), Fanger (1970), Givoni e Goldman (1972 e 1973), Stolwijk e Hardy (1977), Nishi e Gagge (1977) e Edholm (1978), dentre outros. Após 1930, houve uma crescente preocupação com os níveis de conforto térmico como proteção à saúde e ao bem estar humanos, quando a quantidade de experimentos realizada com o objetivo de identificar valores de interação térmica entre o corpo humano e o meio ambiente se apresenta bastante considerável. De um modo geral, no Brasil e na Europa, os estudos e pesquisas realizados nesta área foram basicamente desenvolvidos por higienistas, que as direcionavam às condições de trabalho, como proteção à saúde.

Sob a mesma influência destes profissionais, considerados pioneiros neste campo de pesquisa, o estudo do conforto térmico na arquitetura foi decorrente da “higiene das construções”, denominação estabelecida nos cursos de Arquitetura e Urbanismo do país até 1995, quando passou a denominar-se “Conforto Ambiental” – (térmico, acústico e luminoso) (ARAÚJO, 2001). Segundo Scarazzato (1988), no Brasil as primeiras e principais referências de estudos sobre índices térmicos de que se tem conhecimento, se referem aos trabalhos dos higienistas Sá (1938) e Ribeiro (1945). Esta pesquisa enfatiza os estudos de Sá, em especial acerca de uma pesquisa no Rio de Janeiro, cuja analogia com a metodologia utilizada na época se assemelha a uma aproximação do modelo adaptativo, bastante difundido e utilizado atualmente.

2.1.1.1 A pesquisa de Paulo Sá

Paulo Sá, engenheiro e diretor da divisão de Indústria de Construção, do Instituto Nacional de Tecnologia do Rio de Janeiro, foi um dos precursores dos estudos em Conforto Térmico no Brasil (LABAKI E OLIVEIRA, 2003). Estas autoras ressaltam a importância nas pesquisas de SÁ, nas quais buscava, por meio de refrigeração ativa, um índice de resfriamento para a cidade do Rio de Janeiro, resultando desta forma na temperatura ideal de conforto térmico. Sabendo da importância e necessidade de reduzir a refrigeração utilizada pela maioria das edificações para atingir um grau de conforto térmico, SÁ já utilizava a adaptação térmica e as variáveis pessoais do homem como premissa do seu estudo. Nas suas abordagens sobre o comportamento térmico humano, o autor considerava a peculiaridade das raças, locais, hábitos e cultura que diferencia cada um dos habitantes.

Sá (1938) fez uma análise sobre os índices de conforto térmico, com o fim de detectar aquele que melhor atenderia à relação ambiente / usuário e em que valor a sensação de conforto seria satisfatória para o usuário, ou seja, o autor abordou a questão do conforto térmico objetivando verificar qual índice proposto até o momento apresentava as influências do ambiente sobre as pessoas e determinar em quais valores tal índice correspondia à situação otimizada. O autor ressaltava, citado por Araújo (2001): “[...] pareceu-nos pois, necessário e oportuno procurar desde logo a solução do nosso problema, ao invés de importar soluções estrangeiras, mesmo empiricamente adaptadas às nossas presumíveis condições”.

[...] num mesmo país e para um mesmo povo, diversa será a maneira de agir quando submetido aos mesmos fatores influentes... a ação dos ambientes varia tanto de país para país, de indivíduo para indivíduo, de ocasião para ocasião... o ambiente confortável para uns será inadequado para outros... para compensar as divergências individuais, necessário se torna, então, acumular uns números grandes de observações, estudando em larga escala a maneira como diferentes indivíduos reagem às condições diversas do ambiente [...] (SÁ, 1938).

2.1.2 Modelos Teóricos (Estudos Contemporâneos)

A produção científica atual possui uma vasta literatura sobre estudos em Conforto Térmico. A maioria destes estudos analisa o comportamento térmico humano, nas atividades de trabalho e diante de condições climáticas específicas. Muitos dos problemas encontrados no que tange ao conforto térmico do homem se devem à utilização inadequada dos recursos naturais nas edificações. Quando estes não são corretamente utilizados, a tendência do homem se sentir desconfortável no ambiente aumenta, seja pelo calor excessivo (no caso do não uso da ventilação natural), seja pelo frio ou outros problemas causados pela necessidade de refrigeração artificial.

2.1.2.1 *FANGER*

P. O. Fanger (Dinamarca), que realizou vários experimentos sobre Conforto Térmico, é o principal representante da linha analítica (ou racional) da avaliação das sensações térmicas humanas; suas equações e métodos têm sido utilizados mundialmente, servindo de base para a elaboração de normas internacionais importantes, como a ANSI/ASHRAE 55 (1992) e a ISO 7730 (1984), sendo esta última mantida e atualizada em 1994. Muitos são os estudos que utilizam modelos matemáticos para definição da Zona de Conforto. Dentre eles, o desenvolvido por Fanger é o que mais se destaca.

A partir da necessidade de relacionar as variáveis ambientais com as variáveis pessoais para obter o conforto térmico do homem, e da premissa de que para estar em conforto térmico realizando alguma atividade física, o homem deve ter determinado valor para a temperatura média da pele e perder determinada quantidade de calor por evaporação do suor, Fanger desenvolveu a Equação de Conforto Térmico. O uso desta equação permitiu obter combinações entre os dois grupos de variáveis e resultar em uma neutralidade térmica para 95% da população avaliada. Conclui-se então, que quando uma combinação das variáveis ambientais e pessoais atende à Equação de Conforto (Equação 2.1), o resultado da neutralidade térmica para a população em estudo, deverá estar em torno desta porcentagem, ou seja, 95% das pessoas satisfeitas.

$$\frac{M}{ADu}(l - \eta) - 0.35 \left[43 - 0.061 \frac{M}{Adu}(l - \eta) - p_a \right] - 0.42 \left[\frac{M}{ADu}(l - \eta) - 50 \right] -$$

$$0.0023 \frac{M}{ADu}(44 - p_a) - 0.0014 \frac{M}{ADu}(34 - t_a) = \frac{35.7 - 0.032 \frac{M}{ADu}(l - \eta) - t_{cl}}{0.18 l_{cl}} =$$

$$3.4 \cdot 10^{-8} f_{cl} \left[(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4 \right] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)$$

Sendo:

M – Taxa metabólica de produção de calor pelo corpo (W/m^2) (unidade: met = 58.15 W/m^2)

AD_U – Área de superfície corporal do corpo humano (DuBois) (m^2)

η – Eficiência mecânica externa do corpo

p_a – Pressão de vapor d'água no ambiente (mmHg)

t_a – Temperatura do ar ambiente ($^{\circ}\text{C}$)

f_{cl} – Fator de área de vestimenta³

t_{cl} – Temperatura superficial média da vestimenta ($^{\circ}\text{C}$)

t_{rm} – Temperatura radiante média ($^{\circ}\text{C}$)

Porém, devido à aplicação complexa desta equação, Fanger necessitou do auxílio de programas computacionais, e elaborou diagramas de conforto representando as combinações necessárias (Figura 2.1).

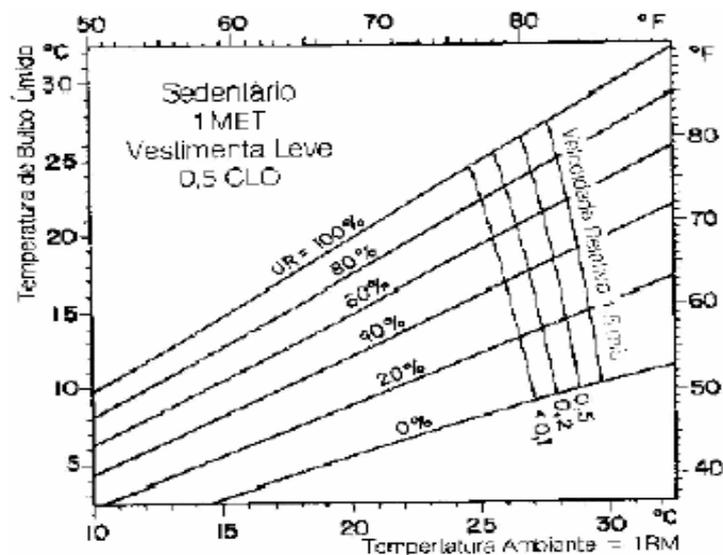


Figura 2.1: Diagrama de Conforto de Fanger.

Fonte: Adaptado de FANGER, 1970.

³ É a relação entre a área do corpo vestido e a área do corpo nu. A roupa aumenta a área superficial de uma pessoa; aplica-se o fator de correção para as transferências de calor da pele, na equação de balanço térmico do corpo humano, considerando a área superficial de cada vestimenta.

Através destes diagramas, é possível obter as combinações das variáveis que têm resultados de neutralidade térmica. Mas havia também combinações de variáveis que não resultavam em neutralidade térmica, e que por conseqüência geravam desconforto. Diante deste aspecto, Fanger desenvolveu um método de avaliação do grau de desconforto, chamado Predicted Mean Vote – PMV ou Voto Médio Estimado – VME, também conhecido como sensação analítica de conforto, que se baseia no balanço de calor do corpo com o ambiente. O *PMV* (VME) representa as sensações térmicas médias das pessoas sob determinadas condições ambientais e individuais, através de uma escala quantitativa da sensação de calor e de frio. “O modelo do PMV tenta traduzir para um valor numérico a sensibilidade humana ao frio e ao calor” (GOMES, 2002). A escala do *PMV* é semelhante à escala das sensações térmicas (Tabela 2.1).

Tabela 2.1: Escala do PMV. Fonte: FANGER, 1970.

- 3	Muito frio
- 2	Frio
- 1	Leve sensação de frio
0	Neutralidade térmica
+1	Leve sensação de calor
+2	Calor
+3	Muito calor

Fanger elaborou as relações entre o *PMV* – *Predicted Mean Vote* (Voto Médio Estimado – VME) e o *PPD* – *Predicted Percentage of Dissatisfied* (Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas – PPI). O método de Fanger (*PMV*/ norma ISO 7730/94) é resultado de cinco anos de estudos no Laboratório de Calefação e Ar Condicionado da Universidade Técnica da Dinamarca e no Instituto de Pesquisas Ambientais da Universidade de Kansas, nos Estados Unidos (RORIZ, 1996).

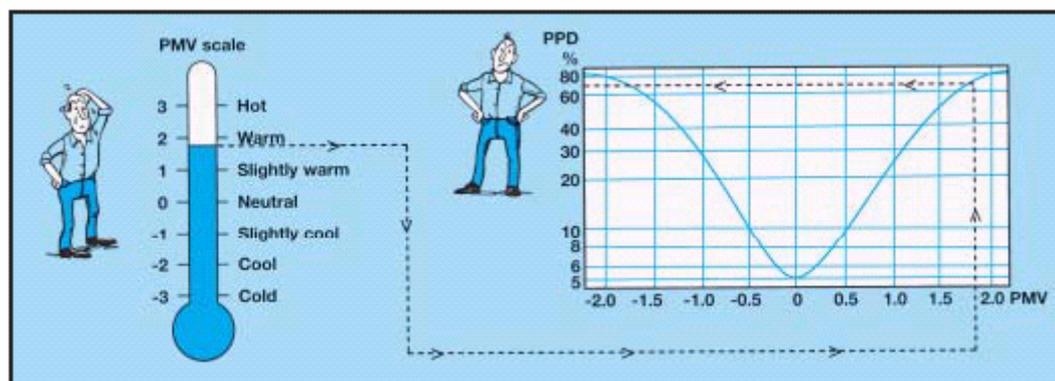


Figura 2.2: Escalas de valores do PMV e PPD.
Fonte: THERMAL BOOKLET, 2002. <http://www.innova.dk/>

Através do cálculo das respostas térmicas do usuário, obtidas por meio de votos das escalas sensoriais, este método determina os níveis de conforto ou desconforto térmico estabelecidos pelas pessoas, quando submetidas a determinado meio térmico. O *PMV* é determinado pela equação 2.2.

$$PMV = (0.303 \cdot e^{-0.036 \cdot M} + 0.028) \cdot [(M-W) - H - E_c - C_{res} - E_{res}] \quad [\text{Eq. 2.2}]$$

Sendo:

M – Taxa metabólica de produção de calor pelo corpo (W/m²)

W – Trabalho muscular ou eficiência mecânica, igual a zero para a maioria das atividades sedentárias (W/m²)

H – Produção interna de calor no corpo humano (W/m²)

E_c – Perda de calor sensível por convecção pela pele (W/m²)

C_{res} – Perda de calor sensível por convecção pela respiração (W/m²)

E_{res} – Perda de calor latente por evaporação através da respiração (W/m²)

Para isto, o método considera algumas variáveis, tais como: temperatura, velocidade e umidade relativa do ar, temperatura radiante média, resistência térmica da vestimenta, atividade física exercida e nível do metabolismo do corpo. Estas são as variáveis intervenientes no processo de determinação da sensação de conforto térmico do homem. Nos estudos realizados em câmaras climatizadas (ambientes onde o pesquisador pode controlar das condições de temperatura, umidade e velocidade do ar), com pessoas simulando atividades distintas, Fanger (1970) obteve o *PMV* (VME), através de dados estatísticos de mais de 1300 pessoas entrevistadas. Após permanecerem algum tempo submetidas a determinadas condições térmicas, as pessoas demonstravam suas sensações térmicas através de questionários específicos.

O Voto Médio Estimado (VME) adotado pela ISO 7730 (1994) é um índice obtido da avaliação das trocas térmicas entre o corpo humano e o ambiente. Em relação ao Projeto RP-884 da ASHRAE, Fanger e Toftum (2001) acreditam que a conclusão de que o VME superestima a sensação térmica das pessoas acostumadas em climas quentes e em prédios sem ar condicionado, tem a influência do fator expectativa. Uma vez que as pessoas destes climas têm expectativas diferentes das que vivem em climas amenos e/ou costumam frequentar prédios com ar condicionado.

Como aspecto importante na determinação da sensação térmica humana em determinado meio térmico, a expectativa térmica de uma pessoa em relação às condições ambientais, tanto no clima interno quanto no clima externo, varia de acordo com o tipo de clima, a época do ano, a função a ser desempenhada, os padrões de comportamento e cultura ambiental, o partido arquitetônico, entre outros fatores. Desta forma, à medida que se tem condições e requisitos diferentes, têm-se também expectativas diferentes. A mente humana associa os fatores climáticos aos quais geralmente é submetida, com os fatores climáticos que espera de determinado clima ou ambiente. Nesta associação, ocorre uma expectativa que permite que o indivíduo tenha maior ou menor tolerância ao meio térmico,

alterando sua sensibilidade térmica. O fato de conhecer ou imaginar as condições térmicas de um ambiente faz com que a mente humana suponha a sensação térmica que terá na sua interação com este ambiente.

Por este motivo, os autores sugerem um fator de expectativa e , que multiplicado ao VME, possa ser levado em consideração na determinação das condições de conforto térmico. O fator e proposto por Fanger e Toftum (2001) varia de 1 a 0,5, sendo 1 para prédios com sistema de condicionamento de ar. Para edifícios naturalmente ventilados, o fator e depende da duração da estação, geralmente quente, e da possibilidade de se comparar com ambientes condicionados. Ainda de acordo com Fanger e Toftum (2001), a aplicação do fator de expectativa e permite obter o VME ajustado para a expectativa das pessoas.

A tabela 2.2 proposta pelos autores serve para orientar na escolha do Fator de expectativa e , de acordo com a expectativa do homem em relação ao ambiente térmico e as características da edificação em relação ao tipo de sistema de refrigeração e clima do entorno:

Tabela 2.2: Orientação para a escolha do fator de expectativa e para correção do VME em climas quentes. Fonte: FANGER e TOFTUM, 2001.

Expectativa	Edificações	Fator de expectativa e
Alta	Edificações sem ar condicionado, localizadas numa região onde o ar condicionado é comum. O período de calor é breve e só ocorre durante o verão.	0,9 – 1,0
Média	Edificações sem ar condicionado, localizadas numa região onde existem alguns prédios com ar condicionado. O período de calor ocorre durante o verão.	0,7 – 0,9
Baixa	Edificações sem ar condicionado, localizados numa região onde existem poucos prédios com ar condicionado. O período de calor ocorre durante todo o ano.	0,5 – 0,7

Para Fanger, as pessoas por serem biologicamente iguais, têm sensações e preferências térmicas semelhantes quando expostas a determinado ambiente térmico em qualquer hora do dia. Embora altamente utilizada em todo o mundo, a teoria de Fanger merece uma reformulação nos conceitos e nos resultados, pois muitos são os fatores que alteram estas preferências no decorrer das horas do dia, provavelmente tornando impossível obter resultados visivelmente iguais. As pesquisas de Fanger (1970) resultaram também em três condições essenciais para a obtenção do conforto térmico por um determinado corpo:

1^a. O corpo deve estar em neutralidade térmica ou em equilíbrio térmico. O corpo humano vive em constante troca térmica com o ambiente. Para o equilíbrio da temperatura corporal, a perda de calor para o ambiente deve ser igual à taxa de calor produzida pelo corpo.

2^a. Os valores da temperatura da pele e da taxa de secreção de suor devem estar dentro dos limites aceitáveis de conforto, de acordo com a atividade exercida;

3^a. O corpo não deve ter qualquer tipo de desconforto térmico localizado.

Alguns dos dados necessários para a equação de conforto são:

- Medições de variáveis climáticas para descrição do ambiente térmico;
- Tabelas de valores para descrição da atividade realizada pelas pessoas e tipo de vestimenta utilizado (valores met e clo respectivamente).

O *PPD* (*PPI*) representa o percentual de insatisfação térmica estimado, resultado da relação entre o balanço energético do corpo e as condições de temperatura de determinado ambiente. Esta tendência de insatisfação das pessoas revela uma preferência por temperaturas mais altas ou mais baixas, e sua avaliação é feita através da escala sensorial de sete pontos, mencionada anteriormente. O *PPD* pode ser determinado pela equação 2.3.

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp [-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)] \quad [\text{Eq. 2.3}]$$

Para o cálculo desta equação devem ser considerados os seguintes aspectos:

- Quantificação dos parâmetros ambientais e individuais;
- Cálculo da Equação de Conforto Térmico, que permite obter o acúmulo de energia no corpo, correspondente à diferença entre o metabolismo desenvolvido e o processo de transferência de calor para o ambiente. Esta equação descreve a conexão entre os parâmetros físicos medidos e as sensações térmicas experimentados por uma média de pessoas.
- Determinação do valor do *PMV*, com base no calor gerado pelo metabolismo, pelo acúmulo deste no corpo e pela sua transferência para o meio.

Os métodos dos índices *PMV* e *PPD* têm sido extensivamente investigados. Inúmeras incorreções foram detectadas no modelo, levando outros autores, como Humphreys e Nicol (1998), a sugerir uma revisão no índice de *PMV* baseado na temperatura da pele e na taxa de secreção de suor. Os mesmos autores também sugeriram uma alteração nas equações de Fanger, de forma a torná-las sensíveis ao caráter adaptativo das sensações térmicas humanas. Para Givoni (1998), os problemas na equação do *PMV* são decorrentes da consideração da velocidade do ar apenas no processo de troca de calor por convecção, excluindo o seu efeito no processo de evaporação do suor no balanço de calor do corpo.

A ISO 7730 (1994) considera o ambiente satisfatório quando o mesmo atende um percentual acima de 80% de seus usuários. Para isto, é necessário atingir uma determinada temperatura de conforto térmico, denominada temperatura operativa de conforto, temperatura neutra ou temperatura interna de conforto. A combinação desta temperatura com outras condições ambientais e individuais fornece um *PMV* (*VME*) de valor igual a 0 (zero), estabelecendo a condição de neutralidade térmica em um corpo, anulando assim a carga térmica atuante sobre ele, de acordo com a norma ISO 7730 (1994) (GOMES, 2002).

2.1.2.2 HUMPHREYS

Michael A. Humphreys (Inglaterra), através de uma análise do comportamento humano, relatou que as pessoas tendem a buscar condições confortáveis além de sombra, sol, vento e proteção, regulando sua postura, atividade e vestimenta, com o objetivo de obter conforto. Humphreys e Nicol (1998) demonstraram em seus estudos que o homem não é um receptor passivo do seu ambiente térmico. As pessoas fazem adaptações ou alterações no ambiente para atender à satisfação térmica, e quando é gerado algum tipo de desconforto têm atitudes que tentam recuperar a situação de conforto térmico. Em pesquisas efetuadas no Irã, Heidari e Sharples (2001) comprovaram esta tendência do ser humano de adaptação ao ambiente térmico. Os resultados mostraram um acréscimo de temperatura de aproximadamente 2°C, para as pessoas que preferiam se movimentar pelo ambiente para obter o conforto desejado, do que para as pessoas que permaneceram sentadas.

Para Humphreys (1976), a aclimação do indivíduo afeta a temperatura neutra estimada. Desta forma, os índices de conforto variam de acordo com a região onde os estudos são realizados. Assim sendo, devem ser levadas em conta as questões culturais do local, como por exemplo, as construções e os alimentos típicos da região, que fazem com que as pessoas passem a mudar seus hábitos e, conseqüentemente, suas reações metabólicas. Humphreys (1976) concluiu que as temperaturas de conforto podem ser estimadas pelas temperaturas médias internas dos ambientes. O autor descreveu esta relação a partir da equação 2.4, que foi obtida com base na análise dos resultados das pesquisas existentes até então.

$$T_c = 0.831 T_i + 2.6 \quad [\text{Eq. 2.4}]$$

Sendo:

T_c – Temperatura interna de conforto ou temperatura neutra (°C)

T_i – Temperatura interna média (°C)

Em 1978, Humphreys concluiu que existe uma relação forte entre a temperatura externa e o conforto interno de um edifício com ventilação natural, que pode ser expressa na equação 2.5.

$$T_c = 11.9 + 0.534 T_{om} \quad [\text{Eq. 2.5}]$$

Sendo:

T_c – Temperatura interna de conforto ou temperatura neutra (°C)

T_{om} – Temperatura externa média mensal (°C)

De acordo com Humphreys e Nicol (1998), em edifícios ventilados naturalmente, o clima interno é definido pelas condições externas. A relação entre a temperatura interna e a externa muda de acordo com o aquecimento ou resfriamento do edifício.

2.1.2.3 DE DEAR

Richard De Dear (Austrália), autor de estudos sobre o modelo adaptativo das sensações térmicas do homem, se refere, dentro de uma abordagem adaptativa, aos aspectos relacionados à adaptação térmica das pessoas e relaciona três processos inter-relacionados, porém distintos: ajustes comportamentais, adaptações fisiológicas e ajustes psicológicos. O autor sugere ainda que dentro destes processos sejam discutidas três categorias que explicam cada um dos aspectos:

- **Ajustes Comportamentais** – incluem todas as modificações que uma pessoa faz, de maneira consciente ou inconsciente, e que podem modificar o fluxo de calor do balanço térmico do corpo. Os ajustes comportamentais são divididos em três subcategorias:
 - a. **Ajustes Pessoais** – são ajustes das circunstâncias das variáveis pessoais, tais como vestimenta, atividade, postura ou movimento do corpo por diferentes locais do ambiente;
 - b. **Ajustes Tecnológicos ou Ambientais** – dizem respeito ao abrir e fechar das janelas e ao acionamento dos equipamentos calefadores ou refrigeradores;
 - c. **Ajustes Culturais** – inclui a relação de hábitos culturais, tais como hábitos alimentares típicos de cada região.
- **Adaptações Fisiológicas** – a definição mais compreensiva da adaptação fisiológica inclui todas as mudanças das respostas fisiológicas, que resultam da exposição a fatores térmicos ambientais. São duas subcategorias:
 - a. **Herança Genética** – é a herança cultural de um indivíduo ou grupo de pessoas;
 - b. **Aclimatação** – alterações no sistema termorregulador⁴ fisiológico por um período de dias ou semanas, em resposta à exposição de agentes térmicos ambientes.
- **Ajustes Psicológicos** – A dimensão psicológica da adaptação a climas internos refere-se a uma alteração das percepções e reações da informação sensorial. Percepções térmicas podem ser diretamente e significativamente atenuadas ou agravadas pelas experiências e expectativas ao clima interno (DE DEAR, BRAGER E COOPER, 1997).

2.1.2.4 RORIZ

Maurício Roriz (Brasil), pesquisador em Conforto Térmico, discute a hipótese de que as preferências térmicas das pessoas são alteradas em função da variação horária das temperaturas diárias. Segundo o autor, os estudos anteriores, que serviram de base a normas importantes de Conforto Térmico, deixam de levar em conta algumas peculiaridades do ser humano, como por

⁴ Importante sistema de regulação térmica do corpo humano. Este sistema tem como objetivo manter a temperatura do corpo a 37°C, independentemente do rigor das condições climáticas do ambiente em que se encontra ou do calor produzido pelo metabolismo. Isto serve para manter o equilíbrio térmico do corpo humano, assegurando a saúde do homem. Pois, à medida que a temperatura corporal interna se eleva, maiores são os riscos que comprometem a vida do homem.

exemplo, a variação da temperatura de conforto ao longo das horas do dia. Muitas são as variáveis que participam desta estimativa e assim sendo, o homem constitui-se num receptor ativo do meio térmico, com reações, sensações e preferências térmicas que diferem no decorrer do dia, devido à constituição biológica inerente a cada indivíduo.

O autor defende ainda que o homem associa à idéia de que durante a noite as temperaturas são mais baixas, o que faz com que ele se condicione a isto e considere insuportável qualquer temperatura ocorrida na madrugada, que possa ser tida como confortável no período da tarde, por exemplo.

Quando adormecemos, a nossa temperatura baixa, favorecendo o ato de dormir. Por volta das 3 horas da madrugada, a glândula hipófise, também chamada glândula pineal (situada no centro do cérebro) liberta a melatonina, hormônio responsável por ‘abrir as portas do sono’ e melhorar a qualidade do sono paradoxal. Ao alvorecer, a luz inibe a atividade da glândula pineal que abranda a produção de melatonina. Numerosos trabalhos demonstraram que em função da intensidade da luz recebida pela retina e da hora da exposição, a melatonina é produzida à noite à uma hora certa. Desta maneira, quando nos expomos ao sol desde a manhã, a melatonina é segregada um pouco mais cedo à noite, enquanto uma exposição apenas durante a tarde provocará uma secreção mais tardia. O nosso corpo obedece a relógios internos escondidos no hipotálamo. Quando os ritmos naturais são alterados, o organismo sente-se confuso. O trabalho noturno, a maneira de viver, a longa madrugada do fim-de-semana ou as viagens que implicam grandes mudanças horárias, podem provocar distúrbios de sono (MARTINS citado por RORIZ, 2003).

Roriz acredita que haja certa variação nas preferências térmicas humanas ao longo do dia. O autor salienta que parece incoerente atestar que uma pessoa se sinta confortável num dado momento e sem alguma alteração climática ou pessoal significativa passe a considerar, no momento seguinte, o ambiente desconfortável. As suposições neste sentido ainda são apresentadas na forma de discussões. Resultados precisos e válidos serão obtidos com investigações, através de estudos mais aprofundados.

2.2 Percepção Térmica

Quando se fala em conforto térmico, logo se pensa em condições climáticas amenas para o bem-estar humano. Para perceber tais condições, é necessária a transdução⁵ sensorial das condições que são impostas ao corpo humano. A percepção⁶ representa um processo mental que possibilita a inter-relação do homem com o seu entorno. Quando o organismo recebe e processa as informações do meio, ocorre a percepção. As informações são os estímulos internos e externos responsáveis pelo comportamento dos organismos (SIMÕES e TIEDEMANN, 1985). É por meio da sua percepção que o homem capta as características do ambiente e quando se encontra em desconforto térmico, tende a desviar a atenção e a concentração das atividades que está realizando. A percepção

⁵ O Dicionário Aurélio. Aurélio Buarque de Holanda, 6ª edição, 2004, apresenta o seguinte significado para a palavra ‘transdução’: **Transdução** *Fís.* Capacidade de transformar um tipo de sinal em outro tipo, com o objetivo de transformar uma forma de energia em outra, possibilitar o controle de um processo ou fenômeno, realizar uma medição.

⁶ A palavra percepção significa apoderar-se de; apreender pelos sentidos (do latim, *percipere*). O Dicionário Aurélio. Aurélio Buarque de Holanda, 6ª edição, 2004 diz: **Percepção** *sf.* Ato, efeito ou faculdade de perceber.

térmica abrange três dimensões: sensação, aceitabilidade e preferência térmica (DE DEAR, BRAGER E COOPER, 1997).

A percepção é processada através dos sentidos do corpo humano, o Sistema Sensorial. Estes sentidos informam ao organismo das reações ocorridas. Além dos cinco sentidos mais conhecidos do corpo humano, não podemos deixar de citar aquele responsável por grande parte das sensações humanas. Trata-se do sentido cinestésico, cuja função é manter o corpo consciente de algumas reações oriundas de motivações externas e internas. É o caso do equilíbrio corporal, da percepção da posição dos membros, da sensação de fome (nutrição) e sede (hidratação), sexo (condição hormonal) e oxigenação (ar).

De que o ambiente é formado? De acordo com os autores acima citados, basicamente, por duas coisas: matéria e energia. Os objetos, as pessoas e os animais são feitos de matéria. A luz do sol ou de uma lâmpada, o som que vem do rádio e a chama que aquece a panela no fogão constituem diferentes tipos de energia (eletromagnética, mecânica e térmica, respectivamente). Mas como explica a ciência e a física quântica, o ser humano é também fonte de energia. Desta forma, os receptores do corpo humano têm reações diante da energia recebida, seja ela emitida pelos objetos, pessoas ou animais. É daí que vêm as percepções: do clima, do ambiente ou de qualquer forma de energia, e as sensações resultantes destas percepções. Pode-se dizer que a distinção entre percepção e sensação é uma linha bastante tênue. A primeira pode ser definida como um processo psicológico, a segunda como um processo fisiológico.

Muitas foram as escolas de psicologia que nortearam o assunto da percepção humana: dos *introspeccionistas*, dos *funcionalistas* e dos *gestaltistas*. A exceção, a escola *behaviorista*, considerou a aprendizagem o foco dos estudos em mudanças de comportamento, mas mesmo assim não deixou de considerar os aspectos da percepção. Para a arquitetura, é importante considerar os aspectos relacionados à percepção humana sobre determinado ambiente e suas condições climáticas no estudo do comportamento térmico do homem. Conhecendo-se as condições que favorecem o conforto térmico humano, se torna mais fácil adequar os ambientes às suas necessidades, por meio de projetos mais eficazes com o uso adequado dos elementos climáticos.

A elaboração de diretrizes para se obter edificações otimizadas nas mais variadas regiões climáticas não constitui tarefa fácil. A princípio, vale lembrar e considerar os fatores contextuais como o clima, a cultura local e as tradições de construção. Estes fatores tanto podem contribuir quanto se tornarem obstáculos para as concepções arquitetônicas especificadas. O enfoque correto constitui na análise das características do ambiente, e tem como alvo principal a saúde e o bem-estar do homem.

2.3 Sensação Térmica

Sensação⁷ térmica pode ser conceituada como o grau de conforto ou desconforto térmico de uma pessoa quando submetida a determinado ambiente térmico. As sensações térmicas não são definidas apenas pela temperatura do ar, mas com base no intercâmbio das variáveis ambientais e pessoais, ou seja, o efeito combinado das variáveis climáticas com as variáveis individuais determina a sensação de conforto ou desconforto térmico do homem.

Dentre as variáveis ambientais mais intervenientes nas sensações térmicas, destacam-se, além da temperatura do ar, a umidade relativa, que exerce muita influência, devido às trocas de calor entre o corpo e o meio (em ambientes com menor taxa de umidade há maior facilidade para perder calor, pela evaporação do suor); a velocidade do ar, cuja influência neste processo se deve às trocas de calor por convecção. De acordo com a corrente adaptativa, a sensação térmica recebe a influência de três aspectos: comportamental, fisiológico e psicológico. As diferenciações entre estes aspectos estão descritas adiante, no item 2.9.1: O processo adaptativo.

Fanger (1970) propôs uma escala sensorial de sete pontos que facilita a tradução das sensações térmicas humanas em relação a um ambiente térmico. Para o uso desta escala, se faz necessária a pergunta: *Como você classifica este ambiente térmico neste momento?* (que significa “esta condição é confortável ou desconfortável?”). Tanto a ISO – norma 10551 (1995) quanto a ASHRAE (1997) adotam a mesma escala térmica (Tabelas 2.3 e 2.4). A Tabela 2.4 mostra a relação entre a escala da ASHRAE, a escala de Bedford e a escala de preferência térmica.

Tabela 2.3: Escala Sensorial de sete pontos. Fonte: Adaptada de FANGER, 1970.

Sensação Térmica	Pontos
Muito Quente	+3
Quente	+2
Leve sensação de calor	+1
Confortável (Neutralidade Térmica)	0
Leve sensação de frio	-1
Frio	-2
Muito Frio	-3

As sensações térmicas são definidas com base no intercâmbio das variáveis ambientais e pessoais. O efeito conjugado destes fatores definirá o grau de conforto ou desconforto térmico sentido pelas pessoas, enfatiza Roriz, 1996.

⁷ O Dicionário Aurélio. Aurélio Buarque de Holanda, 6ª edição, 2004 diz: **Sensação Fisiol.** Impressão causada num órgão receptor por um estímulo e que, por via aferente (aquela que leva ou conduz), é levada ao sistema nervoso central.

Tabela 2.4: Escala de sensações térmicas. Fonte: Adaptada de DE DEAR e AULICIEMS, 1985.

Código numérico	Escala da ASHRAE	Escala de Bedford	Preferência
+3	Muito quente	Muitíssimo quente	Muito mais frio
+2	Quente	Muito quente	Mais frio
+1	Levemente quente	Confortavelmente quente	Levemente mais frio
0	Neutra	Confortável	Nenhuma mudança
-1	Levemente frio	Confortavelmente frio	Levemente mais quente
-2	Frio	Muito frio	Mais quente
-3	Muito frio	Muitíssimo frio	Muito mais quente

As sensações de bem-estar ou mal-estar térmico (conforto ou desconforto térmico) se classificam dentro das reações do corpo humano aos câmbios atmosféricos em diferentes escalas de temperatura. A determinação das sensações térmicas é objeto de estudo da Bioclimatologia, através do cálculo de índices baseados no conceito de conforto térmico, em função do efeito combinado das variáveis climáticas fundamentais ao balanço de calor do corpo do homem (temperatura, umidade, radiação solar e vento) (LEÓN et. al, 2000).

Givoni (1981) explica: “Usualmente é possível determinar, com razoável precisão, as condições de satisfação e conforto. É mais difícil avaliar o grau de desconforto. A avaliação subjetiva do ambiente térmico pode ser feita a partir de dois parâmetros: sensação térmica e transpiração sensível (umidade da pele)”.

As definições de conforto cuidam para não indicar valores numéricos devido à enorme quantidade de casos que podem se apresentar. Dentre os (conceitos) mais conhecidos há dois, que poderíamos chamar complementares e que precisam bem o problema. Um deles, de caráter subjetivo, diz: o conforto térmico de uma pessoa é aquela condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico. O outro tem fundamentos fisiológicos: o conforto térmico de um indivíduo se alcança quando as condições do meio permitem que o sistema termorregulador esteja em estado de mínima tensão (RIVERO, 1986).

O corpo humano sente desconforto térmico a depender da assimetria da temperatura do ambiente. Geralmente ocorre um aumento da temperatura do ar do piso ao teto em ambientes com pouca ventilação. No caso de uma variação elevada, o corpo pode sentir desconforto, com sensações de calor na parte superior e de frio na parte inferior, por exemplo, apesar de no todo estar em neutralidade térmica (Figura 2.3). A diferença entre as temperaturas do ar medidas a 0,1m e 1,7m do piso da zona de ocupação, não deve exceder 3°C, de acordo com o IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1987). Um campo assimétrico de radiação, uma ventilação cruzada e tetos quentes ou frios também podem ocasionar tal desconforto, decorrente do aquecimento ou resfriamento unilateral do corpo.

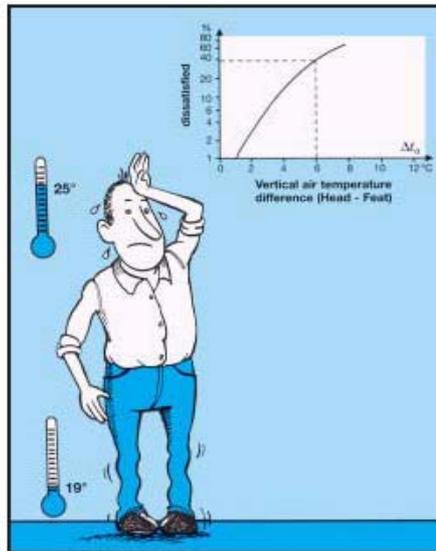


Figura 2.3: Assimetria da temperatura do ar em ambientes pouco ventilados.

Fonte: THERMAL BOOKLET, 2002. <http://www.innova.dk/>

Quando as partes do corpo apresentam temperaturas distintas, ou seja, se uma parte está fria e outra se apresenta quente, a sensação será de desconforto, mesmo com a condição de neutralidade térmica (balanço térmico do corpo).

Esta condição de neutralidade térmica ou de balanço térmico nulo, embora necessária e indispensável, não é suficiente para o conforto. Suponha-se, por exemplo, um local onde houvesse uma parede quente e outra, oposta, fria. Teoricamente, alguém situado entre ambas poderia estar em equilíbrio térmico, mas, seguramente, não estaria confortável (RORIZ, 1987).

A discussão que existe acerca das sensações térmicas humanas nos estudos em conforto térmico consiste no questionamento de como elas se configuram dentro das várias circunstâncias climáticas do meio térmico. Convém ressaltar, entretanto, que muitos outros fatores estão relacionados e intervêm na sensação térmica do homem quando submetido a um ambiente térmico. Isto inclui não só a influência das variáveis ambientais e pessoais, mas também do comportamento térmico do sistema construtivo da edificação.

Dentre estes fatores, destaca-se a Inércia Térmica⁸ como um aspecto que interfere na determinação das sensações térmicas do homem em relação às temperaturas internas. A Inércia Térmica é uma característica dos sistemas construtivos, que provoca dois importantes efeitos sobre os fluxos de calor entre o ambiente interno das edificações e o meio exterior: redução das amplitudes (Amortecimento térmico - μ) das temperaturas internas e defasagem (Atraso térmico - φ) das mesmas em relação às temperaturas externas (DORNELLES, 2004).

⁸ Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (1997), a inércia térmica é a capacidade do material reter parte do calor, que é conduzido por ele no seu interior. Isto é consequência de sua massa térmica, que pode ser definida como a combinação entre a densidade do material que compõe o fechamento e sua espessura (PAPST, 1999).

A Inércia Térmica é a capacidade da edificação de reter calor e liberá-lo algum tempo depois. Quando uma edificação tem pouca inércia térmica, as oscilações das temperaturas internas tendem a acompanhar as que ocorrem no meio externo. A necessidade de grande inércia térmica aumenta quanto maior a variação da temperatura externa, radiação solar e ganhos de calor (DORNELLES, 2004).

No processo de transmissão de calor, parte do calor que entra em um elemento é retida no aquecimento do próprio material da componente construtiva. O Amortecimento térmico é a propriedade de redução das variações térmicas de determinado material ou fechamento. O calor produzido na superfície da componente construtiva exposta à radiação solar é transmitido de partícula em partícula, provocando um retardo no tempo de sua transmissão. O Atraso térmico é o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de uma componente construtiva submetida a um regime periódico de transmissão de calor. O Atraso térmico depende da capacidade térmica da componente construtiva e da ordem em que as camadas estão dispostas (ABNT, 2003a).

Edificações com muita inércia térmica proporcionam condições térmicas internas mais amenas do que as condições do meio externo, devido ao calor retido por algumas horas pelo material e liberado algum tempo depois (atraso térmico). Isto faz com que as oscilações da temperatura externa não ocorram de maneira súbita no interior da edificação, uma vez que as temperaturas internas oscilarão de maneira amortecida (amortecimento térmico). Nos climas de verão quente e úmido e inverno frio e seco, a Inércia Térmica pode ser uma estratégia de eficiência para amenizar grandes oscilações de temperatura no interior das edificações, devido aos ganhos térmicos durante o dia e à perda de calor interno durante a noite, respectivamente. De acordo com Roriz (2001a), o aproveitamento da Inércia Térmica em regiões secas e desérticas sempre foi recomendado pela literatura especializada, devido aos resultados expressivos diante das oscilações térmicas acentuadas locais.

Como são muitos os fatores que interferem na determinação das sensações térmicas, um número considerável de investigações e experimentos tem sido realizado em estudos de laboratório e de campo, com a finalidade de precisar os fatores intervenientes e determinar a real influência das condições e circunstâncias térmicas do ambiente no desempenho, sensações e preferências térmicas do homem, e com isto direcionar os resultados em favor de construções adequadamente habitáveis. Muitas destas pesquisas vêm sendo feitas por vários pesquisadores em todo o mundo, tais como FANGER (1970; 2001), HUMPHREYS (1998), DE DEAR (1997). No Brasil destacam-se os estudos de SÁ (1938), RIBEIRO (1945), RORIZ (1987; 1996; 2001; 2003), ARAÚJO (1996; 2001), RUAS (1999; 2002), XAVIER (1997; 2000; 2001), GONÇALVES (2000), HACKENBERG (2000), GOMES (2002), TAMANINI (2002), GALLOIS (2002) e GOUVÊA (2004). A maioria destas pesquisas se encontra exposta em citações bibliográficas neste capítulo.

2.4 Clima, Meio Térmico e Corpo Humano

Como disse Roriz (2001): “O clima pode ser definido como a integração do conjunto das condições atmosféricas típicas de um dado lugar”. As configurações do clima e as mudanças no

meio térmico interferem sobremaneira no comportamento térmico do organismo humano e exercem grande influência na vida do ser humano, na cultura de determinado lugar e no comportamento térmico das pessoas, que pode ser alterado com a variação da temperatura. Esta variação corresponde às condições climáticas às quais estamos submetidos, e oscilam ao longo de 24 horas do dia e ao longo do ano. Além disso, alguns fatores, tais como a altitude, latitude e demais peculiaridades locais completam os aspectos que definem o clima de cada região.

É importante o conhecimento das diferenças conceituais existentes entre tempo e clima. Tempo é a variação diária das condições atmosféricas, enquanto que clima é a condição média do tempo em uma dada região, baseada em medições (normalmente durante trinta anos). As variações climáticas são atribuídas a elementos de controle, tais como: proximidade à água; altitude; barreiras montanhosas e correntes oceânicas (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2004).

A temperatura do meio sofre variações com maior ou menor intensidade (dependendo da época do ano), no período de 24 horas; esta temperatura geralmente aumenta durante o dia (devido à insolação) e diminui durante a noite (devido às perdas de calor por irradiação para o resto do universo) (COSTA, 1982). Quanto maior a variação da temperatura ou a duração de tempo em que ela permaneça, maior o risco de lesões e de morte.

Sendo o homem um ser homeotérmico⁹, apresenta temperatura em torno de 37°C, até mesmo sob alteração das condições climáticas, para manter o equilíbrio energético do corpo. São consideradas normais as pequenas variações ocorridas no decorrer do dia. Quando, por motivos quaisquer, os valores se apresentam extremamente acima ou abaixo de 37°C, pode ser gravemente afetado o estado de saúde, desempenho físico, mental e intelectual e até mesmo causar a morte.

2.4.1 Calor

Durante muito tempo a natureza do fluxo de calor entre dois corpos foi discutida entre os pesquisadores. Até o século XVIII, definia-se calor como um fluido material chamado fluido calórico. No final do século XVIII e início do século XIX, Benjamin Thompson e James Prescott Joule definiram calor como um fluxo de energia. Para isto, Thompson comparou o peso de um corpo aquecido com o peso dele frio e constatou que não existe diferença. Isto corrobora a teoria de que calor é o resultado de um tipo de movimento, ou seja, de energia, e não de uma substância material. Na linguagem comum geralmente se confunde calor com temperatura alta, quando se diz que ‘faz calor’ para indicar a temperatura atmosférica elevada.

A diferença conceitual entre os dois é que temperatura é uma grandeza que caracteriza o estado térmico de um sistema, a variável que fornece um valor de temperatura de um sistema (mas não contém quantidade de calor), enquanto calor é uma energia em trânsito, ou seja, representa a transferência e o movimento das partículas no interior de um corpo. Assim, energia térmica = CALOR = movimento de partículas, moléculas e átomos. O corpo humano troca calor com o ambiente por meio de processos físicos. Para que haja transferência de calor, é necessário que haja diferença de

⁹ Um ser homeotérmico é aquele que tem a temperatura corporal interna mantida sob valor constante. A temperatura corporal interna é a registrada no cérebro, coração e abdômen (RORIZ, 1987).

temperatura entre os corpos. Portanto, pode-se definir calor como a energia transferida entre os sistemas ou corpos, proporcional à diferença de temperatura existente entre eles. Desta maneira, quando dois corpos em temperaturas diferentes estão em contato, há uma transferência de energia do corpo que apresenta temperatura mais elevada para o de temperatura mais baixa, fazendo com que elas se igualem. As trocas térmicas ocorrem através dos processos diretos: Condução, Convecção e Radiação: este calor transferido refere-se ao *calor sensível*¹⁰; e dos indiretos: Evaporação (ou transpiração): evaporação do suor na superfície do corpo e Respiração: vapor de água expirado pelos pulmões. Este calor refere-se ao *calor latente*¹¹.

2.4.2 Processos diretos de trocas de calor

2.4.2.1 Condução: Ocorre pelo contato direto entre os corpos, ou entre pontos do mesmo corpo. A transferência de energia entre os corpos, que podem ser sólidos ou fluidos, é realizada através da agitação das moléculas, ou seja, da transmissão de calor de uma molécula para as moléculas vizinhas, fato que comprova que este processo não pode ser realizado no vácuo. Ao entrar em contato com uma superfície mais quente que a pele, o corpo ganha calor por condução e perde calor, caso a superfície seja mais fria (RORIZ, 2001). Para o estudo do conforto térmico do corpo humano no ambiente, este processo não exerce grande relevância, por ser necessário o contato direto com outros corpos ou objetos. Neste caso, o mobiliário pode interferir no conforto térmico do ser humano, dependendo da condutividade térmica do material que o compõe (RORIZ, 1987).

2.4.2.2 Convecção: Acontece entre dois corpos fluidos ou entre um sólido e um fluido; depende da diferença de temperatura e de movimento que existe entre eles (RORIZ, 2001). A velocidade do ar exerce grande interferência neste processo, devido às correntes de ar que são geradas. Em ambientes onde a temperatura e a umidade do ar se apresentam elevadas, a convecção é muito importante para o conforto térmico do homem. Quando as correntes convectivas são geradas apenas pelo efeito da diferença de temperatura ou de densidade entre os corpos, tem-se a **Convecção Natural**. Quando tais correntes são oriundas de causas externas aos corpos, tais como um ventilador, uma bomba, ou qualquer outro dispositivo que acelere tais correntes, ocorre a **Convecção Forçada** (LUIZ, 1985).

2.4.2.3 Radiação: Todo corpo que apresenta temperaturas superficiais superiores a zero absoluto (0°K ou - 273°C) emite constantemente calor sob a forma de ondas eletromagnéticas para corpos mais frios e absorve, da mesma maneira, o calor emitido pelos corpos mais quentes. A radiação incidente sobre um corpo pode ser refletida, absorvida e transmitida. Como o homem é um corpo com grande capacidade de absorção de calor radiante, este processo de troca de calor é muito importante para a avaliação das sensações térmicas humanas nos ambientes internos. Quando as

¹⁰ O calor sensível representa a quantidade de calor que altera a temperatura do ar sem alterar o conteúdo de umidade do mesmo (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2004). O calor sensível é a energia térmica da qual depende a temperatura do corpo que é transmitida a outros por condução, convecção e radiação (RIVERO, 1986).

¹¹ O calor latente representa “a quantidade de calor absorvida (ou liberada) em uma troca de estado (líquido para gasoso ou sólido para líquido) por unidade de massa de uma substância sem mudança na temperatura”. Unidade: J/kg (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2004). O calor latente é a energia térmica associada à uma mudança de estado do corpo, sem que se verifiquem variações de sua temperatura (RIVERO, 1986).

superfícies da componente construtiva transmitem a energia que recebem da radiação solar para o ambiente, o homem absorve esta energia, ganha calor e o troca com o meio, podendo haver perda ou ganho térmico. Por sua vez, o calor dos corpos se converte em energia radiante, que chega ao outro corpo e é absorvida dependendo das propriedades da superfície receptora, e transformada novamente em calor (RIVERO, 1986).

2.4.3 Processos indiretos de trocas de calor

2.4.3.1 Evaporação: O vapor de água contido no ar, constituído por moléculas de água não visíveis é chamado *umidade*. Ele é formado no processo de evaporação da água, que supõe a mudança do estado líquido para o gasoso, sem alterar a sua temperatura. A transformação da água em vapor necessita de uma grande quantidade de calor. Para evaporar 1g de água são necessários aproximadamente, 2.450 J (585 cal). Levando-se em conta a definição de caloria, nota-se que, teoricamente precisa-se de 100 calorias para elevar de 0°C a 100°C, a temperatura de 1g de água. Percebe-se então, a grande quantidade necessária à evaporação (RIVERO, 1986).

Neste processo ocorre perda de calor do meio que a envolve, podendo ser do ar ou dos corpos circundantes. Por meio da transpiração, o corpo humano pode perder calor. Para perder calor pelos processos diretos (condução, convecção e radiação) é necessário que a temperatura da pele seja superior à do meio. Quando o processo se inverte, ou seja, a temperatura do meio é superior à da pele, o corpo não mais consegue perder calor por condução, convecção e radiação. É aí que a evaporação participa do processo de troca térmica, através da transpiração, fazendo com que o corpo humano ‘tente’ manter o equilíbrio térmico interno (RORIZ, 1987).

2.4.3.2 Respiração: De menor influência no processo de troca térmica entre os corpos, porém relevante, a respiração faz com que o homem troque calor indiretamente com o ambiente, através do ar aspirado e expelido. Em condições de atividade sedentária, cada indivíduo elimina o equivalente a 50g de água/hora, por meio da respiração e da transpiração, que se incorporam no ambiente sob a forma de vapor (RIVERO, 1986). O ar expirado contém mais calor e água que o ar inspirado e isto provoca um ganho de calor para o meio térmico. Há ainda a influência da umidade do ar neste processo, uma vez que o ar expirado é mais úmido que o ar inspirado (FANGER, 1970).

2.5 Regulação Térmica do Corpo Humano

Por ser uma máquina bioquímica, o corpo humano precisa dissipar calor para funcionar. O corpo humano trabalha para converter a energia (metabolismo) necessária, levando em conta outros fatores pessoais (vestimenta, atividade), para estabelecer o nível de conforto desejado (PREK, 2005). Se o organismo liberar mais calor do que produz, a sensação será de frio. Se produzir mais calor do que libera, a sensação será de calor. Isto se deve à perda e ao acúmulo de calor no corpo, respectivamente.

De acordo com a ASHRAE (1997), a sensação de conforto pode ser obtida quando a quantidade do calor dissipado é equivalente à do calor produzido. Esta relação depende de vários

fatores, entre eles, a vestimenta utilizada e a atividade exercida, podendo oscilar entre sensações de frio, calor ou de conforto. A definição destas sensações é feita por um sistema regulador de temperatura muito eficaz, o qual tenta assegurar que a temperatura interior do corpo humano se mantenha em aproximadamente 37°C, independente do rigor climático do ambiente a que está submetido ou da produção de calor metabólico.

[...] a sensação de bem estar térmico está ligada ao trabalho que o sistema termorregulador humano tem que desenvolver para manter o equilíbrio térmico do corpo. Isso significa que, quanto maior for o esforço desse sistema para manter a temperatura interna do corpo, maior será a sensação de desconforto (RUAS, 2002).

Os órgãos dos sentidos humanos têm características comuns: receptores que são células nervosas especializadas, capazes de responder a estímulos específicos. Alguns são denominados *termorreceptores*, que recebem, transformam e transmitem, para o restante do sistema nervoso, um grande número de informações existentes no ambiente, na superfície e no interior do nosso organismo. Este conjunto com seus processos inerentes formam um importante e vital sistema detector de temperatura, através do qual o organismo percebe e tem as sensações e preferências térmicas peculiares de cada corpo.

É o chamado *Sistema Sensorial*, formado pelos mecanismos termorreguladores, e que consiste na detecção de ‘estímulos’, que são as alterações térmicas das condições climáticas do meio, e podem ser por calor ou por frio. O limiar de reconhecimento destes estímulos dará ao indivíduo a capacidade de classificá-los dentro de uma escala de sensações (SIMÕES e TIEDEMANN, 1985). Ou seja, quanto maior o nível de percepção dos estímulos do ambiente, maior será a capacidade do indivíduo de determinar com precisão as sensações térmicas do seu corpo. Todo este sistema sensorial do organismo humano é regido por um mecanismo do cérebro, comandado pelo hipotálamo. O hipotálamo é o centro do cérebro que controla a temperatura interna do corpo. Isto é feito por meio de sinais provenientes dos sensores de frio e calor da pele. Este sistema de controle é complexo, e não é até o momento totalmente entendido.

O órgão central desse sistema é localizado no cérebro e se denomina Hipotálamo. Através da rede de nervos, o Hipotálamo é mantido informado sobre a temperatura de cada parte do corpo. Quando, por qualquer motivo, essa temperatura se afasta dos valores admissíveis, esse órgão aciona mecanismos que objetivam restabelecer o equilíbrio térmico do corpo (RORIZ, 2001).

Os mecanismos mencionados acima são ativados automaticamente e se classificam dentro de duas condições específicas, de frio ou de calor. O primeiro mecanismo fisiológico para controlar a perda de calor para o meio, segundo Givoni (1981), é a regulação do fluxo de sangue na pele, sistema de controle de regulação vasomotor. Este sistema faz com que aconteça a redução ou o aumento do fluxo de sangue na pele, através da *vasoconstrição* e da *vasodilatação*, respectivamente.

Sob condições de frio, o organismo procura reter calor. Os mecanismos termorreguladores são ativados para evitar perdas térmicas do corpo ou aumentar a produção interna de calor. Estes mecanismos são a *vaso-constricção periférica*, a *pilo-erecção* (arrepio), a *interrupção da sudação*, o *tiritar* (tremor) e o *ato de encolher-se* (curvar o corpo). O primeiro mecanismo termorregulador a ser disparado é a *vasoconstrição periférica*. Na *vasoconstrição*, os vasos sanguíneos

mais próximos à pele se contraem, diminuindo o fluxo de sangue na pele, ao passo que os mais próximos aos órgãos internos se dilatam. Chegando pouco calor à superfície do corpo, a temperatura interna não se eleva e ocorre uma menor transpiração, o que faz com que a pele, não estando irrigada, se torne mais isolante à passagem de calor. Desta forma a pele se resfria, buscando atingir uma temperatura mais próxima possível à do meio e evitar perdas de calor por radiação e convecção.

O segundo mecanismo é a *pilo-erecção* (arrepio), que ao acontecer, provoca uma camada de ar parado junto à pele que funciona como isolante. “[...] O movimento muscular que provoca o arrepio aquece a pele por atrito, além de aumentar sua rugosidade, evitando perdas de calor por convecção” (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2004). Outro mecanismo termorregulador do organismo consiste na *interrupção da sudação*. Ele acontece para evitar que o resfriamento evaporativo do corpo, por meio da transpiração, aumente o desconforto térmico por frio, já que o suor funciona como facilitador da refrigeração do corpo, nas trocas térmicas por convecção.

O mecanismo denominado *tiritar* (tremor) caracteriza-se pelo acionamento dos músculos e pelo aumento da produção de calor metabólico. “Após o arrepio, se o frio ainda for agressivo, haverá o aumento do metabolismo entre 30% e 100%, que pode se manifestar pelo tremor dos músculos. Assim o calor produzido internamente será maior, compensando as perdas do organismo para o meio” (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2004). Por fim, o *ato de encolher-se* (curvar o corpo), na intenção de reduzir a área de superfície do corpo exposta às manifestações do clima, principalmente em climas de invernos rigorosos.

Sob condições de calor, o organismo procura perder calor. Os mecanismos termorreguladores são ativados para proporcionar perdas térmicas e diminuir a produção interna de calor. São eles a *vaso-dilatação periférica*, a *redução da atividade metabólica*, a *sudação* e o *ato de ‘espalhar-se’* (esticar o corpo). Na *vasodilatação*, como os vasos sanguíneos se dilatam, o fluxo de sangue para a pele, a temperatura interna do corpo e, conseqüentemente a transpiração, aumentam. O corpo perde calor para o meio, evitando acúmulo de calor no seu interior e favorecendo as perdas por evaporação e convecção. “No caso de calor, o primeiro mecanismo termorregulador a ser disparado é a *vasodilatação periférica*, que, ao contrário da *vasoconstrição periférica* aumenta a temperatura da pele, incrementando perdas de calor por convecção e por radiação” (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2004).

O segundo mecanismo é a *sudação*, que representa grande importância para a sensação de conforto. “Os poros sempre estão produzindo o suor, que vai sendo evaporado no seu interior. Esta evaporação incrementa as perdas de calor do corpo. Quando a temperatura da pele aumenta muito ou quando o ar está muito úmido, o suor não pode ser totalmente evaporado, ficando na superfície” (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2004). Assim, além do suor favorecer a refrigeração do corpo através das trocas de calor por meio da evaporação, ele funciona como elemento redutor do calor do corpo, uma vez que ao evaporar-se, retira calor do próprio corpo.

O mecanismo *redução da atividade metabólica* ocorre com o propósito de diminuir consideravelmente a produção interna de calor no organismo. Por fim, o *ato de espalhar-se* (esticar o corpo), com o propósito de aumentar a área de superfície corporal exposta às condições climáticas, à ventilação, no sentido de reduzir a sensação de desconforto por calor. A partir destes mecanismos do

organismo, o homem toma algumas providências e mecanismos instintivos, na tentativa de reduzir o desconforto térmico por calor ou frio, e proporcionar o equilíbrio térmico necessário. Dentre estes, destacam-se o *acionamento de equipamentos refrigeradores ou calefadores, o ato de abrir ou fechar janelas e portas, a utilização de vestimenta mais leve ou mais pesada* (ato de agasalhar-se), *os hábitos culturais* (como esfregar as mãos, abanar-se, fazer alguma atividade física ou ingerir alimentos mais refrescantes ou mais quentes) e *o uso de suas habilidades* (tecer roupas e construir abrigos) para melhor se adaptar ao meio térmico.

Todos estes mecanismos ocorrem sob o comando de um sistema de controle da temperatura do corpo humano. Os dois grupos sensoriais mais importantes para este sistema de controle estão localizados na pele e no hipotálamo: temperatura da pele e sensores de frio e calor. A interação do homem com o meio térmico se dá através da pele, podendo ser percebida pela variação das reações de calor e frio. Resistente, flexível, limite extremo e maior órgão do corpo humano, a pele possui várias funções: proteger o organismo contra agressões externas; regular a temperatura interna; impedir a perda de água e eliminar toxinas.

Os *termorreceptores* respondem quando ocorrem mudanças de temperatura na pele, devido ao contato com superfícies mais quentes ou mais frias que ela. Quando a temperatura corporal interna atinge menos de 37°C nossos sensores de frio começam a mandar impulsos ao cérebro; se a temperatura continua a cair, os impulsos aumentam numericamente. Da mesma forma, os sensores de calor mandam impulsos ao cérebro quando a temperatura excede 37°C, e se a temperatura continua a aumentar, o número de impulsos aumenta.

Acredita-se que são os sinais destes dois sistemas sensoriais que formam a base da avaliação do ambiente térmico. A interpretação dos sinais feita pelo cérebro pode ser simulada como um cabo de guerra, com os impulsos de frio em um extremo do cabo e os impulsos de calor no outro. Se os sinais de ambos os lados são da mesma dimensão, a sensação é de neutralidade térmica; caso contrário, ou se sente muito calor ou muito frio. Uma pessoa em estado de neutralidade térmica não ativará nem sensores de frio nem sensores de calor.

Geralmente a temperatura interna do corpo leva algum tempo para mudar; os sinais dos sensores de calor, por exemplo, são muito lentos se comparados aos sinais dos sensores de frio. A função refrigeradora do corpo começa quando a temperatura corporal interna excede 37°C. Por meio da transpiração, o suor ajuda a refrigerar o corpo, quando este está muito quente, principalmente na ocorrência da ventilação, favorecendo as trocas térmicas por convecção. Da mesma forma, quando a temperatura da pele atinge menos de 34°C a defesa do corpo contra a refrigeração se inicia, por meio dos mecanismos termorreguladores utilizados pelo organismo, mencionados acima. Isto ocorre devido à menor produção e dissipação de calor pelo organismo, reduzindo a necessidade de refrigeração do corpo, de acordo com a figura 2.4.

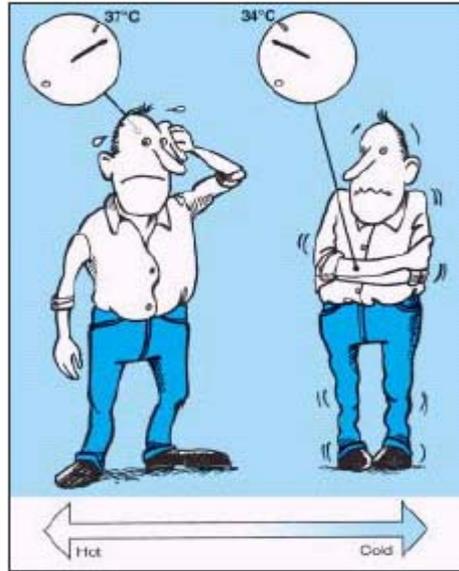


Figura 2.4: Relação entre a regulação térmica do corpo humano e as sensações térmicas do homem. Fonte: THERMAL BOOKLET, 2002. <http://www.innova.dk/>

2.6 Variáveis Ambientais

As variáveis ambientais ou variáveis climáticas representam o conjunto de fatores, que interagem entre si e com o homem, determinando a caracterização de um clima e a influência exercida no conforto térmico humano, tanto no interior dos edifícios, quanto a nível urbano. São as condições termoclimáticas do ar ambiente. As variáveis ambientais exercem influência no mecanismo de troca de calor entre o corpo e o meio, por condução, convecção, radiação ou evaporação.

Radiação Solar, Amplitude térmica, Temperatura, Velocidade e Umidade do ar, são as variáveis ambientais, que ao interagir com o corpo, favorecem ou não as trocas térmicas entre o homem e o ambiente. Os modelos mais simples de estudos em Conforto Térmico consideram a temperatura do ar, provavelmente por ser a mais conhecida, a única variável do processo de dissipação do calor e a principal causa do maior ou menor rigor climático de um lugar. Entretanto, para a caracterização correta de um clima é necessário analisar cada variável, sua importância e efeitos no meio e o intercâmbio com as demais variáveis.

“Deve-se observar, ainda, que cada uma destas variáveis sofre, por sua vez, modificações durante o dia e que portanto, também que devem ser levadas em conta a radiação solar, as luzes, pessoas, aparelhos elétricos e outros geradores de calor” (RIVERO, 1986). Conclui-se assim que o edifício é um concentrador em potencial de energia, havendo constantes trocas térmicas entre o homem e o ambiente. Nestes termos, a condução não apresenta geralmente grande relevância nestas trocas; a convecção depende da temperatura e velocidade do ar; a radiação depende da temperatura radiante média e a evaporação depende da velocidade e umidade do ar.

Ruas (1999) determina alguns fatores dos quais depende o comportamento térmico de um edifício, que são eles:

- As condições do clima, que são o efeito conjugado dos valores de temperatura e umidade relativa do ar, direção e velocidade do ar e radiação solar direta e difusa;
- A concepção do projeto e condições de construção e implantação (orientação do edifício), sistemas construtivos e de ventilação;
- A manutenção necessária às condições inicialmente projetadas;
- O tipo de ocupação do edifício, definido pelas atividades desenvolvidas, número de ocupantes e horário de uso.

2.6.1 Radiação Solar

A energia solar representa a fonte energética mais antiga, disponível, não-poluente e praticamente inesgotável na Terra; para seu esgotamento, são estimados alguns bilhões de anos. Como principal fonte de energia para o planeta, tanto para luz quanto para calor, o Sol assume grande importância para a eficiência energética das edificações, representando uma fonte de energia de grande aproveitamento para a produção de calor ou eletricidade. Tomando como premissa básica o conforto térmico e/ou visual, é possível e necessário aproveitar os benefícios que o sol concede, no propósito de conceber edificações que respondam simultaneamente à eficiência energética e às necessidades de conforto do usuário.

Mas este aproveitamento vai além destas vantagens. As demais vantagens são: 1) não produz poluição térmica nem química; 2) tecnologia relativamente simples; 3) uso importante em pesquisas e viagens espaciais (LUIZ, 1985). A radiação solar é dividida em direta e difusa. A radiação direta é aquela que atinge a superfície da terra sem sombreamento, obstrução ou espalhamento pelas nuvens por causa das variações da turbidez¹² e por causa da espessura ótica das nuvens (ACIESP, 1997).

A radiação difusa é assim chamada porque após a incidência na atmosfera, a radiação direta sofre interferências no trajeto em direção à superfície terrestre. É aquela resultante do espalhamento da radiação solar na atmosfera, por nuvens, partículas de poeira e outros. A parcela que atinge diretamente a Terra é denominada radiação direta (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 1997). São dois os tipos de radiação térmica, a de onda longa e a de onda curta. Seus comportamentos variam em relação à absorção de calor pelos corpos.

2.6.1.1 A incidência da Radiação Solar no Brasil

Em função da inclinação dos raios solares, a energia solar é mais disponível para países tropicais do Terceiro Mundo. Observando o Planisfério Terrestre, verifica-se que o Brasil localiza-se entre as latitudes 5° N e 32° S, fazendo-o possuir maior disponibilidade de energia solar entre os países tropicais. Devido à sua grande extensão territorial, o Brasil é o país de maior potencial

¹² Opacidade da água devida à presença de partículas sólidas em suspensão (ACIESP, 1997).

para o aproveitamento da energia solar. Para se ter uma idéia, as estimativas indicam uma disponibilidade média anual de energia solar no Brasil de aproximadamente $2,5 \times 10^{22} \text{ cal} = 10^{23} \text{ J}$.

A energia média anual atualmente consumida no mundo inteiro vale aproximadamente $2,5 \times 10^{18} \text{ J}$. Assim, a energia solar anual incidente no Brasil, seria suficiente para o consumo energético da humanidade durante o período de um ano. Na Região Nordeste, cuja localização encontra-se entre 3° N e 13° S , a potencialidade para o aproveitamento da energia solar é máxima (LUIZ, 1985). Teoricamente, o número total de horas de insolação durante um ano é de 4380 h, o que resultaria em 12 horas/dia. Porém, levando-se em conta apenas as horas de maior incidência e calor intenso, conclui-se que o país tem disponível em média 2000 h de insolação/ano, que daria 5 a 6 horas/dia (ROSA E MOREIRA, 1986), fica clara a necessidade de intensificar os estudos em conforto térmico, em favor da melhoria das condições térmicas do homem, com o fim de reduzir a utilização excessiva e nem sempre correta da energia operante, a energia elétrica.

2.6.2 Amplitude térmica

É a diferença entre as médias das temperaturas máximas e mínimas. De acordo com Rivero (1986), em climas secos, com pouca nebulosidade e umidade, esta variável é maior do que em climas úmidos. Isto se deve à menor incidência da radiação solar no plano horizontal em climas úmidos devido à nebulosidade, o que faz aumentar as perdas por evaporação em função da umidade que cobre o solo. Segundo o mesmo autor, quando conhecemos a amplitude térmica de determinado meio, se pode prever se o clima é seco ou úmido. Vários fatores interferem na amplitude térmica de um clima local; entre eles, a proximidade ao mar, cuja influência em regiões litorâneas interfere sobremaneira no clima, devido às variações diárias e anuais de temperatura que apresenta, causando desta forma, alterações climáticas e pequenas oscilações térmicas.

2.6.3 Temperatura do Ar (TA)

É a variável determinante para a sensação térmica dos seres humanos. Pode ser definida como a condição básica que determina o fluxo de calor entre os corpos. Para a ISO DIS 7726 (1996) possui grande importância nas trocas de calor por convecção entre o corpo e o ar. Denominada Temperatura Seca ou Temperatura de Bulbo Seco (TBS), é medida em $^\circ\text{C}$ (centígrados) (Figura 2.3). O equipamento utilizado para sua medição é o Termômetro de Bulbo Seco, cuja proteção metálica reflete a radiação incidente, possibilitando a medição da temperatura à sombra.

Como o ar é diatérmano, ou seja, é transparente às ondas eletromagnéticas (radiação de ondas curtas emitidas pelo sol), a radiação é absorvida pela superfície terrestre e refletida na forma de ondas longas (transformadas em calor) para a atmosfera. A temperatura do ar é resultado do balanço energético entre a superfície da terra e a atmosfera e pode variar de acordo com a altitude e as condições atmosféricas (conteúdo de vapor de água, proveniente da umidade do ar, e dióxido de carbono, CO_2 , proveniente dos processos de combustão).

2.6.4 Temperatura de Bulbo Úmido (TBU)

A Temperatura de Bulbo Úmido indica o nível de umidade presente no ar quando correlacionada com a Temperatura de Bulbo Seco. É medida pelo Termômetro de Bulbo Úmido, que consiste em um termômetro comum de mercúrio com o bulbo revestido por um tecido saturado de água. Neste processo, ocorre a evaporação da água contida no tecido; para evaporar-se, a água precisa de calor, que é retirado do mercúrio, fazendo com que este atinja determinada temperatura que não seja mais possível favorecer a evaporação. Esta temperatura permite avaliar o nível de umidade do ar presente no ambiente. A esta temperatura obtida denomina-se Temperatura de Bulbo Úmido (Figura 2.5). A diferença entre TBS e TBU varia de acordo com a umidade do ar (RORIZ, 1987).

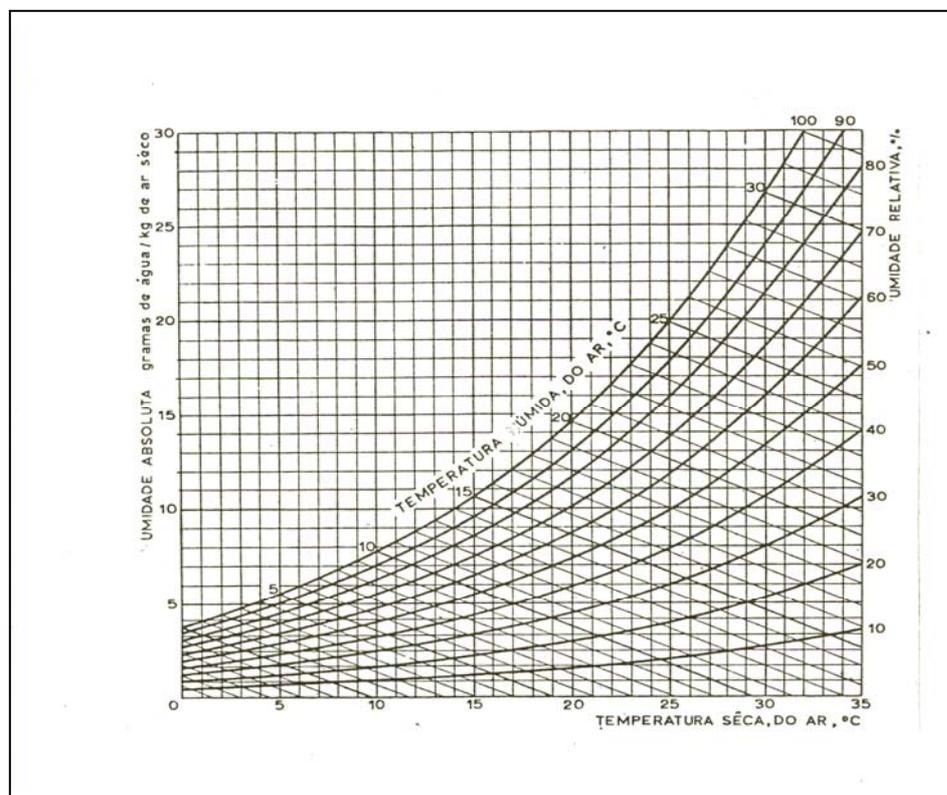


Figura 2.5: Diagrama Psicrométrico (Umidade/Temperatura). Fonte: RORIZ, 1987.

2.6.5 Temperatura de Globo (TG)

É a temperatura medida pelo termômetro de globo, que consiste em um globo de cobre, pintado externamente de preto fosco (Figura 2.6). Dentro deste globo é colocado um sensor, que mede a temperatura do ar, mediante a influência da radiação solar. Segundo a ISO 7726 (1996), a temperatura de um ambiente resultante do calor recebido pela radiação solar representa um dos fatores de desconforto térmico. Esta norma determina precisão das medições, acurácia e o tempo de resposta dos sensores para cada parâmetro ambiental (GOMES, 2002). Sendo uma variável importante na análise do Conforto Térmico, a obtenção de valores imprecisos ou incorretos nas medições da temperatura radiante média, pode levar a sérios erros na análise do Conforto Térmico. Estes erros

podem ser decorrentes de vários fatores, entre eles a exposição do aparelho à radiação solar no momento da medição. Esta temperatura, juntamente com a temperatura e a velocidade do ar, é necessária para se obter a temperatura radiante média.



Figura 2.6: Termômetro de globo.
Fonte: GOUVÊA, 2004.

2.6.6 Temperatura Radiante Média (TRM)

É a temperatura que se processa através da transferência de calor por meio da radiação e se propaga nas superfícies adjacentes ao ambiente circundante, transmitindo às pessoas o calor produzido. Desta forma, pisos, paredes, teto e equipamentos, elementos do espaço interno, e árvores, solos e edificações, elementos do espaço externo, emitem radiações que servem de intercâmbio de calor entre o homem e o ambiente (RIVERO, 1986). Ainda citando Rivero (1986), a energia radiante, constituída por ondas eletromagnéticas, se propaga a uma velocidade alta, de aproximadamente, 300.000 km/s. Qualquer comprimento de onda é transformado em calor, não apenas os provenientes da radiação solar. Assim, a radiação emitida por paredes, lâmpadas ou qualquer outro material, transforma-se em calor quando é absorvida pela nossa pele.

Estas radiações participam do balanço radiativo com a superfície exterior da vestimenta utilizada pelo homem. Sua importância na avaliação do conforto térmico humano se deve à grande influência na sensação térmica das pessoas; uma mudança de 1°C na temperatura da superfície (temperatura radiante média) pode alterar a sensação térmica tanto quanto uma mudança de 1°C na temperatura do ar. A **TRM** pode ser medida com o termômetro de globo. A equação que define a TRM está descrita abaixo (Equação 2.6):

$$TRM = TG + 0.24(TG - TA) (V)^{0.5} \quad [\text{Eq. 2.6}]$$

Sendo:

TA – Temperatura do Ar (°C)

TRM – Temperatura Radiante Média (°C)

TG – Temperatura de globo (°C)

V – Velocidade do Ar (m/s)

2.6.7 Temperatura Operativa (TO)

A temperatura operativa leva em conta a TRM, temperatura radiante média, proveniente das superfícies circundantes, tais como vedações, paredes e mobiliário. Esta temperatura é resultante do calor da radiação solar e da temperatura do ar. Também é medida pelo termômetro de globo. A TO, temperatura operativa interna, pode ser descrita pela seguinte equação (Equação 2.7):

$$TO = \frac{(TA + TRM)}{2} \quad [\text{Eq. 2.7}]$$

Sendo:

TA = Temperatura do Ar (°C)

TRM = Temperatura Radiante Média (°C)

2.6.8 Umidade Absoluta do Ar

A Umidade Absoluta do Ar representa a quantidade de vapor de água existente no ar. É expressa em gramas de vapor/quilograma de ar seco ou em milímetros de mercúrio (mmhg), unidade de pressão proporcional à umidade.

Dependendo da temperatura, o ar admite teores diferentes de umidade, acima dos quais haverá saturação. Quanto mais quente estiver o ar, mais alto será este limite. Denomina-se Pressão de Vapor Saturante (PVS) ou Tensão máxima do vapor à pressão (mmhg) correspondente ao limite superior de umidade admissível para cada valor da temperatura. A Pressão Atual de Vapor (PA) representa o teor de umidade existente no ar no momento considerado (RORIZ, 1987).

As equações de balanço energético são deduzidas com base na pressão parcial do vapor de água no ar. Por isto, é necessário definir o estado higroscópico (quantidade de vapor de água) do ar em termos de temperatura seca. “Sob um ambiente quente, o corpo humano procura perder calor, entre outros mecanismos, através da evaporação do suor. Quanto mais úmido estiver o ar, mais difícil será realizar esta perda e, por consequência, maior será a sensação de calor” (RORIZ, 1996).

2.6.9 Umidade Relativa do Ar (UR)

A Umidade Relativa do Ar é a razão entre a massa de água de vapor existente no ar e o máximo que este pode conter, ou seja, é a relação percentual entre a Pressão de Vapor Atual (PA) e a Pressão de Vapor Saturante (PVS). Tem forte relação com a temperatura do ar no tocante ao conforto térmico dos indivíduos. Como fator relevante à saúde, a Umidade Relativa do Ar (UR) não deve ser inferior a 20%, para não ocorrer o ressecamento das mucosas (nariz, boca e garganta). É medida pelo psicrômetro (Figura 2.7).



Figura 2.7: Psicrômetro.
Fonte: GOUVÊA, 2004.

2.6.10 Velocidade do Ar (VA)

Na análise do Conforto Térmico os efeitos da velocidade do ar apresentam importância considerável, no que tange os processos de troca de calor, principalmente por convecção. A velocidade do ar é uma variável de grande influência no conforto térmico do homem, pois favorece os processos de troca de calor do corpo com o ar ambiente através da convecção e da evaporação. Assim, a sensação térmica humana é determinada pela intensidade da ventilação. Especialmente para os climas quente-úmidos, a ventilação representa um fator imprescindível, visto que representa o fator climático que ajuda a diminuir a sensação térmica desconfortável provocada pelo calor e favorece o processo de evaporação do suor.

O movimento do ar em um meio térmico exerce influência no conforto térmico das pessoas, podendo ter resultados benéficos quando, sob condições de calor, o movimento do ar reduz o desconforto térmico, devido à aceleração da perda de calor pelo corpo. Neste caso, quanto maior a velocidade do ar maior será a quantidade de calor liberado e menor será a sensação de calor. Por outro lado, a velocidade do ar pode ter resultados maléficos, quando, sob condições de frio e dependendo do valor da velocidade do ar e da temperatura ambiente, o movimento do ar favorece menor perda de calor pelo corpo, resultando no acúmulo de calor no organismo. Neste caso, quanto maior a velocidade do ar, menor será a quantidade de calor liberado e maior será a sensação de frio, instalando-se o

desconforto por frio. Assim, as sensações térmicas dependem mais precisamente do valor que a velocidade do ar atinge do que do valor que a temperatura do ar apresenta (Figura 2.8).

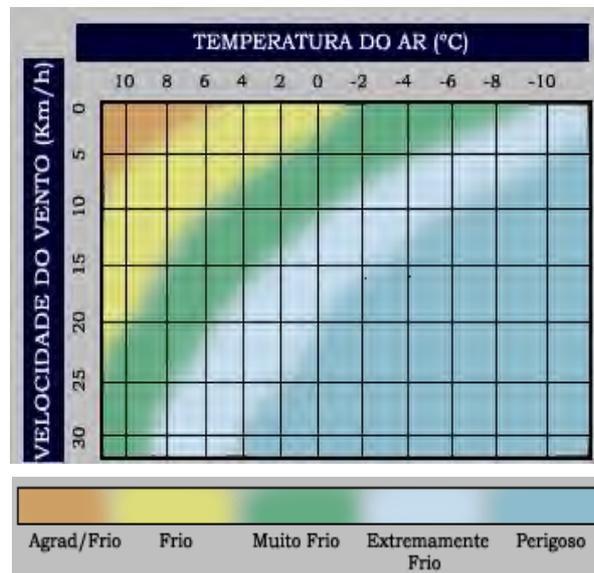


Figura 2.8: Relação entre velocidade do vento, temperatura do ar e sensações térmicas.

Fonte: <http://www.wsys.com.br/conforto.html>

Na figura 2.8 pode-se notar a influência da velocidade do vento e da temperatura do ar nas sensações térmicas do homem. À medida que a velocidade do vento se eleva e a temperatura do ar cai, mais desconfortável (em relação ao frio) é a sensação térmica do homem. Por outro lado, quanto mais a velocidade do ar diminui e a temperatura do ar aumenta, mais confortável o homem estará. Em ambos os casos, alterações drásticas e extremas resultam em comprometimento da saúde humana e conseqüentemente, no aumento o risco de reações indesejáveis que possam causar sérias lesões e até mesmo a morte.

A velocidade do ar é medida com um instrumento denominado anemômetro. Como as oscilações na direção e intensidade do vento são rápidas e constantes, a velocidade do ar representa uma variável de difícil medição. Existem basicamente três tipos de anemômetro, utilizados para determinar a velocidade do ar em estudos em conforto térmico: 1) anemômetro de palhetas; 2) anemômetro térmico (anemômetro de fio quente); 3) termômetro de kata. O anemômetro de palhetas é mais adequado para medições em locais abertos (externos), cuja velocidade do ar se apresenta mais elevada. Em locais fechados (internos), onde a velocidade não é superior a 1m/s, geralmente é utilizado o anemômetro térmico ou o termômetro de kata¹³ (Figura 2.9).

¹³ Equipamento utilizado para medição da velocidade do ar em ambientes internos. É um termômetro sobre o qual são feitas duas marcas que definem um intervalo de temperatura. O bulbo é levemente aquecido até o mercúrio ultrapassar a marca superior. Este termômetro é colocado no local de medição da velocidade do ar, e com um cronômetro, se registra o tempo que o mercúrio demora para baixar de temperatura entre as duas marcas. De posse dos dados do tempo, da temperatura do ar e de uma constante fornecida pelo fabricante do termômetro, se pode determinar, em um ábaco, a velocidade do ar (RORIZ, 1987).

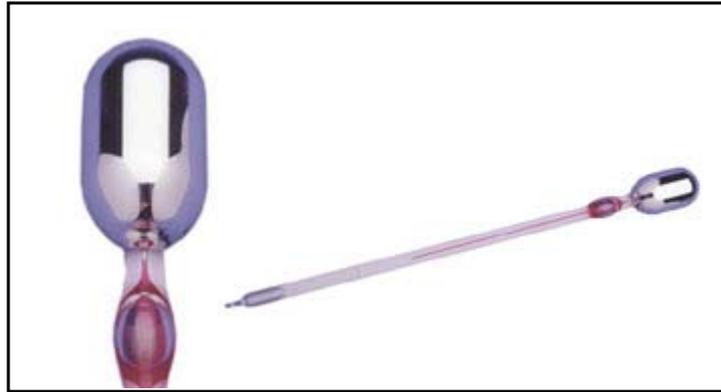


Figura 2.9: Termômetro de Kata utilizado nos trabalhos de campo.

Fonte: www.casellacel.com

2.7 Variáveis Pessoais

Os valores de temperatura, pressão, umidade e velocidade do ar, bem como o conteúdo de oxigênio e anidrido carbônico requerido pelo organismo humano dependem de uma série de fatores pessoais, inerentes a cada indivíduo. Estes fatores são denominados variáveis pessoais ou individuais. As variáveis pessoais sugerem um caráter subjetivo às sensações e preferências térmicas humanas, o que reduz a possibilidade das condições de conforto térmico de um ambiente atenderem às expectativas de um número maior de indivíduos.

O corpo humano apresenta uma constituição biológica capaz de alterar seu comportamento térmico no decorrer das horas do dia, através das funções dos órgãos vitais. Cada organismo reage de maneira diferenciada à produção e liberação do calor ao ambiente, o que determina que, além das condições climáticas, os níveis adequados de conforto térmico para os seres humanos dependem das variáveis pessoais, responsáveis pela variação biológica de cada indivíduo. Dentre as variáveis pessoais mais relevantes ao estudo do conforto térmico destacam-se: aclimação, atividades exercidas, metabolismo, vestimenta, sexo, idade, tipo físico (altura x peso), nível de stress emocional e hábitos alimentares. Cada uma das variáveis pessoais interfere nos processos de troca de calor entre o homem e o ambiente, exercendo influência nas sensações térmicas resultantes.

2.7.1 Ciclo Circadiano e Metabolismo (Taxa metabólica)

A vida do ser humano é regida por ciclos. Alguns deles podem ser medidos em décadas, outros mais breves, com intervalo de tempo curto, como o ciclo do dia e da noite, conhecido como *Ciclo Circadiano* ou *Circadino*. O organismo sofre variações fisiológicas importantes durante as 24 horas do dia. Durante o dia, preparado para realizar atividades, tem os batimentos cardíacos em ritmo mais acelerado, a produção de suor e a circulação sanguínea mais intensas. Durante a noite, se prepara fisiologicamente para o descanso, tendo os batimentos do coração mais lentos e o nível de atividade geralmente mais baixo. Este mecanismo ocorre da seguinte forma:

Por volta das 19 horas, aproximadamente, quando a luminosidade natural diminui, a **retina** manda uma mensagem para o **hipotálamo** de que escureceu. A mensagem chega ao **‘relógio biológico’**, que fica na porção anterior do hipotálamo. É o sinal para o relógio acionar o **‘botão de liga e desliga’** (apelidado de *sleep switch*, interruptor do sono, em inglês). O relógio avisa a **glândula pineal** (ou hipófise) para começar a liberar a produção do hormônio **melatonina**, que facilita o início do sono. Como a produção demora cerca de duas horas para chegar a seu ápice, o melhor horário para ir para a cama é a partir das 21 ou 22 horas. O botão também avisa outros mecanismos relacionados ao acúmulo de cansaço, avisando que chegou o momento de repousar. O botão de liga e desliga do sono nada mais é do que um aglomerado de células conhecidas como *sonogênicas* – que ficam na parte da frente do hipotálamo. Elas se conectam com outras células que estão na parte de trás do hipotálamo, cuja função é a oposta – manter o corpo acordado (RIZZO, 2004). (Figura 2.10).

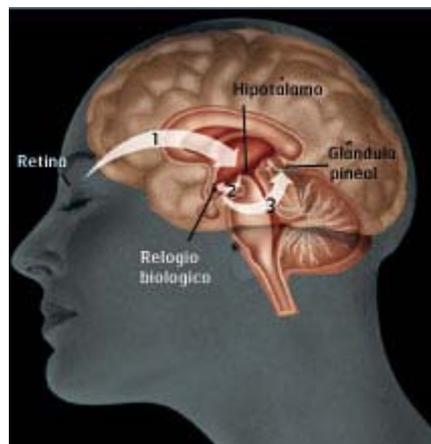


Figura 2.10: O Mecanismo do sono no cérebro.

Fonte: Revista Época. Outubro, 2004.

Algumas pesquisas mencionam que o início da produção da melatonina ocorre por volta das 18 horas, e atinge a melhor concentração em torno das 20 horas. Nesse horário, com o ápice da produção de melatonina, o organismo se predispõe a adormecer e durante o sono ocorre a queda de temperatura e da taxa metabólica, em função do repouso do corpo. Este fato atesta e corrobora que a sensação de desconforto por frio ocorre também devido a reações fisiológicas do corpo humano, não só a fatores externos, referentes à climatologia.

Um estudo publicado na edição de dezembro da revista *Sleep Research* demonstra a existência de uma relação positiva entre exposição à luz e sono. A análise dos dados feita pela psicóloga Yvonne Harrison, professora da Escola de Psicologia da Universidade John Moores, em Liverpool, Inglaterra, mostrou que crianças que saíram de casa à tarde, entre meio-dia e 16h, e por isso foram expostas à luz natural duas vezes mais, em média, que aquelas que ficaram em casa, dormiram melhor quando a noite chegou. A cientista britânica tem uma possível explicação para o fato que ela constatou. A exposição à luz natural em altos níveis, diz Yvonne, estimula o desenvolvimento do relógio biológico, regulador de uma série de funções do corpo, como a produção de melatonina. Essa substância tem uma grande importância para o balanço dos padrões de sono (AGÊNCIA FAPESP, 2004).

A produção e liberação da melatonina funcionam como um aviso para o organismo se ‘preparar’ para dormir. Quando o processo tem início, a temperatura cai de 1°C a 2°C, aproximadamente, e a pressão arterial também sofre uma leve queda. O desempenho físico e mental do homem está diretamente ligado a uma boa noite de sono. O efeito de uma madrugada em claro é semelhante ao de uma embriaguez leve: a coordenação motora é prejudicada e a capacidade de raciocínio comprometida. Sem o merecido descanso, o organismo deixa de cumprir uma série de tarefas importantes ao bom funcionamento do corpo.

Em estudo realizado pela Universidade de Chicago, nos Estados Unidos, 11 pessoas com idades entre 18 e 27 anos foram ‘impedidas’ de dormir por mais de quatro horas durante seis dias. O efeito foi assustador. No final do período, o funcionamento de seus organismos era comparável ao de uma pessoa com mais de 60 anos. Os níveis de insulina semelhantes aos de portadores de diabetes. Isso acontece em função do trabalho que o sono realiza. Enquanto se dorme, uma espécie de ‘exército’ de reconstrução atua, recuperando as ‘baixas de energia’ acumuladas no período em que se fica acordado. Este processo prepara o corpo para o trabalho do dia seguinte. Durante o sono profundo, as proteínas são sintetizadas em larga escala, com o objetivo de manter ou expandir as redes de neurônios ligados à memória e ao aprendizado.

O ritmo circadiano favorece a variação das funções do organismo e do comportamento humano ao longo das 24 horas do dia, podendo resultar em respostas metabólicas diferentes a uma mesma situação de trabalho. Em relação às temperaturas ocorridas, o homem associa às horas noturnas temperaturas mais amenas. Roriz (2003) destaca a importância do relógio biológico para a análise das percepções, sensações e preferências térmicas do homem, ressaltando:

[...] o organismo humano dispõe de um mecanismo de registro de determinados ritmos da natureza. O movimento de rotação da Terra ao redor do próprio eixo e a conseqüente oscilação diurna da temperatura do ar estabelece um destes ciclos, com as temperaturas mínimas ocorrendo pouco depois do nascer do sol e, as máximas, duas a três horas após o meio-dia. Sendo este ritmo um dos mais evidentes na natureza, é plausível supor que o relógio biológico o considere (RORIZ, 2003).

Para manter as funções vitais de seu corpo e realizar suas atividades, o homem necessita de energia. Essa energia provém do processo de combustão¹⁴ dos alimentos, ocorrido após a ingestão alimentar, devido ao consumo de oxigênio. Grande parte desta energia (calor metabólico) é transformada em energia térmica. O calor metabólico produzido no corpo é maior quanto mais intenso o ritmo da atividade exercida. Desta forma, o processo pelo qual ocorre a combustão e a combinação das substâncias alimentares, transformando-as em energia e no calor interno do corpo humano é chamado *Metabolismo*. A taxa metabólica corresponde à taxa ou nível de utilização de energia pelo corpo, que é liberada pelo processo de oxidação (através da secreção de suor) do organismo humano e depende da atividade muscular executada (Figura 2.11).

¹⁴ Reação química com o oxigênio = oxidação.

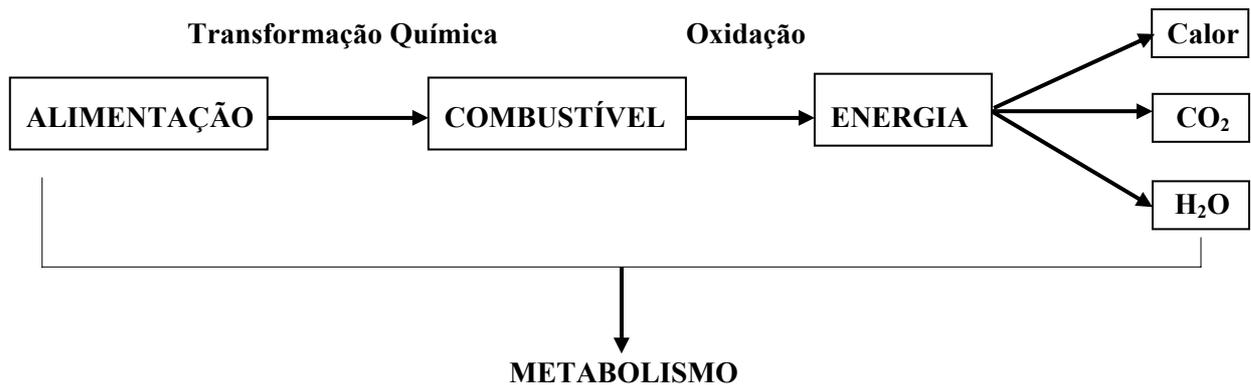


Figura 2.11: Representação esquemática do processo metabólico.
Fonte: Adaptado de XAVIER, 2000.

Normalmente toda atividade muscular produz energia, que é convertida em trabalho e calor no corpo, através do bom funcionamento dos órgãos do corpo e do processo metabólico. Se toda atividade se transformasse apenas em calor, o corpo não realizaria trabalho. Exemplo: Ao empurrar um objeto o corpo está realizando uma atividade muscular e o deslocamento do objeto ocorre em função do trabalho executado. Ou seja, se toda a energia do corpo se transformasse em calor não haveria deslocamento.

O metabolismo é um processo no qual as substâncias da alimentação se combinam no corpo com o oxigênio, gerando a energia necessária para o funcionamento dos vários órgãos do corpo, assim como a contração dos músculos durante o trabalho e a atividade involuntária dos órgãos internos, circulação do sangue, respiração, secreção interna das glândulas e formação do suor, etc., e para a construção dos tecidos do corpo. Esta taxa é geralmente proporcional ao peso do corpo (GIVONI, 1981).

De acordo com Koenigsberger et al. (1977), citados por Araújo (2001), o corpo utiliza apenas 20% da energia total produzida por ele, que são transformados em trabalho. Os 80% restantes são transformados em calor e dissipados para o ambiente. Porém, durante o trabalho físico árduo, a proporção de calor pode baixar para 75%. A produção total de calor metabólico pode dividir-se em metabolismo basal, ou seja, a produção de calor nos processos vegetativos (repouso absoluto do corpo), e o metabolismo muscular, que implica na produção de calor dos músculos enquanto desenvolvem o trabalho (ARAÚJO, 2001). O metabolismo basal corresponde à taxa verificada durante o repouso absoluto do corpo.

O metabolismo muscular, também chamado metabolismo de atividade, corresponde ao esforço físico, ao trabalho executado pelo corpo, no momento da realização de alguma atividade, cujo ritmo seja de baixa, média ou alta intensidade. Assim, atividades de ritmo menos intenso tendem a resultar em um metabolismo basal mais baixo, ao passo que atividades de ritmo mais intenso, tendem a resultar em um metabolismo de atividade mais elevado. Representa a produção de calor

pelos músculos na execução de determinado trabalho envolvendo movimentos. A taxa metabólica (ou nível metabólico) é definida na unidade **met**¹⁵ (Figura 2.12).

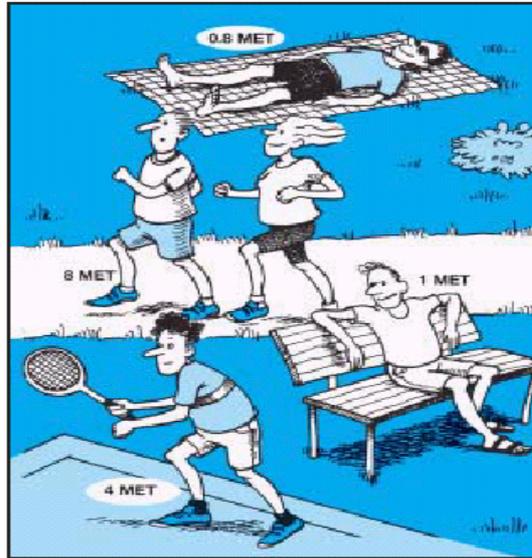


Figura 2.12: Valores médios do metabolismo em função da atividade exercida.

Fonte: THERMAL BOOKLET, 2002. <http://www.innova.dk/>

Parsons (2001), citado por Gomes (2002), afirma que não é possível obter uma estimativa precisa da produção de calor metabólico. A taxa metabólica do homem é menor durante o sono (em torno de 0,8 met) e maior durante as atividades esportivas de alto nível, onde 10 met pode ser frequentemente alcançado. É interessante observar que o trabalho doméstico é relativamente árduo, com valores na faixa de 2,5 a 3 met. Para a mesma atividade, o metabolismo varia com a área corporal (m^2), tomando-se o valor de 1,7 a 1,8 m^2 como área do corpo de um adulto. Uma pessoa em conforto térmico com nível de atividade de 1 met terá uma perda de calor de aproximadamente 100W.

De acordo com Ruas (1999), “a representação de um ciclo de trabalho por uma taxa de metabolismo é uma tarefa difícil uma vez que esse ciclo é normalmente composto por diferentes atividades que expõem o homem a uma combinação de períodos de descanso e de variada solicitação física; além disso, essa taxa também depende de fatores individuais e do método utilizado na execução das tarefas”. Quando avaliamos a taxa metabólica de um indivíduo, é importante utilizar a média de valores das atividades exercidas, realizadas dentro de uma hora.

A razão para isto se deve ao fato de que a capacidade térmica do corpo corresponde a, aproximadamente, uma hora do nível de atividade. Ou seja, geralmente em uma hora de atividade, o corpo humano é capaz de manter uma temperatura constante, a depender do ritmo da atividade e da maneira como os órgãos vitais do corpo humano respondem a este estímulo. A influência da temperatura do ar é também um outro fator que interfere nos níveis da taxa de metabolismo. Para McIntyre (1980), “em um ambiente a 10°C, o tremor muscular pode duplicar o metabolismo de

¹⁵ met – unidade de medida da taxa de metabolismo de uma pessoa. 1 met = 58.15 W/ m^2 da superfície do corpo = energia produzida por unidade da área corporal de uma pessoa sentada.

pessoas nuas em repouso”. O autor afirma que o calor também afeta diretamente o processo metabólico, devido ao aumento da velocidade das reações químicas envolvidas.

2.7.2 Hábitos Alimentares

Os hábitos alimentares representam um fator de importância na produção de calor do organismo humano. “Com as baixas temperaturas do inverno, nosso organismo necessita de quantidades maiores de energia para manter-se em temperatura ideal, garantindo assim o bom funcionamento de suas funções fisiológicas vitais. Para que isto aconteça, a tendência é aumentar o consumo de alimentos calóricos. Com a chegada do verão as mudanças que ocorrem no organismo devem ser ajustadas a uma alimentação especial, preocupando-se agora com a redução das calorias ingeridas” (BOLETIM CIÊNCIA, Outubro de 2004).

Segundo o autor, o hábito de fazer várias pequenas refeições ao dia ajuda também no aumento da produtividade. À medida que chega mais alimento ao organismo, este manda menos reserva para os depósitos de gordura, pois associa que haverá menos tempo até a próxima refeição, não sendo necessário haver um estoque para se converter em energia, que representa a maior e indispensável fonte da função muscular para realizar trabalho e movimento. O organismo concentra e armazena as calorias alimentares nos músculos e no fígado, na forma de glucogênio, substância proveniente da glicose que é a responsável pela liberação da energia ao organismo.

O baixo consumo desta substância resulta em sintomas como fadiga, indisposição e baixo desempenho nas atividades de trabalho. Além da influência da atividade física, a produção de calor metabólico pode ser alterada por um determinado efeito da ingestão alimentar. Trata-se do chamado *efeito ADE – Ação Dinâmica Específica* (RUAS, 1999). Este efeito faz com que a ingestão de alimentos provoque um aumento na produção de calor metabólico no organismo, que vai depender do tipo de alimento e da quantidade ingerida. Neste efeito, sabe-se que as proteínas causam um efeito maior, ou seja, uma maior produção de calor metabólico, e conseqüentemente, de energia; os carboidratos um efeito médio e as gorduras um efeito menor.

Desta forma, uma alimentação adequada, rica em proteínas é um dos principais fatores que interferem no aumento da produtividade do ser humano, ao passo que uma alimentação rica em gorduras representa tendência à redução desta produtividade. O metabolismo sofre mudanças, alterando as sensações térmicas humanas (XAVIER, 2000). Ong (1995) citado por Xavier (2000), considera que a alimentação, a taxa de gordura e a regularidade na prática de exercícios são fatores que interferem significativamente no metabolismo basal, influenciando a sensibilidade à temperatura. O hábito pela ingestão de bebidas alcoólicas também pode aumentar as chances de haver alterações no metabolismo. É o que especula um estudo realizado por um grupo de pesquisadores da UNIFESP. “[...] segundo os pesquisadores, especula-se que algumas substâncias presentes em bebidas energéticas, como a taurina e a cafeína, interfiram no metabolismo do indivíduo” (BOLETIM CIÊNCIA, Outubro de 2004).

2.7.3 Adaptação Térmica Humana e Aclimação

Durante milhares de anos, o processo evolutivo da raça humana atravessou muitas transformações. Dentre elas, a maior e mais benéfica se refere à inteligência do homem e à capacidade de pensar, o que o diferencia da maioria dos outros animais. O cérebro do homem executa as mais inteligentes reações mediante uma determinada situação. Dentro destas reações, pode-se destacar, no âmbito do conforto térmico, a defesa contra os ‘ataques’ do clima, na qual o homem utiliza meios para obter o máximo de conforto, tendo em vista sua adequação às próprias exigências térmicas.

A adaptação térmica humana compreende três processos inter-relacionados e distintos: ajustes comportamentais, fisiológicos e psicológicos. O termo ‘adaptação’ pode ser interpretado como a diminuição gradual das respostas adversas do organismo a estimulações ambientais repetidas. De acordo com De Dear (1997)¹⁶, a adaptação tem uma ampla definição e presume todos os mecanismos fisiológicos da aclimação acrescidos dos processos comportamentais e psicológicos do ser humano. O autor conceitua a aclimação como alterações ocorridas no sistema termo-regulador fisiológico por um período de dias ou semanas, em resposta à exposição a um ou vários agentes térmicos ambientais combinados.

A aclimação representa o fator crítico que permite a uma pessoa resistir ao stress térmico com mínima tensão dos mecanismos fisiológicos termorreguladores. Uma pessoa aclimatada ao calor, quando exposta a ambientes e atividades relacionados à tensão térmica, tem os seguintes benefícios: ajuste mais fino na taxa de produção de suor, temperaturas menores nos órgãos internos e na pele do que os não aclimatados, pressão sanguínea mais estável e melhor regulada, correção nas taxas de pulsação, melhora na produtividade e segurança, ressaltam Coles et al., citados por Roriz (2003).

De Dear e Brager (1998), após ampla pesquisa bibliográfica acerca da adaptação térmica do homem no ambiente construído, obtiveram as seguintes conclusões:

- Os ajustes comportamentais e a expectativa são mais importantes no processo de adaptação térmica do que os ajustes fisiológicos da aclimação, pois estes dependem de cada organismo;
- A reação das pessoas se apresenta diferente em relação a ambientes naturalmente ventilados e a ambientes com sistema de condicionamento de ar. Os ocupantes de edificações naturalmente ventiladas preferem temperaturas que se assemelham a do clima externo, a exigência e expectativa são menores e a tolerância a oscilações na temperatura é maior. Nos ambientes com ar condicionado, a expectativa por um ambiente refrigerado é maior e isso pode aumentar a sensibilidade térmica das pessoas, caso as condições se afastem do esperado.
- As análises dos modelos baseados no balanço térmico do corpo, a exemplo do VME, geralmente não levam em conta a expectativa, mas apenas os ajustamentos comportamentais.

¹⁶ Richard De Dear, pesquisador americano, autor de vários estudos em Conforto Térmico. Um dos autores e coordenadores do projeto ASHRAE RP-884.

Devido à grande extensão territorial do Brasil, cuja diversidade e caracterização climática se apresentam bastante vasta, considera-se a aclimatação como um dos aspectos de importância na análise do conforto térmico humano. Da aclimatação dependem as diversas preferências térmicas do homem, bem como as reações ocorridas no seu organismo. Coles et. al., (2002) citados por Roriz (2003), classificam três fases do processo de aclimatação ao calor:

- **Fase inicial:** Ocorre durante uma seqüência de dias de exposição ao calor. Usualmente, 33% do resultado ótimo são obtidos em torno do 4º dia;
- **Fase Intermediária:** Quando o sistema cardiovascular é estabilizado e as temperaturas internas e da pele já estão modificadas. Usualmente, 44% do resultado ótimo são atingidos no 8º dia, embora alguns especialistas considerem que 70% ou 80% do resultado possam ser obtidos entre o 7º e o 8º dias;
- **Terceira fase:** Caracterizada por redução na produção de suor e urina, além de outras compensações para conservar os fluidos do corpo e restabelecer o equilíbrio térmico. Usualmente, mais de 65% do ótimo no 10º dia, 93% no 18º dia e 99% no 21º dia.

2.7.4 Atividades Exercidas

A atividade física exercida (quantificada pela taxa de metabolismo) é fator determinante na produção de calor. Dependendo da atividade física realizada, o corpo humano apresenta valores diferentes da taxa metabólica, o que o faz produzir maior ou menor quantidade de calor. Quanto maior o esforço físico, maior o trabalho realizado, e maior o calor gerado pelo corpo. É expressa pela unidade W (Watt). A sensação de conforto térmico de uma pessoa depende, desta forma, da atividade física que realiza. Esta é uma das principais premissas do processo de projetar, uma vez que deve levar em conta a função do ambiente a ser projetado, e assim, o nível de conforto térmico dos seus usuários. Na tabela 2.5 são apresentados os valores típicos do calor gerado pelo homem de acordo com a atividade exercida:

Tabela 2.5: Atividades físicas e respectivas taxas de metabolismo.
Fonte: Adaptado de RIVERO, 1986 e DUTRA, LAMBERTS e PEREIRA, 2004.

Atividades	W
Dormir	80
Sentado, em repouso	90
Tarefas de escritório	130
Trabalhos leves (domésticos)	230
Trabalhos médios (artesanais, limpeza)	300
Trabalhos pesados, ginástica	470
Esportes de médio nível	800
Esportes de alto nível	1000

A atividade exercida apresenta grande importância na definição das condições térmicas do meio, como se pode observar na figura 2.13. “O gráfico permite apreciar, entre outras coisas, a importância da atividade na definição das condições térmicas mais apropriadas ao homem” (RIVERO, 1986).

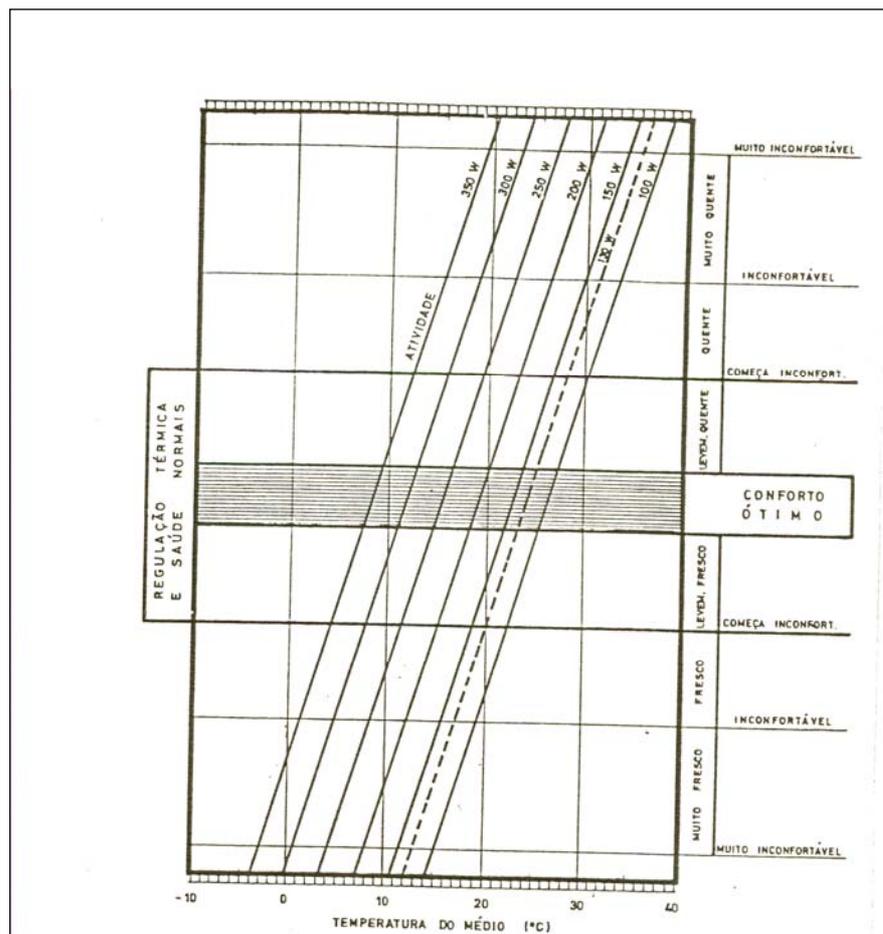


Figura 2.13: Relação entre temperatura do ar, atividade exercida e sensação térmica do homem.
Fonte: RIVERO, 1986.

A figura 2.13 correlaciona valores da temperatura do ar, com determinados níveis da atividade física exercida pelo homem e as sensações térmicas correspondentes. Pode-se notar que é mais fácil executar atividades de alto metabolismo em ambientes mais frios, posto ser mais fácil perder calor e manter a termo-regulação quanto mais frio for o ambiente, do que em ambientes com temperaturas mais altas.

2.7.5 Vestimenta

A ISO 7730 (1994) usa o isolamento térmico básico para diferenciar as vestimentas; essa grandeza representa o isolamento da pele até a superfície da vestimenta, considerando o fato de que um corpo vestido tem área superficial maior que um corpo nu, mas desconsiderando a permeabilidade do tecido à umidade. A vestimenta é caracterizada por meio de sua resistência térmica às trocas de calor sensível, através da condução, convecção e radiação, e do calor latente, através da evaporação do suor. Exerce influência no conforto térmico humano e é expressa em clo¹⁷, do inglês “cloth”, que significa roupa.

O Icl¹⁸ – Índice de Resistência Térmica foi desenvolvido por Fanger (1970) para tornar mais fácil a análise da resistência dos tipos de vestimenta. A resistência às trocas de calor entre o corpo vestido e o ambiente é medida em m² k/w ou m² °C/W e depende da espessura e porosidade do material da vestimenta. Assim, cada vestimenta é classificada de acordo com o seu valor de isolamento térmico e do material. A escala clo indica que uma pessoa nua tem índice clo de valor equivalente a 0.0, enquanto que outra vestida com uma roupa leve, de resistência térmica reduzida (denominada roupa típica), possui o índice de valor 1.0.

Pessoas com indumentárias diferentes têm valores clo que diferem entre si. Conclui-se então, que para se calcular o índice clo de determinada pessoa, é necessário conhecer o tipo de vestimenta e sua resistência térmica, para que se consiga obter maior precisão nos resultados (Tabelas 2.6 e 2.7). Observa-se diferenças nos isolamentos térmicos entre as duas tabelas, a de Fanger (1970) e a da ISO 9920 (1995). Estas diferenças podem ser função do tipo de material que compõe a vestimenta.

¹⁷ clo – unidade de medida do isolamento térmico da vestimenta. A representação numérica da resistência térmica de um tipo de vestimenta é 1 clo = 0.155 m²°C/W.

¹⁸ Icl – Isolamento térmico das vestimentas utilizadas pelas pessoas em função da quantidade, tipo e espessura das roupas, expresso em m² K/W ou também em clo.

Tabela 2.6: Valores de resistência térmica das vestimentas. Fonte: FANGER, 1970.

Vestimenta	clo
Camisa de manga curta	0,14
Camisa de manga longa	0,22
Blusa feminina	0,20
Colete	0,15
Suéter masculino	0,15
Suéter feminino	0,17
Jaqueta masculina	0,22
Jaqueta feminina	0,17
Saia	0,10
Calça masculina	0,26
Calça feminina	0,26
Short	0,11
Bermuda	0,15
Meia fina feminina, em qualquer comprimento	0,01
Meia até o tornozelo	0,04
Meia até o joelho	0,10
Roupa íntima	0,05
Sandália	0,02
Sapato	0,04

Tabela 2.7: Isolamento térmico para peças de roupa
Fonte: Adaptada da ISO 9920 (1995).

Peças de Roupa	Isolamento Térmico (clo)
sutiã	0,01
calcinha	0,03
cueca	0,04
camisa com gola, manga longa, tecido grosso	0,33
camisa com gola, manga longa, tecido fino	0,25
camisa com gola, manga curta, tecido grosso	0,24
camisa com gola, manga curta, tecido fino	0,19
camisa pólo, manga curta	0,17
camisa sem manga, gola canoa	0,05
camiseta sem manga	0,06
camiseta com manga curta	0,08
camiseta com manga longa	0,12
blusa feminina, manga longa	0,33
blusa feminina gola canoa, manga média	0,27
corpete	0,06
moleton	0,19
calça tecido grosso	0,28
calça tecido fino	0,22
short ou bermuda	0,11
calça jeans	0,24
saia até o tornozelo	0,23
saia até 0,15 m abaixo do joelho	0,18
saia até o joelho	0,14
vestido até o joelho, manga longa	0,32
vestido até o joelho, manga curta	0,29
vestido até o joelho, sem manga	0,26
sapato ou tênis	0,05
chinelo ou tamanco ou sandália	0,02
meia 3/4 grossa	0,11
meia 3/4 fina	0,03
meia soquete grossa	0,05
meia soquete fina	0,02
meia altura do joelho grossa	0,06
meia altura do joelho fina	0,03
meia fina tipo sapatilha	0,02
guarda pó	0,34

Em qualquer processo de trocas térmicas (condução, convecção ou radiação), independentemente do corpo ganhar ou perder calor com o ambiente circundante, a vestimenta representa um fator relevante à especificação de valores dos índices térmicos. “Sob essas condições, há vários processos diferentes de trocas térmicas atuando simultaneamente: entre o corpo e a roupa; entre a roupa e o meio e entre as partes descobertas do corpo e o entorno” (ARAÚJO, 2001). Entre o corpo e a roupa há trocas de calor, devido à liberação do calor produzido pelo corpo e o calor absorvido do meio térmico pela vestimenta.

Por sua vez esta também intercambia calor com o meio, através da resistência térmica transmitida pelo ar por meio da convecção. Ou seja, o material da vestimenta troca calor com o ambiente, absorve este calor (através da temperatura ambiente) e troca calor com o corpo, por meio da liberação do calor metabólico. O intercâmbio de calor entre o meio e as partes do corpo sem vestimenta acontece também por meio da evaporação. González et al. (1986) salientam que é muito

mais complexo estimar com precisão os elementos que interferem na troca de calor entre o corpo vestido e o entorno, do que entre o corpo nu e o entorno, devido à resistência térmica da vestimenta que exerce influência no processo de troca de calor. O isolamento térmico da roupa depende do seu modelo. As roupas justas aprisionam uma camada de ar mais delgada, apresentando menor isolamento. As aberturas existentes permitem a entrada de ar e assim favorecem a troca de calor (RUAS, 1999).

Os processos de troca de calor e a resistência térmica de uma vestimenta também dependem de uma propriedade denominada permeabilidade ao vapor. A permeabilidade da roupa ao vapor é a dificuldade de penetração do vapor de água no material. McCullough (2001) citado por Gomes (2002) afirma: “[...] a resistência evaporativa da roupa e seu efeito no balanço de calor do corpo e conforto térmico são assumidos como sendo aqueles associados às roupas permeáveis [...]”. Para McCullough, isto representa um equívoco, pois nem sempre as roupas impermeáveis favorecem o conforto térmico do homem, e não podem ser generalizadas, em função da grande variedade da resistência evaporativa dos materiais. “[...] Alguns tipos de tecido são virtualmente impermeáveis à passagem de água [...]”.

Alguns tipos de tecido chegam a ser totalmente impermeáveis à passagem de água. De acordo com o autor citado acima, para modelos que tentam estimar o conforto térmico humano em ambientes de trabalho considerados quentes, cujas trocas de calor se fazem através do resfriamento evaporativo por meio da transpiração, esses tipos de tecido não são adequados, em face da possibilidade de alteração das respostas. Assim, a permeabilidade não exerce grande influência em ambientes cujas temperaturas atendam ao conforto dos usuários e para atividades leves ou moderadas; em ambientes cuja atividade e/ou temperatura é maior, esta variável é de grande influência, em função da necessidade do corpo de perder calor por evaporação do suor.

2.7.6 Sexo

De maneira geral, as estatísticas revelam que as preferências femininas por temperaturas um pouco mais altas, podem ser explicadas pela diferença da taxa metabólica por unidade de área corporal, sob condições basais e até em atividades sedentárias, que se apresenta inferior à masculina. Fanger (1970) constatou que existem diferenças nas preferências térmicas de homens e mulheres. Contudo, o percentual de 5% detectado não representa dado significativo. Em termos térmicos, Fanger observou diferenças inferiores a 1°C, valor pouco relevante na determinação das preferências térmicas.

Yaglou e Messer (1941) defendem a teoria de que os valores diferenciais entre os sexos são função da diferença de vestimenta. Ou seja, as mulheres apresentam uma tendência menor que os homens a ter desconforto térmico por calor. Em geral, o sexo feminino tem mais sensibilidade ao frio que o sexo masculino. Em termos de adaptação, Ruas (2002), em sua pesquisa *“Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software”*, constatou que os homens precisam de aproximadamente uma hora e meia para se adaptar ao ambiente térmico, enquanto as mulheres conseguem se adaptar mais rapidamente.

2.7.7 Idade

O calor produzido pelo corpo também varia com a idade. As pesquisas comprovam que a idade interfere na determinação dos limites de conforto térmico. Assim, as preferências térmicas dos idosos costumam ser por ambientes com temperaturas mais altas que as preferidas pelos jovens. Isto se dá em função da queda de metabolismo basal (calor metabólico) que ocorre com a idade e se apresenta com uma diferença de aproximadamente 5 W/m^2 , nas faixas entre 20 e 65 anos, diferença esta encontrada também nas atividades sedentárias (FANGER, 1970). De acordo com McIntyre (1980), o metabolismo basal cai com a idade; um homem de 45 anos tem metabolismo de aproximadamente 12% menor que um de homem de 20 anos, levando em conta as mesmas características corporais.

2.7.8 Tipo físico

O corpo humano perde ou ganha calor em função da área exposta (área da superfície corporal). Quanto maior for a área exposta às condições do clima (radiação solar, vento, umidade), mais intensas serão as sensações de conforto ou desconforto térmico, seja por frio ou calor. Em indivíduos obesos, a gordura subcutânea funciona como um isolante térmico, um obstáculo que impede ou dificulta a perda de calor pelo corpo. De acordo com DuBois (1916) a área corporal (m^2) está diretamente relacionada com a altura (m) e o peso (kg), conforme figura 2.14 e equação 2.8.

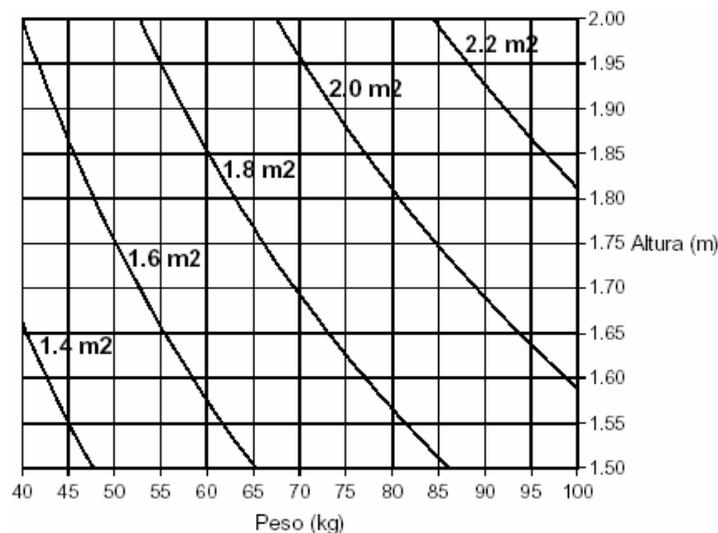


Figura 2.14: Área corporal em função da altura e do peso. Fonte: ÁGUAS, 2001.

A figura 2.14 mostra a relação entre o peso, a altura e a área corporal. Esta relação é diretamente proporcional, ou seja, à medida que o peso e a altura aumentam, a área corporal também aumenta. Assim, quanto menor o peso e a altura de uma pessoa, menor será a área do seu corpo. A Equação de *DuBois* determina a área corporal da superfície de uma pessoa nua – *Área de Du Bois - ADu*. Esta equação recebe tal denominação em homenagem ao pesquisador que a desenvolveu (Equação 2.8).

$$ADu = 0,202 \cdot m^{0,425} \cdot l^{0,725} \quad [\text{Eq. 2.8}]$$

Sendo:

ADu – Área de superfície corporal do corpo humano área de superfície do corpo nu (m^2)

m – massa do corpo (kg)

l – altura do corpo (m)

2.7.9 Nível de estresse emocional

O nível de preocupação ou tensão estabelecida tende a alterar o bem-estar psicológico, fisiológico, físico, social e cognitivo, o que gera variações nas sensações térmicas resultantes. Sime et al. (1980) citado por Xavier (2000) analisaram situações de stress emocional e concluíram que a temperatura e a umidade das mãos podem ser indicadores de conforto térmico. De acordo com os autores, o estresse, a preocupação, a tensão e o nervosismo atuam como inibidores das sensações térmicas, podendo influenciar a percepção de frio ou calor de uma situação térmica pelo organismo de uma pessoa em condições psicológicas alteradas.

Os autores ressaltam ainda que na avaliação do conforto térmico é importante observar a palma das mãos das pessoas ao iniciar e concluir uma atividade e defendem que mãos frias e úmidas geralmente indicam determinado grau de preocupação e/ou tensão psicológica e este nível de estresse emocional a que a pessoa está submetida pode causar certo desconforto por frio. Enquanto mãos aquecidas e secas indicam geralmente tranquilidade e relaxamento, remetendo ao significado de neutralidade térmica (conforto) e até desconforto por calor.

2.8 Conforto Térmico

O Conforto Térmico tem sido definido como “a condição mental que expressa a satisfação do indivíduo com o seu ambiente térmico” (ASHRAE, 2001). Fora do senso comum, o Conforto Térmico não está relacionado apenas à Temperatura. Outras variáveis estabelecem relações com a Temperatura, fazendo com que haja uma gama de resultados que possam interferir em condições térmicas satisfatórias para o homem. Dentre as variáveis climáticas ou ambientais que intercambiam em maior proporção com a Temperatura destacam-se a Radiação Solar, a Temperatura Radiante, a Umidade e a Velocidade do Ar. Dentre as variáveis individuais ou pessoais incluem-se a Taxa metabólica e a Resistência térmica da vestimenta. Portanto, o Conforto Térmico é o efeito combinado destas variáveis com a interação do organismo humano.

Todos estes fatores podem variar com o tempo, local e outros fatores culturais. Por esta razão, a relação dos parâmetros físicos com as sensações humanas de conforto térmico não é de fácil compreensão. São muitas variáveis, suas correlações e efeitos causados nas pessoas, levando-se em conta a variedade de reações em função do aspecto pessoal de cada organismo. As pessoas podem estar em conforto, estando em condições térmicas diferentes ou em desconforto, sob as mesmas

condições térmicas. Suponha-se dois grupos de 10 pessoas cada. O 1º se encontra em um ambiente térmico, cuja temperatura se apresenta baixa. O 2º se encontra em um ambiente térmico cuja temperatura se apresenta alta. O resultado das sensações térmicas destas pessoas pode variar, de acordo com a subjetividade de cada uma delas. Ou seja, em um mesmo grupo pode haver diferentes reações térmicas e, no entanto estar sob a mesma temperatura. No ambiente considerado quente, uma pessoa pode estar em conforto térmico ou com leve calor, enquanto outra pessoa pode estar se sentindo extremamente desconfortável (desconforto por calor).

Como também no ambiente frio, uma pessoa pode considerar a temperatura agradável ou apenas levemente fria, enquanto outra pessoa pode considerar a temperatura desconfortável (desconforto por frio). Se juntar os dois grupos, têm-se as mais variadas respostas entre as pessoas do grupo 1 e as do grupo 2, não uniformemente iguais, apenas em função da temperatura. Levando-se em consideração a relação da temperatura com outras variáveis, pode concluir que o resultado é bem mais amplo e complexo. Isto corrobora a teoria de que o Conforto Térmico depende de muitas variáveis, sejam elas físicas ou ambientais, e abrange aspectos psicológicos e fisiológicos, entre eles a sensibilidade, a suscetibilidade e a subjetividade das pessoas em relação às condições climáticas. Trata-se, portanto de algo tipicamente subjetivo (RORIZ, 2003).

Vogt e Miller-Chagas participaram da conceituação de que o conforto térmico é uma sensação complexa que sofre influência de fatores de ordem física, fisiológica e psicológica e que, do ponto de vista puramente térmico, as condições ambientais confortáveis são aquelas que permitem ao ser humano manter constante a temperatura do corpo sem acionar, de forma perceptível, seus mecanismos termo-reguladores (ARAÚJO, 2001).

Citado por Labaki e Oliveira (2003), Humphreys (1995) considera: “o conforto térmico, então, não deve ser visto como um problema fisiológico fruto da regulação do calor ou da vestimenta utilizada, mas preferencialmente como uma larga faixa de respostas comportamentais interligadas ao clima”. Segundo o autor, “o desconforto é causado pelo desgaste excessivo do corpo nos processos de escolha e ajuste da própria temperatura com o clima exterior”. Teoricamente, para que uma pessoa esteja em Conforto Térmico, algumas condições precisam existir. Abaixo estão elencadas as premissas para que se possa estabelecer o conforto térmico de uma pessoa.

2.8.1 Premissas:

2.8.1.1 Equilíbrio térmico do corpo: A primeira condição para se obter o conforto térmico é que exista um balanço térmico do corpo, que é o resultado do processo de perdas e ganhos de calor pelo organismo. Este resultado deve ser igual a zero, que significa a mesma proporção de ganho e perda de calor pelo corpo, que representa o calor produzido e o calor liberado pelo corpo, respectivamente, e favorece o equilíbrio térmico necessário ao conforto e bem-estar do homem. Segundo Fanger (1970), é determinado a partir da equação 2.9:

$$H \pm Ed \pm Esw \pm Ere \pm L = K = R + C \quad [\text{Eq. 2.9}]$$

Sendo:

H = Produção interna de calor no corpo humano (W/m^2);

Ed = Perda de calor latente por difusão de suor pela pele (W/m^2);

E_{sw} = Perda de calor latente pela evaporação do suor da superfície da pele (W/m^2);

E_{re} = Perda de calor latente por evaporação através da respiração (W/m^2);

L = Perda de calor pela respiração seca (W/m^2);

K = Transferência de calor da pele para a superfície externa da roupa (condução através da vestimenta) (W/m^2);

R = Perda ou ganho de calor por radiação da superfície externa da roupa (W/m^2);

C = Perda ou ganho de calor por convecção da superfície externa da roupa (W/m^2).

Quando esta condição não é satisfatória, o organismo começa a se proteger do desconforto, ativando os mecanismos termorreguladores. “O sistema termorregulador do homem é completamente eficaz e cria um balanço térmico interior de limites extensos nas variáveis ambientais, mesmo que não exista conforto” (RIVERO, 1986) (Figura 2.15). Este sistema de regulação térmica é comandado pelo hipotálamo, órgão do cérebro que controla os mecanismos fisiológicos de equilíbrio térmico entre o corpo e o ambiente, para manter a temperatura corporal dentro de limites térmicos aceitáveis.

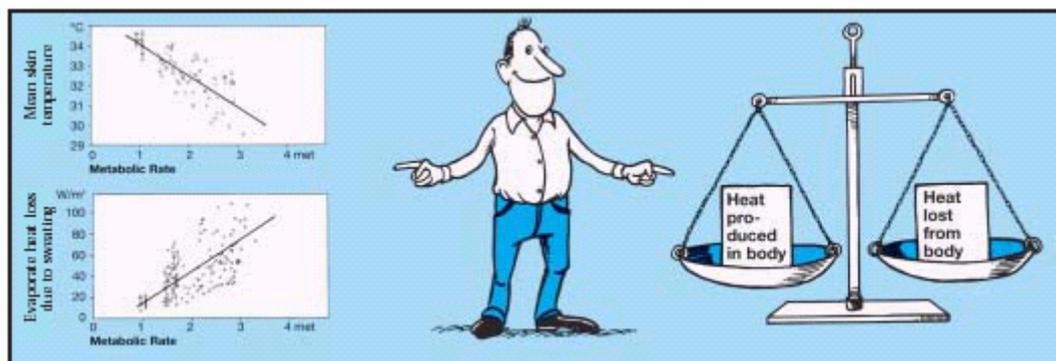


Figura 2.15: Equilíbrio energético do corpo humano – primeira condição para o conforto térmico. Fonte: THERMAL BOOKLET, 2002. <http://www.innova.dk/>

2.8.1.2 Limites de conforto: A segunda condição para se obter o conforto térmico é o alcance dos valores das variáveis climáticas dentro dos limites de conforto térmico. Ou seja, quando um ambiente apresenta condições de conforto estabelecidas para determinado meio térmico, pode-se dizer que este ambiente se encontra em conforto térmico satisfatório. Segundo Rivero (1986), para as condições climáticas brasileiras, tais limites de conforto requerem, aproximadamente, as seguintes especificações:

- A temperatura média radiante e a do ar devem ser iguais;
- A velocidade do ar deve ser igual ou menor que 0,2m/s;

- As roupas devem ter uma resistência que na escala convencional adotada é de 0,8 clo ($1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$);
- A umidade relativa do ar deve estar compreendida entre 30% e 60%;
- O conforto ótimo é alcançado quando a temperatura do meio está compreendida entre 23°C e 25°C , geralmente;
- O meio será levemente quente dos 25°C aos 28°C , momento em que começará a manifestar-se um certo desconforto térmico;
- O ambiente será quente entre 28°C e os 31°C ; este último valor assinala o início do desconforto;
- A classificação é muito quente quando a temperatura está entre 31°C e 35°C , limite este no qual o meio é muito desconfortável.

Vale ressaltar que estas condições variam e dependem do local, do teor de umidade, da velocidade do vento, enfim, não podem ser generalizadas e classificadas como premissas de conforto para todas as zonas climáticas do Brasil, uma vez que este é um país tropical, com regiões que apresentam climas diversos: tropical, temperado e composto. Um exemplo se refere à velocidade do ar a $0,2 \text{ m/s}$, a qual já é considerada muito baixa. Em alguns climas que apresentam temperaturas baixas, o desconforto por frio será maior à medida que a velocidade do ar aumenta, devido à sensação térmica resultante. Neste caso, esta premissa contribui para o conforto térmico. Porém, em climas que apresentam temperaturas mais altas, a velocidade do ar muito baixa podem prejudicar as trocas térmicas por convecção, que muito favorecem o conforto térmico do homem.

Quanto à umidade relativa, em temperaturas mais altas, quanto maior o teor de umidade do ar, mais úmido o ar se torna e menores são as trocas de calor por evaporação, aumentando o desconforto por calor. Em regiões de clima temperado, um ambiente pode não ser considerado levemente quente no intervalo de temperatura 25°C a 28°C , e sim confortável, devido às baixas temperaturas do ar exterior. Da mesma forma, nos intervalos de 28°C a 31°C e 31°C a 35°C , um ambiente pode não ser considerado quente e muito quente, respectivamente, pois há regiões, por exemplo, em que 31°C não é considerado desconfortável, visto que a temperatura média de verão alcança 42°C . A planilha de Mahoney determina valores de intervalos de conforto de acordo com valores da Umidade Relativa (UR) e da Temperatura Média Anual (TMA) (Tabela 2.8). Ela compara as médias das máximas e as médias das mínimas com as zonas de conforto pré-estabelecidas, classificando o rigor climático de cada região.

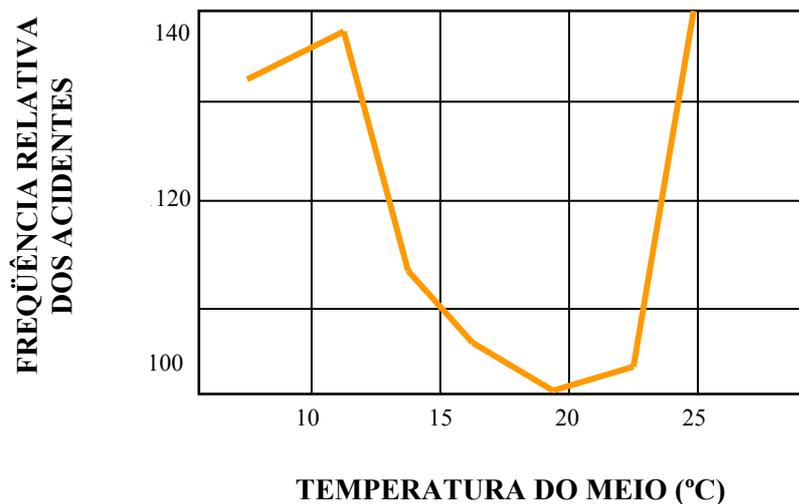
**Tabela 2.8: Limites Confortáveis de Temperatura (Planilhas de Mahoney).
Fonte: RORIZ, 2003.**

Média Mensal de Umidade Relativa	TMA < 15		15 ≤ TMA ≤ 20		TMA > 20	
	noite	dia	noite	dia	noite	dia
UR < 30%	12 a 21	21 a 30	14 a 23	23 a 32	17 a 25	26 a 34
30% ≤ UR < 50%	12 a 20	20 a 27	14 a 22	22 a 30	17 a 24	25 a 31
50% ≤ UR < 70%	12 a 19	19 a 26	14 a 21	21 a 28	17 a 23	23 a 29
UR ≥ 70%	12 a 18	18 a 24	14 a 20	20 a 25	17 a 21	22 a 27

2.8.2 O Conforto Térmico e a saúde do homem

Já está provado o quão prejudicial um ambiente desconfortável pode ser à saúde humana, com efeitos nocivos, tais como extenuação física e nervosa, fadiga, redução do rendimento e maiores riscos de erros e acidentes de trabalho (Figura 2.16). Altas temperaturas provocam uma descarga hormonal no organismo do homem e a ativação do sistema nervoso central – SNC (centro termo-regulador no hipotálamo anterior), o que faz com que haja a redução drástica da produtividade física, intelectual e mental.

Sonolência, alteração nos batimentos cardíacos, aumento da sudorese, podem ser causados por situações de desconforto, provocados por temperaturas extremas ou por um sistema de ventilação deficiente ou inadequado, ou ainda por radiação térmica de superfícies muito aquecidas (TAMANINI, 2002).



**Figura 2.16: Relação entre a frequência de acidentes e o rendimento – O desconforto térmico aumenta a frequência de acidentes e erros, diminuindo a eficiência e o rendimento no trabalho.
Fonte: Adaptado de RIVERO, 1986.**

A figura 2.16 apresenta o resultado de uma pesquisa sobre a relação entre conforto térmico e frequência de acidentes numa fábrica (MISSENARD, 1955). Nota-se que quanto mais extremas as condições de temperatura, isto é, mais hostil for o meio térmico, aumenta a preocupação do homem em relação ao conforto térmico. À medida que a temperatura se aproxima da faixa considerada de conforto (entre 17°C e 22°C aproximadamente), reduz-se a frequência de acidentes e erros no trabalho, bem como à medida que as temperaturas aumentam (acima de 22,5°C) ou diminuem (abaixo de 17°C), esta frequência aumenta. Isto ocorre em função do incômodo térmico do homem, que desvia sua atenção sobre a atividade que desenvolve, aumentando os riscos de acidentes e a perda de eficiência nas atividades de trabalho.

Sob condições mais amenas de temperaturas, o homem se sente mais confortável e o risco de haver desvio de atenção e de acidentes de trabalho diminui, aumentando as chances de maior rendimento e eficiência no trabalho. Um estudo realizado em uma tese de doutorado na Escola Paulista de Medicina, da Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP comprova que trabalhadores expostos ao calor excessivo, a exemplo de operários siderúrgicos, cozinheiros, motoristas e vendedores ambulantes, apresentam maior tendência, cerca de nove vezes maior, a contrair problemas renais. O autor da pesquisa, o urologista Luiz César Atan, explica que o maior agravante deste problema é a falta de hidratação.

Os trabalhadores perdem muito líquido pelo suor, causando uma desidratação crônica e a formação de cálculos renais. A falta de água no organismo propicia a formação de cálculos renais. De acordo com o urologista, a principal maneira de evitar o problema seria diminuir a exposição às altas temperaturas. Isso é mais difícil, pois o calor muitas vezes é inerente ao próprio trabalho, reconhece. Como forma de prevenção, uma alternativa seria manter os funcionários bem hidratados. O ideal é promover trabalhos de conscientização na própria empresa, com a utilização de bebedouros com água em temperatura agradável (AGÊNCIA FAPESP, 2004).

Há estudos que comprovam que temperaturas altas aumentam o risco de problemas no coração, em especial de infarto. Pesquisadores do Instituto do Coração (Incor), do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, comprovaram que as alterações repentinas e bruscas de temperatura, principalmente nos grandes centros urbanos, especialmente do calor para o frio, tendem a aumentar o risco de infarto na população. O autor da pesquisa, médico associado do Incor, Rodolfo Scharovisky apresentou um estudo como tese de doutorado, apresentada em 2004 na Faculdade de Medicina da USP.

Este estudo foi realizado entre 1998 e 2000 e teve como base o número de mortes/dia causadas por problemas cardiovasculares. Para isto foram necessários dados de temperatura, umidade do ar, pressão e poluição atmosférica na região metropolitana de São Paulo. Os dados sobre a temperatura do ar foram divididos em dez categorias. Entre 12°C e 13°C foram classificadas as mais baixas, enquanto entre 25°C e 26°C as mais altas. De acordo com as estatísticas, nos dias mais frios ocorreram mais infartos, principalmente entre os mais velhos.

Após a realização de um estudo de séries temporais, verificamos que nos dias com extremos de temperatura ocorreram 30% a mais de mortes por infarto do miocárdio do que naqueles com clima ameno, disse Rodolfo Scharovisky à **Agência FAPESP**. “A poluição do ar e a temperatura são as variáveis com maior influência no aumento de mortes por infarto do miocárdio” (AGÊNCIA FAPESP, 2005).

Os motivos que podem explicar a relação entre as condições do tempo e a possibilidade de infarto são três principais, segundo os pesquisadores. Em dias frios a coagulação do sangue fica mais ativa, o que favorece o fechamento das artérias coronárias. As inflamações respiratórias, mais frequentes nestes períodos, colaboram com problemas cardiovasculares. Para evitar a perda de calor, os vasos sanguíneos se contraem, o que faz com que a pressão arterial se eleve e a circulação arterial fique prejudicada, devido à obstrução ocorrida, principalmente em pessoas com problemas de placa de gordura no sangue (AGÊNCIA FAPESP, 2005).

2.8.3 O Conforto Térmico e a produtividade do homem

Goldman (1994), citado por Ruas (2002) afirma que o principal motivador do aumento de produtividade é considerado o salário. Aqueles que estão satisfeitos com este fator são mais produtivos do que os insatisfeitos. É certo que existem outros fatores importantes que devem ser levados em consideração: “[...] condições confortáveis de trabalho, boas relações interpessoais, estabilidade no emprego, prestígio, senso de realização, independência de ação, trabalho desafiador, reconhecimento pessoal e variação no trabalho [...]”.

A produtividade é maior quando o homem se sente termicamente confortável. Quando o ambiente não é satisfatório, aumentam as chances de redução do desempenho físico, mental, manual, intelectual e perceptivo do homem, com sérias conseqüências na eficiência e produtividade das atividades exercidas. Quanto maior o desconforto térmico no ambiente de trabalho, maior será a perda de produtividade, o percentual de acidentes e a margem de erros nas atividades realizadas pelo homem. A produtividade é um tema que vem sendo amplamente estudado, desde que *Frederic W. Taylor* e *Henry Ford*, iniciaram os estudos sobre as forças produtivas humanas, por volta do século XX. O *Taylorismo* e o *Fordismo* representam as linhas de investigação da produtividade humana, através do seu princípio básico, que consiste no aumento da capacidade de produção do homem.

“O *Taylorismo* é um sistema de organização científica baseado no controle dos tempos de execução das tarefas, estabelecido por *Frederic Winslow Taylor*. Os estudos de Taylor sobre as forças produtivas do trabalho humano datam de fins do século XIX e início do século XX” (LAROUSSE 1999). Parafrazeando *Taylor*, os processos de originalidade, organização e adaptação ao processo produtivo exigem atividade intelectual e cognitiva. Como o objetivo era garantir o aumento da produtividade, era importante, então, observar os gestos, seqüências, movimentos e ritmos, e qualquer queda de produção representava perda de tempo e dinheiro (TARTARELLI, 2004).

O *Fordismo* é a teoria organizacional de *Henry Ford*, que visa aumentar a produtividade pela standardização dos produtos e por uma nova organização do trabalho. Os princípios do *Fordismo* foram amplamente difundidos, tornando-se uma das bases da organização industrial moderna (LAROUSSE, 1999).

A visão disseminada do *Fordismo* sobre a evolução dos processos de trabalho no século XX consiste em um dos aspectos mais notórios da literatura especializada. Sua data simbólica é 1914, quando *Ford* introduziu o dia de trabalho de oito horas e a recompensa de cinco dólares para trabalhadores da montagem de carros de Dearborn, em Michigan, nos Estados Unidos (TARTARELLI,

2004). A implantação da administração científica do trabalho por *Ford* rendeu ganhos de produtividade tão expressivos que seu modelo passou a ser reconhecido e implantado ao longo do tempo em outras organizações, sendo identificado como *o modelo de produção fordista*.

Dessa forma, a análise de estudos de campo que procuram relacionar a produtividade com as condições térmicas do ambiente não pode estar dissociada da organização do trabalho, pois ela pode estabelecer paradigmas que privilegiam a influência de fatores que têm reflexo positivo na produtividade mas que provocam danos, muitas vezes irreparáveis, na saúde dos trabalhadores” (RUAS, 2002).

Segundo o autor, é fácil pressupor que as condições ambientais responsáveis pelo conforto térmico são as mesmas que proporcionam maior produtividade do homem.

Estabelecer uma inter-relação entre o conforto térmico e a produtividade é uma tarefa complexa, pois ambos dependem de vários fatores que, quando combinados, não necessariamente geram o mesmo efeito em pessoas diferentes. Um outro complicador é que para identificar essa relação é preciso controlar esses fatores e definir critérios objetivos de medida do desempenho humano, característico do tipo de atividade desenvolvida.

Quando o ambiente não é satisfatório, o desempenho nas atividades exercidas sofre sérias conseqüências na eficiência e produtividade do trabalho. Quanto maior o desconforto térmico no ambiente de trabalho, maiores serão a perda de produtividade, o percentual de acidentes e a margem de erros nas atividades realizadas pelo homem.

2.8.4 O Conforto Térmico como direito do homem

O Conforto Térmico representa uma das condições essenciais para o bem-estar físico e mental do homem, sendo, portanto um direito do ser humano. Com o objetivo de obter um nível de conforto que atenda às suas exigências térmicas, o homem tende a se proteger do frio ou do calor quando ocorrem mudanças nas condições climáticas, levando em conta todas as variáveis pessoais que interferem nos processos de troca de calor entre seu corpo e o ambiente. Como condição fundamental à existência humana, o Conforto Térmico deveria ser foco das principais discussões sobre planejamento e qualidade do ambiente construído. Porém, as preocupações e medidas neste sentido ainda são insuficientes, o que obriga o homem a utilizar meios, com o uso da energia elétrica, para alcançar o conforto térmico adequado às suas necessidades.

Como disse *Abraham Maslow*, pensador da Teoria das Necessidades Humanas, estas necessidades podem ser “[...] fisiológicas ou psicológicas que uma pessoa sente ou se vê compelida a satisfazer, e podemos classificá-las assim: fisiológicas (*manutenção fisiológica*), de segurança (*proteção e estabilidade*), sociais (*amor, afeição, afiliação, integração social*), afetivas (*auto-estima, reconhecimento de seus valores e competência pessoal*) e de auto-realização (*sentimento de vitória, desenvolvimento e sucesso*) [...]”. Para o estudo em Conforto Térmico, consideram-se geralmente as necessidades fisiológicas.

A necessidade de criação do conforto térmico se deve em primeiro lugar à necessidade de satisfazer o desejo do homem de se sentir confortável. Além disso, do ponto de vista do desempenho humano, o conforto térmico é necessário e justificado (FANGER, 1970).

2.8.5 O Conforto Térmico como aspecto econômico

Infelizmente, grande parte dos edifícios não possui condições térmicas confortáveis aos usuários, o que é necessário adotar meios, com o uso da energia elétrica, para alcançar o conforto térmico. Isto potencializa o consumo, gerando desperdício em muitos casos. Este aspecto não se limita à redução no consumo de energia elétrica. Não basta conter os gastos dos insumos energéticos; é preciso proporcionar também boas condições de conforto térmico aos usuários da edificação a partir de diretrizes aplicadas desde a concepção do projeto. Desta forma a necessidade de utilização da energia operante será reduzida e a economia alcançada.

Este objetivo faz-se o incitador da necessidade de focar a eficiência energética no processo de edificar. À medida que o desenvolvimento das atividades, o bem-estar e a saúde do homem são enfocados, ressalta-se a importância de condições térmicas de conforto adequadas e a minimização de gastos de energia elétrica.

2.8.6 Normatização

As principais normas relacionadas ao estudo em conforto térmico são elaboradas pela *ISO* (International Organization for Standardization) e pela *ASHRAE* (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers). A citar:

- ISO 7730 (1994): Apresenta um método baseado nos estudos de FANGER (1970) de predição da sensação térmica e da porcentagem de pessoas insatisfeitas com as condições termo-ambientais do meio;
- ISO/DIS 7726 (1996): Define os parâmetros inseridos na avaliação do conforto térmico, com orientação no processo de medições em condições térmicas confortáveis ou adversas;
- ISO 8996 (1990): Apresenta uma metodologia para a determinação da produção do calor metabólico em função do tipo de atividade, por meio de tabelas ou medidas do consumo de oxigênio;
- ISO 10551 (1995): Estabelece especificações e métodos para a avaliação subjetiva da influência das condições termo-ambientais, através de escalas e questionários.
- ISO 9920 (1995): Trata da influência da vestimenta no conforto térmico, com a especificação das resistências térmicas das roupas aos fluxos de calor e à evaporação;
- ANSI/ASHRAE 55 (1992): Especifica as correlações e combinações entre os parâmetros ambientais de determinado meio térmico e os parâmetros pessoais de seus ocupantes e a aceitabilidade térmica resultante destas condições.

No Brasil, a única norma que menciona a avaliação do conforto térmico humano é a NBR 6401 (1980), que determina parâmetros para projetos de instalação de ar condicionado. Esta norma estabelece os intervalos de conforto para atividades sedentárias, considerando a temperatura e a umidade relativa do ar ambiente, mostrados na tabela 2.9, em comparação aos valores estabelecidos pela ISO 7730 (1994) (RUAS, 1999).

Tabela 2.9: Comparativo entre os intervalos de conforto para atividade sedentária recomendados pelas normas NBR 6401 (1980) e ISO 7730 (1994). Fonte: RUAS, 1999.

	NBR 6401(1980)		ISO 7730 (1994)	
	TBS (°C)	UR (%)	TO (°C)	UR (%)
Verão	23 a 25	40 a 60	23 a 26	30 a 70
Inverno	20 a 22	35 a 65	20 a 24	30 a 70

2.8.7 Preferência Térmica

Preferência térmica pode ser descrita como a condição ambiental que as pessoas desejam para se sentirem confortáveis, quando submetidas a determinadas condições térmicas. As preferências térmicas variam entre as pessoas e podem ser analisadas com o auxílio de uma escala de sete pontos semelhante à escala de avaliação das sensações térmicas. A pergunta usual para o uso desta escala é: *Como você gostaria de se sentir neste momento?* (que significa “deseja alguma mudança térmica?”). Esta escala traduz a preferência térmica de uma pessoa submetida a determinado ambiente térmico (vide Tabela 2.10).

Tabela 2.10: Escala de sete pontos – Preferência Térmica.
Fonte: Adaptada da ISO 10551, 1995 (Subjective Judgement Scales).

Preferência Térmica	Votos
Muito mais aquecido	+3
Mais aquecido	+2
Um pouco mais aquecido	+1
Sem alterações	0
Um pouco mais refrescante	-1
Mais refrescante	-2
Muito mais refrescante	-3

2.8.8 Votos de conforto e Aceitabilidade Térmica

A temperatura de conforto está diretamente relacionada à temperatura externa. A temperatura interna de conforto é aquela que satisfaz o maior número de pessoas em um ambiente. (XAVIER E LAMBERTS, 1997). Os votos de conforto das pessoas são classificados de acordo com a sensação térmica em determinado ambiente. Os votos -1, 0 e +1 são considerados como aqueles em que a temperatura operativa é aceitável (BOUDEN e GHRAB, 2004), correspondem, portanto à neutralidade térmica. De acordo com os autores, a figura 2.17 mostra que a aceitabilidade é função da temperatura operativa. Para cada valor da TO, o percentual de votos determina a aceitabilidade térmica

dos entrevistados de um ambiente térmico. Os autores discutem ainda que, para temperaturas entre 16°C e 26,5°C, mais de 80% são votos aceitáveis. Percebe-se que à medida que a temperatura se afasta deste limite, a porcentagem de satisfeitos começa a diminuir. Para a maioria das respostas de temperaturas abaixo de 13°C, a porcentagem de satisfeitos atinge 0, supondo insatisfação por frio. Para as temperaturas entre 30°C e 40°C, as respostas supõem insatisfação por calor.

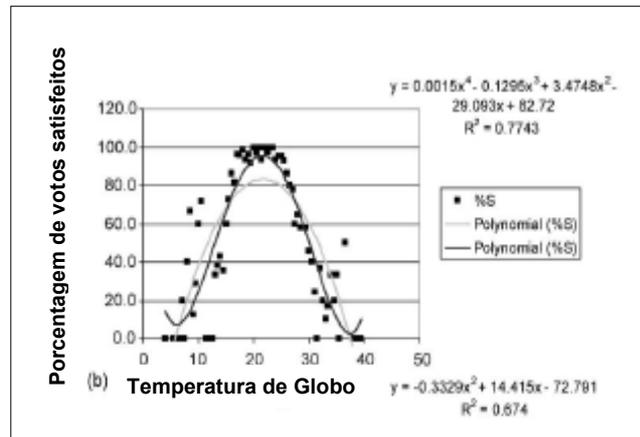


Figura 2.17: Histograma dos votos de conforto aceitáveis em função da temperatura de globo.
Fonte: BOUDEN e GHRAB, 2004.

2.8.9 Índices de Conforto Térmico

O homem assimila e responde aos diversos fenômenos climáticos por diferentes formas e manifestações. Diante disto, se fez necessária a criação de índices térmicos para a avaliação dos efeitos que a interação entre os diversos aspectos ambientais (temperatura, umidade e velocidade do ar e temperatura radiante média) e os pessoais (isolamento térmico da vestimenta e taxa de metabolismo) causam no ser humano, em termos fisiológicos e sensoriais. Os índices servem para avaliar determinada situação térmica a que o homem está submetido, com o objetivo de adequar as condições climáticas do ambiente às exigências térmicas humanas. Por isso, podem ser fisiológicos, biofísicos ou subjetivos.

Os índices fisiológicos se baseiam nas relações fisiológicas originadas por condições ambientais conhecidas, avaliando o rigor climático do ambiente e estabelecendo limites deste rigor e tempo de tolerância para permanência do ser humano nestes ambientes. Os índices biofísicos são baseados nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, correlacionando os elementos de conforto com as trocas de calor que os originam. Os índices subjetivos se baseiam nas sensações subjetivas de conforto, condicionadas em situações em que há variação dos fatores climáticos (HACKENBERG, 2000).

Os índices térmicos passaram a ser estudados no início do século XIX na Europa, em função dos problemas causados nos trabalhadores destas atividades, pela insalubridade do local de trabalho na mineração e na indústria têxtil (KOENIGSBERGER et al., 1977). Porém, apenas nos últimos 70 anos é que uma vasta quantidade de experimentos foi realizada com o objetivo de

identificar a interação entre o corpo humano e o meio ambiente. Um dos primeiros estudos sobre índice térmico data de 1919, em Pittsburgh, em pesquisa desenvolvida pela *American Society of Heating and Ventilation Engineers – ASHVE*, como solução à necessidade de informações sobre os efeitos da umidade do ar no conforto térmico (ARAÚJO, 2001). Tal pesquisa propôs o índice Temperatura Efetiva (TE), dentre outros, descritos a seguir.

- Temperatura Efetiva (TE) – Determinado na *American Society of Heating and Ventilation Engineers – ASHVE*, define linhas de conforto plotadas na carta psicrométrica.
- Temperatura Efetiva Corrigida (TEC) – Este índice foi criado em substituição à Temperatura Efetiva (TE) em 1932, sendo denominado Temperatura Efetiva Corrigida (TEC), quando se passou a utilizar a temperatura de globo no lugar da temperatura de bulbo seco. Este índice foi utilizado na Segunda Guerra Mundial nos navios britânicos como índice de conforto térmico. Em 1960 uma pesquisa da Royal Naval Tropical Research Unit determinou que o índice TEC prediz satisfatoriamente os efeitos fisiológicos do aumento da temperatura radiante média. Este índice foi adotado pela ASHRAE durante quase 50 anos.
- Temperatura Efetiva Padrão (TEP) – Índice adotado pela ASHRAE em 1971 em substituição à TEC. A TEP foi criada com base na TE, cuja aplicação se limitava à temperatura e umidade do ar, sendo depois incorporados os níveis de atividade e a vestimenta.
- Temperatura Resultante (TR) – Índice que inclui o efeito da radiação sobre a sensação de calor. A primeira definição prática TR demonstrou como a temperatura do termômetro de globo reproduzia o comportamento do corpo humano. Givoni (1976) confirmou que a TR é precisa para climas moderados, mas não se aplica às condições tropicais, pois não considera os efeitos de resfriamento do movimento do ar acima de 35°C e de 80% de umidade relativa.
- Calor Equivalente (CE) – Em 1936 foi criado na Inglaterra o índice do Calor Equivalente (CE). De acordo com Koenigsberger et al. (1977), o CE é preciso para zona de conforto entre 35°C com umidade relativa baixa, e 30°C com umidade relativa alta, mas não considera os efeitos do resfriamento do movimento do ar para altas umidades.
- Temperatura Operativa (TO) – Este índice combina os efeitos da radiação e da temperatura do ar, foi desenvolvido em região de clima frio, onde os efeitos da umidade são pequenos e o movimento do ar é desprezível.
- Taxa de Sudação Prevista em 4 Horas (TSP4) – Em decorrência da fadiga produzida pelo calor dos marinheiros britânicos, foi desenvolvido, logo após a Segunda Guerra Mundial (1947), no Royal Naval Research Establishment, na Inglaterra, o índice TSP4. Este índice considera as variáveis climáticas e o nível metabólico do homem para dois tipos diferentes de vestuário. Para a avaliação e

comparação de combinações feitas com este índice, utiliza-se a taxa de sudação resultante de uma exposição de 4 horas a determinadas condições climáticas. Givoni (1976) testou a validade deste índice na sensação térmica, na previsão da perda de peso, em repouso e sob a realização de atividades leves para diferentes níveis metabólicos, de vestimenta e de condições climáticas. O autor concluiu que a TSP4 é aplicável em temperaturas elevadas, superiores a 28°C.

- Índice de Esforço Térmico (IET) – Trata-se de um índice que parte da teoria do equilíbrio térmico e suas equações, do calor produzido pelo metabolismo em várias atividades e da capacidade evaporativa do ambiente. Ramón (1976) afirma que o IET é aplicável na análise das condições de trabalho industrial pesado apenas em ambientes fechados, por não levar em conta os efeitos da radiação solar direta.
- Índice de Conforto Equatorial (ICE) – O ICE parte da premissa de que em clima quente e úmido a temperatura de bulbo úmido influencia no conforto e desconforto térmico, em função da temperatura e umidade do ar.
- Índice de Fadiga Térmica (IFT) – Índice que descreve os mecanismos de troca de calor entre o corpo e o meio e através do qual a tensão térmica total (metabólica e ambiental) pode ser obtida. Este método considera que, em condições de equilíbrio térmico, o suor é secretado em um nível que assegure, através da evaporação, a liberação do calor metabólico para o meio.
- Índice de Verão Tropical (IVT) – Foi desenvolvido no período de três verões consecutivos na Índia, por Sharma e Sharafat (1986). Para sua avaliação se derivou uma equação, usando o método de análise de regressão para a sensação térmica em relação às variáveis ambientais.

2.8.10 Zona de Conforto

A zona de conforto pode ser definida como a faixa de temperatura em que as pessoas se sentem mais confortáveis. À medida que esta faixa se amplia, menor será a porcentagem de pessoas satisfeitas no ambiente, ou seja, quando as condições térmicas são mais variadas, menor será a aceitabilidade térmica daquele ambiente.

A zona de conforto representa os valores de temperatura correspondentes às sensações térmicas de conforto de determinado grupo de pessoas, em determinado local, sob a influência das condições climáticas e dentro de um controle estatístico dos dados coletados e analisados. Ela determina quão satisfatória é a condição térmica do ambiente analisado em relação à sensação térmica do homem, tanto em ambientes fechados (clima interno) quanto no âmbito urbano e regional (clima externo).

Adotando-se um gráfico de temperatura efetiva, pode-se obter uma área resultante da combinação da temperatura, velocidade do vento, umidade absoluta e umidade relativa do ar, denominada Zona de Conforto Térmico, que pode ser vista na figura 2.18, que representa a zona de conforto proposta por Szokolay. Neste gráfico, pode-se verificar que a combinação destas variáveis

resultou numa zona de conforto em que a temperatura de conforto se encontra entre 25°C e 30°C, com umidade relativa variando entre 20% e 60%. A taxa de umidade relativa do ar nessas condições varia entre 4 e 12 gramas de vapor / ar seco.

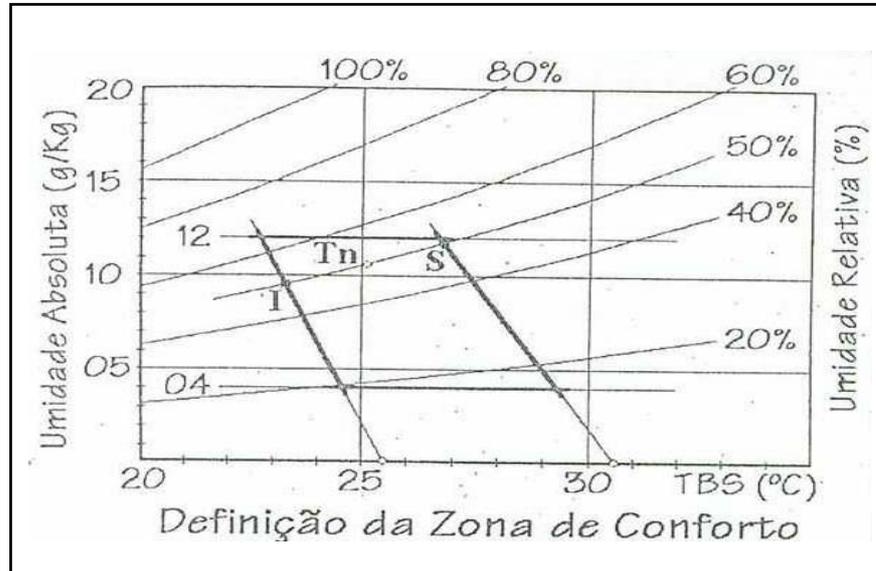


Figura 2.18: Zona de Conforto. Fonte: RORIZ, 2001.

2.9 Desconforto Térmico

De acordo com a norma internacional ISO 7730 (1994), baseada nos estudos de Fanger, a aceitabilidade térmica de um ambiente é estabelecida quando não mais que 10%, aproximadamente, dos seus ocupantes se sentem desconfortáveis, ou seja, quando a percentagem de pessoas insatisfeitas não ultrapassar 10%. Desta forma, para constatar o desconforto térmico de um ambiente vale considerar a premissa de que este ambiente será confortável se no mínimo 90% de seus ocupantes estiverem satisfeitos.

A insatisfação térmica se dá em função da sensação desconfortável por frio ou calor, em apenas uma parte do corpo ou em toda sua extensão. O desconforto térmico pode ser provocado por várias causas: por altas velocidades do ar (para temperaturas baixas) ou por baixas velocidades do ar (para temperaturas altas), pela assimetria da temperatura do ar, por diferenças de temperatura nas extremidades do corpo, por correntes de ar indesejadas ou até pelo contato com as superfícies circundantes. “A insatisfação pode ocorrer em razão do aquecimento ou resfriamento do corpo como um todo ou de partes determinadas, o que recebe a designação de desconforto localizado” (ISO 7730, 1994).

O *draught* consiste em uma corrente de ar não desejada e é decorrente da assimetria da temperatura do ar. “*Draught* é freqüentemente definido como um resfriamento convectivo localizado e indesejado por uma pessoa” (FANGER, 1970). Devido às diferenças de temperatura existentes nas extremidades do corpo humano, as sensações térmicas resultantes das correntes de ar podem ser

distintas e indesejadas, instalando-se o desconforto térmico. Assim, a causa que provoca este efeito é chamada de *draught*. Esta causa é comumente mais incômoda quando se trata do clima interno de edifícios com ar-condicionado e as pessoas são muito sensíveis a ela nas partes do corpo sem roupa. Os *draughts* são geralmente sentidos na face, pescoço, mãos e pernas.

A quantidade de perda de calor da pele causada pelos *draughts* depende da velocidade do ar, bem como da turbulência e diferença de temperatura do fluxo de ar e do hábito das pessoas se exporem ao *draught*. Assim, submetido ao *draught*, o homem se resente, portanto, do resfriamento local resultante. Acredita-se que muitas quedas abruptas na temperatura da pele são causadas pela variação de temperatura em toda a extensão do corpo, que é iniciada pelo sinal de desconforto excessivo, que por sua vez é enviado pelos sensores de frio. Conhece-se um pouco sobre quais os tipos de oscilação que causam desconforto maior. Este conhecimento tem sido obtido pela submissão de grupos de pessoas a várias frequências de velocidade do ar. Oscilações com frequência próxima a 0.5 Hz são mais desconfortáveis, enquanto frequências acima de 2 Hz não são sentidas (THERMAL BOOKLET, 2002) (Figura 2.19).

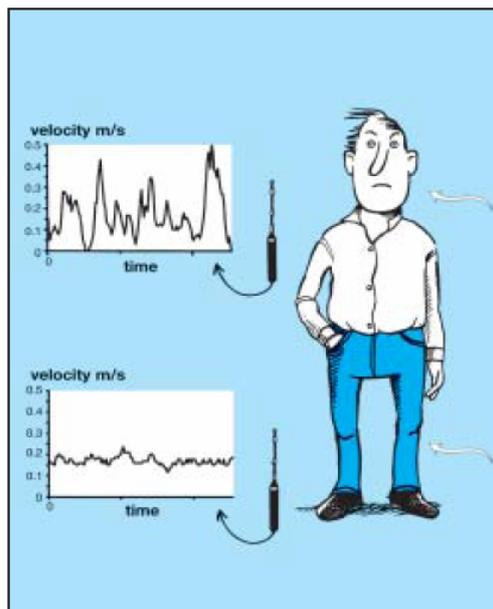


Figura 2.19: Assimetria de temperatura do corpo humano em relação ao efeito da velocidade do ar. Fonte: THERMAL BOOKLET, 2004. <http://www.innova.dk/>

Fanger mostra a relação entre o Voto Médio Estimado e a Porcentagem Estimada de Insatisfeitos. À medida que a porcentagem de pessoas insatisfeitas aumenta, o voto médio estimado se afasta do valor zero (0), admitindo valores que supõem preferências térmicas por condições climáticas inversamente proporcionais ao ambiente térmico em que se encontram. Quanto mais a porcentagem de insatisfeitos diminui, o voto médio estimado assume valores próximos de zero (0), que é relativo à neutralidade térmica, supondo menores alterações climáticas no ambiente, o que leva à maior aceitabilidade térmica das pessoas (Figura 2.20).

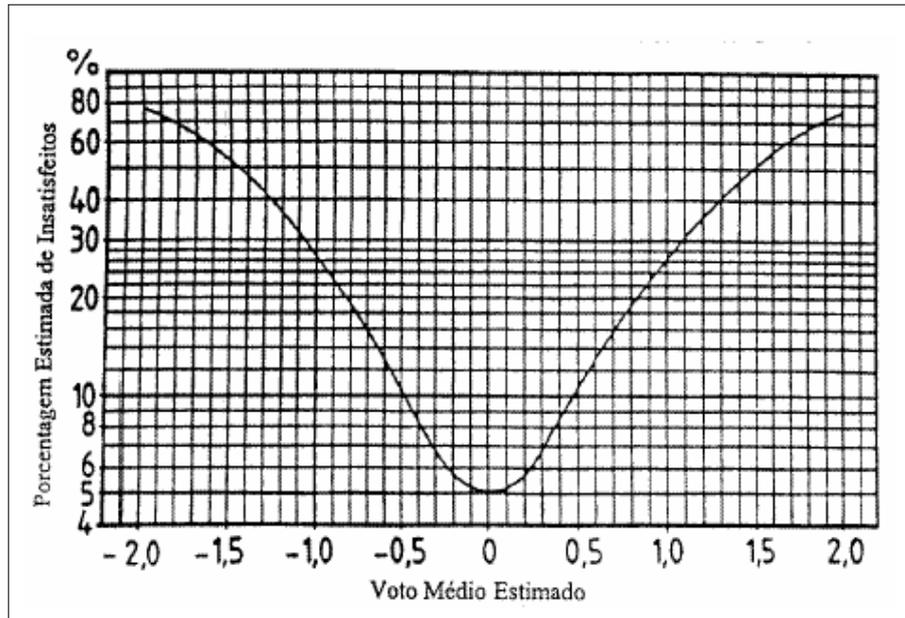


Figura 2.20: Relação entre o voto médio estimado e a porcentagem de insatisfeitos em função do PMV. Fonte: FANGER, 1970.

2.10 Modelo Estático e Modelo Adaptativo

Com bases metodológicas diferentes, as duas abordagens dão prescrições bem distintas de como o clima interno de edifícios pode ser administrado. Tais prescrições têm implicações que vão desde os tipos de projeto dos edifícios, a forma pela qual seus ambientes são termicamente controlados e a quantidade de energia consumida na produção de climas internos habitáveis. O modelo estático considera o homem um simples receptor do ambiente térmico, limitando a capacidade de adaptação térmica, e com isto, contribuindo para um aumento dependente da refrigeração mecânica (DE DEAR, 1997).

O modelo adaptativo se refere às temperaturas internas ou às taxas de temperatura interna aceitáveis para os parâmetros climatológicos ou meteorológicos externos (ASHRAE 55-2004). Este modelo não considera o homem um simples receptor passivo do ambiente térmico, ao contrário, um agente ativo que interage com todos os níveis do sistema ambiente-pessoa por meio das respostas subjetivas a respeito das próprias sensações, reações e preferências térmicas de determinadas circunstâncias climáticas. De acordo com De Dear, o modelo adaptativo exercita as capacidades adaptativas dos ocupantes de edifício, através de mecanismos para criar ou controlar suas próprias preferências térmicas.

2.10.1 O processo adaptativo

O pensamento da escola adaptativa considera fatores além dos físicos e psicológicos que interagem na percepção térmica. Estes fatores podem incluir os demográficos (sexo, idade, nível econômico), os contextuais (desenho e função do edifício, estação do ano, clima, condições sociais) e os cognitivos (atitude, preferência e expectativa).

De uma forma geral, a hipótese adaptativa indica que a satisfação de um indivíduo com o clima interno é alcançada pelo correto equilíbrio entre as condições térmicas num determinado ponto de tempo e espaço, e as expectativas térmicas de como o clima interno poderia ser. O processo adaptativo e as respostas térmicas das pessoas, dadas em função do comportamento térmico do ser humano, dependem em grande parte de fatores contextuais, tais como:

- Características do edifício: dizem respeito às características construtivas do edifício (qual tipo de ambiente, individual ou coletivo) e das aberturas (se são operáveis, a que distância delas os ocupantes estão);
- Características do consumo de energia: relacionam-se aos serviços de climatização da estrutura (sistema de ar condicionado central ou distribuído para cada estação de trabalho, ou se o edifício é naturalmente ventilado);
- Condições organizacionais e sociais: consistem nas regras inerentes ao tipo de ocupação do edifício (uniformes fixos, limites no horário de trabalho).

O processo adaptativo evidencia os benefícios da compreensão e adaptação do conforto térmico no ambiente construído. São padrões e modelos preditivos aperfeiçoados, maior controle ambiental e pessoal, menor consumo de energia e maior aceitabilidade térmica por parte dos ocupantes. O corpo humano mantém o equilíbrio térmico com o ambiente através da regulação fisiológica. Dentro destes processos automáticos envolvidos na regulação térmica do corpo humano, há uma resposta adaptativa capaz de fazer os ocupantes do edifício se adaptarem ao clima interno e externo por meio dos ajustes comportamentais e tecnológicos (vestimenta, aberturas, equipamentos), adaptações fisiológicas (aclimatação), e ajustes psicológicos (hábitos, expectativas) (Figura 2.21).

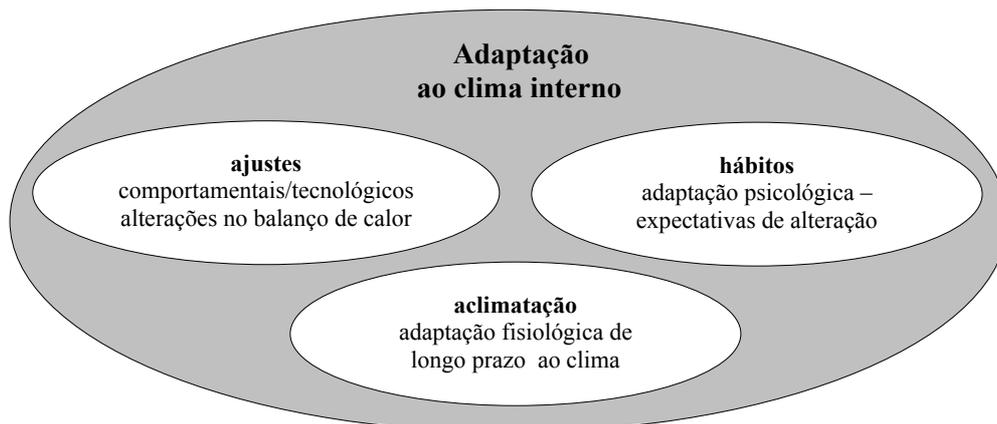


Figura 2.21: Os três componentes da adaptação ao clima interno.
Fonte: Adaptado de DE DEAR, 1997.

Conforme explicam Labaki e Oliveira (2003): “O método adaptativo tende a trabalhar junto com circunstâncias do meio e não modificá-las, o que acarreta serem temperaturas confortáveis próximas da temperatura da acomodação”. Segundo De Dear (1997), o homem tem reações térmicas e as expressa de acordo com alguns mecanismos do organismo para se defender dos efeitos do clima.

Tais mecanismos são definidos como comportamental, fisiológico e psicológico (Figuras 2.22, 2.23 e 2.24, respectivamente). O mecanismo comportamental diz respeito às ações, conscientes ou inconscientes, executadas pelo homem para obter mais conforto. Como mostra a figura 2.22, em função do clima interno, o corpo humano desenvolve uma série de ajustes comportamentais e reguladores, com o objetivo de alcançar uma faixa de conforto térmico desejado. Estas ações têm o objetivo de melhorar as trocas térmicas entre o corpo e o meio térmico, para favorecer melhores níveis de conforto. Podem ser alterações na vestimenta, postura, atividade, acionamento de equipamentos calefadores, refrigeradores ou para sombreamento, abertura ou fechamento de portas e janelas e mudança de ambiente.

Raja e Nicol (1997) consideram a postura um dos mecanismos de adequação térmica ao meio. “Uma mudança na postura pode alterar a área de superfície corporal efetiva disponível para realizar a troca de calor com o ambiente”. Sob condições de frio rigoroso, o ato de ‘se encolher’, é uma ação ‘involuntária’ do corpo humano, com o objetivo de, através da redução da área de superfície corporal, ‘expor-se menos’ ao frio, e assim, minimizar a sensação desconfortável de frio. Do mesmo modo, sob condições de calor excessivo, o ato de ‘se espalhar’, determina a necessidade do corpo de expor maior superfície corporal, com o objetivo de favorecer as trocas térmicas entre o corpo e o meio e aproveitar as condições do tempo local a seu favor, minimizando a sensação desconfortável de calor.

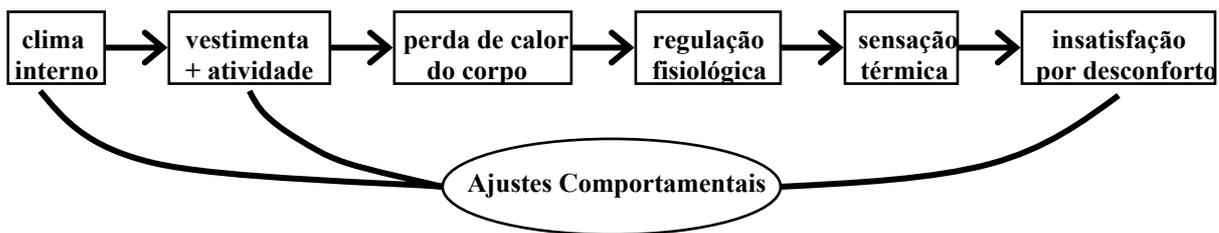


Figura 2.22: Mecanismo Comportamental.

Fonte: Adaptado de DE DEAR, 1997.

Na figura 2.23 está configurado o esquema do mecanismo fisiológico, que se refere à interação das condições térmicas do meio com os processos reguladores de perda de calor do corpo, regulação térmica e sensação térmica, consistindo em respostas fisiológicas do organismo humano, que podem atenuar as reações provocadas por alguma modificação na condição térmica. Este mecanismo também abrange o aspecto da adaptação térmica do homem: a aclimação. O clima externo exerce influência na regulação e sensação térmica do organismo. Desta forma, o corpo humano responde às condições climáticas externas, determinando as reações necessárias àquelas condições térmicas, bem como o tempo de aclimação correspondente.

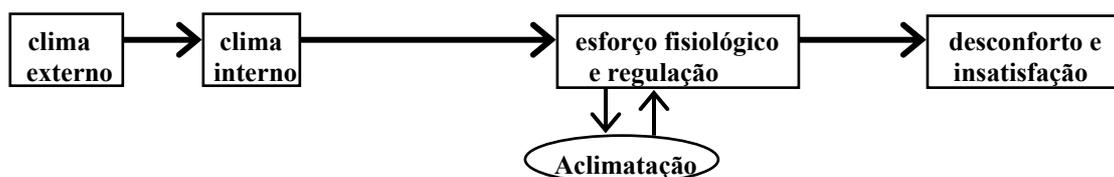


Figura 2.23: Mecanismo Fisiológico.

Fonte: Adaptado de DE DEAR, 1997.

O mecanismo psicológico, representado na figura 2.24, diz respeito às modificações na percepção e na reação a estímulos sensoriais, em função da expectativa térmica existente sobre as condições térmicas de um ambiente. Este mecanismo considera vários aspectos relacionados ao clima externo e a interação deste com o clima interno, tais como fatores contextuais climáticos, como os hábitos culturais, a arquitetura e o sistema de condicionamento do ar. O mecanismo psicológico destaca a expectativa que as pessoas têm do clima, fazendo-as mais receptivas ou não às situações térmicas do meio.

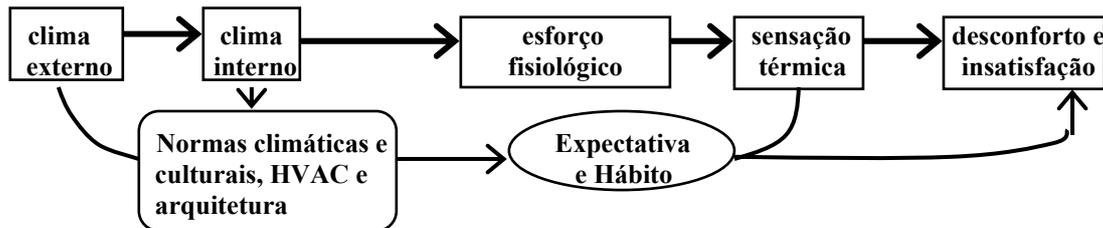


Figura 2.24: Mecanismo Psicológico.
Fonte: Adaptado de DE DEAR, 1997.

CAPÍTULO 3

Material e Método

3. Material e Método

3.1 Delimitação do campo da pesquisa

A escassez de dados precisos sobre as reações térmicas do homem mediante condições específicas à realidade brasileira é fator determinante para a importância da execução de pesquisas neste sentido. Por esta razão, esta pesquisa objetivou, a princípio, realizar uma análise estatística causal acerca das sensações térmicas humanas em empresas do setor industrial da região de São Carlos, através da medição das variáveis ambientais (com o uso de equipamentos apropriados) e da quantificação das variáveis pessoais (com a aplicação de questionários individuais), tendo como base os princípios dos processos físicos de troca de calor entre o homem e o ambiente.

Na ocasião das tentativas para obtenção das permissões necessárias à realização da pesquisa, verificou-se certa resistência por parte das indústrias. Muitos foram os pedidos de permissão necessária para este objetivo. Entretanto, após inúmeras tentativas e contatos com várias indústrias da região e com o prefeito da cidade, as permissões não foram concedidas. A julgar pelos motivos alegados, pôde-se concluir o real motivo das respostas negativas: o receio de que as possíveis condições insalubres de conforto térmico dos ambientes pudessem ser divulgadas, e de que com isso a imagem da empresa pudesse ser denegrida, mesmo com o esclarecimento de que os resultados da pesquisa seriam destinados apenas ao campo acadêmico. Algumas empresas sequer demonstraram interesse em colaborar com o estudo proposto. Estas dificuldades e impossibilidades mostraram o quão difícil é conseguir a permissão dos pólos industriais para realização de pesquisa científica na região de São Carlos.

A iniciativa de estudar a base de dados da ASHRAE para dar suporte à pesquisa partiu dos obstáculos encontrados no tocante à parte experimental. Diante destas dificuldades e de condições desfavoráveis para a realização do estudo com dados climáticos locais, procurou-se então, estudar os dados coletados em condições climáticas de diversos países, através da base de dados acima citada, e com isto, tentar alcançar o objetivo que a pesquisa propõe.

3.2 Pesquisa Bibliográfica

Para que uma pesquisa cumpra seu papel na conclusão dos resultados obtidos, é fundamental que o embasamento teórico se apresente bem definido. Desta forma, foi necessária uma revisão bibliográfica, em diversas fontes, tais como: teses, dissertações, artigos, livros, anais de congressos, periódicos internacionais e normas nacionais e internacionais, com o fim de garantir a vasta investigação teórica abordada nesta pesquisa. Para a análise e discussão dos resultados obtidos neste estudo, considerou-se a abordagem adaptativa acerca das sensações térmicas humanas. Na definição da metodologia adotada, esta pesquisa enfocou a identificação e análise de dois grupos de variáveis fundamentais ao estudo das sensações térmicas e do conforto térmico: as variáveis ambientais e as variáveis pessoais.

A delimitação da abrangência e abordagem da presente pesquisa se deu em função de fatores alheios à intenção dos autores, conforme exposto acima. Assim, a base de dados da ASHRAE consiste na ferramenta de auxílio para a realização deste estudo, que teve seu andamento a partir da revisão bibliográfica apresentada e do estudo da metodologia do pesquisador Richard De Dear, utilizada nas análises dos dados obtidos na base acima citada. As avaliações dos pesquisadores, feitas em climas diversos, permitiram observar a influência das variáveis climáticas no ambiente, através das reações humanas com relação aos índices de Conforto Térmico obtidos.

Para o diagnóstico das condições térmicas do ambiente avaliado (variáveis ambientais) foi realizada uma investigação teórica das medições quantitativas de temperatura e umidade do ar. Para o diagnóstico das condições térmicas do homem (variáveis pessoais) igualmente se adotou a investigação teórica sobre os resultados da base de dados da ASHRAE, e através da análise das respostas subjetivas dos usuários, em questionários específicos, se pôde realizar avaliações qualitativas das sensações térmicas do homem.

3.3 Projeto ASHRAE RP-884 (atualmente, Norma ANSI/ASHRAE 55-2004) e Base de Dados da ASHRAE

O projeto ASHRAE RP-884 foi desenvolvido por De Dear, Brager e Cooper (1997) e financiado pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* – ASHRAE. Este projeto, atualmente a Norma ANSI/ASHRAE 55-2004, “Condições Térmicas Ambientais para Ocupação Humana”, é uma revisão da Norma ANSI/ASHRAE 55-1992. A Norma especifica condições nas quais um grupo determinado de ocupantes irá avaliar se o ambiente é termicamente aceitável. “A abordagem do RP-884 focaliza aspectos de pesquisas feitas em edifícios ‘reais’¹⁹, ocupados por indivíduos que têm suas atividades normais diárias moderadas” (De Dear, 1997). Para identificar os vários processos adaptativos dos dados, foi necessário padronizá-los. Baseado nas relações adaptativas entre conforto interno e clima externo, esta padronização foi feita utilizando dois padrões de temperatura como variável: um para edifícios naturalmente ventilados (NV) e outro para edifícios com refrigeração artificial (HVAC). A presente pesquisa realizou a análise dos dados dos ambientes naturalmente ventilados.

O projeto ASHRAE RP-884 padronizou os dados experimentais de diferentes pesquisas realizadas em 160 edificações (a grande maioria em prédios de escritório, com atividades sedentárias – metabolismo entre 1,1 e 1,4 met) situadas em diferentes zonas climáticas do mundo: América, Ásia, Oceania e Europa. Para esta padronização, os dados foram ordenados de acordo com o sistema de condicionamento de ar do edifício: Naturalmente Ventilados (NV) e Artificialmente Refrigerados (HVAC), e da estação do ano em que foi realizado o experimento: Verão ou Inverno. Reunida em um total de 22 grupos de pesquisa, a ampla base de dados que resultou do projeto ASHRAE RP-884 envolveu um longo processo de elaboração do método, aquisição, interpretação e regulamentação dos dados. Estes dados foram devidamente classificados, agregados e analisados de acordo com a identificação do edifício. A estrutura da base de dados apresenta informações descritas

¹⁹ Aqueles utilizados pelo homem nas suas atividades, cujas condições térmicas não são controladas pelo pesquisador, ao contrário das câmaras climatizadas, onde estas são manipuladas e condicionadas.

de cada grupo (autor, localização geográfica, zona climática, identificação do edifício, horários das medições, índices de conforto, votos de sensação e preferência térmica, entre outras).

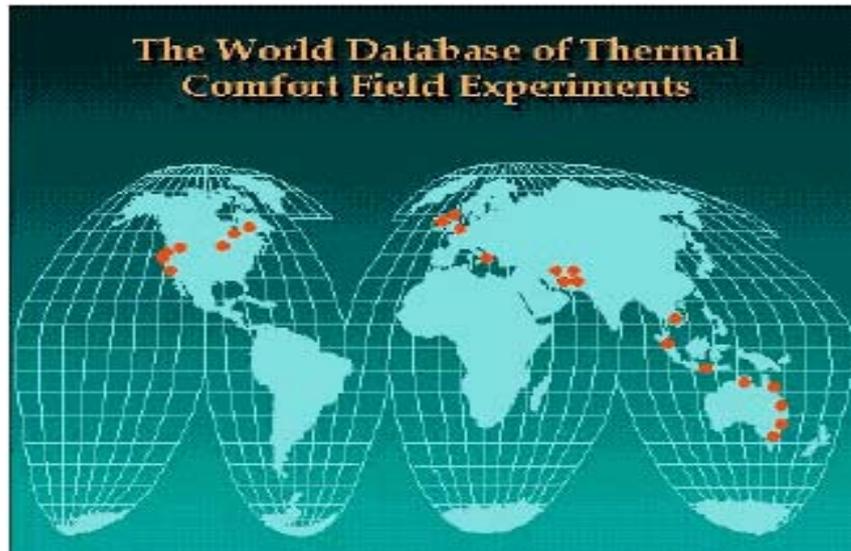


Figura 3.1: Origem geográfica das contribuições de dados para a base de dados mundial RP – 884 de pesquisa de campo em conforto térmico. Fonte: Richard De Dear, 1997.

“Esforços e recursos consideráveis do RP-884, bem como inúmeros pesquisadores em todo o mundo têm contribuído à construção desta base de dados de experimentos de campo em conforto térmico. Por essa razão, ela parece altamente apropriada para inúmeras aplicações. Desta maneira, decidiu-se providenciar um acesso global e irrestrito via World Wide Web (www)²⁰” (De Dear, 1997).

²⁰ Vasta Rede Mundial (Internet).

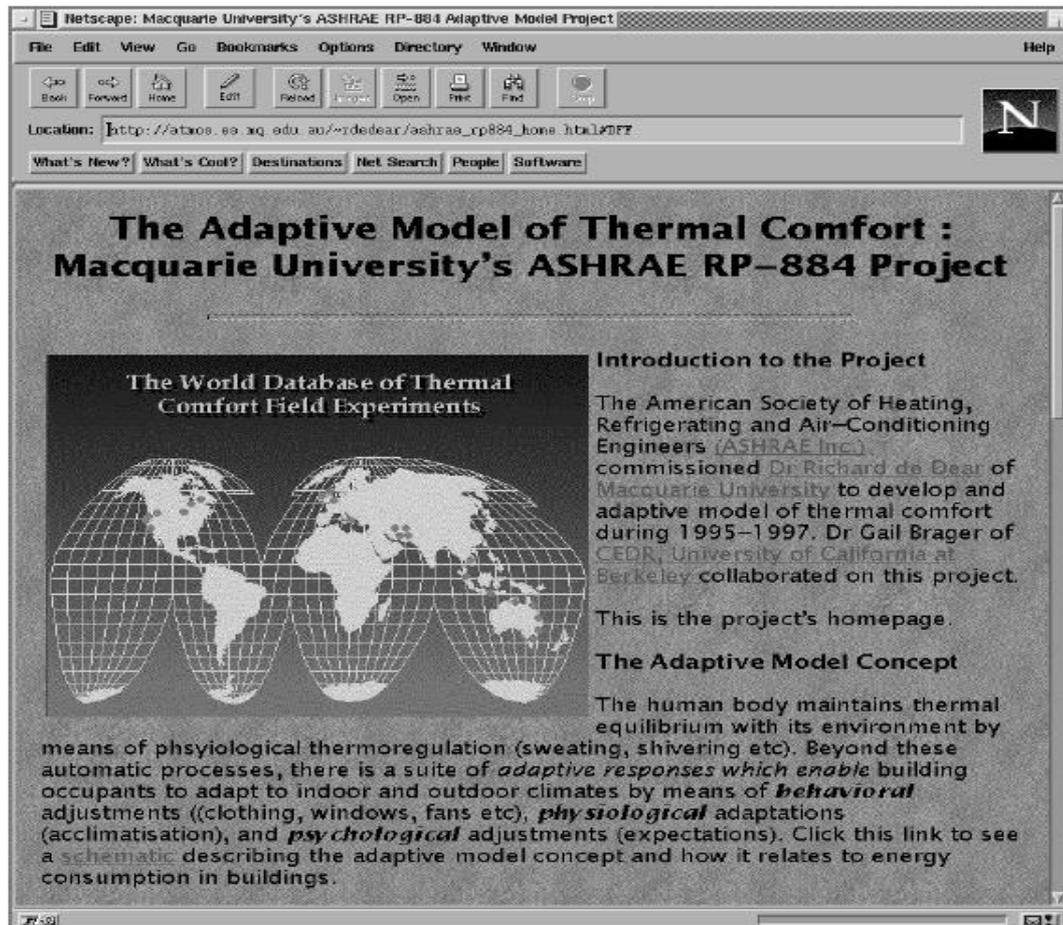


Figura 3.2: A homepage para o RP-884 na internet.

http://atmos.es.mq.edu.au/~rdedear/ashrae_rp884_home.html - Web site da Universidade Macquarie, Austrália. Fonte: De Dear, 1997.

3.3.1 Objetivos do Projeto ASHRAE RP-884

O objetivo geral do ASHRAE RP-884 é especificar a combinação dos fatores térmicos ambientais internos e dos fatores pessoais que poderão produzir condições aceitáveis para a maioria dos ocupantes dentro do ambiente.

Os objetivos específicos do podem ser assim listados:

1. Elaborar e definir os processos adaptativos no contexto da percepção do clima interno;
2. Desenvolver uma base de dados em conforto térmico consistente e com controle de qualidade, baseada em experimentos de campo de uma variedade de edifícios e climas de todo o mundo. Isto poderá fazer esta base de dados largamente acessível para outros pesquisadores de conforto térmico;
3. Examinar a semântica da sensação térmica, aceitabilidade e escala de preferência no contexto de um modelo adaptativo de conforto térmico;

4. Desenvolver modelos estatísticos em conforto térmico baseados em vários processos de adaptação, incluindo ajustes, aclimatação e hábitos;

5. Explorar a influência dos fatores contextuais e não-térmicos na percepção térmica dos climas internos. Esta investigação incluiria (não estritamente) estação, tipo de ocupação do edifício (residencial, escritório) na sensação térmica. Isto inevitavelmente incluiria comparações com as predições de conforto dos modelos de balanço térmico como o PMV e o PPD;

6. Propor um padrão de temperatura que, ao mesmo tempo, acrescentasse e/ou modificasse a Norma ASHRAE 55 (Relatório Final – DE DEAR, 1997).

3.4 Método de análise dos dados e forma de apresentação

3.4.1 Metodologia de Richard de Dear: A metodologia utilizada pelo pesquisador Richard De Dear seguiu várias etapas:

3.4.1.1 Origem dos dados: Os dados foram originados de muitos estudos e experimentos de campo em vários países e por diversas pesquisas.

3.4.1.2 Avaliação dos dados submetidos ao RP-884: Os dados foram classificados de acordo com o padrão de instrumentos e procedimentos usados para medição do clima interno. Três amplas classes de investigações de campo em conforto térmico foram definidas como:

- **Classe III:** Estudos de campo baseados em medições simples, da temperatura interna e possível umidade. As medições foram feitas um nível acima do piso (0.1 m);
- **Classe II:** Experimentos de campo nos quais todas as variáveis ambientais físicas internas (t_a , t_r , v , rh , I_{cl} , met) necessárias para o cálculo da temperatura efetiva padrão (SET) e dos índices VME e PPI foram coletadas no mesmo tempo e lugar que os questionários térmicos foram aplicados. As medições foram feitas nas três alturas acima do nível do piso como especificado nos padrões da ASHRAE (1992) e da ISO (1994) – 0.1, 0.6 e 1.2 m. As medições de umidade foram obtidas por psicrômetro ou sensores higrométricos de estado sólido. A velocidade do ar foi medida por sondas de fio quente (ou esfera) com início acima de 0.1 m.s^{-1} e tempo constante maior do que o necessário para a avaliação da turbulência;
- **Classe I:** Experimentos de campo nos quais todos os sensores e procedimentos estavam 100% em conformidade com as especificações da Norma ASHRAE 55 (1992) e ISO 7730 (1984). Particularmente todas as falhas identificadas nas investigações da Classe II foram retiradas dos experimentos de campo da Classe I.

3.4.1.3 Padronização dos dados

– **Criação de um modelo de dado padrão:** Um padrão de variáveis foi desenvolvido baseado em projetos anteriores da ASHRAE, tais como RP-702 (clima quente-úmido), RP-462 (mediterrâneo) e RP-821 (clima frio). O modelo padrão foi aplicado para cada e todo dado da Base de dados RP-884 ($n \cong 21000$). O modelo padrão consiste em unidade de medições e códigos de convenções, apresentados no Anexo B. O modelo é dividido dentro dos seguintes grupos de variáveis:

- **Identificações básicas:** Código do edifício, informações subjetivas e data;
- **Questionário Térmico:** Abrange escalas de preferência, aceitabilidade e sensação, bem como atividade, taxa metabólica, vestimenta e resistência do mobiliário;
- **Observações Físicas do clima interno:** Temperatura do ar, temperatura de globo, turbulência e velocidade do ar a três alturas, umidade e temperatura radiante assimétrica da superfície;
- **Índices Calculados:** Inclui a quantidade ou média de medições da temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar, temperatura operativa, intensidade da turbulência, pressão de vapor e umidade relativa, nova temperatura efetiva, nova temperatura efetiva padrão, índice de temperatura de sensação (TSENS), índice de desconforto (DISC), voto médio estimado (VME), porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPI) e risco de corrente de ar predito (PD) em três alturas no máximo;
- **Controle ambiental pessoal:** Abrange questões do controle percebido e oportunidades adaptativas específicas. Estas opções de controle são: janelas, portas internas, portas externas, termostato, cortinas/persianas, aquecedores e ventiladores locais;
- **Observações meteorológicas externas:** incluem dados e índices externos obtidos. Temperaturas diárias e umidades relativas em 600 horas e 1500 horas foram coletadas, e temperaturas efetivas diárias (ET*) para estas horas calculadas com o software WinComf (Fountain e Huizenga, 1996), descrito adiante. As médias diárias para temperatura do ar, umidade relativa e temperatura efetiva também foram calculadas.

3.4.1.4 Dados climatológicos/meteorológicos para a base de dados

Evidentemente o tempo e o clima externo representam os componentes-chave para qualquer modelo adaptativo de conforto térmico concebível, desde que o clima externo induza respostas adaptativas psicológicas, comportamentais e de aclimatação. Para aqueles estudos que preenchem a base de dados RP-884 sem dados do tempo, a prioridade foi obter dados meteorológicos (dados do tempo que consideram exatamente as mesmas datas das observações internas).

Quando não foi possível, os dados climatológicos foram usados (dados de publicações abrangendo médias estatísticas de um longo período para os meses em questão). Os parâmetros

atmosféricos externos coletados para a base RP-884 consistiam da temperatura externa do ar diária e da umidade relativa coincidente às 6 e às 15 horas. Estas horas foram selecionadas porque representam as horas típicas de ocorrência da temperatura máxima e mínima diária. Também correspondem normalmente à umidade relativa máxima e mínima diária.

3.4.1.5 Subdivisão dos experimentos de campo padrão

Uma vez que os experimentos de campo preenchidos pelos pesquisadores foram controlados e padronizados qualitativamente dentro do modelo da base de dados RP-884, foram divididos de acordo com a estação (verão ou inverno) e o tipo de edifício (edifícios controlados com centrais de ar condicionado (HVAC), edifícios naturalmente ventilados (NV) e edifícios de sistemas mistos). A diferença entre edifícios com controle de ar condicionado central (HVAC) e edifícios naturalmente ventilados é que nos edifícios HVAC os ocupantes têm pouco ou nenhum controle sobre o ambiente térmico, enquanto ocupantes de edifícios naturalmente ventilados têm, no mínimo, controle sob as janelas e/ou aberturas.

3.4.1.6 Análise dos dados e unidade de análise para o RP-884

Pela associação de unidades estatísticas dos indivíduos de todos os edifícios, o RP-884 submeteu 21000 dados na Base para 160 edifícios. Tentativas precedentes na definição de modelos adaptativos (Humphreys e Auliciems) normalmente associavam todos os dados na unidade de um estudo de campo inteiro. Por esta razão, modelos adaptativos anteriores podem ter enganosamente, uma variedade considerável de fatores contextuais que afetam as respostas subjetivas. A análise dos dados considerando o edifício tanto quanto o indivíduo considerou aspectos relevantes do processo adaptativo, a saber:

- Tipo de sistema de condicionamento de ar;
- Intensidade do controle ambiental pessoal;
- Satisfação no trabalho e outros fatores administrativos que podem infringir o modelo adaptativo;
- Variedade temporal de temperaturas internas em dias/semanas precedendo o conforto térmico do experimento;
- Níveis médios de fatores meteorológicos externos e sua variabilidade em dias/semanas precedendo o conforto térmico do experimento.

– **Estrutura de arquivos e convenções de códigos:** Um sumário de cada projeto de campo adotado na base de dados ASHRAE RP-884 está listado no Anexo A. As informações listadas incluem país e cidade nos quais o estudo e o experimento foram conduzidos, bem como nomes dos pesquisadores, classe do dado (I, II ou III), publicações, clima e estação, descrição da amostra de edifícios, instrumentos climáticos internos, detalhes dos questionários e origem dos dados meteorológicos/climatológicos externos. A qualidade e intensidade dos dados de medições também são consideradas, assim como o tipo de edifício (HVAC, NV e misto). A lista completa de variáveis dos arquivos e convenções dos códigos pode ser encontrada no Anexo B.

– **Hipóteses gerais da análise estatística:** Para a finalidade da análise estatística no RP-884, experimentos de campo com projeto de pesquisa longitudinal (muitos indivíduos, amostra com muitas horas) foram assumidos como independentes entre os indivíduos. Isto é, estudos longos foram tratados da mesma maneira dos projetos de pesquisa de amostras menores durante a análise. Também foram admitidas todas as outras hipóteses de divergência de linearidade, normalidade e igualmente aplicada em toda a base de dados. A saber:

✓ Para toda modelação estatística feita no arquivo, cada dado do edifício foi considerado de acordo com o número de indivíduos representados (tamanho da amostra do edifício). Isto foi adotado com a finalidade de minimizar o impacto de dados afastados que se baseavam relativamente a um pequeno número de observações.

✓ Resultados estatísticos da temperatura preferida ou neutralidade térmica de cada edifício foram anexados como novas variáveis no arquivo.

✓ Testes de estatística baseados em tamanhos de amostra pequenos foram interpretados com cuidado ou eliminados (denominados dados ausentes) devido às suas estimativas de intervalos muito largos.

– **Tratamentos estatísticos nas várias taxas térmicas subjetivas:** Existem alguns aspectos comuns nos métodos usados no trabalho de campo em conforto térmico, especialmente em relação às avaliações do calor subjetivo dentro dos edifícios. A abordagem mais comum tem sido o método de avaliação da escala na qual o conforto é considerado como voto “neutro ou confortável” (Tabela 3.1).

Tabela 3.1: Escalas comumente usadas na avaliação de pesquisas de campo em conforto.

Fonte: DE DEAR, 1997.

Escala ASHRAE	Escala Bedford	Aceitabilidade	Preferência (McIntyre)
+3	Muitíssimo quente	Inaceitável	Mais frio
+2	Muito quente		
+1	Confortavelmente quente	Aceitável	Nenhuma mudança
0	Confortável		
-1	Confortavelmente frio		
-2	Muito frio	Inaceitável	Mais quente
-3	Muitíssimo frio		

As expressões usadas na tabela indicam geralmente o planejamento adotado entre avaliações das escalas e outras avaliações térmicas. Ou seja, “neutro” é adotado geralmente dentro de pesquisas com pessoas para ser sinônimo de “confortável”, “aceitável” e “preferido”. Apesar das

aparentes diferenças de significado entre a escala de sensação térmica da ASHRAE e a escala de conforto de Bedford, estas duas escalas têm sido estabelecidas para funcionar da mesma maneira na maioria das situações práticas (DE DEAR, 1985).

Isto promove comparações diretas neste projeto entre estudos, usando qualquer uma das escalas, mas análises recentes de estudos dos questionários nos quais a aceitabilidade, a preferência e a sensação térmica foram consideradas simultaneamente, mostraram que a temperatura ótima baseada nos votos de sensação térmica não correspondeu exatamente aos da aceitabilidade ou preferência térmica (BRAGER, 1994). Por isso, a aceitabilidade e a preferência térmica foram analisadas separadamente neste estudo.

– **Temperaturas preferidas:** A temperatura preferida (MCI) foi estimada diretamente de um conjunto de edifícios da base de dados RP-884. A pergunta do questionário específico foi a seguinte: “*Neste momento, você preferiria se sentir mais aquecido, refrescante ou sob nenhuma alteração?*” Este dado requer diferentes tratamentos estatísticos para ser aplicado à escala de sensação térmica da ASHRAE. Especialmente análises probit (FINNEY, 1971; BALLANTYNE et al, 1977) são mais aplicáveis do que regressão linear. Entretanto, probit requer respostas binárias, considerando que a pergunta do questionário descrito aqui tem três possíveis respostas. A solução foi dividir as respostas “nenhuma alteração” (voto 2) 50:50 dentro das duas categorias restantes. Desta forma, as respostas do voto 2 se dividiram entre as categorias do voto 1 e do voto 3, igualmente.

Um software estatístico foi aplicado para a tarefa de registrar o número de observações com MCI=1 (“prefere mais frio”) e MCI=3 (“prefere mais quente”) para cada grau de temperatura. Modelos probit foram fixados para cada porcentagem de “prefere mais quente” e “prefere mais frio” com o procedimento SAS probit. A definição do modelo probit é apresentada a seguir. A definição da temperatura preferida (ou temperatura de conforto) adotada por De Dear (1997), dentro de um edifício em particular é o valor da variável independente (temperatura operativa) que corresponde à interseção dos modelos probit de “prefere mais frio” e “prefere mais quente”. Ou seja, a interseção das curvas de probabilidade de insatisfação por frio e de insatisfação por calor, representa a temperatura preferida obtida na Base de Dados da ASHRAE, para cada edifício analisado.

3.4.1.7 Método de Análise Probit

A análise Probit (do inglês probit) é um modelo de regressão não-linear utilizada para determinar as probabilidades de um evento ocorrer em variáveis binárias. Estas probabilidades são do tipo sim ou não, falha ou sucesso em relação a outras variáveis envolvidas e variam entre 0 e 1. As variáveis analisadas são definidas como explicativas (independentes) e respostas (dependentes). A situação (ou situações) de interesse da análise é chamada Variável Resposta ou Variável Dependente, no caso desta pesquisa, os insatisfeitos por calor ou por frio. A outra variável é usada para explicar a variável resposta e é chamada Variável Explicativa ou Variável Independente (MCCULLAGH E NELDER, 1997), no caso desta pesquisa, a Temperatura Operativa. Segundo os autores, o modelo de análise Probit pode ser definido com uma regressão não-linear que analisa variáveis de interesse, a partir de variáveis preditas que servem para modelar, explicar ou dar significância estatística à probabilidade destas respostas (Figura 3.3).

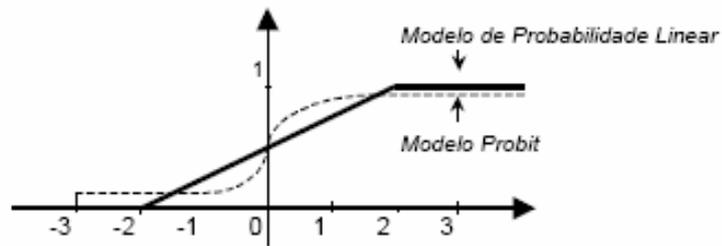


Figura 3.3: Modelo Probit.
Fonte: CARMONA, 2004.

É, portanto, um modelo de análise associado à uma função que acumula as probabilidades da variável de interesse. Esta probabilidade pode ser *Probabilidade acumulada*, no caso de Sucesso, ou *Probabilidade acumulada inversa*, no caso de Falha (fracasso), (Figuras 3.4 e 3.5) (CARMONA, 2004).

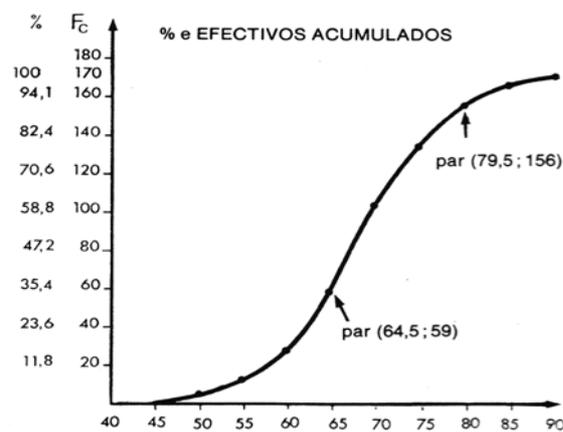


Figura 3.4: Curva Normal acumulada
Fonte: D'HAINAUT, 1997.

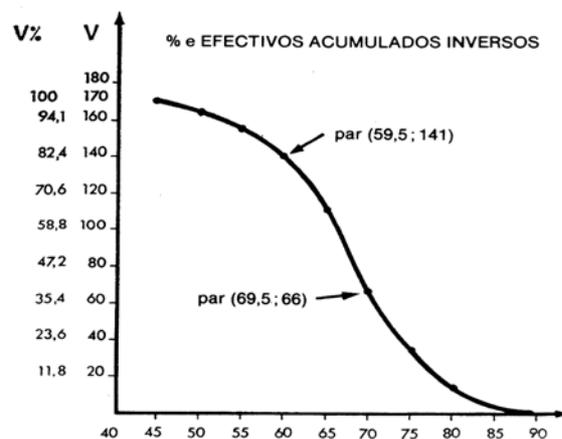


Figura 3.5: Curva Normal acumulada inversa
Fonte: D'HAINAUT, 1997.

O modelo de análise Probit é representado pela equação:

$$\pi (X) = \phi (\alpha + \beta X) \quad [\text{Eq. 3.1}]$$

Sendo:

$\pi (X)$ = probabilidades acumuladas da variável resposta

X = variável explicativa

ϕ = função que transforma a distribuição dos dados na curva Normal acumulada (0,1) (curva de Gauss)

α = intercepto; ponto onde os dados tocam o eixo Y

β = coeficiente angular

Para obter o valor da função ϕ usa-se a seguinte equação:

$$\phi (X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\delta}} \cdot e \left\{ \frac{-(X - \mu)^2}{2\delta^2} \right\} \quad [\text{Eq. 3.2}]$$

Sendo:

ϕ = função que transforma a distribuição dos dados na curva Normal acumulada (0,1)

X = variável independente

π = constante numérica = 3,14

δ = desvio-padrão da amostra

e = exponencial da base neperiana. Exponencial cuja base é $\cong 2,718281828$ (base dos logaritmos neperianos)

μ = média da distribuição da amostra

δ^2 = variância da amostra

Como a análise probit é um modelo de regressão não-linear, a reta da distribuição dos dados estimada se transforma uma curva através da função ϕ . A análise probit calcula a média e o desvio-padrão dos dados da amostra para a construção de uma curva Normal (0,1), integra e constrói as curvas de insatisfeitos por calor e por frio.

No modelo de análise Probit, os coeficientes estimados analisam a probabilidade da variável dependente, sob influência da variável independente, assumir o valor 1. Então, estes efeitos são constantes, e à medida em que X_i aumenta, a probabilidade p continua a aumentar (quando a probabilidade acumulada é positiva $\rightarrow p = \pi (X_i)$); quando é negativa $\rightarrow 1 - p = \pi (X_i)$, à

medida em que X_i aumenta, a probabilidade p continua a diminuir, a uma razão constante). Nesta pesquisa, a análise Probit avalia dois tipos de situação: a probabilidade de insatisfeitos por calor (MCI = 1) e a probabilidade de insatisfeitos por frio (MCI = 3). Portanto, aplicando a equação da análise Probit para MCI = 1, tem-se:

$$\pi (X_i) = \phi_i(\alpha + \beta X_i) \quad [\text{Eq. 3.3}]$$

Sendo:

$\pi (X_i)$ = probabilidade de insatisfeitos por calor (MCI = 1) para cada temperatura observada

X_i = temperatura observada

ϕ_i = função que transforma a distribuição dos dados na curva Normal acumulada (0,1)

α = coeficiente linear; intercepto; ponto onde a reta ajustada aos dados corta o eixo Y

β = coeficiente angular

Especificamente nesta pesquisa, α representa a intersecção da distribuição dos dados com o eixo de insatisfeitos (eixo Y) e β , o coeficiente angular da distribuição dos dados com o eixo da temperatura operativa – TOP (eixo X). Aplicando uma determinada amostra na equação da análise Probit nesta pesquisa, têm-se:

- Para Probabilidade de insatisfeitos por calor → curva de probabilidade acumulada: sucesso.

Para cada temperatura observada (variável explicativa ou independente), a análise Probit determina a probabilidade acumulada de insatisfeitos por calor, ajustando-as a uma curva Normal acumulada (0,1) crescente. A análise Probit no software SAS determina a probabilidade de insatisfeitos por calor (variável resposta ou dependente) da seguinte forma:

p → (MCI = 1, associado à probabilidade de insatisfeitos por calor): $\pi (X_i) = \phi_i (\alpha + \beta X_i)$ → Curva de probabilidade acumulada: Sucesso.

- Para Probabilidade de insatisfeitos por frio → curva de probabilidade acumulada inversa: falha.

Para cada temperatura observada (variável explicativa ou independente), a análise Probit determina a probabilidade acumulada de insatisfeitos por frio, ajustando-as a uma curva Normal acumulada (0,1) decrescente. Como esta situação é contrária à primeira, a análise Probit no software

SAS determina a probabilidade de insatisfeitos por frio como sendo o inverso da probabilidade de insatisfeitos por calor. Portanto, tem-se:

$p \rightarrow (\text{MCI} = 3, \text{ associado à probabilidade de insatisfeitos por frio}): q = 1 - p \rightarrow 1 - \pi (X_i) = \phi_i (\alpha + \beta X_i) \rightarrow$ Curva de probabilidade acumulada inversa: Falha.

Para compreender este modelo, assume-se que existe uma probabilidade P_i (índice estimado) da variável resposta (dependente) que é determinada por uma variável explicativa X_i . A variável P_i está no intervalo (0,1) da curva Normal acumulada. Podemos interpretar a probabilidade P_i resultante do modelo Probit como uma estimativa da probabilidade de um dado específico da amostra. Quando a relação entre a probabilidade de determinada análise e a equação da análise probit tem sinal positivo, ou seja, $\pi (X) = \phi (\alpha + \beta X)$, a relação entre a variável explicativa e a variável resposta é direta, isto é, maior variável explicativa implica em maior variável resposta e vice-versa. Neste trabalho isto significa que temperaturas mais altas implicam em maior probabilidade de insatisfeitos por calor e temperaturas mais baixas implicam na redução desta probabilidade. Assim, > temperatura > probabilidade de insatisfeitos; < temperatura < probabilidade de insatisfeitos.

Analogamente, quando esta relação tem sinal negativo, ou seja, $1 - \pi (X) = \phi (\alpha + \beta X)$, a relação entre a variável explicativa e a variável resposta é inversa, maior variável explicativa implica em menor variável resposta e vice-versa. Neste trabalho isto significa que temperaturas mais altas implicam em menor probabilidade de insatisfeitos por frio e temperaturas mais baixas implicam no aumento desta probabilidade. Assim, > temperatura < probabilidade; < temperatura > probabilidade. Na análise feita nesta pesquisa, a aplicação do método estatístico probit permitiu obter a temperatura preferida pelos ocupantes dos edifícios analisados, através da interseção resultante do cruzamento das curvas de probabilidade de pessoas insatisfeitas por calor (curva acumulada) e de pessoas insatisfeitas por frio (curva acumulada inversa).

- **Teste Qui-Quadrado**

O teste Qui-Quadrado (do inglês Chi-Square) é aplicado para verificar a significância de uma determinada amostra. O χ^2 utiliza a seguinte equação:

$$\chi^2 = \frac{(O - E)^2}{E} \quad [\text{Eq. 3.4}]$$

Sendo:

χ^2 = limite da significância da distribuição Qui-Quadrada

O = valor observado da amostra

E = valor esperado (média da variável na amostra. Neste caso, média da temperatura da amostra)

A equação acima descreve a relação entre o observado e o esperado de uma amostra. Este teste é feito para verificar se a amostra observada difere significativamente do esperado. Quanto maior a expressão χ^2 maior será o valor da distribuição do Qui-Quadrado e maior a área de aceitação do modelo estatístico da amostra. Quando isto acontece, a amostra tem 95 % de significância (limite da significância qui-quadrada), ou seja, os dados se apresentam distribuídos dentro da área de aceitação máxima. Quanto menor for esta expressão, menos significância tem a amostra analisada. O χ^2 pode ser definido como o valor que delimita a área de significância de uma determinada amostra ou distribuição de dados (Figura 3.6).

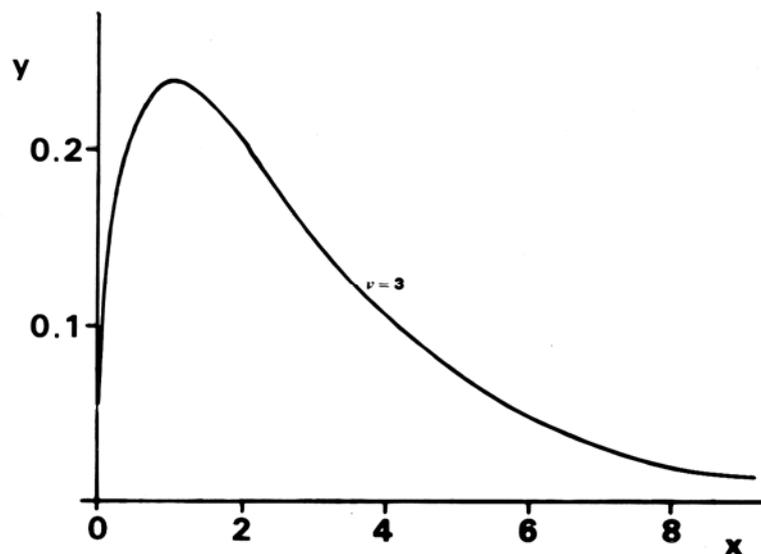


Figura 3.6: Curva de distribuição do Qui-Quadrado.
Fonte: GREEN e MARGERISON, 1978.

Com a utilização do teste χ^2 no presente trabalho, pôde-se verificar se o modelo ajustado explica a influência da temperatura na preferência térmica. Para cada valor de temperatura observado na amostra, o teste obtém um valor χ^2 . O somatório dos valores χ^2 é o parâmetro para a avaliação da significância da amostra. De posse deste somatório, é encontrado o valor p, descrito adiante.

- **Valor p**

Feito o ajuste do modelo e o teste Qui-Quadrado, determina-se o valor p. O valor p é obtido através da conversão matemática do valor encontrado no teste Qui-Quadrado. Esta conversão é específica e padronizada para cada teste estatístico: Teste F de Snédecor, Teste de Bartlett, Teste de Kolmogorov-Smirnov, entre outros. O valor p varia de 0 a 1; este intervalo significa que quanto mais próximo de 1 o valor p se aproxima, menos significativo é a amostra analisada pelo probit. O nível de significância é atingido quando $p \leq 0.05$, correspondente a 5%, o que representa uma distribuição dos dados em 95%, e significa que os dados da amostra se ajustam ao modelo estatístico. Desta forma, o

valor p representa a condição de confiabilidade da significância de uma amostra, ou seja, a menor área possível, após o limite qui-quadrado. aplicação da análise probit, para que seja estatisticamente significativa – nível de significância 95%. Quando o valor p é superior a 0.05, refuta-se a possibilidade de ajuste ao modelo e de normalidade na distribuição dos dados.

3.5 Amostragem e Tratamento estatístico dos dados

A amostra referente à Base de Dados ASHRAE é representada por um total de 21000 dados, divididos em 22 grupos de pesquisa, ou seja, 22 planilhas. Estes dados são representados por edifícios Naturalmente Ventilados (NV) e edifícios refrigerados artificialmente (HVAC). Não são utilizadas todas as planilhas presentes na Base de Dados, mas apenas aquelas nas quais o pesquisador Richard De Dear apresentou análise de seus edifícios. A amostra avaliada nesta pesquisa é representada por um total de 7933 dados, distribuídos em 30 edifícios naturalmente ventilados (NV). As variáveis utilizadas foram a Preferência Térmica (denominada MCI no projeto ASHRAE RP-884) e a Temperatura Operativa (TOP). A variável Sensação Térmica (denominada ASH no projeto ASHRAE RP-884) também foi observada, para o entendimento da preferência térmica, porém não entrou na análise probit.

Para a análise estatística de uma amostra, são necessários um número significativo de dados e um tratamento estatístico adequado que possibilitem que a amostra seja válida. O tratamento estatístico dos dados visou identificar nas planilhas da base de dados adotada, as variáveis respondidas de forma inadequada (com vazios), e definir qual o procedimento adequado. Estes dados inexistentes são chamados dados ausentes ou faltantes (*missing data*). A literatura estatística sugere dois procedimentos: 1º. Desconsiderar todos os dados ausentes (não respondidos). 2º. Substituir os dados ausentes pela média da variável nas outras planilhas (STATSOFT, 2002). O 1º pode implicar em uma redução considerável do tamanho da amostra, em função de algumas planilhas serem desconsideradas. O 2º pode implicar em uma redução da variância da amostra, que sendo a porcentagem de dados ausentes muito alta, pode ser significativa. O pesquisador Richard De Dear adotou o procedimento de desconsiderar os dados ausentes, bem como os dados extremos (muito distantes da média dos dados), chamados *outliers*.

Para a obtenção da temperatura de conforto, De Dear correlacionou a porcentagem de insatisfeitos com a temperatura operativa interna. Para as análises realizadas nesta pesquisa foi feita a separação dos dados por planilha e edifício. São 22 planilhas relativas a edifícios naturalmente ventilados, as quais contêm o local, pesquisador, estação e tipo de edifício. Os dados das variáveis necessárias foram devidamente separados para análise de acordo com o procedimento adotado. Assim, as variáveis analisadas foram: BICode (identificação numérica do edifício), TOP – Temperatura Operativa ($t_a + t_r$), ASH (Sensação Térmica), MCI (Preferência Térmica) e $dayav_et$ (Temperatura efetiva média diária externa).

Por meio das respostas da variável ASH (Sensação Térmica) e MCI (Preferência Térmica), foi possível determinar a satisfação ou insatisfação térmica das pessoas com o ambiente térmico analisado. O voto de preferência 1, correlacionado aos votos de sensação +3 e +2, representou

os votos de preferência -3 e -2, remetendo ao significado de que as pessoas preferiam um ambiente mais frio. Assim, as respostas de sensação térmica cujos votos foram +3 e +2 responderam no item preferência térmica, o voto 1. O voto de preferência 2, correlacionado aos votos de sensação +1, 0 e -1, representou os votos de preferência -1, 0 e +1, remetendo ao significado de que as pessoas não desejariam nenhuma alteração térmica no ambiente. Ou seja, as respostas de sensação térmica cujos votos foram +1, 0 e -1 responderam no item preferência térmica, o voto 2. O voto de preferência 3, correlacionado aos votos de sensação -2 e -3, representou os votos de preferência +3 e +2, remetendo ao significado de que as pessoas preferiam um ambiente mais quente. Desta forma, as respostas de sensação térmica cujos votos foram -2 e -3 deveriam responder no item preferência térmica, o voto 3 (Tabela 3.2). Através da contagem das expectativas das pessoas por alterações térmicas, obteve-se a porcentagem de insatisfeitos, tanto por calor, quanto por frio.

De posse do entendimento da escala de preferência utilizada pelo Projeto ASHRAE RP-884, buscou-se extrair os dados necessários à análise. Foi feita a extração, portanto, para cada planilha e edifício, das variáveis: BICode, MCI (preferência térmica), Temperatura Operativa interna (TOP) e Temperatura Efetiva média diária externa (dayav_et). Para a análise probit, se utilizou a variável MCI e a TOP, para obter as temperaturas de conforto dos usuários. Assim, adotou-se o procedimento de tabulação das variáveis analisadas, de acordo com a metodologia adotada por De Dear, na qual os votos 2 da variável MCI, deveriam se dividir entre os votos 1 e 3, igualmente. Para a regressão linear, se utilizou as temperaturas de conforto encontradas na análise probit e as médias das temperaturas diárias externas (dayav_et).

Tabela 3.2: Escala de Sensação correlacionada com a de preferência utilizada por De Dear (1997) na análise da temperatura de conforto.

Sensação Térmica	Preferência Térmica
+3	1
+2	
+1	2
0	
-1	
-2	3
-3	

3.6 Plano de Trabalho

A pesquisa foi realizada em 6 etapas metodológicas:

- **Etapa 01:** Revisão Bibliográfica sobre:
 - ✓ Fundamentos teóricos dos fatores climáticos que influem no conforto térmico humano;
 - ✓ Aspectos fisiológicos e psicológicos das sensações térmicas humanas;
 - ✓ Índices e Escalas Sensoriais de Conforto Térmico;

- **Etapa 02:** Estudo sobre a base de dados ASHRAE RP-884;
- **Etapa 03:** Análise das variáveis ambientais (temperatura e umidade do ar) e das variáveis pessoais (sexo, idade, taxa metabólica, resistência térmica da vestimenta, sensações e preferências térmicas);
- **Etapa 04:** Redação do texto de qualificação: resultados parciais do trabalho, contendo as considerações da pesquisa até o momento.
- **Etapa 05:** Estudo sobre a metodologia de De Dear e avaliação dos dados necessários à conclusão final;
- **Etapa 06:** Estudo sobre a Análise Probit;
- **Etapa 07:** Aplicação do modelo probit nos dados coletados; elaboração dos gráficos de probabilidade e interseção dos dados para obtenção das temperaturas preferidas;
- **Etapa 08:** Redação da Dissertação: resultado final do trabalho, que consta da interpretação, aplicação e conclusões sobre a metodologia de Richard De Dear; dos modelos e gráficos probit das temperaturas de conforto obtidas nos edifícios e da regressão linear das temperaturas obtidas na presente pesquisa, em comparação às temperaturas obtidas na pesquisa de Richard De Dear.

CAPÍTULO 4

Aplicação do método e Discussão dos resultados

4. Aplicação do método e Discussão dos resultados

Através da interpretação da metodologia utilizada por Richard De Dear, esta pesquisa aplicou tais procedimentos metodológicos para a análise das condições térmicas e a determinação das temperaturas preferidas internas, através de modelos probit, com a correlação entre a porcentagem de insatisfeitos (obtida por meio dos votos de preferência térmica, obtidos no questionário específico aplicado pelos pesquisadores) e a temperatura operativa interna, obtida nas medições. De posse dos conceitos das variáveis ambientais e pessoais, dos dados necessários à pesquisa e do conhecimento do método Probit, suas equações e coeficientes, teve início a análise estatística com o objetivo de verificar:

- As temperaturas de conforto (temperaturas preferidas), através da correlação da porcentagem de pessoas insatisfeitas com a temperatura operativa (TOP) média externa;
- A caracterização da faixa de conforto ideal, com os valores máximo e mínimo de temperatura, e a porcentagem de aceitabilidade térmica dentro destes limites.

4.1 O Método de Análise Probit – Software SAS: Modelos Probit para cada edifício naturalmente ventilado (NV) da Base de Dados do Projeto RP-884

A análise probit dos edifícios da Base de Dados da ASHRAE (2004) está representada nos gráficos a seguir. A preferência térmica das pessoas foi denominada Porcentagem de insatisfeitos e foi dividida em duas curvas: porcentagem de insatisfeitos por calor e porcentagem de insatisfeitos por frio. Esta análise foi realizada em cada edifício, de acordo com a classificação do tipo de sistema de condicionamento de ar estudado nesta pesquisa (Naturalmente Ventilados – NV). No eixo Y está representada a porcentagem de pessoas que desejam alteração térmica, no caso da análise probit, está representada em probabilidade, que varia de 0 a 1. No eixo X está representada a temperatura operativa interna.

Através da análise probit foi possível obter as temperaturas de conforto em cada edifício naturalmente ventilado das planilhas disponíveis na Base de Dados da ASHRAE. Nos gráficos apresentados observa-se que à medida que a temperatura aumenta, a porcentagem de insatisfeitos por calor aumenta, enquanto que a porcentagem por frio diminui. Inversamente, à medida que a temperatura diminui, a porcentagem de insatisfeitos por frio aumenta. Da mesma maneira, à medida que a temperatura diminui, a porcentagem de insatisfeitos por calor diminui e a porcentagem de insatisfeitos por frio aumenta. O ponto onde as curvas de insatisfação se encontram, a interseção, representa a temperatura de conforto, a temperatura preferida pelos entrevistados, encontrada na probabilidade de 0,5, ou seja, 50% das respostas.

4.2 Curva de Gauss e Curvas de insatisfeitos por frio e insatisfeitos por calor no procedimento Probit

1. Com os dados obtidos estima-se uma reta: $\pi (X) = \phi (\alpha + \beta X)$

2. Transforma-se a reta em curva Normal padronizada através da função:

$$\phi (X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\delta}} \cdot e \left\{ \frac{-(X-\mu)^2}{2\delta^2} \right\}$$
, que quando tem $\mu = 0$ e $\delta = 1$, é igual a $f = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}x^2}$ que é uma função gaussiana (Curva de Gauss). Logo, a função ϕ é sempre uma gaussiana.

3. Calcula-se uma média (μ) e um desvio-padrão (δ) e constrói-se a curva de Gauss. Através de uma integração numérica, é calculada a integral da curva (que é a área entre o ponto mais alto da curva e o eixo das abscissas. A partir da construção da curva de Gauss, constrói-se as curvas de probabilidades acumuladas (insatisfeitos por calor e insatisfeitos por frio, necessárias à pesquisa). A Curva de Gauss representa uma função par: $f(X) = f(-X)$, ou seja, é simétrica ao eixo Y.

A função $f = \frac{1}{\sqrt{2\pi\delta}} \cdot e^{-\frac{1}{2}x^2}$ tem a forma de um sino e é muito utilizada em procedimentos estatísticos. A área entre esta curva e o eixo das abscissas vale 1, ou 100%, e por isto, é chamada de Integral e é utilizada para cálculo de probabilidades em variáveis normalmente distribuídas. A curva de Gauss é muito utilizada em controle de estatísticas e controle de qualidade (uso da média e do desvio-padrão). É uma curva assintótica, ou seja, aquela que se aproxima cada vez mais do eixo X (reta $x = 0$) (Figura 4.1).

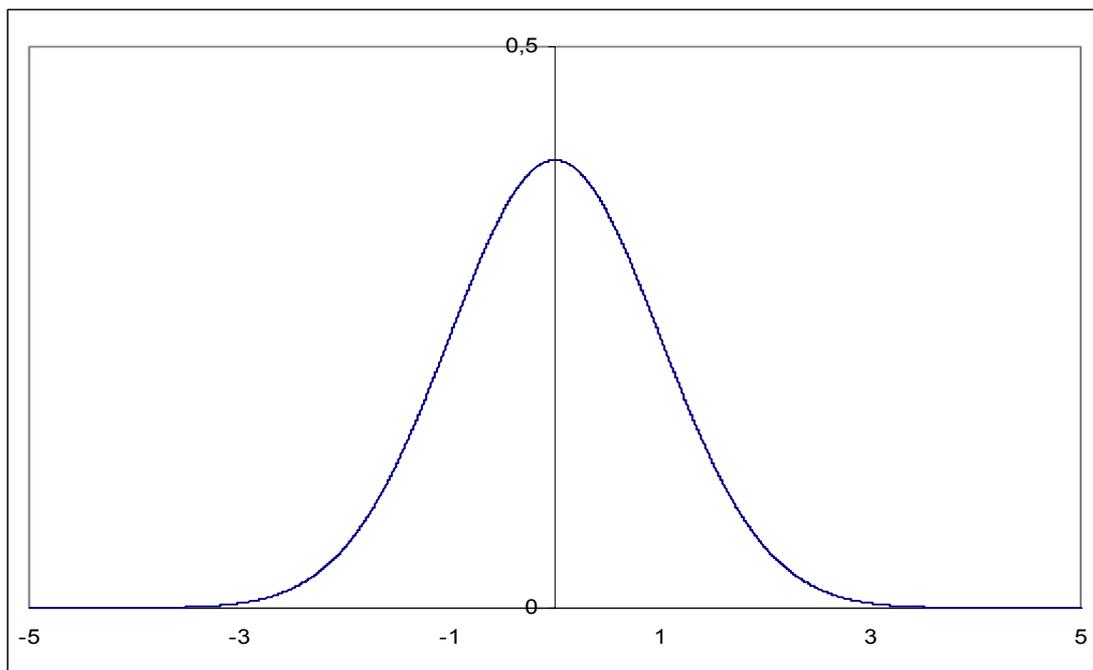


Figura 4.1: Curva de Gauss.

4. Na obtenção da Curva de Gauss, a área situada entre o ponto da curva e o eixo das abscissas se divide em pequenos trapézios. A área de cada trapézio que se perde fora da curva é compensada pela que se ganha dentro da curva (Figura 4.2).

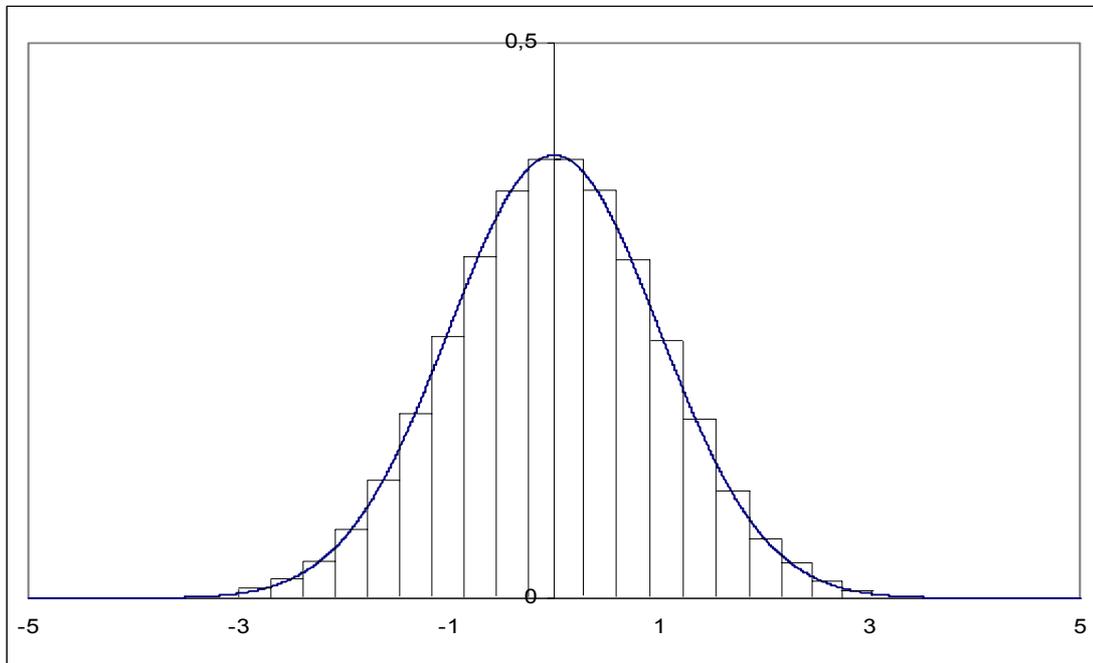


Figura 4.2: Área da Curva de Gauss dividida em trapézios.

5. Encontradas estas áreas, constrói-se as curvas de probabilidade acumulada e probabilidade acumulada inversa. O trecho que na curva de Gauss representa uma área, nas curvas de insatisfeitos por calor e por frio representa uma altura, onde são marcadas as temperaturas, que são marcadas da seguinte maneira: o 1º ponto de temperatura é marcado na curva tomando-se a área do 1º trapézio da curva de Gauss (à esquerda). A curva de insatisfeitos por frio é o complemento da curva de insatisfeitos por calor, então, se a de insatisfeitos por calor começa em 0.1, e a área total da curva de Gauss é 1, têm-se: $1 - 0.1 = 0.9$, portanto a curva de insatisfeitos por frio começará em 0.9, que é marcado na curva acumulada inversa e assim sucessivamente. O ponto de interseção das curvas representa a temperatura operativa interna de conforto (Figura 4.3).

Na figura abaixo, se encontram sobrepostas as curvas de insatisfeitos por calor e por frio e a curva de Gauss. Percebe-se que à medida que se altera a média (μ), os intervalos de temperatura e o ponto de interseção também mudam e as curvas de insatisfeitos por calor e por frio, bem como a curva de Gauss, conseqüentemente se deslocam. Quando se altera o valor do desvio-padrão (δ), as curvas de insatisfeitos por calor e por frio vão mudando sua configuração. Na medida em que se aumenta o desvio-padrão, as curvas de insatisfeitos por calor e por frio e a curva de Gauss se espalham. O resultado é que a curva de Gauss tende a ficar paralela ao eixo X, aumentando por conseqüência, os limites de temperatura obtidos. Diminuindo-se o desvio-padrão, as curvas de insatisfeitos por calor e por frio e a curva de Gauss se estreitam, fazendo com que a curva de Gauss se

afaste do eixo X, diminuindo os limites de temperatura obtidos (Ver comportamento do gráfico no cd do Anexo H).

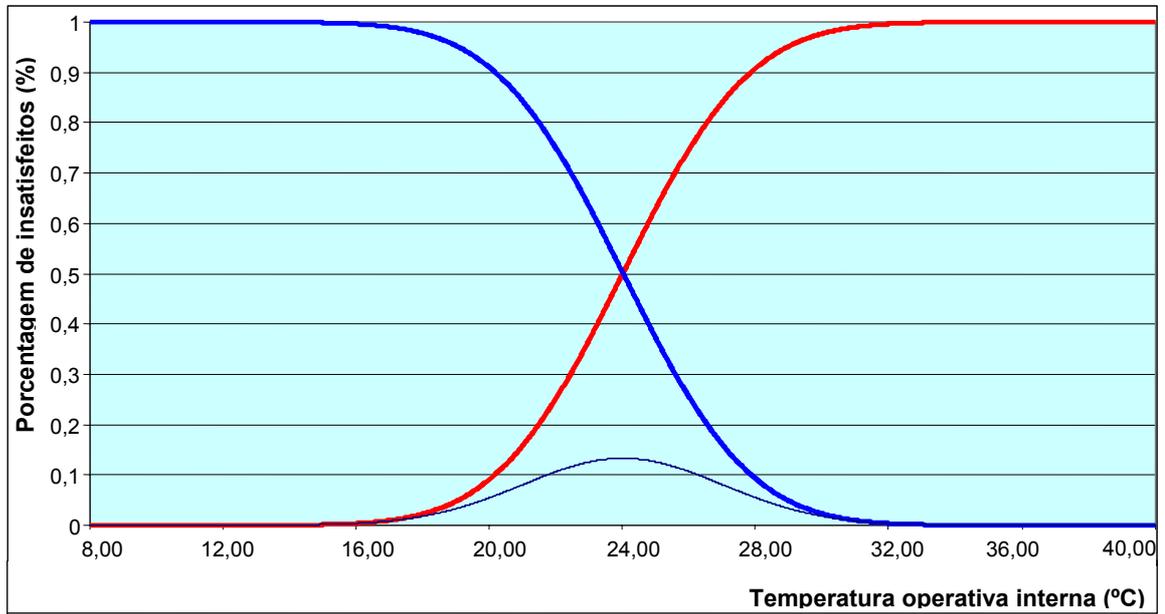


Figura 4.3: Curvas de insatisfeitos por calor e por frio.

4.3 Temperaturas preferidas obtidas na Base de Dados ASHRAE – Edifícios Naturalmente Ventilados (NV)

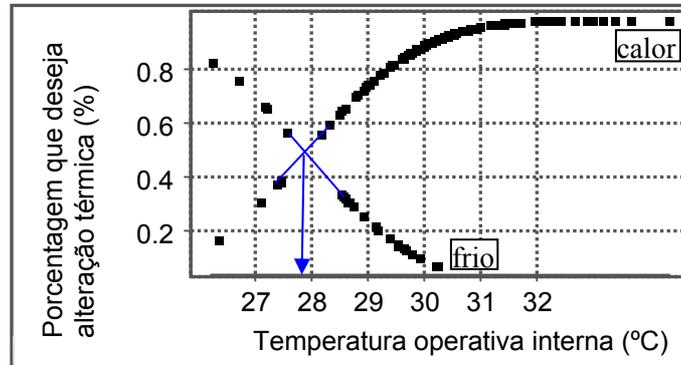


Figura 4.4: Planilha 4, edifício 3. Bangkok, Tailândia (Verão).

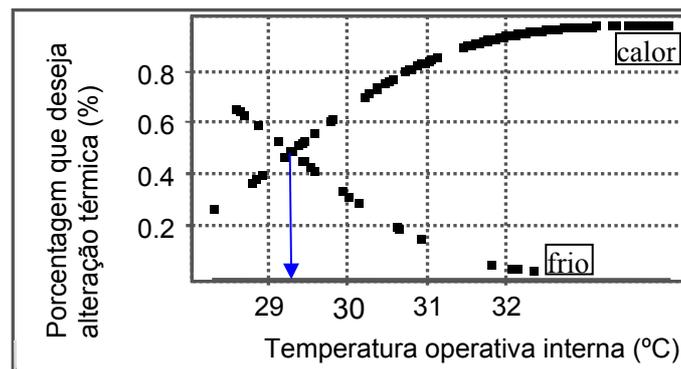


Figura 4.5: Planilha 4, edifício 4. Bangkok, Tailândia (Verão).

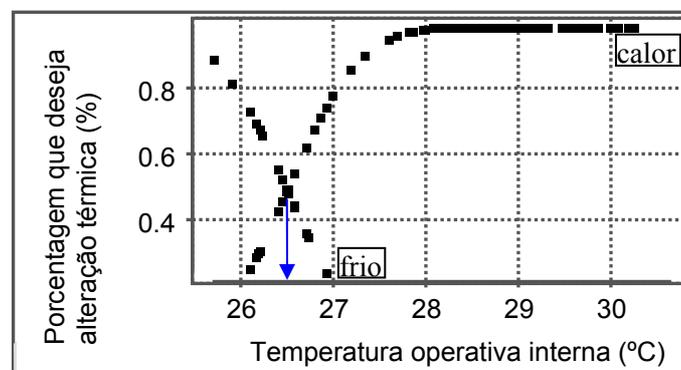


Figura 4.6: Planilha 12, edifício 1. Brisbane, Austrália (Verão).

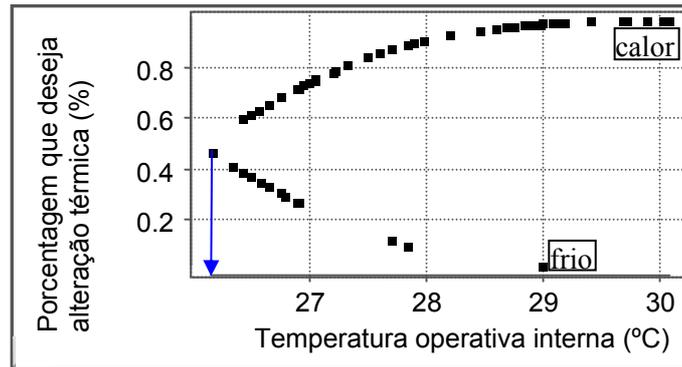


Figura 4.7: Planilha 12, edifício 2. Brisbane, Austrália (Verão).

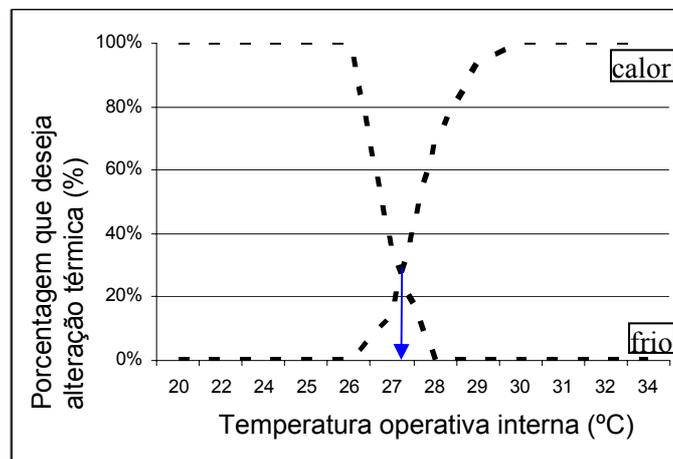


Figura 4.8: Planilha 12, edifício 3. Brisbane, Austrália (Verão).

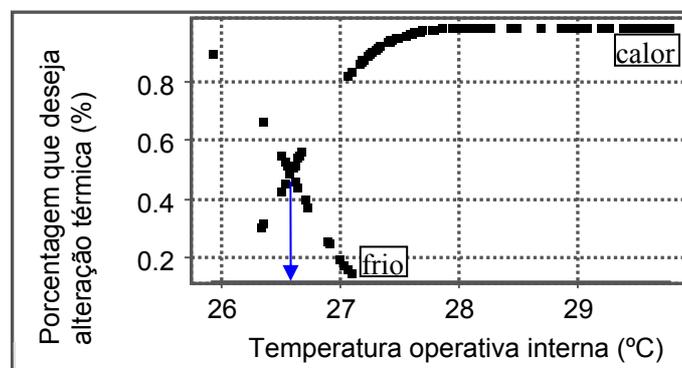


Figura 4.9: Planilha 12, edifício 4. Brisbane, Austrália (Verão).

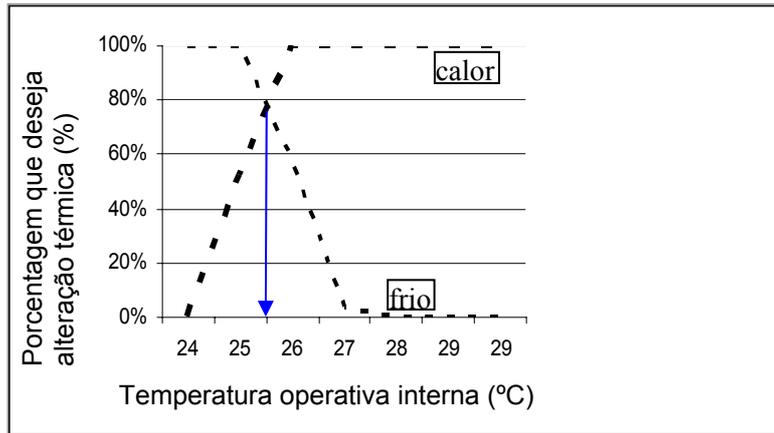


Figura 4.10: Planilha 12, edifício 5. Brisbane, Austrália (Verão).

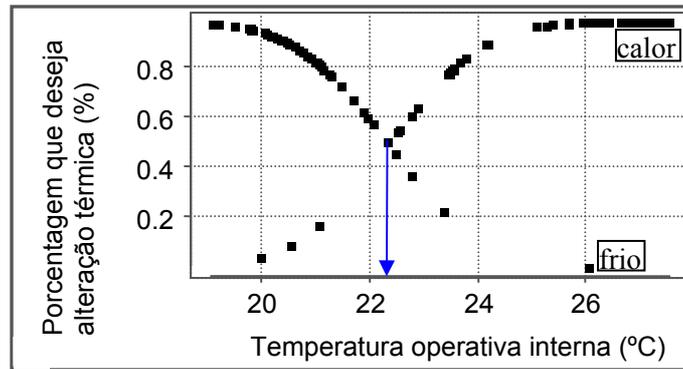


Figura 4.11: Planilha 16, edifício 1. Melbourne, Austrália (Verão).

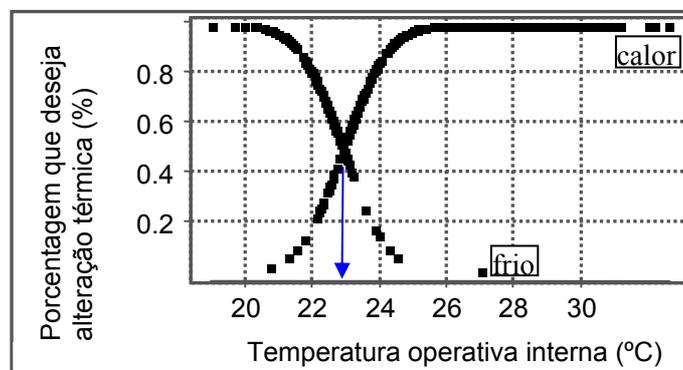


Figura 4.12: Planilha 16, edifício 2. Melbourne, Austrália (Verão).

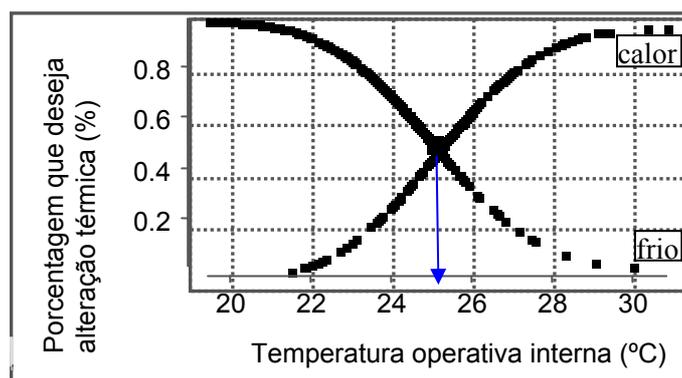


Figura 4.13: Planilha 19, edifício 1. Karachi, Paquistão (Inverno).

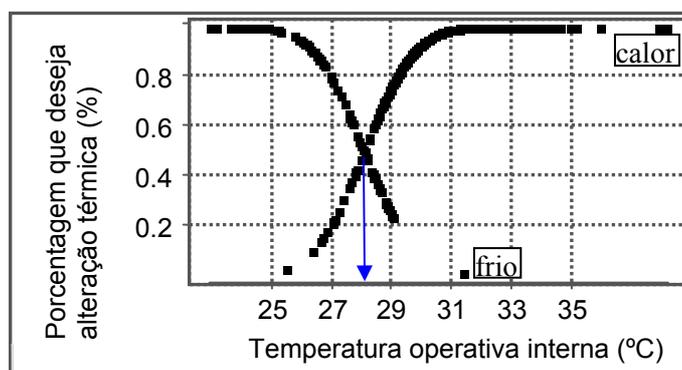


Figura 4.14: Planilha 20, edifício 2. Multan, Paquistão (Verão).

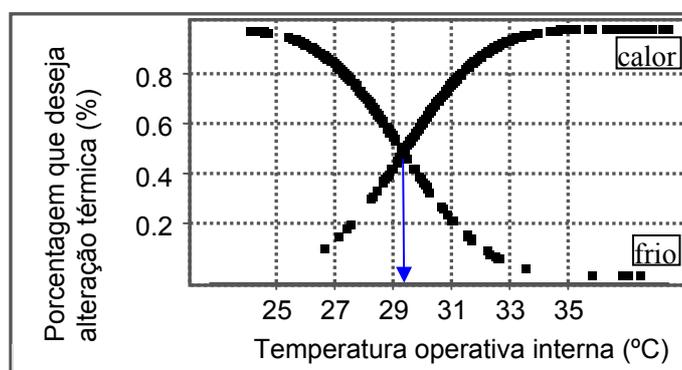


Figura 4.15: Planilha 21, edifício 3. Peshawar, Paquistão (Verão).

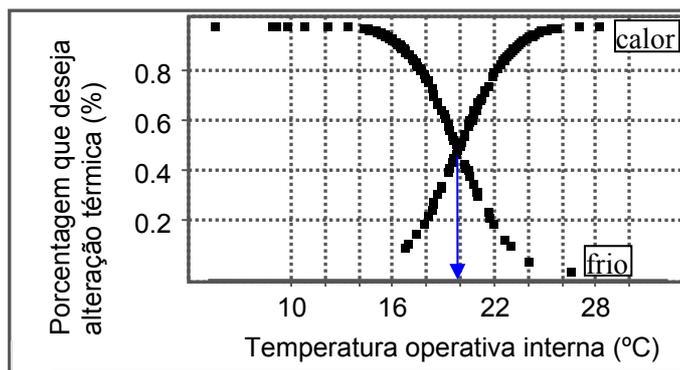


Figura 4.16: Planilha 22, edifício 3. Peshawar, Paquistão (Inverno).

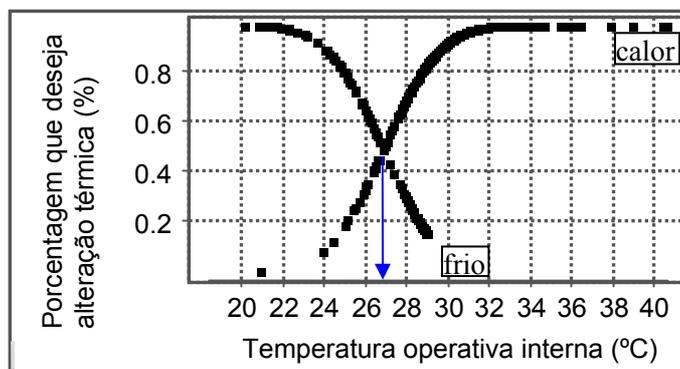


Figura 4.17: Planilha 23, edifício 4. Quetta, Paquistão (Verão).

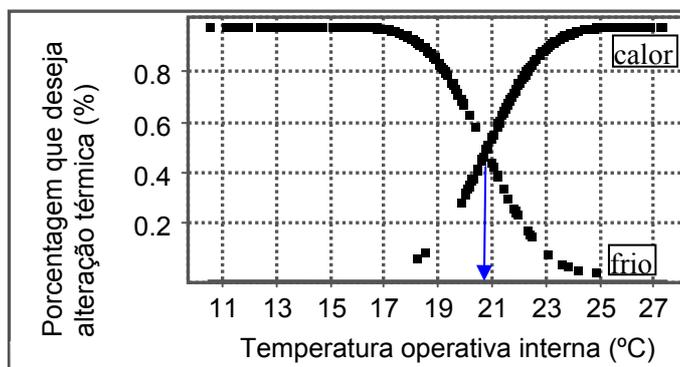


Figura 4.18: Planilha 24, edifício 4. Quetta, Paquistão (Inverno).

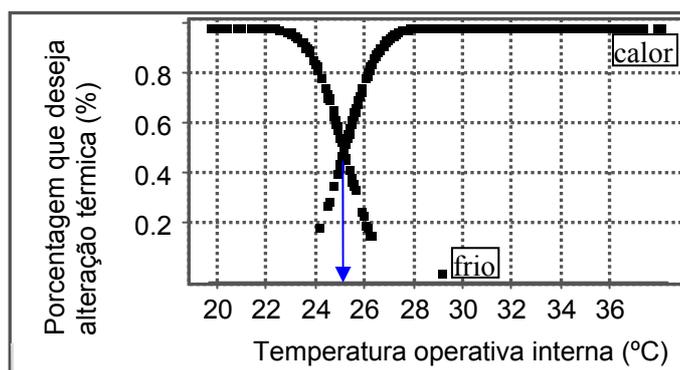


Figura 4.19: Planilha 25, edifício 5. Saidu Sharif, Paquistão (Verão).

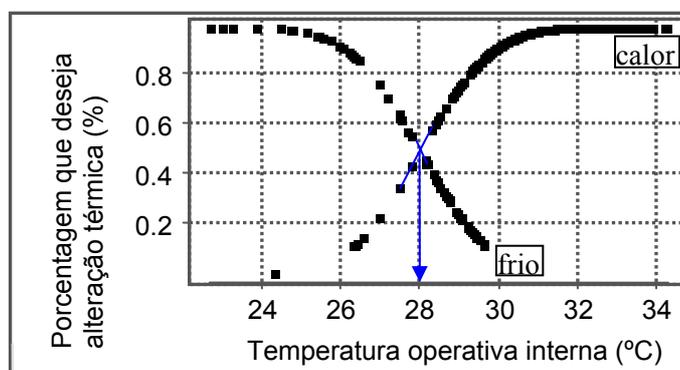


Figura 4.20: Planilha 27, edifício 1. Atenas, Grécia (Verão).

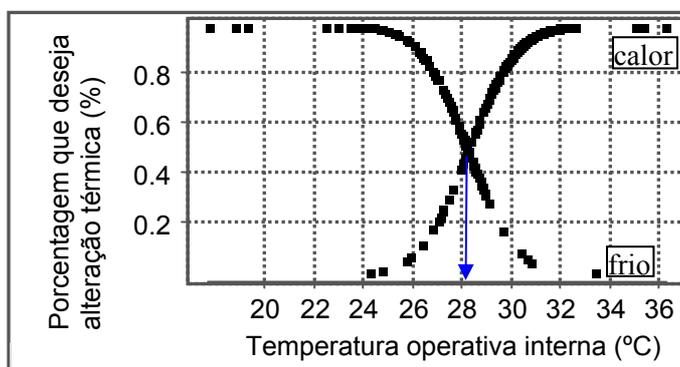


Figura 4.21: Planilha 27, edifício 3. Atenas, Grécia (Verão).

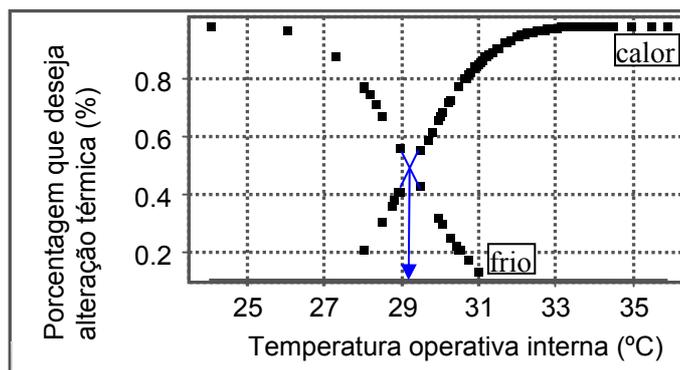


Figura 4.22: Planilha 27, edifício 4. Atenas, Grécia (Verão).

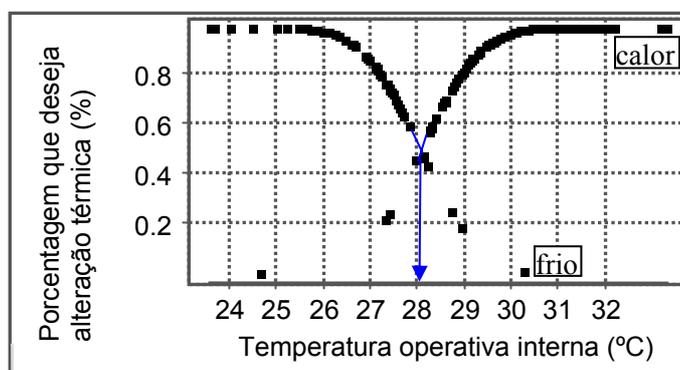


Figura 4.23: Planilha 27, edifício 5. Atenas, Grécia (Verão).

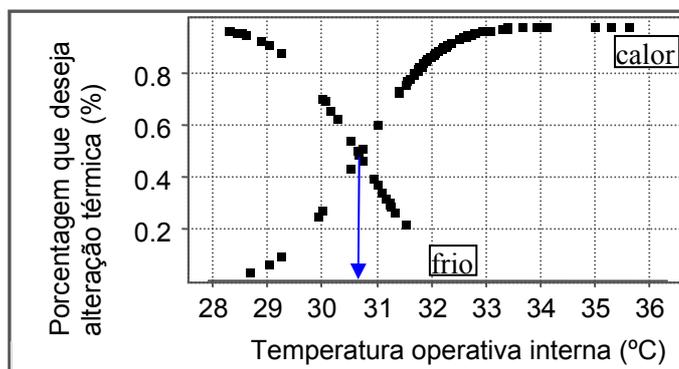


Figura 4.24: Planilha 27, edifício 6. Atenas, Grécia (Verão).

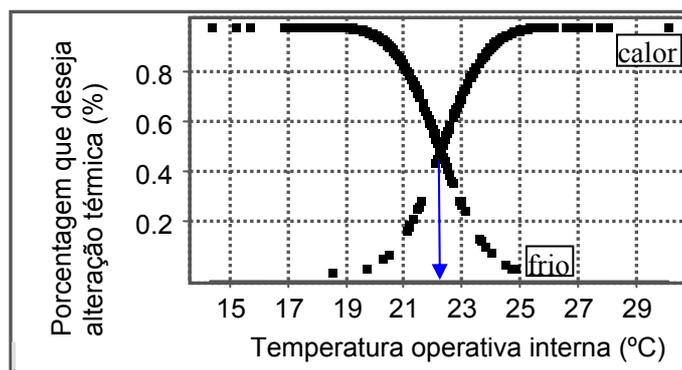


Figura 4.25: Planilha 28, edifício 1. Oxford, Reino Unido (Verão).

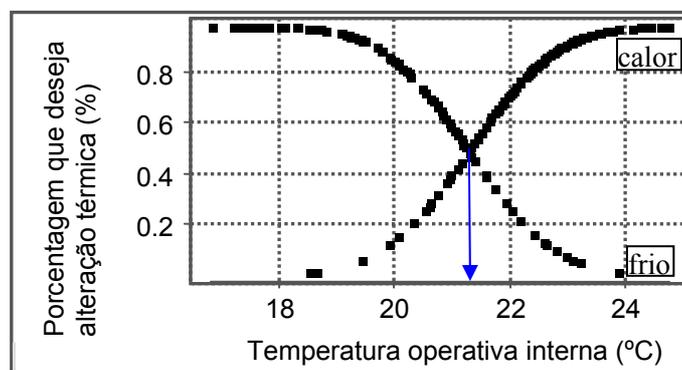


Figura 4.26: Planilha 28, edifício 2. Oxford, Reino Unido (Verão).

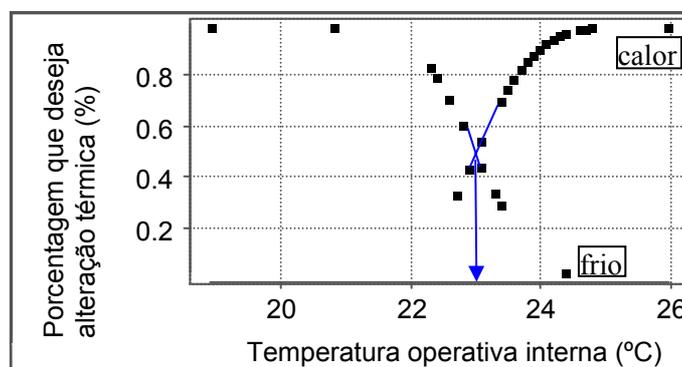


Figura 4.27: Planilha 28 edifício 3. Oxford, Reino Unido (Verão).

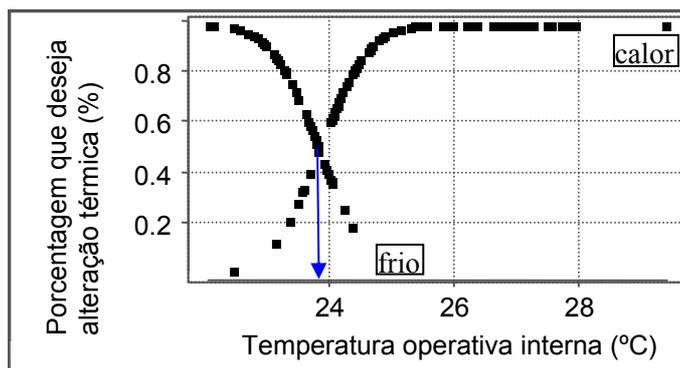


Figura 4.28: Planilha 33, edifício 1. San Francisco, Califórnia (Verão).

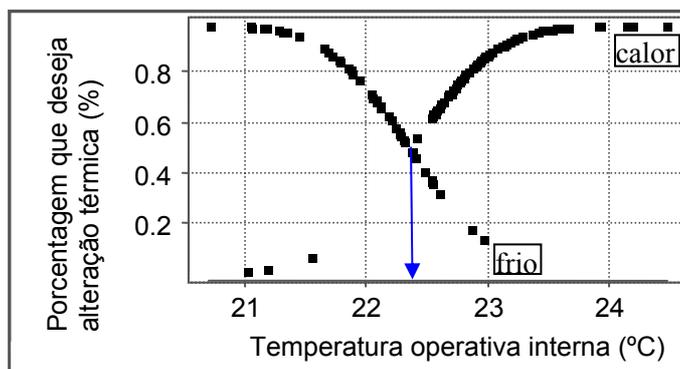


Figura 4.29: Planilha 33, edifício 5. San Francisco, Califórnia (Verão).

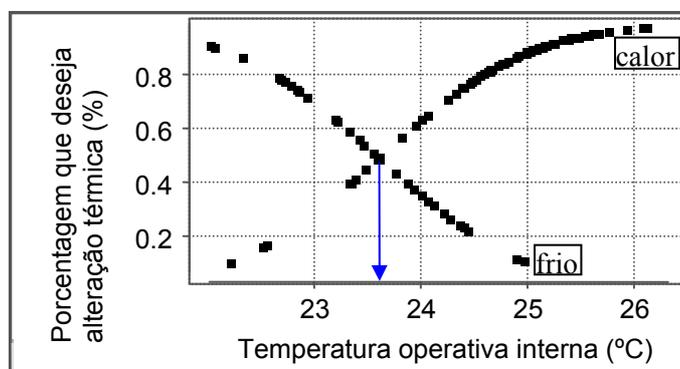


Figura 4.30: Planilha 33, edifício 6. San Francisco, Califórnia (Verão).

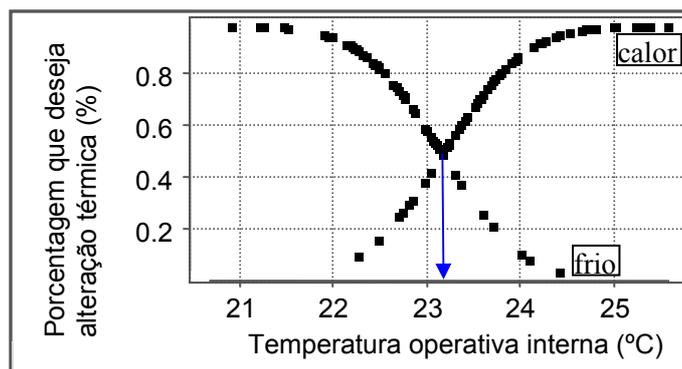


Figura 4.31: Planilha 35, edifício 1. San Francisco, Califórnia (Inverno).

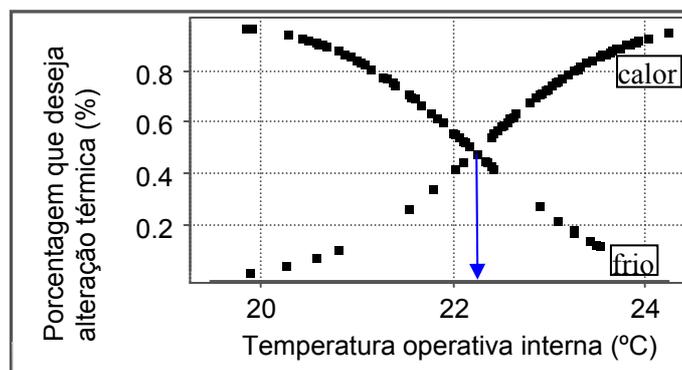


Figura 4.32: Planilha 35, edifício 5. San Francisco, Califórnia (Inverno).

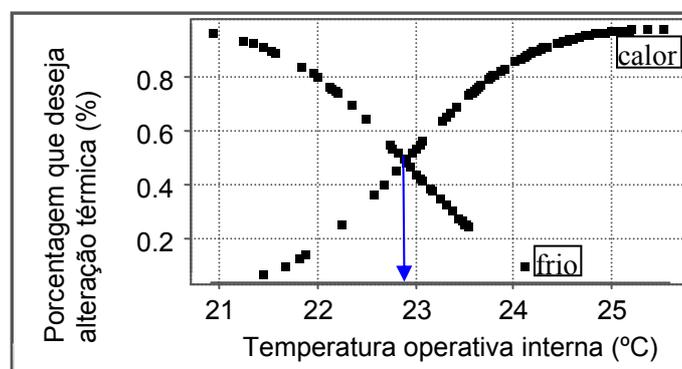


Figura 4.33: Planilha 35, edifício 6. San Francisco, Califórnia (Inverno).

A figura 4.7 mostra a temperatura de conforto obtida em um edifício em Brisbane, Austrália. As curvas de insatisfeitos por calor e por frio têm interseção na temperatura 26°C (temperatura de conforto). As projeções das curvas que não aparecem no gráfico são devidas às respostas encontradas nos dados extraídos da Base original, onde a menor temperatura é 26,1°C, não havendo respostas abaixo deste valor. As figuras 4.8 e 4.10 representam os edifícios 3 e 5 da planilha 12 (Melbourne, Austrália), que não alcançaram significância na análise probit (Ver cd do Anexo H). Não houve convergência dos pontos para a interseção das curvas devido ao valor p não significativo: ≥ 0.005 . Assim sendo, foi feita a obtenção das temperaturas de conforto destes edifícios, por frequência acumulada no software Excel. Este procedimento difere do modelo de análise probit, no qual se analisa as probabilidades de uma situação ocorrer, no caso desta pesquisa, da insatisfação por calor ou por frio. Para a análise por frequência acumulada destes edifícios, foi feita a contagem dos votos de preferência (1 e 3) sob a forma de porcentagem, e para obter a representação gráfica, calculou-se as porcentagens de forma cumulativa.

A curva de insatisfeitos por calor foi obtida por meio da acumulação crescente das porcentagens obtidas, enquanto a curva de insatisfeitos por frio, foi feita a acumulação decrescente destas porcentagens. Observa-se o cruzamento e a interseção das duas curvas, possibilitando obter uma temperatura de conforto para os edifícios 3 e 5 da planilha 12. As temperaturas encontradas neste procedimento foram 27,2°C e 25,5°C, respectivamente. As temperaturas correspondentes a estes edifícios na análise de De Dear foram 26,5°C e 26°C, o que significa diferenças em torno de 0,7°C e 0,5°C. As diferenças encontradas entre as temperaturas preferidas obtidas nesta pesquisa e as temperaturas obtidas por Richard De Dear, tanto na análise de probabilidade acumulada (probit), quanto na análise de frequência acumulada, podem ser função de alguns fatores, tais como:

- *Outliers* (dados extremos, afastados da média da distribuição da amostra): A metodologia utilizada por Richard De Dear adotou o procedimento de desconsiderar os *outliers* nas análises realizadas. Para um dado ser considerado extremo é necessário que ele se apresente distante da média dos demais dados, sendo coerente a sua retirada da amostra, para não resultar em influências significativas. Porém, não se sabe qual o critério utilizado nas análises de De Dear para a determinação de um dado extremo, ou seja, qual a diferença em que os dados desprezados por De Dear apresentaram, para serem considerados dados extremos. Dentro do conceito de dado extremo, esta pesquisa desconsiderou apenas aqueles dados que apresentaram diferenças relativamente grandes da média da amostra. Apenas nos casos em que estes dados se encontravam muito distantes da maioria, é que se considerou como *outlier*, desconsiderando-o da análise. A exemplo, em torno de 9°C. Na maioria dos edifícios analisados, enfim, esta pesquisa considerou grande parte dos dados amostrais, o que resulta em diferenças nas curvas determinadas, bem como nas temperaturas obtidas da interseção. Estas diferenças são dadas pela influência que os dados extremos exercem na determinação das curvas acumuladas, e conseqüentemente, na interseção resultante;

- Forma de separação dos dados correspondentes ao voto 2 (nenhuma alteração térmica): Como já citado anteriormente, as respostas de preferência térmica da base de dados da ASHRAE foram coletadas baseadas em uma escala de três pontos (1,2 e 3), adotada por De Dear. Como a análise probit requer respostas binárias para avaliação, a solução encontrada pelo pesquisador foi dividir os votos 2 (nenhuma alteração térmica) 50:50 dentro das duas categorias restantes (votos 1 e 3), aleatoriamente. Porém, dependendo do grupo que seja transformado em voto 1, as respostas serão diferentes. A forma aleatória de escolha pode resultar em possíveis divergências entre as temperaturas de conforto obtidas, uma vez que o conjunto de dados de votos de preferência 2 geralmente tem temperaturas operativas diferentes, fato que altera os cálculos de probabilidade acumulada, a configuração das curvas obtidas e conseqüentemente, a interseção resultante do cruzamento das curvas de insatisfeitos por calor e de insatisfeitos por frio;
- Ausência de respostas coerentes com a temperatura encontrada por De Dear: Nos edifícios 3 e 4 da planilha 12, analisados nesta pesquisa, foram encontradas as temperaturas de conforto 27,8°C e 29,2°C, respectivamente. Observou-se uma diferença entre estas temperaturas e as correspondentes de Richard De Dear, de 4,3°C e 2,2°C, logo, a temperatura encontrada nas análises do pesquisador foram 23,5°C e 27°C, respectivamente. Porém, se observou nas temperaturas operativas destes edifícios que não existem dados de temperatura abaixo da temperatura de conforto encontrada por De Dear, não havendo, portanto, possibilidade de se obter uma interseção das curvas de insatisfeitos por calor e por frio, que resultasse na mesma temperatura de conforto (Ver arquivo do cd - Anexo H). Neste caso, este fator foi relevante para a divergência obtida nos valores de temperatura de conforto.

4.4 Regressão Linear das temperaturas de conforto e temperaturas efetivas médias externas diárias

A partir da obtenção das temperaturas preferidas, pôde-se efetuar uma regressão linear com as temperaturas preferidas obtidas nesta pesquisa e as médias diárias da temperatura efetiva externa (dayav_et), obtidas nas medições do projeto ASHRAE RP-884 para cada zona climática avaliada e respectivo edifício (Figura 4.34). As temperaturas externas diárias foram coletadas a cada hora no período das 06 às 15 horas (day06_et e day15_et, respectivamente) de um dia típico, com o objetivo de obter maior acurácia possível na coleta das variáveis analisadas. É neste intervalo do dia que há maior incidência da radiação solar, e conseqüentemente, maior exposição do homem ao sol. Um dia típico é definido como um dia real, caracterizado pelos valores médios horários das condições climáticas, ou seja, das variáveis analisadas na pesquisa. Para a determinação dos dias típicos de projeto, recomenda-se um período de 10 a 15 anos de dados registrados, cujos registros são feitos por meio de um tratamento estatístico dos valores das médias, máximas e mínimas diárias dos parâmetros climáticos locais (Akutsu e Vittorino, 1998).

De posse das temperaturas externas diárias, obteve-se Temperatura Efetiva Média Externa, através de uma média aritmética. Para efetuar a regressão linear, foi necessário calcular a média destas temperaturas, com a finalidade de obter os 30 pontos correspondentes (Temperatura de conforto X Temperatura efetiva média diária externa). A Figura 4.34 mostra a regressão linear resultante dos dados obtidos nesta pesquisa, com coeficiente de correlação 0,984, o que representa uma correlação significativa da amostra. Quanto mais o coeficiente de correlação se aproxima de 1, mais baixo é o desvio-padrão, o que aumenta a possibilidade de maior ajuste dos dados à reta de regressão. O coeficiente angular da regressão linear desta pesquisa foi 0,433, o que mostra uma relativa dependência da temperatura de conforto em relação à temperatura externa. O coeficiente linear foi 15,977, ponto em que a reta corta o eixo Y. Nota-se que os pontos extremos (mínimo e máximo) da regressão linear apresentam temperaturas externas aproximadamente em torno de 8°C e 32°C, medidas no inverno de Quetta (Paquistão) e no verão de Peshawar (Paquistão), respectivamente. Isto significa que abaixo do valor mínimo e acima do valor máximo, se torna impossível se ter condições de conforto térmico.

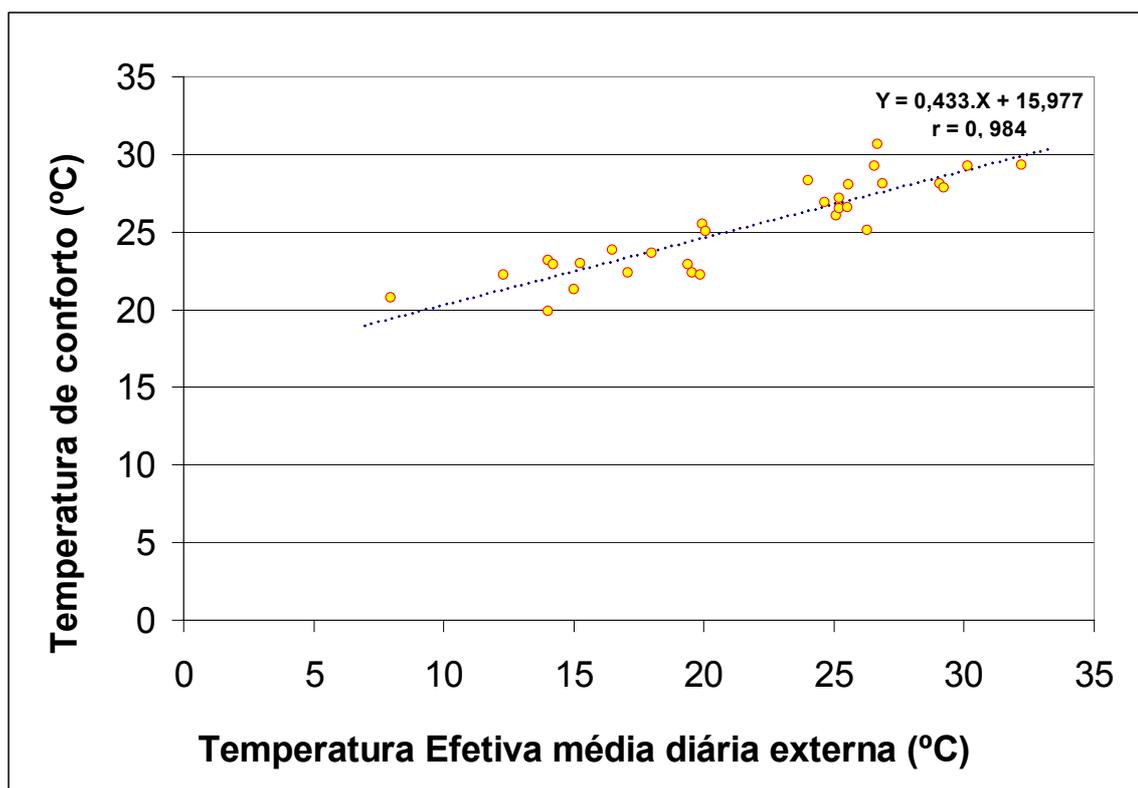


Figura 4.34: Regressão Linear entre as Temperaturas preferidas obtidas na pesquisa e a Temperatura Efetiva média diária externa.

Por meio da coleta dos dados necessários às análises desta pesquisa, foi efetuada uma regressão linear das temperaturas de conforto encontradas por De Dear e as temperaturas efetivas médias diárias externas (Figura 4.35). Para efetuar esta regressão linear, correlacionou-se as temperaturas efetivas médias diárias externas encontradas nesta pesquisa com as temperaturas de

conforto (aproximadas) obtidas da análise probit feita pelo pesquisador. O coeficiente angular da regressão linear foi 0,233, representando uma dependência mais baixa da temperatura de conforto em relação à temperatura externa. A regressão linear resultante teve coeficiente de correlação 0,975, representando uma correlação significativa da amostra. O coeficiente angular desta regressão linear foi 0,233, o que representa uma média dependência em relação à Temperatura externa. O coeficiente linear foi 18,999, ponto em que a reta corta o eixo Y.

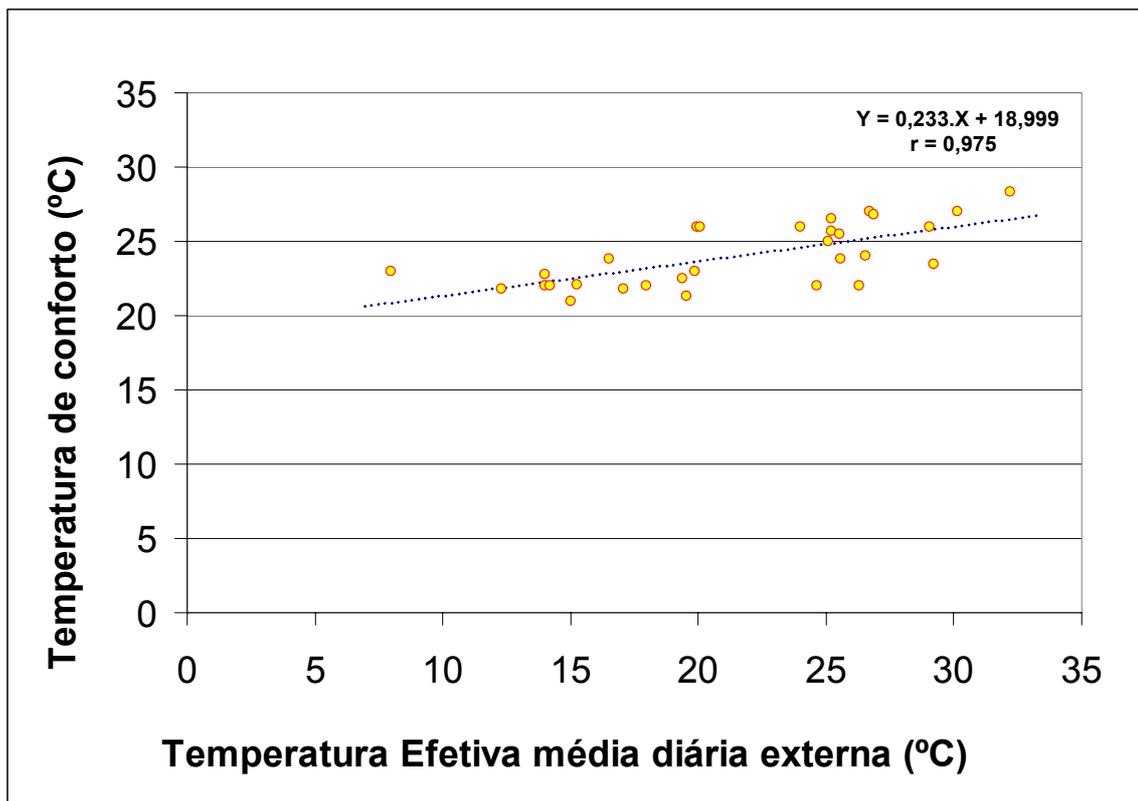


Figura 4.35: Regressão Linear entre as Temperaturas preferidas obtidas por Richard De Dear (1997) e a Temperatura Efetiva média diária externa.

A Figura 4.36 representa a comparação entre a regressão linear encontrada nesta pesquisa e a regressão linear encontrada por Richard De Dear, através da sobreposição das duas retas para melhor observação das diferenças encontradas. As duas retas de regressão linear se cruzam, aproximadamente, à temperatura 15°C. A diferença na dispersão dos dados se dá em função dos fatores relacionados acima. Pela inclinação das retas, nota-se que a temperatura de conforto da regressão linear dos dados encontrados pela pesquisa é mais dependente da temperatura externa do que a temperatura de conforto encontrada nas análises de De Dear (menor coeficiente angular).

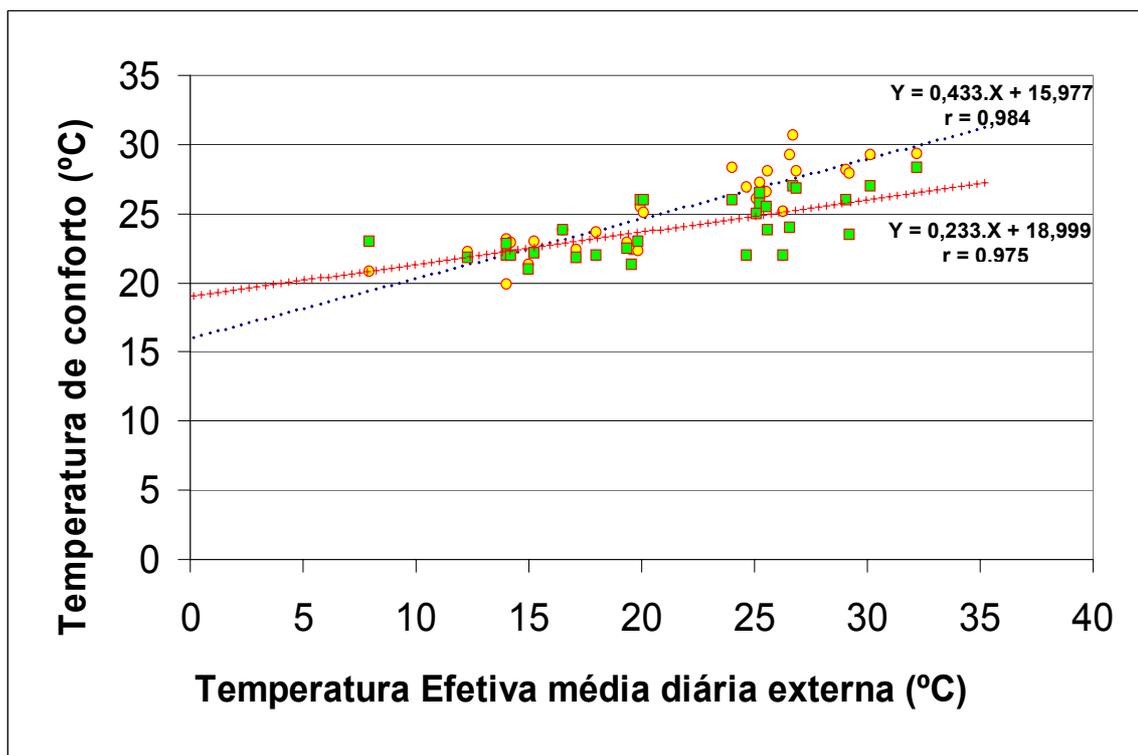


Figura 4.36: Comparação entre a regressão linear obtida na pesquisa e a regressão linear obtida pelo pesquisador Richard De Dear (1997).

4.5 Considerações Finais

Conclui-se com esta pesquisa, que a interpretação da obtenção das temperaturas de conforto da pesquisa realizada por De Dear (1997) pelo procedimento Probit no software SAS possibilitou, através dos conceitos utilizados pela análise probit, a obtenção de temperaturas de conforto por frequência acumulada no software Excel, representando o entendimento do processo e a aplicação do conceito em outros procedimentos estatísticos. Além disso, constatou-se a aplicabilidade do método de análise probit em grandes amostras de variáveis binárias, permitindo a análise de probabilidades em diferentes situações.

Diante das análises feitas por Richard De Dear (1997), é razoável supor que seja difícil obter em um ambiente uma combinação das variáveis de conforto que satisfaça plenamente a todos os integrantes de um grupo de pessoas. À medida que as condições das variáveis envolvidas aumentam, reduz significativamente a faixa de aceitabilidade térmica das pessoas. Isto porque quanto maior a variabilidade térmica de um meio, a probabilidade de haver pessoas plenamente satisfeitas diminui. Quando esta variação é menor, favorece maior aceitabilidade térmica a um determinado grupo de pessoas. Percebe-se com a pesquisa realizada por De Dear (1997) no Projeto RP-884, que um novo paradigma para estabelecimento das condições de conforto térmico adequadas ao desempenho do homem não se produz da noite para o dia. Da realização do projeto até a edição da Norma ANSI/ASHRAE 55-2004 alguns anos se passaram, de modo que o resultado de pesquisas de grande importância dentro dos estudos em questão pode levar décadas, desde a sua realização até a

disseminação e utilização das diretrizes obtidas, em concepções de projetos ou adequações de edifícios já construídos.

A interpretação das análises feitas por De Dear (1997) foi feita no intuito de observar a configuração das sensações e preferências quando correlacionadas aos valores de temperatura operativa medidos. A análise feita nesta pesquisa permite observar que a temperatura preferida se encontra aproximadamente em torno de 25°C. Considerando a variedade de zonas climáticas em que o estudo foi feito, observa-se que a variação entre os valores obtidos se deve ao clima em que as respostas foram obtidas. Em relação aos dados ausentes encontrados, adotou-se o procedimento de desconsiderá-los. Os dados ausentes podem ser explicados em função da interpretação dos questionários e escalas utilizados por parte do entrevistado, que requer maior tempo para familiarizar-se com as variáveis e entendê-las melhor. As pessoas entrevistadas geralmente recebem a orientação sobre o questionário apenas no momento do seu preenchimento, o que pode ser um fator limitador para a interpretação e compreensão das questões levantadas, bem como para a coerência das respostas. De acordo com Humphreys (1995), a subjetividade da sensação térmica, tanto em pesquisas de campo envolvendo as condições reais do clima, quanto em experimentos de laboratório, implica em resultados diversos, muitas vezes até equivocados.

Por algumas constatações resultantes, pode-se afirmar que as aplicações deste estudo poderão ganhar vertentes:

- Na determinação de diretrizes de conforto para concepção de projeto, a partir do entendimento da influência das condições climáticas específicas de cada região nas sensações humanas de calor e de frio, bem como dos valores numéricos determinados;
- Na aplicação da análise Probit em pesquisas com o objetivo de obter probabilidades de variáveis que apresentam dois tipos de situação;
- Na melhoria de edificações, cujo condicionamento térmico natural se apresente insuficiente e a refrigeração artificial consista no recurso necessário ao conforto térmico do homem. Neste sentido, através da compreensão dos fenômenos envolvidos (ambientais e pessoais), se torna tarefa mais fácil intervir na edificação, em prol da sua melhoria térmica.

Convertendo-as à realidade brasileira, utilizando os métodos e valores correspondentes ao clima de cada região do Brasil, estas diretrizes podem servir como parâmetros eficientes para o projeto de construções condizentes ao conforto térmico do homem. Tais diretrizes podem ser encaradas como um investimento, uma vez que delas podem derivar resultados positivos, graças à melhoria da produtividade e qualidade de vida do usuário. Os parâmetros de conforto térmico no setor da Construção Civil ainda requerem maior planejamento e incentivo às suas ações, bem como, maior disseminação de seus conceitos relevantes. Portanto, muito embora as condições climáticas utilizadas para esta avaliação não sejam as condições climáticas brasileiras, acredita-se que o resultado deste trabalho poderá ser de expressiva utilidade para os profissionais da construção civil e da pesquisa científica.

4.6 Sugestões para futuros trabalhos

- Verificar a hipótese de alteração das preferências térmicas humanas com o passar das horas do dia;
- Avaliar a influência das variáveis ambientais como a umidade e a velocidade do ar e das variáveis pessoais como a vestimenta e a taxa de metabolismo nas sensações e preferências térmicas dos usuários dos edifícios analisados;
- Avaliar a influência de variáveis coletadas na ampla base de dados da ASHRAE, que consideram o ajuste comportamental do indivíduo ao seu ambiente térmico, no comportamento térmico humano;
- Elaboração de questionários para avaliação do conforto térmico que tenham uma abrangência maior de variáveis e que tenham mecanismos para rejeição de respostas incoerentes em relação às sensações e preferências térmicas;
- Avaliar o conforto térmico dos usuários de edifícios refrigerados artificialmente (HVAC).

BIBLIOGRAFIA

***Referências Bibliográficas e
Bibliografia Adicional Consultada***

Bibliografia

Referências Bibliográficas

ACIESP. **Glossário de Ecologia**. Publicação ACIESP 103. São Paulo, 1997.

AGÊNCIA FAPESP, Novembro de 2004.

AGÊNCIA FAPESP, Outubro de 2004.

AGÊNCIA FAPESP, Fevereiro de 2005.

AGÊNCIA FAPESP, Março de 2005.

ÁGUAS M. P. N. **Conforto Térmico. Módulo da Disciplina de Mestrado**. Métodos Instrumentais em Energia e Ambiente. Instituto Técnico Superior – IST, 2000; 01.

ANSI/ASHRAE Standard 55-1992. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 1992.

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

ARAÚJO, V. M. D. **Tratamento de dados climáticos**. São Paulo. FAUUSP. 1996.

ARAÚJO, V. M. D. **Parâmetros de Conforto Térmico para Usuários de Edificações Escolares no Litoral Nordeste Brasileiro (o caso de Natal / RN)**. São Paulo, SP. USP, 2001.

ASHRAE **Fundamentals Handbook**. Cap. XII – Physiological Principles and Thermal Comfort – American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc: EUA, 1993.

ASHRAE **Fundamentals Handbook**. Cap. 8 – Thermal Comfort. Atlanta, 1997.

ASHRAE **Fundamentals Handbook**. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, USA, 2001.

ASHVE. **Heating Ventilation Air Conditioning Guide**. New York, 1919.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de Norma 02:135.07-001: desempenho térmico de edificações – Parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2003a.

BALLANTYNE, E. R.; HILL, R. K.; SPENCER, J. W. **Probit Analysis of Thermal Sensation Assessments**. Int. J. Biometeor. 1977. Vol. 21.

BEDALE, E. M. **The effects of posture and rest in muscular work**. UK: Industrial Fatigue Research, 1924.

BERNAN, W. **History and Art of Warming and Ventilation Rooms and Buildings**. London. George Bell, 1845. Vol. 2.

BOLETIM CIÊNCIA, Outubro de 2004.

BOUDEN, C.; GHRAB, N. **An adaptive thermal comfort model for the Tunisian context: a field study results.** Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, B.P. 37-1002, Tunis Belvédère, Tunísia, 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Programa Nacional de Humanização da Assistência Hospitalar.** Brasília: Ministério da Saúde, 2001.

BRAGER, G. S.; FOUNTAIN, M.; BENTON, C. C. ARENS, E. A.; BAUMAN, F. S. **A Comparison of Methods for Assessing Thermal Sensation and Acceptability in the field.** In **Thermal Comfort: Past, Present and Future.** Eds: Oseland, N. A.; Humphreys, M. A. 1994.

CARMONA, C. M. **Rotatividade dos executivos e governança corporativa no Brasil.** Departamento de Ciências Administrativas/PROPAD/UFPE. 2000. São Paulo. Revista Eletrônica de Ciência Administrativa (RECADM). Faculdade Cenecista Presidente Kennedy - Coordenação do Curso de Administração, 2004. Vol. 03.

COLES, G.; DI CORLETO, R.; FIRTH, I. **Documentation of the Heat Stress Standard Developed for Use in the Australian Environment.** Australian Institute of Occupational Hygienists by the Heat Stress Working Group, August 2002.

COSTA, E. C. **Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural.** São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1982.

DE DEAR, R.J.; AULICIEMS, A. **Validation of the Predicted Mean Vote model of thermal comfort in six Australian field studies.** In: ASHRAE Transactions, 1985. Vol. 91 (2B).

DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S. **Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and preference.** ASHRAE Transactions. Atlanta, 1998. Vol. 104.

DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S.; COOPER, D. J. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference – Final Report on ASHRAE RP 884.** American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, USA, 1997.

D'HAINAUT, L. **Concepts et Methodes de La Statistique.** 1997. Vol. 1.

DORNELLES, K. A. **Estudos de casos sobre a inércia térmica de edificações na cidade de São Carlos, SP.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. São Carlos, 2004.

EDHOLM, O. G. **Man – Hot and Cold.** Edward Arnold, London, 1978.

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

FANGER, O.; TOFTUM, J. **Thermal comfort in future – Excellence and expectation.** In: Moving Thermal Comfort Standards into 21st Century, 2001, Windsor, UK. Proceedings. Oxford: Oxford Brookes University, April, 2001.

FERREIRA, A. B. DE H. **Dicionário Aurélio Buarque de Holanda. O Dicionário da Língua Portuguesa.** 6ª edição revista e atualizada. Curitiba, 2004.

FINNEY, D. J. **Probit Analysis.** 3rd Ed. Cambridge UK: Cambridge Uni Press. 1971.

GAGGE, A. P.; STOLWIJK J. A. J.; NISHI, Y. **An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response.** ASHRAE, 1971; 77 (1): 247–62.

GALLOIS, N. S. P. **Análise das condições de Stress e Conforto Térmico sob baixas temperaturas em indústrias frigoríficas de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Campinas – UNICAMP. Campinas, 2002.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. London: Applied Science, 1981.

GIVONI, B. **Effectiveness of mass and Night Ventilation in Lowering the Indoor Daytime Temperatures**. Part I: 1993 experimental periods. *Energy and Buildings*. Elsevier Science. 1998. Vol. 28.

GIVONI, B.; GOLDMAN, R. F. **Predicting rectal temperature response to work, environment and clothing**. *Journal of Applied Physiology*. 1972. Vol. 32.

GIVONI, B.; GOLDMAN, R. F. **Predicting Effects of Heat Acclimatization on Heart Rate and Rectal Temperature**. *Journal of Applied Physiology*. 1973. Vol. 35.

GOLDMAN, R. F. **Productivity in the United States: A question of capacity or motivation**. In: ASHRAE Transactions, 1994. Vol. 100, part 2.

GOMES, C. H. G. **Análise em curto período de tempo das condições de Conforto Térmico em um Edifício de escritórios na cidade de Maringá**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

GONÇALVES, W.B. **Estudo de índices de conforto térmico avaliados com base em população universitária na região metropolitana de Belo Horizonte**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2000.

GONZALEZ et al. **Proyecto clima e arquitectura**. Universidad Del Zulia, Facultad de Arquitectura, Instituto de Investigaciones de Arquitectura y Sistemas Ambientales. Ediciones Gustavo Gili. México, 1986. Vol. 1.

GOUVÊA, T. **Conforto Térmico e Produtividade – uma experiência na indústria da confecção**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Campinas – UNICAMP. Campinas, 2004.

HACKENBERG, A. M. **Conforto e “Stress” Térmico em Indústrias: Pesquisas Efetuadas nas Regiões de Joinville, SC e Campinas, SP**. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2000.

HEIDARE, S.; SHARPLES, S. A. **A comparative analysis of short-term and long-term thermal comfort surveys in Iran. Proceedings of moving thermal comfort standards into the 21st century**. Windsor – UK, April 2001.

HUMPHREYS, M. A. **Field Studies of Thermal Comfort compared and applied. Building Services Engineer**. 1976. Vol. 44.

HUMPHREYS, M. A. **Thermal Comfort temperatures and the habits of Hobbits. Standards of thermal comfort**. Eds: Nicol, Humphreys, Sykes, and Roaf). London: E and FN Spon. 1995.

HUMPHREYS, M. A.; NICOL, J. F. **Understanding the adaptive approach to thermal comfort**. ASHRAE Technical data bulletin, 1998. Vol. 14.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO – IPT. **Desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares – Manual de procedimentos para avaliação**. São Paulo: IPT, 1987.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 8996. **Ergonomics determination of metabolic heat production**. Genebra, 1990.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 7730. **Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and especification of the conditions for thermal comfort**. Genebra, 1994.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 10551. **Ergonomics of the thermal environment – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales**. Genebra, 1995.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 9920. **Ergonomics estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble**. Genebra, 1995.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO/DIS 7726. **Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities**. Genebra, 1996.

KOENIGSBERGER et al. **Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales**. Madrid: Paraninfo, 1977.

LABAKI, L. C.; OLIVEIRA, M. C. A. **Avaliação de conforto térmico no Brasil: a pesquisa de Paulo Sá no Rio de Janeiro, nas décadas de 1930 a 1950. Uma aproximação com o método adaptativo**. In: ENCAC, 2003.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2ª Edição, revisada. São Paulo: ProLivros, 2004.

LAROUSSE. **Grande Enciclopédia**. Nova Cultural, 1999. Vol. 10 e 23.

LÉON, A.; CAMPOS, A.; GUEVARA, A. V.; VEGA, R.; MARTINEZ, C. L. **Estacionalidad y tendencias actuales de las sensaciones térmicas de los individuos en las provincias habaneras, Cuba**. Artigo. 2000.

LUIZ, A. M. **Como Aproveitar a Energia Solar**. Editora Edgard Blücher Ltda.. São Paulo, 1985.

MARTINS, L. **“Acertar o Relógio Interno”**. Universidade de Aveiro. Portugal, 2003. <http://saude.sapo.pt>.

MCCULLOUGH, E.A. **The use of clothing in thermal comfort standards. Proceedings of moving thermal comfort standarts into the 21st century**. Windsor – UK, April 2001.

MCINTYRE, D.A. **Indoor Climate**. London: Applied Science Publishers, 1980.

MISSENARD, A. **La chaleur animale**. Presses Universitaires de France, 1955.

NBR 6401. **Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto. Parâmetros Básicos de Projeto**. 1980.

NICOL, J.F.; HUMPHREYS, M.A. **Adaptative thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings**. In: *Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century*, 2001, Windsor, UK. Proceedings...Oxford: Oxford Brookes University, April, 2001.

OLGYAY, V. **Arquitetura e Clima (Arquitectura Y Clima)**. Gustavo Gilli, Espanha, 1998.

ONG, B. L. **Standards for thermal comfort**. Editado por Nicol F., Humphreys, M., Sykes, O. e Roaf, S. Chapman e Hall, cap. 07: Designing for the individual: A radical reading of ISO 7730. Londres, 1995.

PAPST, A.L. **Uso de inércia térmica no clima subtropical: estudo de caso em Florianópolis, SC**. 1999. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 1999.

PARSONS, K. **The estimation of metabolic heat for use in the assessment of thermal comfort. Proceedings of moving thermal comfort standarts into the 21st century**. Windsor. UK, April 2001.

PIETROBON, C. E.; LAMBERTS, R.; PEREIRA, F. O. R. **Normalização para adequação bioclimática de edifícios: Conceituação e exame de caso para Maringá. PR**. In: III CONBRABIOMET, 2001, Maringá. Anais, Maringá, EDUEM, 2001.

PREK, M. **Thermodynamical analysis of human thermal comfort**. Faculty of Mechanical Engineering, University of Ljubljana, Askerceva 6, SI-1000 Ljubljana, Slovenia, 2005.

RAJA, I. A.; NICOL, F. **A technique for recording and analysis of postural changes associated with thermal comfort**. Elsevier Science Ltd.: Applied Ergonomics. 1997. Vol. 28, n.3.

REVISTA DA FAE, v. 5, nº 1, p. 16 e 17, Curitiba, 2002.

RIBEIRO, B. A. **Contribuição ao estudo do conforto ambiental**. Instituto de Higiene, Boletim nº. 85. São Paulo, 1945.

RIVERO, R. **Arquitetura e Clima – Acondicionamento Térmico Natural**. 2^a. Ed. revisada e ampliada. Porto Alegre: D.C. Luzzatto Editores: Ed. Da Universidade, UFRGS, 1986.

RIZZO, G. **O MECANISMO NO CÉREBRO – Como funciona o cérebro na hora de dormir**. Revista Época. Nº 334, p. 78. Outubro, 2004.

RORIZ, M. **Zona de Conforto Térmico – Um estudo comparativo de diferentes abordagens**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC. Universidade de São Paulo – USP. São Carlos, 1987.

RORIZ, M. **Conforto Térmico em Edificações: um modelo matemático e uma aplicação**. Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 1996.

RORIZ, M. **Curso de atualização profissional – Racionalização de processos e produtos na construção de edifícios. Conforto Térmico no ambiente construído**. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de São Carlos. UFSCar. São Carlos, 2001.

RORIZ, M. **Flutuações Horárias dos Limites de Conforto Térmico: uma hipótese de modelo adaptativo**. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO; CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 2003. Anais. Curitiba, 2003.

ROSA, L. P.; MOREIRA, J. G. S. **Energia Solar: Por que?** Revista Tecnológica Brasileira. 1986. Vol. III. 1986.

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

RUAS, A. C. **Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software**. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas, 2002.

SÁ, P. **Conforto Térmico**. Rio de Janeiro: Ministério do Trabalho. Instituto Nacional de Tecnologia. Rio de Janeiro, 1938.

SCARAZZATO, P. S. **Investigação sobre critérios para determinação e medição dos níveis de conforto térmico**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 1988.

SHARMA, M. R.; SHARAFAT, A. **Tropical Summer Index – A study of thermal comfort of Indian subjects**. Edinburgh University, Building and Environment, Vol.21, nº 1. Edinburgh, 1986.

SIME, W. E.; BUELL, J. C.; ELIOT, R. S. **Psychophysiological (emotional) stress testing for assessing coronary risk**. J. Cardionvasc Pulmon Tech. 1980.

SIMÕES, E. A. Q.; TIEDEMANN, K. B. **Psicologia da Percepção. Coleção Temas Básicos da Psicologia**. São Paulo: EPU. São Paulo, 1985.

_____. **STATSOFT, 2002. Eletronic Statistics Textbook**. URL: <http://statsoft.com/>.

STOLWIJK, J. A. J.; HARDY, J. D. **Control of body temperature**. In: Lee DHK, editor. Handbook of physiology. Williams and Wilkins. Baltimore, 1977.

TAMANINI, C. A. M. **Avaliação Comparativa de Desempenho Térmico entre três Sistemas Construtivos de Edificações Escolares na cidade de Maringá – PR**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2002.

TARTARELLI, R. V.; WINCKLER, W. S.; KRONMEYER, O. R. F. **Aprendizagem organizacional em fábricas de software**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. 2004.

_____. **Thermal Comfort (Thermal Booklet), Innova Air Tech Instruments, 2002**. <http://www.innova.dk/>.

_____. Universidade da Austrália. Web site da Universidade Macquarie, Austrália. http://atmos.es.mq.edu.au/~rdedear/ashrae_rp884_home.html.

VITRÚVIO, M. L.; **Los diez libros de arquitetura**. Editora Ibéria S. A. Barcelona, 1982.

VOGT, J. J.; MILLER-CHAGAS, P. **Comfort thermo-hygrométrique – Définition physiologique et détermination pratique de zones de confort thermique**. Équipement Technique 85, n. 271-272, Juillet-Aout, 1970.

WATSON, D. **Energy conservation through building design**. MacGraw Hill Book Company. New York, 1979.

WEBB, C. G. **An analysis of some observations of thermal comfort in equatorial climate**. Britain J. Industr. Méd. London, 1959.

WYNDHAM, C. H. **Adaptation to heat and cold**. In: **Physiology, Environment and Man**. Eds: Lee, D. H. K. and Minard, D. New York: Academic Press. New York, 1970.

XAVIER, A.A.P., LAMBERTS, R. **Temperatura interna de conforto e porcentagem de insatisfeitos para atividade escolar: Diferenças entre a teoria e a prática**. In: ENCAC 1997 – IV

Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1997, Salvador/BA. **Anais...** Porto Alegre. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 1997.

XAVIER, A. A. P. **Predição de Conforto Térmico em Ambientes Internos com Atividades Sedentárias – Teoria física aplicada a estudos de campo.** Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2000.

XAVIER, A. A. P.; J.F. LAMBERTS, R. **Thermal comfort zones for conditioned and free running buildings in Florianópolis, South Brazil. Proceedings of moving thermal comfort standarts into the 21st century.** Windsor. UK, 2001.

YAGLOU, C. P.; MESSER, A. **The importance of clothing in air conditioning.** Journal of the American Medical Association, USA, 1941.

Bibliografia Adicional Consultada

AGRESTI, A. A. **Introduction to Categorical Data Analysis.** John Wiley and Sons, Inc.: 1996.

AKUTSU, M.; VITORINO, F. **Avaliação do conforto térmico e lumínico.** In: Revista Técnica, 2000.

ANDERSON, T. W.; SCLOVE, S. L. **Introductory Statistical Analysis.** University of Illinois. Illinois, 1973.

ASHRAE 55-1981. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 1981.

ASHRAE 55-2004. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 1992.

ASHRAE 55-2004. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 2004.

AULICIEMS, A. **Psycho-physiological criteria for global zones of building design.** Proceedings of the Ninth International Society of Biometeorology Conference. Stuttgart-Hohenheim, 1983.

AZEVEDO, G. A. N. **Adequação e eficiência de sistemas construtivos na produção da arquitetura escolar do Rio de Janeiro.** In anais do VII Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis, 1998.

BITTENCOURT, L. **Uso das cartas solares – diretrizes para arquitetos.** Edufal. Maceió, 1990.

BLACKWELL, D. **Estatística Básica. Departamento de Estatística.** Universidade da Califórnia. EUA, 1974.

CHRISTENSEN, R. **Log Linear Models and Logistic Regression.** 2ª Edição. University of New Mexico. USA, 1997.

FANGER, P.O.; TOFTUM, J. **Extension of the PMV model to non-air-conditioned building in warm climates.** Energy and buildings, 2002. Vol. 34.

FLEISS, J. L. **Statistical Methods for Rates and Proportions.** John Wiley & Sons, Inc.: 1981.

- GAN, G.; CROOME, D.J. **Thermal comfort models based on field measurements**. In: ASHRAE Transactions, 1994. Vol.100, part I.
- GIVONI, B. **Climates Considerations in Building and Urban Design**. New York: John Wiley & Sons, Inc.: 1997.
- GIVONI, B. **Passive and Low Energy Cooling of Buildings**. New York: John Wiley & Sons, Inc.: 1994.
- GREEN, J. R.; MARGERISON, D. **Statistical treatment of experimental data**. University of Liverpool. Elsevier Scientific Publishing Company. Liverpool, 1978.
- LINDSEY, J. K. **Applying Generalized Linear Models**. Limburgs Universitair Centrum. Bélgica, 1997.
- LABAKI, L. C.; GOUVEA, T. C; MAIA, P. A.; RUAS, A.C. **Avaliação de conforto térmico: uma experiência na indústria da confecção**. Artigo. In: Clac 04, ENTAC, 2004.
- MASCARÓ, L. **Luz, clima e arquitetura**. Nobel. São Paulo, 1983.
- MCCULLAGH, P.; NELDER J.A. **Generalized Linear Models. Monographs on Statistics and Applied Probability**. 2ª edição, 1997.
- MISSENARD, A.; **L'Homme et Le Climat**. Plon. Paris, 1937.
- NICOL, F. et al. **Standards for Thermal Comfort**. Chapman & Hall. London, 1995.
- OLGYAY, V. **Design with climate**. New Jersey. Princeton University. 1963.
- PAULA, G. A. **Modelos de regressão com apoio computacional**. Instituto de Matemática e Estatística – USP. 2004.
- RAMÓN, F. **Ropa, sudor y arquitecturas**. Herman Blume Ediciones. Madrid, 1980.
- TAFFÉ, P. **A qualitative response model thermal comfort. Building and environment**. 1997. Vol. 32.

ANEXOS

Anexos

Anexo A

Tabela 1: Descrição dos grupos de pesquisa do projeto ASHRAE RP-884.
Fonte: ASHRAE RP-884, De Dear, 1997.

N	Fonte	Local	Clima	ver/inv	arquivo
1	Busch 1990	Bankok Thailand	tropical savanna	ver	4
2	Karyono 1995	Jakarta Indonesia	wet equatorial	ver	7
3	De Dear and Auliciems 1995	Brisbane Australia	humid subtropical	ver	12
4	De Dear and Auliciems 1995	Melbourne Australia	temperature marine	ver	16
5	Nicol et al 1993	Karachi Pakistan	desert (hot arid)	ver	18
6	Nicol et al 1993	Karachi Pakistan	desert (hot arid)	inv	19
7	Nicol et al 1993	Multan Pakistan	desert (hot arid)	ver	20
8	Nicol et al 1993	Peshawar Pakistan	semi arid midlatitude	ver	21
9	Nicol et al 1993	Peshawar Pakistan	semi arid midlatitude	inv	22
10	Nicol et al 1993	Quettar Pakistan	desert (hot arid)	ver	23
11	Nicol et al 1993	Quettar Pakistan	desert (hot arid)	inv	24
12	Nicol et al 1993	Saidu Pakistan	semi arid high altitude	ver	25
13	Nicol et al 1993	Saidu Pakistan	semi arid high altitude	inv	26
14	Baker et al 1995	Athens Greece	Mediterranean	ver	27
15	Nicol et al 1996	Oxford UK	west coast marine	ver	28
16	Schiller et all 1988	San Francisco Bay Area USA	Mediterranean	ver	33
17	Schiller et all 1988	San Francisco Bay Area USA	Mediterranean	inv	35
18	Williams 1995	Merseyside UK	west coast marine	ver	38
19	Williams 1995	Merseyside UK	west coast marine	inv	39
20	de Dear; Leow & Foo 1991	Singapore	wet equatorial	ver	42
21	Kwok 1996	Honolulu Hawaii	tropical savanna	ver	49
22	Kwok 1996	Honolulu Hawaii	tropical savanna	inv	51

Anexos

Anexo B

Tabela 2: Legenda da Base de Dados RP-884 – Convenções dos códigos e variáveis.
Fonte: Base de Dados da ASHRAE, 1997.

RP-884 Variable Coding Conventions

<i>Type of data</i>	<i>variable's code name</i>	<i>Description of variable and units</i>	
Basic Identifiers	blcode	building ID code	
	sub	subject number	
	age	subject's age [years]	
	sex	subject's gender [0=male, 1=female]	
	year	year	
	day	julian date (jan 1=1, dec 31=365)	
	time	time	
	thermal questionnaire	ash	ASHRAE Thermal Sensation Scale [-3, +3]
		prxy_tsa	Thermal acceptability defined as $-1.5 \leq \text{ASH} \leq +1.5$ [1=unacc. 2=acc]
		tsa	Thermal Acceptability Question [1=unacc. 2=acc]
mci		Thermal Preference [1=want cooler, 2=no change, 3=want warmer]	
vent		air movement acceptability [6(very acc), 1(very unacc)]	
avm		air movement preference [3(more), 2(no change), 1(less)]	
comf		General thermal comfort right now [1=very uncomf, 6=very comf]	
act10		metabolic activity in last 10 minutes [met]	
act20		metabolic activity between 20 and 10 minutes ago [met]	
act30		metabolic activity between 30 and 20 minutes ago [met]	
act60	metabolic activity between 60 and 30 minutes ago [met]		
met	average metabolic rate of subject [met]		
clo	ensemble clothing insulation [clo]		
upholst	insulation of the subject's chair [clo]		
insul	clothing plus upholstery insulation [clo]		
Indoor Climate Physical Obs	ta_h	air temperature at 1.1m above floor [°C]	
	ta_m	air temperature at 0.6m above floor [°C]	
	ta_l	air temperature at 0.1m above floor [°C]	
	dewpt	dewpoint temperature [°C]	
	prta_b	plane radiant asymmetry temperature [oC]	
	tg_h	globe temperature at 1.1m above floor [°C]	
	tg_m	globe temperature at 0.6m above floor [°C]	
	tg_l	globe temperature at 0.1m above floor [°C]	
	vel_h	air speed 1.1m [m/s]	
	vel_m	air speed 0.6m [m/s]	
	vel_l	air speed 0.1m [m/s]	
	turb_h	turbulence intensity at 1.1m above floor [frac]	
	turb_m	turbulence intensity at 0.6m above floor [frac]	
	turb_l	turbulence intensity at 0.1m above floor [frac]	

<i>Type of data</i>	<i>variable's code name</i>	<i>Description of variable and units</i>	
calculated indices	taav	average of three heights' air temperature [oC]	
	trav	average of three heights' mean radiant temperature [oC]	
	top	average of TAAV and TRAV (operative temperature) [oC]	
	velav	average of three heights' air speed [m/s]	
	velmax	maximum of three heights' air speeds [m/s]	
	tuav	average of three heights' turbulence [frac]	
	pa	vapor pressure [kPa]	
	rh	relative humidity [%]	
	et	new effective temperature index et* [oC]	
	set	new standard effective temperature index set* [oC]	
	tsens	two-node tsens index [-1.5, +2.0]	
	disc	two-node disc index [-4, +4]	
	pmv	Predicted Mean Vote, Fanger's Model [-3, +3]	
	ppd	Predicted Percentage Dissatisfied, Fanger's Model [frac]	
	pd_h	Percent Dissatisfied due to Draft at 1.1m height, Fanger et al [frac]	
	pd_m	Percent Dissatisfied due to Draft at 0.6m height, Fanger et al [frac]	
	pd_l	Percent Dissatisfied due to Draft at 0.1m height, Fanger et al [frac]	
	pd_max	Percent Dissatisfied due to Draft, max of all 3 heights, Fanger et al [frac]	
	personal	PCC	perceived control over thermal environ [1=no control, 5=complete control]
	environmental control	PCC_AG	aggregate perceived control from PCEC1...PCEC7
PCS		how satisfied are you with PCC [1=very dissat, 6=very sat]	
PCEC1		can you open/close windows? [1=yes, 0=no]	
PCEC2		can you open/close external doors [1=yes, 0=no]	
PCEC3		can you open/close internal doors [1=yes, 0=no]	
PCEC4		can you adjust thermostats [1=yes, 0=no]	
PCEC5		can you adjust curtains/blinds [1=yes, 0=no]	
PCEC6		can you adjust local heaters [1=yes, 0=no]	
PCEC7		can you adjust local fans [1=yes, 0=no]	
Do you exercise any of these options?		PCED1	windows [1=na, 2=never, 3=rarely, 4=sometimes, 5=often, 6=always]
		PCED2	external door [1=na, 2=never, 3=rarely, 4=sometimes, 5=often, 6=always]
		PCED3	internal door [1=na, 2=never, 3=rarely, 4=sometimes, 5=often, 6=always]
		PCED4	thermostat [1=na, 2=never, 3=rarely, 4=sometimes, 5=often, 6=always]
		PCED5	curtains/blinds [1=na, 2=never, 3=rarely, 4=sometimes, 5=often, 6=always]
	PCED6	local heater [1=na, 2=never, 3=rarely, 4=sometimes, 5=often, 6=always]	
	PCED7	local fan [1=na, 2=never, 3=rarely, 4=sometimes, 5=often, 6=always]	

<i>Type of data</i>	<i>variable's code name</i>	<i>Description of variable and units</i>
Outdoor Meteorol Observations	day15_ta	outdoor 3pm (max) air temp on day of survey [°C]
	day06_ta	outdoor 6am (min) air temp on day of survey [°C]
	dayav_ta	outdoor average of min/max air temp on day of survey [°C]
	day15_rh	outdoor 3pm (min) rel humid on day of survey [%]
	day06_rh	outdoor 6am (max) rel humid on day of survey [%]
	dayav_rh	outdoor average min/max rel humid on day of survey [%]
	day15_et	outdoor 3pm ET* on day of survey (Ta and rh at time of daymx_ta) [°C]
	day06_et	outdoor ET* on day of survey (Ta and rh at time of daymn_ta) [°C]
	dayav_et	outdoor average of min/max ET* on day of survey [°C]

Anexos

Anexo D

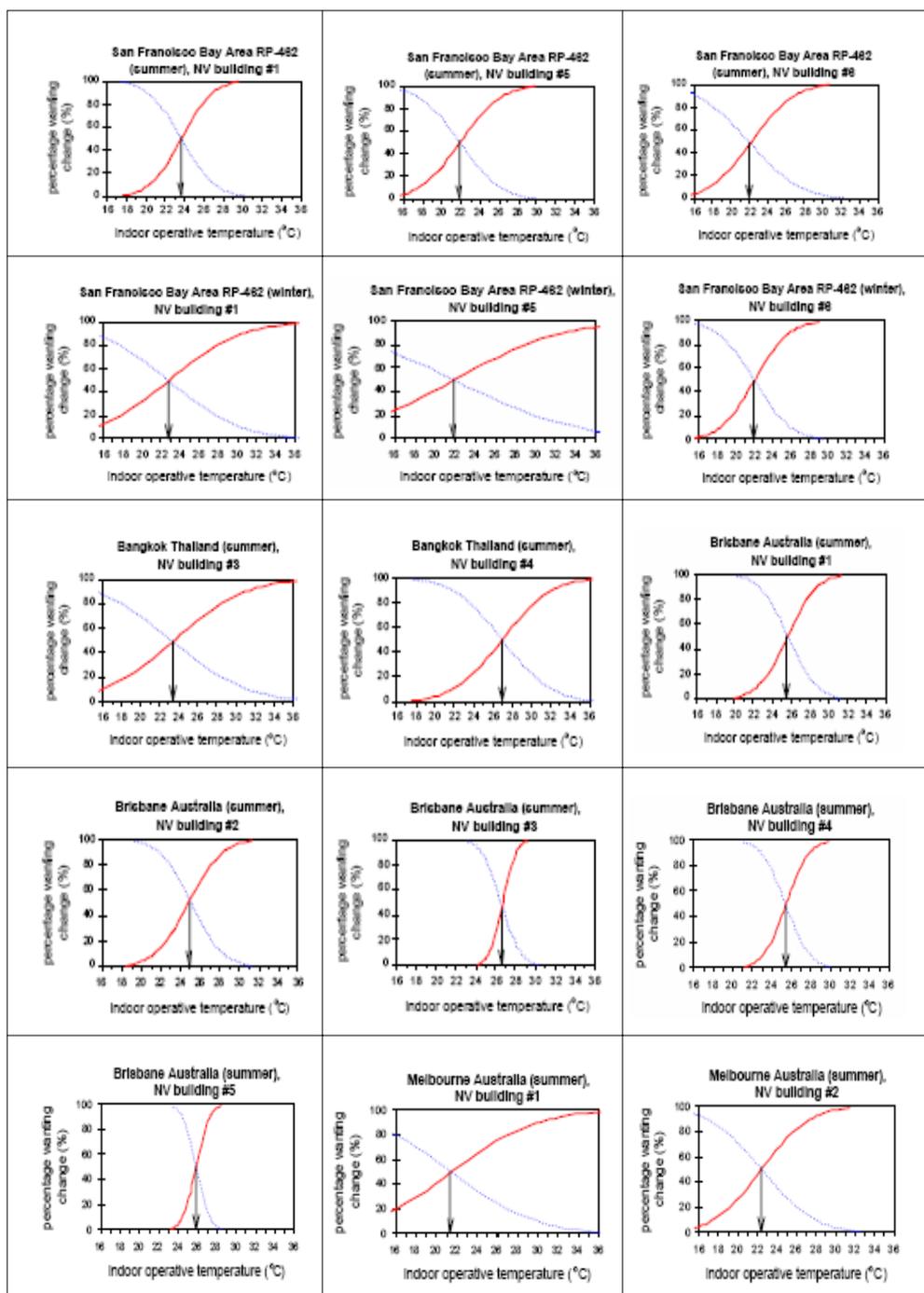
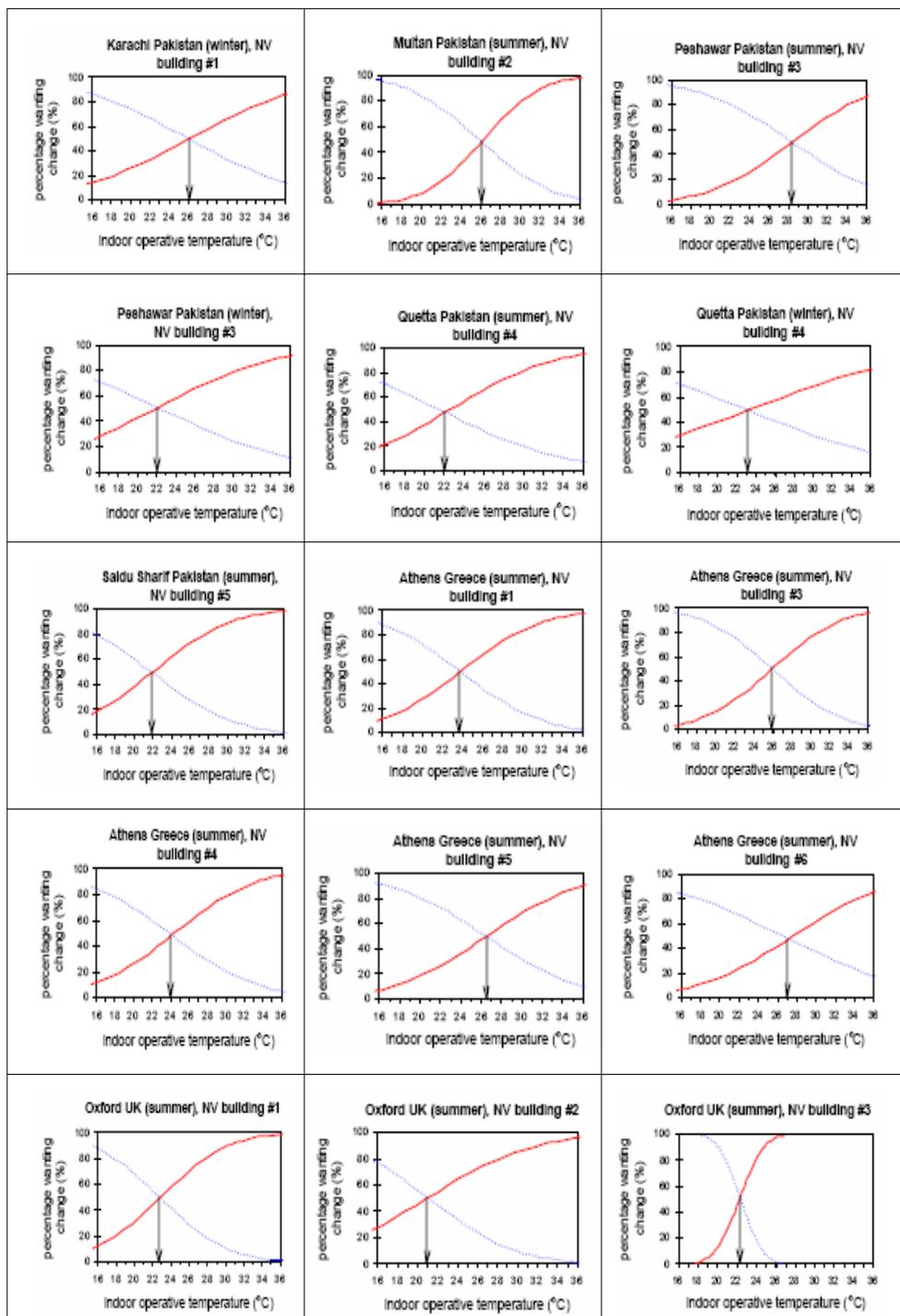


Figura 2: Análise probit (Projeto RP-884) em edifícios Naturalmente Ventilados (NV). Fonte: DE DEAR, 1997.



Continuação da Figura 2: Figura 2: Análise probit (Projeto RP-884) em edifícios naturalmente ventilados (NV). Fonte: DE DEAR, 1997.

Anexos

Anexo E

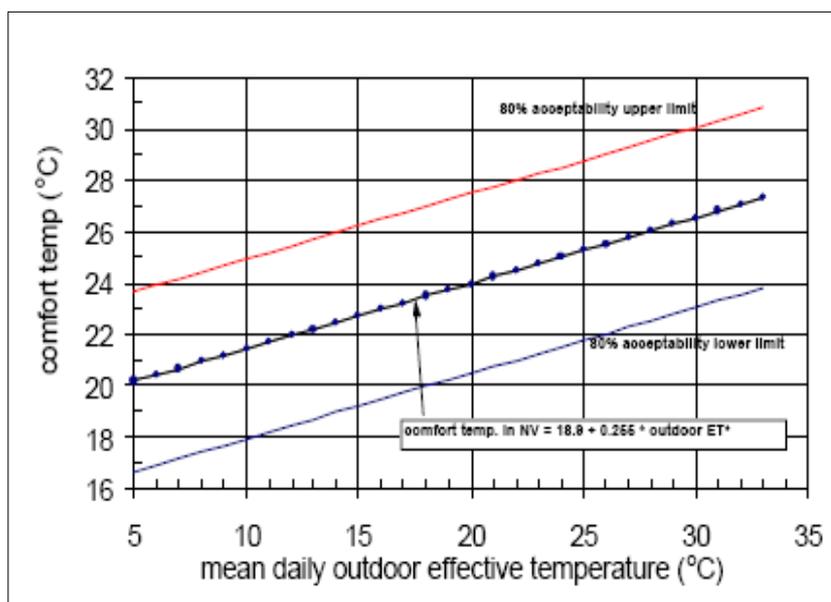


Figura 3: A otimização e os limites da zona adaptativa de conforto para um nível de aceitabilidade de 80% em locais naturalmente ventilados. Fonte: DE DEAR, 1997.

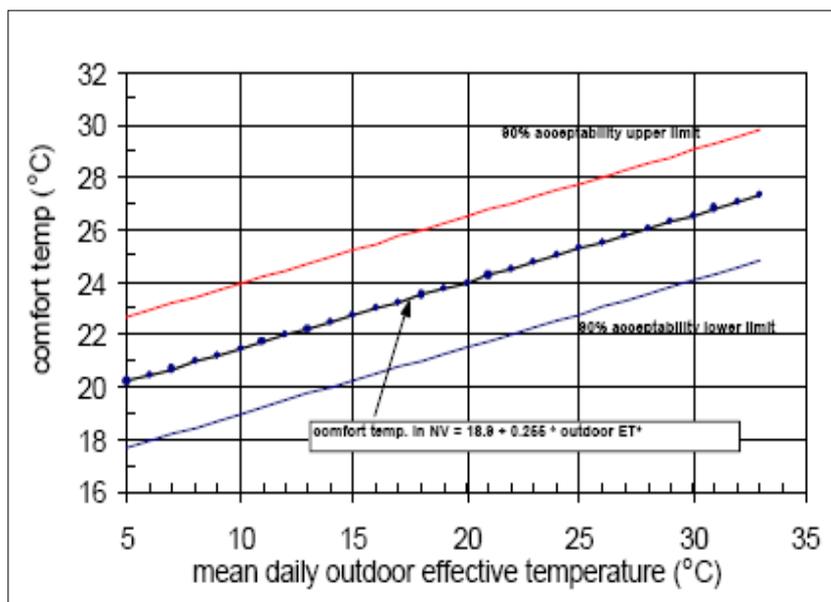


Figura 4: A otimização e os limites da zona adaptativa de conforto para um nível de aceitabilidade de 90% em locais naturalmente ventilados. Fonte: DE DEAR, 1997.

Anexos

Anexo F

Tabela 3: Porcentagem de cada voto na temperatura correspondente para cada edifício Naturalmente Ventilado (NV) analisado

Planilhas	Temperatura (°C)	Voto 1	Voto 3
Planilha 04. J. F. Busch. Verão, 1988. Edifício 3 - Naturalmente Ventilado (NV), Bangkok, Tailândia.	26-27	0,59%	12,00%
	27-28	2,37%	12,00%
	28-29	8,88%	28,00%
	29-30	14,20%	40,00%
	30-31	39,05%	8,00%
	31-32	23,08%	0,00%
	32-33	8,28%	0,00%
	33-34	2,96%	0,00%
	34-35	0,59%	0,00%
	Total:	100,00%	100,00%
Planilha 04. J. F. Busch. Verão, 1988. Edifício 4 - Naturalmente Ventilado (NV), Bangkok, Tailândia.	28-29	2,67%	26,09%
	29-30	5,33%	34,78%
	30-31	12,00%	21,74%
	31-32	22,67%	4,35%
	32-33	36,67%	13,04%
	33-34	18,67%	0,00%
	34-35	2,00%	0,00%
	Total:	100,00%	100,00%
Planilha 12. R. J. De Dear. Verão, 1984. Edifício 1 - Naturalmente Ventilado (NV), Brisbane, Austrália.	25-26	0,00%	12,50%
	26-27	19,35%	87,50%
	27-28	10,48%	0,00%
	28-29	28,23%	0,00%
	29-30	37,90%	0,00%
	30-31	4,03%	0,00%
	Total:	100,00%	100,00%
Planilha 12. R. J. De Dear. Verão, 1984. Edifício 2 - Naturalmente Ventilado (NV), Brisbane, Austrália.	26-27	23,81%	82,35%
	27-28	24,76%	11,76%
	28-29	13,33%	0,00%
	29-30	20,00%	5,88%
	30-31	18,10%	0,00%
	Total:	100,00%	100,00%
Planilha 12. R. J. De Dear. Verão, 1984. Edifício 3 - Naturalmente Ventilado (NV), Brisbane, Austrália.	26-27	0,00%	66,67%
	27-28	14,29%	33,33%
	28-29	53,97%	0,00%
	29-30	25,40%	0,00%
	Total:	100,00%	100,00%
Planilha 12. R. J. De Dear. Verão, 1984. Edifício 4 - Naturalmente Ventilado (NV), Brisbane, Austrália.	25-26	0,00%	3,03%
	26-27	12,36%	78,79%
	27-28	45,51%	18,18%
	28-29	28,65%	0,00%
	Total:	100,00%	100,00%

Planilha 12. R. J. De Dear. Verão, 1984. Edifício 5 - Naturalmente Ventilado (NV), Brisbane, Austrália.	25-26	52,17%	42,31%
	26-27	47,83%	53,85%
	27-28	0,00%	3,85%
	Total	100,00%	100,00%
Planilha 16. R. J. De Dear. Verão, 1983. Edifício 1 - Naturalmente Ventilado (NV), Melbourne, Austrália.	19-20	0,00%	16,33%
	20-21	2,67%	36,73%
	21-22	1,33%	28,57%
	22-23	18,67%	14,29%
	23-24	17,33%	2,04%
	24-25	2,67%	0,00%
	25-26	17,33%	0,00%
	26-27	25,33%	2,04%
	27-28	14,67%	0,00%
Total	100,00%	100,00%	
Planilha 16. R. J. De Dear, Verão, 1983. Edifício 2 - Naturalmente Ventilado (NV), Melbourne, Austrália.	18-19	0,00%	0,73%
	19-20	0,00%	1,46%
	20-21	0,36%	5,84%
	21-22	1,09%	24,82%
	22-23	8,03%	58,39%
	23-24	21,90%	6,57%
	24-25	17,15%	1,46%
	25-26	8,39%	0,00%
	26-27	6,93%	0,00%
	27-28	6,20%	0,73%
	28-29	5,47%	0,00%
	29-30	12,41%	0,00%
	30-31	7,66%	0,00%
	31-32	2,19%	0,00%
32-33	2,19%	0,00%	
Total	100,00%	100,00%	
Planilha 19. J. F. Nicol et al. Inverno, 1994. Edifício 1 - Naturalmente Ventilado (NV), Karachi, Paquistão.	19-20	0,00%	2,63%
	20-21	0,00%	5,26%
	21-22	1,96%	6,77%
	22-23	2,45%	11,65%
	23-24	3,92%	22,18%
	24-25	12,25%	36,09%
	25-26	51,47%	10,53%
	26-27	15,20%	2,26%
	27-28	4,41%	1,50%
	28-29	5,39%	0,38%
	29-30	1,96%	0,38%
30-31	0,98%	0,38%	
Total	100,00%	100,00%	
Planilha 20. J. F. Nicol et al. Verão, 1993. Edifício 2 - Naturalmente Ventilado (NV), Multan, Paquistão.	22-23	0,00%	0,97%
	23-24	0,00%	3,88%
	24-25	0,00%	10,68%
	25-26	0,30%	7,77%
	26-27	1,20%	23,30%
	27-28	3,90%	12,62%
	28-29	7,21%	33,98%
	29-30	20,42%	5,83%
	30-31	18,02%	0,00%
	31-32	15,32%	0,97%
	32-33	14,41%	0,00%
33-34	10,51%	0,00%	
34-35	6,61%	0,00%	

	35-36	0,60%	0,00%
	36-37	0,30%	0,00%
	38-39	1,20%	0,00%
	Total	100,00%	100,00%
	22-23	0,00%	0,44%
	24-25	0,00%	5,75%
	25-26	0,00%	8,41%
	26-27	0,31%	18,58%
	27-28	0,93%	19,91%
	28-29	3,74%	27,88%
	29-30	19,31%	6,19%
	30-31	21,18%	4,87%
Planilha 21. J. F. Nicol et al. Verão, 1993. Edifício 3 - Naturalmente Ventilado (NV), Peshawar, Paquistão.	31-32	18,69%	3,54%
	32-33	13,08%	2,21%
	33-34	10,59%	0,44%
	34-35	2,80%	0,00%
	35-36	2,49%	0,44%
	36-37	2,49%	0,44%
	37-38	3,74%	0,88%
	38-39	0,62%	0,00%
	Total	100,00%	100,00%
	5-6	0,00%	0,63%
	8-9	0,00%	0,31%
	9-10	0,00%	0,63%
	10-11	0,00%	0,31%
	12-13	0,00%	0,31%
	13-14	0,00%	0,31%
	14-15	0,00%	6,88%
	15-16	0,00%	24,06%
	16-17	2,59%	20,00%
	17-18	2,59%	8,44%
Planilha 22. J. F. Nicol et al. Inverno, 1994. Edifício 3 - Naturalmente Ventilado (NV), Peshawar, Paquistão.	18-19	8,29%	20,00%
	19-20	21,24%	10,94%
	20-21	20,73%	2,50%
	21-22	8,29%	3,13%
	22-23	8,29%	0,63%
	23-24	11,40%	0,00%
	24-25	12,44%	0,31%
	25-26	3,11%	0,00%
	26-27	0,00%	0,31%
	27-28	0,52%	0,00%
	28-29	0,52%	0,00%
	32-33	0,00%	0,31%
	Total	100,00%	100,00%
	18-19	0,00%	0,95%
	20-21	0,26%	1,90%
	21-22	0,00%	3,81%
	22-23	0,00%	3,81%
	23-24	0,26%	4,76%
Planilha 23. J. F. Nicol et al. Verão, 1993. Edifício 4 - Naturalmente Ventilado (NV), Quetta, Paquistão.	24-25	0,26%	9,52%
	25-26	1,81%	11,43%
	26-27	3,10%	13,33%
	27-28	4,91%	9,52%
	28-29	8,27%	36,19%
	29-30	24,55%	4,76%
	30-31	27,39%	0,00%

	31-32	11,89%	0,00%
	32-33	8,27%	0,00%
	33-34	3,62%	0,00%
	34-35	2,84%	0,00%
	35-36	0,52%	0,00%
	36-37	1,03%	0,00%
	38-39	0,26%	0,00%
	39-40	0,26%	0,00%
	40-41	0,52%	0,00%
	Total	100,00%	100,00%
	10-11	0,00%	0,38%
	11-12	0,00%	2,69%
	12-13	0,00%	2,69%
	13-14	0,00%	6,15%
	14-15	0,00%	11,15%
	15-16	0,00%	10,38%
	16-17	0,00%	16,92%
	17-18	0,00%	11,54%
	18-19	1,22%	13,46%
	19-20	1,83%	15,38%
	20-21	14,63%	1,54%
	21-22	18,90%	4,23%
	22-23	17,68%	1,15%
	23-24	12,80%	1,54%
	24-25	10,37%	0,77%
	25-26	12,80%	0,00%
	26-27	7,93%	0,00%
	27-28	1,83%	0,00%
	Total	100,00%	100,00%
	19-20	0,00%	2,02%
	20-21	0,00%	7,07%
	21-22	0,00%	10,10%
	22-23	0,00%	12,12%
	23-24	0,00%	19,19%
	24-25	1,28%	23,23%
	25-26	9,17%	21,21%
	26-27	6,82%	4,04%
	27-28	5,97%	0,00%
	28-29	10,23%	0,00%
	29-30	9,59%	1,01%
	30-31	10,66%	0,00%
	31-32	12,37%	0,00%
	32-33	11,51%	0,00%
	33-34	9,17%	0,00%
	34-35	4,69%	0,00%
	35-36	4,48%	0,00%
	36-37	2,56%	0,00%
	37-38	1,07%	0,00%
	38-39	0,43%	0,00%
	Total	100,00%	100,00%
	22-23	0,00%	1,45%
	23-24	0,00%	5,80%
	24-25	0,29%	4,35%
	25-26	0,00%	8,70%
	26-27	1,18%	15,94%
	27-28	1,47%	10,14%

Planilha 24. J. F. Nicol et al. Inverno, 1993/1994. Edifício 4 - Naturalmente Ventilado (NV), Quetta, Paquistão.

Planilha 25. J. F. Nicol et al. Verão, 1993. Edifício 5 - Naturalmente Ventilado (NV), Saidu Sharif, Paquistão.

Planilha 27. N. Baker and M. Standeven. Verão, 1993/1994. Edifício 1 - Naturalmente Ventilado (NV), Atenas, Grécia.

	28-29	3,24%	21,74%
	29-30	21,83%	31,88%
	30-31	32,74%	0,00%
	31-32	27,14%	0,00%
	32-33	7,96%	0,00%
	33-34	3,24%	0,00%
	34-35	0,88%	0,00%
	Total	100,00%	100,00%
	17-18	0,00%	0,83%
	18-19	0,00%	0,83%
	19-20	0,00%	0,83%
	22-23	0,00%	1,65%
	23-24	0,00%	4,13%
	24-25	0,62%	9,09%
	25-26	0,31%	7,44%
	26-27	0,93%	8,26%
	27-28	1,87%	18,18%
	28-29	4,98%	35,54%
	29-30	18,38%	9,92%
	30-31	33,02%	2,48%
	31-32	31,15%	0,00%
	32-33	7,79%	0,00%
	33-34	0,00%	0,83%
	35-36	0,62%	0,00%
	36-37	0,31%	0,00%
	Total	100,00%	100,00%
	24-25	0,00%	3,57%
	26-27	0,00%	3,57%
	27-28	0,00%	3,57%
	28-29	4,73%	25,00%
	29-30	3,38%	21,43%
	30-31	12,16%	25,00%
	31-32	27,70%	17,86%
	32-33	16,89%	0,00%
	33-34	22,97%	0,00%
	34-35	9,46%	0,00%
	35-36	2,70%	0,00%
	Total	100,00%	100,00%
	23-24	0,00%	2,70%
	24-25	0,88%	2,70%
	25-26	0,00%	21,62%
	26-27	0,00%	28,38%
	27-28	1,77%	33,78%
	28-29	15,04%	9,46%
	29-30	24,78%	0,00%
	30-31	31,86%	1,35%
	31-32	15,04%	0,00%
	32-33	8,85%	0,00%
	33-34	1,77%	0,00%
	Total	100,00%	100,00%
	27-28	0,00%	2,38%
	28-29	1,08%	21,43%
	29-30	3,23%	9,52%
	30-31	6,45%	33,33%
	31-32	26,88%	33,33%
	32-33	41,94%	0,00%

Planilha 27. N. Baker and M. Standeven, Verão, 1993/1994. Edifício 3 - Naturalmente Ventilado (NV), Atenas, Grécia.

Planilha 27. N. Baker and M. Standeven, Verão, 1993/1994. Edifício 4 - Naturalmente Ventilado (NV), Atenas, Grécia.

Planilha 27. N. Baker and M. Standeven, Verão, 1993/1994. Edifício 5 - Naturalmente Ventilado (NV), Atenas, Grécia.

Planilha 27. N. Baker and M. Standeven, Verão, 1993/1994. Edifício 6 - Naturalmente Ventilado (NV), Atenas, Grécia.

	33-34	13,98%	0,00%
	34-35	3,23%	0,00%
	35-36	2,15%	0,00%
	36-37	1,08%	0,00%
	Total	100,00%	100,00%
	14-15	0,00%	0,36%
	15-16	0,00%	0,72%
	16-17	0,00%	0,36%
	17-18	0,00%	4,32%
	18-19	0,93%	8,99%
	19-20	0,46%	20,50%
	20-21	0,93%	26,26%
Planilha 28. I. A. Raja; J. F. Nicol and M. A. Humphreys. Verão, 1994. Edifício 1 - Naturalmente Ventilado (NV), Oxford, Southern Britain, UK.	21-22	4,17%	22,66%
	22-23	31,94%	11,87%
	23-24	23,15%	2,16%
	24-25	20,83%	1,80%
	25-26	10,19%	0,00%
	26-27	2,78%	0,00%
	27-28	3,24%	0,00%
	28-29	0,93%	0,00%
	30-31	0,46%	0,00%
	Total	100,00%	100,00%
	16-17	0,00%	0,61%
	17-18	0,00%	5,49%
	18-19	1,76%	9,76%
	19-20	1,18%	23,17%
Planilha 28. I. A. Raja; J. F. Nicol and M. A. Humphreys. Verão, 1994. Edifício 2 - Naturalmente Ventilado (NV), Oxford, Southern Britain, UK.	20-21	5,88%	35,37%
	21-22	26,47%	19,51%
	22-23	38,24%	3,66%
	23-24	20,00%	2,44%
	24-25	6,47%	0,00%
	Total	100,00%	100,00%
	18-19	0,00%	7,69%
	20-21	0,00%	7,69%
Planilha 28. I. A. Raja; J. F. Nicol and M. A. Humphreys. Verão, 1994. Edifício 3 - Naturalmente Ventilado (NV), Oxford, Southern Britain, UK.	22-23	8,82%	46,15%
	23-24	41,18%	30,77%
	24-25	47,06%	7,69%
	26-27	2,94%	0,00%
	Total	100,00%	100,00%
	22-23	1,30%	28,89%
	23-24	10,39%	57,78%
	24-25	40,26%	13,33%
Planilha 33. G. Schiller et al. Verão, 1987. Edifício 1 – Naturalmente Ventilado (NV), San Francisco, Califórnia, US.	25-26	14,29%	0,00%
	26-27	11,69%	0,00%
	27-28	20,78%	0,00%
	29-30	1,30%	0,00%
	Total	100,00%	100,00%
	20-21	0,00%	2,04%
	21-22	4,55%	44,90%
Planilha 33. G. Schiller et al. Verão, 1987. Edifício 5 – Naturalmente Ventilado (NV), San Francisco, Califórnia, US.	22-23	51,52%	53,06%
	23-24	39,39%	0,00%
	24-25	4,55%	0,00%
	Total	100,00%	100,00%
	22-23	4,49%	29,41%
Planilha 33. G. Schiller et al. Verão, 1987. Edifício 6 – Naturalmente Ventilado (NV), San Francisco, Califórnia, US.	23-24	7,87%	35,29%
	24-25	37,08%	32,35%

	25-26	47,19%	2,94%
	26-27	3,37%	0,00%
	Total	100,00%	100,00%
	20-21	0,00%	3,45%
	21-22	0,00%	15,52%
Planilha 35. G. Schiller et al. Inverno, 1986/1987. Edifício 1 – Naturalmente Ventilado (NV), San Francisco, Califórnia, US.	22-23	14,29%	50,00%
	23-24	52,38%	25,86%
	24-25	22,22%	5,17%
	25-26	11,11%	0,00%
	Total	100,00%	100,00%
	19-20	1,47%	6,35%
	20-21	4,41%	17,46%
Planilha 35. G. Schiller et al. Inverno, 1986/1987. Edifício 5 – Naturalmente Ventilado (NV), San Francisco, Califórnia, US.	21-22	2,94%	38,10%
	22-23	39,71%	28,57%
	23-24	48,53%	9,52%
	24-25	2,94%	0,00%
	Total	100,00%	100,00%
	20-21	0,00%	2,27%
	21-22	4,35%	18,18%
Planilha 35. G. Schiller et al. Inverno, 1986/1987. Edifício 6 – Naturalmente Ventilado (NV), San Francisco, Califórnia, US.	22-23	7,61%	31,82%
	23-24	35,87%	45,45%
	24-25	40,22%	2,27%
	25-26	11,96%	0,00%
	Total	100,00%	100,00%

Anexos

Anexo G

Tabela 4: Análise probit e respectivos resultados de cada edifício Naturalmente Ventilado (NV)

Planilha 4, edifício 3. Bangkok, Tailândia (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information		
Name	Levels	Values
MCI	2	1 3

Model Information		
Data Set	WORK,PLAN4ED3	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	173	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-46,47299502	

Response Profile	
Level	Count
1	169
3	25

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-17,12664	3,31889	26,6293	<,0001	Intercept
TOP	1	0,61451	0,11278	29,6895	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
27,8704498	1,62731568

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,127251	-0,084061
SIGMA	-0,084061	0,089195

Planilha 4, edificio 4. Bangkok, Tailândia (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information			
Name	Levels	Values	
MCI	2	1	3

Model Information		
Data Set	WORK,PLAN4ED4	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	173	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-46,47299502	

Response Profile	
Level	Count
1	150
3	23

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-17,91645	3,32848	28,9742	<,0001	Intercept
TOP	1	0,61212	0,10828	31,9560	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of
Tolerance Distribution

MU	SIGMA
29,269451	1,63366338

Estimated Covariance Matrix for Tolerance
Parameters

	MU	SIGMA
MU	0,121318	-0,073608
SIGMA	-0,073608	0,083517

Planilha 12, edificio 1. Brisbane, Austrália (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information			
Name	Levels	Values	
MCI	2	1	3

Model Information		
Data Set	WORK,PLAN12ED1	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	156	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-38,11188111	

Response Profile	
Level	Count
1	124
3	32

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-42,62445	10,81331	15,5382	<,0001	Intercept
TOP	1	1,60865	0,40799	15,5459	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
26,497066	0,62164001

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,010726	-0,000136
SIGMA	-0,000136	0,024858

Planilha 12, edificio 2. Brisbane, Austrália (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information		
Name	Levels	Values
MCI	2	1 3

Model Information		
Data Set	WORK,PLAN12ED2	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	122	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-37,99343852	

Response Profile	
Level	Count
1	105
3	17

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-18,72348	5,55448	11,3628	0,0007	Intercept
TOP	1	0,71830	0,20408	12,3887	0,0004	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
26,0663975	1,39217677

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
UM	0,156416	-0,128050
SIGMA	-0,128050	0,156446

Planilha 12, edificio 3. Brisbane, Austrália (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information		
Name	Levels	Values
MCI	2	1 3

Model Information		
Data Set	WORK.PLAN12ED3	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	69	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	0	

Response Profile	
Level	Count
1	63
3	6

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-30741.6	8.0508E10	0.0000	1.0000	Intercept
TOP	1	1127.2	2951901181	0.0000	1.0000	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
27.273004	0.00088717

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	385764029.47	-1687748.063
SIGMA	-1687748.063	5397954.8347

Planilha 12, edifício 4. Brisbane, Austrália (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information			
Name	Levels	Values	
MCI	2	1	3

Model Information		
Data Set	WORK,PLAN12ED4	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	211	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-54,95712222	

Response Profile	
Level	Count
1	178
3	33

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-52,50147	9,56654	30,1185	<,0001	Intercept
TOP	1	1,97535	0,35639	30,7218	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
26,5782579	0,50623833

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,007032	-0,004320
SIGMA	-0,004320	0,008342

Planilha 12, edificio 5. Brisbane, Austrália (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information		
Name	Levels	Values
MCI	2	1 3

Model Information		
Data Set	WORK.PLAN12ED5	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	49	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-33.60560371	

Response Profile	
Level	Count
1	23
3	26

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	6.62966	9.20526	0.5187	0.4714	Intercept
TOP	1	-0.25668	0.35228	0.5309	0.4662	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
25.828332	3.8958767

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0.657461	-2.183587
SIGMA	-2.183587	28.588075

Planilha 16, edificio 1. Melbourne, Austrália (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information			
Name	Levels	Values	
MCI	2	1	3

Model Information		
Data Set	WORK,PLANILHA16EDIFICIO1	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	124	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-35,24114329	

Response Profile	
Level	Count
1	75
3	49

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-16,15899	2,54075	40,4486	<,0001	Intercept
TOP	1	0,72235	0,11369	40,3702	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
22,3700221	1,38437047

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,053982	0,002414
SIGMA	0,002414	0,047473

Planilha 16, edificio 2. Melbourne, Austrália (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information			
Name	Levels	Values	
MCI	2	1	3

Model Information		
Data Set	WORK,PLANILHA16EDIFICIO2	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	411	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-124,5597888	

Response Profile	
Level	Count
1	274
3	137

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-21,76184	2,16697	100,8526	<,0001	Intercept
TOP	1	0,95030	0,09451	101,1049	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
22,8999055	1,0522966

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,009007	-0,000091
SIGMA	-0,000091	0,010952

Planilha 19, edificio 1. Karachi, Paquistão (Inverno).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information			
Name	Levels	Values	
MCI	2	1	3

Model Information		
Data Set	WORK,PLANILHA19EDIFICIO1	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	470	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-249,4904578	

Response Profile	
Level	Count
1	204
3	266

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-12,07624	1,17279	106,0289	<,0001	Intercept
TOP	1	0,48151	0,04717	104,2015	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
25,07998	2,07680296

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,018712	0,005082
SIGMA	0,005082	0,041392

Planilha 20, edifício 2. Multan, Paquistão (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information		
Name	Levels	Values
MCI	2	1 3

Model Information		
Data Set	WORK,PLANILHA20EDIFICIO2	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	436	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-107,9600122	

Response Profile	
Level	Count
1	333
3	103

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-21,23120	2,18478	94,4352	<,0001	Intercept
TOP	1	0,75517	0,07613	98,4003	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
28,1144176	1,32420276

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,019517	-0,007483
SIGMA	-0,007483	0,017820

Planilha 21, edificio 3. Peshawar, Paquistão (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information			
Name	Levels	Values	
MCI	2	1	3

Model Information		
Data Set	WORK,PLANILHA21EDIFICIO3	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	547	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-225,519271	

Response Profile	
Level	Count
1	321
3	226

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-13,18964	0,97958	181,2935	<,0001	Intercept
TOP	1	0,44997	0,03287	187,3423	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
29,3124389	2,22238363

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,022922	-0,004932
SIGMA	-0,004932	0,026363

Planilha 22, edificio 3. Peshawar, Paquistão (Inverno).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information		
Name	Levels	Values
MCI	2	1 3

Model Information		
Data Set	WORK,PLANILHA22EDIFICIO3	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	513	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-204,1006571	

Response Profile	
Level	Count
1	193
3	320

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-8,00653	0,58694	186,0813	<,0001	Intercept
TOP	1	0,40282	0,03030	176,6992	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
19,8762477	2,48250371

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,032717	0,009083
SIGMA	0,009083	0,034877

Planilha 23, edificio 4. Quetta, Paquistão (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information			
Name	Levels	Values	
MCI	2	1	3

Model Information		
Data Set	WORK,PLANILHA23EDIFICIO4	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	492	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-155,5882132	

Response Profile	
Level	Count
1	387
3	105

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-12,53343	1,22362	104,9178	<,0001	Intercept
TOP	1	0,46535	0,04310	116,5731	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
26,9335432	2,148936

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,046416	-0,025726
SIGMA	-0,025726	0,039614

Planilha 24, edifício 4. Quetta, Paquistão (Inverno).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information		
Name	Levels	Values
MCI	2	1 3

Model Information		
Data Set	WORK,PLAN24ED4	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	424	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-102,6517387	

Response Profile	
Level	Count
1	164
3	260

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-12,34227	1,13570	118,1035	<,0001	Intercept
TOP	1	0,59446	0,05449	119,0042	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
20,7622394	1,68220557

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,027531	-0,000004
SIGMA	-0,000004	0,023779

Planilha 25, edificio 5. Saidu Sharif, Paquistão (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information			
Name	Levels	Values	
MCI	2	1	3

Model Information		
Data Set	WORK,PLAN25ED5	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	568	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-78,92773058	

Response Profile	
Level	Count
1	469
3	99

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-22,80711	2,84192	64,4045	<,0001	Intercept
TOP	1	0,90692	0,11178	65,8323	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
25,1477656	1,1026285

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,016619	-0,004304
SIGMA	-0,004304	0,018468

Planilha 27, edificio 1. Atenas, Grécia (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information			
Name	Levels	Values	
MCI	2	1	3

Model Information		
Data Set	WORK,PLAN27ED1	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	408	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-98,88603953	

Response Profile	
Level	Count
1	339
3	69

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-19,62836	2,13750	84,3247	<,0001	Intercept
TOP	1	0,69993	0,07320	91,4390	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
28,0435057	1,4287235

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,034126	-0,017615
SIGMA	-0,017615	0,022324

Planilha 27, edifício 3. Atenas, Grécia (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information			
Name	Levels	Values	
MCI	2	1	3

Model Information		
Data Set	WORK,PLAN27ED3	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	442	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-139,4537396	

Response Profile	
Level	Count
1	321
3	121

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-18,28361	1,62538	126,5353	<,0001	Intercept
TOP	1	0,64583	0,05573	134,2832	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
28,3104672	1,54840668

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,021975	-0,009393
SIGMA	-0,009393	0,017855

Planilha 27, edifício 4. Atenas, Grécia (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information		
Name	Levels	Values
MCI	2	1 3

Model Information		
Data Set	WORK,PLAN27ED4	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	176	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-48,18866599	

Response Profile	
Level	Count
1	148
3	28

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-18,56318	3,43802	29,1534	<,0001	Intercept
TOP	1	0,63449	0,11298	31,5377	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
29,2569676	1,57607494

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,093426	-0,057273
SIGMA	-0,057273	0,078763

Planilha 27, edificio 5. Atenas, Grécia (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information			
Name	Levels	Values	
MCI	2	1	3

Model Information		
Data Set	WORK,PLAN27ED5	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	187	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-40,51030057	

Response Profile	
Level	Count
1	113
3	74

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-28,58018	3,55723	64,5515	<,0001	Intercept
TOP	1	1,01720	0,12607	65,1031	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
28,0968087	0,98308705

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,022973	-0,001411
SIGMA	-0,001411	0,014845

Planilha 27, edificio 6. Atenas, Grécia (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information		
Name	Levels	Values
MCI	2	1 3

Model Information		
Data Set	WORK,PLAN27ED6	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	135	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-48,7916719	

Response Profile	
Level	Count
1	93
3	42

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-27,15883	4,32526	39,4273	<,0001	Intercept
TOP	1	0,88583	0,13899	40,6181	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
30,6591825	1,12888455

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,031251	-0,012291
SIGMA	-0,012291	0,031375

Planilha 28, edifício 1. Oxford, Reino Unido (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information			
Name	Levels	Values	
MCI	2	1	3

Model Information		
Data Set	WORK,PLANILHA28EDIFICIO1	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	494	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-164,3658639	

Response Profile	
Level	Count
1	216
3	278

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-17,58758	1,35065	169,5611	<,0001	Intercept
TOP	1	0,78984	0,06091	168,1351	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
22,2672545	1,26607825

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,009857	0,000985
SIGMA	0,000985	0,009534

Planilha 28, edifício 2. Oxford, Reino Unido (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information		
Name	Levels	Values
MCI	2	1 3

Model Information		
Data Set	WORK,PLANILHA28EDIFICIO2	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	334	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-136,500732	

Response Profile	
Level	Count
1	170
3	164

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-17,98033	1,67846	114,7560	<,0001	Intercept
TOP	1	0,84438	0,07850	115,7111	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
21,2942091	1,18430552

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,010427	-0,000617
SIGMA	-0,000617	0,012121

Planilha 28 edificio 3. Oxford, Reino Unido (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information			
Name	Levels	Values	
MCI	2	1	3

Model Information		
Data Set	WORK,PLANILHA28EDIFICIO3	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	47	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-16,42155117	

Response Profile	
Level	Count
1	34
3	13

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-31,68928	9,22785	11,7930	0,0006	Intercept
TOP	1	1,37722	0,39437	12,1955	0,0005	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
23,0095701	0,72609946

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,044163	-0,022681
SIGMA	-0,022681	0,043231

Planilha 33, edificio 1. San Francisco, Califórnia (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information		
Name	Levels	Values
MCI	2	1 3

Model Information		
Data Set	WORK,PLANILHA33EDIFICIO1	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	122	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-40,66776614	

Response Profile	
Level	Count
1	77
3	45

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-38,39929	7,10315	29,2243	<,0001	Intercept
TOP	1	1,61018	0,29777	29,2402	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
23,8477654	0,62104704

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,009729	-0,000011
SIGMA	-0,000011	0,013191

Planilha 33, edifício 5. San Francisco, Califórnia (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information			
Name	Levels	Values	
MCI	2	1	3

Model Information		
Data Set	WORK,PLANILHA33EDIFICIO5	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	115	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-44,4519216	

Response Profile	
Level	Count
1	66
3	49

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-40,93091	6,32006	41,9430	<,0001	Intercept
TOP	1	1,83023	0,28157	42,2518	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
22,3638604	0,54638074

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,006853	-0,000981
SIGMA	-0,000981	0,007066

Planilha 33, edifício 6. San Francisco, Califórnia (Verão).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information		
Name	Levels	Values
MCI	2	1 3

Model Information		
Data Set	WORK,PLANILHA33EDIFICIO6	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	123	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-51,94916693	

Response Profile	
Level	Count
1	89
3	34

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-21,24186	3,77036	31,7409	<,0001	Intercept
TOP	1	0,89950	0,15584	33,3170	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
23,6153052	1,11173448

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,033634	-0,018771
SIGMA	-0,018771	0,037097

Planilha 35, edificio 1. San Francisco, Califórnia (Inverno).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information			
Name	Levels	Values	
MCI	2	1	3

Model Information		
Data Set	WORK,PLANILHA35EDIFICIO1	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	121	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-51,44065178	

Response Profile	
Level	Count
1	63
3	58

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-33,06813	5,57751	35,1511	<,0001	Intercept
TOP	1	1,42781	0,24069	35,1895	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
23,1599692	0,70037127

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,009810	-0,000104
SIGMA	-0,000104	0,013939

Planilha 35, edificio 5. San Francisco, Califórnia (Inverno).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information		
Name	Levels	Values
MCI	2	1 3

Model Information		
Data Set	WORK,PLANILHA35EDIFICIO5	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	131	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-63,66628706	

Response Profile	
Level	Count
1	68
3	63

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-19,08555	2,94146	42,1003	<,0001	Intercept
TOP	1	0,85874	0,13178	42,4634	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
22,2250111	1,1644939

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,021947	-0,002054
SIGMA	-0,002054	0,031934

Planilha 35, edificio 6. San Francisco, Califórnia (Inverno).

The SAS System

Probit Procedure

Class Level Information			
Name	Levels	Values	
MCI	2	1	3

Model Information		
Data Set	WORK,PLANILHA35EDIFICIO6	
Dependent Variable	MCI	MCI
Number of Observations	136	
Name of Distribution	NORMAL	
Log Likelihood	-59,51465548	

Response Profile	
Level	Count
1	92
3	44

Algorithm converged

Analysis of Parameter Estimates						
Variable	DF	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq	Label
Intercept	1	-23,04163	3,87340	35,3868	<,0001	Intercept
TOP	1	1,00708	0,16670	36,4967	<,0001	TOP

Probit Model in Terms of Tolerance Distribution	
MU	SIGMA
22,8795675	0,99296641

Estimated Covariance Matrix for Tolerance Parameters		
	MU	SIGMA
MU	0,020269	-0,009322
SIGMA	-0,009322	0,027016

```

data adriana;
set work;
proc probit data=adriana;
class MCI;
model MCI = TOP;
output out=saida p=p;
run;
data prob;
set saida;
if MCI=3 then p= 1-p;
run;

```

Anexo H
