

**WAGNER AUGUSTO ANDREASI**

**MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EM  
REGIÃO DE CLIMA QUENTE E ÚMIDO DO BRASIL.**

Tese apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil  
Orientador: Prof. Roberto Lamberts, PhD

Florianópolis  
2009

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária  
da  
Universidade Federal de Santa Catarina

A557m Andreasi, Wagner Augusto  
Método de avaliação de conforto térmico em região  
de clima quente e úmido do Brasil [tese] / Wagner  
Augusto Andreasi ; orientador, Roberto Lamberts. -  
Florianópolis, SC, 2009.  
204 p.: il., grafs., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia civil. 2. Conforto térmico. 3. Sen-  
sações térmicas. 4. Aceitabilidade térmica. 5. Bio-  
estatística - Pesquisa. I. Lamberts, Roberto. II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia  
Civil. III. Título.

# **MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EM REGIÃO DE CLIMA QUENTE E ÚMIDO DO BRASIL.**

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis/SC, 30 de novembro de 2009.

Prof<sup>a</sup>. Janaíde Cavalcante Rocha, Dra.  
Coordenadora do PPGEC/UFSC

Banca Examinadora:

Prof. Roberto Lamberts, PhD.  
Orientador - DEC/UFSC

Prof<sup>a</sup>. Lucila Chebel Labaki, Livre Docente  
Membro Externo - Unicamp

Prof. Maurício Roriz, Dr.  
Membro Externo - UFSCar

Prof. Antonio Augusto de Paula Xavier, Dr.  
Membro Externo - UTFPR

Prof. EneDIR Ghisi, Dr.  
Membro - UFSC



## RESUMO

Atualmente para a avaliação de conforto térmico no ambiente construído é recomendada a aplicação do modelo Fanger ou VMP/PPD, normalizado pela ISO7730. Tal modelo baseia-se no princípio físico do balanço térmico entre o homem e o ambiente, que leva em conta a relação entre as sensações térmicas experimentadas pelas pessoas e a carga térmica que atua sobre seus corpos, essa última definida como a diferença entre a produção interna de calor do corpo - representada pela taxa metabólica - e os mecanismos fisiológicos de transferência desse calor para o ambiente. Ocorre que esse modelo foi desenvolvido a partir de experimento realizado em câmara climatizada, com as variáveis climáticas controladas pelo pesquisador, diferentemente da realidade de campo. Isso tem permitido que com frequência haja discrepâncias entre as sensações indicadas pelas pessoas e a indicada pelo referido modelo. Essas discrepâncias são observadas em várias regiões do mundo, inclusive no Brasil, conforme relatado nos nossos poucos trabalhos já desenvolvidos. Nesse contexto, o objetivo principal desta tese foi estabelecer modelo alternativo para a avaliação de conforto térmico em ambientes internos de edificações localizadas em região de clima quente do Brasil, com pessoas desenvolvendo atividade sedentária, a partir de dados levantados em 3 ambientes ventilados naturalmente e outro artificialmente climatizado. Para tanto, o modelo resultante empregou dados obtidos a partir de equipamentos de fácil utilização, correntemente encontrados no mercado regional e que não fossem financeiramente dispendiosos. Além disso, aplicou os conceitos da Bioestatística em função do forte e inquestionável componente psicológico existente na informação das sensações e preferências térmicas humanas. No desenvolvimento da pesquisa, observaram-se contradições a algumas afirmativas existentes no modelo Fanger; por exemplo, a existência no ambiente condicionado artificialmente, em alguns períodos do experimento, de diferenças significativas entre os gêneros dos voluntários. Conclusão ainda mais interessante foi a de que os votos manifestados pelos homens e mulheres no ambiente condicionado artificialmente não revelaram correlação com o índice de isolamento médio das roupas utilizadas, o que sugere novos experimentos. Da mesma forma, verificou-se a existência de diferenças entre as avaliações térmicas manifestadas pelos dois grupos de recrutas e veteranos, o que também contraria o afirmado no embasamento do modelo normalizado, em que se afirma não haverem sido encontradas diferenças significativas entre voluntários de diferentes regiões e idades.



The assessment of thermal comfort in a built environment is currently performed through the application of Fanger model or PMV/PPD model, normalized by ISO7730. Such a model is based on a physical principle of thermal balance between man and the environment, which takes into account the relationship between the thermal sensations experienced by the people and the thermal load that acts upon their bodies, that is defined as the difference between the inner production of the body's heat – represented by the metabolic rate – and the physiological transference mechanisms of heat to the environment. This model, however, was developed from an experiment conducted in acclimatized chamber with climatic variables controlled by the researcher, differently from the field reality. This has allowed frequent discrepancies between the sensations indicated by the people and that indicated by the model. These discrepancies have been observed in several regions in the world, including Brazil, as reported in the few studies developed.

The main objective of this paper is to establish an alternative model to assess thermal comfort in indoor environments of buildings located in a hot region in Brazil, with people developing sedentary activities. Data were collected in one artificially acclimatized environment and in three naturally ventilated ones. In addition, the model obtained data from non costly, easy-to-use equipment, currently found in the regional market. The proposed model applied biostatistics concepts because of the sound and undisputable psychological component existing in the information of human sensations and thermal preferences. During the development of the research, contradictions were observed to some affirmations in the Fanger model; for example, significant differences between the gender of the participants were seen in conditioned environment in some periods of experiment. A more interesting conclusion was that the votes manifested by males and females did not show correlation with the index of mean thermal isolation of the clothes worn, which suggests new experiments.

Likewise, differences between the thermal assessments of the two groups (recruits and veterans) were seen, which also disproves the standardized model, which affirms that no significant differences were seen between voluntaries of different regions and ages. Thus, the results presented in this work should contribute to research on thermal comfort developed in Brazil. In addition to proposing an alternative model of assessment in naturally conditioned environments, they reveal new contradictions to the standardized model



Agradeço à Deus, aos meus saudosos pais pelo exemplo de vida e a minha querida esposa Márcia e filhos Fábio, Thiago, Paula e André pelo apoio incondicional.



## AGRADECIMENTOS

---

Ao Professor Roberto Lamberts, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, pela maneira profissional e amiga com que se dedicou na orientação desta Tese;

Ao Professor Idone Bringhenti que com sua dedicação contribuiu com a concretização da pós-graduação no DEC - Departamento de Estruturas e Construção Civil da FUFMS - Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

À Universidade Federal de Santa Catarina, na pessoa do Professor Humberto Roman, que juntamente com o Professor Lamberts foi participante decisivo na celebração e coordenação do convênio interinstitucional que permitiu que a pós-graduação no DEC se tornasse realidade.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, nas pessoas de seus Reitores Jorge Chacha, Manoel Catarino Paes Peró e Célia Maria da Silva Oliveira, que não mediram esforços na FUFMS para, respectivamente, a formatação, a realização deste projeto interinstitucional de pós-graduação.

Ao Comando Militar do Oeste, que desde o início permitiu a participação de militares das unidades *3ª Cia de Fronteira de Forte Coimbra*, *18ª Brigada de Infantaria de Fronteira* de Corumbá e *20º Regimento de Cavalaria Blindado de Campo Grande* para a realização deste trabalho.

À Arquiteta Mariselma Vila Maior Zapata, gerente da *Gerência de Filial de Apoio ao Desenvolvimento Urbano - GIDUR* - da Caixa Econômica Federal de Campo Grande, pela permissão de que parte deste trabalho fosse ali desenvolvido.

À nossa amiga e doutoranda Christina Cândido.

Na pessoa do meu caríssimo irmão Odilar Costa Rondon, agradeço aos que sempre estiveram de alguma forma, mesmo a distância, dispostos a contribuir com meu êxito.

Finalmente, aos meus colegas professores que participaram das Bancas de Qualificação e de Defesa desta Tese, cujos comentários estritamente científicos manifestados, foram efetivamente fatores preponderantes na finalização deste trabalho.



<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>27</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES .....	27
1.2	MOTIVAÇÃO PARA DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA .....	29
1.2.1	Avaliação do conforto térmico em pesquisa de campo, com aplicação dos modelos Fanger ou da ISO 7730(1994), Humphreys e Nicol (2002), Fanger e Toftum (2002), em região de clima quente e úmido do Brasil .....	30
1.2.2	A presunção da necessidade de se propor <i>fator de correção</i> ao Voto Médio Predito calculado através da ISO 7730 (1994) como também de <i>equação de cálculo</i> do Voto de Sensação Térmica a partir do Voto Médio Predito para avaliação de conforto térmico em região de clima quente e úmido do Brasil .....	30
1.2.3	Localização geográfica das cidades envolvidas .....	32
1.2.4	Análise dos fatores subjetivos aclimatação, expectativa e lembrança térmica, como fenômenos intervenientes no estudo de conforto térmico .....	33
1.3	CONSIDERAÇÕES PERTINENTES.....	34
1.4	OBJETIVOS DESTE TRABALHO .....	35
1.4.1	Geral .....	35
1.4.2	Específicos .....	35
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	36
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>37</b>
2.1	O ESTUDO SOBRE CONFORTO TÉRMICO .....	37
2.1.1	As pesquisas brasileiras sobre conforto térmico .....	39
2.1.2	As pesquisas sobre conforto térmico em outros países ..	44
2.2	FATORES INTERVENIENTES NO CONFORTO TÉRMICO HUMANO .....	61
2.2.1	Fatores climáticos .....	62
2.2.2	Fatores relacionados à fisiologia humana .....	63
2.2.2.1	A fisiologia da termorregulação humana .....	63
2.2.2.2	Fatores fisiológicos específicos de interesse deste trabalho.....	66
2.2.3	Fatores subjetivos que influenciam as manifestações do conforto térmico experimentado, sob enfoque da psicologia humana .....	70

2.2.3.1	Metodologia estatística aplicada aos fatores subjetivos, sob o enfoque da psicologia humana .....	76
2.3	SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	77
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>78</b>
3.1	AQUISIÇÃO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS INTERNAS E EXTERNAS .....	79
3.2	AQUISIÇÃO DAS VARIÁVEIS SUBJETIVAS MANIFESTADAS PELOS VOLUNTÁRIOS .....	80
3.2.1	Dos indivíduos participantes nos ambientes condicionados naturalmente .....	80
3.2.2	Dos indivíduos participantes no ambiente condicionado artificialmente.....	82
3.3	AMOSTRAS DE DADOS OBTIDAS .....	83
3.3.1	Ambientes condicionados naturalmente .....	83
3.3.2	Ambiente condicionado artificialmente .....	85
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>86</b>
4.1	DADOS FÍSICOS DOS VOLUNTÁRIOS ENVOLVIDOS .....	86
4.2	DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS .....	91
4.2.1	Ambientes condicionados naturalmente .....	91
4.2.2	Ambientes condicionados artificialmente .....	110
4.3	ANÁLISE DOS VOTOS SUBJETIVOS (VOTO DE SENSAÇÃO E DE PREFERÊNCIA TÉRMICA) INDICADOS PELOS VOLUNTÁRIOS E DO VOTO MÉDIO PREDITO E DO PERCENTUAL DE PESSOAS TERMICAMENTE DESCONFORTÁVEIS CALCULADOS SEGUNDO A ISO 7730(1994) NOS EXPERIMENTOS .....	118
4.3.1	Análise estatística dos VST e VPT .....	121
4.3.1.1	Ambientes condicionados naturalmente .....	121
4.3.1.2	Ambiente condicionado artificialmente .....	128
4.4	EQUAÇÕES PARA CÁLCULO DO VOTO DE SENSAÇÃO TÉRMICA A PARTIR DOS VOTOS MÉDIOS PREDITOS OBTIDOS PELA APLICAÇÃO DA ISO 7730(1994), DOS MODELOS ADAPTATIVOS PROPOSTOS POR HUMPHREYS E NICOL (2002) E FANGER E TOFTUM (2002) E EM FUNÇÃO DO VOTO MÉDIO PREDITO OBTIDO PELA APLICAÇÃO DA ISO 7730(1994) E DAS VARIÁVEIS CLIMÁTI-	

	CAS EXTERNAS.....	131
4.4.1	Ambientes condicionados naturalmente .....	131
4.4.2	Ambiente condicionado artificialmente .....	133
4.5	ANÁLISES DO PERCENTUAL DE PESSOAS TERMICAMENTE DESCONFORTÁVEIS.....	134
4.6	ANÁLISE DO VOTO MAIS SIGNIFICATIVO EN- TRE OS VOTOS DE SENSAÇÃO TÉRMICA E VO- TO DE PREFERÊNCIA TÉRMICA PARA AVALI- AÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTE CONDICIONADO NATURALMENTE.....	139
4.7	A INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE MÉDIA DO AR NOS VOTOS DE SENSAÇÃO TÉRMICA E VOTO DE PREFERÊNCIA TÉRMICA NA PREDIÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES CONDI- CIONADOS NATURALMENTE .....	141
4.8	A ACLIMATAÇÃO, LEMBRANÇA E EXPECTA- TIVA TÉRMICA DOS VOLUNTÁRIOS .....	145
4.8.1	A aclimação dos voluntários aos ambientes condicio- nados naturalmente .....	145
4.8.2	A lembrança térmica dos voluntários, nos ambientes con- dicionados naturalmente .....	149
4.8.3	A expectativa térmica dos voluntários .....	151
4.9	A ACEITABILIDADE TÉRMICA DOS AMBIEN- TES .....	153
4.9.1	Ambientes condicionados naturalmente .....	154
4.9.1.1	Análise da aceitabilidade térmica segundo a ISO 10551:1995(E) .....	154
4.9.1.2	Análise da aceitabilidade térmica segundo a ISO/FDIS 7730:2005(E) .....	155
4.9.1.3	Análise da aceitabilidade térmica segundo a ASHRAE Standard 55(2004) .....	157
4.9.1.4	Análise da aceitabilidade térmica segundo o modelo o Adaptive Temperature Limits (ATG) proposto por A.C. van der Linden et al. (2006) .....	164
4.9.1.5	Análise da aceitabilidade térmica segundo a prEN 15251:2005(E) - Criteria for the Indoor Environment including thermal, indoor air quality, light and noise .....	167
4.8.2	Ambiente condicionado artificialmente - GIDUR/Campo Grande .....	170
4.9.2.1	Análise da aceitabilidade térmica segundo a ISO 10551:1995(E) .....	170

4.9.2.2	Análise da aceitabilidade térmica segundo a ISO FDIS 7730:2005(E) .....	170
4.9.2.3	Análise da aceitabilidade térmica segundo a ASHRAE Standard 55:2004 .....	171
4.9.2.4	Análise da aceitabilidade térmica segundo o modelo ATG) proposto em A. C. van der Linden et al. (2006) ..	172
4.9.2.5	Análise da aceitabilidade térmica segundo a prEN 15251:2005(E) – Criteria for the Indoor Environment including thermal, indoor air quality, light and noise .....	173
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	174
5.1	EQUAÇÕES DE CÁLCULO DO VOTO DE SENSACÃO TÉRMICA .....	175
5.2	AVALIAÇÃO DOS VOTOS DE SENSACÃO TÉRMICA E DE PREFERÊNCIA TÉRMICA, OBSERVADOS NOS EXPERIMENTOS FRENTE ÀS METODOLOGIAS ISO7730(1994); HUMPHREYS E NICOL (2002) E FANGER E TOFTUM (2002). ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS VOTOS DE SENSACÃO TÉRMICA E DE PREFERÊNCIA TÉRMICA.....	176
5.3	PERCENTUAIS OBITOS DE PESSOAS TERMICAMENTE DESCONFORTÁVEIS .....	178
5.4	ANÁLISE DO VOTO MAIS SIGNIFICATIVO ENTRE O VOTOS DE SENSACÃO TÉRMICA E DE PREFERÊNCIA TÉRMICA PARA AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTE CONDICIONADO NATURALMENTE .....	179
5.5	IMPORTÂNCIA DA VELOCIDADE DO AR NO VOTO DE SENSACÃO TÉRMICA E NO VOTO DE PREFERÊNCIA TÉRMICA NA PREDIÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO INTERNO .....	180
5.6	ACLIMATAÇÃO, LEMBRANÇA E EXPECTATIVA TÉRMICA .....	181
5.6.1	Aclimação .....	181
5.6.2	Lembrança térmica .....	182
5.6.3	Expectativa térmica .....	182
5.7	AVALIAÇÃO DA ACEITABILIDADE TÉRMICA DOS AMBIENTES FRENTE ÀS METODOLOGIAS DA ISO10551:1995(E); ASHRAE STANDARD 55-2004, AGT(VAN DER LINDER ET AL. 2006) E A PREN15251	

	05-2005 .....	182
5.7.1	Ambientes condicionados naturalmente .....	183
5.7.2	Ambiente condicionado artificialmente .....	185
5.8	PRINCIPAL CONCLUSÃO DESTE TRABALHO .....	187
5.9	LIMITAÇÕES OBSERVADAS .....	186
<b>6.</b>	<b>PROPOSTAS PARA FUTUROS TRABALHOS.....</b>	<b>189</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>190</b>
<b>8.</b>	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>200</b>
8.1	APENDICE 1- QUESTIONÁRIO APLICADO NOS AMBIENTES CONDICIONADOS NATURALMENTE NO INÍCIO DA MANHÃ .....	200
8.2	APENDICE 2 - QUESTIONÁRIO APLICADO NOS AMBIENTES CONDICIONADOS NATURALMENTE NO INÍCIO DO PERÍODO DA TARDE.....	201
8.3	APENDICE 3 - QUESTIONÁRIO APLICADO NO AMBIENTE CONDICIONADO ARTIFICIALMENTE NO INÍCIO DO PERÍODO DA TARDE .....	203

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.	Mapa climatológico do Brasil. Fonte: IBGE .....	31
Fig. 2.	Escala Griffiths (1990) para indicação da sensação térmica desejável. Apud Humphreys e Hancock (2007).....	59
Fig. 3.	Histograma da variável “altura” entre os recrutas .....	86
Fig. 4.	Histograma da variável “altura” entre os veteranos ....	87
Fig. 5.	Histograma da variável “idade” no ACA, em abril.....	88
Fig. 6.	Histograma da variável “altura” no ACA, em abril.....	88
Fig. 7.	Histograma da variável “peso” no ACA, em abril.....	89
Fig. 8.	Histograma da variável “idade” no ACA, em novembro.....	89
Fig. 9.	Histograma da variável “altura” no ACA, em novembro.....	90
Fig. 10.	Histograma da variável “peso” no ACA, em novembro.....	90
Fig. 11.	Histograma da variável “ $t_a$ ext” em abril, em Coimbra.....	92
Fig. 12.	Histograma da variável “UR ext” em abril, em Coimbra.....	92
Fig. 13.	Histograma da variável “ $t_a$ ext” em abril, em Corumbá.....	93
Fig. 14.	Histograma da variável “UR ext” em abril, em Corumbá.....	93
Fig. 15.	Histograma da variável “ $t_a$ ext” em abril, em Campo Grande.....	94
Fig. 16.	Histograma da variável “UR ext” em abril, em Campo Grande.....	94
Fig. 17.	Histograma da variável “ $t_a$ ext” em novembro, em Coimbra.....	95
Fig. 18.	Histograma da variável “UR ext” em novembro, em Coimbra.....	95
Fig. 19.	Histograma da variável “ $t_a$ ext” em novembro, em Corumbá.....	96
Fig. 20.	Histograma da variável “UR ext” em novembro, em Corumbá.....	96
Fig. 21.	Histograma da variável “ $t_a$ ext” em novembro, em Campo Grande.....	97
Fig. 22.	Histograma da variável “UR ext” em novembro, em	

	Campo Grande.....	97
Fig. 23.	Histograma da variável “ $t_g$ ” em abril, em Coimbra....	98
Fig. 24.	Histograma da variável “ $t_a$ ” em abril, em Coimbra....	98
Fig. 25.	Histograma da variável “UR” em abril, em Coimbra..	99
Fig. 26.	Histograma da variável “ $v_a$ ” em abril, em Coimbra....	99
Fig. 27.	Histograma da variável “ $t_g$ ” em abril, em Corumbá... 100	
Fig. 28.	Histograma da variável “ $t_a$ ” em abril, em Corumbá... 100	
Fig. 29.	Histograma da variável “UR” em abril, em Corumbá.. 101	
Fig. 30.	Histograma da variável “ $v_a$ ” em abril, em Corumbá... 101	
Fig. 31.	Histograma da variável “ $t_g$ ” em abril, em Campo Grande.....	102
Fig. 32.	Histograma da variável “ $t_a$ ” em abril, em Campo Grande.....	102
Fig. 33.	Histograma da variável “UR” em abril, em Campo Grande.....	103
Fig. 34.	Histograma da variável “ $v_a$ ” em abril, em Campo Grande.....	103
Fig. 35.	Histograma da variável “ $t_g$ ” em novembro, em Coimbra.....	104
Fig. 36.	Histograma da variável “ $t_a$ ” em novembro, em Coimbra.....	105
Fig. 37.	Histograma da variável “UR” em novembro, em Coimbra.....	105
Fig. 38.	Histograma da variável “ $v_a$ ” em novembro, em Coimbra.....	106
Fig. 39.	Histograma da variável “ $t_g$ ” em novembro, em Corumbá.....	106
Fig. 40.	Histograma da variável “ $t_a$ ” em novembro, em Corumbá.....	107
Fig. 41.	Histograma da variável “UR” em novembro, em Corumbá.....	107
Fig. 42.	Histograma da variável “ $v_a$ ” em novembro, em Corumbá.....	108
Fig. 43.	Histograma da variável “ $t_g$ ” em novembro, em Campo Grande.....	108
Fig. 44.	Histograma da variável “ $t_a$ ” em novembro, em Campo Grande.....	109
Fig. 45.	Histograma da variável “UR” em novembro, em Campo Grande.....	109
Fig. 46.	Histograma da variável “ $v_a$ ” em novembro, em Campo Grande.....	110

Fig. 47.	Histograma da variável “ $t_a$ ext” em abril, na GI-DUR/CEF.....	111
Fig. 48.	Histograma da variável “UR ext” em abril, na GI-DUR/CEF.....	111
Fig. 49.	Histograma da variável “ $t_a$ ext” em novembro, na GIDUR/CEF.....	112
Fig. 50.	Histograma da variável “UR ext” em novembro, na GIDUR/CEF.....	112
Fig. 51.	Histograma da variável “ $t_g$ ” em abril, na GIDUR/CEF	114
Fig. 52.	Histograma da variável “ $t_a$ ” em abril, na GIDUR/CEF	114
Fig. 53.	Histograma da variável “UR” em abril, na GI-DUR/CEF.....	115
Fig. 54.	Histograma da variável “ $v_a$ ” em abril, na GI-DUR/CEF.....	115
Fig. 55.	Histograma da variável “ $t_g$ ” em novembro, na GI-DUR/CEF.....	116
Fig. 56.	Histograma da variável “ $t_a$ ” em novembro, na GI-DUR/CEF.....	116
Fig. 57.	Histograma da variável “UR” em novembro, na GI-DUR/CEF.....	117
Fig. 58.	Histograma da variável “ $v_a$ ” em novembro, na GI-DUR/CEF.....	117
Fig. 59.	Freqüência dos votos de preferência térmica nos ambientes condicionados naturalmente .....	122
Fig. 60.	Freqüência dos votos de preferência térmica nos ambientes condicionados naturalmente .....	122
Fig. 61.	Correlação entre o voto de sensação térmica e o voto de preferência térmica nos ambientes condicionados naturalmente .....	124
Fig. 62.	Correlação entre o voto de preferência térmica e o voto médio predito nos ambientes condicionados naturalmente .....	125
Fig. 63.	Correlação entre os votos de sensação térmica e os votos médios preditos nos ambientes condicionados naturalmente .....	126
Fig. 64.	Correlações entre os votos de sensação térmica e os votos médios preditos - $VMP_{H,N(2002)}$ - nos ambientes condicionados naturalmente .....	128
Fig. 65	Correlações entre os votos de sensação térmica e os votos médios preditos - $VMP_{F,T(2002)}$ - nos ambientes condicionados naturalmente .....	128

Fig. 66.	Freqüência dos votos de sensação térmica no ambiente condicionado artificialmente .....	129
Fig. 67.	Freqüência dos votos de preferência térmica no ambiente condicionado artificialmente .....	129
Fig. 68.	Correlação entre o percentual de pessoas termicamente desconfortáveis - $PPD_{ISO7730}$ - e os votos de sensação térmica médios .....	134
Fig. 69.	Correlação entre os percentuais de pessoas termicamente desconfortáveis observados - $PPD^*$ - e os votos de sensação térmica - $VST_{médios (+ -1; + -2 e + -3)}$ .....	135
Fig. 70.	Correlação entre percentuais de pessoas termicamente desconfortáveis observados - $PPD^* \times VST_{(- 50\% \text{ daqueles que votaram } +1 \text{ ou } -1 \text{ na escala de sensação térmica})}$ .....	135
Fig. 71.	Correlação entre percentuais de pessoas termicamente desconfortáveis observados - $PPD^* \times VST_{(Votos \text{ confortáveis})}$ .....	138
Fig. 72.	Correlação entre os votos de sensação térmica e as temperaturas operativas para os ambientes condicionados naturalmente .....	139
Fig. 73.	Correlação entre os votos de preferência térmica e as temperaturas operativas para os ambientes condicionados naturalmente .....	140
Fig. 74.	Proposta de Gráfico de Ventilação de Conforto para Coimbra e Corumbá .....	144
Fig. 75.	Temperatura neutra em função dos votos de sensação térmica dos veteranos e recrutas nos ambientes condicionados naturalmente .....	147
Fig. 76.	Temperatura neutra em função do voto médio predito nos ambientes condicionados naturalmente .....	148
Fig. 77.	Relacionamento entre os percentuais de pessoas termicamente desconfortáveis e os votos de inaceitabilidade térmica com as temperaturas operativas .....	156
Fig. 78.	Temperatura operativa aceitável em Coimbra, em abril - Gráfico adaptado da ASHRAE Standard 55:2004.....	158
Fig. 79.	Temperatura operativa aceitável em Coimbra, em novembro - Gráfico adaptado da ASHRAE Standard 55:2004.....	158
Fig. 80.	Temperatura operativa aceitável em Corumbá, em abril - Gráfico adaptado da ASHRAE Standard 55:2004.....	160

Fig. 81.	Temperatura operativa aceitável em Corumbá, em novembro - Gráfico adaptado da ASHRAE Standard 55:2004.....	161
Fig. 82.	Temperatura operativa aceitável em Campo Grande, em abril - Gráfico adaptado da ASHRAE Standard 55:2004.....	162
Fig. 83.	Temperatura operativa aceitável em Campo Grande, em novembro - Gráfico adaptado da ASHRAE Standard 55:2004 .....	163
Fig. 84.	<i>Adaptive Temperature Limits (ATG)</i> para ambientes condicionados naturalmente, em Coimbra .....	165
Fig. 85.	<i>Adaptive temperature limits (ATG)</i> para ambientes condicionados naturalmente, em Corumbá .....	165
Fig. 86.	<i>Adaptive temperature limits (ATG)</i> para ambientes condicionados naturalmente em Campo Grande, em novembro .....	166
Fig. 87.	Valores para temperatura operativa interna para Coimbra de acordo com a prEN 15251:2005(E) .....	167
Fig. 88.	Valores para temperatura operativa interna para Corumbá de acorod com a prEN 15251:2005(E) .....	168
Fig. 89.	Valores para temperatura operativa interna para Campo Grande de acordo com a prEN 15251:2005(E).....	169
Fig. 90.	Gráfico da zona de conforto da ASHRAE Standard 55:2004 para o ambiente condicionado artificialmente .....	171
Fig. 91.	<i>Adaptive temperature limits (ATG)</i> para ambiente condicionado artificialmente, em Campo Grande, em abril e novembro .....	172

## LISTA DE TABELAS

Tab. 1.	Classificações climáticas regionais segundo Köppen e IBGE.....	32
Tab. 2.	Valores de temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade do ar para <i>sensação de conforto ótima</i> .....	39
Tab. 3.	Valores de temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade do ar para <i>sensação de conforto um pouco quente</i> .....	40
Tab. 4.	Valores de temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade do ar para <i>sensação de conforto fresca</i> .....	40
Tab. 5.	Características técnicas dos sensores que equipam o BABUC.....	79
Tab. 6.	Características técnicas dos sensores HOBO® .....	79
Tab. 7.	Amostras de voluntários em cada ambiente condicionado naturalmente .....	84
Tab. 8.	Amostras de voluntários no ambiente condicionado artificialmente .....	85
Tab. 9.	Estatísticas da amostra dos voluntários nos ambiente condicionado naturalmente.....	86
Tab. 10.	Estatísticas da amostra dos voluntários no ambiente condicionado artificialmente .....	87
Tab. 11.	Variáveis climáticas externas observadas nos ambiente condicionado naturalmente, nas 24hs anteriores aos experimentos .....	91
Tab. 12.	Dados observados nos ambiente condicionado naturalmente, em abril .....	98
Tab. 13.	Dados observados nos ambiente condicionado naturalmente, em novembro .....	104
Tab. 14.	Variáveis climáticas externas ao ambiente condicionado artificialmente.....	110
Tab. 15.	Dados observados no ambiente condicionado artificialmente, em abril e novembro .....	113
Tab. 16.	Votos de sensação e preferência térmica médios em abril nos ambientes condicionados naturalmente.....	119
Tab. 17.	Votos de sensação térmica médios e votos médios preditos em novembro nos ambientes condicionados naturalmente .....	120

Tab. 18.	Votos de sensação térmica médios e votos médios preditos em abril e novembro, no ambiente condicionado artificialmente .....	121
Tab. 19.	Correlações entre os votos de sensação térmica e médios preditos encontradas em abril e novembro nos ambientes condicionados naturalmente .....	127
Tab. 20.	Análise de regressão entre os votos de sensação térmica e votos médios preditos - $VMP_{ISO7730(1994)}$ - e a temperatura e umidade relativa externas, nos ambientes condicionados naturalmente .....	132
Tab. 21	Análise de regressão entre os votos de sensação térmica e votos médios preditos - $VMP_{ISO7730(1994)}$ - e a temperatura e umidade relativa externas, no ambiente condicionado artificialmente .....	133
Tab. 22.	Votos de sensação térmica e os percentuais de pessoas termicamente desconfortáveis obtidos com a aplicação da hipótese 2 .....	135
Tab. 23.	Votos de sensação térmica e os percentuais de pessoas termicamente desconfortáveis obtidos com a aplicação da hipótese 3.....	136
Tab. 24.	Votos de sensação térmica obtidos com a aplicação da hipótese 4 .....	136
Tab. 25.	Votos de sensação térmica e os percentuais de pessoas termicamente desconfortáveis obtidos na aplicação da hipótese 4.....	137
Tab. 26.	Percentuais de respostas fornecidas ao quesito 5, nos ambientes condicionados naturalmente .....	141
Tab. 27.	Votos de sensação térmica em função da localização do assento em Corumbá, em abril .....	142
Tab. 28.	Votos de sensação e preferência térmica em Coimbra, em novembro .....	143
Tab. 29.	Votos de sensação e preferência térmica informados em Coimbra, Corumbá e em Campo Grande, em abril	145
Tab. 30.	Votos de sensação e preferência térmica informados em Coimbra e em Corumbá, em novembro .....	146
Tab. 31.	Temperaturas neutras obtidas no experimento .....	148
Tab. 32.	Estatística das temperaturas noturnas verificadas em Coimbra, em abril .....	150
Tab. 33.	Percentual das manifestações dos voluntários sobre suas expectativas térmicas, temperaturas externas e VST observados.....	151

Tab. 34.	Percentual de aceitabilidade térmica manifestada pelos voluntários nos ambientes condicionados naturalmente .....	154
Tab. 35.	Valores obtidos nos ambientes condicionados Naturalmente .....	155
Tab. 36.	Percentual de aceitabilidade térmica manifestada pelos voluntários no ambiente condicionado artificialmente.....	170
Tab. 37.	Valores obtidos no ambiente condicionado artificialmente com a aplicação da ISO/FDIS 7730:2005 (E) [2] .....	170
Tab. 38.	Dados característicos do ambiente condicionado artificialmente .....	171
Tab. 39.	Categorias de ambientes térmicos .....	173
Tab. 40.	Resultados das metodologias de avaliação da aceitabilidade térmica nos ambientes condicionados naturalmente .....	185
Tab. 41.	Aceitabilidade térmica no ambiente condicionado artificialmente .....	186

---



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

O estudo de conforto térmico visa, além da análise ambiental, ao oferecimento de diretrizes que venham satisfazer o homem, permitindo-lhe sentir-se termicamente confortável tanto no ambiente familiar como no social, de lazer ou de trabalho. Neste último em particular, Lorsch e Abdou (1994), entre outros pesquisadores, já demonstravam que melhores condições térmicas no trabalho tendem a aumentar a produtividade e, opostamente, quando a temperatura atinge níveis desconfortáveis a produção humana é reduzida.

Ainda devemos considerar que na busca de ambientes mais confortáveis a solução normalmente adotada é inadvertidamente utilizar-se o condicionamento artificial, estratégia atual, mas que mais do que nunca contraria fatores importantes como os relacionados com o consumo e a conservação de energia.

Nesse sentido, Nicol (2007) afirma, sobre o relacionamento de conforto com a utilização de energia nos edifícios, que o consumo de energia nos edifícios é criticamente dependente de sua temperatura interna que, por sua vez, está relacionada com sensibilidade de seus ocupantes. No seu entendimento, edifícios termicamente desconfortáveis afetam tanto o bem-estar como a saúde de seus ocupantes, implicando na execução de ações que podem comprometer a economia de energia na edificação. Nessa busca de se manter o conforto térmico interno com menor consumo de energia, Wan et al. (2009) concluíram que a influência da umidade relativa é maior que a da temperatura interna e que o consumo de energia em edifícios com ar condicionado pode ser reduzido com a manutenção de umidade relativa alta e temperatura baixa.

Já para Holmes e Hacker (2007), o desafio fundamental do século 21 é se projetarem edifícios sustentáveis com baixo consumo de energia, apesar dos verões cada vez mais quentes, resultantes das mudanças climáticas relacionadas à emissão na atmosfera, pelas atividades humanas, dos reconhecidos “greenhouses” (dióxido de carbono, metano, óxido nítrico e halocarbonos). Entretanto, em que pese a importância do tema apresentado pelos autores, “sustentabilidade” e “baixo consumo de energia”, tais assuntos não serão abordados no decorrer deste trabalho. Da mesma forma, não se discutirá, entre outros, a relação da obesidade com a temperatura interna do ambiente, apresentada por Jacobs et al. (2009) que, citando (Keith et al. 2006), afirma que o aumento do uso de central de condicionamento e aquecimento de ar pode estar contribu-

indo para o aumento dos níveis de obesidade, em função de que o corpo humano gasta menos energia nos ambiente com temperatura controlada.

Além de discutir aspectos relacionados ao tema conforto térmico, o objetivo principal deste trabalho é estabelecer metodologia alternativa para a avaliação de conforto térmico em ambientes internos de edificações localizadas em região de clima quente e úmido do Brasil. Para tanto, a discussão terá como enfoque pesquisas conduzidas por duas metodologias: as realizadas em câmaras climatizadas - onde as variáveis ambientais são gerenciadas pelo pesquisador - e as ditas “de campo”, desenvolvidas sob influência da situação climática do local e, por assim dizer, sem interferência do pesquisador.

A principal pesquisa em câmara climatizada foi concluída por Fanger, em 1970, tendo se tornando marco divisor no estudo de conforto térmico, sendo inclusive adotada como norma internacional, a ISO7730 (1994) - Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Desde então esse documento é adotado tanto para os ambientes condicionados artificialmente como também, pela falta de uma norma específica, para os ambientes condicionados naturalmente. Essa metodologia também é conhecida como Modelo Fanger ou Modelo VMP/PPD, em que por VMP entende-se Voto Médio Predito e, por PPD, Percentual de Pessoas termicamente Desconfortáveis.

Já entre as pesquisas “de campo” podemos citar Bedford (1950), que, após realizar pesquisa com trabalhadores fabris, propôs zona de conforto térmico em relação a certa escala de temperatura, e Givoni (1976), que descreveu 5 índices térmicos, objetivando a avaliação térmica pretendida. Entretanto, com a realização das pesquisas de campo os resultados decorrentes da aplicação do Modelo VMP/PPD passaram a ser questionados, oportunizando a proposição de fatores corretivos e/ou modelos adaptativos que busquem diminuir as discrepâncias observadas, como fizeram, entre outros, Fanger e Toftum (2002) e Nicol e Humphreys (2002).

Na verdade, tem-se verificado que realmente ocorrem discrepâncias com a aplicação do modelo proposto por Fanger ou da ISO7730(1994), principalmente em ambientes condicionados naturalmente localizados em região de clima quente e úmido, como observou Sharma e Ali (1986), Wong e Khoo (2003) e Feriadi e Wong (2004). A bem da verdade, em outras regiões climáticas essas discrepâncias também são encontradas, como relatam Wagner et al (2007) em trabalho realizado na Alemanha.

## 1.2 MOTIVAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Segundo Givoni (1998), é praticamente impossível que exista um índice ou norma universal de conforto térmico. Segundo o autor, países ou dada região em determinado país deve desenvolver índices e normas de conforto térmico que levem em conta, especificamente, a aclimatização da população, padrões e experiências de vida. Essa afirmativa corrobora o que se verificou em relatórios de pesquisas sobre conforto térmico.

Os modelos mais difundidos para avaliação de conforto térmico, como o VMP e o SET\* desenvolvidos por Fanger e Gagge, respectivamente, consideram o corpo humano como uma fonte estática de calor. Entretanto, (Zhu et al. 2007) entendem que pessoas em ambientes termicamente desconfortáveis tendem a se adaptarem procurando restabelecer seu nível de conforto térmico. Tal procedimento constante e ativo de troca de calor do corpo humano com o ambiente determina constante e ativa alteração no ambiente térmico.

Enquanto o modelo Fanger se propôs a analisar inicialmente ambientes condicionados artificialmente, definindo a linha dos pesquisadores “que consideram a pessoa como um passivo recipiente de estímulos térmicos”, outra, divergente, entende que, “além dos fatores físicos e fisiológicos, há a interação de outros fatores na percepção térmica. Nesses fatores se podem incluir os demográficos (gênero humano, idade, classe econômica), o contexto (projeto e função do edifício, estação climática, social) e o cognitivo (atitude, preferência e expectativa)” De (Dear et al. 1997).

Certo é que o modelo Fanger, ao ser aplicado em ambientes condicionados naturalmente, tem gerado discrepâncias, como será demonstrado na Revisão Bibliográfica desenvolvida na sequência. Em função dessas discrepâncias, vários modelos foram e estão sendo propostos, inclusive no Brasil. Entretanto, a inexistência de estudos relativos ao tema *conforto térmico em região de clima quente e úmido do Brasil* foi fator preponderante da motivação para a execução deste trabalho. A este, surgiram outros não menos importantes que são descritos nos itens a seguir.

### **1.2.1 Avaliação de conforto térmico em pesquisa de campo, com aplicação do Modelo Fanger ou da ISO 7730 (1994), Humphreys e Nicol (2002), Fanger e Toftum (2002) em região de clima quente e úmido do Brasil.**

Como já afirmado, discrepâncias são encontradas na aplicação do Modelo Fanger (1982) ou da ISO7730(1994), atual ISO/FDIS 7730:2005(E) em ambientes condicionados naturalmente em várias partes do mundo. Essa ocorrência determinou a apresentação, entre outros, dos *modelos adaptativos* propostos por Humphreys e Nicol (2002) e Fanger e Toftum (2002).

No Brasil, ainda convivemos com a precariedade do banco de dados que trata do assunto. Segundo Xavier (2000) “era praticamente total a ausência de dados nacionais até meados de 1996, quando foram publicados os resultados de pesquisa efetuada por Araújo (1996), em ambientes escolares do litoral nordestino brasileiro, mais notadamente no Rio Grande do Norte”. Tal situação ainda prevalece em relação a várias regiões brasileiras, incluindo a deste trabalho.

A realização de pesquisa em região de clima quente e úmido do Brasil que permitisse a aplicação do modelo normalizado e dos propostos por Humphreys e Nicol (2002) e Fanger e Toftum (2002), objetivando diminuir as discrepâncias encontradas em diversos experimentos, viria ao encontro do desejo da formação de banco de dados nacional.

### **1.2.2 A presunção da necessidade de se propor fator de correção ao Voto Médio Predito (VMP) calculado através da ISO 7730 (1994) como também de equação de cálculo do Voto de Sensação Térmica (VST) a partir do voto médio predito (VMP) para avaliação de conforto térmico em região de clima quente e úmido do Brasil.**

Sharma e Ali (1986), Wong e Khoo (2003) e Feriadi e Wong (2004), em trabalhos realizados em região de clima quente e úmido de outros países, são exemplos da constatação de que existem divergências entre as manifestações dos VST indicados pelos voluntários e os VMP obtidos com a aplicação da ISO 7730 (1994).

Xavier (2000), depois de extensa pesquisa realizada em “ambientes internos e condicionados da Eletrosul, SESI, Hospital Universitário e Universidade Federal em Florianópolis, SC, do Banco Central do Brasil em Brasília – Distrito Federal - e da Caixa Econômica Federal em Recife, PE., como também em ambientes internos não condicionados da Universidade Federal de Santa Catarina em Florianópolis, SC e da Escola Técnica Federal de Santa Catarina em São José, SC”, apresentou

equação para *predição das sensações térmicas* que no seu entendimento poderão ser utilizadas em situações similares às analisadas em seu trabalho. Entretanto, há que se considerar que as regiões climáticas de seu trabalho são bastante diferentes das deste trabalho, conforme exposto na Tabela 1 a seguir.

O experimento mais próximo à região deste trabalho foi o realizado na cidade de Cuiabá ( $56^{\circ}06'W / 15^{\circ}35' S$ ), capital do vizinho Estado de Mato Grosso, por Nogueira et al. (2005). Entretanto, sua região é climaticamente caracterizada pelo IBGE como “Quente, semi-úmido, com 4 a 5 meses secos” (Figura 1). Há também o realizado em Maringá ( $51^{\circ}57'W / 23^{\circ}25'S$ ) por Gomes (2003). Localizada no norte do Estado do Paraná, essa cidade está inserida também, segundo o IBGE, em região climática “Sub-Quente, super-úmido, com sub-seca”. Salienta-se que, segundo Köpper, essas localidades também recebem classificações diferentes, conforme indicado na mesma Tabela 1 a seguir.

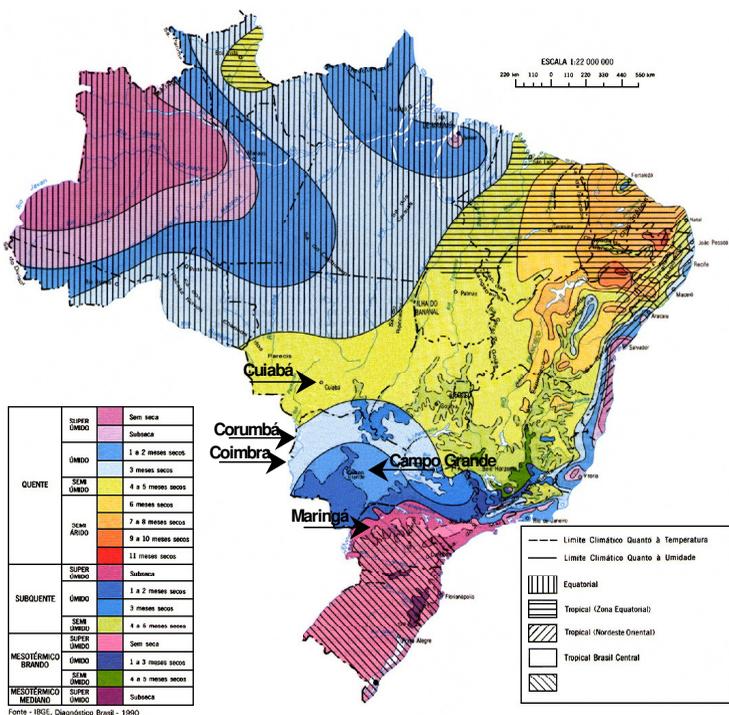


Figura 1 - Mapa climatológico do Brasil. Fonte: IBGE

Tabela 1.- Classificações climáticas regionais segundo Köppen e IBGE..

Cidades	Classificação de Köppen			Classificação segundo o IBGE
	Símbolo climático	Característica	Regime de temperaturas e chuvas	
Campo Grande	Aw (tropical)	Quente com chuva de verão.	Temperatura média entre 19°C e 28°C. Pluviosidade média inferior a 2000mm/ano. Possuem duas estações bem definidas: verão chuvoso e inverno seco.	Quente, úmido, 1 a 2 meses secos.
Corumbá e Coimbra				Quente, úmido, 3 meses secos.
Brasília				Sub-quente, úmido, 3 meses quentes.
Recife	As (tropical)	Quente, com chuvas de inverno e outono.		Quente, úmido, 3 meses quentes.
Florianópolis	Cfa (sub-tropical)	Chuvas bem distribuídas e verões rigorosos.	Médias térmicas entre 17°C e 19°C	Sub-quente, super úmido, sem seca.

Enquanto há semelhanças entre Campo Grande, Corumbá, Coimbra e Brasília na classificação segundo Köppen, observa-se, entretanto, que para o IBGE existem diferenças significativas entre elas.

Assim sendo, a expectativa da ocorrência das discrepâncias encontradas em outros experimentos permitiria definição de mecanismo mais adequado (fator de correção ao VMP e/ou modelo alternativo) para a avaliação de conforto térmico na região, fato que foi o principal motivador da realização deste trabalho.

### 1.2.3 Localização geográfica das cidades envolvidas

As cidades participantes foram Campo Grande, Corumbá e Coimbra. Campo Grande, Capital do Estado de Mato Grosso do Sul, está localizada a aproximadamente 1.100 km da cidade de São Paulo/SP. Suas coordenadas de localização são 20°27'49,83"S e 54°36'56,78"O. Corumbá dista 415 km de Campo Grande e tem coordenadas 19°0'4,94"S e 57°39'12,98"O. Já Coimbra está localizada às margens do Rio Paraguai, cujo acesso é feito por via aérea ou fluvial, a partir da vila denominada Porto Morrinho, que por sua vez está localizada a 355 km de Campo Grande e a 60 km de Corumbá.

#### **1.2.4 Análise dos fatores subjetivos: aclimação, expectativa e lembrança térmica, como fenômenos intervenientes no conforto térmico.**

A discussão sobre a influência de fatores subjetivos nas manifestações dos votos de sensação térmica (VST), bem como sua desconsideração no cálculo dos VMP não é recente. Prosser (1958) apud Stoops (2000), Parsons (1993), Fountain et al. (1996), Nikolopoulou et al. (2001), De Dear e Brager (2002), Höpfe (2002), Nikolopoulou e Steemers (2003) e Rohles (2007) demonstram isso. Por outro lado, a própria conceituação da ASHRAE Standard 55-2004 para conforto térmico: “condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico” alimenta essa discussão na medida em que admite como *condição da mente a condição individual da pessoa*, a manifestação individual de bem-estar com respeito ao ambiente térmico. Assim sendo, deve-se então considerar que nessa *percepção individual* existe componente *psicológico*, fruto da forma como o homem observa o mundo através de *múltiplos sentidos* ou *modalidades de sensação*, como entende Hochberg (1966). Esses aspectos foram determinantes para se buscar avaliar a *aclimação*, a *expectativa* e a *lembrança térmica* dos voluntários envolvidos nos experimentos deste trabalho. Justifica-se o interesse nesses fenômenos, sabidamente munidos de forte componente psicológico, pela credence popular na região de que sua população tem a capacidade de se aclimatar com mais facilidade e denunciar com grande margem de acerto sua expectativa e lembrança térmica.

### 1.3 CONSIDERAÇÕES PERTINENTES

1. Como os experimentos nos ambientes condicionados naturalmente foram realizados em abril e novembro, houve predominância dos Votos de Sensação Térmica entre 0 e +3 e dos Votos de Preferência Térmica entre 0 a -3. Tais ocorrências determinaram que não se obtivesse a simetria existente na curva resultante da relação entre o Percentual de Pessoas Termicamente Desconfortáveis e os Votos Médios Preditos ilustrada na ISO7730(1994). Para suprir essa deficiência torna-se necessário repetir o experimento no período de inverno, preferencialmente durante a ocorrência de frente fria, quando as temperaturas são bastante baixas para os padrões locais.
2. Apesar de em princípio admitir-se que haveria a manutenção do mesmo contingente de militares (voluntários) disponibilizado em abril quando da repetição do experimento em novembro, a re-adequação administrativa/operacional promovida nas unidades envolvidas não permitiu que isso acontecesse. Entretanto, tal fato não prejudicou as conclusões obtidas em função de que o contingente participante ainda foi estatisticamente significativo.
3. Enquanto nos quartéis a utilização da farda idêntica dentre os participantes permitiu a adoção de índice de isolamento de roupas constante, no ambiente condicionado artificialmente (GIDUR/CEF) isso não aconteceu, o que determinou a utilização de valores médios em cada amostra, induzindo ao questionamento da sua real influência nos resultados alcançados.
4. A mesma consideração deve ser feita com respeito à taxa metabólica tabelada pela ISO7730(1994). Enquanto os militares permaneceram sentados durante os experimentos (1,2 met), alguns funcionários da GIDUR/CG se deslocavam, ou até permanecerem por um lapso de tempo de pé, o que determinou a aplicação de taxa média (1,6 met). Essa definição, apesar de aplicada de forma correta, pode ter provocado desvio nos resultados finais apresentados neste trabalho, como a literatura existente relata.

## 1.4 OBJETIVOS DESTE TRABALHO

### 1.4.1 Geral

Estabelecimento de método para avaliação de conforto térmico em ambientes internos de edificações localizadas em região de clima quente e úmido do Brasil, com voluntários desenvolvendo atividade sedentária.

### 1.4.2 Específicos

- Avaliar, a partir dos Votos de Sensação Térmica e de Preferência Térmica a condição de conforto térmico nos ambientes previamente selecionados através da aplicação da metodologia proposta por Fanger (1982) ou da ISO7730(1994) além dos modelos adaptativos propostos por Humphreys e Nicol (2002) e Fanger e Toftum (2002).
- Definir equação de melhor significância estatística para cálculo do Votos de Sensação Térmica a partir dos Votos Médios Preditos obtidos pela aplicação da ISO 7730 (1994), dos modelos adaptativos propostos por Humphreys e Nicol (2002) e Fanger e Toftum (2002), bem como em função das variáveis climáticas externas;
- Definir os Percentuais de Pessoas Termicamente Desconfortáveis nos ambientes experimentados a partir de 4 hipóteses de manifestações dos Votos de Sensação Térmica;
- Definir entre o Voto de Sensação Térmica e o de Preferência Térmica o mais significativo para avaliação de conforto térmico em ambientes condicionados naturalmente;
- Avaliar a influência da velocidade do ar no Votos de Sensação Térmica e no Voto de Preferência Térmica na predição de conforto térmico em ambiente condicionado naturalmente;
- Avaliar a ocorrência dos fenômenos *aclimatação*, *lembrança* e *expectativa térmica* dos voluntários participantes, e
- Avaliar a aceitabilidade térmica dos ambientes pesquisados, segundo as metodologias: ISO10551:1995(E); ASHRAE Standard 55-2004, ATG de Van der Linder et al. (2006) e prEN15251 05-2005.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho se estrutura em 8 capítulos.

Depois de discorrer preliminarmente no item **1 - INTRODUÇÃO** sob aspectos pertinentes ao trabalho desenvolvido, no item **2** é apresentada **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA** da literatura que trata do *Conforto Térmico*, principalmente em relação a aspectos de interesse deste trabalho. A **METODOLOGIA** aplicada no desenvolvimento da pesquisa é detalhada no item **3** para, no **4**, descreverem-se os **RESULTADOS** e se promover sua **DISCUSSÃO**. No item **5**, apresentam-se as **CONCLUSÕES** e, finalmente no **6**, apontam-se **PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS**. Encerrando, no item **7**, relaciona-se **BIBLIOGRAFIA** utilizada e, no **8** os **APÊNDICES**.

---

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O ESTUDO SOBRE CONFORTO TÉRMICO

O desejo do homem de minimizar seu desconforto térmico vem desde os primórdios da humanidade. Os faraós egípcios eram abanados por seus escravos com enormes folhas de plantas. Já os gregos e romanos recebiam o mesmo tratamento com abanos feitos com penas de pavão.

Com o advento da Revolução Industrial, que teve início no século XVIII, na Inglaterra, a burguesia, ávida por menores custos, maiores lucros, produção acelerada e melhores alternativas para a produção das mercadorias exigidas pelo crescimento populacional, ainda não se preocupava com o ambiente de trabalho. Somente no início do século XX, em 1902, é que efetivamente isso aconteceu, quando Willis Carrier - engenheiro de 25 anos formado pela Universidade de Cornell - inventou um processo mecânico para condicionar o ar, tornando realidade o controle do clima interno. Sua invenção, naquele ano, resolveu problema específico da indústria Sackett-Wilhelms Lithography and Publishing Co., que era instalada no Brooklin, New York, e estava tendo problemas com trabalhos de impressão durante os meses de verão. O papel, absorvendo a umidade do ar, dilatava-se, e as cores impressas não se alinhavam nem se fixavam com as impressas anteriormente, em dias mais secos, gerando, conseqüentemente, imagens borradas e obscuras. Já em 1914, a mansão de Charles G. Gates, cidadão de Minneapolis, Minnesota, foi a primeira residência a receber condicionador de ar desenvolvido por Carrier. No mesmo ano, ocorreu a instalação do equipamento no berçário do Pittsburg Alleheny General Hospital, introduzindo umidade extra no ambiente e ajudando, dessa forma, a reduzir a mortalidade infantil causada por desidratação<sup>1</sup>.

Já na década de 60, a sociedade ocidental descobriu com surpresa que as fontes artificiais de energia não eram um bem ilimitado e que poderiam ser utilizadas sem nenhuma prevenção. Apesar disso, as exigências de conforto térmico foram mantidas e com isso o consumo de energia aumentado, ensejando, assim, que soluções fossem apresentadas para essa questão. Nessa busca, iniciaram-se as discussões sobre “edifícios modernos”, tanto na concepção funcional e estética como também sobre o relacionamento entre arquitetura e energia.

Victor Olgay foi o precursor dessa nova maneira de se projetar, dando origem às etapas da arquitetura reconhecidas como *solar*,

---

<sup>1</sup> <http://mundodasmarcas.blogspot.com/2006/07/carrier-turn-to-experts.html>

*passiva* e a atual *bioclimática*. Em sua obra *Arquitectura y Clima - Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, referenciada neste trabalho como Olgay (1963), esse autor afirma que “para enfrentar-se o problema do controle climático, de uma forma ordenada e sistemática, é necessário a unificação de esforços procedentes de diversas disciplinas científicas”. Afirma que o primeiro passo consiste em definir o grau e a medida do bem-estar requerido, e que resposta a essa incógnita se encontra na biologia. O passo seguinte consiste em se revisar as condições climáticas existentes, que dependerá da ciência da meteorologia. Por último, na busca de uma solução racional, prevalecerá o papel das ciências de engenharia. Com toda essa ajuda, os resultados podem sintetizar-se e adaptar-se à expressão arquitetônica. Indicava-se, dessa forma, que o estudo sobre conforto térmico deveria ser tratado como assunto que envolvesse as áreas de arquitetura, engenharia, psicologia, fisiologia, meteorologia, ergonomia e engenharia têxtil, entre outras.

Atualmente prevalece a definição da ASHRAE 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy para conforto térmico: “condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”, que além de dar a entender que conforto térmico é avaliado de forma subjetiva, enfatiza que “corretamente, o julgamento de conforto é um processo cognitivo envolvendo muitos fatores influenciados por processos físicos, fisiológicos, psicológicos e outros mais”.

Na mesma linha de raciocínio, Höppe (2002) afirma ser necessário, antes de se discutir conforto térmico com um todo, definir claramente o termo em si, que no seu entendimento pode seguir 3 abordagens: a psicológica, a termofisiológica e a baseada no balanço térmico do corpo humano. O autor afirma que a primeira, a psicológica, pela própria definição: “condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”, é de difícil entendimento, pois baseia-se no caráter subjetivo, que reflete uma característica individual da pessoa. Já a definição termofisiológica de conforto térmico deve ser entendida como relacionada com os receptores térmicos da pele e do hipotálamo, onde a sensação de conforto acontece quando há uma taxa mínima de sinais nervosos nesses receptores. Por fim, com respeito à abordagem energética - voltada ao balanço térmico do corpo humano -, deve-se considerar que o conforto térmico é alcançado quando o fluxo de calor no ambiente e pelo corpo são equilibrados, e a temperatura de pele e a taxa de suor estão dentro de uma faixa de conforto que dependem unicamente do metabolismo.

Entendendo que o conhecimento científico sobre conforto térmico ainda era inadequado para aplicação prática, Fanger (1982) iniciou

pesquisa relacionando 4 parâmetros climáticos: *temperatura do ar*, *temperatura radiante*, *umidade* e *velocidade do ar*, e 2 parâmetros pessoais: *taxa metabólica*, gerada pela atividade humana, e o *índice de isolamento* das roupas utilizadas, o que veio culminar na definição de modelo matemático que demonstrou a interação do corpo humano com o ambiente térmico que o circunda. O modelo proposto é adotado como norma internacional ISO7730 e pela ASHRAE<sup>2</sup>. Ficou, assim definido que o conforto térmico é obtido por trocas térmicas entre o corpo humano e o ambiente que o circunda, troca essa que depende de fatores ambientais e pessoais, inter-relacionados por processos físicos como radiação, evaporação, convecção e casualmente condução. Esse trabalho será mais bem apresentado na sequência.

Do exposto, observam-se diferenças entre os 2 pesquisadores, pois enquanto Höppe considera a importância de 3 abordagens extremamente pessoais, Fanger o faz com 4 grandezas físicas e 2 pessoais que, por serem tabeladas, são constantemente questionadas.

### 2.1.1 As pesquisas brasileiras sobre conforto térmico

A procura para se adequar os índices propostos no exterior à nossa realidade é antiga. A partir de dados que apontavam diferenças de até 3,6°C nas temperaturas efetivas do Brasil em relação às obtidas nos Estados Unidos, Sá (1934) apresentou, a partir de aproximadamente 250 respostas individuais, tabelas com valores de temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade do ar para sensação de conforto ótima, um pouco quente e fresca. Seu experimento foi realizado com um grupo de 13 voluntários que relatavam, a partir de escala de 7 pontos, onde 1 representava sensação “muito fria”, 2 = “fria”, 3 = “fresca”, 4 = “agradável”, 5 = “pouco quente”, 6 = “quente” e 7 = “muito quente”. Paralelamente à aplicação do questionário, a temperatura e a velocidade do ar foram monitoradas. Os dados obtidos são relacionados nas Tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2 - Valores de TBS, UR e Var para *sensação de conforto ótima*.

TBS (°C)	UR (%)	V <sub>ar</sub> (M/s)
20,1	82	0,39
24,5	67	0,36
24,5	88	0,11
24,6	62	0,09
25,6	57	0,17
26,0	61	0,24

<sup>2</sup> ASHARE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

Tabela 3 - Valores de TBS, UR e Var para *sensação de conforto um pouco quente*.

TBS (°C)	UR (%)	V <sub>ar</sub> (M/s)
24,0	78	0,46
24,1	73	0,08
26,8	63	0,50

Tabela 4 - Valores de TBS, UR e Var para *sensação de conforto fresca*.

TBS (°C)	UR (%)	V <sub>ar</sub> (M/s)
20,5	71	0,47
23,0	84	0,64
23,7	87	2,03

Já Ribeiro (1945), pesquisando valores de conforto para a cidade de São Paulo, obteve com 776 votos individuais, 19,5°C para temperatura efetiva e 21°C para temperatura de bulbo seco. Os índices utilizados foram o da catatermometria (tempo decorrido para que a temperatura diminuísse de 37,8°C para 35°C) e o das temperaturas efetivas, ambos muito conhecidos à época. O experimento foi realizado com voluntários em sala de aula respondendo questionário com 5 níveis de sensação térmica: “frio, desagradável”, “fresco, agradável”, “agradável”, “quente, agradável” e “quente, desagradável”, 30 min. após adentrarem o ambiente.

LANDI (1976), considerando as pesquisas em câmaras climáticas, analisou as imprecisões da sensibilidade humana em relação às variáveis: temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar, pressão parcial do vapor d’água, atividade física e roupa, como também a adaptação do homem às condições de conforto térmico. O autor concluiu pela existência de dois mecanismos de natureza fisiológica, um denominado “estrutural”, pelo qual o homem sofre uma adaptação gradativa ao meio ambiente (com baixo coeficiente de regressão), e outro de adaptação às rápidas variações de temperatura (com um coeficiente de regressão mais elevado). Ainda sobre a adaptação térmica, afirmou que o corpo se adapta mais rapidamente ao retorno ao conforto do que à saída dele. Este trabalho nos mostra que já em 1976 se pretendia entender o quanto a adaptação influencia a predição de conforto térmico.

A aplicação e a análise do modelo Fanger no Brasil foi um dos objetivos desenvolvidos na tese de Xavier (2000). Seu estudo também apresentou algoritmo para determinação da taxa metabólica a partir das

medições de consumo de oxigênio e das características antropométricas dos voluntários. Afirmou também que o indicativo de que no desenvolvimento de atividades sedentárias em ambientes internos, condicionados ou não, a velocidade do ar não é significativa na avaliação térmica.

A equação proposta [Taxa Metabólica =  $0,476 * \text{Idade} + 0,324 * \text{massa corporal} + 29,953$ ] apresenta-se, segundo o autor, “... como bom parâmetro estimativo para faixas de população similares às aqui analisadas, ou seja, pessoas de ambos os sexos, desempenhando atividades sedentárias, com idade variando entre 18 e 50 anos e massa corporal de 50 a 90kg”.

Outro aspecto apontado na tese foi que existe variação da taxa metabólica na obtenção do VMP, contrariando a ISO7730(1994) e a ASHRAE 55, que adotam taxa constante para 4 níveis distintos de atividades desempenhadas pelos voluntários. Nesse sentido, o autor entendeu que “... a taxa metabólica não é apenas função da atividade desempenhada, mas também de quem está desempenhando, principalmente nos aspectos inerentes à idade da pessoa e à sua massa corporal”.

Para predição das sensações térmicas através de análise de regressão múltipla, o trabalho indicou a equação 1 abaixo com coeficiente de determinação significativo ( $R^2 = 0,864$ ).

$$S_p = 0,0239 * M(5,87 - p_a) - 0,0071 * M(34 - t_a) - 0,885(5,73 - 0,007 * M - p_a) + 0,238 * 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] \quad [1] \text{ onde:}$$

$S_p$  = Senação Térmica Predita, [escala de sensações de -3 a +3]

$M$  = Taxa metabólica, em ( $W/m^2$ );

$p_a$  = Pressão parcial de vapor de água no ar, [kPa]

$t_a$  = Temperatura do ar, ou temperatura de bulbo seco [°C]

$f_{cl}$  = Razão entre a área de superfície corporal do corpo vestido e do corpo nu, [adimensional]

$t_{cl}$  = Temperatura da superfície externa da roupa, em [°C]

$t_{rm}$  = Temperatura radiante média, em [°C]

Neste ponto, o autor afirma que “desta forma observa-se, de maneira similar ao encontrado em trabalho anterior (Xavier, 1999), que a velocidade do ar não é significativa na avaliação térmica de ambientes internos, quer sejam, ambientes condicionados ou não condicionados, onde são desempenhadas atividades sedentárias”.

Já através de modelo causal ou modelo de fluxo:

$$S_p = t_a(0,01 * f_{cl} * h_c + 4,959) + 0,222 * 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4] - 0,123 * M - 0,723 * p_a - 0,001 * f_{cl} * h_c * t_{cl} - 1,73 \quad [2] \text{ onde:}$$

$S_p$  = Senação Térmica Predita, [escala de sensações de -3 a +3]

$t_{cl}$  = Temperatura da superfície externa da roupa, em [°C]

$f_{cl}$  = Razão entre a área de superfície corporal do corpo vestido e do corpo nu, [adimensional]

$h_c$  = Coeficiente de troca de calor por convecção entre a superfície da roupa e do ar, [ $W/m^2K$ ]

$t_a$  = Temperatura do ar, ou temperatura de bulbo seco [ $^{\circ}C$ ]

$M$  = Taxa metabólica, em ( $W/m^2$ );

$p_a$  = Pressão parcial de vapor de água no ar, [kPa]

$t_{rm}$  = Temperatura radiante média, em [ $^{\circ}C$ ]

Com respeito à predição da percentagem de pessoas insatisfeitas, identificada pelo autor como (I), foram consideradas 4 hipóteses sendo que o algoritmo que melhor ajustou os dados foi o obtido pela equação:

$$I = 100 - 75,35 \cdot \exp(0,058 \cdot S^4 - 0,569 \cdot S^2) \quad [3] \text{ onde:}$$

$I$  = Percentual de Pessoas Termicamente Desconfortáveis

$S_p$  = Senção Térmica Predita, [escala de sensações de -3 a +3]

Finalmente, indicou como faixa termicamente aceitável de temperatura interna de conforto, para todo o território brasileiro e para pessoas desempenhando atividades sedentárias, os limites de  $20^{\circ}C$  a  $24^{\circ}C$ .

Gonçalves (2000) realizou pesquisa objetivando produzir índices e zona de conforto térmico com limites de aplicabilidade e/ou aceitabilidade para a cidade de Belo Horizonte, levando em conta a *adaptação* climática das pessoas participantes. Analisando as atitudes adaptativas ou a utilização de mecanismos adaptativos, o autor verificou que a estratégia “abrir portas e janelas” foi utilizada de diversas formas pelos usuários. Enquanto para os que utilizaram essa estratégia pouco ou raramente tenha encontrado total de 38,7%, entre aqueles que a utilizaram muito e freqüentemente o percentual foi um pouco menor, 22,8%. Quanto ao grau de liberdade que os usuários entendiam ter para adotar essa estratégia, a maioria dos usuários (43,8%) o julgou suficiente, embora uma parcela significativa (31,2%) o tenha achado pouco suficiente. Já a maioria dos usuários (27,4%) utilizou ventiladores de vez em quando, e parcela quase igual (26,1%) freqüentemente ou sempre. A maioria (36,1%) julgou suficiente o grau de liberdade para adotar a estratégia. Os que julgaram a estratégia pouco suficiente somaram 20,9%.

Também foram definidos limites de conforto térmico para a população em estudo a partir dos votos levemente frio e levemente quente que, após tratamento analítico e estatístico, resultou em termos de temperatura de bulbo seco o intervalo de conforto de  $20,8^{\circ}C$  a  $24,7^{\circ}C$ .

O autor conclui seu trabalho sem identificar diferenças significativas entre os votos de conforto dados por homens e mulheres, nem no

tempo de adaptação. Observou também que os votos de conforto na escala de sensação térmica apresentaram correlação negativa e fraca com as variáveis ambientais. Da mesma forma, que o nível de satisfação verificado manteve-se relativamente constante ao longo da faixa de temperatura observada e crescente com o aumento da umidade relativa.

Com a mesma intenção de analisar em pesquisa de campo o modelo Fanger, Vergara (2001) realizou pesquisa em que, a partir de valores máximos e mínimos de taxas metabólicas estimadas em  $79$  e  $116 \text{ W/m}^2$ , ficou demonstrado que 63% das sensações térmicas apresentaram-se dentro do intervalo proposto pela norma. Já a análise do fato de os voluntários estarem exercendo atividades correspondentes a taxas metabólicas superiores ou inferiores às estimadas, ou fora do intervalo máximo e mínimo dos VMP, observou que 78% ultrapassaram o limite superior indicando sensação de calor e 22% não atingiram o limite inferior, indicando sensação de frio. Na verificação da veracidade da estimativa da atividade desenvolvida pelos voluntários durante as medições, calculando-as analiticamente com a equação do modelo de Fanger, porém alterando as taxas metabólicas até que os valores do VMP se iguallassem às sensações térmicas, concluiu que 25% delas indicaram valores inferiores a  $70 \text{ W/m}^2$  e 22% superiores a  $116 \text{ W/m}^2$ . Assim, restou mais uma vez demonstrada a existência de discrepâncias com a aplicação do modelo Fanger em pesquisa de campo.

Ruas (2002) afirmou que é comum, nos ambientes de trabalho do Brasil, o desconforto térmico, tanto por calor como por frio, o que ocorre, no seu entendimento, em parte pela escassez de literatura, pela insipiência de pesquisa sobre o tema em nosso país e também pela falta de normas para a avaliação da sensação térmica das pessoas e de legislação que estabeleça condições limites de desconforto térmico. O autor afirma também que atualmente tanto os profissionais de projetos de edificações como os de sistemas de ventilação e ar condicionado e os responsáveis pela segurança e higiene do trabalho não dispõem de conhecimento atualizado nem de ferramentas práticas para a avaliação do conforto térmico dos ambientes edificados. Assim sendo, a partir do método de avaliação da ISO7730(1994), o referido pesquisador realizou a sistematização do conhecimento existente, abordando os modelos matemáticos inerentes ao método e os procedimentos para a obtenção das variáveis de conforto. Finalmente, apresentou software em plataforma Windows, tornando possível a simulação de intervenções nos ambientes, tanto na fase de projeto como na pós-ocupação, e a avaliação, inclusive instantânea, da sensação térmica humana.

Nogueira et al.(2005) realizaram pesquisa em escola da rede pública de Cuiabá, Estado de Mato Grosso, objetivando "... analisar os

índices de conforto térmico de uma escola, propondo soluções para atender as necessidades de conforto térmico, visando um ambiente agradável e que favoreça o aprendizado por parte dos alunos”. Apesar de concluírem que os ambientes pesquisados estavam termicamente desconfortáveis, “... pois os índices de Fanger se apresentaram acima do índice considerado termicamente aceitável...”, os pesquisadores apenas afirmam que “... se faz necessárias intervenções na edificação escolar referentes à adequação do conforto ambiental a fim de melhorar a qualidade do ensino aprendizado. Recomenda-se um estudo para o desenvolvimento de propostas de intervenções, devendo ser feitas de acordo com as características dos ambientes e das variáveis climáticas do local”.

Já Cândido et al (2008), depois de realizarem experiência em Maceió, afirmam que é possível concluir que o movimento do ar pode ser bem aceito para valores que excedam os sugeridos pela literatura. Ainda em se tratando de ventilação natural em região de clima quente e úmido, que a alta velocidade do ar é desejável para se prover conforto térmico. Em relação à aceitabilidade do movimento de ar, afirmam que a maioria dos voluntários exigiu valor acima de 0,50m/seg, contrariamente ao pequeno número que exigiu menor velocidade, o que sugere que os voluntários preferem alta velocidade para alcançar conforto térmico. Dessa forma, concluem os pesquisadores que o risco do desconforto causado pela alta velocidade do ar não é a principal queixa dentre os voluntários em região de clima quente e úmido semelhante à cidade de Maceió.

### **2.1.2 As pesquisas sobre conforto térmico em outros países**

A busca pelo conforto térmico humano é um dos primários objetivos dos sistemas de aquecimento, resfriamento e condicionamento do ar ambiente. Doherty e Arens (1988) afirmaram que existiam dois métodos disponíveis para determinação da ótima combinação da temperatura, umidade e velocidade do ar para obtenção de conforto térmico: a ASHRAE 55, baseada na SET - temperatura efetiva padrão - , calculada pelo Modelo Pierce de termorregulação e o da ISO baseado no PMV, calculado de acordo com o Modelo Fanger. Segundo os autores, o Modelo Pierce ou o *modelo de dois nós*, utiliza procedimento por diferenças finitas para estimar parâmetros fisiológicos, taxa metabólica e nível de isolamento das roupas, para qualquer ambiente térmico. No desenvolvimento desse modelo o corpo humano foi considerado geometricamente como dois cilindros concêntricos, sendo que o interno representou o núcleo do corpo e um mais fino, exterior, a superfície da pele.

Entretanto, a pesquisa mais importante foi elaborada por Fanger (1982), em câmara climática, em que o pesquisador teve total controle sobre as condições ambientais, tornando-se inclusive a norma internacional ISO7730. Nessa pesquisa, foi adotado o modelo físico de balanço de calor entre o homem e o meio ambiente no estado estacionário, em que todo calor gerado pelo organismo deve ser dissipado em igual proporção ao ambiente, não ocorrendo nem acúmulo nem perda de calor no interior do organismo. Nessa situação, o equilíbrio energético do corpo foi e pode ser expresso pela equação do balanço de energia a seguir:

$$M - W = Q_{sk} + Q_{res} = (C + R + E_{dsk} + E_{esk}) + (C_{res} + E_{res}) \quad [4] \text{ sendo:}$$

$$C_{res} = 0,0014 * M(34 - t_a) \quad [5]$$

$$E_{res} = 0,01763 * M(5,87 - p_a) \quad [6]$$

$$E_{dsk} = 3,05 [5,73 - 0,007 (M - W) - p_a] \quad [7]$$

$$E_{esk} = 0,42 [(M - W) - 58,15] \quad [8]$$

$$Q_{s,sk} = (t_{skm} - t_{cl}) / 0,155 * I_{cl} \quad [9]$$

$$R = 3,96 * 10^{-8} f_{cl} [t_{cl} + 273]^4 - (t_{rm} + 273)^4 \quad [10]$$

$$t_{skm} = 35,7 - 0,0275(M - W) \quad [11]$$

$$E_{esk} = 0,42 [(M - W) - 58,15] \quad [12] \text{ onde:}$$

M = Taxa metabólica de produção de calor pelo corpo ( $W/m^2$ );

W = Trabalho muscular ou eficiência mecânica - igual a zero para a maioria das atividades sedentárias - ( $W/m^2$ );

$Q_{sk}$  = Perda total de calor através da pele ( $W/m^2$ );

$Q_{res}$  = Perda total de calor através da respiração ( $W/m^2$ );

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

R = Perda sensível de calor por radiação pela pele ( $W/m^2$ );

$E_{dsk}$  = Perda de calor latente por difusão de suor pela pele ( $W/m^2$ );

$E_{esk}$  = Perda de calor latente por evaporação de suor pela pele ( $W/m^2$ );

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

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

$t_a$  = Temperatura do ar ( $^{\circ}C$ );

$p_a$  = Pressão parcial do valor de água (kPa);

$t_{skm}$  = Temperatura média da pele ( $^{\circ}C$ );

$t_{cl}$  = Temperatura da superfície externa da roupa ( $^{\circ}C$ );

$I_{cl}$  = Isolamento térmico das roupas (Clo);

$t_{rm}$  = Temperatura radiante média ( $^{\circ}C$ );

Depois das devidas substituições, obtém-se como resultado a equação dupla que é conhecida como a *equação do balanço térmico*, abaixo descrita:

$$(M - W) - 0,0014 * M(34 - t_a) - 0,0173 * M(5,87 - p_a) - 3,05[5,73 - 0,007(M - W) - p_a] - 0,42[(M - W) - 58,15] = \{ [35,7 - 0,028(M - W)] - t_{cl} \} / 0,155 * I_{cl} = f_{cl} * h_c (t_{cl} - t_a) + 3,96 * 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{tm} - 273)^4] \quad [13] \text{ sendo:}$$

$f_{cl}$  = Razão entre a área de superfície corporal do corpo vestido e do corpo nu (adimensional);

$h_c$  = Coeficiente de troca de calor por convecção entre a superfície da roupa e o ar ( $W/m^2 K$ )

Do estudo há que se considerar ainda que, de todas as variáveis, apenas a temperatura superficial externa das roupas é calculada de forma interativa. Isso ainda após comparação da parcela central com a final da *equação do balanço térmico* e ainda levando-se em conta hipóteses empíricas adotadas por Fanger em seu estudo. A equação interativa é:

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 * M - 0,155 * I_{cl} \{ 3,96 * 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{tm} + 273)^4] + f_{cl} * h_c (t_{cl} - t_a) \} \quad [14]$$

Por outro lado, a partir da *equação do balanço térmico*, Fanger também definiu, em seu estudo, a *carga térmica* (L) que atua sobre o corpo. Entendida como a diferença entre o calor gerado pelo organismo e o calor dissipado ao ambiente, considerando a temperatura da pele e da taxa de evaporação de suor em valores de conforto. A equação que define a *carga térmica* (L) é obtida pela diferença entre as parcelas da direita e da esquerda da *equação do balanço térmico* [13] anterior, ou seja:

$$L = M - 3,05(5,73 - 0,007 * M - p_a) - 0,42(M - 58,15) - 0,0173 * M(5,87 - p_a) - 0,0014 * M(34 - t_a) - 3,96 * 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{tm} + 273)^4] - f_{cl} * h_c (t_{cl} - t_a) \quad [15]$$

Finalmente, Fanger considerou que, para o estado permanente de troca de calor, a *carga térmica* que atua no corpo é igual a zero e transformou a equação então conhecida na *equação de conforto térmico*. Entretanto, objetivando englobar a grande quantidade de sensações térmicas indicadas pelos voluntários participantes de seu projeto ao apreciarem a *escala sétima da ASHRAE*, o autor terminou propondo nova equação, que passou a ser conhecida como *equação do VMP*. Para tanto, conforme se pode concluir observando-se a equação [16] a seguir, torna-se necessário, além do monitoramento das variáveis ambientais que influenciam na *carga térmica* que atua no corpo humano, adotarem-se

valores para a taxa metabólica relacionados à atividade desempenhada e ao isolamento térmico das roupas utilizadas pelos voluntários.

A equação do VMP assim obtida é:

$$\text{VMP} = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot L \quad [16] \text{ onde:}$$

VMP = Voto Médio Predito ou estimado

M = Atividade desempenhada pela pessoa (Met)

L = Carga térmica atuante sobre o corpo

Isso posto, a partir da consideração de que os voluntários que votaram  $\pm 2$  e  $\pm 3$  na *escala sétima da ASHRAE* estariam termicamente insatisfeitos ou desconfortáveis, foi possível também se apresentar a equação de cálculo da *Porcentagem* predita de *Pessoas* termicamente *Desconfortáveis* (PPD), como abaixo é descrita:

$$\text{PPD} = 100 - 95 \cdot \exp[-(0,03353 \cdot \text{VMP}^4 + 0,2179 \cdot \text{VMP}^2)] \quad [17]$$

Entretanto, há que se considerar que enquanto as variáveis ambientais são razoavelmente de fácil e precisa obtenção, as pessoais e subjetivas - taxa metabólica relacionada à atividade desempenhada e índice de isolamento térmico das roupas utilizadas pelos voluntários - não o são. Esse aspecto será discutido na apresentação dos modelos adaptativos para avaliação do conforto térmico.

Nicol (1993) afirmou inicialmente que o estudo de conforto térmico estava em crise, existindo insatisfação difundida com a predição da (que ele chamou) temperatura estática de conforto, a partir da utilização do modelo baseado no balanço térmico humano. Assim sendo, sugeriu o desenvolvimento de um modelo que poderia ser utilizado de forma dinâmica, como novo padrão interativo de conforto térmico, através de metodologia científica que complementaria os estudos de campo que são elaborados tendo por base os modelos de laboratório. Afirmou ainda que, além dos aspectos fisiológicos, devemos considerar o índice de isolamento das roupas, bem como nosso comportamento, que desempenha papel importante na nossa interação térmica com o ambiente, e, por conta disso, na variação da taxa metabólica. Assim, entendia que aos primeiros relacionam-se o metabolismo, em que a maior parte da energia produzida pelo corpo é transformada em calor, os aspectos psicofísicos, em que nossa ação inconsciente de regulação térmica controlada pelo cérebro é aumentada pela sensação térmica da pele, e os aspectos físicos como a convecção, a radiação e a evaporação,

Em outras palavras, no seu entendimento, a interação do homem com seu ambiente pode provocar mudança na taxa metabólica de várias formas, passando desde a troca de roupa, que implica variação do índice de isolamento considerado, até a mudança de postura ou a movimentação entre diferentes ambientes térmicos. Afirmou ainda que a essas interações, que são conscientes, deverão ser juntadas as inconscientes, que são muito mais difíceis de identificar.

Analisando o modelo Fanger, o autor ainda relaciona como pontos a serem discutidos o fato de os dados serem obtidos a partir de estudos em câmaras climáticas. Isso por que o estado térmico é estável e a estimativa da condição ótima de conforto do VMP e PPD requer o conhecimento do índice de isolamento de roupas e da taxa de metabolismo a partir de valores tabelados. Entendia que, para os projetistas, as características do modelo Fanger apresentam inúmeros problemas, desde o conhecimento de qual roupa o ocupante usará até qual atividade estará desempenhando, o que é de difícil opção pela possibilidade de ocorrerem várias alternativas no mesmo espaço. Além disso, ao serem aplicadas as tabelas do modelo, estará sendo considerado, com aproximação, que as condições estáveis das câmaras climáticas se repetem nos edifícios, o que, no seu entendimento, faz com que o método seja de difícil aplicação em edifícios condicionados naturalmente.

Discorrendo sobre as diferenças entre o sistema empírico e o analítico, o autor afirma que em recentes estudos de campo, em que a vestimenta e as atividades foram tomadas na hora da pesquisa, ficou comprovado que a média dos valores VMP se apresentou razoavelmente diferente da média dos votos de conforto. Após comentário, conclui afirmando que as diferenças surgem pela inabilidade do modelo do balanço térmico ao levar em conta os fatores sociais e climáticos que fazem parte das pesquisas de campo.

Já em 1996, o mesmo Nicol descreveu as implicações de uma abordagem adaptativa de conforto térmico para temperatura interna padrão. Nela são apresentados resultados experimentais e analíticos do efeito da taxa de mudança de temperatura externa e da postura humana, buscando sugerir, para edifícios condicionados naturalmente, a utilização de modelo adaptativo de padrão de temperatura interna que seja compatível com a variação dessa variável.

Preliminarmente, a análise demonstrou que a umidade relativa e a velocidade do ar tiveram pequeno efeito na sensação térmica experimentada. Da mesma forma, a temperatura de conforto, o isolamento de roupas e a resposta ao ambiente mensurado pelo voto de conforto resultaram dependentes não simplesmente da temperatura instantânea, mas

das sequências expressas pela variação da temperatura externa, da interna de conforto e da média externa diária.

Ficou, assim, demonstrado que a postura contribui no balanço térmico entre o corpo humano e o ambiente, entretanto o autor afirma que mais pesquisas devem ser realizadas para se prover uma base de padrão de temperatura interna dinâmica que seja compatível com edifícios condicionados naturalmente.

Considerando que o conforto ambiental depende de vários fatores quantificáveis (variáveis ambientais) e de outros não quantificáveis (sensação de bem-estar), Mallick (1996), cita que as preferências das pessoas de diferentes localizações variam em termos da aclimação experimentada, em que aquelas que ficaram por muito tempo expostas a situações de clima quente demonstram ser mais tolerantes às altas temperaturas que as providas de regiões mais frias. O autor credits esse aspecto à habilidade das pessoas de se adaptarem a particular ambiente em função do padrão comportamental e do estilo de vida. Dessa forma, em qualquer clima a pessoa irá buscar forma e meio de se sentir confortável, como, por exemplo, em clima quente alugar-se em ambientes sombreados, expor-se à corrente de ar ou ainda experimentar mudanças na escolha do tipo e da cor das roupas. Entretanto, lembra que essa mudança de comportamento só é realizada por pessoas que experimentaram clima melhor ou até pior do que o enfrentado. Afirma que as pessoas que sempre estiveram inevitavelmente expostas à situação de desconforto térmico por calor, como as que nunca experimentaram ambientes condicionados artificialmente, não promovem nenhuma mudança de comportamento para alterar o ambiente a que estão expostas.

Sua pesquisa foi realizada na cidade de Dhaka, Bangladesh, que é localizada em região tropical de clima quente e úmido, com altas temperaturas e alta umidade relativa no período de julho a agosto. Foi considerada, na sua realização, a escala Bedford de sensação térmica, monitorando-se a temperatura, a umidade e a velocidade do ar, a temperatura de globo e, em alguns casos, a temperatura externa. Da mesma forma, anotou-se a idade, o sexo, a ocupação, a localização, a roupa e atividade desenvolvida pelos voluntários em ambiente doméstico, tanto em condições de trabalho como em repouso, buscando-se identificar o estilo de vida e as preferências na busca do conforto térmico. Por ser a forma mecânica a única maneira de se promover conforto térmico interno, registrou-se o fluxo de ar exterior, a utilização de ventiladores e o fluxo de ar gerado por eles sob várias velocidades. Nesse caso em particular, as sensações experimentadas foram identificadas com votos de confortavelmente frio, confortável e confortavelmente quente. As roupas (0,5

clo) e as atividades desempenhadas (0,8 a 1,2 met) foram consideradas como de situação doméstica normal.

Conclusivamente, o autor verificou que para temperaturas do ar entre 24°C e 32°C, e umidade relativa entre 50% e 90%, os voluntários encontravam-se em situação de conforto, mesmo que no ambiente não existisse ou houvesse pouco movimento de ar. Também ficou demonstrado, no seu entendimento, que altos valores de umidade relativa foram aceitos em função do condicionamento adquirido durante muitos anos e consequente alto limiar de tolerância à situação enfrentada, não por simples e particular escolha.

Caracterizando a corrente de ar como resfriamento indesejável do corpo por conta do ar em movimento, Toftum (2002) afirma que as taxas recomendadas nas atuais normas de conforto térmico são baseadas no modelo desenvolvido por Fanger et al. (1988), que prediz o percentual de pessoas insatisfeitas em função da velocidade média do ar, da temperatura do ar e da intensidade de turbulência.

Seu trabalho contou com 5.653 registros, dos quais apenas 8% revelaram velocidades do ar superiores a 0,2m/s, 3% maiores que 0,25m/s e 2% maiores que 0,3m/s, como limites da prevalência do desconforto por corrente de ar. Verificou-se também que para o voto de sensação térmica “ligeiramente frio”, com a velocidade do ar variando de 0m/s a 0,15m/s, 46,3% dos entrevistados não desejavam mudanças, enquanto 40,1% preferiam mais movimento de ar. De 0,15m/s a 0,25m/s, os percentuais de preferência foram muito próximos de 41,7%. Já para o voto “neutro”, que varia de -0,5 a +0,5 na escala ASHRAE 55, e com velocidade do ar variando de 0m/s a 0,15m/s, o percentual dos que não desejavam mudanças atingiu 46% e dos que gostariam de maior movimento do ar, 52%. Para a velocidade do ar variando de 0,15m/s a 0,25m/s, os percentuais estiveram, respectivamente, entre 68,6% e 29,4%. Finalmente, para votos situados entre 0,5 e 1,5 (condição “ligeiramente quente” com velocidade do ar entre 0m/s e 0,15m/s) os percentuais foram 21,9% referentes aos que preferiam ficar sem mudança e 75,4% para que houvesse mais movimento de ar. Já para a velocidade do ar entre 0,15m/s e 0,25m/s, os percentuais foram 33,3% e 58,3%.

Esses resultados foram obtidos com a taxa metabólica variando de 1,1met a 1,4 met e temperaturas do ar entre 22,5°C e 23,5°C, verificadas 1,1m acima do piso, altura estimada da cabeça de uma pessoa sentada.

O autor concluiu seu trabalho relacionando estudos que demonstram o claro impacto entre a atividade e a sensação térmica global na sensibilidade humana com o ar em movimento, ao mesmo tempo em

que afirma que não foram observados os efeitos da interação de fatores de desconforto térmico.

Humphreys e Nicol (2002), ainda pesquisando as possíveis origens dos desvios que possam ocorrer no VMP, afirmam inicialmente que desde a publicação do modelo surgiram muitos estudos sobre conforto térmico, que incluíram todas as informações necessárias para se calcular o VMP. Enquanto alguns deram suporte, outros encontraram discrepâncias, ficando aparente que nenhum estudo de campo pode adequadamente validar o método VMP para utilização diária.

Entretanto, afirmam que, mesmo que a equação seja aplicada de forma correta e os dados que indicarem o VMP forem obtidos de forma precisa, discrepâncias ocorrerão em função das diferenças fortuitas entre as pessoas envolvidas. Para os autores, essas discrepâncias surgem na interpretação de cada pessoa, que diferem de tempo em tempo, tanto na identificação de qual temperatura do corpo podem considerar como neutra como na interpretação da escala de categorias da ASHRAE. Afirmam ainda que erros também podem ocorrer na utilização da própria equação de conforto e que nenhum índice de conforto térmico relativamente simples pode ser considerado completamente preciso, apesar de o modelo VMP ser a representação aproximada de um sistema físico, fisiológico e psicológico muito complexo, compreendendo o ambiente térmico, o corpo e a mente humana, tudo traduzido na predição do voto de conforto, que é uma expressão da mente.

Os autores consideraram também que possível erro de aplicação da equação de VMP advém da aplicação da teoria de transferência de energia em estado estável, fato que nunca ocorre na vida diária, uma vez que, na verdade, esse estado pode ser descrito como de equilíbrio térmico dinâmico. Afirmam ainda que as discrepâncias surgem, potencialmente, de três fontes: diferenças individuais, erro de mensuração e erro da equação de VMP. Entendem também que o modelo VMP pode produzir predição errônea sempre que aplicado a um grande grupo de pessoas, particularmente se uma ou todas as variáveis diferenciam-se grandemente da média dos valores que o compõem. Também não concordam com a forma de os dados representarem diferentes expectativas de ocupantes de diferentes edifícios. Assim sendo, propõem um novo VMP, a partir de modelo estatístico e utilizando a base de dados de campo da ASHRAE, a ser calculado pela fórmula:

$$VMP_{NEW} = 0,8(VMP - D_{VMP-ASHRAE}) \quad \text{onde:}$$

$$D_{VMP-ASHRAE} = -4,03 + 0,0949 * T_{op} + 0,00584 (RH\%) + 1,201(\text{met} \times \text{clo}) + 0,000838 * T_{cu}^2 \quad [19]$$

VMP = Voto Médio Predito

$T_{op}$  = Temperatura Operativa (°C)

RH = Umidade relativa (%)

met = Taxa Metabólica

clo = índice de Isolamento das Roupas

$T_{oa}$  = Temperatura Média do Ar externo (°C)

Entretanto, os autores desaconselham sua utilização como uma troca de índice, reconhecendo que o correto seria revisar todos os fatores psicofísicos e fisiológicos que constroem o VMP, em vez de se fazer ajustamentos estatísticos, certos de que sua aplicação em dias quentes pode ser muito melhorada.

De Dear e Brager (2002), analisam a revisão realizada na ASHRAE Standard 55 - que, juntamente com a ISO7730(1994), recomenda a utilização do modelo VMP de Fanger (1982). Afirmam que o termo “aceitabilidade” não está precisamente definido, dando oportunidade a que os pesquisadores, de comum acordo, passassem a adotar “aceitável” como sinônimo de “satisfação”, e “satisfação” como associada à sensação térmica ligeiramente quente, neutra e ligeiramente fria, confundindo-a com a “sensação térmica”. Afirmam ainda que esse assunto tem gerado muita discussão, tanto nos laboratórios como nos estudos de campo.

Entendendo que o estado físico e o fisiológico desempenham papel importante na expectativa e na preferência térmica das pessoas, os autores propõem o modelo adaptativo de conforto e preferências térmicas “ACS”. Para tanto, consideram a adaptação psicológica no contexto de que a interação das pessoas com o ambiente ou suas experiências térmicas pode alterar suas expectativas, e assim as sensações térmicas e satisfações experimentadas. Assim sendo, o modelo adaptativo de conforto e preferência térmica proposto utilizou variáveis térmicas do ambiente externo, demonstrando, desde suas primeiras versões, em 1998, a importância da temperatura externa na predição da temperatura interna de conforto. Foram utilizadas as temperaturas máximas diárias esperadas em relação a recentes experiências ao se tomar decisões sobre o que vestir em um dia em particular. Para melhor caracterizar o clima externo foram adotadas as ocorrências dos meses com os quais são elaboradas as normais climatológicas. Da mesma forma, foram coletados dados da relação entre temperatura média externa e temperatura interna de conforto, tanto em edifícios condicionados artificialmente como em condicionados naturalmente, e, onde após tratamento estatístico, resultaram regressões em que a “preferência” seria o indicador térmico mais apropriado que a tradicional “sensação térmica neutra”. Também ficou de-

monstrado que nos edifícios dotados de ar condicionado a temperatura neutra preferida esteve ligeiramente mais alta que a de climas mais frescos, e ligeiramente mais frios que a dos climas mais quentes, com diferenças próximas de 1°C. Não foram encontradas diferenças nos edifícios condicionados naturalmente.

Demonstrou-se também que os ocupantes de edifícios condicionados artificialmente estavam mais adaptados às temperaturas internas, e que os de edifícios condicionados naturalmente preferiam as temperaturas mais próximas às do ambiente externo.

Nos edifícios condicionados artificialmente, o VMP indicou temperaturas notavelmente de conforto, demonstrando que o ajuste “comportamento do isolamento da vestimenta” e “velocidade do ar interno” explicava completamente a relação entre a temperatura interna de conforto e a variação climática do ambiente externo.

Esses resultados os levaram a afirmar que o modelo adaptativo de conforto e preferências térmicas “ACS” poderia servir como alternativa para o modelo VMP na ASHRAE Standard 55 (1982), em se tratando de edifício condicionado naturalmente, em que o ambiente climático exterior para cada edifício era caracterizado em termos da temperatura média externa de bulbo seco ( $T_{a,out}$ ), em vez do índice (ET\*) - Temperatura Efetiva - originalmente proposto na primeira publicação do “ACS”. Justificaram a troca por entenderem que a aplicação da temperatura externa é mais simples que o índice térmico ET\*, em função de que este, por sua vez, requer aplicação de *software* especializado e experiência que a maioria dos profissionais normalmente não possuem.

Fanger e Toftum (2002) afirmam inicialmente que o modelo VMP é baseado em extensivos experimentos americanos e europeus, envolvendo milhares de respostas obtidas em ambientes bem controlados, o que demonstra que a sensação térmica está intimamente relacionada com a carga térmica imposta ao sistema termo-regulador humano. Ainda como vantagem, sinalizam que o modelo é uma ferramenta flexível que inclui todas as variáveis que influenciam o conforto térmico, quantificando o absoluto e o relativo impacto desses fatores, podendo ser utilizado em ambiente interno com sistemas de ar condicionado, para diferentes atividades e hábitos de vestir.

Afirmam ainda que, enquanto o modelo VMP prediz sensação térmica em edifícios com sistemas de ar condicionado, outro estudo de campo realizado em clima quente e em edifícios sem ar condicionado demonstrou que o modelo prediz sensação térmica mais morna do que a que os ocupantes realmente sentem. Para estes edifícios condicionados naturalmente foi proposto modelo adaptativo que utiliza equação de

regressão que relaciona a temperatura interna neutra com a temperatura média mensal externa, única variável que pode ter alto impacto indireto no balanço térmico humano.

Para os autores, existe óbvia inconsistência no modelo adaptativo, que não inclui a vestimenta humana, a atividade e os 4 clássicos parâmetros térmicos que têm reconhecido impacto no balanço térmico humano e, por isso, na sensação térmica. Embora o modelo adaptativo prediga a sensação térmica razoavelmente bem para edifícios condicionados naturalmente de várias regiões quentes do mundo, resta a questão de como se poderão adaptar novos tipos de edifícios no futuro, onde os ocupantes poderão usar diferentes vestimentas e mudar suas atividades.

Os autores entendem que, no modelo VMP, a sensação térmica experimentada nos edifícios condicionados naturalmente e em clima quente é superestimada em função da expectativa dos ocupantes, pessoas que vivem em ambientes quentes (internos e externos), e que talvez até sejam descendentes de gerações assim habituadas e predispostas a julgar determinado ambiente quente com menos severidade, tendo por assim serem, mais aceitação do que as pessoas que já utilizaram ar condicionado. Assim, afirmam que essa característica pode ser expressa pelo fator de expectativa -  $e$  -, a ser multiplicado no VMP para se alcançar o voto médio da sensação térmica de ocupantes dos atuais edifícios ventilados naturalmente e localizados em região de clima quente. Esse fator foi estimado para variar de 1,0 a 0,5 sendo 1,0 para edifícios com ar condicionado. Para edifício sem ar condicionado, o fator é assumido como dependente da duração do período de tempo quente no ano e da quantidade desse tipo de edifício em relação com os outros na região e que utilizem ar condicionado. Se durante todo o ano ou a maior parte do ano o clima é quente e não há ou há poucos edifícios com ar condicionado, o fator deve ser 0,5, enquanto 0,7 se existirem muitos edifícios com ar condicionado. Em regiões onde o clima é quente somente no verão e não há ou há poucos edifícios com ar condicionado, o fator deve variar de 0,7 a 0,8, e onde há muitos edifícios com esse equipamento, de 0,8 a 0,9. Já em regiões onde somente acontecem breves períodos de clima quente durante o verão, o fator deve variar de 0,9 a 1,0.

Ainda no entendimento dos autores, um segundo fator que contribui erroneamente com o estabelecimento da diferença entre o VMP calculado e o VST em edifícios condicionados naturalmente é a atividade desenvolvida. Estimada a partir das respostas dadas a questionários que identificam o percentual de tempo que a pessoa se mantém de forma sedentária, de pé ou andando, esse mecanismo não considera o fato de que pessoas, quando se sentem quentes, inconscientemente tendem a

diminuir suas atividades. Elas se adaptam ao ambiente quente, decrescendo suas taxas metabólicas.

Para melhor examinar essa hipótese, foi realizado um experimento de campo que gerou 3.200 respostas a partir de dados coletados em edifícios condicionados naturalmente, durante o período de verão, em região de clima quente e em quatro cidades: Bangkok, Brisbane, Atenas e Cingapura. Nesse experimento, para cada grupo de observações, as taxas metabólicas registradas foram reduzidas em 6,7% para toda escala da unidade VMP neutro. A seguir, o VMP foi recalculado com as taxas metabólicas reduzidas, utilizando-se as ferramentas de conforto térmico da ASHRAE. Os valores de VMP resultantes foram então ajustados à expectativa através da multiplicação por fatores iguais a 0,9 para Brisbane, 0,7 para Atenas e Cingapura e 0,6 para Bangkok. O novo modelo de extensão do VMP assim obtido, além de prever bem os votos atuais, combina melhor o VMP original e o do modelo adaptativo, além de manter os parâmetros térmicos clássicos do normalizado que têm impactos diretos no equilíbrio de calor humano.

Os autores concluem afirmando que o modelo adaptativo proposto concorda muito bem com estudos de campo realizados, com rigor técnico em edifícios com sistemas de ar condicionado, situados em regiões de clima frio, temperado e quente, e nas estações de verão e inverno. Em edifícios condicionados naturalmente e localizados em regiões de clima quente, os ocupantes podem perceber, em função da baixa expectativa, o calor como sendo menos severo que o previsto pelo VMP, mas a taxa metabólica muito alta, que é estimada sob condições ambientais quentes, também contribui para explicar a diferença.

Apesar das constantes pesquisas por novos métodos de projeto que produzam ambientes internos confortáveis, Parsons (2002) apresenta uma série de resultados de experiências laboratoriais desenvolvidas durante 9 anos na Universidade de Loughborough, na Inglaterra. Todas essas pesquisas foram relacionadas às características pessoais como gênero humano, estado de aclimação e incapacidade física e, ainda, como podem as pessoas, vestidas, se adaptarem ao ambiente.

O autor cita estudo realizado por Clark (1983) e Parsons (1984), em que se procurou comparar o VMP ou o PMV (Predict Mean Vote) com o AMV (Actual Mean Vote), afirmando que, além de ter sido observado que os voluntários estavam um pouco mais aquecidos que o VMP previsto - em torno de 0,4 ponto -, o aspecto mais importante foi o aperfeiçoamento da fórmula do VMP por meio da inserção do coeficiente de transferência de calor convectivo do corpo humano.

Relata outro estudo, inicialmente dirigido para veículos e posteriormente adaptado para ambientes edificados, que veio demonstrar a complexidade da predição de conforto térmico em função das mudanças ambientais. Nesse trabalho, os voluntários permaneceram sentados durante 80 minutos em ambiente cuja temperatura variava linearmente entre 10°C e 30°C e realizaram tarefa simples em computador. Após anotarem como estavam se sentindo termicamente, verificou-se que a temperatura de conforto (sensação neutra) foi maior para a temperatura em redução (23°C) comparada à em elevação (20,7°C), o que os levou a crer que para ambiente com variação térmica os modelos de conforto térmico necessitam de mudanças.

Outra experiência citada pelo autor concluiu que homens e mulheres possuem sensações térmicas diferentes por conta dos diferentes tipos de vestimentas. Discorre sobre pesquisa realizada em câmara climatizada, em que, durante períodos de 3 horas, 16 homens e 16 mulheres com idade entre 18 e 25 anos tiveram 3 sensações da escala ASHRAE/ISO investigadas a cada 15 minutos, resultando os votos: “levemente aquecido(a)” a “aquecido(a)” para  $VMP = 1,4$  e  $tar = 29^{\circ}C$ ; “neutro(a)” a “levemente com frio” para  $VMP = -0,4$  e  $tar = 23^{\circ}C$  e “frio(a)” para  $VMP = -2,0$  e  $tar = 18,5^{\circ}C$ . Esses voluntários permaneceram sentados em uma cadeira, assistindo à televisão, e se vestiam de forma semelhante, roupas de baixo, calças, camisas de mangas longas, meias e sapatos, que somavam 0,8 clo. No ambiente, a temperatura radiante era igual à temperatura do ar; não existia ar em movimento e a umidade do ar era de 50% para as seções com temperatura entre 18,5°C e 29°C e 70% para a seção com 23°C.

Os resultados frente às variáveis inicialmente propostas: gênero humano, estado de aclimação e incapacidade física e como podem as pessoas vestidas se adaptar ao ambiente, levou o autor a concluir que:

- Para atividades e vestimentas idênticas existe pequena diferença nas respostas entre homens e mulheres sobre conforto sob condição térmica de neutralidade ou ligeiramente quente. Mulheres tendem a sentir mais frio que homens;
- Mudanças nas respostas sob condição térmica neutra ou ligeiramente quente devido à aclimação ao calor são pequenas e provavelmente não significativas;
- As pessoas podem ajustar suas roupas para manter conforto térmico, porém com limite. O superior (sem roupa) deve ser determinado pela modéstia e aceitabilidade

térmica e o inferior (com roupa) determinado pelo modo de se vestir e também pela aceitabilidade térmica.

- Finalmente, há pequena diferença entre conforto térmico requerido pelas pessoas com e sem capacidade física, existindo, entretanto, grande necessidade de se considerarem os requerimentos individuais das pessoas com incapacidade física.

Mesmo afirmando que Fanger (1982), em seus experimentos não encontrou diferenças consistentes entre voluntários “tropicais” e “não-tropicais”, Nicol (2004) cita pesquisadores que relataram voto confortável na escala ASHRAE diferente do predito na ISO7730(1994), particularmente em se tratando de experimentos realizados em edifícios climatizados artificialmente. Cita ainda que a referida norma superestima as respostas para altas temperaturas e subestima as dadas para as baixas temperaturas, resultando predição de desconforto quando os respondentes encontram-se confortáveis. Afirma que um dos problemas da predição de conforto pela citada ISO em clima quente é sua declarada limitação de aplicabilidade do VMP, em que, por exemplo, a temperatura do ar deve estar entre 10°C e 30°C e a velocidade relativa do ar entre 0m/s e 1,0m/s. Entende que, em clima tropical, a existência de temperatura do ar superior a 30°C e de velocidade acima de 1m/s não é rara, e que nessas condições muitos estudos já concluíram que os voluntários sentiam-se confortáveis, especialmente se utilizassem ventiladores, contrariando o indicado pelo modelo VMP.

Cita trabalho realizado por Humphreys (1978), que divulgou equação como alternativa de temperatura de conforto para ambientes que não foram aquecidos nem resfriados durante a pesquisa e que tiveram suas temperaturas internas mantidas muito próximas da externa média como

$$\text{➤ } TC = 0,534 * TO + 12,9 \quad (^\circ\text{C}) \quad [20] \quad \text{onde}$$

*TC* = Temperatura de conforto e  
*TO* = Temperatura externa média mensal.

Discutindo como o movimento do ar afeta a temperatura de conforto definida pela equação anterior, em particular em regiões de clima quente e úmido, lembra trabalho teórico que sugere que onde a velocidade do ar é constante e acima de 0,1 m/s pode ser equivalente ao acréscimo na temperatura de conforto em:

$$\Delta t = 7 - [50 / (4 + 10 \cdot v^{0,5})] \quad (^\circ\text{C}) \quad [21]$$

Sobre a umidade, reconhece a dificuldade da verificação de seu efeito na temperatura de conforto que, apesar de pequena, tem significância já comprovada. Conclui seu trabalho afirmando que, em clima quente ou em condições em que a umidade relativa é alta, as pessoas podem requerer temperaturas que sejam até 1°C mais baixas para se sentirem confortáveis, mas que o principal efeito da alta umidade ou da pressão de vapor d'água é reduzir a zona de conforto.

Segundo Arens et al. (2004), a ASHRAE 55 definiu, sem divulgar razão para isso, novo limite padrão de 60% de umidade relativa para a zona de conforto humano em substituição ao indicado na versão anterior. Buscando investigar o assunto, os autores submeteram 395 voluntários à pesquisa em que, com a umidade relativa variando de 60% a 90% e a temperatura do ar de 20°C a 26°C, simularam 3 níveis de diferentes atividades que representassem tarefas de escritório. Ao final do experimento com desenvolvimento de atividades sedentárias, nenhuma diferença psicológica e fisiológica significativa foi encontrada sob a umidade relativa (UR) de 90% e com a temperatura do ar variando entre 20°C e 26°C. Já desenvolvendo atividades não sedentárias, diferenças na aceitabilidade geral de sensação térmica, umidade da pele e receptividade à umidade do ar foram verificadas, sendo que essas diferenças, no entendimento dos autores, eram resultado do início do aquecimento e do aumento da temperatura da pele que ocorre quando o metabolismo é aumentado. Entretanto, submetidos à escala subjetiva relacionada à aceitabilidade da umidade do ar, afirmaram que UR = 90% era inaceitável para todas as temperaturas. Concluem generalizando, porém sem suporte estatístico, que a taxa de 90% de umidade relativa foi considerada o pior índice; 80% não foi aparentemente pior que 60% e 70%, e que 70% foi frequentemente mais aceitável que 60%.

Por outro lado, há que se considerar que, desde o início da década de 1920, a ASHRAE tem se preocupado com a normalização da avaliação de conforto térmico nos ambientes internos, conforme afirma Huizenga (2006). A versão inicial, atualizada em 2004, é identificada como *Standard 55-2004 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Nesse trabalho, o autor analisa a consistência do software com essa nova versão da norma. Anteriormente, Fountain e Huizenga (1995 e 1997) apresentaram relatório final do projeto financiado pela mesma ASHRAE intitulado “Selecting and Preparing a Thermal Sensation Model for Use by the Profession”, cujo objetivo foi produzir

publicação especial com software interativo incluso, utilizando 2 modelos de avaliação de sensação térmica, o modelo PMV-PPD de Fanger (1982) e o ET\*-DISC de Gagge et al (1986), modificado por Doherty e Arens (1988).

Humphreys e Hancock (2007) investigando o comportamento da escala ASHRAE, focando sua dinâmica interna, e não a influência do clima interno e externo dos ambientes, afirmam que tão importante quanto se saber como a pessoa está se sentindo (aquecida ou resfriada) é saber como ela gostaria de se sentir. Os dados obtidos indicaram que a sensação térmica desejada é frequentemente diferente da “sensação neutra” obtida com a aplicação da escala, o que difere de pessoa para pessoa. Os autores afirmam ainda que a sensação térmica desejada também varia de acordo com a sensação térmica experimentada, e seu padrão de variação é consistente, indicando situação adaptativa. Sob esse aspecto, concluem que é aconselhável que na utilização da escala da ASHRAE não seja perguntado apenas como os voluntários se sentem termicamente, mas também como eles gostariam de se sentir, para então se ajustar o resultado a sua sensação térmica desejada. Para chegarem a essas conclusões os autores utilizaram, para a obtenção da sensação térmica desejável, a escala representada na Figura 2 a seguir, utilizada no trabalho de Griffiths (1990).

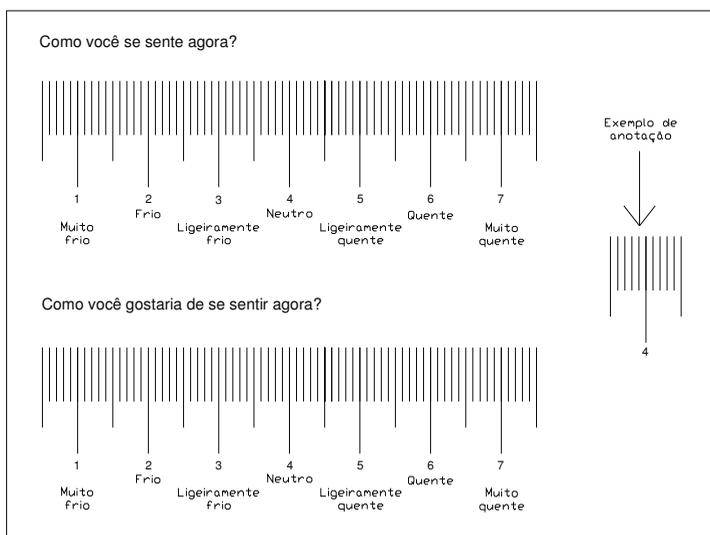


Figura 2. Escala Griffiths (1990) para indicação da sensação térmica desejável. Apud Humphreys e Hancock (2007).

Os autores também concluíram que nem a roupa utilizada ou a atividade desenvolvida demonstraram efeito coerente nas sensações térmicas desejadas e manifestadas pelos voluntários.

Após a realização de pesquisa envolvendo 13 salas de aula de 4 diferentes escolas de nível médio e 4 salas de aula do Politécnico de Turin, Itália, em período de clima quente e objetivando avaliar o conforto térmico experimentado pelos alunos, Corgnati et al (2007) verificaram que o percentual de voluntários termicamente insatisfeitos, aqueles que votaram  $\pm 3$  e  $\pm 2$  na escala de 7 pontos da ASHRAE, foi sempre sensivelmente maior que o PPD calculado. Em particular, ao contrário de Fanger (1982), para quem o voto +2 (quente) indica insatisfação térmica, o estudo revelou que para esse valor o ambiente foi termicamente aceito e assim preferido pelos voluntários. Considerando que a escala de avaliação foi dividida em 3 intervalos [(-3; -2), (+2; +3) e (-1; +1)] e que a maioria dos universitários votaram no intervalo  $\pm 1$ , 35% deles consideraram o ambiente térmico inaceitável, enquanto 9% do total votaram +2 e +3 e o consideraram aceitável. Já dentre os alunos do ensino médio, 55% votaram no intervalo  $\pm 1$ , considerando o ambiente aceitável, e 10% o declararam inaceitável. Outros 15% desses voluntários, apesar de votarem +2 e +3, consideraram o ambiente aceitável.

Nas salas de aula universitárias, a maioria das pessoas que votaram no intervalo (-1; +1), aproximadamente 60%, preferiram ambiente mais morno. Já tanto entre o nível médio como entre o universitário, a maior preferência para que não ocorresse mudança no ambiente térmico, correspondeu ao voto +1. Os autores ainda concluíram que os ambientes avaliados como ligeiramente mornos foram preferidos, ao mesmo tempo em que, quando essa caracterização foi mensurada, prevaleceu a opção pela não mudança do ambiente térmico.

Já Han et al (2007), ao realizarem pesquisa com 110 voluntários de 26 diferentes residências de 3 cidades da região centro-sul da China nos verões de 2003 e 2004, verificaram que a temperatura operativa neutra obtida com a aplicação do modelo Fanger foi menor que a obtida pela indicação do VST médio, fato atribuído pelos autores à adaptação térmica dos voluntários. Por outro lado, o estudo também revelou que a utilização da temperatura operativa média residencial no modelo Fanger estima melhor o percentual de voluntários termicamente insatisfeitos do que se utilizada a temperatura operativa de um único ambiente.

Holmes e Hacker (2007) avaliaram o desafio fundamental do século 21, de se projetarem edifícios sustentáveis com baixo consumo de energia, em verões cada vez mais quentes resultantes das mudanças

climáticas relacionadas à emissão na atmosfera, pelas atividades humanas, dos reconhecidos “greenhouses” (dióxido de carbono, metano, óxido nítrico e halocarbonos). Depois de avaliarem uma escola recém-construída que utilizava ventilação natural e 3 edifícios de escritórios que utilizavam 3 diferentes estratégias de resfriamento, os autores concluíram não ser possível apresentar uma solução geral, e sim 4 princípios básicos para utilização dos projetistas: proteção solar; distribuição do ganho de energia em forma de calor “de pico” com a utilização da inércia térmica; resfriamento térmico noturno através da ventilação e, finalmente, resfriamento artificial com dispositivos estáticos somente quando extremamente necessário e em horário de pico de temperaturas. Afirmam, finalmente, que a utilização de alta inércia térmica é capaz de proporcionar qualidade térmica em ambientes internos. Entretanto, essa estratégia não deve ser utilizada sem a devida atenção a todos os princípios projetivos que resulte em edificação sustentável e de baixo consumo de energia, não somente no contexto climático atual como também, provavelmente, do futuro.

Barlow e Fiala (2008), após avaliarem as implicações ocorridas no conforto ambiental de edifício de escritórios recém-reformado de Londres, apresentam discrepâncias entre os VMP e VST, afirmando que na formação dos futuros arquitetos e engenheiros de obras dever-se-á levar mais em consideração os aspectos humanos de seus ocupantes. Afirmam ainda a necessidade de também se levarem em conta os resultados de pesquisas sobre clima interno de edificações para que, com isso, possam melhor entender os princípios da adaptação e conforto térmico na proposição de estratégias de reforma de edifícios.

Observa-se, na presente revisão bibliográfica, a existência de dúvidas quanto à aplicação do modelo VMP nos ACN. Isso quer seja na validade de se aplicarem tabelas para se estimar tanto a Taxa Metabólica como do Índice de Isolamento Térmico de roupas, ou ainda sobre a influência da temperatura externa, da aclimação, da adaptação e da velocidade do ar na predição de conforto térmico. Tais ocorrências sugeriram a proposição de correções ao modelo normalizado, como o próprio Fanger assim o fez com seu fator de expectativa -  $e$  -. Da mesma forma, também se observou que diversos fatores foram apresentados como intervenientes na sensação térmica humana. Como será descrito na sequência, esses fatores são classificados como *climáticos*, como também como *fatores relacionados à fisiologia humana* e *fatores subjetivos*, ou os *relacionados à psicologia humana*.

## 2.2 FATORES INTERVENIENTES NO CONFORTO TÉRMICO HUMANO

Conforme ficou demonstrado, vários fatores têm influência direta ou indireta na produção de ambientes termicamente confortáveis. Entretanto, serão apresentados, a seguir, apenas os relacionados com as normas que tratam da avaliação de conforto térmico e que serão utilizadas neste trabalho.

### 2.2.1 Fatores climáticos

#### ■ Temperatura do ar ( $t_a$ )

Segundo a ISO7726(1998), a temperatura do ar é particularmente importante quando se analisam as trocas de calor por convecção sobre o corpo humano, devendo ser considerada como no seu entorno. Quando expressa em graus kelvin, sua representação é ( $T_a$ ), e em graus Celsius ( $t_a$ ). Apesar de esse dispositivo normativo não indicar precisamente a distância ideal para sua aquisição, deve-se considerar que naturalmente a temperatura do ar varia e a troca de calor entre os corpos é um processo contínuo. Por outro lado, não menos importante é também considerar dois outros aspectos. Tanto a temperatura do ar, tomada a certa distância do corpo, pode não representar verdadeiramente o fluxo de calor existente como também sua verificação muito próxima do corpo vestido pode ser influenciada pela superfície coberta, onde normalmente se apresenta uma fina camada levemente mais aquecida.

#### ■ Temperatura radiante ( $t_r$ )

Além da influência da temperatura do ar, o corpo humano pode ser afetado pela temperatura radiante, em que o calor é trocado por radiação entre os corpos, havendo fluxo de calor do mais quente para o mais frio. Duas formas de temperatura radiante são comumente estudadas em conforto térmico: a temperatura radiante média e a temperatura radiante plana, definidas pela ISO7726(1998) como:

- Temperatura radiante média: “É a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a transferência de calor por radiação do corpo humano é igual à transferência de calor por radiação em um ambiente real não uniforme”. Quando expressa em graus kelvin, sua representação é ( $\bar{T}_r$ ) e em graus Celsius ( $\bar{t}_r$ )
- Temperatura radiante plana ( $T_{rp}$ ): “Temperatura uniforme de um ambiente imaginário, onde a radiação sobre um lado de um pequeno elemento plano seja igual a de um ambiente real não uniforme”. Quando expres-

sa em graus kelvin, sua representação é ( $T_{pr}$ ) e em graus Celsius ( $t_{pr}$ ).

- Velocidade do ar ( $v_a$ )

O movimento do ar em torno do corpo pode influenciar o fluxo de calor para e pelo corpo e, portanto, a temperatura do corpo. O movimento do ar varia no tempo, espaço e direção. Assim sendo, sua descrição em um ponto pode ser dada, em termos da variação de sua intensidade no tempo, em 3 eixos ortogonais.

Para a ISO7726(1998), a velocidade do ar é um parâmetro “definido por sua magnitude e direção”, e é expressa em metros por segundo (m/s). Em ambientes térmicos, o que é considerado é a velocidade efetiva do ar, ou seja, a magnitude do vetor velocidade do fluxo no ponto de medição considerado.

- Pressão parcial do vapor d’água ( $p_a$ )

Trata-se da pressão em kilopascals (kPa) que o vapor de água exerceria se ele sozinho ocupasse o volume do ar úmido na mesma temperatura. Pode expressar a umidade absoluta do ar, que é a quantidade de vapor de água contida em um volume de ar ambiente. A umidade absoluta é sempre considerada para o entendimento da troca de calor por evaporação por uma pessoa, em que a alta umidade do ar reduz a evaporação do suor e conduz ao estresse térmico. Com freqüência, na avaliação de conforto térmico, é utilizada a umidade relativa do ar ( $e$ ) em vez da umidade absoluta, que é definida como a quantidade de vapor de água contida em um volume de ar úmido, em relação ao total de vapor de água que poderia estar contido nesse volume de ar à mesma temperatura.

## 2.2.2 Fatores relacionados à fisiologia humana

### 2.2.2.1 A fisiologia da termorregulação humana

Segundo Guyton (1992), a temperatura dos tecidos profundos do corpo “permanece quase exatamente constante, com variação de 0,6°C, dia após dia, exceto quando o indivíduo contrai alguma doença febril”. O autor afirma ainda, sobre a temperatura central, que “nenhum nível isolado de temperatura pode ser considerado normal, visto que as medidas efetuadas em muitas pessoas normais mostraram uma faixa de temperaturas normais, ... , desde menos de 36°C até mais de 37,5°C”.

Entretanto, há que se considerar que a produção de calor é um dos principais subprodutos do metabolismo, e ainda que, quando a intensidade da produção de calor no organismo é maior do que a da sua perda, a temperatura no organismo aumenta, elevando-se, por conse-

quência a temperatura corporal. Por outro lado, quando a perda de calor é maior, o processo é inverso; o calor do organismo e a temperatura corporal diminuem.

O citado autor afirma também que a maior parte do calor do organismo é produzida nos órgãos profundos, em particular no fígado, cérebro, coração e músculos esqueléticos, sobretudo durante o exercício. Esse calor é transferido à pele e dela para o meio ambiente, onde a intensidade da perda é determinada pela rapidez com que o calor pode ser conduzido das partes centrais para a pele e dela para o meio ambiente. Entretanto, depois de transferido para a pele esse, calor, para ser dissipado, deve vencer o isolamento formado pelos tecidos subcutâneos e pela gordura neles existente. Embora esse isolamento seja o responsável pela manutenção da temperatura corporal em níveis normais, é também através dele que a temperatura da pele se aproxima à do meio ambiente. Nesse processo há, em particular, a contribuição dos vasos sanguíneos que se distribuem abundantemente sob a pele, podendo transformá-la por conta do fluxo sanguíneo existente, em eficaz radiador de calor. Esse calor é dissipado no meio ambiente por *irradiação, condução, evaporação e convecção*.

Sabe-se que, enquanto a temperatura da pele for maior que a do meio ambiente, haverá *perda de calor por irradiação e condução*. Por outro lado, quando a temperatura ambiente for maior que a da pele, em lugar de perda de calor, o corpo irá ganhar calor por *irradiação e condução*, condição em que a única maneira de o corpo perder calor é por *evaporação*, através das glândulas sudoríparas. Entretanto, pessoas nascidas com ausência congênita dessas glândulas, apesar de suportarem temperaturas frias tão bem como as pessoas normais, não conseguem impedir a elevação da temperatura corporal em função de altas temperaturas ambientais, sendo provável, em zonas tropicais, a ocorrência do fenômeno da intermação<sup>3</sup>. Cabe salientar que para o autor “... embora a pessoa normal e não-aclimatada raramente possa produzir mais de cerca de 700ml de suor por hora, essa mesma pessoa, quando exposta a meio ambiente quente por 1 a 6 semanas, passa a transpirar cada vez mais profusamente, aumentando quase sempre a produção máxima de suor para 2,0 litros por hora. A evaporação de todo esse suor é capaz de remover o calor do corpo com velocidade *de mais de 10 vezes* a velocidade basal normal de produção de calor. Essa maior eficiência do mecanismo sudoríparo decorre do aumento direto da capacidade de sudorese

---

<sup>3</sup> Intermação: condição potencialmente letal resultante de uma exposição longa ao calor, em que a pessoa não pode suar o suficiente para fazer baixar a sua temperatura corpórea.

das próprias glândulas sudoríparas”. Essas afirmações não deixam de ser importantes no estudo de conforto térmico, uma vez que a diversidade de repostas obtidas sobre aclimação pode estar relacionada, além das manifestações de ordem psicofisiológica e/ou psicológica, à deficiência congênita de glândulas sudoríparas.

O referido autor afirma textualmente que, “a temperatura do corpo é regulada quase totalmente por mecanismos nervosos de *feedback*, e quase todos eles operam por meio dos *centros termorreguladores* localizados no *hipotálamo*. Todavia, para que esses mecanismos de *feedback* possam atuar, também é necessária a existência de detectores de temperatura,..., para determinar quanto à temperatura corporal fica excessivamente quente ou fria”. Para ele, experimentos demonstraram que a área hipotalâmica contém grande número de neurônios sensíveis ao calor, e cerca de um terço de neurônios sensíveis ao frio, que parecem funcionar como sensores térmicos no controle da temperatura corporal. Quando certa área do hipotálamo é aquecida, a pele exhibe imediatamente sudorese profunda, enquanto, ao mesmo tempo, os vasos sanguíneos cutâneos em todo o corpo sofrem intensa vasodilatação, tratando-se de uma reação imediata visando à perda de calor do corpo, ajudando, assim, o retorno da temperatura corporal ao nível normal. Além disso, a produção excessiva de calor pelo corpo é inibida.

Além de os receptores térmicos do hipotálamo serem extremamente potentes para o controle da temperatura corporal, os receptores de outras partes do corpo também desempenham papel importante na regulação da temperatura, como pode ser observado no caso dos receptores térmicos da pele, onde existem tanto receptores para frio quanto para calor. Todavia, existem muito mais receptores para frio, chegando estes serem a 10 vezes mais numerosos em muitas partes da pele. Consequentemente, a detecção periférica da temperatura está principalmente relacionada à detecção de temperaturas frias e frescas, em lugar de temperaturas quentes. Dessa forma, quando a pele é esfriada, surgem imediatamente reflexos para aumentar a temperatura corporal, fornecendo estímulo para causar calafrios, com o conseqüente aumento da intensidade da produção de calor corporal. Esse fato inibe a sudorese, se ela estiver ocorrendo, e promove a vasoconstrição cutânea para reduzir a transferência de calor corporal para a pele.

Além dos receptores térmicos da pele, existem os corporais profundos, que são encontrados na medula espinhal, nas vísceras abdominais e no interior e ao redor das grandes veias. Esses receptores funcionam, todavia, diferentemente dos cutâneos, em função de estarem sub-

metidos à temperatura central, apesar de também detectarem mais frio do que calor.

Quando os centros térmicos do hipotálamo detectam que a temperatura corporal está excessivamente alta ou baixa, eles desencadeiam procedimentos apropriados para diminuir ou aumentar a temperatura. Quando o corpo está excessivamente quente, ocorrem a *vasodilatação*, a *sudorese* e a *diminuição da produção de calor*. Já ao contrário, quando o corpo fica excessivamente frio, há a *vasoconstrição cutânea* em todo o corpo, a *piloereção* e o *aumento da produção de calor*. Em outras palavras, na *diminuição da produção de calor*, tanto os *calafrios* como a *termogênese*<sup>4</sup> química ficam fortemente inibidos. A discussão da *termogênese* química é desnecessária em função dos objetivos deste trabalho.

#### 2.2.2.2 Fatores fisiológicos específicos de interesse deste trabalho

##### ■ Taxa metabólica (M)

Estimar corretamente a produção de calor metabólico do corpo humano é fundamental para a avaliação do ambiente térmico. Considerando que o calor humano é produzido pelas células, a investigação da resposta humana ao ambiente térmico deve ser considerada como o estudo da distribuição e dispersão desse calor. No processo de produção desse calor, o homem extrai oxigênio do ar através dos pulmões, e carboidratos, gorduras e proteínas pela ingestão de alimentos, caracterizando, assim, o processo do *metabolismo humano*. As moléculas envolvidas, depois de diversas transformações, são responsáveis pela energia acumulada nas células, que é imediatamente disponibilizada ao homem, permitindo que sejam realizadas as mais diversas formas de trabalho, desde a prática de exercícios - *atividades externas* - até atividades involuntárias - *atividades basais* ou *internas* - como a circulação sanguínea, formação de suor, contração de músculos, atividade dos órgãos internos etc.

O calor gerado pelo *metabolismo* do corpo humano pode variar de 100W a 1.000W, sendo que parte dessa geração deve ser dissipada quando necessário para que não haja superaquecimento do corpo e, com isso, a temperatura interna permaneça no intervalo de 35°C a 37°C. Essa dissipação acontece por mecanismos de trocas térmicas, ou seja, através da:

- *Pele pela perda sensível de calor* por convecção (C) e radiação (R) e, *pela perda latente de calor* por evapo-

---

<sup>4</sup>Termogênese: energia na forma de calor gerada ao nível dos tecidos vivos.

ração do suor ( $E_{SW}$ ) e por dissipação da umidade da pele ( $E_{DIF}$ );

- *Respiração pela perda sensível de calor por convecção* ( $C_{RES}$ ), e pela *perda latente de calor por evaporação* ( $E_{RES}$ )

Como apresentado anteriormente, a expressão do balanço térmico entre o corpo e o ambiente pode ser assim descrita:

$$M - W = Q_{SK} - Q_{RES} = (C + R + E_{SK}) + (C_{RES} + E_{RES}) \quad [4]$$

Observa-se que todos os termos da equação são dados em termos de energia por unidade de área, referindo-se à área da superfície do corpo nu que frequentemente é adotada como de  $1,84\text{m}^2$  para homens com peso entre 65Kg e 70Kg e mulheres com aproximadamente 55Kg. A superfície corporal pode ser estimada pela “área de DeBois” ( $A_D$ ), calculada pela expressão:

$$A_D = 0,202 * m^{0,425} * h^{0,725} \quad [22] \quad \text{onde}$$

m = massa do corpo (kg) e  
h = altura do corpo (m)

Os valores de taxa metabólica são expressos em  $\text{W/m}^2$  ou em met., em que 1 met equivale a  $58,2\text{W/m}^2$ .

Parsons (1983) indica várias maneiras de se estimar a produção de calor metabólico. Entretanto, os valores adotados nos trabalhos científicos são os relacionados pela ISO8996(1990), que têm gerado controvérsia, uma vez que se trata de fenômeno característico de cada ser humano, o que pode implicar em valores diversos para o desempenho de uma mesma atividade. Dessa forma, a aplicação de um único valor para qualquer tipo de população, desde que esteja desenvolvendo a mesma atividade pode e deve ser um dos fatores que têm gerado discrepâncias entre as metodologias existentes para o cálculo de índices de conforto térmico. Assim afirmam Xavier (2000), Humphreys e Nicol (2002) e Fanger e Toftum (2002), entre outros.

Com essa preocupação, Xavier (2000) determinou a taxa metabólica através da medição indireta do consumo de oxigênio em 30 voluntários desempenhando atividade sedentária e concluiu que “existem diferenças significativas entre elas, ao se levar em consideração as características das pessoas que estão desempenhando as atividades”. As análises realizadas levaram o autor a propor a equação a seguir como a mais adequada para se estimar a taxa metabólica entre pessoas de ambos

os sexos, com idades variando entre 18 a 50 anos e massa corporal entre 50 e 90 kg e estejam desempenhando atividade sedentária.

$$\text{Taxa Metabólica} = 0,476 * \text{Idade} + 0,324 * \text{Massa Corporal} + 29,953 \quad [23]$$

O autor afirma ainda que o baixo coeficiente de determinação obtido ( $r^2 = 0,46$ ) indica "... a complexidade de variáveis que possam estar envolvidas na estimativa precisa da taxa metabólica" sugerindo que "... mais, ou muitas mais variáveis também possam estar influenciando a geração de calor pelo organismo". Apesar disso, conclui que "... a expressão preditiva mencionada anteriormente é de fácil resolução e envolve variáveis bastante simples de serem levantadas. Sua utilização fornece um parâmetro ou mecanismo de troca de calor mais apropriado com a realidade encontrada nos ambientes internos, mesmo ao ser utilizado o modelo do VMP/PPD".

■ Índice de isolamento das roupas ( $I_{CL}$ )

Trata-se de propriedade intrínseca das roupas, representando a resistência na transferência do fluxo de calor entre a pele e o meio ambiente. Essa taxa de transferência de calor através da roupa é realizada por condução, que depende da área superficial ( $m^2$ ), do gradiente de temperatura ( $^{\circ}C$ ) entre a pele e a superfície da roupa e a condutividade térmica ( $W * m^{-2} / ^{\circ}C$ ) da roupa. Sua representação convencional é " $I_{CL}$ ", e é expresso em  $m^2 * K / W$  ou em "clo", sendo que 1 clo equivale a  $0,155 m^2 * K / W$ . Trata-se de processo, apesar de muito estudado, de difícil quantificação.

Havenith e Nilson (2004) afirmam que, desde os primeiros índices divulgados, os isolamentos das roupas ( $I_{T,r}$ ) foram obtidos com experimentos com manequins, e que as mudanças observadas nesses valores estão relacionadas aos movimentos do corpo e do ar no ambiente. Indicam duas formas para se estimar o efeito dos movimentos do corpo e do ar no isolamento de roupas: manequins móveis em condições simuladas de vento e experimentos de balanço térmico com voluntários. Depois de citarem diversos trabalhos realizados sobre isolamento de roupas com a utilização de manequins virtuais, de custo muito caro, os autores se propõem a estudar o conjunto de dados produzido para verificar em se eles podem ser integrados de forma simplificada em equações de predição. Se o resultado não for positivo, passarão a analisar cada conjunto de dados, verificando qual aperfeiçoamento poderá ser sugerido.

Depois de diversas análises, os autores propõem 5 equações para revisão da ISO9920(1993), norma que trata da determinação ou estimativa do isolamento térmico das roupas. Entendem que essas equações têm vantagem sobre as anteriores, em função de serem obtidas a partir de mais dados e adotarem coeficiente de correção igual a 1 para a velocidade do vento. Afirmam ainda que as equações propostas são importantes para aplicação em “conforto”, principalmente onde as velocidades do vento são muito baixas. Posteriormente, em 2005, no mesmo *European Journal of Applied Physiology* - vol. 93: 506 -, os autores apresentaram errata por haverem, infelizmente, adotado, em uma constante utilizada em uma das equações, o valor -0,512 no lugar de -0,0512.

Apesar da citação de apenas 2 trabalhos em relação à discussão existente, a ASHRAE 55 Standard 55-2004, no Apêndice Normativo B, apresenta 3 métodos para estimativa do isolamento de roupas. No primeiro, traduzido pela Tabela B1 como sendo para pessoas de pé e sem se movimentar, são listados valores desde que a roupa utilizada guarde semelhança com a tabelada. No segundo método - Tabela B2 -, também para pessoas de pé e sem se movimentar, são apresentados valores de isolamento de outras vestimentas, que podem ser adicionadas ou subtraídas das consideradas na Tabela B1, com o fim de se conseguir melhor enquadramento à realidade observada. Finalmente, no método 3, o conjunto de roupas pode ser definido pela combinação de valores da Tabela B2, somando-se os valores propostos. A referida norma considera que com a pessoa sentada há decréscimo no isolamento térmico devido à compressão das camadas de ar existentes na roupa, o que pode ser provocado pela cadeira. Assim, na Tabela B3 apresentam-se 6 tipos de cadeiras sendo que em 3 deles são indicados valores de isolamento que devem ser adicionados para pessoas sentadas.

A pesquisa considera ainda que as pessoas em movimento também diminuem o isolamento das roupas pelo insuflamento de ar, pois esse efeito varia consideravelmente em função da natureza do movimento e da roupa. Por conta dessa variabilidade apresenta a equação a seguir para cálculo do isolamento térmico das roupas.

$$I_{cl, active} = I_{cl} * (0.6 + 0.4 / M) \quad 1.2 < M < 2.0 \text{ met} \quad [24] \text{ onde}$$

$M$  é a taxa metabólica em  $met$  e

$I_{cl}$  é o isolamento da roupa considerando a pessoa sem atividade.

Para taxa metabólica superior a 1,2  $met$ , porém, o ajustamento não é recomendado.

Na sequência, cita que, quando a pessoa está dormindo ou descansando em postura reclinada, a cama e a roupa de cama podem prover considerável isolamento térmico, impossibilitando que se determine seus valores corretos, a menos que o indivíduo permaneça imóvel.

Com respeito à variabilidade de roupas utilizadas pelas pessoas em dado ambiente em função das condições térmicas, a ASHRAE 55 Standard 55-2004 aconselha que se analise cada grupo de tipo de roupa de forma individual. Apenas quando se tratar do estilo da roupa utilizado em escritórios, tanto para modelos masculinos como femininos, é permitida a adoção de valores médios para cada um dos grupos.

### **2.2.3 Fatores subjetivos que influenciam as manifestações do conforto térmico humano, sob enfoque da psicologia humana.**

Em 1748, o político, filósofo e escritor francês Montesquieu divulgou seu famoso trabalho “O espírito das Leis”. Particularmente no capítulo 2 do Livro 14, que trata das leis e sua relação com a natureza do clima, existe a afirmação de que os homens são mais vigorosos em clima frio, tendo mais coragem, menos desejo de vingança e mais franqueza, menos suspeitas e praticam menos manobras e truques. Essas observações também o levaram a crer que os homens de países quentes são tímidos como homens velhos, enquanto seus semelhantes de clima frio são corajosos como os jovens e ainda têm suas sensações mais expressivas. E mais, em países frios, as pessoas têm pouca sensibilidade aos prazeres, enquanto em clima temperado têm um pouco mais de sensibilidade e em clima quente sensibilidade extrema. Dessa forma, deduz que tal como as pessoas distinguem clima pela latitude do local, o mesmo clima pode ser distinguido pela sensibilidade Montesquieu (1989).

Recentemente, Vliert et al (2007) discutiram sobre o trabalho de Montesquieu recém exposto, afirmando que foi o primeiro estudo sobre as relações entre termoclima, riqueza nacional e o subjetivo bem-estar manifestado pelas pessoas, citando vários trabalhos científicos de diversos autores que versam sobre termoclima e riqueza. Concluem afirmando que, em clima mais frio e mais quente, sociedades ricas são mais felizes que as pobres; da mesma forma que em climas mais frios as sociedades ricas são altruisticamente mais motivadas a tornar as pessoas mais felizes que as pobres. Já no clima mais frio como no mais quente, as sociedades ricas tendem a ser felizes à custa de serem mais altruísticas. Enquanto isso, as sociedades pobres tendem a ser mais altruísticas à custa de serem felizes.

Do exposto e em caráter preliminar, não resta dúvida de que tanto os fenômenos apresentados em 1748 por Montesquieu (1989) -

coragem, desejo de vingança, franqueza, atitudes suspeitas como manobras e truques, comportamento e sensibilidade aos prazeres - como os de Vliert et al (2007) - sensação de bem-estar, felicidade e altruísmo - são, na verdade, *fenômenos psicológicos* relacionados à interação do homem com o clima que o circunda. Assim sendo, pode-se afirmar que também as sensações (VST) e preferências térmicas (VPT), objeto de estudo neste (e em trabalhos semelhantes), são, da mesma forma e a rigor, *fenômenos psicológicos*, e não somente *fenômenos subjetivos* como normalmente são apresentados pela maioria dos pesquisadores vinculados às ciências exatas, senão vejamos:

Segundo a ASHRAE Standard 55-2004, “conforto térmico é a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”. Essa definição implica o correto entendimento do que é “condição da mente” e “satisfação”, induzindo-nos à interpretação de que conforto térmico está intimamente relacionado a aspectos humanos individuais determinados por processos físicos, fisiológicos, psicológicos e, entre outros, os freqüentemente identificados como *fatores subjetivos*. Essa antiga discussão demonstra a importância da análise das respostas das pessoas que participam da avaliação de um ambiente térmico, em função de que nelas estão inseridos fatores ainda não completamente explicados, tais como a *aclimação*, a *expectativa* e a *aceitabilidade térmica* que serão analisadas na sequência deste trabalho.

Biologicamente a *aclimação* deve ser entendida como o processo fisiológico pelo qual o organismo humano torna-se acostumado ou adaptado a um novo ambiente térmico. Prosser (1958) apud Stoops (2000) detalha o fenômeno, afirmando que, quando indivíduos se deslocam de região predominantemente fria para região predominantemente quente (ou vice-versa), há um período de ajustamento antes de se sentirem confortáveis. Nessa condição, parece óbvio que esses indivíduos realizam ajuste comportamental na quantidade e tipo de roupas utilizadas, em seus níveis de atividades, locais de preferência etc. O autor afirma que também há mudanças fisiológicas que o corpo promove no sentido de permitir transpiração eficaz e talvez de até conservar calor interno mais eficazmente, com melhor controle da circulação para as extremidades. Entende ser concebível que algumas dessas respostas levam tempo para serem realizadas. Da mesma forma, também é certo que alguns indivíduos não consigam realizá-las e, com isso, deixem de alcançar o conforto desejado em ambientes muito diferentes daqueles a que estão acostumados. Daí é possível que alguns indivíduos sejam simplesmente mais tolerantes ao desconforto térmico. Entretanto, experimentos descritos em Fanger (1982) indicaram que as pessoas não se

adaptam o suficiente para preferirem ambientes mais quentes ou mais frios.

Nessa discussão, Fountain et al. (1996) examinaram as sensações e preferências térmicas das pessoas e como estas poderiam ser influenciadas pela cultura e pelo clima, associadas com a expectativa e a adaptação térmica.

Brager e de Dear (1998), apresentando extensiva revisão sobre o tema “adaptação térmica” em ambiente edificado, afirmam que ela pode ser atribuída a 3 diferentes processos: ajustamento comportamental, aclimatização fisiológica e de hábito ou expectativa psicológica. Citam que evidências foram encontradas no sentido de que o mais lento processo fisiológico de aclimação não parece ser relevante em condições térmicas moderadas, enquanto o ajuste comportamental e a expectativa têm muito maior influência e pode, por isso, ser o foco das futuras pesquisas e desenvolvimento nesta área. Continuando, afirmam ainda que ocupantes de edifícios condicionados naturalmente têm expectativa mais relaxada, e que foram mais tolerantes as variações de temperatura, embora preferissem temperaturas que seguissem a tendência da temperatura externa. Por outro lado, os de ambientes condicionados artificialmente têm expectativa muito mais rígida para ambientes térmicos uniformes e frios e são mais sensíveis às condições que se desviam desse valor.

De Dear e Brager (2002) indicam os fatores subjetivos *aceitabilidade* e *satisfação térmica* como parte dos responsáveis pelas diferenças encontradas entre os votos de sensação térmica e os votos médios preditos calculados pelo modelo Fanger.

Já Höppe (2002) afirmou que antes de se discutir conforto térmico é necessário defini-lo claramente, uma vez que há, no seu entendimento, três abordagens: a psicológica, a termofisiológica e a baseada no balanço térmico do corpo humano. Nesse sentido, afirma que os aspectos psicológicos desempenham papel importante tanto no conforto térmico interno como no externo.

Recentemente, Rohles (2007), discorrendo sobre a definição dada pela ASHRAE para conforto térmico, afirmou que o reconhecimento da subjetividade que envolve o estudo é imperioso e básico para o futuro. O autor afirma que todos nós temos uma faixa de temperaturas confortáveis e que de maneira geral, 93% das pessoas julgam que a temperatura de 23°C está nessa faixa. Por outro lado, em relação à idade, o autor cita trabalho em que para voluntários com média de idade de 20 anos a temperatura de conforto preferida foi de 22°C, enquanto para a média de 44 anos ela foi de 23°C e para 75 anos, 24°C.

Ainda discutindo conforto térmico como “estado da mente”, o autor apresenta outro trabalho, em que aos voluntários é perguntado: “nós nos sentimos termicamente diferentes quando conhecemos a temperatura do ambiente, em relação a quando não temos conhecimento da mesma?” As respostas apresentadas pelo grupo que conhecia a temperatura interna foram de sensação térmica mais quente que as do grupo que não a conhecia. Na sequência, foi considerada a possibilidade da existência de grupo de voluntários mal informados sobre a temperatura do ambiente. Para eles, foi instalado, em lugar visível, termômetro digital que se manteve fixo em 23°C. Como resposta, os mal informados demonstraram inicialmente com a temperatura do ambiente em 20°C, que se sentiam mais quentes que os outros dois grupos, os informados e os não informados. Entretanto, para a temperatura de 21°C, tanto os mal informados como os desinformados manifestaram condição mais fresca do que a manifestada por aqueles que conheciam a temperatura ambiente. Já para 22°C, tanto os que conheciam como os mal informados demonstraram condição térmica bastante superior às indicações dos desinformados. Para o autor, esses resultados reafirmam que “conforto é um estado da mente”.

Barlow e Fiala (2007) afirmam terem encontrado evidências de que existe influência cultural, como tendências de moda e o desejo de usar as mesmas roupas em tempo diferente do ano, na análise dos dados obtidos na pesquisa realizada. Isso por que apenas 4% dos voluntários admitiram alterar sua roupa para se adequar ao ambiente térmico que enfrentavam.

Na verdade, até há pouco tempo, a interveniência de fatores subjetivos no voto médio predito não provocava questionamento ao modelo Fanger, que, como se sabe fora validado depois de exaustiva pesquisa. Entretanto, atualmente persiste discussão na busca de se diminuir as diferenças encontradas entre o modelo normalizado e as pesquisas de campo. Esse fato permite que modelos adaptativos para avaliação de conforto térmico em ambientes condicionados naturalmente tenham sido produzidos, como podemos citar Humphreys e Nicol (2002), Fanger e Toftum (2002) e ACS - Adaptive Comfort Standard da ASHRAE (2004).

Mais recentemente, Van der Linden et al. (2006), reportando-se a Auliciems (1983) no entendimento de que quando mudanças ambientais ocorrem causando desconforto térmico as pessoas reagem de forma que seu conforto térmico seja restabelecido, afirmam que essa descrição refere-se à *adaptação comportamental* que pode ser entendida como pessoal, técnica, ambiental, cultural e organizacional. Na verdade, essa

discussão é alimentada pelos trabalhos realizados em maior quantidade no hemisfério norte, apesar da importante contribuição dos realizados na Austrália e, mais recentemente, na América do Sul, ainda que em bem menor quantidade.

Pela relativa similaridade climática dos locais de desenvolvimento deste trabalho, acrescentam-se a discussão ora desenvolvida as pesquisas realizadas nas regiões de clima tropical [Nicol (2004), Mallick (1996), Cheong et al. (2006)], como nas de clima quente [Fanger e Tofum (2002), Zhao et al. (2004)] e as de clima quente e úmido [Shama e Ali (1986), Wong e Khoo (2003), Feriadi e Wong (2004), Yamtraipat et al. (2005), Hwang et al. (2006), Givoni et al. (2006), Ji et al. (2006), Wijewardane e Jayasinghe (2008), Sangowawa et al. (2008) e Hwang et al. (2008)]. Observa-se, nesses trabalhos, mesmo entendendo que os VST e VPT são *fatores subjetivos*, que na análise estatística realizada eles foram caracterizados como resultados relacionados às ciências exatas, o que não é correto. Isso por que ao assim caracterizá-los se procedeu - e ainda assim se procede - à análise do coeficiente de correlação segundo classificação sugerida para as ciências exatas, em que a subjetividade inexistente e o limite mínimo de aceite para o modelo deve obter coeficiente de correlação ( $r$ ) maior ou igual a 0,8. Ou seja, se são - como efetivamente são - *fatores subjetivos*, a conceituação estatística de ser adotada é a que contempla as ciências sociais, e não as ciências exatas. Nesse sentido, salienta-se que Parsons (1993) afirmou que a sensação térmica é relacionada à como a pessoa se sente, tratando-se de uma *experiência sensorial e um fenômeno psicológico*, sendo, dessa forma, impossível defini-la em termos físicos ou fisiológicos.

Do exposto, evidencia-se que a partir do entendimento de que as manifestações dos votos de sensação e de preferência térmica são resultados de *interpretações subjetivas* ou *pessoais*, obtidas a partir da *percepção individual de cada voluntário*, novo procedimento deve ser proposto para a análise estatística. Para isso, torna-se necessária a discussão conceitual de *percepção* e *sensação* como também seus relacionamentos com os *fatores subjetivos* que também verificamos neste trabalho.

Para Hochberg (1966), o estudo da *percepção* é, primordialmente, *psicológico*. Sendo assim, afirma que o homem observa o mundo através de *múltiplos sentidos* ou *modalidades de sensação*, relacionando, dentre eles, os sentidos de distância, de profundidade e da pele, este último de nosso particular interesse por se tratar da *sensação de frio e calor* que são relacionadas aos votos de sensação e de preferência térmica. O autor afirma ainda que a maioria das pessoas compreende que os

órgãos sensoriais devem funcionar perfeitamente para que a *percepção* ocorra, partindo do princípio, usualmente, de que os órgãos abastecem o cérebro com cópias do mundo externo. Entretanto, no seu entendimento isso não acontece, pois existem grandes diferenças entre o mundo “real”, tal como os instrumentos da ciência física o definem e medem, e o mundo “percebido” pela observação normal e sem ajuda. E é por isso que para ele o estudo da *percepção* ou das *modalidades de sensação* é, primordialmente, *psicológico*.

Especificamente discutindo a *sensação térmica* em abordagem interdisciplinar, Mattos e Drumondl (2004) se detêm em experimento em que o indivíduo participante percebe, surpreso, que, apesar de suas mãos estarem mergulhadas em água com a mesma temperatura, uma delas “informa” que o líquido está quente enquanto a outra “informa”, no mesmo instante, que está frio. Discorrendo sobre esse fenômeno, os autores afirmam que a psicofísica permite compreender o processo de sensação térmica, bem como qualquer outro tipo de sensação. Para tanto torna-se necessário conhecer aspectos básicos da *fisiologia sensorial*, que é dividida em *aspectos objetivos*, que englobam as reações do sistema nervoso central, e *aspectos subjetivos*, aqueles que dizem respeito à *análise das percepções de cada indivíduo*. Resulta então não ser equivocado o entendimento de que os votos de sensação e de preferência térmica são relacionados aos *aspectos subjetivos da fisiologia sensorial*, devendo-se, porém acrescentar que eles devem ser entendidos como *modalidades de sensação* que retratam o mundo *percebido* pelas pessoas, e como Hochberg (1966) afirma, objeto de estudo da *psicologia*.

A influência da *psicologia* já foi e ainda é avaliada pelos pesquisadores de conforto térmico. Como já citamos, Parsons (1993) afirmou que o ambiente térmico influencia enormemente na sensação térmica e no comportamento humano, o que é manifestado pelas respostas *psicológicas*.

Mais recentemente, trabalho realizado por Nikolopoulou et al (2001) revelou que além de os parâmetros microclimáticos intercederem fortemente nas sensações térmicas, a *adaptação psicológica* também demonstrou ser importante. Tal hipótese foi confirmada em Nikolopoulou e Steemers (2003).

O mesmo interesse pela interferência da *psicologia* na *performance* humana se pode observar na publicação do Borden Institute, em sua série The Textbooks of Military Medicine, mais especificamente no Capítulo 4 - Psychological Aspects of Military Performance in Hot Environments, desenvolvido por Johnson e Kobrick (2009), no volume

intitulado *Medical Aspects of Harsh Environments*. Para os autores, os militares necessitam entender como a *performance* mental, psicomotora e as respostas *subjetivas* variam e porque mudanças *psicológicas* frequentemente precedem mudanças fisiológicas críticas.

Assim sendo, cabe discorrer neste trabalho sobre a metodologia estatística a ser aplicada aos *fatores subjetivos* existentes na avaliação do conforto térmico humano.

### 2.2.3.1 Metodologia estatística aplicada aos fatores subjetivos, sob o enfoque da psicologia humana.

Observa-se, pelo exposto anteriormente, que há razoável consenso de que tanto os votos de sensação térmica como os votos de preferência térmica são manifestações *subjetivas* com forte conteúdo *psicológico*. Assim sendo, o tratamento estatístico dispensado a eles não pode, como já exposto, ser o convencionalmente aplicado às ciências exatas, mas sim o adotado pela Bioestatística, ramo da estatística que tem como foco a área de saúde e outras profissões relacionadas com as ciências biológicas. E aí verificamos importante diferença, especificamente na definição dos intervalos de classificação do coeficiente de correlação.

Citamos como primeiro exemplo desse enfoque Sounis (1975), que na análise bioestatística dos coeficientes de correlação adota a Tabela de Rugg, que considera  $r \leq 0,15$  (desprezível);  $0,15 < r < 0,29$  (baixo);  $0,30 < r < 0,49$  (apreciável) e  $r \geq 0,50$  (acentuada). Já mais recentemente, Oliveira (2006) adota orientação bastante semelhante na sua dissertação aplicando a proposta de Miles e Shevlin (2001) para a descrição da magnitude das correlações, onde os intervalos são assim classificados:  $0,10 \leq r < 0,30$  (baixa);  $0,30 \leq r < 0,50$  (moderada ou mediana) e  $r \geq 0,50$  (elevada). Esse entendimento não é recente, pois Godinho (1976) já afirmava textualmente, citando McCal (1970), que “sabe-se, da literatura de pesquisa dentro da Psicologia e Educação, que uma correlação  $r$  de 0,50 é tida como alta”. E ainda no desenvolvimento, que “temos verificado que, em Psicologia e Educação, dificilmente se encontra correlação acima da ordem de 0,50 – 0,60”.

Do exposto, neste trabalho, foi adotado no correlacionamento dos *fatores ditos subjetivos* o aplicado por Oliveira (2006) que pouco difere da Tabela de Rugg apresentada por Sounis (1975), ou seja, para  $0,10 \leq r < 0,30$  (baixa);  $0,30 \leq r < 0,50$  (moderada ou mediana) e  $r \geq 0,50$  (elevada).

### 2.3 SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Como se apresentou no decorrer deste capítulo, ambientes internos termicamente confortáveis são favoráveis ao bem-estar e à saúde do homem, como também à sua maior produtividade. Além desse aspecto, observou-se que ambientes bem avaliados em relação ao conforto térmico podem resultar em edificações que tenham baixo consumo de energia, algo extremamente importante nos dias de hoje. Entretanto, essa tarefa não tem sido de fácil obtenção por diversos fatores, o que tem motivado pesquisadores de todo o mundo.

Ficou também demonstrado que na avaliação de ambientes condicionados naturalmente há consenso científico de que o modelo Fanger (1982) ou da ISO7730(1994) gera discrepâncias entre os votos de sensação térmica manifestados pelas pessoas e os votos médio preditos, calculados pela referida metodologia. Nesse sentido, 3 modelos adaptativos - Xavier (2000), Humphreys e Nicol (2002) e Fanger e Toftum (2002) - foram apresentados, todos objetivando reduzir essas discrepâncias. Embora seus autores considerem que os votos de sensação térmica são *fatores subjetivos* ou manifestações de cunho *psicológico*, nenhum deles realiza, a nosso ver, o “tratamento estatístico” adequado ao não aplicarem os conceitos da *Bioestatística*, ramo da estatística que tem como foco a área de saúde e outras profissões relacionadas com as ciências biológicas. Isso implica que, exigindo nos resultados alcançados “grau de confiança” idêntico aos aplicados às ciências exatas, certamente foram descartados alguns modelos que já bem “explicavam” os fenômenos experimentados.

Para não incorrer no mesmo equívoco, neste trabalho decidiu-se aplicar a conceituação proposta pela Bioestatística.

---

### 3. METODOLOGIA

---

Para alcance dos objetivos deste trabalho, as variáveis de interesse foram coletadas em pesquisa de campo por meio do monitoramento das *variáveis climáticas ambientais internas e externas* e submissão dos voluntários participantes a questionários próprios para aquisição das *variáveis subjetivas*. Nesse sentido em particular, considerando a impossibilidade de utilização de equipamento adequado para a determinação da taxa metabólica referente à atividade desempenhada, bem como dos índices de isolamento térmico das roupas utilizadas, foram aplicados valores relacionados nas tabelas constantes na ISO7730(1994). Por outro lado, os ambientes dos experimentos foram considerados homogêneos após avaliação que atendeu o disposto na ISO 7726(1998). Para tanto, as variáveis físicas atuantes monitoradas hipoteticamente ao redor de uma pessoa permaneceram praticamente constantes, com seus desvios padrões sem excederem os valores obtidos pela multiplicação entre a acuracidade de medição requerida pela referida norma, pelo fator correspondente. Com esse objetivo a temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade e umidade do ar foram, inicialmente, verificadas em dois períodos, um de manhã e outro a tarde, cada um deles no decorrer de 1 hora e 20 minutos, com registros a cada 5 minutos.

Nos ambientes ventilados naturalmente participaram militares recrutas (recém chegados ao quartel) e veteranos (com mais de 1 ano no quartel) objetivando a análise da aclimação térmica.

Como visto na Revisão Bibliográfica, a utilização de tabelas de índice de isolamento de roupas e taxa metabólica tem sido objeto de constante discussão em trabalhos sobre conforto térmico desenvolvidos em ambientes condicionados naturalmente. Diversos pesquisadores as responsabilizam pelas discrepâncias verificadas entre os votos de sensação térmica manifestados e os votos médios preditos. Assim sendo, procurou-se desenvolver esta pesquisa com militares, visto os mesmos sempre estariam utilizando fardamento idêntico em qualquer situação. Entretanto, se satisfeita a não utilização das referidas tabelas restou atender ao calendário das corporações militares participantes no sentido de se obter o maior contingente de indivíduos para que as conclusões advindas fossem estatisticamente significantes. Dessa nova exigência, restaram para realização das pesquisas os meses de abril e novembro.

Considerando que em ambientes condicionados artificialmente as discrepâncias apontadas aos condicionados naturalmente praticamente não existem, adotou-se os mesmos meses para realização da pesquisa.

### 3.1 AQUISIÇÃO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS INTERNAS E EXTERNAS

As aquisições das variáveis ambientais internas e externas atenderam o descrito na **ISO7726(1998)**. Para tanto, as internas foram obtidas com utilização de estação microclimática BABUC, fabricada pela empresa italiana LSI - *Laboratori di Strumentazione Industriali*. Esse equipamento dispõe de um psicrômetro de ventilação forçada, termômetro de globo e anemômetro de fio quente, cujas características técnicas estão indicadas na Tabela 5 abaixo. A taxa de aquisição foi de 1 minuto, característica *default* do fabricante. O equipamento estava pré-calibrado pela fábrica.

Tabela 5 - Características técnicas dos sensores que equipam o BABUC.

Sensor		Resolução	Precisão	Alcance
Psicrômetro portátil com ventilação forçada	tw / ta	0,03 °C	±0,13 °C	-20,0 °C até +60,0 °C
	RH	0,001	±0,5% (70 até 90%)	0 até 100%
			± 1% (40 até 70%)	
		± 2% (15 até 40%)		
Termômetro de globo		0,3 °C	±0,15 °C	-10,0 °C até 100,0 °C
Anemômetro de fio quente		0,01 m/s	±0,04 m/s para 0 < va < 1m/s ± 4% va para va > 1m/s	0 até 50m/s

As variáveis externas foram obtidas a cada 15 minuto, com sensores de temperatura e umidade do ar HOB0<sup>®</sup> fabricados pela empresa norte-americana OnSet Corporation, localizados sob proteção da chuva e de radiação solar direta. Suas características técnicas estão indicadas na Tabela 6 a seguir:

Tabela 6 - Características técnicas dos sensores HOB0<sup>®</sup>.

Sensor Hobo H8 Pro Series	Precisão	Alcance
ta	±0,2°C	-30°C até 50°C
UR	±0,3%	0% até 100%

Todos os sensores HOB0<sup>®</sup> passaram por testes que permitiram comparar suas leituras com os valores indicados pelo BABUC, que como já afirmado, estava pré-calibrado de fábrica.

### 3.2 AQUISIÇÃO DAS VARIÁVEIS SUBJETIVAS MANIFESTADAS PELOS VOLUNTÁRIOS

Conforme descrito a seguir, os votos de sensações (VST) e preferências térmicas (VPT) dos voluntários foram obtidos de acordo com a ISO10551(1995). Tanto nos ambientes condicionados naturalmente (ACN) - quartéis - como no ambiente condicionado artificialmente (ACA) - GIDUR- foi concedido, no início dos experimentos, período de aclimatação dos voluntários, invariavelmente de, no mínimo, 30 minutos. Nesse período, aproveitou-se para total esclarecimento do questionário a ser aplicado, dirimindo todas as dúvidas existentes, principalmente quanto ao correto entendimento de *sensação e preferência térmica*.

#### 3.2.1 Dos indivíduos participantes nos ambientes condicionados naturalmente.

Os ambientes condicionados naturalmente são dotados de janelas de perfil de ferro, tipo basculante e com vidro fantasia. Nesses ambientes, foram aplicados 2 questionários, sendo que no primeiro (Anexo 1), aproximadamente 30 minutos após acordarem, os voluntários informaram idade, altura, peso, data de chegada no quartel e cidade anterior de residência. Além disso, respondiam: “a sua noite foi termicamente confortável?” e “como você acha que vai ser termicamente o dia de hoje?”. A primeira questão tinha como alternativas “sim, foi confortável”, “não foi confortável” e “não me lembro”, e a segunda permitia escolha entre “muito frio”, “frio”, “ligeiramente frio”, “neutro”, “ligeiramente quente”, “quente” e “muito quente”. Enquanto a primeira questão permitiu a avaliação da *capacidade de lembrança térmica*, a segunda o fez com respeito à *expectativa térmica* para o dia que se iniciava, pretendendo-se verificar possíveis diferenças entre as respostas dos voluntários recém-chegados e as fornecidas pelos que já ali estavam há mais tempo. Essas respostas foram também confrontadas com as aquisições dos sensores de temperatura interna. Apesar de Fanger e Toftum (2002) introduzirem o difundido *fator de expectativa - e -* como extensão ao modelo VMP, visando a obter sua melhor adequação dos votos dados nos ambientes condicionados naturalmente, cabe ressaltar que neste trabalho a *expectativa térmica* dos voluntários tem sentido de “*esperança*” ou “*possibilidade*”.

Na segunda fase do experimento, iniciada aproximadamente 2 hs. após o almoço, dentre as questões propostas aos voluntários (Anexo 2) foi-lhes solicitado que informassem novamente se “a sua noite foi termicamente confortável?” com as mesmas opções de respostas. Tal

como o experimento anterior, o objetivo, nessa ocasião, também foi analisar a *capacidade de lembrança térmica* dos voluntários, agora em horário bastante posterior ao que acordaram.

Na sequência os voluntários informaram seu nível escolar e escolheram alternativas que permitiram caracterizar sua residência anterior de forma geral e, principalmente, quanto à utilização ou não de ventilador e ar condicionado. O objetivo dessa questão foi obter, pela comparação dessas respostas com os respectivos votos de sensação térmica e de preferência térmica posteriormente informados, provável aclimação pela utilização ou não desses equipamentos. Para essa análise, a amostra dos voluntários foi dividida em 3 sub-classes: “voluntários que utilizavam ventilador”, “voluntários que utilizavam ar condicionado” e “voluntários que não utilizavam ventilador nem ar condicionado”. Continuando, os voluntários responderam: “você acha que o ventilador aqui existente, ligado, faz você se sentir termicamente mais confortável?” objetivando avaliar de forma preventiva a influência da ventilação forçada na sensação e preferência térmica dos voluntários. As opções foram: “sim, muito mais”, “sim, um pouco mais”, “indiferente”, “não, um pouco menos” e “não, muito menos”. Finalizando, foram-lhes propostos os quesitos relacionados na ISO10551(1995): “com relação a sua sensação térmica, como você está se sentindo nesse momento?”, “de que maneira você se encontra nesse momento”, “como você preferia estar se sentindo agora?”, “como você sente termicamente este ambiente?” e “você aceita termicamente este ambiente?”. Esses quesitos, e apenas esses, foram repetidos mais 3 vezes a cada intervalo de 20 minutos.

Considerando que os voluntários, nesses ambientes, utilizavam fardamento militar idêntico, tornou-se desnecessária a identificação individual do índice de isolamento das vestimentas de cada um dos participantes, adotando-se valor constante em cada ambiente. Da mesma forma, considerando que não havia diferença entre as refeições consumidas pelas 2 classes de voluntários – veteranos e recrutas -, e que o 2º experimento sempre teve início aproximadamente 2 horas após sua ingestão, adotou-se como taxa metabólica para todos voluntários a indicada pela ISO7730(1994) e referente a atividade desempenhada.

Para posterior análise estatística, objetivando testes mais precisos sobre a significância estatística entre as amostras, as respostas fornecidas foram separadas em função das classes “veteranos” e “recrutas”, e ainda se usuários ou não de ventiladores ou ar condicionado.

Deve-se observar que o principal objetivo deste trabalho foi avaliar as condições de conforto térmico em região de clima quente e úmido, através da análise das respostas oferecidas pelos indivíduos par-

participantes dos experimentos. Assim sendo, com intuito de bem caracterizar essa condição climática, clima quente e úmido, nos primeiros períodos dos experimentos realizados em abril em Corumbá e em novembro em Coimbra, os ventiladores de teto permaneceram desligados e as janelas fechadas. Com respeito a época e local, a escolha foi casual. Nos demais experimentos as condições dos ambientes não foram modificadas.

### **3.2.2 Dos participantes no ambiente condicionado artificialmente**

No ambiente condicionado artificialmente, foi aplicado apenas 1 questionário (Anexo 3), no início do período da tarde, também aproximadamente 2 horas após o almoço. As primeiras respostas foram dadas 30 minutos após os participantes adentrarem o recinto do experimento. Como já informado anteriormente, esse período foi aproveitado para o total esclarecimento dos voluntários quanto ao preenchimento do questionário a ser aplicado, como também ao esclarecimento de todas as dúvidas existentes, particularmente as relativas ao perfeito entendimento de sensação e preferência térmica.

No mesmo questionário, os voluntários informaram: idade, altura, peso, sexo, mês e ano de início de suas atividades naquele ambiente, cidade anterior de residência, nível educacional e quais vestimentas estariam utilizando segundo as opções da ISO7730(1994). Na sequência, responderam os quesitos relacionados na ISO10551(1995) “com relação a sua sensação térmica, como você está se sentindo neste momento?”, “de que maneira você se encontra nesse momento”, “como você preferia estar se sentindo agora?”, “como você sente termicamente este ambiente?” e “você aceita termicamente este ambiente?”. Novamente esses quesitos, e apenas esses, foram repetidos mais 3 vezes a cada intervalo de 20 minutos. Esse espaço de tempo entende-se como suficiente para que o indivíduo tenha alterada sua percepção térmica ambiental.

Também para análise estatística mais detalhada, os questionários foram separados em relação ao sexo e utilização ou não de ventilador ou ar condicionado. Isso por que também existe muita discussão científica em torno dos resultados das manifestações de sensação térmica dos diferentes gêneros humanos e sua condição de aclimação ou necessidade de ventilação artificial para prover conforto térmico.

### **3.3 AMOSTRAS DE DADOS OBTIDAS**

Todas as amostras das variáveis ambientais e as antropométricas dos indivíduos participantes dos experimentos foram tratadas estatisticamente. Para tanto, aplicou-se testes de normalidade Kolmogorov-Smirnov com nível de confiança de 95%, buscando-se determinar se o conjunto de dados obtidos da variável é bem modelada por uma distribuição normal.

A pesquisa quantitativa realizada teve o intuito de diagnosticar a relação entre os gêneros, e a adaptabilidade do ambiente em decorrência do tempo com a percepção da temperatura do ambiente. Para tanto, foram realizados treze experimentos, em três cidades, e em dois períodos distintos do ano.

Dos experimentos foram analisadas as relações entre os gêneros e a percepção de temperatura do ambiente. Nos demais experimentos foram analisados a percepção de temperatura em relação ao tempo de adaptabilidade do clima da região, que no caso, as variáveis para tal comparação foram a condição do indivíduo, recruta ou veterano do exército, para tal inferência.

Foram utilizadas basicamente duas técnicas estatísticas para tratamentos dos dados: análise qui-quadrado e o teste da mediana de Mood, sendo ambas com 95% de confiabilidade. A primeira técnica foi escolhida em decorrência dos dados serem de caráter qualitativos. Já a segunda técnica foi a análise de mediana de Mood, por se tratar de um teste não paramétrico, e em decorrência dos dados serem qualitativos ordenados e em grande número de atributos, sendo de -3 a 3, ou seja, sete opções de escolha. O teste da mediana de Mood, por ser um teste não paramétrico, não pressupõe a normalidade dos dados, sendo a opção correta em procedimentos em amostras de tamanho reduzido.

Nos experimentos 1 e 2, foi aplicado o teste de correlação entre a variável CLO e os quesitos 5 e 7, sendo os valores possíveis do teste de -1 a 1, demonstrando se as variáveis possuem algum tipo de correlação. O teste de correlação foi aplicado a um nível de confiabilidade de 95%.

Com respeito às variáveis subjetivas, obtidas a partir da aplicação de questionários próprios, APÊNCICES 1, 2 e 3, foram descartados os conjuntos de respostas que revelaram inconsistência e/ou contradição.

#### **3.3.1 Ambientes Condicionados Naturalmente**

Em todos os experimentos, os voluntários permaneceram sentados como se em sala de aula estivessem, pelo que foi adotada a taxa de 1,2 met, característica da “atividade sedentária”. Já o índice de isola-

mento térmico das roupas - fardamento comum - resultou nos experimentos realizados em abril, em Coimbra e Corumbá, 0,34 clo. Em Campo Grande, também em abril e por conta da ocorrência de frente fria, esse índice foi de 1,09 clo. Por outro lado, em todos os experimentos realizados em novembro, esse índice foi de 0,59 clo. Nesses ambientes, ocorreram 1.223 participações, distribuídas conforme a Tabela 7 abaixo.

Tabela 7.- Amostras de voluntários em cada ACN.

Ambientes Condicionados Naturalmente		Experimento de manhã		Experimento a tarde		TOTAL
		abril	novembro	abril	novembro	
Exército Brasileiro	Recrutas	255	70	318	92	735
	Veteranos	134	121	114	119	488
TOTAL		389	191	432	211	1.223

Considerando que as indicações dos voluntários foram fornecidas no experimento realizado no período da tarde, as análises estatísticas foram realizadas nas amostras com as maiores quantidades de voluntários obtidas nesse período. As referidas amostras estão identificadas na tabela abaixo e suas estatísticas constam da Tabela 9 a seguir.

Além da pesquisa qualitativa entre gêneros e da adaptabilidade em decorrência do tempo de permanência nos ambientes, foram realizadas o correlacioamento dos votos de sensação térmica em relação ao voto médio predito e as variáveis climáticas internas e externas, buscando-se a equação estatisticamente mais significativa. Para tal ensejo utilizou-se a ferramenta de análise estatística de variância (ANOVA).

Da mesma forma procurou-se verificar o percentual de pessoas termicamente desconfortáveis em relação ao voto médio predito, optando-se pela equação de melhor se ajustasse ao modelo normalizado pelo ISO 7730(1994). Para tanto, admitiu-se hipóteses já aplicadas em trabalhos semelhantes realizados em outras regiões brasileiras, utilizando-se os votos de sensação térmica e as manifestações de insatisfação térmica.

Já a escolha do mais significativo entre o voto de sensação térmica e o de preferência térmica foi obtido a partir de seus relacionamentos com a temperatura operativa, entre os limites de  $-0,5 \leq VST \leq +0,5$  e  $-0,5 \leq VPT \leq +0,5$ .

A influência da velocidade média do ar nos votos de sensação e de preferência térmica foi obtida a partir da verificação dessas manifestações em função da velocidade média do ar existente em seu local de assento. Nesse sentido, o assento de número 1 era o mais distante e 6 o mais próximo ao ventilador de teto existente no ambiente.

### 3.3.2 Ambiente Condicionado Artificialmente

Também nesse ambiente, todos os voluntários estavam em bom estado de saúde, sem restrições físicas ou mentais. A atividade que desenvolveram durante os experimentos resultou em taxa média de 1,3 met. e para o índice de resistência térmica das roupas em abril 0,48 clo com desvio padrão de 0,088 e 0,49 clo em novembro com desvio padrão de 0,053. Obtiveram-se 78 participações, sendo 41 em abril e 37 em novembro, distribuídas por sexo, conforme a Tabela 8 a seguir, onde se pode observar a prevalência da participação das mulheres no experimento. Tal como nos ambientes condicionados naturalmente, a amostra obtida em abril, com maior quantidade de voluntários, é a que foi analisada estatisticamente.

Tabela 8.- Amostras de voluntários no ACA.

Ambiente Condicionado Artificialmente		Experimentos		
		abril	novembro	TOTAL
GIDUR CEF	Homens	16	15	31
	Mulheres	25	22	47
	TOTAL	41	37	78

---

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DADOS FÍSICOS DOS VOLUNTÁRIOS ENVOLVIDOS

As estatísticas dos voluntários dos ambientes condicionados naturalmente estão indicadas na Tabela 9 a seguir.

Tabela 9.- Estatísticas da amostra dos voluntários nos ACN.

Amb. Cond. Naturalmente	Recrutas			Veteranos		
	Idade (anos)	Altura (m)	Peso (kg)	Idade (anos)	Altura (m)	Peso (kg)
Estatísticas						
Média	18,7	1,73	66,5	26,2	1,74	73,1
Erro Padrão	0,047	0,003	0,470	0,665	0,006	1,132
Mediana	19,0	1,73	65,0	23,0	1,73	71,0
Moda	19,0	1,70	64,0	21,0	1,70	64,0
Desvio Padrão	0,832	0,061	8,384	7,251	0,065	12,347
Variança	0,692	0,004	70,299	52,579	0,004	152,439
Curtose	4,143	-0,357	0,793	-0,161	0,0470	3,616
Assimetria	1,710	0,246	0,839	1,062	0,374	1,070
Intervalo	4,0	0,3	48,0	26,0	0,4	95,0
Mínimo	18	1,57	52,0	18,0	1,58	35,0
Máximo	22	1,90	100,0	44,0	1,93	130,0
Soma	5950	549,61	21137,34	3120	206,57	8703
Quantidade	318	318	318	119	119	119
Nível de confiança (95,0%)	0,092	0,007	0,925	1,316	0,012	2,241

O teste de normalidade da distribuição das frequências das amostras dos recrutas e dos veteranos, realizado pelo *Teste de Aderência de Kolmogorov e Smirnov*, com nível de confiança de 95%, indicou que apenas para a variável “altura” não podemos rejeitar a hipótese de normalidade, conforme indicado nas Figuras 3 e 4 a seguir.

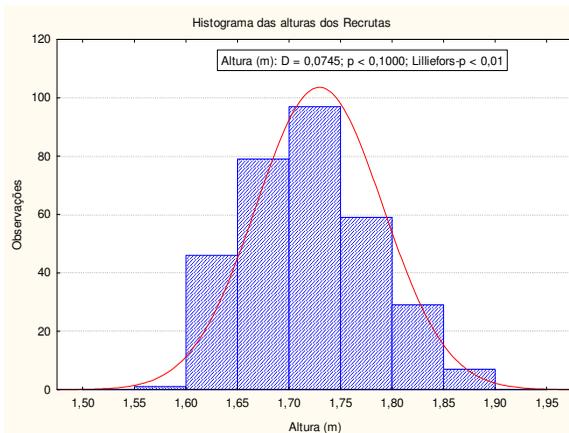


Figura 3 – Histograma da variável “altura” entre os recrutas.

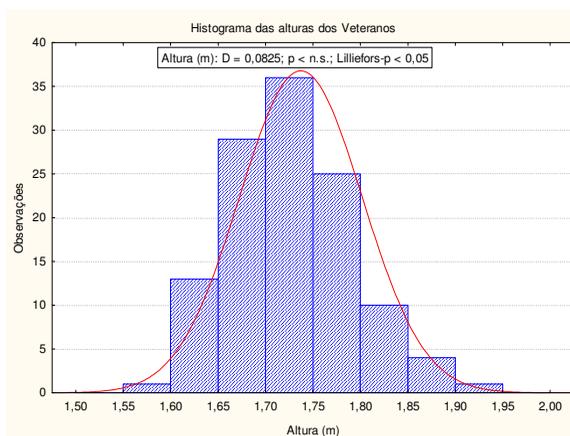


Figura 4 – Histograma da variável “altura” entre os veteranos.

Já a estatística dos voluntários que participaram no ambiente refrigerado artificialmente estão indicados na Tabela 10 a seguir.

Tabela 10.- Estatísticas da amostra dos voluntários no ACA

Amb. Cond. Artificialmente	Voluntários (Homens)			Voluntários (Mulheres)		
	Idade (anos)	Altura (m)	Peso (kg)	Idade (anos)	Altura (m)	Peso (kg)
Estatísticas						
Média	41,2	1,75	82,4	37,8	1,63	65,8
Erro Padrão	2,397	0,014	4,093	2,197	0,019	2,811
Mediana	43,5	1,76	80,5	41	1,64	63
Moda	50	1,80	70	45	1,65	54
Desvio Padrão	9,586	0,055	16,371	10,986	0,096	14,053
Variança	91,896	0,003	267,996	120,690	0,009	197,500
Curtose	-0,410	-0,344	0,223	-0,930	2,612	-0,743
Assimetria	-0,907	-0,863	0,858	-0,678	1,188	0,285
Intervalo	28	0,17	58	35	0,43	52
Mínimo	23	1,64	62	17	1,5	40
Máximo	51	1,81	120	52	1,93	92
Soma	659	27,97	1319	944	40,78	1645
Quantidade	16	16	16	25	25	25
Nível de confiança (95,0%)	5,108	0,029	8,723	4,535	0,039	5,801

Com a aplicação do *Teste de Aderência de Kolmogorov e Smirnov*, com nível de confiança de 95%, resultou que não podemos rejeitar a hipótese de normalidade da distribuição para todas as variáveis, independente do sexo dos voluntários. A seguir os histogramas obtidos.

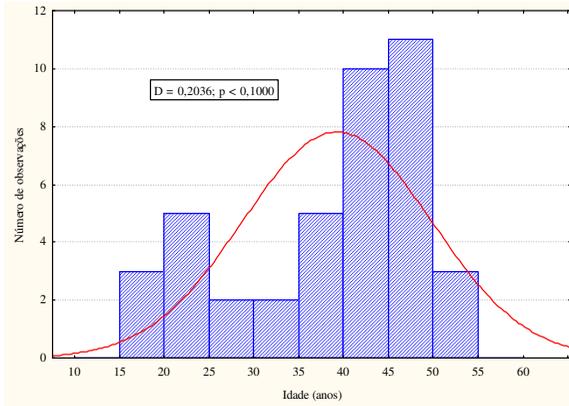


Figura 5 – Histograma da variável “idade” no ACA, em abril.

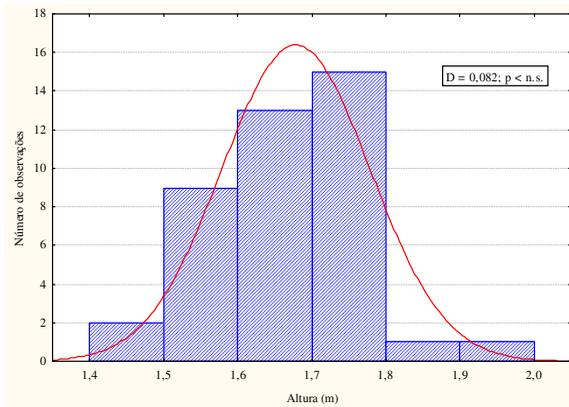


Figura 6 – Histograma da variável “altura” no ACA, em abril.

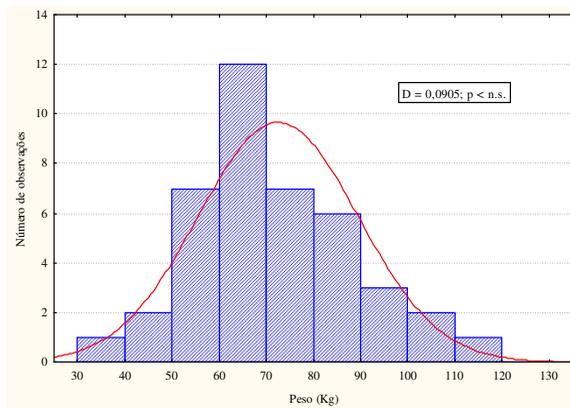


Figura 7 – Histograma da variável “peso” no ACA, em abril.

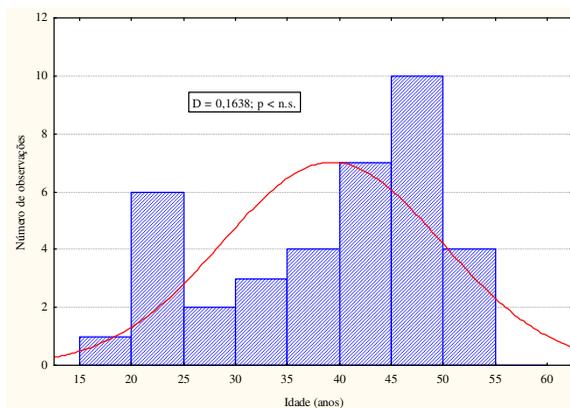


Figura 8 – Histograma da variável “idade” no ACA, em novembro.

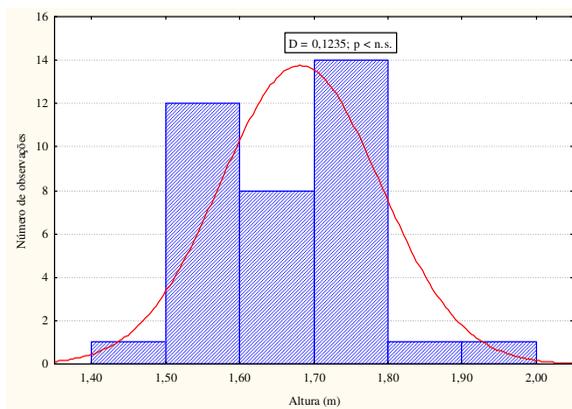


Figura 9 – Histograma da variável “altura” no ACA, em novembro.

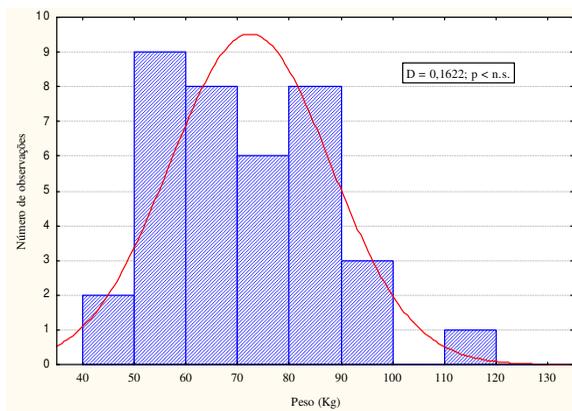


Figura 10 – Histograma da variável “peso” no ACA, em novembro.

## 4.2 DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS

### 4.2.1 Ambientes condicionados naturalmente

As estatísticas das temperaturas do ar e umidades relativas, verificadas nas 24hs. que antecederam o final de cada um dos experimentos realizados em abril e novembro, estão indicadas na Tabela 11 abaixo.

Tabela 11 - Variáveis climáticas externas observadas nos ambientes condicionados naturalmente, nas 24 horas anteriores aos experimentos.

Estatística das variáveis externas	Coimbra				Corumbá				Campo Grande			
	12 de abril		9 de novembro		13 de abril		7 de novembro		25 de abril		28 de novembro	
	text (°C)	RU (%)	text (°C)	RU (%)	text (°C)	RU (%)	text (°C)	RU (%)	text (°C)	RU (%)	text (°C)	RU (%)
Média	28,9	67	25,8	75	28,4	73	25,3	70	13,2	96	25,4	80
Erro padrão	0,416	2,007	0,117	0,429	0,336	1,470	0,262	0,883	0,215	0,451	0,304	1,238
Mediana	29,9	59	25,6	76	27,5	80	24,8	71	12,9	97	24,4	82
Modo	24,8	92	25,2	79	26,0	68	22,9	78	11,4	99	22,5	77
Desvio padrão	3,860	18,616	1,088	3,980	3,116	13,634	2,429	8,189	1,993	4,180	2,815	11,476
Variância da amostra	14,896	346,568	1,185	15,841	9,707	185,880	5,902	67,053	3,973	17,473	7,925	131,707
Curtose	-1,251	-1,580	4,730	11,791	0,054	-0,009	-0,761	-1,046	-0,636	2,480	-0,793	-0,760
Assimetria	0,209	0,135	2,017	-2,844	1,042	-1,023	0,744	-0,544	0,636	-1,801	0,682	-0,656
Intervalo	12,500	54	5,8	25	10,9	48	7,5	27	7,3	17	9,0	38
Mínimo	23,6	39	24,6	55	24,8	40	22,9	54	11,0	83	22,5	55
Máximo	36,1	93	30,3	79	35,7	88	30,3	81	18,3	100	31,5	93
Soma	2482,4	5782	2216,0	6485	2438,8	6309	2176,1	6039	1137,5	8240	2187,6	6883
Contagem	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
Nível de confiança(95,0%)	0,827	3,991	0,233	0,853	0,668	2,923	0,521	1,756	0,427	0,896	0,604	2,461

Com a aplicação do *Teste de Aderência de Kolmogorov e Smirnov*, com nível de confiança de 95%, resultou que podemos rejeitar a hipótese de normalidade para todas as variáveis. Entretanto, em função de que as amostras são estatisticamente consideradas suficientemente grandes ( $n > 30$ ), podemos considerá-las com distribuição normal.

A seguir os histogramas das variáveis climáticas externas verificadas em abril, em Coimbra, Corumbá e Campo Grande.

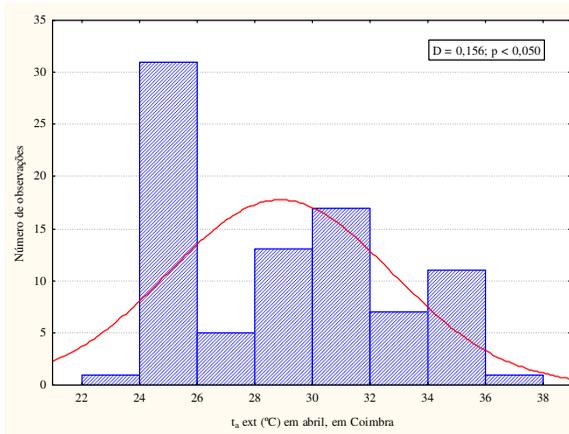


Figura 11 – Histograma da variável “ $t_a$  ext” em abril, em Coimbra

Também podemos afirmar que apenas para a variável UR, de abril e em Coimbra, os dados não são homogêneos em função de o coeficiente de variação haver resultado (27,8%) maior que 25%.

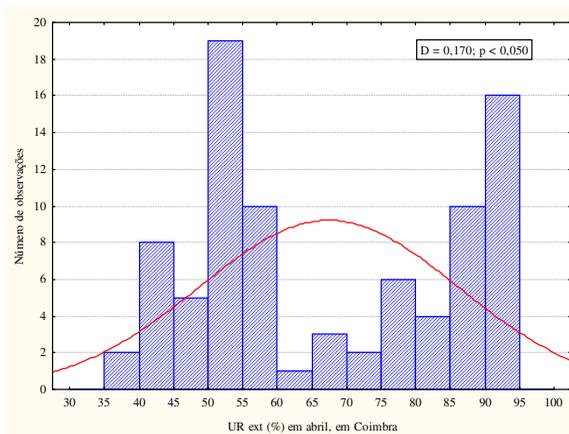


Figura 12 – Histograma da variável “UR ext” em abril, em Coimbra.

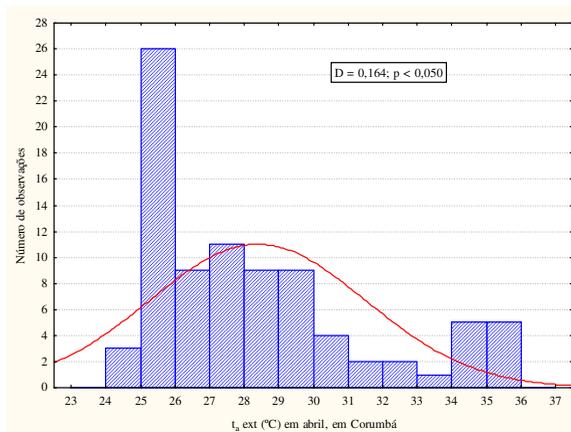


Figura 13 – Histograma da variável “t<sub>a</sub> ext” em abril, em Corumbá

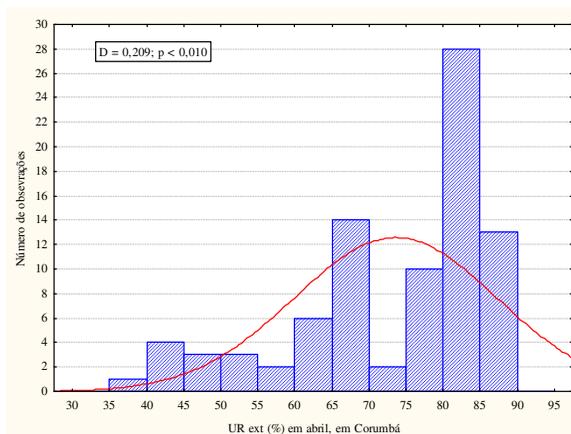


Figura 14 – Histograma da variável “UR ext” em abril, em Corumbá.

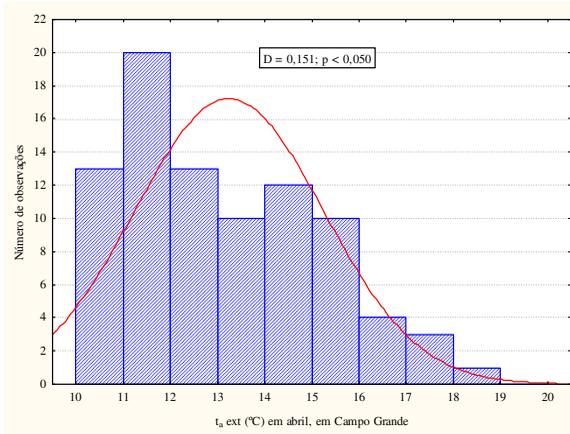


Figura 15 – Histograma da variável “t<sub>a</sub> ext” em abril, em Campo Grande.

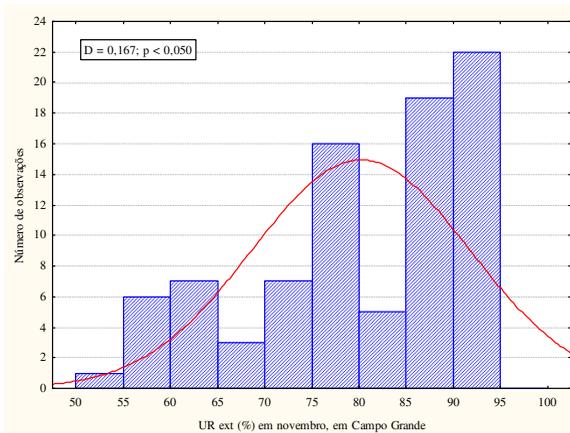


Figura 16 – Histograma da variável “UR ext” em abril, em Campo Grande.

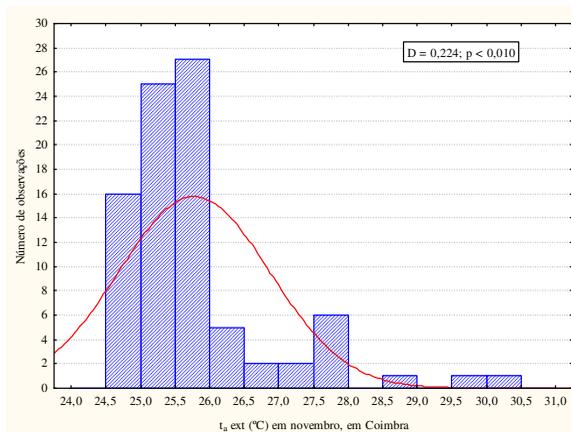


Figura 17 – Histograma da variável “t<sub>a</sub> ext” em novembro, em Coimbra.

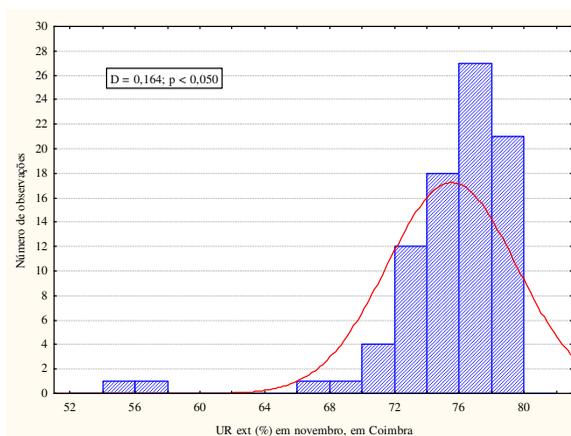


Figura 18 – Histograma da variável “UR ext” em novembro, em Coimbra.

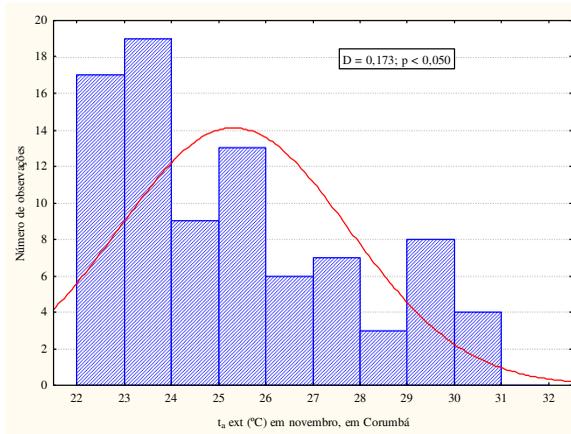


Figura 13 – Histograma da variável “t<sub>a</sub> ext” em novembro, em Corumbá.

9

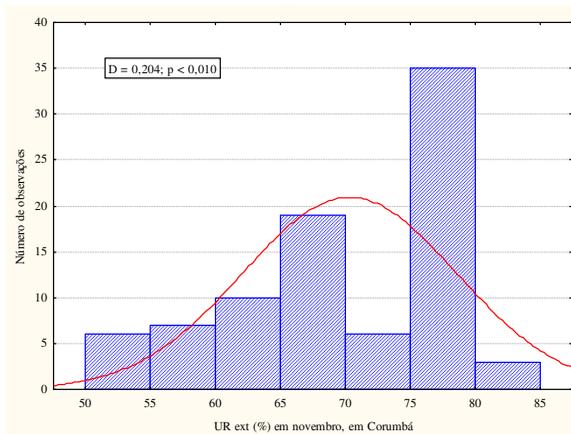


Figura 20 – Histograma da variável “UR ext” em novembro, em Corumbá

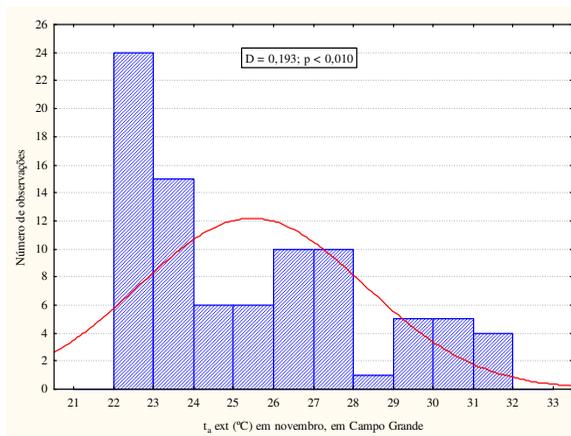


Figura 21 – Histograma da variável “ $t_a$  ext” em novembro, em Campo Grande.

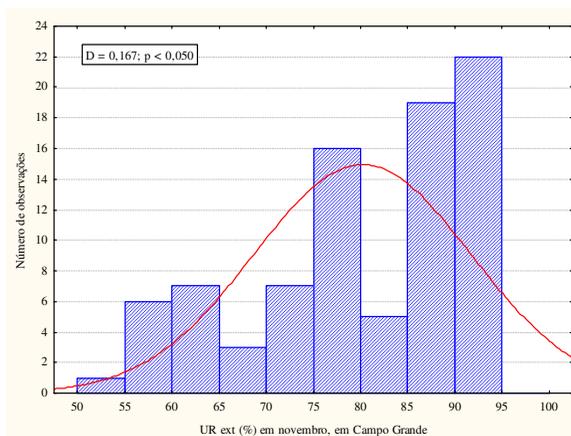


Figura 22 – Histograma da variável “UR ext” em novembro, em Campo Grande.

As temperaturas médias de globo e do ar, umidade relativa média e velocidade média do ar verificadas nos ambientes durante os experimentos realizados em abril, a cada 15 minutos, estão indicadas na

Tabelas 12 a seguir, bem como os histogramas das variáveis climáticas internas.

Tabela 12 - Dados observados - internamente - nos ACNs, em abril.

	Dados observados em abril, por período - Ambientes Cond. Naturalmente											
	Coimbra				Corumbá				Campo Grande			
	1.º	2.º	3.º	4.º	1.º	2.º	3.º	4.º	1.º	2.º	3.º	4.º
$t_g$ (°C)	34,5	34,6	34,6	34,4	33,3	33,4	33,4	33,4	23,5	23,8	24,6	24,8
$t_a$ (°C)	34,4	34,5	34,5	34,2	32,9	33,1	33,2	33,2	22,7	23,2	24,0	24,0
UR (%)	49	49	50	52	59	69	75	76	60	59	57	58
$v_a$ (m/s)	0,20	0,21	0,22	0,24	0,06	0,15	0,19	0,19	0,09	0,08	0,09	0,09

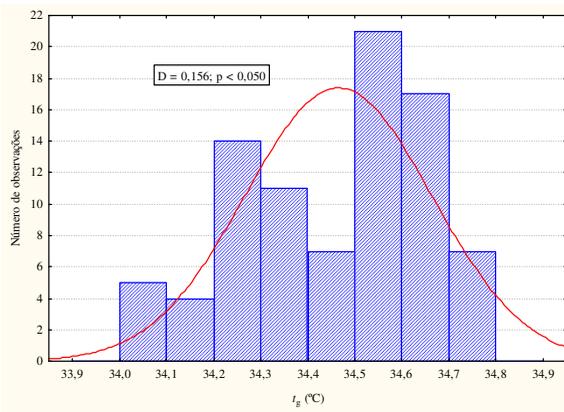


Figura 23 – Histograma da variável “ $t_g$ ” em abril, em Coimbra.

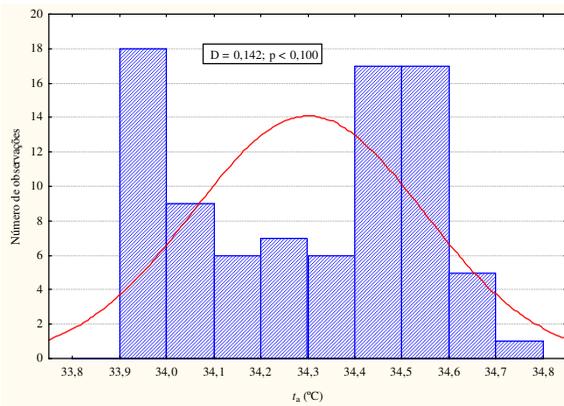


Figura 24 – Histograma da variável “ $t_a$ ” em abril, em Coimbra.

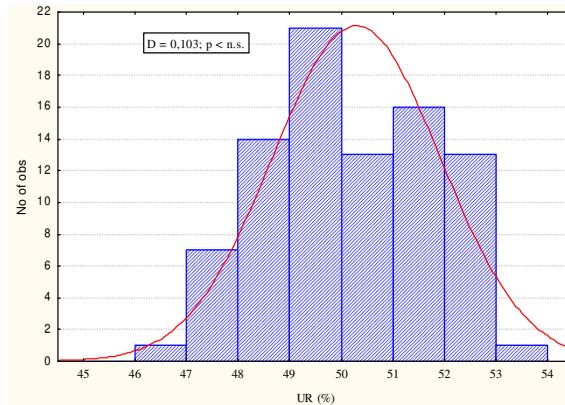


Figura 25 – Histograma da variável “UR” em abril, em Coimbra.

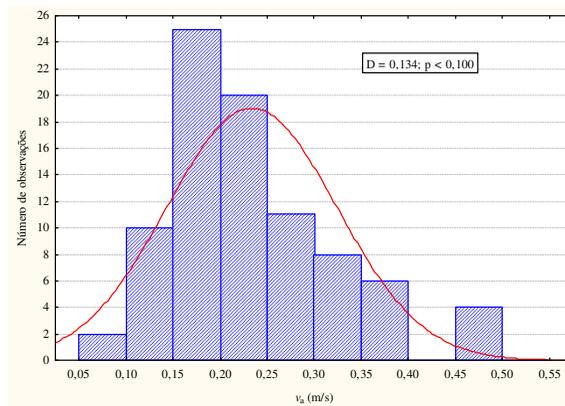


Figura 26 – Histograma da variável “v<sub>a</sub>” em abril, em Coimbra.

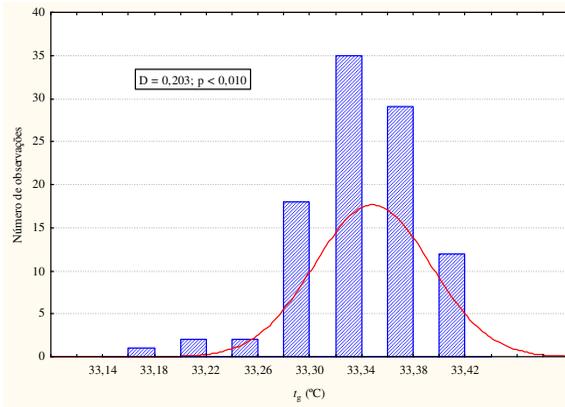


Figura 27 – Histograma da variável “ $t_g$ ” em abril, em Corumbá.

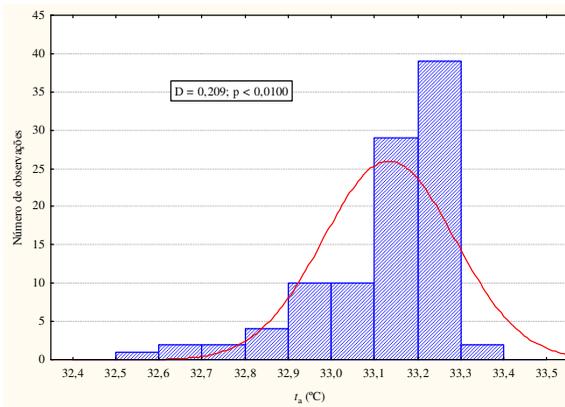


Figura 28 – Histograma da variável “ $t_a$ ” em abril, em Corumbá.

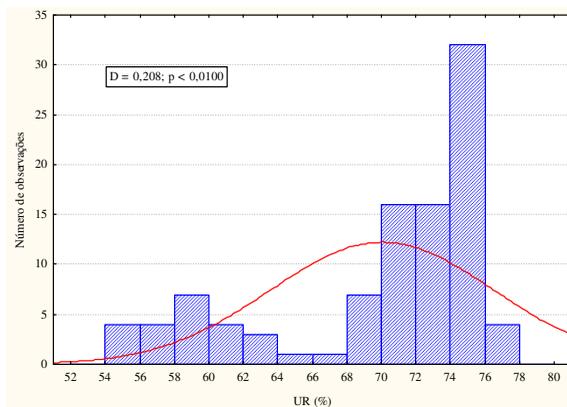


Figura 29 – Histograma da variável “UR” em abril, em Corumbá

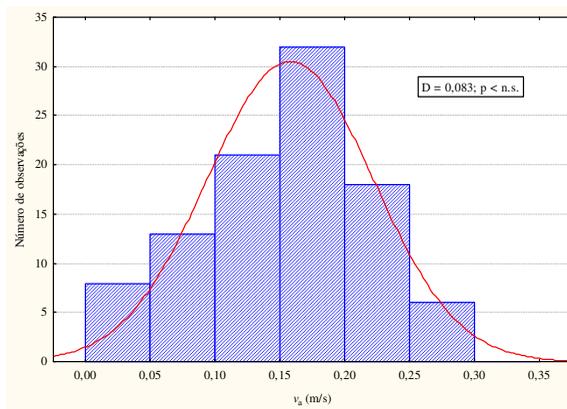


Figura 30 – Histograma da variável “v<sub>a</sub>” em abril, em Corumbá.

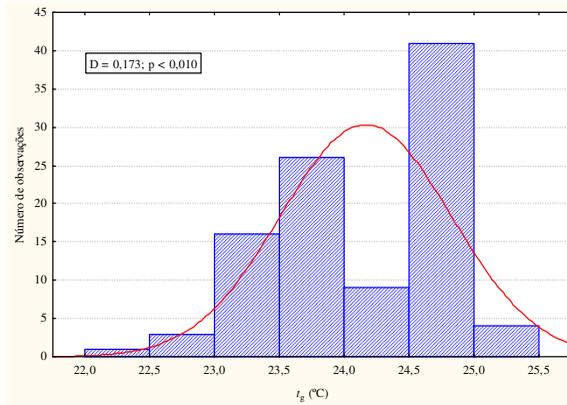


Figura 31 – Histograma da variável “ $t_g$ ” em abril, em Campo Grande

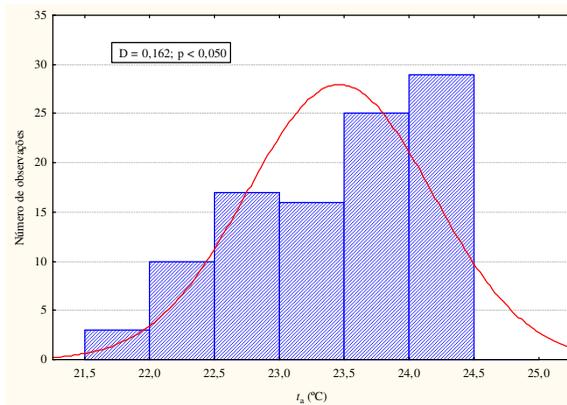


Figura 32 – Histograma da variável “ $t_a$ ” em abril, em Campo Grande

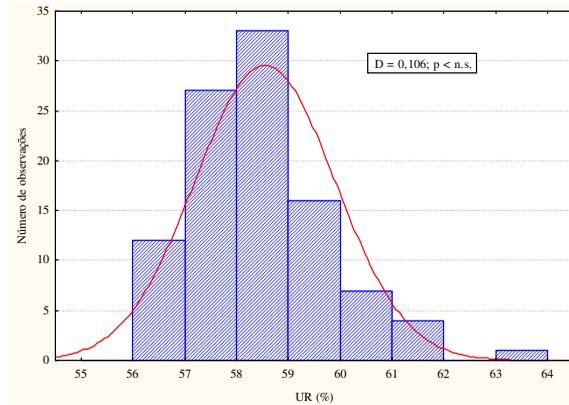


Figura 33 – Histograma da variável “UR” em abril, em Campo Grande

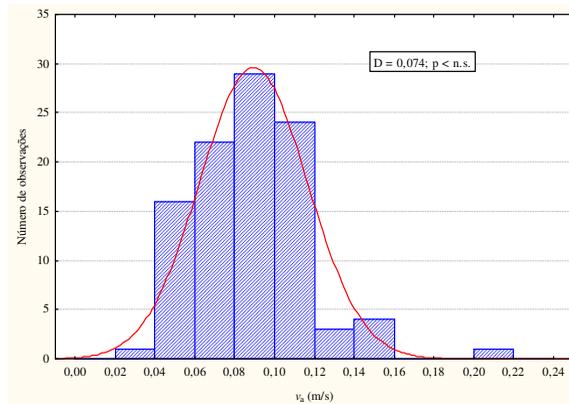


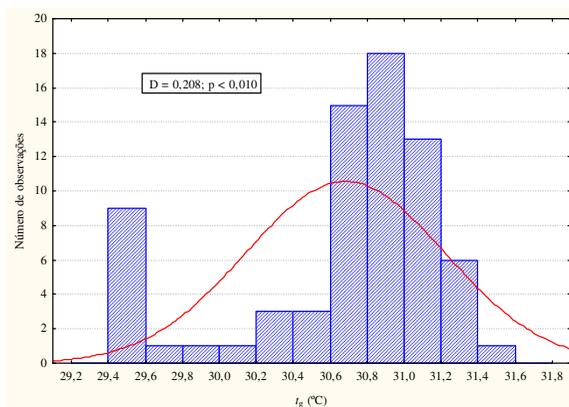
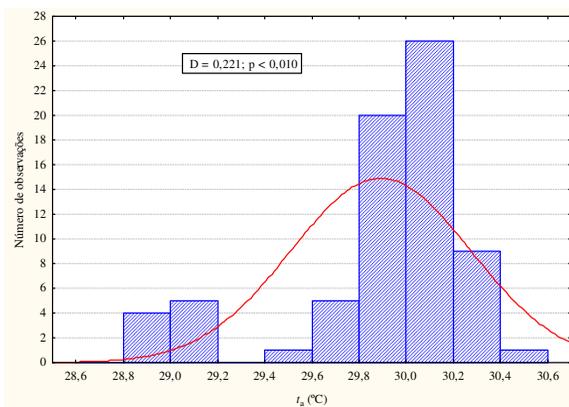
Figura 34 – Histograma da variável “v<sub>a</sub>” em abril, em Campo Grande

Já na Tabela 13 a seguir relacionam-se as mesmas variáveis obtidas na mesma taxa de aquisição (15 minutos) no mês de novembro.

Tabela 13 - Dados observados - internamente - nos ACN em novembro.

Dados observados em novembro, por período - Ambientes Cond. Naturalmente												
	Coimbra				Corumbá				Campo Grande			
	1 <sup>o</sup>	2 <sup>o</sup>	3 <sup>o</sup>	4 <sup>o</sup>	1 <sup>o</sup>	2 <sup>o</sup>	3 <sup>o</sup>	4 <sup>o</sup>	1 <sup>o</sup>	2 <sup>o</sup>	3 <sup>o</sup>	4 <sup>o</sup>
$t_g$ (°C)	30,1	31,0	31,1	31,0	26,2	27,3	28,2	28,7	28,3	28,7	28,8	28,9
$t_a$ (°C)	29,6	30,2	30,1	30,0	25,9	26,8	27,5	27,9	28,2	28,4	28,7	28,8
UR (%)	71	69	67	66	71	69	66	65	73	74	74	73
$v_a$ (m/s)	0,07	0,17	0,25	0,22	0,21	0,15	0,08	0,09	0,03	0,15	0,29	0,27

Os testes de normalidade da distribuição das frequências dessas variáveis foram realizados pela metodologia *Kolmogorov e Smirnov*, com nível de confiança de 95%, indicaram que todas elas têm distribuição normal. Seguem-se os histogramas obtidos.

Figura 35 – Histograma da variável “ $t_g$ ” em novembro, em CoimbraFigura 36 – Histograma da variável “ $t_a$ ” em novembro, em Coimbra

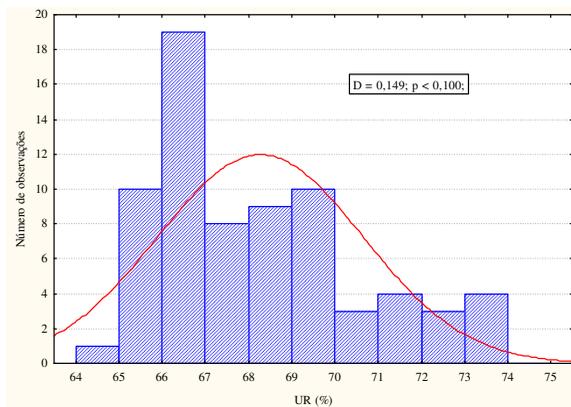


Figura 37 – Histograma da variável “UR” em novembro, em Coimbra

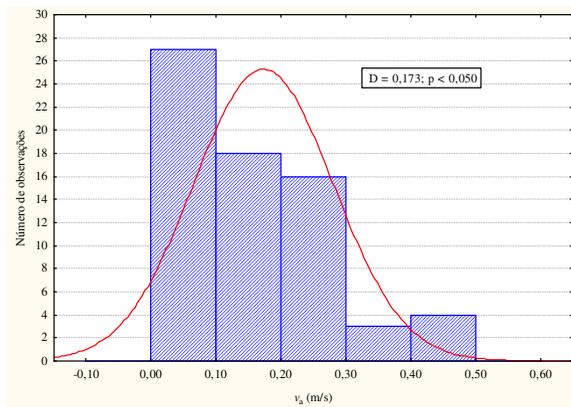


Figura 38 – Histograma da variável “v<sub>a</sub>” em novembro, em Coimbra

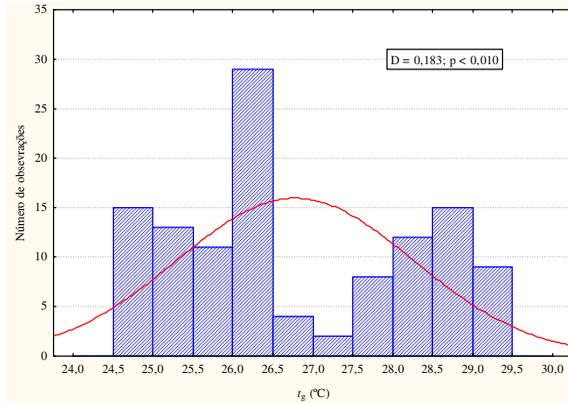


Figura 39 – Histograma da variável “ $t_g$ ” em novembro, em Corumbá

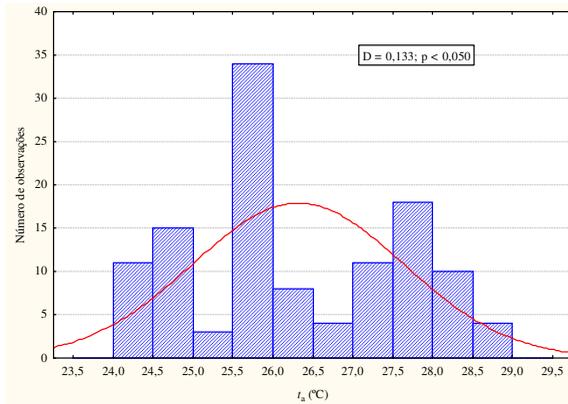


Figura 40 – Histograma da variável “ $t_a$ ” em novembro, em Corumbá

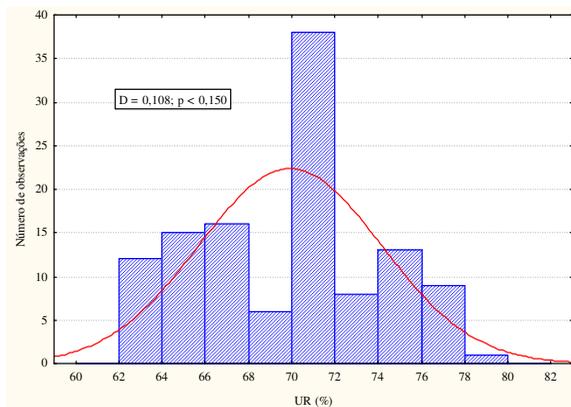


Figura 41 – Histograma da variável “UR” em novembro, em Corumbá

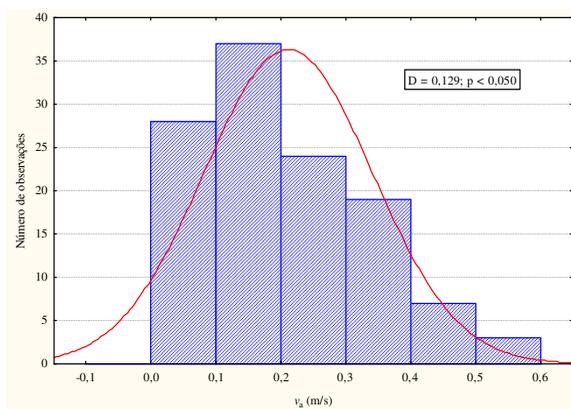


Figura 42 – Histograma da variável “v<sub>a</sub>” em novembro, em Corumbá

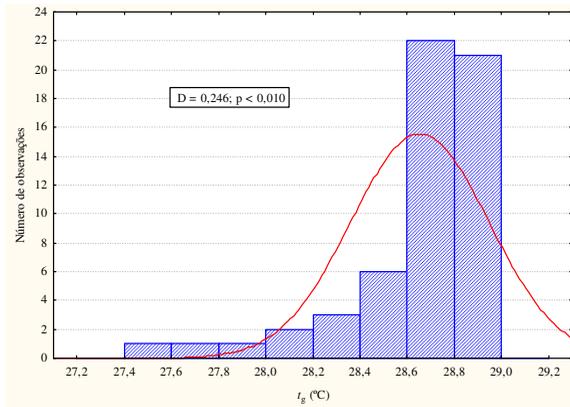


Figura 43 – Histograma da variável “ $t_g$ ” em novembro, em Campo Grande

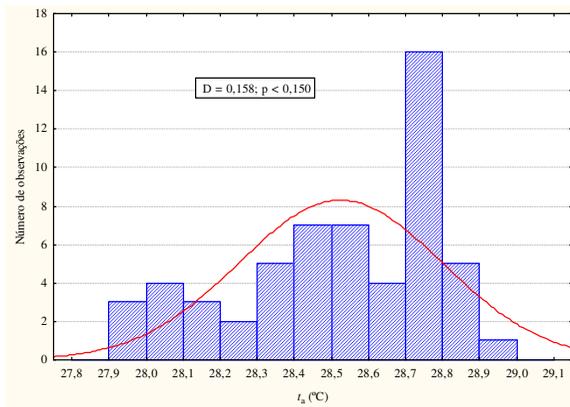


Figura 44 – Histograma da variável “ $t_a$ ” em novembro, em Campo Grande

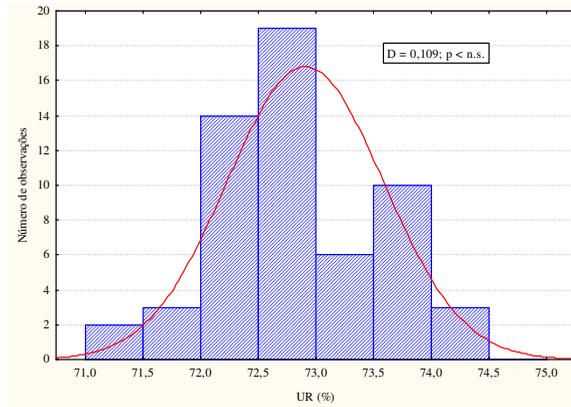


Figura 45 – Histograma da variável “UR” em novembro, em Campo Grande

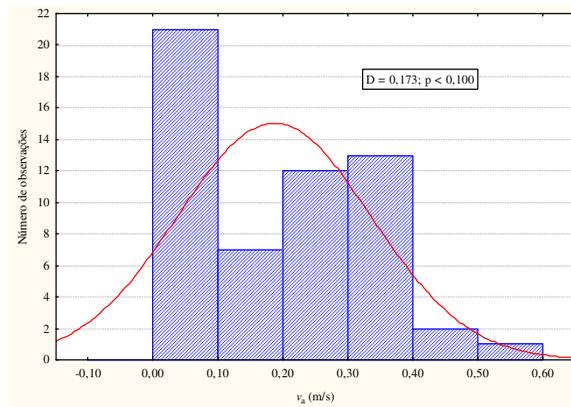


Figura 46 – Histograma da variável “v<sub>d</sub>” em novembro, em Campo Grande

#### 4.2.2 Ambientes condicionados artificialmente

As estatísticas dos dados climáticos observados no dia 18 de abril e 1º de dezembro de 2005, externamente ao ambiente condicionado artificialmente, nas 24 horas que antecederam o término do experimento, estão indicados na Tabela 14 abaixo.

Tabela 14 - Variáveis climáticas externas ao ambiente condicionado artificialmente.

Estatísticas das variáveis externas ao ACA	GIDUR			
	18 de abril		01 de dezembro	
	text (°C)	UR (%)	text (°C)	UR (%)
Média	32,6	35	29,8	61
Erro padrão	0,200	0,755	0,252	1,032
Mediana	33,2	34	29,9	59
Modo	33,6	33	29,9	56
Desvio padrão	1,150	4,340	1,449	5,931
Variância da amostra	1,323	18,835	2,100	35,176
Curtose	-1,021	0,410	-0,654	-0,700
Assimetria	-0,631	1,058	-0,147	0,556
Intervalo	3,7	17	5,6	22
Mínimo	30,3	30	26,7	51
Máximo	34,0	47	32,3	73
Soma	1076,3	1160,8	982,3	2003,2
Contagem	33	33	33	33
Nível de confiança(95,0%)	0,408	1,539	0,514	2,103

Tal como aconteceu nos ambientes condicionados naturalmente, na aplicação do *Teste de Aderência de Kolmogorov e Smirnov*, com nível de confiança de 95% resultou que podemos rejeitar a hipótese de normalidade para todas as variáveis. Entretanto, considerando que as amostras são estatisticamente consideradas suficientemente grandes ( $n > 30$ ), sua distribuição pode ser considerada como normal. Os histogramas obtidos estão a seguir representados:

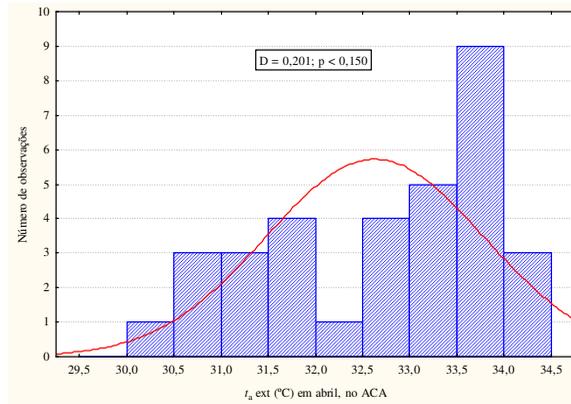


Figura 47 – Histograma da variável “t<sub>a</sub> ext” em abril, na GIDUR/CEF.

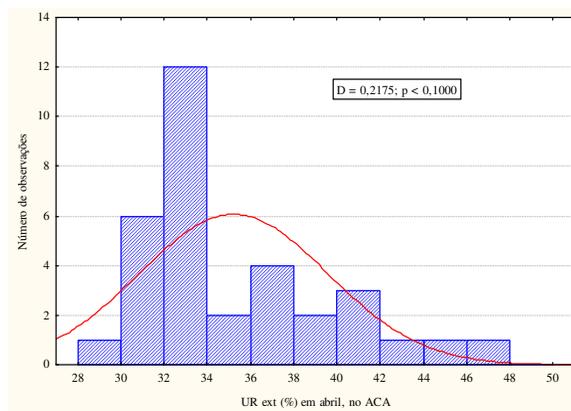


Figura 48 – Histograma da variável “UR ext” em abril, na GIDUR/CEF.

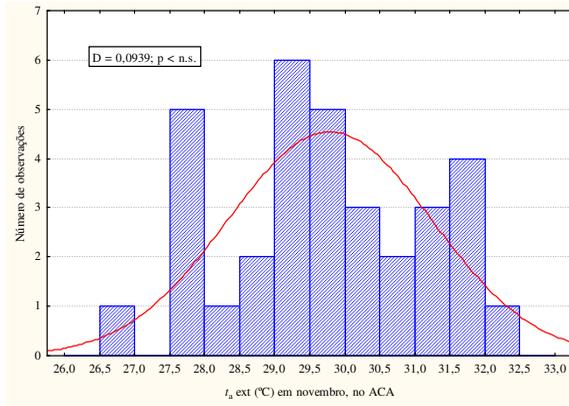


Figura 49 – Histograma da variável “ta ext” em novembro, na GIDUR/CEF

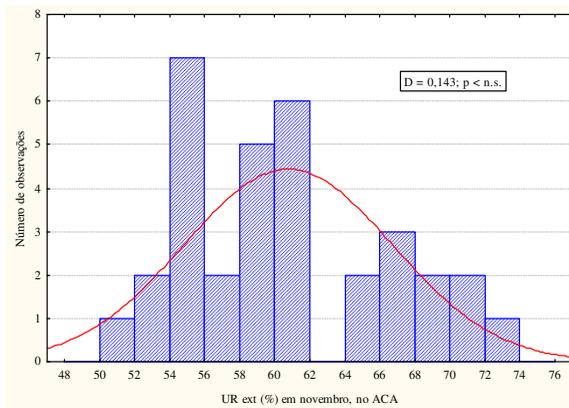


Figura 50 – Histograma da variável “UR ext” em novembro, na GIDUR/CEF

As temperaturas médias de globo e do ar, umidade relativa média e velocidade média do ar verificadas nos ambientes, foram obtidas durante a realização do experimento em abril e novembro, a cada 15 minutos, e estão indicadas na Tabela 15 abaixo.

Tabela 15 - Dados observados no ACA em abril e novembro.

	GIDUR - CEF , por período							
	Abril				Novembro			
	1 <sup>o</sup> .	2 <sup>o</sup> .	3 <sup>o</sup> .	4 <sup>o</sup> .	1 <sup>o</sup> .	2 <sup>o</sup> .	3 <sup>o</sup> .	4 <sup>o</sup> .
tg (°C)	23,6	23,5	23,5	23,5	24,6	24,5	24,4	24,5
ta (°C)	22,6	22,5	22,6	22,6	23,8	23,7	23,7	23,7
UR (%)	53	53	53	53	56	56	55	55
va (m/s)	0,16	0,18	0,18	0,17	0,09	0,10	0,08	0,08

Os testes de normalidade da distribuição de frequências foram realizados pelo *Teste de Aderência de Kolmogorov e Smirnov*, com nível de confiança de 95%, indicaram que todas elas têm distribuição normal.

A seguir seguem-se os histogramas obtidos a partir das variáveis monitoradas em abril e em novembro, respectivamente..

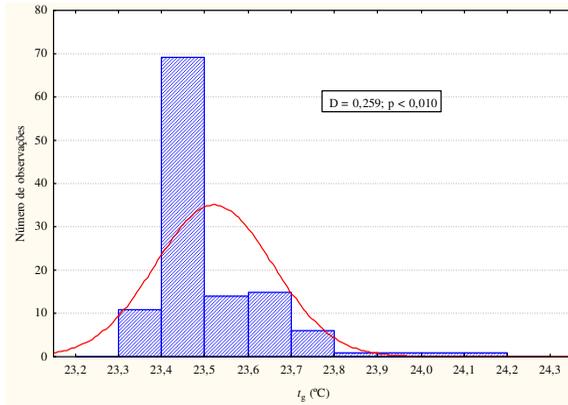


Figura 51 – Histograma da variável “ $t_g$ ” em abril, na GIDUR/CEF

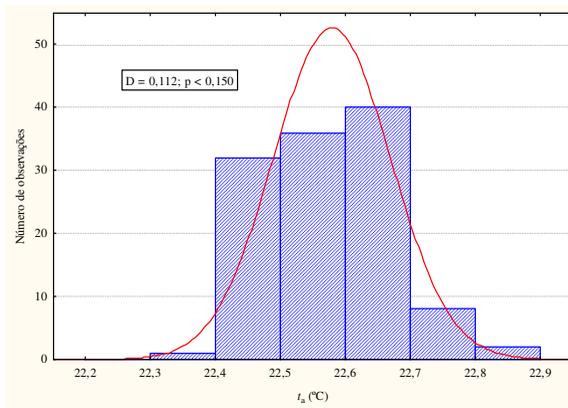


Figura 52 – Histograma da variável “ $t_a$ ” em abril, na GIDUR/CEF

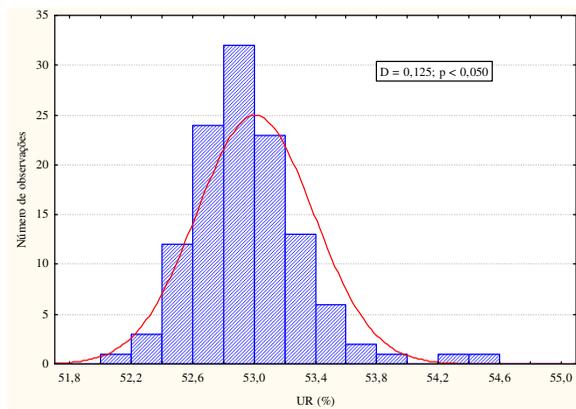


Figura 53 – Histograma da variável “UR” em abril, na GIDUR/CEF

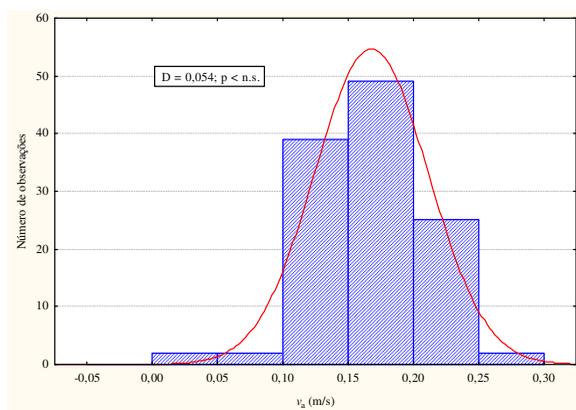


Figura 54 – Histograma da variável “v<sub>a</sub>” em abril, na GIDUR/CEF

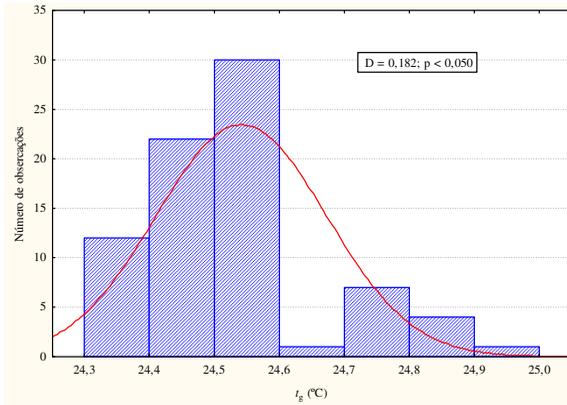


Figura 55 – Histograma da variável “ $t_g$ ” em novembro, na GIDUR/CEF

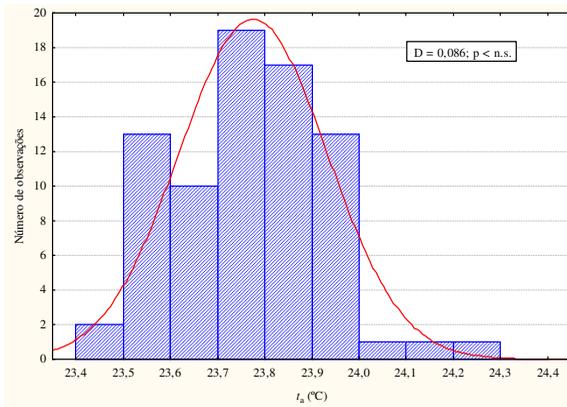


Figura 56 – Histograma da variável “ $t_a$ ” em novembro, na GIDUR/CEF

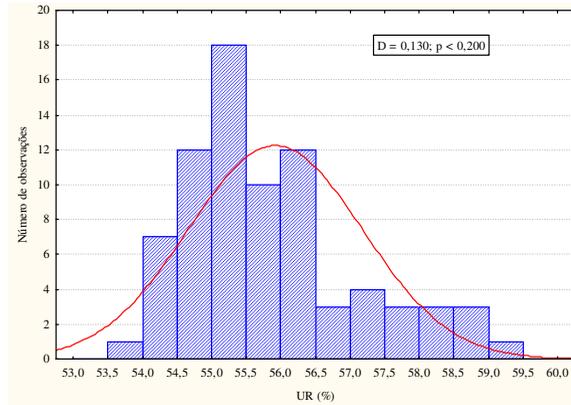


Figura 57 – Histograma da variável “UR” em novembro, na GIDUR/CEF

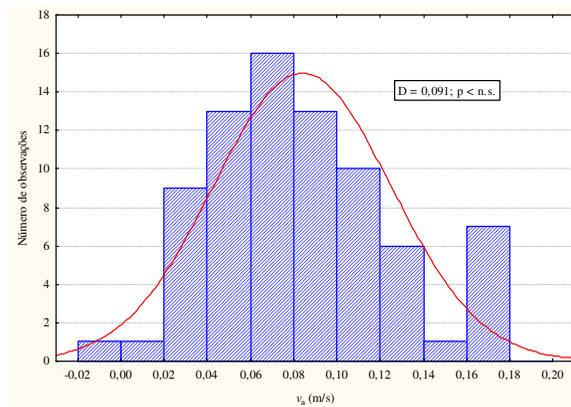


Figura 58 – Histograma da variável “v<sub>a</sub>” em novembro, na GIDUR/CEF

### **4.3 ANÁLISE DOS VOTOS SUBJETIVOS (VOTOS DE SENSAÇÃO E DE PREFERÊNCIA TÉRMICA) INDICADOS PELOS INDIVÍDUOS E DO VOTO MÉDIO PREDITO E DO PERCENTUAL DE PESSOAS TERMICAMENTE DESCONFORTÁVEIS CALCULADOS SEGUNDO A ISO 7730(1994).**

Das 1.301 participações, 1.223 se referem aos ambientes condicionados naturalmente e 78, ao condicionado artificialmente. Do total, ocorreram 643 respostas individuais ao conjunto das questões propostas pela **ISO10551(1995)**, que foram aplicadas no período da tarde. Também foram calculados os votos médios preditos e os percentuais de pessoas termicamente desconfortáveis calculados conforme o proposto por Fanger (1982) e os valores resultante das aplicações das metodologias propostas por Humphreys e Nicol (2002) e Fanger e Toftum (2002) em cada um dos instantes dos experimentos. Para esta metodologia, adotou-se os fatores nela propostos de “0,5” para Coimbra, “0,7” para Corumbá e “0,8” para Campo Grande propostos pelos autores, justificando-se, respectivamente, pela predominância de período quente em todas as estações do ano e a existência de poucos edifícios com ar condicionado em Coimbra; período de verão quente e as diferentes quantidades de edifícios com ar condicionados em Corumbá e Campo Grande. Os resultados obtidos encontram-se nas Tabelas 16, 17 e 18 a seguir.

Deve-se considerar que durante o primeiro período do experimento em Corumbá, e em abril, os ventiladores de teto existentes no ambiente permaneceram propositadamente desligados, objetivando a análise da influência da velocidade do ar na indicação do voto de sensação térmica. A mesma consideração deve ser feita na Tabela 16, nos primeiros períodos dos experimentos realizados em Coimbra e Campo Grande. Por outro lado, justificam-se os votos de sensação térmica informados em Campo Grande no experimento de abril, a passagem de frente fria que teve início dia anterior ao experimento, provocando, em menos de 12 hs., o decréscimo da temperatura do ar de 18,3°C para 11°C, ocorrência completamente fora dos padrões climatológicos normais da região. Esse evento refletiu na utilização, pelos voluntários, de fardamento que somou 1,09 clo.

Observa-se, na Tabela 16 a seguir, que, desconsiderando os votos de sensação térmica informados no primeiro período do experimento em Corumbá por conta da permanência dos ventiladores desligados e assim certamente não retratarem o cotidiano dos voluntários, em ne-

nhum período os votos médios preditos indicados acompanharam os votos de sensação térmica. Tal ocorrência demonstra a existência das discrepâncias já apontadas em trabalhos semelhantes realizados em outras regiões do mundo.

Já as metodologias para correção do voto médio predito propostas por Humphreys e Nicol (2002) e Fanger e Toftum (2002) demonstraram-se, em princípio, adequadas nesta cidade à finalidade pretendida, pois seus valores foram bastante próximos aos votos de sensação térmica, indicando diferença nominal ( $\Delta V$ ) máxima encontrada de 0,4, o que não é significativa dada a subjetividade existente no experimento. Em Campo Grande, as metodologias de correção indicaram valores bastante diferentes dos valores dos votos de sensação térmica, provavelmente pela condição climática atípica enfrentada durante o experimento.

Tabela 16 - Votos de sensação térmica médios e votos médios preditos, verificados em abril, nos ambientes condicionados naturalmente.

	Valores observados em abril/período - Amb. Cond. Naturalmente											
	Coimbra (34,4°C/0,22m/s)				Corumbá (33,1°C/0,18m/s)				C.Grande (23,5°C/0,09m/s)			
	1º	2º	3º	4º	1º	2º	3º	4º	1º	2º	3º	4º
VST	1.6	1.5	1.3	1.3	2.4	1.8	1.7	1.6	-0.9	-0.5	-0.2	-0.2
VMP (ISO 7730)	3,0	3,0	3,0	3,0	2,7	2,8	2,9	2,9	0,4	0,5	0,7	0,7
VMP (H,N)*	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.5	1.5	0.1	0.1	0.2	0.2
VMP (F,T)**	1.5	1.5	1.5	1.5	1.9	2,0	2,0	2,0	0,3	0,4	0,6	0,6
$\Delta$ [VST - VMP(ISO7730)]	1.4	1.5	1.7	1.7	0.3	1,0	1.2	1.3	1.3	1,0	0,9	0,9
$\Delta$ [VST - VMP(HN*)]	0.1	0,0	0.2	0.2	1,0	0.4	0.2	0.1	1,0	0.6	0.4	0.4
$\Delta$ [VST - VMP(FT**)]	0.1	0,0	0.2	0.2	0.5	0.2	0.3	0.4	1,2	0.9	0.8	0.8
	* Humphreys, M. A.; Nicol, J. F. (2002)						** Fanger, P.O; Toftum, J. (2002)					
	menor diferença				maior diferença							

Já na Tabela 17 abaixo estão representados os votos obtidos nos experimentos de novembro, onde deverão ser desconsiderados os votos do primeiro período em Coimbra e Campo Grande, quando os ventiladores também permaneceram proposadamente desligados. Pode-se observar que também ocorreram discrepâncias entre os votos médios preditos e votos de sensação térmica, excetuando-se o 4º período de Corumbá que se manteve próximo. Depois de desconsiderados os votos do primeiro período, observa-se também que a metodologia de Humphreys e Nicol (2002) revelou valores muito próximos em Coimbra e Campo Grande, enquanto a de Fanger e Toftum (2002) apenas o fez em Coimbra.

Tabela 17 - Votos de sensação térmica médios e votos médios preditos, verificados em novembro, nos ambientes condicionados naturalmente.

	Valores observados em novembro/período - Amb. Cond. Naturalmente											
	Coimbra (30,0°C/0,21m/s)				Corumbá (27,0°C/0,13m/s)				C.Grande (28,5°C/0,24m/s)			
	1º	2º	3º	4º	1º	2º	3º	4º	1º	2º	3º	4º
VST	1,8	0,9	0,9	0,8	0,9	1,4	1,5	1,5	1,7	0,5	0,2	0,1
VMP (ISO 7730)	1,7	1,9	1,9	1,8	0,4	0,8	1,1	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3
VMP (H,N)*	0,7	0,8	0,8	0,8	0,1	0,3	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
VMP (F,T)**	0,9	1,0	1,0	0,9	0,3	0,6	0,8	0,9	1,1	1,0	1,0	1,0
$\Delta$ [VST - VMP(ISO7730)]	0,1	1,0	1,0	1,0	0,5	0,6	0,4	0,2	0,3	0,8	1,1	1,2
$\Delta$ [VST - VMP(HN*)]	1,1	0,1	0,1	0,0	0,8	1,1	1,0	0,9	1,1	0,1	0,3	0,4
$\Delta$ [VST - VMP(FT**)]	0,9	0,1	0,1	0,1	0,6	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,8	0,9
	* Humphreys, M. A.; Nicol, J. F. (2002)						** Fanger, P.O; Toftum, J. (2002)					
	menor diferença				maior diferença							

Objetivando a análise do fator de expectativa -  $e$  - proposto por Fanger e Toftum (2002), procedeu-se à regressão dos votos de sensação térmica, de acordo com a classe de cada voluntário (veterano ou recruta), e ainda se usuários ou não de ventiladores ou ar condicionado, com os votos médios preditos calculados de acordo com ISO7730(1994). As relações entre os votos de sensação térmica e os votos médios preditos revelaram: em Coimbra  $VST/VMP = 0,50$  ( $r^2 = 0,914$ ); Corumbá  $VST/VMP = 0,757$  ( $r^2 = 0,847$ ) e Campo Grande  $VST/VMP = 0,408$  ( $r^2 = 0,231$ ). Observa-se que para Coimbra o valor estatístico resultante é idêntico ao indicado pela proposta de correção, enquanto para Corumbá e Campo Grande o valor obtido na correlação é 8% maior que o adotado. Podemos preliminarmente concluir que, se para Corumbá o valor indicado pode ser aceito até melhor confirmação com novos experimentos de campo, para Campo Grande não se deve adotá-lo, uma vez que certamente a entrada da frente fria prejudicou a conclusão esperada.

No ambiente condicionado artificialmente, tanto a ISO7730(1994) como a metodologia de Humphreys e Nicol (2002) apontaram apenas no último instante de novembro valores muito próximos dos votos de sensação térmica manifestados. Na Tabela 18 abaixo, relacionam-se as diferenças ( $\Delta V$ ) encontradas.



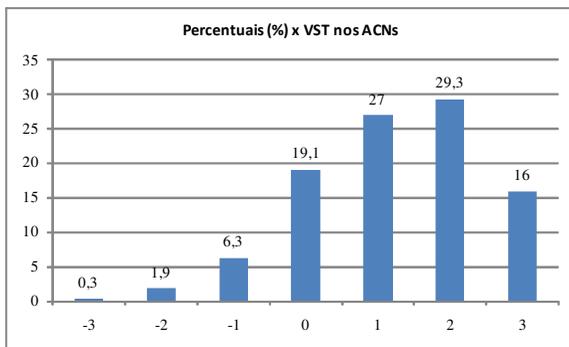


Figura 59 – Frequência dos VST nos ACN.

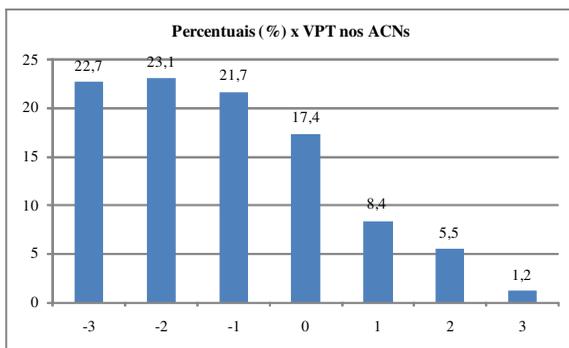


Figura 60 – Frequência dos VPT nos ACN.

Conforme já afirmado, os votos de sensação e de preferência térmica foram informados a partir da aplicação de questionário que atende o modelo proposto pela ISO 10551(1995) e aplicado no início do período da tarde. Para tanto, após 30 minutos da entrada no ambiente, os voluntários responderam pela 1ª vez o questionário o que foi repetido mais 3 vezes a cada intervalo de 20 minutos. Durante todo experimento os voluntários permaneceram desenvolvendo atividade sedentária e vestiam uniforme padrão. Desse procedimento resultou amostra de dados que foi submetida ao teste estatístico não paramétrico da Mediana de Mood, com coeficiente de confiabilidade de 95%, resultando que dos VST informados em abril, em Coimbra, não há diferença significativa

entre veteranos e recrutas. Já em Corumbá, *há diferença significativa* apenas entre os votos de sensação térmica manifestados no 1º momento da pesquisa ( $p = 0,048$ ), o que poderia ser explicado pelo fato de o ventilador estar desligado e cada voluntário responder diferentemente à situação climática enfrentada.

O mesmo resultado foi encontrado em Campo Grande, onde apenas entre os votos de sensação térmica, manifestados no 1º momento da pesquisa, se observou que *há diferença significativa* entre as indicações dos veteranos e recrutas ( $p < 0,001$ ); nesse experimento os ventiladores permaneceram ligados; pode-se descartar essa hipótese.

Com respeito aos votos de preferência térmica manifestados em abril, os resultados estatísticos foram: em Coimbra, *não existiu diferença significativa* ( $p = 0,077$ ) apenas no 4º momento da aplicação do experimento. Em Corumbá, *existiram diferenças significativas* no 2º ( $p = 0,039$ ) e 4º ( $p = 0,022$ ) momentos. Já em Campo Grande, *não existiram diferenças significativas* entre os votos dos recrutas e veteranos. Esses resultados reforçam o descarte da hipótese de que as diferenças poderiam estar relacionadas com a permanência do ventilador desligado no 1º momento do experimento. Nos experimentos realizados em novembro, *foi encontrada diferença significativa* somente em Corumbá, no 1º momento ( $p = 0,032$ ).

Considerando que os recrutas são de idade inferior aos veteranos, esses resultados estatísticos contradizem a conclusão apresentada em Fanger (1982) que afirma não existir diferença significativa entre os votos manifestados por indivíduos de idades cronológicas diferentes, submetidos ao mesmo ambiente térmico e desenvolvendo a mesma atividade.

A Figura 61 a seguir ilustra a correlação entre os votos de sensação e de preferência térmica, com reta com coeficiente angular inverso ao obtido na correlação da Figura 10. Essa inversão se dá em função de que aos votos de sensação térmica variando de 0 (neutro) a +3 (com muito calor) correspondem normalmente votos de preferência térmica que variam de 0 (assim mesmo) a -3 (bem mais refrescado). O coeficiente de determinação ( $r^2 = 0,592$ ) obtido na correlação demonstra que aproximadamente 60% dos votos de sensação térmica estão relacionados com os votos de preferência térmica, o que é altamente significativo em se tratando de *fatores subjetivos* conforme apresentado no item 2.2.3 anterior.

Observa-se também que grande quantidade de votos está localizada além do limite superior de conforto proposto pela ISO7730(1994), indicando, coerentemente, o desconforto por calor e a preferência por ambiente mais refrescado, próprio da região pesquisada.

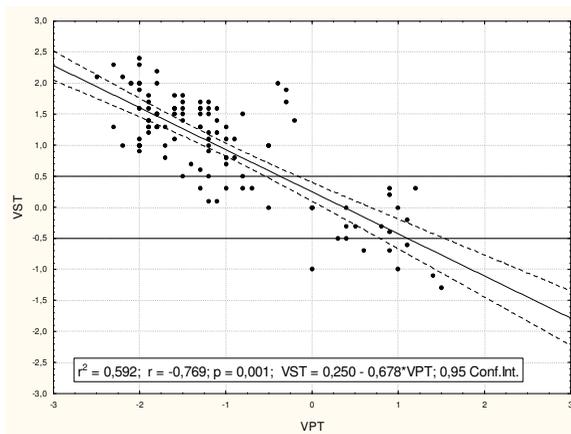


Figura 61 - Correlação entre o VST e o VPT nos ACN.

A Figura 62 a seguir ilustra a correlação entre os votos de preferência térmica e os votos médios preditos calculados segundo a ISO 7730(1994), que produziu coeficiente de determinação ( $r^2 = 0,440$ ). Duas observações podem ser verificadas. Se sob enfoque das ciências exatas o coeficiente obtido indica que não se deve aceitar o modelo resultante, a distribuição dos votos indica coerência entre os votos manifestados, pois enquanto os votos de sensação térmica indicaram desconforto por calor, os votos de preferência térmica indicaram ambiente mais refrescado, como era de se esperar. Essa coerência pode ser estatisticamente entendida se aplicarmos ao referido coeficiente o enfoque da bioestatística, que, para o caso, traduz elevada correlação entre as variáveis. Também repete-se, coerentemente, a grande quantidade de votos, agora abaixo do limite inferior de conforto proposto pela ISO7730(1994).

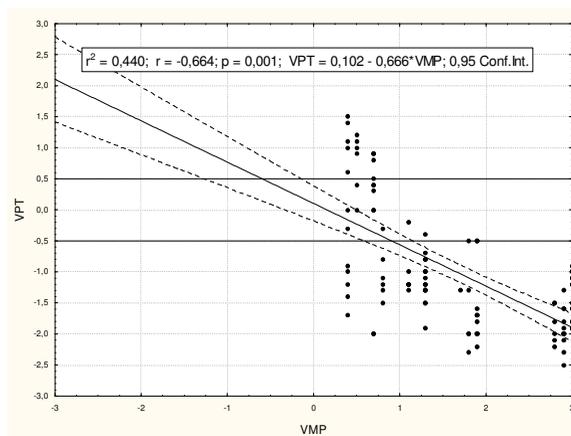


Figura 62 - Correlação entre o VPT e o VMP nos ACN.

A Figura 63 a seguir ilustra a correlação (com 95% de confiança) entre os votos indicados em cada período. Nelas não foram considerados os votos indicados nos períodos em que os ventiladores permaneceram desligados. Observa-se que o coeficiente de determinação obtido ( $r^2 = 0,403$ ) indica, admitindo-se equivocadamente o enfoque de dados originados nas ciências exatas, que aproximadamente apenas 40% da variação do VST foi “explicada” pela reta de regressão. Tal conclusão confirmaria que a aplicação da ISO7730(1994) nos ambientes pesquisados, e sob as condições climáticas verificadas para a avaliação térmica que se pretende, não é adequada. Entretanto, não é o que se verifica na análise bioestatística, pois para tal coeficiente se conclui pela aceitação do modelo em função do ( $r^2$ ) ser maior que 0,25. Também se pode observar que existe grande quantidade de voluntários fora da faixa de conforto de  $VST = \pm 0,5$  admitida pela norma recém referida. Desses voluntários, a maioria se manifestou em desconforto por calor, próprio da região, enquanto “incoerentemente” pequena parcela o fez por frio.

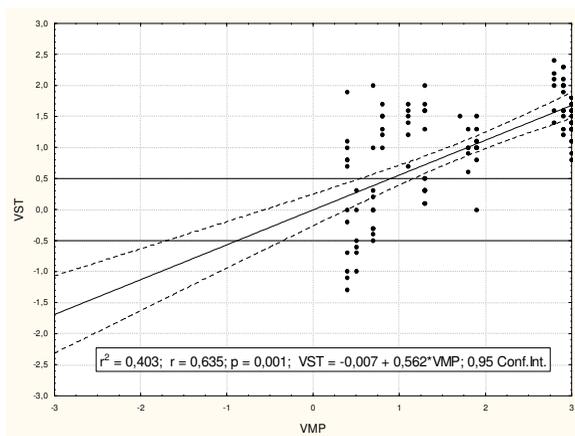


Figura 63 - Correlação entre os VST e os VMP nos ACN.

Observa-se, nas figuras anteriores, que o melhor coeficiente de determinação foi obtido na correlação entre os votos de sensação térmica e os votos de preferência térmica, o que pode ser explicado pela condição de que ambos são manifestações subjetivas ou com forte componente psicológico dos voluntários. A partir do momento em que se procede ao correlacionamento tanto dos votos de sensação térmica como do votos de votos de preferência

térmica com os votos médios preditos, os coeficientes decrescem nominalmente, apesar de ainda manterem-se acima do limite de aceitabilidade da bioestatística.

A variabilidade dos VST em relação ao VMP está indicada na Tabela 19 a seguir, onde estão indicados os coeficientes de determinação obtidos na correlação de cada uma das classes de voluntários e os VMP calculados em cada um dos experimentos realizados em abril e novembro, nos ACN.

Tabela 19 – Correlações entre VST e VMP, em abril e novembro, nos ACN.

Correlação VST x VMP		$r^2$	$r$
Veteranos	Que tem ar condicionado	0,40	0,62
	Que tem ventilador	0,34	0,58
	Não tem ar condicionado nem ventilador	0,42	0,65
Recrutas	Que tem ar condicionado	0,54	0,74
	Que tem ventilador	0,52	0,72
	Não tem ar condicionado nem ventilador	0,25	0,50

Apesar dos coeficientes de determinação estarem acima do limite que caracteriza na bioestatística correlação “elevada” ( $r \geq 0,250$ ), observa-se que o menor deles refere-se à correlação dos recrutas que não utilizavam anteriormente ar condicionado nem ventilador, caracterizando-os, por consequência, como mais aclimatados à região. Já o conjunto dos resultados indica que realmente existem diferenças entre os votos manifestados pelas diferentes classes de voluntários, contrariando, nesse contexto, afirmação encontrada em Fanger (1982).

As correlações entre os VST e os VMP obtidos pelas metodologias de correção propostas por Humphreys e Nicol (2002) e Fanger e Toftum (2002) estão representadas nas Figuras 64 e 65 a seguir. Nelas podemos observar que os coeficientes de determinação foram, respectivamente,  $r^2 = 0,424$  e  $r^2 = 0,442$ , que, sob enfoque bioestatístico, também indicam elevada correlação entre as variáveis. Confrontados esses resultados com os indicados nas Tabelas 17 e 18, podemos admitir que tais metodologias não indicam resultados absurdos.

Entretanto, o mesmo não acontece se aplicarmos o mesmo raciocínio na correlação do VST com o VMP calculado segundo a ISO7730(1994), que indicou ( $r^2 = 0,403$ ) para o ACA. Neste caso, são exatamente as Tabelas 16 e 17 que inviabilizam a aceitação da me-

todologia normativa. Isso implica que é aconselhável que novos experimentos sejam realizados para a definição entre as 3, qual ou quais delas são mais adequadas para aplicação na região.

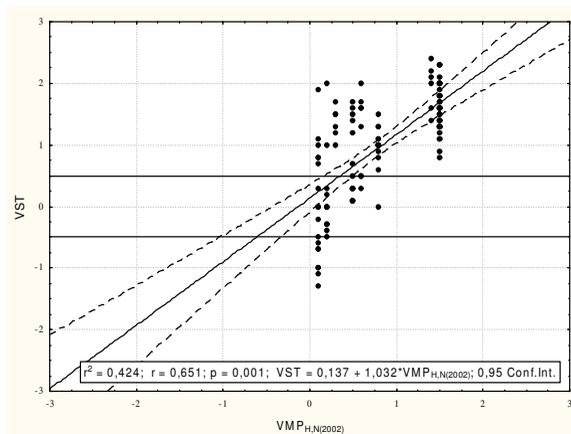


Figura 64 - Correlações entre VST e os  $VMP_{H,N}(2002)$  nos ACN.

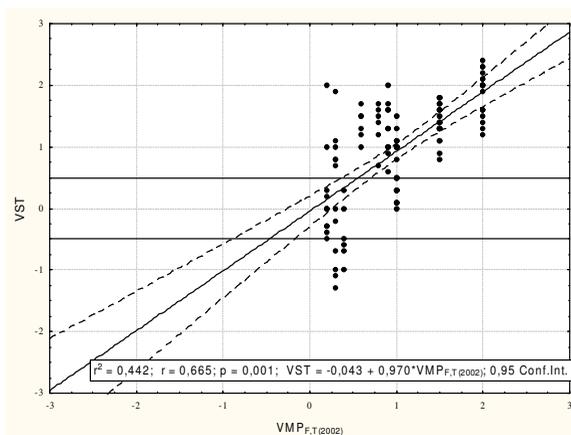


Figura 65 - Correlações entre VST e os  $VMP_{F,T}(2002)$  nos ACN.

#### 4.3.1.2 Ambiente condicionado artificialmente

Nas Figuras 66 e 67 a seguir, observam-se às frequências dos votos manifestados pelos voluntários, em que 88,4% deles indicaram votos de sensação térmica entre  $\pm 1$  e 86,8% votos de preferência térmica na mesma faixa. Já 11% indicaram  $+3 \leq VST \leq +2$  e 9,3%  $-3 \leq VPT \leq -2$ ,

enquanto 46,8% sentiam-se termicamente confortáveis (VST = 0) e 45,2% disseram que a temperatura ambiente não deveria ser alterada (VPT = 0).

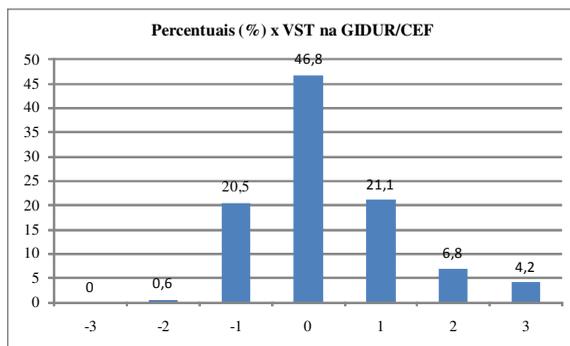


Figura 66 – Frequência dos VST nos ACA.

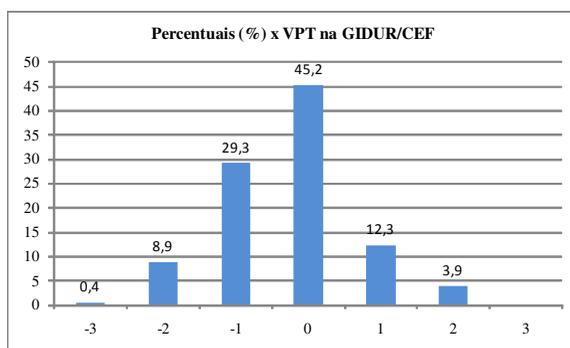


Figura 67 – Frequência dos VPT nos ACA.

Considerando que as discrepâncias encontradas entre os votos de sensação térmica e os votos médios preditos foram insignificantes, torna-se desnecessária a representação gráfica das correlações encontradas.

No tratamento dos dados, foi utilizado o teste não paramétrico da Mediana de Mood, com coeficiente de confiabilidade de 95%, que revelou que em abril, no 2º. e 4º. momentos de aplicação do questionário, houve *diferenças significativas*, ( $p = 0,046$ ) e ( $p = 0,003$ ), entre os votos de sensação térmica manifestados pelos homens e mulheres. Observou-se também que *existem diferenças significativas* entre os gêneros nas manifestações dos votos de preferência térmica nos 2º. ( $p = 0,019$ ),

3°. ( $p = 0,007$ ) e 4°. ( $p = 0,046$ ) momentos. Em novembro, tanto com respeito aos votos de sensação térmica como aos votos de preferência térmica, ficou comprovado que *há diferença significativa*,  $p = 0,024$  e  $p = 0,044$ , respectivamente, entre os gêneros apenas no 2°. momento de aplicação do questionário. Esses resultados também contradizem a conclusão encontrada em Fanger (1982), ou seja: “the present experiments show no significant difference in comfort conditions between males and females, either among college-age persons or among elderly persons. If any difference does exist, it is small and no engineering significance”.

Ainda nesse ambiente, a análise entre o índice de isolamento das roupas e os votos de sensação térmica e votos de preferência térmica indicados pelos voluntários revelou que não há correlação entre eles, em nenhum momento dos dois experimentos realizados, significando que não houve interferência da vestimenta nos votos indicados. Pode-se concluir que o padrão de vestimenta utilizado individualmente era adequado à condição climática do ambiente.

---

#### 4.4 EQUAÇÕES PARA CÁLCULO DO VOTO DE SENSAÇÃO TÉRMICA A PARTIR DOS VOTOS MÉDIOS PREDITOS OBTIDOS PELA APLICAÇÃO DA ISO 7730(1994), DOS MODELOS ADAPTATIVOS PROPOSTOS POR HUMPHREYS E NICOL (2002) E FANGER E TOFTUM (2002) E EM FUNÇÃO DO VOTO MÉDIOS PREDITO OBTIDO PELA APLICAÇÃO DA ISO 7730(1994) E DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS EXTERNAS.

O objetivo principal deste trabalho foi a análise de conforto térmico de ambientes em região de clima quente e úmido do Brasil, admitindo-se, como se verificou, a existência das discrepâncias entre os votos de sensação térmica manifestados e o voto médio predito calculado pelo Modelo Fanger. Assim sendo, passou-se a verificar se as metodologias adaptativas propostas por Fanger e Toftum (2002) e Humphreys e Nicol (2002) indicariam valores mais precisos, o que também não foi verdadeiro. Desta forma, passou-se a buscar dentre o voto médio predito e as variáveis climáticas (temperatura e umidade relativa interna e externa do ar) a melhor correlação estatística para o voto de sensação térmica, resultando:

##### 4.4.1 Ambientes condicionados naturalmente

Nas Figuras 63, 64 e 65 anteriores pode-se observar que resultaram as seguintes equações:

$$\begin{array}{lll} VST = -0,007 + 0,562 * VMP_{ISO7730(1994)} & (r^2 = 0,403) & [25] \\ VST = 0,137 + 1,032 * VMP_{H,N(2002)} & (r^2 = 0,424) & [26] \\ VST = -0,043 + 0,970 * VMP_{F,T(2002)} & (r^2 = 0,442) & [27] \end{array}$$

A equação que indicou melhor coeficiente de determinação foi obtida com a aplicação da metodologia proposta por Fanger e Toftum (2002). Entretanto, com intenção de buscarmos modelo estatístico ainda mais significativo, procedemos à correlação do voto de sensação térmica com os votos médios preditos calculados segundo a ISO7730(1994) -  $VM-P_{ISO7730(1994)}$  - e as variáveis climáticas internas e externas, considerando serem elas de fácil obtenção com sensores precisos e de baixo custo. Dos modelos testados, o que apresentou melhor coeficiente de determinação foi o que relacionou o VST com o  $VMP_{ISO7730(1994)}$ , a temperatura do ar externo e umidade relativa externas. O resultado estatístico alcançado está ilustrado na Tabela 20 a seguir:

Tabela 20 – Análise de regressão entre o VST e o VMP<sub>ISO7730(1994)</sub> e a temperatura e umidade relativa externas, nos ambientes condicionados naturalmente.

<i>Estatística de regressão</i>									
R múltiplo	0,737								
R-Quadrado	0,544								
R-quadrado ajustado	0,532								
Erro padrão	0,626								
Observações	128								
ANOVA									
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>				
Regressão	3	57,859	19,286	49,218	5,06832E-21				
Resíduo	124	48,590	0,392						
Total	127	106,449							
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>	
Interseção	-5,581	1,547	-3,607	0,001	-8,643	-2,519	-8,643	-2,519	
VMP	0,187	0,102	1,825	0,070	-0,016	0,390	-0,016	0,390	
text	0,146	0,029	4,948	0,001	0,088	0,204	0,088	0,204	
UR ext	0,034	0,013	2,683	0,008	0,009	0,060	0,009	0,060	
			<i>t(124; 0,05) = 1,655</i>						
<b>VST = -5,581 + 0,187*VMP + 0,146*text + 0,034*URext</b>									
<b>R-Quadrado</b>	<b>0,544</b>								

Verifica-se que o teste de significância do modelo de regressão pela análise de variância (ANOVA), que compara a variação explicada pelo modelo de regressão com a variação devida aos resíduos, indicou  $F_{\text{calculado}} = 49,218$  muito superior ao  $F_{(2;126)} \cong 2,716$ , concluindo que o modelo de regressão é bastante significativo. Da mesma forma, a análise dos regressores (teste de Student) mostrou que todos são altamente significativos. Basta observarmos que apenas o voto médio predito o fez com 93% de confiabilidade; os demais o fizeram com valor próximo de 100%. Também podemos observar que o coeficiente de determinação obtido ( $r^2 = 0,544$ ) é superior aos obtidos nas equações anteriores, razão por que se conclui que a indicada a seguir deverá, preferencialmente, ser utilizada em trabalhos realizados na região pesquisada, como em regiões climaticamente semelhantes à de realização deste experimento. Assim, a equação resultante indicando o Modelo Alternativo procurado é:

$$\text{VST} = - 5,581 + 0,187*\text{VMP}_{\text{ISO7730(1994)}} + 0,146*t_{\text{ext}} + 0,034*\text{UR}_{\text{ext}} \quad (r^2 = 0,544) \quad [28]$$

onde:

$\text{VMP}_{\text{ISO7730(1994)}} =$  Voto médio predito calculado segundo a ISO7730(1994)

$t_{\text{ext}} =$  Temperatura média do ar externo

$\text{UR}_{\text{ext}} =$  Umidade relativa do ar externo

Salienta-se que foram testadas as correlações do voto de sensação térmica em relação ao conjunto do voto médio predito e todas variáveis climáticas internas e externas.

#### 4.4.2 Ambiente condicionado artificialmente

Discrepâncias insignificantes foram encontradas entre os VST e os VMP no ambiente condicionado artificialmente, pelo que julgamos, em princípio, desnecessária a proposição de *equação de ajuste*. Entretanto, seguindo a mesma hipótese desenvolvida para os ambientes condicionados naturalmente, foi também realizada a correlação entre os VST e os  $VMP_{ISO7730(1994)}$  e as variáveis climáticas externas, sendo que neste caso, a que resultou melhor coeficiente de determinação foi a indicada abaixo:

Tabela 21 – Análise de regressão entre o VST e o  $VMP_{ISO7730(1994)}$  e a temperatura e umidade relativa externas, no ambiente condicionado artificialmente.

Estatística de regressão								
R múltiplo	0,559							
R-Quadrado	0,313							
R-quadrado ajustado	0,210							
Erro padrão	0,305							
Observações	24							
ANOVA								
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão	3	0,844	0,281	3,034	0,053			
Resíduo	20	1,856	0,093					
Total	23	2,7						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	-15,158	10,568	-1,434	0,167	-37,202	6,886	-37,202	6,886
VMP	1,533	1,129	1,358	0,190	-0,822	3,887	-0,822	3,887
text	0,453	0,271	1,670	0,110	-0,113	1,018	-0,113	1,018
URext	0,034	0,046	0,734	0,471	-0,063	0,131	-0,063	0,131
			<i>t(20;0,05)=1,725</i>					
<b>VST = -15,158 + 1,533*VMP + 0,453*text + 0,034*URext</b>								
<b>R-Quadrado</b>	<b>0,313</b>							

Se a análise estatística voltada a ciências exatas indica baixo coeficiente de correlação, o mesmo não podemos afirmar considerando a bioestatística, como se propõem este trabalho. Logo o modelo é adequado e pode ser utilizado em ambientes condicionado artificialmente, em região semelhante a deste trabalho. Logo, da mesma forma resultou, agora para o ambiente o Modelo Alternativo:

$$VST = -15,158 + 1,533 * VMP_{ISO7730(1994)} + 0,453 * t_{ext} + 0,034 * UR_{ext} \quad (r^2 = 0,313) \quad [29]$$

onde:  $VMP_{ISO7730(1994)}$  = Voto médio predito calculado segundo a ISO7730(1994)  
 $t_{ext}$  = Temperatura média do ar externo e  $UR_{ext}$  = Umidade relativa do ar externo

Da mesma forma que no ambiente condicionado naturalmente, foram testadas as correlações do voto de sensação térmica em relação ao conjunto do voto médio predito e todas variáveis climáticas internas e externas.

## 4.5 ANÁLISES DO PPD - PERCENTUAL DE PESSOAS TERMICAMENTE DESCONFORTÁVEIS.

Foram analisadas, para os ambientes condicionados naturalmente, 4 hipóteses, adotando-se as regressões estatísticas que indicaram melhor coeficiente de correlação. As equações obtidas, os PPD e as ilustrações das curvas obtidas estão representadas na sequência. Nas equações, PPD\* representa os Percentuais de Pessoas termicamente Desconfortáveis na hipótese.

**1ª. Hipótese:** Percentual de Pessoas termicamente Desconfortáveis (PPD\*) obtido pelo relacionamento do PPD resultante em cada experimento pela aplicação da metodologia ISO7730(1994) e os VST médios indicados pelas diversas classes de voluntários.

Nesta hipótese, deve ser considerado que o percentual de pessoas termicamente desconfortáveis a ser informado deve satisfazer a distribuição obtida com a ISO7730(1994), onde para  $VST = 0$  resulta  $PPD = 5\%$ , para  $VST = +1$  e  $-1$ ,  $25\%$  e para  $VST = +2$  e  $-2$ ,  $75\%$ . A equação com melhor coeficiente de determinação foi:

$$PPD^* = 100 - 84,8 * e^{(0,064 * VST^4 - 0,705 * VST^2)} \quad (r^2 = 0,507) \quad [30]$$

Assim, se obtém para os respectivos valores de VST:

$VST = 0 \Rightarrow$	$PPD^* = 15,2\%$
$VST = \pm 1 \Rightarrow$	$PPD^* = 55,3\%$
$VST = \pm 2 \Rightarrow$	$PPD^* = 85,9\%$
$VST = \pm 3 \Rightarrow$	$PPD^* = 73,4\%$

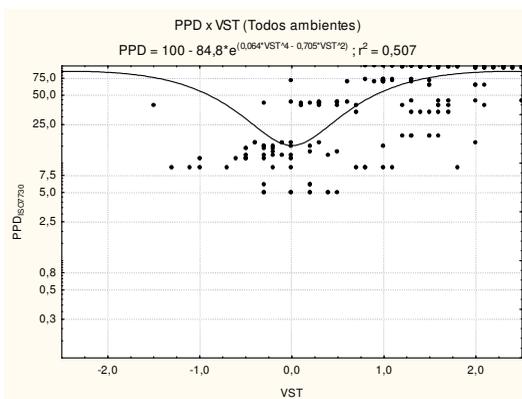


Figura 68 – Correlação PPD<sub>ISO7730</sub> x VST médios

Os valores dos PPD\* encontrados caracterizam incorreção conceitual quando indicam para VST = +3 e -3 valores inferiores aos dos VST = +2 e -2, ocasionado provavelmente pelas discrepâncias já apontadas na aplicação do modelo normalizado. Logo, esta hipótese deve ser descartada.

**2ª. Hipótese:** Nesta hipótese foram consideradas manifestações de insatisfação os VST = +3, +2, +1, -1, -2 e -3.

Esta hipótese - desenvolvida em Araújo (1996). Os VST e PPD (médios por período) estão indicados na Tabela 22 abaixo.

Tabela 22 – TSV e PPD obtidos na aplicação da hipótese 2

		Desconfortáveis termicamente os VST = + -1 ; + -2 e + -3															
		Coimbra				Corumbá				Campo Grande				GIDUR			
VST		1,8	1,6	1,5	1,6	2,1	1,8	2,0	1,9	0,0	-0,3	-0,1	-0,3	0,8	0,6	0,4	0,2
PPD*		94	88	83	79	88	89	85	83	83	60	52	50	54	51	54	53

A equação com melhor coeficiente de determinação foi:

$$PPD^* = 100 - 43,1 * e^{(-0,085 * VST^4 - 0,093 * VST^2)} \quad (r^2 = 0,728) \quad [31]$$

resultando

$$VST = 0 \Rightarrow PPD^* = 56,9\%$$

$$VST = \pm 1 \Rightarrow PPD^* = 63,9\%$$

A representação gráfica encontrada:

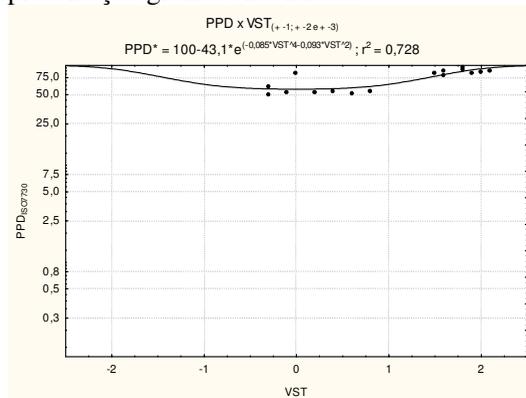


Figura 69 – Correlação PPD\* x VST médios (+ -1; + -2 e + -3)

A análise do percentual obtido para  $VST = 0$  indica que 43,1% dos voluntários estariam experimentando conforto térmico e, para  $VST = +1$  e  $-1$  indica 36,1%. Esses resultados são bastante diferentes dos totais manifestados pelos voluntários conforme ilustrado na Figura 6 anterior. Logo, podemos concluir que esta hipótese não se mostra adequada em relação aos dados obtidos nos experimentos.

**3ª. Hipótese:** Consideradas manifestações de insatisfação os VST no intervalo de igual ou maior que +0,5 até +3 e de menor ou igual a -0,5 até -3, atendendo o disposto no Anexo D da ISO7730(1994).

Para esta hipótese considerou-se que 50% dos os  $VST = +1$  e 50% dos  $VST = -1$  indicaram voto de conforto, conforme ilustrado nas Tabelas 23 e 24 a seguir.

Tabela 23 – VST na presente hipótese

VST		
+3	desconfortável	
+2	desconfortável	
+1	de +0,6 até +1,0	desconfortável
	de 0 até <+0,5	confortável
0	confortável	
-1	de 0 até <-0,5	confortável
	de -0,6 até -1,0	desconfortável
-2	desconfortável	
-3	desconfortável	

Tabela 24 - VST e PPD\* obtidos com aplicação da hipótese 3

Desconfortáveis termicamente os $VST = + -3 ; + -2$ e 50% $+ -1$																
	Coimbra				Corumbá				Campo Grande				GIDUR			
VST	2,0	1,8	1,7	1,8	1,9	1,8	1,8	1,7	0,1	-0,4	-0,2	-0,3	1,2	0,8	0,7	0,5
PPD*	75	66	59	60	89	85	87	86	62	36	31	32	35	32	33	31

E a equação de melhor coeficiente de determinação foi:

$$PPD^* = 100 - 59,7 * e^{(-0,182 * VST^4 + 0,313 * VST^2)} \quad (r^2 = 0,778) \quad [32]$$

onde se obtém para

$$VST = 0 \Rightarrow PPD^* = 40,3\%$$

e a Figura 71 representativa a seguir

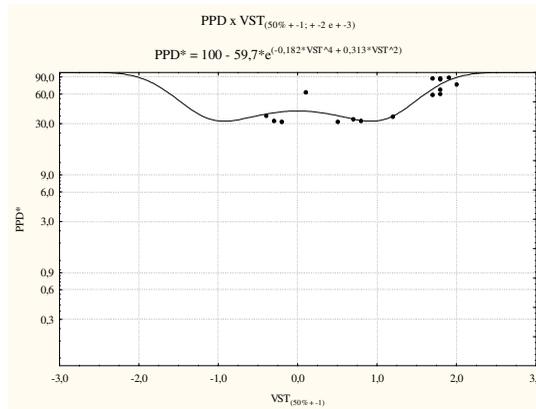


Figura 70 – Correlação PPD\* x VST<sub>(.50% daqueles que votaram +1 ou -1 na escala de sensação térmica)</sub>

Observa-se, na figura anterior, que para  $VST \approx +1$  e  $-1$  resulta  $PPD^* \approx 32\%$  que é nominalmente inferior ao  $PPD^*$  referente ao  $VST = 0$ , inconsistência que inviabiliza a aplicação desta hipótese.

**4ª. Hipótese:** Foram considerados satisfeitos termicamente todos voluntários que indicaram a opção “confortável” no quesito “de que maneira você está se sentindo nesse momento?”.

Nessa hipótese, considerou-se que a resposta ao quesito deve ser entendida como inquestionável, e assim definiria os votos dos voluntários termicamente desconfortáveis com o ambiente térmico. Observa-se que, no gráfico, a dispersão indica que para  $VST = 0$ , 50,3% das pessoas estariam termicamente satisfeitas. Isso só aconteceu, com aproximação, no 2, 3 e 4 período do experimento realizado em Campo Grande.

Tabela 25 - VST e PPD\* obtidos com a aplicação da hipótese 4

	Desconfortáveis termicamente os votos no Quesito 7 # de Confortável															
	Coimbra				Corumbá				Campo Grande				GIDUR			
VST	1,7	1,4	1,2	1,2	1,8	1,6	1,7	1,6	0,0	-0,2	0,0	-0,1	0,4	0,3	0,2	0,1
PPD*	86	78	80	75	89	89	92	89	74	58	54	51	38	38	48	42

A equação de melhor coeficiente de determinação obtida foi:

$$PPD^* = 100 - 49,7 * e^{(-0,097 * VST^4 - 0,289 * VST^2)} \quad (r^2 = 0,799) \quad [33]$$

onde para  $VST = 0$  resulta  $PPD^* = 50,3\%$

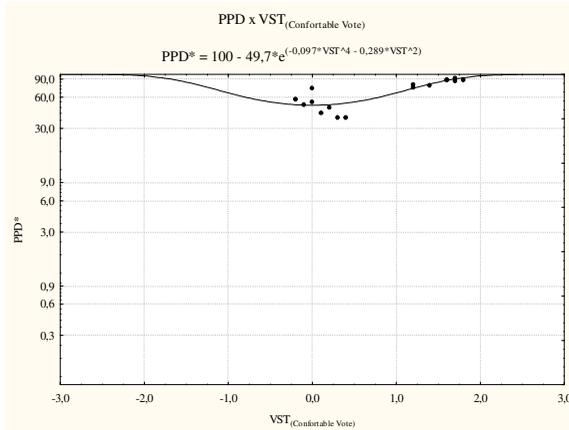


Figure 71 – Correlação  $PPD^*$  x  $VST_{\text{(Voto Confortável)}}$

Apesar na Figura 60 anterior ter ficado demonstrado que 19,1% dos voluntários manifestaram neutralidade térmica, essa hipótese é a que mais se aproxima da realidade encontrada nos experimentos, podendo ser aplicada na avaliação de ambientes semelhantes ao ora estudados.

---

#### 4.6 ANÁLISE DO VOTO MAIS SIGNIFICATIVO ENTRE OS VST E VPT PARA AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EM ACN.

A hipótese admitida considerou que, após análise estatística, a melhor correlação entre os votos de sensação e de preferência térmica e a temperatura operativa média seria o indicativo procurado.

Assim sendo, pode-se observar, na Figura 72 a seguir, que a correlação com o voto de sensação térmica produziu coeficiente de determinação ( $r^2 = 0,469$ ), altamente significativo pela subjetividade envolvida. Observa-se também, na mesma figura, a maior predominância de manifestações de  $VST > 0$ , como era de se esperar, pela condição climática da região. Obtem-se, conseqüentemente, para  $VST = 0$ , a temperatura de conforto igual a  $23,3^{\circ}\text{C}$ , sendo que no intervalo do  $VST = \pm 0,5$  resultaria  $20,3^{\circ}\text{C} \leq t_o \leq 26,3^{\circ}\text{C}$ . Entretanto, o valor para  $VST = -0,5$  deve ser descartado em função de representar, apenas, tendência estatística.

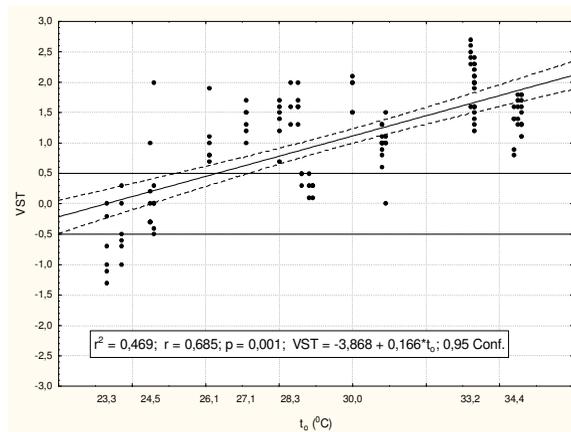


Figura 72 - Correlação VST x  $t_o$  para os ACN.

Da mesma forma, podemos verificar, na Figura 73 a seguir, que a correlação agora com o VPT produziu  $r^2 = 0,531$ . Primeiramente se deve notar a coerência esperada em relação à representação gráfica anterior, na indicação da preferência dos voluntários por ambiente mais refrescado.

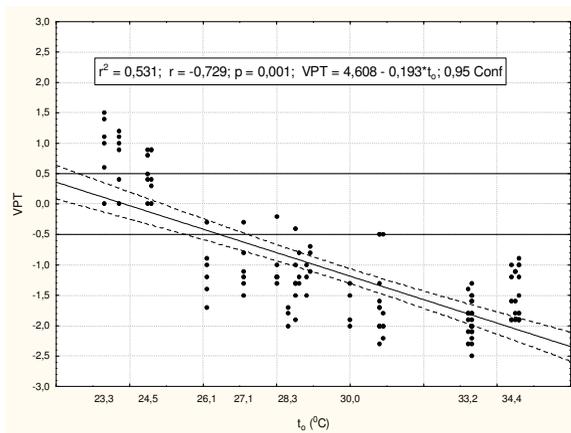


Figura 73 - Correlação VPT x  $t_o$  para os ACN.

Nessa figura, observa-se, da mesma forma que na análise do votos de sensação térmica, que apenas entre zero e  $-0,5$  se pode utilizar a equação resultante da correlação, isso por que para valor igual a  $+0,5$  é demonstrado apenas tendência estatística. Resultaram, respectivamente,  $t_o = 23,9^\circ\text{C}$  e  $t_o = 26,5^\circ\text{C}$ , valores muito próximos dos obtidos com os VST. Comparada com a temperatura de conforto obtida com VST = 0, observa-se que a diferença é irrelevante, apenas  $0,6^\circ\text{C}$ .

Por outro lado, com o intervalo de conforto proposto pela ISO 7730(1990), adaptado aos dados obtidos, obtemos o intervalo para a temperatura operativa de  $23,6^\circ\text{C}$  a  $26,3^\circ\text{C}$  em relação aos VST e de  $23,9^\circ\text{C}$  a  $26,5^\circ\text{C}$  para os VPT. Utilizando-se as duas faixas, pode-se adotar seu limite inferior da temperatura de conforto  $23,9^\circ\text{C}$  e seu limite superior  $26,3$ . Cabe salientar que esses valores são inferiores aos obtidos por Wong e Khoo (2003) e que estes, por sua vez, também foram inferiores aos citados em Busch (1990), de Dear et al. (1991) e Kwok (1998).

Finalizando, em função da pequena diferença nominal encontrada nos coeficientes de correlação ( $r^2 = 0,469$  para o VST e  $r^2 = 0,531$ , podemos afirmar que ambos os votos poderão ser utilizados na avaliação de ambientes condicionados naturalmente com voluntários desenvolvendo atividade sedentária, em região semelhante à deste trabalho.

#### 4.7 A INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE MÉDIA DO AR NOS VST E VPT NA PREDIÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EM ACN.

A análise das respostas dadas ao quesito 5 do Anexo 2 - Você acha que o ventilador aqui existente, ligado, faz você se sentir termicamente mais confortável? - do questionário aplicado aos voluntários participantes nos ACN revelou incerteza apenas no experimento realizado em Campo Grande, no mês de abril. Essa constatação se deve, provavelmente, ao fato de a temperatura média do ar nesse ambiente (23,5°C) ter se mantido próxima do limite inferior da faixa da temperatura operativa obtida, como discutido no item anterior.

Já em Coimbra e Corumbá, conforme se pode observar na Tabela 26 abaixo, a maioria dos voluntários informou que com os ventiladores ligados se sentiriam termicamente *um pouco mais* confortáveis.

Tabela 26 - Percentuais de respostas fornecidas ao quesito 5, nos ACN.

	Coimbra	Corumbá
Sim, muito mais	31%	22%
Sim, um pouco mais	62%	64%
Indiferente	3,5%	7%
Não, um pouco menos	0%	6%
Não, muito menos	3,5%	1%

A primeira análise da influência da velocidade média do ar nos VST e VPT foi realizada em Corumbá e em abril. Nesse ambiente, observou-se que a quantidade de ventiladores de teto era insuficiente em relação à área de piso. Tal condição determinou, em distâncias equidistantes em relação ao ventilador, velocidade média do ar com valores significativamente diferentes, como representado na Tabela 27 a seguir, o verificado nos assentos 1 e 6. Nessa tabela, estão também representados os VST e VPT médios manifestados pelos voluntários veteranos e recrutas que anteriormente haviam se identificado como quem costumemente utilizava ventilador.

Para melhor compreensão da tabela, deve-se considerar que no primeiro período os ventiladores permaneceram proposadamente desligados, resultando nesse período,  $v_a = 0,06$  m/s, e nos demais,  $v_a = 0,18$  m/s.

Observa-se também, na tabela, que, para  $v_a = 0,06$  m/s, o VST médio indicado pelos veteranos, (2,9) no primeiro período, foi um pouco maior que o dos recrutas (2,4). Na sequência, enquanto os votos dos veteranos permanecem praticamente constantes com diferença nominal máxima de 0,2 unidades ( $\Delta = 0,2$ ), os votos dos recrutas produziram diferença maior,  $\Delta = 0,8$ . Entretanto, esse comportamento se inverte para

$v_a = 0,18$  m/s, e sua maior amplitude foi encontrada entre os votos dos veteranos ( $\Delta = 1,0$ ), enquanto entre os recrutas ela foi de 0,6.

Há que se considerar que esses resultados corroboram a análise estatística realizada no item 4.3.1.1.

Tabela 27 - VST em função da localização do assento em Corumbá, em abril.

		CORUMBÁ (Abril)															
		Assento 1 ( $v_a = 0,06$ m/s)								Assento 6 ( $v_a = 0,18$ m/s)							
		1°	2°	3°	4°	1°	2°	3°	4°	1°	2°	3°	4°	1°	2°	3°	4°
		Veteranos que tem ventilador				Recrutas que tem ventilador				Veteranos que tem ventilador				Recrutas que tem ventilador			
VST		2,9	2,6	2,8	2,7	2,4	2,3	2,0	1,5	2,0	1,3	1,3	0,3	2,0	2,0	1,8	1,4
VPT		-2,3	-2,4	-2,3	-2,3	-1,9	-2,3	-2,0	-1,2	-2,0	-1,8	-1,8	-1,0	-0,7	-0,8	-1,0	-0,9

Já para os VPT, verificou-se que para a velocidade média do ar próxima de zero os valores indicados pelos veteranos e recrutas, no primeiro período, foram razoavelmente semelhantes. Entretanto, na seqüência enquanto os veteranos produziram  $\Delta = 0,1$  os recrutas determinaram  $\Delta = 1,1$ . Para a velocidade média do ar de 0,18 m/s, verificou-se que os veteranos manifestaram inicialmente preferência por ambiente bem mais refrescado que os recrutas. Entretanto, ao término do experimento, ambos apresentaram resultados muito próximos. Esses resultados também refletem as conclusões obtidas na análise estatística descrita no item 4.3.1.1.

Do exposto, podemos concluir que quando a velocidade média do ar é próxima de zero os recrutas se adaptam mais rapidamente que os veteranos. Já para  $v_a = 0,18$  m/s, quem o faz são os veteranos. Também podemos afirmar que essa velocidade ( $v_a = 0,18$  m/s) foi insuficiente para mudança na ordem da preferência térmica indicada tanto pelos veteranos como pelos recrutas. Os VPT, nas duas classes, permaneceram quase constantes.

Na Tabela 28 a seguir, estão representados os VST e VPT obtidos na segunda fase dos experimentos em Coimbra, no mês de novembro. Considerando as pequenas dimensões do ambiente e que não existiam ventiladores instalados, os valores relacionados são médios e se referem logicamente à ventilação natural. Novamente se deve considerar que no primeiro período as janelas permaneceram fechadas e, nos demais, permanentemente abertas. As velocidades médias do ar verificadas foram, respectivamente, 0,07m/s e 0,21m/s.

Tabela 28 - Votos de sensação e preferência térmica em Coimbra, em novembro.

COIMBRA (Novembro)								
	2°	3°	4°		2°	3°	4°	
	Veteranos que tem ventilador				Recrutas que tem ventilador			
VST	2,1	0,8	1,0	1,0	2,0	1,1	1,1	0,9
VPT	-1,9	-1,7	-2,2	-1,3	-2,0	-1,6	-2,0	-2,0
	va = 0,07 m/s							
	va = 0,21 m/s							

Observa-se que, no primeiro período ( $v_a = 0,07$  m/s), os votos VST e VPT dos veteranos e dos recrutas foram semelhantes. Nos demais períodos, ou para  $v_a = 0,21$  m/s, apenas os VST mantiveram-se semelhantes. Já os VPT dos veteranos retrocederam de -1,7 para -1,3, enquanto os recrutas cresceram de -1,6 para -2,0. Enquanto os resultados dos VST ratificaram as conclusões obtidas na análise estatística descrita no item 4.3.1.1., apenas o VPT do 4º contradisse, pois houve diferença entre os votos manifestados pelos veteranos em relação aos recrutas.

Acrescenta-se que a ocorrência de  $v_a = 0,21$  m/s durante 60 minutos (do início do 2º ao final do 4º período) também foi insuficiente para provocar decréscimo na sensação térmica experimentada pelos voluntários. E ainda, que essa velocidade foi insuficiente também para influenciar a preferência térmica manifestada.

Cabe, salientar que, para a ASHRAE Standard 55(2004), o preciso relacionamento entre o aumento da  $v_a$  e a melhoria do conforto ainda não foi estabelecido, apesar de se aceitar a utilização de velocidade do ar elevada para obtenção da máxima temperatura de aceitabilidade térmica, desde que aos ocupantes tenham controle sobre ela. Não foi o presente caso, pois, principalmente em Coimbra, a ventilação era natural, logo sem controle dos voluntários.

Entretanto, se considerarmos que os valores da temperatura e umidade relativa do ar obtidos nos experimentos de Corumbá (34°C e 72%) e Coimbra (31°C e 67%) são semelhantes aos valores utilizados

por Khedar et al. (2000) na produção do Gráfico de Ventilação de Conforto para a Tailândia, poderemos obter, em sua ilustração, a Figura 74 a seguir.

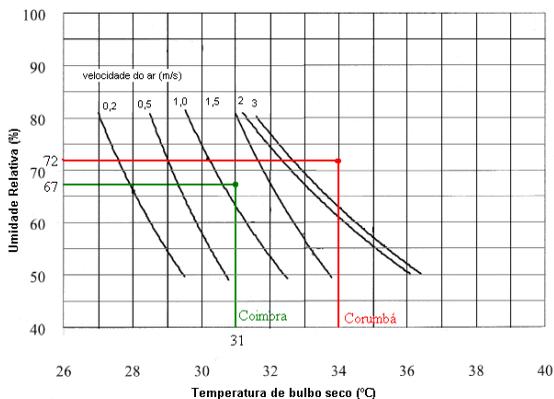


Figura 74 – Proposta de Gráfico de Ventilação de Conforto para Coimbra e Corumbá

Observa-se, na figura, que para Corumbá necessitar-se-ia, para obtenção de ambiente termicamente confortável, que a velocidade do ar fosse superior ao limite permitido de 3 m/s. Já Coimbra, com aproximadamente 1,1 m/s, obter-se-ia esse resultado, sendo necessário, entretanto, testá-las com respeito ao resfriamento indesejável do corpo causado pelo ar em movimento. Salienta-se que para isso não seria possível a aplicação do disposto no item 5.2.4.2 da ASHRAE Standard 55(2004), em função dos limites impostos para a temperatura e velocidade do ar. Tal conclusão nos induz a afirmar que somente a realização do experimento de forma semelhante ao desenvolvido por Khedar et al. (2000), com aplicação de questionário em que os voluntários manifestassem sua sensação térmica em função da variação da velocidade do ar se poderia melhor elucidar essa questão, o que não ocorreu neste trabalho.

Sobre a velocidade do ar, Cândido et al. (2008), em experimento realizado em Maceió, concluíram que é possível que o movimento do ar possa ser aceitável em velocidades que exceda os valores sugeridos pela literatura, pelo fato de a cidade por estar situada em região e clima quente e úmido, em que a alta velocidade do ar é desejável para se prover conforto térmico.

## 4.8 A ACLIMATAÇÃO, LEMBRANÇA E EXPECTATIVA TÉRMICA DOS VOLUNTÁRIOS.

### 4.8.1 A aclimação dos voluntários aos ACN.

Este trabalho discute a aclimação ao calor, por ser essa a característica climática anual predominante na região. Deve-se considerar ainda que, em novembro, o experimento foi realizado somente em Coimbra e Corumbá em função da ausência dos voluntários recrutados em Campo Grande, o que inviabilizou a comparação de seus votos com os indicados pelos veteranos.

As Tabelas 29 e 30 a seguir identificam, respectivamente, os VST manifestados pelos voluntários nos experimentos de abril e novembro. Deve-se considerar que no primeiro horário do experimento realizado em Corumbá e em abril, os ventiladores de teto permaneceram proposadamente desligados no primeiro momento. Já em Coimbra, em novembro, as janelas do ambiente é que permaneceram fechadas. Nas referidas tabelas, esses dois períodos estão identificados.

Em cada tabela, junto com a identificação do local do experimento, estão indicadas as temperaturas médias do ar verificadas em cada um dos ambientes, sendo que em abril e em Coimbra, a temperatura média do ar foi 4,4°C maior que a observada em novembro. Já em Corumbá, essa diferença foi de 6,4°C, porém decrescendo, respectivamente, de 33,4°C em abril para 27,0°C em novembro. Esse fato justificou os valores menores de VST que foram indicados tanto pelos recrutados como pelos veteranos nesse mês.

Tabela 29 - VST informados em Coimbra, Corumbá e em Campo Grande, em abril.

Abril	Coimbra (34,4 °C)				Corumbá (33,4 °C)				Campo Grande (23,4 °C)			
	1º.	2º.	3º.	4º.	1º.	2º.	3º.	4º.	1º.	2º.	3º.	4º.
Vet que tem AC	1,6	1,7	1,5	1,6	2,7	2,4	2,0	1,6	-1,0	-1,0	1,0	2,0
Rec que tem AC	1,3	1,3	1,6	1,4	2,6	2,1	2,1	2,3	-1,3	-0,7	-0,3	-0,5
Rec que tem vent	1,7	1,8	1,3	1,4	2,4	1,6	1,6	1,5	-1,1	-0,6	-0,3	-0,4
Vet sem vent. ou AC	1,7	1,6	1,6	1,5	1,6	2,2	2,0	2,3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Rec sem vent. ou AC	1,8	1,8	1,3	0,8	2,3	1,4	1,3	1,2	-0,7	-0,5	-0,3	0,0

 Vent. proposadamente desligados

Em abril, no experimento de Coimbra, verificou-se que os recrutados que não possuíam ventilador nem ar condicionado tenderam a se aproximar mais facilmente da situação de conforto, apesar de seu voto médio final ser 0,8. Outro fator que se deve considerar é que enquanto os veteranos decresceram seu voto médio de 1,7 para 1,5, os recrutados o fizeram de 1,8 para 0,8.

Já em Corumbá, também desconsiderando o primeiro período pelo motivo já enfatizado, novamente foram os recrutas que possuem ventilador e os que não possuem ventilador nem ar condicionado que apresentaram melhor aceitação ao ambiente térmico. Em ambos os casos, os resultados obtidos podem ser atribuídos ao fato de, como os recrutas pertencem a uma classe de menor poder aquisitivo, não estariam acostumados à utilização de ar condicionado, como inicialmente informaram, por ocasião do preenchimento de um dos questionários.

Em Campo Grande, observa-se que houve incoerência nas indicações dos veteranos que possuem ar condicionado, pois inicialmente acusaram que o ambiente estava “levemente frio”, para minutos após indicarem “levemente quente” e, na sequência, “quente”.

Apesar das pequenas diferenças existentes entre os votos manifestados pelos recrutas, pode-se observar que as 3 classes (recrutas que tem ar condicionado; recrutas que tem ventilador e aqueles que não têm nenhum dos 2 equipamentos) manifestaram-se coerentemente no decorrer do experimento.

A tabela a seguir retrata os VST informados nos experimentos realizados em novembro, em que, em Coimbra, deve-se desconsiderar o primeiro período do experimento, conforme justificado anteriormente. Observa-se que durante o experimento não houve a participação dos recrutas que não possuem ventilador nem ar condicionado.

Observa-se que todos os voluntários indicaram votos muito próximos, aproximando-se, no final, da sensação de “ligeiramente quente”, exceção feita à incoerência dos veteranos que tem ventilador. Com respeito a possível aclimação, em Coimbra e em novembro, nenhuma classe se sobressaiu às demais.

Tabela 30 - VST informados em Coimbra e em Corumbá, em novembro.

Novembro	Coimbra (30,0 °C)				Corumbá (27,0 °C)			
	1º.	2º.	3º.	4º.	1º.	2º.	3º.	4º.
Vet que tem AC	1,5	1,3	1,5	1,3	0,8	1,2	1,7	1,7
Rec que tem AC	1,5	1,0	0,0	1,0	0,7	1,3	1,5	1,3
Vet que tem vent.	2,1	0,8	1,0	0,6	0,8	1,5	1,6	1,6
Rec que tem vent	2,0	1,1	1,1	0,9	1,1	1,0	1,2	1,6
Vet sem vent. ou AC	2,0	1,0	1,0	1,0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Rec sem vent. ou AC	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,9	1,7	1,4	2,0

 Vent. proposadamente desligados

Já em Corumbá, os resultados foram ainda mais contraditórios. Todos os voluntários concluíram o experimento em situação térmica pior daquela do início. Não houve participação dos veteranos que não possuem ventilador nem ar condicionado.

Acrescenta-se à discussão o fato de que os recrutas recém-chegados aos locais dos experimentos, em sua imensa maioria (98% em Coimbra, 90% em Corumbá e 97% em Campo Grande), continuaram a desenvolver atividade no ambiente externo, ao ar livre. Isso porque anteriormente, ou antes do engajamento aos quartéis, os percentuais dos que desenvolviam atividade no ambiente externo eram 74% em Coimbra, 76% em Corumbá e 69% em Campo Grande. A manutenção de atividade em ambiente externo, com maior intensidade e frequência diária, deve ter contribuído na indicação de maior resistência às altas temperaturas do ar. Esse aspecto também pode ser observado nas Figuras 75 e 76 a seguir. Há que se considerar que estes resultados não refletem a análise estatística realizada anteriormente entre essas duas classes, em função de que nela foram considerados os votos de toda a amostra.

A Figura 75 ilustra a significativa correlação encontrada entre os VST dos veteranos ( $r^2 = 0,497$ ) e recrutas ( $r^2 = 0,606$ ) com a temperatura média do ar verificada nos ACN, como também em relação à correlação do VMP com essa temperatura. Observa-se que os VST dos recrutas indicaram temperatura neutra superior ( $23,6^\circ\text{C}$ ) à obtida pelos VST dos veteranos ( $21,5^\circ\text{C}$ ), pelo que se conclui que os recrutas são realmente mais resistentes a temperaturas mais altas. E ambos, recrutas e veteranos, indicaram votos de sensação discrepantes da indicação do VMP normalizado. Essa metodologia revela-se mais intolerante ao calor do que a realidade de campo demonstrou.

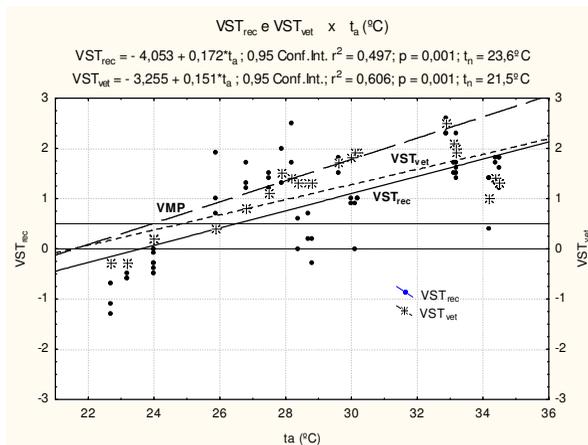


Figura 75 – Temp. Neutra em função dos VST dos veteranos e recrutas nos ACN.

Importante afirmarmos que os VST manifestados divergem do indicado no item 4.6 anterior, que analisou o mais significativo entre os VST e VPT para avaliação de conforto térmico em ACN, em função de que aqui os votos estão separados por classe (recrutas e veteranos) e lá, foram considerados todos os voluntários juntos. Temperatura neutra é definida como a temperatura em que as pessoas não sentem nem frio nem calor no ambiente em que estão. Na prática, sua obtenção foi feita adotando-se, a partir da equação de regressão, o valor de VST = 0.

Na Figura 76 abaixo está à representação gráfica da correlação ( $r^2 = 0,895$ ) entre o VMP calculado segundo o Modelo Fanger e a temperatura média do ar verificada nos ambientes condicionados naturalmente. Neste caso, a temperatura neutra resultante foi de 21,6°C, praticamente a mesma obtida com os VST indicados pelos veteranos (21,5°C).

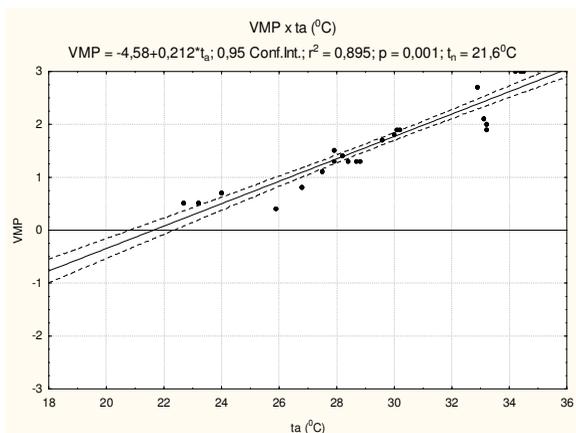


Figura 76 – Temperatura Neutra em função do VMP nos ACN.

A Tabela 31 a seguir apresenta as temperaturas neutras indicadas nos gráficos anteriores como também as obtidas com a aplicação das metodologias propostas por Humphreys (1975) referida em Givoni et al. (2006) -, e a de De Dear e Brager (2001), segundo Ji et al (2006).

Tabela 31 – Temperaturas neutras obtidas no experimento

Temperatura Neutra (°C) nos Ambientes Condicionados Naturalmente		
Temperatura Neutra (°C)	min	max
Humphreys (1975)	22.1	31.1
de Dear and Brager (2001)	22.0	30.6
Veteranos	21.5	
Recrutas	23.6	
Modelo VMP	21.6	

Observa-se que apenas a temperatura neutra obtida por meio dos votos médios dos recrutas ficou dentro dos limites propostos pelas 2 metodologias, ainda que muito próxima do limite inferior. Os valores obtidos pelos votos dos veteranos, bem como através do modelo Fanger (1982) ou Modelo VMP, ficaram aquém do limite mínimo. Independente da necessidade de se realizar novos experimentos nesse sentido, pode-se afirmar, preliminarmente, que os votos dos veteranos permaneceram próximo ao valor da temperatura neutra indicada pelo Modelo VMP por que eles, os veteranos, são os que mais frequentemente utilizam ar condicionado, semelhantemente ao ambiente onde foi desenvolvida a metodologia. Logo, pelo exposto podemos afirmar que existem diferenças entre as avaliações térmicas manifestadas pelos dois grupos (recrutas e veteranos) contrariando Fanger (1982), quando se conclui que não foram encontradas diferenças significativas entre voluntários de diferentes regiões.

#### **4.8.2 A lembrança térmica dos voluntários nos ACN.**

Essa análise foi realizada somente em Coimbra, no mês de abril, em função de que a intenção era verificar a possibilidade de nos lembrarmos da situação climática vivenciada durante o sono, e de que somente nesse local e ocasião permaneceu alojado contingente significativo de voluntários. Para tanto, as respostas dadas ao quesito “a sua noite foi termicamente confortável?”, proposto logo no início da manhã e no início do experimento da tarde, foram relacionadas com as temperaturas médias do ar observadas no alojamento, durante a noite recém terminada, bem como com as observadas no ambiente, no período vespertino, nas 2 horas que antecederam a aplicação do quesito.

Assim sendo, verificou-se que, de manhã, 67% dos voluntários responderam “sim, foi confortável”, enquanto 32,5% afirmaram que “não foi confortável” e apenas 0,5% “não me lembro”. Já à tarde, 55% dos voluntários responderam que a noite anterior “sim, foi confortável” e 45% que “não foi confortável”. As diferenças percentuais observadas entre os experimentos não devem ser atribuídas somente ao tempo transcorrido entre os experimentos. Outros fatores podem ter atuado, justificando essas diferenças.

Estudando as diferenças nas temperaturas preferenciais diurnas e noturnas do homem, Shoemaker e Refinetti (1996) concluíram que os homens preferem temperaturas comparativamente mais altas quando a temperatura de seu corpo é baixa, e ao contrário, comparativamente mais baixa quando a temperatura de seu corpo é alta. Lembram que esse comportamento se opõe ao ritmo natural da temperatura do corpo hu-

mano. E é o que pode ter ocorrido ao analisarmos as respostas dadas de manhã em relação às temperaturas médias do ar nos alojamentos pesquisados naquela noite. Vide Tabela 32 a seguir.

Tabela 32 – Estatística das temperaturas noturnas verificadas em Coimbra, em abril.

Temperaturas noturnas em Coimbra		
<i>Estatísticas</i>	<i>Vet</i>	<i>Rec</i>
Média	30,2	30,0
Erro padrão	0,100	0,179
Mediana	30,3	29,9
Modo	29,5	28,7
Desvio padrão	0,800	1,250
Variância da amostra	0,600	1,563
Curtose	-0,900	-1,263
Assimetria	0,300	0,180
Intervalo	2,800	4,030
Mínimo	29,1	28,3
Máximo	31,9	32,3
Soma	1478,7	1471,6
Contagem	49	49,0
Nível de confiança (95,0%)	0,200	0,359

Observa-se, na tabela acima, que as temperaturas médias do ar verificadas em cada um dos alojamentos foram razoavelmente mais altas que as temperaturas neutras resultantes dos VST manifestados pelos veteranos (21,5°C) e recrutas (23,6°C). Por outro lado, se considerarmos que quando deitado/reclinado a taxa metabólica de produção de calor corporal é de 46W/m<sup>2</sup> ou 0,8 met., e que a temperatura corporal se mantém próxima de 36°C em repouso ou dormindo, não só a taxa metabólica é menor, como também o é a temperatura corporal. Assim, prevalecendo a conclusão dos autores acima citados, ou que os homens preferem temperaturas comparativamente mais altas quando a de seu corpo é baixa, torna-se natural que os voluntários (67% deles) tenham aceitado a temperatura média do ar verificada nos ambientes como a de conforto.

Também há que se considerar que a indicação diferente sobre se a noite foi termicamente confortável (55%), manifestada pelos voluntários no início da tarde, deve-se não somente pelo tempo transcorrido, como também pela inconsciente comparação que deve ter ocorrido frente às condições climáticas do momento. Basta salientar que nas 2 horas anteriores ao instante da indicação do voto, a temperatura média do ar era 35,5°C. Essa ocorrência, aliada ao fato de que naquele momento a taxa metabólica era, certamente, superior a 46W/m<sup>2</sup>, foram determinantes para a elevação da temperatura corporal para mais que 36,0°C, justificando a preferência de alguns deles por temperaturas mais baixas, como também concluíram Shomaker e Refinetti (1996). Ainda se deve considerar que ao indicarem, no

início da tarde, as sensações experimentadas na noite anterior, inconscientemente os voluntários estavam sob influência do ambiente térmico daquele instante, que era como demonstrado predominantemente de desconforto.

Assim sendo, em se tratando de experiência fortemente relacionada a fatores psicológicos, como discutido no item **2.2.3 - Fatores subjetivos que influenciam as manifestações do conforto térmico humano, sob enfoque da psicologia humana** -, esse tipo de experimento deve ser repetido.

#### 4.8.3 A expectativa térmica dos voluntários

As respostas ao quesito “Como você acha que vai ser termicamente o dia de hoje?”, proposto aos voluntários dos ACN logo após acordarem, estão discriminadas na Tabela 33 abaixo. Na mesma tabela, estão inseridos os valores observados das temperaturas externas do ar no período das 5:00 hs. às 6:30 hs. (período de resposta ao referido quesito) e a média observada no período vespertino, quando os voluntários indicaram seus VST no 2º questionário.

Tabela 33 – Percentual das manifestações dos voluntários sobre suas expectativas térmicas, temperaturas externas e VST observados.

Expectativa térmica	Coimbra		Corumbá		Campo Grande	
	Abr	Nov	Abr	Nov	Abr	Nov
Muito frio	-	-	-	-	23%	-
Frio	1%	-	1%	12%	65%	-
Ligeiramente frio	1%	-	2%	31%	10%	-
Neutro	6%	-	12%	40%	2%	10%
Ligeiramente quente	14%	-	14%	6%	-	16%
Quente	56%	-	61%	11%	-	52%
Muito quente	22%	-	10%	-	-	22%

Valores médios						
text (°) das 5 as 6:30hs.	24,0	-	25,0	22,9	11,0	22,8
text (°) no 2º. Exp.	35,1	-	34,3	31,8	16,1	31,5
VST	1,4	-	1,9	1,3	-0,5	0,6

Verifica-se que os percentuais resultantes das expectativas térmicas em abril, nos 3 ACN, são significativos e realmente refletiram as temperaturas observadas posteriormente em cada um dos locais, aproximadamente 7 horas após as manifestações.

Comparando-se os VST médios manifestados nos experimentos realizados em abril e no início do período da tarde, observa-se que, em Coimbra, a previsão feita por 56% dos voluntários, de que o dia seria quente, a rigor não foi confirmada a tarde, com o VST = 1,4.

Em Corumbá, 61% dos voluntários previram que o dia seria quente, o que foi confirmado com o  $VST = 1,9$ . Já em Campo Grande, no mesmo mês, 65% dos voluntários entenderam que o dia seria frio, o que também não foi a rigor confirmado no período da tarde, com o  $VST = 0,5$ . Nesse caso em particular, a entrada da frente fria no final da tarde do dia anterior, em que a temperatura externa decresceu  $7,3^{\circ}\text{C}$  em 12 horas, pode ter sido a responsável pela incoerência verificada.

No mês de novembro e em Coimbra, não foi realizado o experimento do início da manhã, pela ausência temporal dos voluntários, que estavam em atividade distante do quartel.

Já em Corumbá, observa-se que para  $t_a = 22,9^{\circ}\text{C}$ , 31% dos voluntários afirmaram que o dia seria ligeiramente frio e 40%, que ele seria confortável. Entretanto, o experimento da tarde contrariou esses percentuais, resultando  $VST = 1,3$ . A mesma discrepância de previsão ocorreu em Campo Grande, onde a expectativa de dia quente manifestada por 56% dos voluntários não foi confirmada pelo  $VST = 0,6$ .

Novamente cabe salientar que, em se tratando de experiência fortemente relacionada a fatores psicológicos, como discutido no item **2.2.3 - Fatores subjetivos que influenciam as manifestações do conforto térmico humano, sob enfoque da psicologia humana** -, esse tipo de experimento deve ser repetido.

---

#### 4.9 A ACEITABILIDADE TÉRMICA DOS AMBIENTES.

Como visto na Revisão Bibliográfica, com a divulgação do modelo Fanger em 1970, a avaliação de conforto térmico em ambientes internos de edificações passou a ser expressa em termos dos índices VMP e PPD. Adotado como norma internacional inicialmente em 1984, os limites de  $-0,5 \leq \text{VMP} \leq +0,5$  e  $\text{PPD} \leq 10\%$  que definiam a aceitabilidade térmica dos ambientes, foram alterados mais recentemente pelo Anexo A da ISO/FDIS 7730:2005(E) com adoção de 3 faixas ou nas Classes: A, B e C. Como também foi demonstrado, essa nova regulamentação não foi suficiente para resolver a questão, pois sua aplicação em ACN tem gerado discrepâncias em diversas partes do mundo. Entre as possíveis justificativas inclui-se o fato do modelo Fanger haver sido desenvolvido em câmara climatizada onde suas variáveis ambientais são de total controle do pesquisador.

Na busca de solução, vários estudos têm sido divulgados. Recentemente Lenzuni et al. (2009) sugeriram nova classificação para os ambientes térmicos submetidos a avaliação de conforto térmico. Já Indraganti e Rao (2009) realizaram pesquisa em Hyderabad, Índia, revelando que a inaceitabilidade térmica é baixa em pessoas de idade e alta em mulheres como em pessoas de classe econômica baixa.

Por outro lado, na tentativa de se obter ambientes confortáveis, observa-se com relativa frequência a utilização da climatização artificial de forma nem sempre adequada, o que além de contribuir com a emissão de gases poluentes à atmosfera, contraria os padrões já existentes de se propor edificações energeticamente eficientes. Em contra ponto, há que se considerar que pesquisas também são divulgadas cujo objetivo foi buscar alternativas tecnológicas para produção de ambientes termicamente confortáveis, ecologicamente corretos e energeticamente eficientes (Chel e Tiwari, 2009a e 2009b).

E essa preocupação alcançou as habitações localizadas no meio rural. Recentemente Han et al. (2009) compararam a aceitabilidade térmica verificada em residências rurais e urbanas concluindo que, para a mesma temperatura operativa, os votos de sensação como o percentual de votos de aceitabilidade obtidos no meio rural são maiores que os do urbano. Deduziu-se que tal fato deve-se, provavelmente, pela menor expectativa de conforto térmico da referida população.

A par dessa discussão, o que se tem normalizado internacionalmente é que a avaliação de aceitabilidade térmica de ambientes edificados deve ser realizada com a aplicação da ISO/FDIS 7730:2005(E). Entretanto, neste item se apresentam os resultados obtidos com a aplicação dessa norma como também os relativos as metodologias: ISO

10551:1995(E), ASHRAE Standard 55(2004), *Adaptive Temperature Limits* (ATG) proposto por A.C. van der Linden et al. (2006) e o prEN 15251:2005(E) - *Criteria for the Indoor Environment including thermal, indoor air quality, light and noise*.

#### 4.9.1 Ambientes condicionados naturalmente

##### 4.9.1.1 Análise da aceitabilidade térmica segundo a ISO 10551:1995(E)

Neste trabalho, adotou-se a hipótese de que as manifestações dos voluntários respondendo o quesito “você aceita termicamente este ambiente?”, é a opção correta para a avaliação da aceitabilidade térmica dos ambientes. Os resultados percentuais estão indicados na Tabela 34 abaixo, como também nela estão inseridos os valores verificados em cada um dos ambientes do PPD, VST, da temperatura média operativa, da temperatura média do ar e da velocidade média do ar, bem como da temperatura externa durante o experimento.

Tabela 34 – Percentual de aceitabilidade térmica manifestada pelos voluntários nos ACN.

	Aceitabilidade Térmica nos ACN - ISO10551:1995(E)					
	Coimbra		Corumbá		Campo Grande	
	abril	nov	abril	nov	abril	nov
Sim	59%	61%	31%	54%	86%	73%
Não	41%	39%	69%	46%	14%	27%
PPD	99%	69%	98%	25%	13%	42%
VMP	3.0	1.8	2.8	0.9	0.6	1.3
VST	1.4	1.1	1.9	1.3	-0.5	0.6
to	34.5°C	30.6°C	33.3°C	27.4°C	24.0°C	28.9°C
ta	34.4°C	30.0°C	33.1°C	27.0°C	23.5°C	28.5°C
var	0.22 m/s	0.18 m/s	0.15 m/s	0.13 m/s	0.09 m/s	0.19 m/s
text	35.7°C	31.3°C	34.2°C	27.8°C	16.3°C	30.8°C
UR	50%	68%	70%	68%	59%	74%

Verifica-se, pelos percentuais obtidos que apenas em Corumbá, e em abril, os voluntários não aceitaram termicamente o ambiente. Entretanto, somente em Campo Grande e em abril, o percentual das manifestações de “não aceite” está muito próximo do PPD calculado pela ISO 7730(1994). Os demais percentuais são bastante diferentes, reafirmando que a norma não atende sua pretensão na região ora estudada. Por outro lado, observa-se que, a rigor, somente em Campo Grande, e em abril, a manifestação dos voluntários em aceitar termicamente o ambiente foi referendada pela temperatura operativa verificada durante o

experimento (24,0°C). Isso pelo fato, provavelmente, de que a temperatura operativa se manteve dentro do intervalo admissível ( $23,3^{\circ}\text{C} \leq t_o \leq 26,3^{\circ}\text{C}$ ) identificado no item 4.3.4, o que não ocorreu em novembro, apesar do alto percentual de aceite (73%). As manifestações dos voluntários de Coimbra e Corumbá demonstram que os primeiros suportam temperaturas mais elevadas, bastando se verificar que enquanto em Coimbra os VST foram 1,4, em abril e 1,1 em novembro, para, respectivamente, temperaturas do ar de 34,5°C e 30,6°C; em Corumbá os votos foram 1,9 e 1,3 para 33,3°C e 27,4°C.

Do exposto, podemos concluir que, segundo a ISO 10551:1995(E), apenas em Corumbá, e no mês de abril, o ambiente não foi aceito termicamente, concordando com a indicação dos voluntários, apesar dos percentuais bastante diferentes.

#### 4.9.1.2 Análise da aceitabilidade térmica segundo a ISO/FDIS 7730:2005(E).

Para a aplicação da ISO/FDIS 7730:2005(E), utilizaram-se os resultados obtidos que estão indicados na Tabela 36 abaixo. Observou-se, com a aplicação da Tabela A.1 do Anexo A da citada norma, que, dentre os ACN, apenas Campo Grande, e em abril, foi enquadrado e na categoria C. Já na análise conforme propõe a Tabela A.5, a categoria alcançada foi “B”.

Tabela 35 – Valores obtidos nos ambientes condicionados naturalmente

Aceitabilidade térmica segundo a ISO/FDIS7730:2005(E)							
Mês	Cidade	$t_o$ (°C)	va (m/s)	VMP	VST	PPD	Aceitabilidade Térmica (%)
Abril	Coimbra	34,5	0,22	3,0	1,4	99	59
	Corumbá	33,3	0,15	2,8	1,9	98	31
	Campo Grande	24,0	0,09	0,6	-0,5	13	86
Novembro	Coimbra	30,6	0,18	1,8	1,1	69	61
	Corumbá	27,4	0,13	0,9	1,3	25	54
	Campo Grande	28,9	0,19	1,3	0,6	42	73

Na tabela, é possível se verificarem diferenças entre os percentuais resultantes dos votos de inaceitabilidade térmica e os PPI calculados pelo Modelo Fanger, em que estes são superestimados em relação aos primeiros. Observa-se que, em Campo Grande, e em abril, para PPD = 13% implicou que 87% dos voluntários aceitavam termicamente o ambiente, resultado quase idêntico às manifestações formais (86%). Isso certamente ocorreu pelo fato de que durante o experimento a temperatu-

ra externa de 16,3°C era extremamente baixa para os padrões climáticos do outono da região.

Da mesma forma, observaram-se diferenças entre os PPD e os votos de inaceitabilidade térmica manifestados pelos voluntários. A Figura 34 anterior ilustra essas diferenças. Em apenas um experimento os valores do PPD = 14% e os votos de inaceitabilidade térmica indicaram valores próximos, desta vez em Campo Grande, e em abril, quando ocorreu o fenômeno da entrada da frente fria.

Também se verificou incoerência entre o PPD e os votos de inaceitabilidade térmica em relação à temperatura operativa, velocidade média do ar e umidade relativa. Para tanto, basta se observar que para  $t_o = 34,5^\circ\text{C}$ ,  $v_a = 0,22\text{m/s}$  e  $\text{UR} = 50\%$  o percentual de voto de inaceitabilidade térmica foi de 41%, enquanto o PPD foi de 99%. Já para  $t_o = 33,3^\circ\text{C}$ ,  $v_a = 0,15\text{m/s}$  e  $\text{UR} = 70\%$ , obteve-se percentual de inaceitabilidade térmica coerentemente superior (69%) e o PPD manteve-se praticamente estável (99%).

A Figura 77 a seguir ilustra as discrepâncias verificadas entre a insatisfação dos voluntários representada pelos votos de inaceitabilidade térmica (VIT) e o percentual de pessoas termicamente insatisfeitas (PPD) com a temperatura operativa ( $t_o$ ).

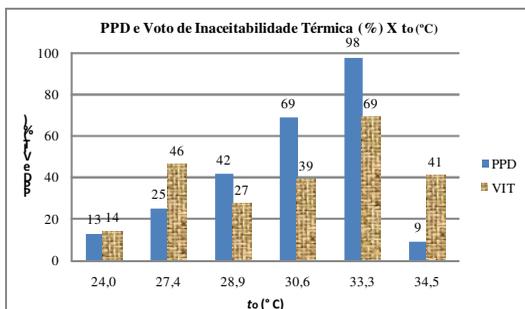


Figura 77 – PPD e Voto de Inaceitabilidade Térmica relacionados com as temp.operativas.

Observa-se que esta metodologia não é adequada para a região, em função de que os valores das temperaturas do ar e operativa, como também do PPD, que normalmente ocorrem, são bastante superiores aos limites impostos nas tabelas existente na referida norma. Os resultados alcançados em Campo Grande se devem à ocorrência absolutamente anormal da entrada de frente fria na tarde que antecedeu o experimento.

#### 4.9.1.3 Análise da aceitabilidade térmica segundo a ASHRAE Standard 55(2004).

A suposição de De Dear e Brager (2001), de que as retas que definem os limites de aceitabilidade de 80% e 90% podem diminuir suas inclinações em relação ao das temperaturas médias mensais externas não foi considerada em função de que nos ambientes em estudo, pelas informações obtidas entre os voluntários envolvidos nos experimentos, há forte indicação de que para a região ora estudada isso não é verdadeiro. Por outro lado, para a análise de aceitabilidade térmica aqui desenvolvida as retas do modelo original foram prolongadas de tal forma que fossem aceitos valores de temperatura externa média superiores a 40°C, o que normalmente ocorre na região. A temperatura externa média mensal ( $t_{a(ext)}$ ) utilizada é definida pelos autores desta metodologia como “simplesmente a média aritmética das temperaturas médias mensais, mínima e máxima para o mês em estudo”.

Considerando que não existe monitoramento com registro sistemático das variáveis climáticas em Coimbra, as temperaturas médias mensais externas utilizadas nos gráficos foram obtidas na Divisão de Meteorologia Aeronáutica da Diretoria de Proteção ao Vôo – que é sediada no aeroporto da cidade de Corumbá, distante 100 km. Já os dados de Campo Grande foram obtidos no Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária sediada em Campo Grande.

##### a) Coimbra

Verificou-se que a temperatura operativa (34,5°C) obtida durante o experimento foi bastante superior ao limite de 80% (28,8°C) imposto pela metodologia normalizada. Ainda se deve considerar que a temperatura operativa verificada denuncia que o ambiente estava termicamente inaceitável, contrariando a manifestação de 59% dos voluntários que o aceitavam, como ilustrado na Tabela 34 anterior. O PPD calculado foi igual a 99%.

##### a.1) Análise no mês de abril:

- Temperatura externa média mensal ( $t_{a(ext)}$ ) = 26,9°C
- Temperatura operativa = 34,5°C

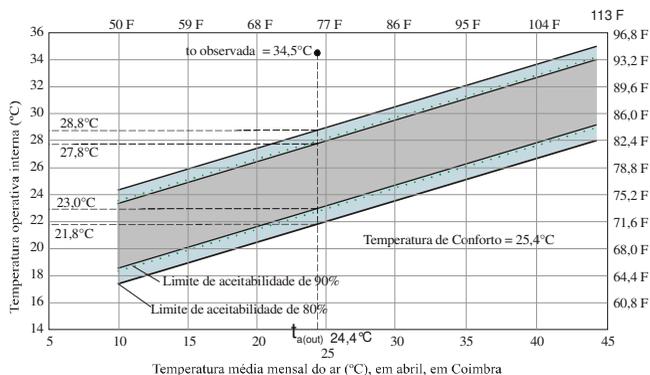


Figura 78 – Temperatura operativa aceitável em Coimbra, em abril.  
Gráfico adaptado da ASHRAE Standard55(2004)

Os limites para a temperatura operativa obtidos são:

- para 80% de aceitabilidade térmica  
 $21,8^{\circ}\text{C} \leq t_o \leq 23,0^{\circ}\text{C}$  e  $27,8^{\circ}\text{C} \leq t_o \leq 28,8^{\circ}\text{C}$ , e
- para 90% de aceitabilidade térmica  
 $23,0^{\circ}\text{C} < t_o < 27,8^{\circ}\text{C}$

a.2) Análise no mês de novembro:

- Temperatura externa média mensal ( $t_{a(ext)}$ ) = 28,9°C
- Temperatura operativa = 30,6°C

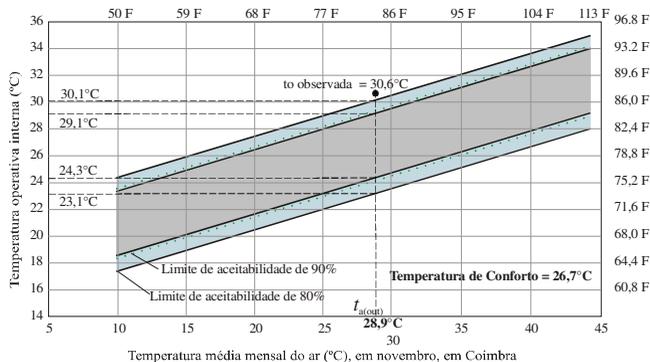


Figura 79 – Temperatura operativa aceitável em Coimbra, em novembro.  
Gráfico adaptado da ASHRAE Standard55(2004)

Os limites para a temperatura operativa são:

- para 80% de aceitabilidade térmica  
 $23,1^{\circ}\text{C} \leq t_o \leq 24,3^{\circ}\text{C}$  e  $29,1^{\circ}\text{C} \leq t_o \leq 30,1^{\circ}\text{C}$ , e
- para 90% de aceitabilidade térmica  
 $24,3^{\circ}\text{C} < t_o < 29,1^{\circ}\text{C}$

Nesse ambiente, pode-se observar que a temperatura operativa ( $30,6^{\circ}\text{C}$ ) verificada durante o experimento é muito próxima ao limite de 80% ( $30,1^{\circ}\text{C}$ ), indicando que o ambiente pode ser considerado termicamente aceitável, tal como entenderam 61% dos voluntários e está ilustrado na Tabela 35 anterior.

Desta forma, observa-se pelos resultados apresentados que em Coimbra e em abril o ambiente estava termicamente inaceitável, enquanto que em novembro manteve-se no limite de aceitabilidade. Essa constatação evidencia que as pessoas deveriam indicar desconforto térmico por meio dos VST, o que não aconteceu, basta se observar a Tabela 34 anterior. Nela, 59% e 61% dos voluntários manifestaram aceitar os ambientes térmicos em abril e novembro, respectivamente. Dessa forma, há contradição entre os VST indicados e a metodologia para análise da aceitabilidade térmica proposta pela ASHRAE Standard 55(2004).

## b) Corumbá

Repetiram-se, conforme justificado anteriormente, os dados climáticos de Coimbra, exceção feita, evidentemente, aos valores da temperatura operativa.

## b.1) Análise no mês de abril:

- Temperatura externa média mensal ( $t_{a(ext)}$ ) = 26,9°C
- Temperatura operativa = 33,3°C

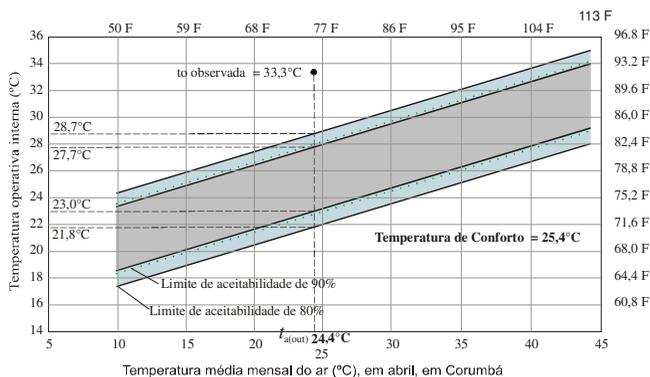


Figura 80 – Temperatura operativa aceitável em Corumbá, em abril.  
Gráfico adaptado da ASHRAE Standard55(2004)

Observa-se que, em abril e em Corumbá, com  $t_o = 33,3^\circ\text{C}$ , o ambiente estava termicamente inaceitável, tal como 69% das manifestações.

Os limites para a temperatura operativa são:

- para 80% de aceitabilidade térmica  
 $21,8^\circ\text{C} \leq t_o \leq 23,0^\circ\text{C}$  e  $27,7^\circ\text{C} \leq t_o \leq 28,7^\circ\text{C}$ , e
- para 90% de aceitabilidade térmica  
 $23,0^\circ\text{C} < t_o < 27,7^\circ\text{C}$

b.2) Análise no mês de novembro:

Já em novembro, para  $t_o = 27,4^\circ\text{C}$ , o ambiente estava termicamente aceitável, tal como 54% das manifestações, levando-nos concluir que, para as condições climáticas verificadas, a metodologia ASHRAE foi compatível com os resultados de campo. Reafirmaram-se as discrepâncias entre as manifestações de desconforto e os PPD calculados.

- Temperatura externa média mensal ( $t_{a(\text{ext})}$ ) =  $28,8^\circ\text{C}$
- Temperatura operativa =  $27,4^\circ\text{C}$

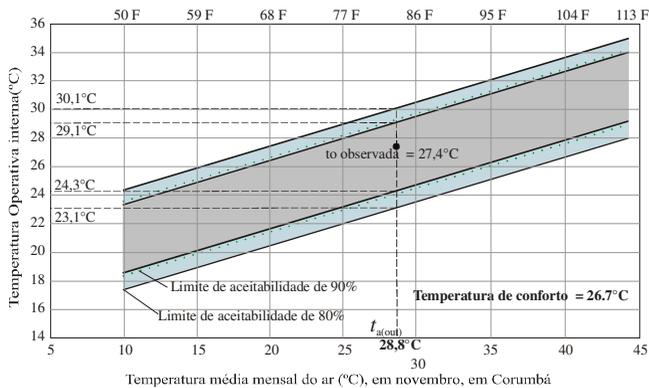


Figura 81 – Temperatura operativa aceitável em Corumbá, em novembro.  
Gráfico adaptado da ASHRAE Standard55(2004)

Os limites para a temperatura operativa são:

- para 80% de aceitabilidade térmica  
 $23,1^\circ\text{C} \leq t_o \leq 24,3^\circ\text{C}$  e  $29,1^\circ\text{C} \leq t_o \leq 30,1^\circ\text{C}$ , e
- para 90% de aceitabilidade térmica  
 $24,3^\circ\text{C} < t_o < 29,1^\circ\text{C}$

## c) Campo Grande

Nesse mês o resultado alcançado demonstrou que o ambiente manteve-se com 90% de aceitabilidade térmica, pois a temperatura operativa foi de 24,0°C.

O resultado desta metodologia indicou 90% de aceitabilidade térmica para o ambiente, não muito diferente da indicação dos voluntários (86%). O PPD calculado pela ISO 7730(1994) foi de 13%.

## c.1) Análise no mês de abril:

- Temperatura externa média mensal ( $t_{a( ext{ext})}$ ) = 25,3°C
- Temperatura operativa = 24,0°C

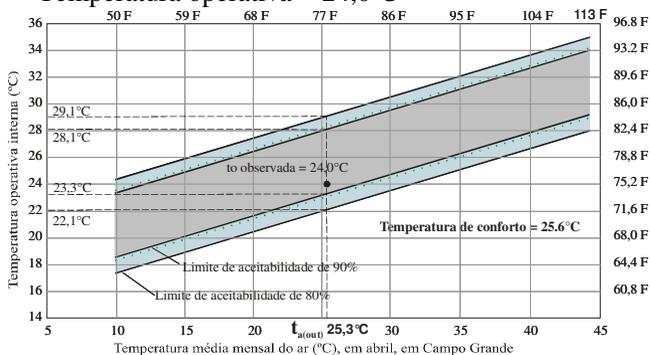


Figura 82 – Temperatura operativa aceitável em Campo Grande, em abril.  
Gráfico adaptado da ASHRAE Standard55(2004)

Os limites para temperatura operativa são:

- para 80% de aceitabilidade térmica  
 $22,1^{\circ}\text{C} \leq t_o \leq 23,3^{\circ}\text{C}$  e  $28,1^{\circ}\text{C} \leq t_o \leq 29,1^{\circ}\text{C}$ , e
- para 90% de aceitabilidade térmica  
 $23,3^{\circ}\text{C} < t_o < 28,1^{\circ}\text{C}$

c.2) Análise no mês de novembro:

Já em novembro, pode-se verificar que houve piora no ambiente térmico. A temperatura operativa observada ( $28,9^{\circ}\text{C}$ ) indicou que o ambiente estava no limite da faixa de 80% de aceitabilidade térmica, não muito diferente da manifestação dos voluntários, que indicaram 73%. Vale considerar que o PPD calculado foi de 42%.

Os resultados encontrados podem ser explicados pela discussão existente em Turner (2008). Entre os vários assuntos relacionados, o autor indica como um dos pontos limitadores dessa metodologia a média mensal de temperatura externa proposta. Isso porque, no seu entendimento, para satisfazer a exigência seria necessário resfriamento mecânico do ambiente, fato que, se efetivado, ou se esse sistema fosse instalado, o método não poderia ser aplicado.

- Temperatura externa média mensal ( $t_{a(\text{ext})}$ ) =  $25,2^{\circ}\text{C}$
- Temperatura operativa =  $28,9^{\circ}\text{C}$

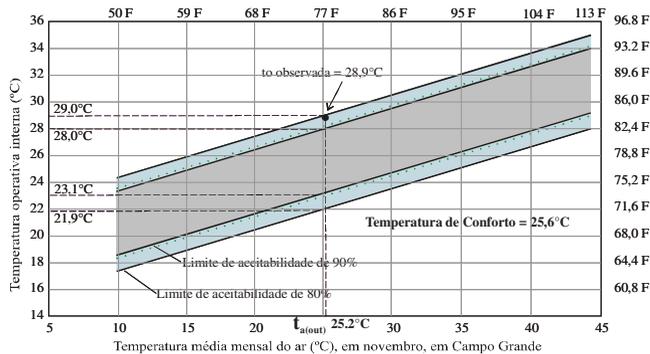


Figura 83 – Temperatura operativa aceitável em Campo Grande, em novembro. Gráfico adaptado da ASHRAE Standard55(2004)

Os limites para temperatura operativa são:

- para 80% de aceitabilidade térmica  
 $21,9^{\circ}\text{C} \leq t_o \leq 23,1^{\circ}\text{C}$  e  $28,0^{\circ}\text{C} \leq t_o \leq 29,0^{\circ}\text{C}$ , e
- para 90% de aceitabilidade térmica  
 $23,1^{\circ}\text{C} < t_o < 28,0^{\circ}\text{C}$

#### 4.9.1.4 Análise da aceitabilidade térmica segundo o modelo o *Adaptive Temperature Limits* (ATG) proposto por A.C. van der Linden et al. (2006)

Para a aplicação dessa metodologia, todos os ambientes foram considerados “classe C” (nível de aceitabilidade térmica de 65%) por não serem recém-construídos, serem de utilização temporária e onde o clima interno é aceito como tal. Considerando a real possibilidade da ocorrência de temperaturas mais altas que as do ambiente climático previsto no modelo, elevou-se no gráfico o valor final da temperatura média do ar externo ( $T_{e, \text{ref}}$ ) para até 44°C. Essa temperatura, segundo o modelo, é calculada pela equação abaixo:

$$T_{e,\text{ref}} = (1 * T_{\text{today}} + 0.8 * T_{\text{yesterday}} + 0.4 * T_{\text{day before yesterday}} + 0.2 * T_{\text{day before day yesterday}}) / 2.4 \quad \text{onde [34]}$$

$T_{e,\text{ref}}$  = Temperatura externa de referência, em °C

$T_{\text{today}}$  = Temperatura média do ar, do dia de hoje, em °C

$T_{\text{yesterday}}$  = Temperatura média do ar, do dia de ontem, em °C

$T_{\text{day before yesterday}}$  = Temperatura média do ar, do dia antes de ontem, em °C

$T_{\text{day before day yesterday}}$  = Temperatura média do ar, do dia antes do dia anterior ao de ontem, em °C

Os valores que compuseram a ( $T_{e,\text{ref}}$ ) de Coimbra e Corumbá foram obtidos na Divisão de Meteorologia Aeronáutica da Diretoria de Proteção ao Voo - SBCR CORUMBÁ - sediada no aeroporto da cidade de Corumbá. Já os de Campo Grande, no Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte - CNPGC, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, sediado em Campo Grande.

##### a) Coimbra

Verifica-se que para o limite de 65% de aceitabilidade térmica a temperatura operativa deve permanecer, em abril, entre 22,5°C e 31,9°C, indicando que no mês de abril o ambiente esteve termicamente inaceitável, contrariando 59% dos voluntários que o aceitaram. O PPD calculado foi de 99%. Em novembro, a faixa limite era de 21,9°C até 30,7°C, indicando a aceitabilidade térmica do ambiente, tal como 61% dos voluntários se manifestaram.

- $T_{e, \text{ref}}$  em abril =  $31,7^{\circ}\text{C}$  ;  $t_o = 34,5^{\circ}\text{C}$
- $T_{e, \text{ref}}$  em novembro =  $27,8^{\circ}\text{C}$ ;  $t_o = 30,6^{\circ}\text{C}$

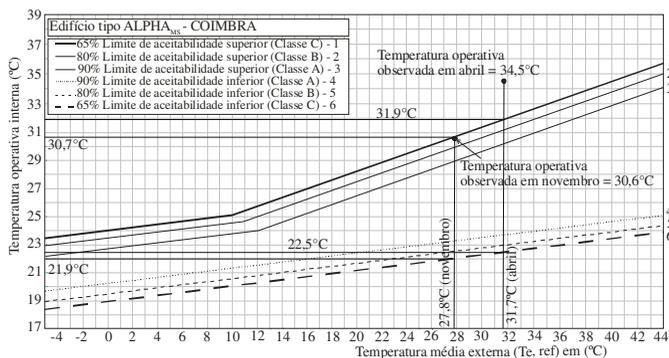


Figura 84 – Adaptive Temperature Limits (ATG) para ACN, em Coimbra.

b) Corumbá: Análise nos meses de abril e novembro:

Já para Corumbá, resultou, segundo esta metodologia, que no mês de abril o ambiente também estava termicamente inaceitável, concordando com 69% dos voluntários. O PPD calculado foi de 99%. Já em novembro, o ambiente esteve com 90% de aceitabilidade térmica, por conta da temperatura operativa de  $27,4^{\circ}\text{C}$ . Entre os voluntários, o percentual de aceite foi de 54%.

- $T_{e, \text{ref}}$  em abril =  $29,4^{\circ}\text{C}$  ;  $t_o = 33,3^{\circ}\text{C}$
- $T_{e, \text{ref}}$  em novembro =  $28,8^{\circ}\text{C}$ ;  $t_o = 27,4^{\circ}\text{C}$

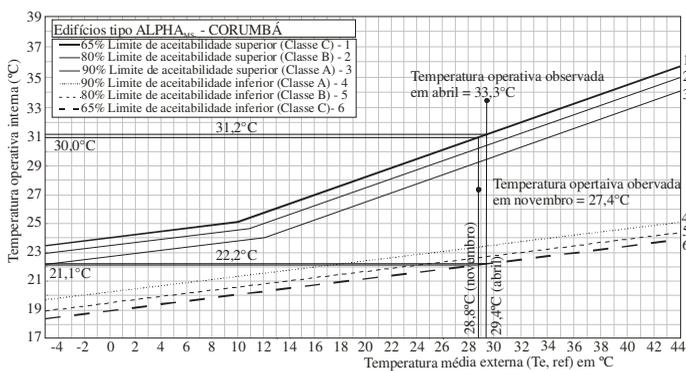


Figura 85 – Adaptive temperature limits (ATG) para ACN, em Corumbá

Essa condição expressa pela metodologia é, segundo os autores, similar ao VMP = +0,5, que corresponde ao PPD = 10%.

c) Campo Grande: Análise nos meses de abril e novembro:

Observa-se que o ambiente onde foram realizados os experimentos, em abril, estava com 90% de aceitabilidade térmica, percentual muito próximo dos 86% manifestados pelos voluntários. A mesma proximidade ocorreu em novembro, na indicação de 80% de aceitabilidade térmica, quando os voluntários indicaram 73%. Os PPD foram, respectivamente, 13% e 43%.

- $T_{e, \text{ref}}$  em abril =  $18,4^{\circ}\text{C}$  ;  $t_o = 24,0^{\circ}\text{C}$
- $T_{e, \text{ref}}$  em novembro =  $25,6^{\circ}\text{C}$  ;  $t_o = 28,9^{\circ}\text{C}$

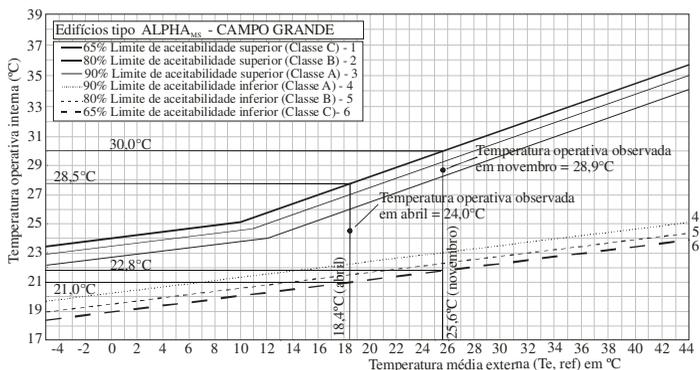


Figura 86 – Adaptive temperature limits (ATG) para ACN em Campo Grande, em novembro.

#### 4.9.1.5 Análise da aceitabilidade térmica segundo a prEN 15251:2005(E) - *Criteria for the Indoor Environment including thermal, indoor air quality, light and noise.*

Os valores necessários para o cálculo da  $T_o$  (temperatura média mensal do ar externo) de Coimbra e Corumbá foram obtidos na Divisão de Meteorologia Aeronáutica da Diretoria de Proteção ao Vôo - SBCR CORUMBÁ, sediada no aeroporto da cidade de Corumbá. Já os de Campo Grande, no Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte - CNPGC, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, sediada em Campo Grande.

##### a) Coimbra: Análise nos meses de abril e novembro:

Observa-se que, no mês de novembro, o ambiente esteve dentro da faixa de 80% de aceitabilidade térmica. Esse percentual está relativamente próximo do indicado pelos voluntários e representado na Tabela 34. No mês de abril, a faixa de aceitabilidade da temperatura operativa esteve entre 22,1°C e 30,4°C, enquanto o valor obtido no experimento foi de 34,5°C, determinado que o ambiente estava termicamente inaceitável. Esse resultado contradiz a afirmação de 59% dos voluntários, que aceitaram termicamente o ambiente.

- Temp. média mensal ext. em abril = 26,9°C;  $t_o = 34,5^\circ\text{C}$
- Temp. média mensal ext. em novembro = 29,3°C;  $t_o = 30,6^\circ\text{C}$

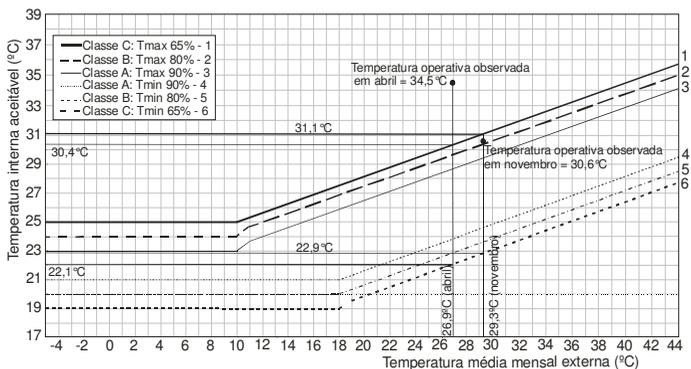


Figura 87 – Valores para temperatura operativa interna para Coimbra de acordo com a prEN 15251:2005(E)

b) Corumbá: Análise no mês de abril e novembro:

A temperatura operativa de novembro, em Corumbá (27,4°C), determinou que o ambiente fosse inserido na faixa de 90% de aceitabilidade térmica, superior à indicação de 54% dos voluntários. Entretanto, em abril, o ambiente resultou termicamente inaceitável, tal como 69% dos voluntários o fizeram. No experimento, a temperatura operativa (33,3°C) esteve muito acima do valor máximo (30,4°C).

- Temp. média mensal ext. em abril = 26,9°C;  $t_o = 33,3^\circ\text{C}$
- Temp. média mensal ext. em novembro = 29,3°C;  $t_o = 27,4^\circ\text{C}$

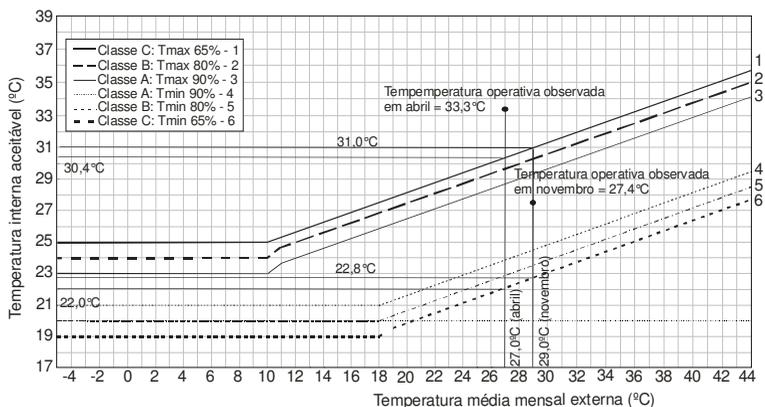


Figura 88 – Valores para temperatura operativa interna para Corumbá de acordo com a prEN 15251:2005(E)

c) Campo Grande : Análise no mês de abril e novembro:

Em Campo Grande, o ambiente onde foram realizados os experimentos, em abril, como em novembro, revelaram temperaturas operativas dentro dos limites indicados pela metodologia, resultando, dessa forma, que ambos estavam termicamente aceitáveis. Em abril, a taxa de aceitação foi de 90%, enquanto em novembro foi de 80%, como se pode observar na figura anterior. Esses valores foram próximos aos indicados pelos voluntários, 86% e 73%, respectivamente.

- Temp. média mensal ext. em abril =  $24,3^{\circ}\text{C}$ ;  $t_0 = 24,0^{\circ}\text{C}$
- Temp. média mensal ext. em novembro =  $24,7^{\circ}\text{C}$ ;  $t_0 = 28,9^{\circ}\text{C}$

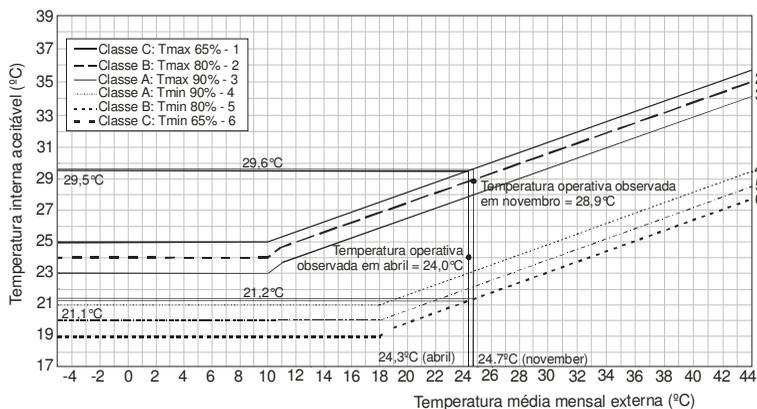


Figura 89 – Valores para temperatura operativa interna para Campo Grande de acordo com a prEN 15251:2005(E)

## 4.9.2 Ambiente condicionado artificialmente

### 4.9.2.1 Análise da aceitabilidade térmica segundo a ISO 10551:1995(E)

Também nesse ambiente, a análise foi realizada pelas respostas dadas pelos voluntários ao quesito “Você aceita termicamente este ambiente?”. Os resultados percentuais que estão indicados na tabela abaixo demonstram que nos experimentos realizados, em abril (80%) e novembro (82%), houve índice de aceitabilidade térmica alto, contradizendo os PPD calculados pela ISO 7730(1994).

Tabela 36 – Percentual de aceitabilidade térmica manifestada pelos voluntários no ambiente condicionado artificialmente.

Aceitabilidade Térmica		
GIDUR		
	Abril	Novembro
Sim	80%	82%
Não	20%	18%
PPD	14%	5%
VST	0	0,3
$t_o$	23,3°C	24,3°C
$t_{int}$	22,6°C	23,7°C
$v_o$	0,17 m/s	0,09m/s
$t_{ext}$	36,6°C	29,8°C

### 4.9.2.2 Análise da aceitabilidade térmica segundo a ISO/FDIS 7730:2005(E)

Especificamente para a aplicação da ISO/FDIS 7730:2005(E) [2], utilizaram-se os resultados obtidos do equipamento BABUC, que estão indicados na Tabela 37 abaixo. Observou-se, com a aplicação do Anexo A da citada norma, a partir dos valores obtidos do VMP e do PPD, o ambiente pôde ser classificado como categoria “C” em abril e “A” em novembro. Já considerando-se os valores das temperaturas operativas, o mesmo ambiente alcançou, nos dois meses, a categoria “B”.

Tabela 37 – Valores obtidos no ambiente condicionado artificialmente., com a aplicação da ISO/FDIS 7730:2005 (E) [2].

Aceitabilidade Térmica - ISO/FDIS7730:2005(E)		
GIDUR		
	Abril	Novembro
VMP	-0,7	-0,1
PPD	14%	5%
$t_o$	23,3°C	24,3°C
$v_o$	0,17 m/s	0,09m/s

#### 4.9.2.3 Análise da aceitabilidade térmica segundo a ASHRAE Standard 55:2004

A Tabela 38 abaixo indica os dados de entrada no gráfico que especifica a zona de conforto proposto nessa norma para ambientes condicionados artificialmente e obtidos no ambiente condicionado artificialmente. Já a Figura 90, visualizam-se os resultados alcançados segundo a metodologia.

Tabela 38 – Dados característicos do ambiente condicionado artificialmente.

	Abril	Novembro
Temp Operativa Média	23,3°C	24,3°C
Umidade Relativa Média	53%	56%
Índice de isolamento das roupas	0,48clo	0,50clo

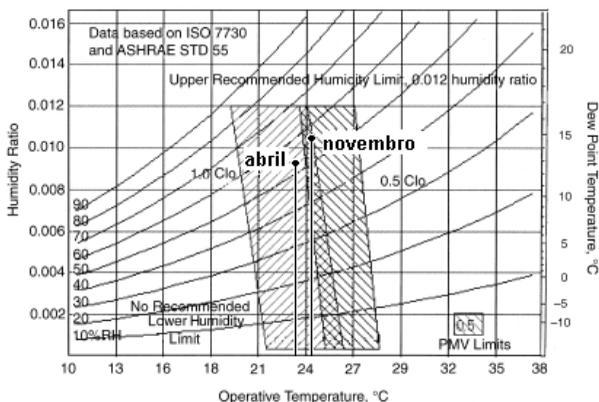


Figura 90 – Gráfico da zona de conforto da ASHRAE Standard 55:2004 para o ambiente condicionado artificialmente.

Observa-se que somente em novembro o ambiente estava inserido na zona de conforto, o que foi confirmado pelos  $VMP = -0,1$ ;  $PPD = 5\%$  e  $VST = 0,3$ , este muito próximo da sensação térmica neutra. Já em abril, para os valores de temperatura operativa e umidade relativa, o gráfico indica que os voluntários participantes do experimento deveriam estar vestindo roupa com índice de isolamento igual a 1,0 clo. Isso também poderia ser referendado pelos valores do  $VMP = -0,7$  e do  $PPD = 14\%$ . Entretanto, o voto de sensação térmica próximo de zero, e o resultado da análise estatística que não apontou associação entre os índices de isolamento das roupas e os votos de sensação e de preferência térmica manifestados pelos voluntários contradizem a metodologia nesse mês.

#### 4.9.2.4 Análise da aceitabilidade térmica segundo o modelo ATG) proposto em A. C. van der Linden et al. (2006).

Na figura abaixo, verifica-se que tanto em abril como em novembro o ambiente manteve-se com 90% de aceitabilidade térmica. Entretanto, há que se observar que as respostas dadas pelos voluntários não coincidem com os percentuais acima indicados, pois enquanto em abril 80% se manifestaram satisfeitos, em novembro foram 82%.

a) Campo Grande: Análise no mês de abril e novembro:

- $T_{e, \text{ref}}$  em abril =  $18,4^{\circ}\text{C}$ ;  $t_0 = 23,3^{\circ}\text{C}$
- $T_{e, \text{ref}}$  em novembro =  $25,6^{\circ}\text{C}$ ;  $t_0 = 24,3^{\circ}\text{C}$
- 

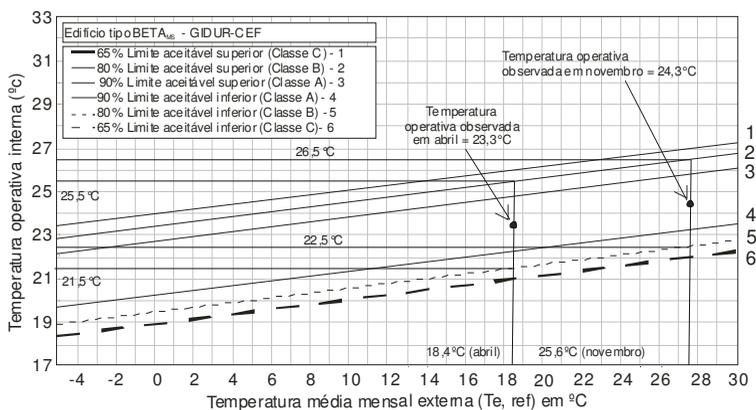


Figura 91 – Adaptive temperature limits (ATG) para o ACA, em abril e novembro.

#### 4.9.2.5 Análise da aceitabilidade térmica segundo a prEN 15251:2005(E) – *Criteria for the Indoor Environment including thermal, indoor air quality, light and noise.*

Para análise da aceitabilidade térmica segundo a metodologia da prEN 15251:2005(E), buscou-se o percentual de voluntários que escolheram opção diferente da “confortável” quando lhes foi apresentado o quesito “De que maneira você se encontra neste momento?”, uma vez que é necessário o conhecimento do PPD. As demais opções eram: “levemente confortável”; “desconfortável” e “muito desconfortável”. Os percentuais obtidos daqueles que se sentiam “confortáveis” foram 61% em abril e 66% em novembro, indicando, conseqüentemente, 39% de “desconfortáveis” em abril e 34% em novembro. Considerando que o maior percentual da metodologia é PPD < 15%, evidencia que o ambiente, nas 2 oportunidades, não estava termicamente aceitável.

A Figura 39 abaixo ilustra os resultados obtidos com a aplicação da referida metodologia.

Tabela 39 – Categorias de ambientes térmicos

Categoria	Estado térmico do corpo como um todo		Desconforto Térmico Local			
	PPI (%)	VMP	Corrente de ar (%)	Dif. temp. ar vert. (%)	Piso quente ou frio (%)	Assimetria de Radiação Térmica (%)
A	< 6	- 0,2 < VMP < + 0,2	< 15	< 3	< 10	< 5
B	< 10	- 0,5 < VMP < + 0,5	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	- 0,7 < VMP + 0,7	< 25	< 10	< 15	< 10

## 5. CONCLUSÕES

A literatura científica pertinente é farta de exemplos de que o modelo normalizado internacionalmente para a avaliação de conforto térmico em ambientes internos de edificações tem-se mostrado adequada apenas para os ambientes condicionados artificialmente. Discrepâncias são verificadas entre o voto médio predito e o percentual de pessoas termicamente desconfortáveis calculados pela referida norma, e as manifestações individuais dos voluntários participantes da avaliação de ambiente condicionado naturalmente são anotadas em diversas regiões do mundo. O mesmo ocorre no Brasil, apesar dos poucos trabalhos realizados.

Estudo preliminar na região deste trabalho também demonstrou as mesmas discrepâncias, ensejando a realização de pesquisa cujo principal objetivo foi estabelecer modelo alternativo para avaliação de conforto térmico em ambientes internos de edificações localizadas em região de clima quente e úmido do Brasil. Para tanto, de três ambientes condicionados naturalmente e um condicionado artificialmente foram obtidas 1.301 manifestações individuais, em dois períodos distintos, abril e novembro de 2005.

Além disso, buscou-se:

- Avaliar, a partir dos Votos de Sensação Térmica (VST) e de Preferência Térmica (VPT), a condição de conforto térmico nos ambientes previamente selecionados através da aplicação da metodologia proposta por Fanger (1982) ou da ISO7730(1994), além dos modelos adaptativos propostos por Humphreys e Nicol (2002) e Fanger e Toftum (2002).
- Definir equação de melhor significância estatística para cálculo do VST a partir dos VMP obtidos pela aplicação da ISO 7730 (1994), dos modelos adaptativos propostos por Humphreys e Nicol (2002) e Fanger e Toftum (2002), como também em função das variáveis climáticas externas;
- Definir os percentuais de pessoas termicamente desconfortáveis (PPD) nos ambientes experimentados a partir de 4 hipóteses de manifestações dos VST;
- Definir, entre o VST e o VPT, o mais significativo para avaliação de conforto térmico em ambientes condicionados naturalmente (ACN);
- Avaliar a influência da velocidade do ar no VST e no VPT na predição de conforto térmico em ACN;

- Avaliar a ocorrência dos fenômenos *aclimação, lembrança e expectativa térmica* dos voluntários participantes, e
- Avaliar a aceitabilidade térmica dos ambientes pesquisados segundo as metodologias: ISO10551:1995(E); ASHRAE Standard 55-2004, ATG de Van der Linden et al. (2006) e prEN15251 05-2005.

A par dos objetivos propostos, este trabalho apresenta nova forma de análise estatística, a Bioestatística, na análise que envolve os votos de sensação térmica, por conta de seu forte componente humano e por assim dizer subjetivo. Não se trata de nova forma por ser algo recém descoberto, mas sim porque na avaliação dos votos de sensação térmica os mesmos são considerados como resultados físicos e, por assim dizer, exatos, precisos, à semelhança da velocidade do ar, temperatura do ar, umidade relativa do ar etc. Na verdade, ocorre que, com seu forte componente subjetivo, os votos de sensação térmica estão mais relacionados à psicologia humana, e assim à *Bioestatística*, ramos da estatística que têm como foco a área de saúde e outras profissões relacionadas às ciências biológicas.

A seguir destacam-se as conclusões obtidas:

## 5.1 EQUAÇÕES DE CÁLCULO DO VST.

A partir das discrepâncias encontradas nos ambientes condicionados naturalmente, com a aplicação das metodologias ISO 7730(1994), Humphreys e Nicol (2002) e Fanger e Toftum (2002), evidenciou-se a necessidade da proposição de equação para *modelo alternativo* que melhor atendesse à avaliação dos ambientes pesquisados. Buscou-se, dessa forma, correlacionar o voto de sensação térmica com o voto médio predito calculado pela ISO 7730(1994) e as variáveis climáticas passíveis de monitoramento, sendo que seria adotada a que resultasse equação com coeficiente de determinação mais significativo. Assim sendo, a equação abaixo indica o melhor resultado estatístico ( $r^2 = 0,544$ )

$$VST = - 5,581 + 0,187 * VMP_{ISO7730(1994)} + 0,146 * t_{ext} + 0,034 * UR_{ext} \quad [28]$$

No ambiente condicionado artificialmente, a avaliação revelou que apenas no último período do experimento realizado em novembro o voto médio predito calculado foi próximo ao voto de sensação térmica manifestado pelos voluntários. Entretanto, observa-se que as diferenças existentes não são significativas, visto que 88,4% dos votos de sensação térmica mantiveram-se entre  $\pm 1$ . Por outro lado, considerando que a proposta deste trabalho é apresentar modelo alternativo na ocorrência de

discrepâncias no voto médio predito e no voto de sensação térmica, pode-se então considerar a equação abaixo para avaliação de ambientes condicionado artificialmente em região de clima quente e úmido.

$$VST = -15,158 + 1,533 * VMP_{ISO7730(1994)} + 0,453 * t_{ext} + 0,034 * UR_{ext} \quad (r^2 = 0,313) \quad [29]$$

## 5.2 AVALIAÇÃO DOS VST E VPT OBSERVADOS NOS EXPERIMENTOS EM RELAÇÃO ÀS METODOLOGIAS PROPOSTAS PELA ISO7730(1994); HUMPHREYS E NICOL (2002) E FANGER E TOFTUM (2002).

Inicialmente, há que se considerar que um dos objetivos deste trabalho também foi avaliar as diferenças dos votos de sensação térmica em relação à ventilação artificial. No primeiro período dos experimentos realizados em abril, em Corumbá e os de novembro em Coimbra e Campo Grande, os ambientes permaneceram com os ventiladores proposadamente desligados, donde se observou alívio nas segundas indicações dos voluntários, como era de se esperar. Nessas condições ocorreram pequenas discrepâncias entre os votos de sensação térmica e os votos médios preditos, conforme ilustrado nas Tabelas 16 e 17. Entretanto, nos demais períodos, verificou-se a repetição das discrepâncias já apontadas em trabalhos semelhantes a este. Observa-se que entre os valores calculados para o voto médio predito segundo a ISO7730(1994) e os votos de sensação térmica manifestados pelos voluntários, a menor diferença nominal foi 0,9 unidade. Já as metodologias de correção do VMP propostas por Humphreys e Nicol (2002) e Fanger e Toftum (2002) demonstraram-se, em princípio, mais adequadas. Isso porque enquanto em Coimbra (abril e novembro) e em Corumbá (abril) ambas indicaram valores bastante próximos, nos demais períodos não ocorreu o mesmo. Basta observarmos que em Campo Grande, no mês de abril, as duas metodologias apresentaram, no primeiro período, diferença nominal significativa, ou seja, Humphreys e Nicol (2002) indicando ( $\Delta V = 1,0$ ) e Fanger e Toftum (2002) ( $\Delta V = 1,2$ ).

Em novembro, e em Corumbá, as duas metodologias de correção não satisfizeram suas propostas. Já em Campo Grande, nesse mês, quem não satisfez foi Fanger e Toftum (2002), pois Humphreys e Nicol (2002) apresentaram novamente diferença nominal bastante razoável.

Com rigor, podemos afirmar que, com a irregularidade demonstrada pelos resultados, nenhuma metodologia se mostrou adequada para a avaliação pretendida. Entretanto, considerando a subjetividade existen-

te na indicação dos votos de sensação térmica, ambas são aceitas, pela correlação estatística encontrada, somente para Coimbra.

No ambiente condicionado artificialmente, tanto a ISO 7730(1994) como a metodologia proposta por Humphreys e Nicol (2002) revelaram discrepâncias. Em abril, as diferenças nominais ( $\Delta V$ ) máximas foram 0,8 e 0,9 e em novembro, 0,5 e 0,6, fatos que geram dúvidas quanto à sua utilização e reafirmam a necessidade da realização de novos experimentos para melhor posicionamento a respeito.

Por outro lado, a análise estatística das amostras dos votos de sensação térmica informados pelos recrutas e veteranos demonstrou que entre as duas classes existem, em diversos períodos dos experimentos, diferenças significativas. Considerando-se ainda que entre elas existem diferenças nas idades cronológicas de seus componentes, podemos afirmar que na região pesquisada não é válida a afirmação de Fanger (1982), de que não existem diferenças significativas entre os votos manifestados por voluntários de idades cronológicas diferentes, submetidos ao mesmo ambiente térmico e desenvolvendo atividade sedentária. Neste trabalho, diferenças significativas foram encontradas.

Outro aspecto importante foi revelado na análise do fator de expectativa - *e* - proposto por Fanger e Toftum (2002) e adotado neste trabalho. A regressão dos votos de sensação térmica, de acordo com a classe de cada voluntário (veterano ou recruta e em ainda se usuários ou não de ventiladores ou ar condicionado), com os votos médios preditos calculados de acordo com ISO 7730(1994), revelou para Coimbra  $VST/VMP = 0,50$  ( $r^2 = 0,914$ ); para Corumbá  $VST/VMP = 0,757$  ( $r^2 = 0,847$ ) e para Campo Grande  $VST/VMP = 0,408$  ( $r^2 = 0,231$ ). Dos valores assim obtidos, apenas o de Campo Grande revelou-se bastante diferente, pois o adotado foi 0,8. Logo, novos experimentos deverão ser realizados para melhor análise da metodologia de correção proposta pelos pesquisadores.

A correlação dos votos de sensação e de preferências térmicas revelou coeficiente de determinação ( $r^2 = 0,592$ ), que indica que aproximadamente 60% das manifestações são explicadas, o que é altamente significativo em se tratando de *fatores subjetivos* ou *psicológicos*. Já as correlações entre os votos de sensação e de preferências térmicas com o voto médio predito calculado segundo a ISO7730(1994), ilustradas nas Figuras 62 e 63, demonstram que os limites de conforto recomendado pelo modelo normalizado são muito rigorosos para a região. Basta se observar que a maioria dos votos está representada fora dele.

Já nas diversas correlações dos votos de sensação térmica manifestados pelos veteranos e recrutas que utilizam ar condicionado, ventilador ou nenhum deles com o voto médio predito, que produziu diferen-

tes coeficientes de determinação, ficou reafirmada a existência de diferentes votos entre as diversas classes, novamente contrariando Fanger (1982). Também ficou demonstrado que os recrutados que não possuem ar condicionado nem ventilador estão mais aclimatados à região, fenômeno ainda pouco esclarecido na avaliação de conforto térmico ambiental.

As comparações dos resultados das correlações realizadas entre os votos de sensação térmica e os votos médios preditos corrigidos pelas metodologias de Humphreys e Nicol (2002) e Fanger e Toftum (2002) indicaram coeficientes de determinação elevados, respectivamente  $r^2 = 0,424$  e  $r^2 = 0,442$ , sob o enfoque da bioestatística.

Já no ambiente condicionado artificialmente, a análise estatística dos votos de sensação térmica também revelou que em alguns períodos dos experimentos existiram diferenças significativas entre os gêneros dos voluntários, o que da mesma forma contraria conclusão a de Fanger (1982), que afirma não existirem essas diferenças. Conclusão ainda mais interessante foi a de que os votos manifestados pelos homens e mulheres não revelaram correlação com o índice de isolamento médio das roupas utilizadas, o que merece novos experimentos.

### **5.3 PERCENTUAIS OBTIDOS DE PESSOAS TERMICAMENTE DESCONFORTÁVEIS.**

Quatro hipóteses, além da que resulta o percentual de pessoas termicamente desconfortáveis calculado pela ISO 7730(1994), foram apreciadas na análise do percentual de pessoas insatisfeitas termicamente em relação aos votos de sensação térmica manifestados nos experimentos. Em todas, buscou-se a equação que resultasse coeficiente de determinação estatisticamente mais significativo.

Apenas na hipótese em que foi utilizado o percentual de pessoas termicamente desconfortáveis indicado pela aplicação do modelo normalizado, os votos de sensação térmica referiram-se aos votos individuais por classe de voluntários. Nas demais foram utilizados os votos de sensação térmica médios em cada período de cada um dos experimentos. Da mesma forma, deve-se considerar que o percentual de pessoas termicamente insatisfeitas resultantes foi identificado como PPD\*.

A primeira hipótese analisada foi a que indicou PPD\* com aplicação do modelo normalizado pela ISO 7730(1994), em que para VST = 0 resultou que 15,2% dos voluntários estavam insatisfeitos termicamente. Entretanto, essa hipótese deve ser desconsiderada pela incorreção conceitual apresentada, provavelmente em função das discrepâncias apresentadas entre os votos médios preditos calculados e os votos de sensação térmica manifestados pelos voluntários. Ou seja, quando para

VST =  $\pm 3$  o modelo normalizado indica que aproximadamente 100% das pessoas estão termicamente insatisfeitos com o ambiente, na hipótese isso não se verifica, o VST é igual a 73,4%.

A hipótese de Araújo (1996), que considera os VST =  $\pm 1$ ;  $\pm 2$  e  $\pm 3$  como de insatisfação térmica, deve ser descartada, pois os resultados apresentados contrariam os percentuais dos votos de conforto obtidos pelas manifestações dos voluntários, ou seja, os percentuais obtidos para VST = 0 indicam que 43,1% dos voluntários estariam experimentando conforto térmico e, para VST =  $\pm 1$ , indica 36,1%. Esses resultados são bastante diferentes dos totais manifestados pelos voluntários (19,1% e 52,4%), conforme ilustrado na Figura 6 anterior. Logo, podemos concluir que esta hipótese não se mostra adequada.

A hipótese seguinte, ou a que considerou como de insatisfação os VST fora da faixa de  $\pm 0,5$  como previsto no Anexo D da ISO 7730(1994), também se mostrou inconsistente, basta observar que para VST = 0 resultou PPD\* = 40,3% e para VST  $\approx \pm 1,0$  resulta PPD\*, próximo de 32%.

Finalmente, a Hipótese 4. Observou-se que apesar de na Figura 71 ter ficado demonstrado que 19,1% dos voluntários manifestaram neutralidade térmica, essa hipótese é a que mais se aproxima da realidade encontrada nos experimentos.

#### **5.4 ANÁLISE DO VOTO MAIS SIGNIFICATIVO ENTRE O VST E O VPT PARA AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EM ACN.**

Para tal definição, buscou-se o melhor coeficiente de determinação na correlação entre os referidos votos e as temperaturas operativas, resultando valores relativamente próximos e estatisticamente bastante significativos pela subjetividade existente. Verificou-se também que para os valores de temperatura operativa obtidos não foi possível a indicação do valor correspondente para VST = -0,5, nem para VPT = +0,5 como era a pretensão inicial. Consequentemente adotou-se o intervalo de voto de sensação térmica entre 0 e +0,5 resultando a faixa admissível para  $t_o$  entre 23,3°C a 26,3°C. Já para VPT = 0 e -0,5 resultaram, respectivamente,  $t_o = 23,9^\circ\text{C}$  e  $t_o = 26,5^\circ\text{C}$  valores muito próximos aos alcançados com os VST. Deve-se considerar ainda que também para VST = 0 e VPT = 0 resultaram a  $t_{\text{conf}}$  muito próximos, ou 23,3°C e 23,9°C, respectivamente, o que equivale afirmar que até se alcançar 23,9°C os voluntários não desejam mudança no ambiente térmico, apesar de já estarem sentindo algum desconforto térmico. Pelo exposto, podemos concluir que tanto o voto de sensação térmica como o voto

de preferência térmica poderão ser utilizados na avaliação de conforto térmico na região pesquisada.

## **5.5 IMPORTÂNCIA DA VELOCIDADE DO AR NO VST E NO VPT NA PREDIÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO INTERNO.**

Esta análise baseou-se nas respostas dadas ao quesito: “Você acha que o ventilador aqui existente, ligado, faz você se sentir termicamente mais confortável?”, com o mesmo desligado no primeiro período dos experimentos. Excluindo-se Campo Grande, onde se verificou incerteza nas manifestações, nos demais ambientes condicionados naturalmente, a maioria dos voluntários respondeu que se sentiriam um pouco mais confortáveis. A análise revelou também que para a velocidade do ar próxima de zero os recrutas se adaptam mais rapidamente ao ambiente térmico, o que não acontece quando ela aumenta. Da mesma forma, com o acréscimo na velocidade do ar, a sensação térmica dos recrutas não se altera, nem provoca alívio em suas preferências térmicas. Logo, podemos, preliminarmente, afirmar que para determinados valores da velocidade do ar há alívio na sensação térmica experimentada pelos recrutas. Considerando que os recrutas têm idade cronológica inferior à dos veteranos, como demonstrado na Tabela 9 anterior, esta conclusão reafirma a contradição à teoria validada em Fanger (1982) de que não existem diferenças significativas entre os votos manifestados por voluntários de idades cronológicas diferentes, submetidos ao mesmo ambiente térmico e desenvolvendo atividade sedentária.

Ainda sobre a velocidade do ar, em razão da semelhança observada entre as temperaturas do ar e a umidade relativa verificadas em Coimbra e Corumbá com as relacionadas por Khedar et al. (2000) na produção do Gráfico de Ventilação de Conforto para a Tailândia, verificou-se, com a aplicação dessa metodologia nos locais acima identificados, que com a velocidade do ar igual a 1,1 m/s proporcionar-se-ia conforto no ambiente de Coimbra. Já para Corumbá, o valor necessário seria superior a 3 m/s, contrariando a ASHRAE Standard 55 (2004).

## **5.6 ACLIMATAÇÃO, LEMBRANÇA E EXPECTATIVA TÉRMICA.**

### **5.6.1 ACLIMATAÇÃO**

Somente nos experimentos realizados em abril esse fenômeno ficou razoavelmente bem caracterizado, significando que novos experimentos devem ser realizados para melhor conclusão. Nesse mês, e em Coimbra, verificou-se que os recrutas que não possuem ventilador nem

ar condicionado estavam, no final do experimento, mais próximos de conforto do que os demais participantes. Isso pode ser verificado a partir dos decréscimos verificados na intensidade das sensações entre as classes de voluntários. Enquanto os recrutas dessa classe decresceram suas indicações de 1,8 para 0,8, os veteranos o fizeram de 1,7 para 1,5.

Em Corumbá, foram os recrutas que possuem ventilador e os que não possuem ventilador nem ar condicionado que apresentaram maior aclimação ao ambiente indicando, respectivamente, 2,4 no início e 1,5 no final do experimento. Há que se considerar que os veteranos que possuem ar condicionado indicaram 2,7 e 1,6, evidenciando o fenômeno. Já em Campo Grande, observa-se que houve incoerência nas indicações dos veteranos que possuem ar condicionado. Apesar das pequenas diferenças existentes entre os votos manifestados pelos recrutas, pode-se observar que os que não possuem ar condicionado nem ventilador, concluíram-no em situação mais próxima do conforto, demonstrando estarem mais adaptados, inclusive à mudança climática brusca, como de fato ocorreu. Além disso, iniciaram o experimento indicando VST menor que os demais,

No caso dos recrutas, deve-se considerar que são eles que normalmente desenvolvem atividades no ambiente externo, logo mais habituados as variações climáticas. Em Coimbra, somam 98%, em Corumbá, 90% e em Campo Grande, 97%.

Realizado o correlacionamento entre os VST indicados pelos recrutas e veteranos com a temperatura do ar, verificou-se que dos primeiros resultou temperatura neutra superior (23,6°C) à dos veteranos (21,5°C), demonstrando que os primeiros são mais resistentes a temperaturas mais altas e, conseqüentemente estão mais aclimatados, conforme se verificou anteriormente.

Do exposto, podemos afirmar que existem diferenças entre as avaliações térmicas manifestadas pelos dois grupos (recrutas e veteranos), contrariando Fanger (1982) quando afirma que não foram encontradas diferenças significativas entre voluntários de diferentes regiões.

### 5.6.2 LEMBRANÇA TÉRMICA

Apesar da verificação da possibilidade de os voluntários se lembrarem da situação climática existente durante o sono ter sido realizada somente em Coimbra, conforme descrito anteriormente, 67% deles responderam que “sim, foi confortável”, 32,5% que “não foi confortável” e apenas 0,5%, que não se lembravam. Confrontadas com as respostas dadas no início do período da tarde ao mesmo quesito, 55% dos voluntários reafirmaram que “sim, foi confortável” e o restante, que

“não foi confortável”. Como visto, considerando Shoemaker e Refinetti (1996), os diferentes percentuais justificam-se porque os homens preferem temperaturas comparativamente mais altas quando a de seu corpo é baixa e, ao contrário, comparativamente mais baixa quando a de seu corpo é alta. Esse comportamento se opõe ao ritmo natural da temperatura do corpo humano. Dessa forma, podemos afirmar que existem fortes indicativos de que esse fenômeno ocorre e poderá auxiliar no estudo de conforto térmico.

### 5.6.3 EXPECTATIVA TÉRMICA

A comparação das temperaturas externas verificadas no início do período da tarde com os percentuais das respostas fornecidas pelos voluntários logo após acordarem de manhã, ao quesito “Como você acha que vai ser termicamente o dia de hoje?”, revelou coerência. Já a comparação dos percentuais com os votos de sensação térmica informados à tarde foi coerente apenas no experimento realizado em abril. As incoerências verificadas em novembro, em Corumbá e Campo Grande, podem estar relacionadas a fatores psicológicos ou subjetivos. Como em Corumbá, de manhã, a temperatura externa foi próxima do limite mínimo das temperaturas médias mínimas do ano, os voluntários podem ter entendido que tal situação climática permaneceria e, com isso, as opções - dia termicamente neutro (40%) e ligeiramente frio (31%) - foram apontadas. Já para Campo Grande, a incoerência é total e o experimento não deve ser considerado. Entretanto, dos experimentos realizados podemos afirmar que, considerando os resultados obtidos em abril, existe possibilidade de que a expectativa térmica das pessoas possa ser admitida como mais um fator (subjetivo) a ser utilizado na predição de conforto térmico. As incoerências observadas, principalmente as de Campo Grande em novembro, devem ser descartadas até que novos experimentos sejam realizados para melhor conclusão.

## 5.7 AVALIAÇÃO DA ACEITABILIDADE TÉRMICA DOS AMBIENTES FRENTE ÀS METODOLOGIAS DA ISO10551:1995(E); ASHRAE STANDARD 55-2004, AGT (VAN DER LINDER ET AL. 2006) E A PREN15251 05-2005.

As avaliações foram realizadas em relação às respostas dos voluntários ao quesito proposto pela ISO 10551:1995(E) - “Você aceita termicamente este ambiente?” -, entendendo que elas refletem com fidelidade a situação climática experimentada pelos voluntários.

### 5.7.1 AMBIENTES CONDICIONADOS NATURALMENTE.

Segundo a ISO 10551:1995(E), apenas o ambiente de Corumbá, em abril, não estava termicamente aceitável. Já a partir dos votos de sensação térmica indicados, a metodologia demonstrou que os participantes de Corumbá são menos resistentes a temperaturas do ar, se comparados com os valores obtidos em Coimbra, basta se verificarem as temperaturas médias internas obtidas e os respectivos votos de sensação térmica. Em Coimbra, verificou-se, respectivamente, que para  $t_a = 34,4^\circ\text{C}$   $VST = 1,4$  e para  $t_a = 30,0^\circ\text{C}$   $VST = 1,1$ . Já em Corumbá, para  $t_a = 33,3^\circ\text{C}$  resultou  $VST = 1,8$  e para  $t_a = 27,4^\circ\text{C}$   $VST = 1,3$ . Entretanto, apesar da afirmação da ASHRAE Standard 55-2004 - item 5.2.3 -, de que o preciso relacionamento entre o aumento da velocidade do ar com a melhoria no conforto térmico não foi estabelecido, neste trabalho há indicação da ocorrência, conforme demonstrado no item 5.4. As Tabelas 26, 27 e 28 também indica possível relacionamento entre os votos de sensação térmica e as velocidades médias internas verificadas, o que demonstra que novas investigações a respeito devam ser realizadas.

A metodologia proposta pela ASHRAE Standard 55(2004), apesar de fácil aplicação, revelou-se incompatível com os votos de sensação térmica indicados pelos voluntários de Coimbra. Nesse experimento, 59% dos voluntários, em abril, e 61% em novembro, afirmaram que aceitavam termicamente o ambiente, quando submetidos ao questionamento proposto pela ISO 10551:1995(E). Entretanto, com a aplicação da proposta da ASHRAE, resultou que, com rigor, nas 2 ocasiões, os ambientes estavam termicamente inaceitáveis. Tal fato, preliminarmente, impõe restrições à sua utilização em Coimbra.

Em Corumbá, os resultados apresentados pela metodologia foram compatíveis com as indicações dos voluntários, reafirmado-se, porém, as discrepâncias entre os percentuais de aceitação manifestados pelos voluntários e o percentual de pessoas termicamente desconfortáveis calculado pela ISO 7730(1994). Entretanto, tal fato não inviabiliza sua aplicação naquela localidade, respeitando as condições climáticas e pessoais adotadas neste trabalho.

O melhor resultado da metodologia foi alcançado em Campo Grande, e em abril, quando resultaram 90% de aceitabilidade térmica, valor bastante próximo dos 86% manifestados pelos voluntários. Da mesma forma, o percentual de pessoas termicamente desconfortáveis igual a 13% calculado pela ISO 7730(1994) ficou muito próximo da indicação dos desconfortáveis. Já em novembro, indicou que o ambiente estava no limite da faixa de 80% de aceitabilidade térmica, não muito diferente da manifestação dos voluntários que indicaram (73%). Vale

considerar que o percentual de pessoas termicamente desconfortáveis calculado foi de 42%. Do exposto, pode-se concluir que é viável a aplicação desta metodologia em Campo Grande, respeitando-se as condições climáticas e pessoais semelhantes a deste trabalho.

Para a aplicação do modelo Adaptive Temperature Limits (ATG) proposto por A. C. van der Linder et al. (2006), admitiu-se como meta o limite de 65% de aceitabilidade térmica, como justificado anteriormente. A metodologia indicou que, em Coimbra, apenas em novembro, esse percentual foi alcançado e muito próximo dos 61% manifestados pelos voluntários, conforme descrito na Tabela 34. Em abril, o ambiente resultou termicamente não aceito, contrariando 59% dos voluntários que o aceitavam. Em Corumbá, enquanto em novembro, o ambiente alcançou 90% de aceitabilidade térmica e condição, segundo os autores da metodologia, semelhante ao  $VMP=0,5$  que corresponde ao  $PPD = 10\%$ , em abril, esteve termicamente inaceitável. Deve-se salientar que enquanto o percentual de 90% de aceitabilidade é bastante superior aos 54% manifestados pelos voluntários em novembro, a indicação de inaceitável concorda com 69% dos voluntários.

Em Campo Grande, observa-se que o ambiente onde foram realizados os experimentos, em abril, estava fora da faixa de 65% de aceitabilidade térmica, contrariando 86% dos voluntários que o entendiam aceitável. Em novembro, estava dentro da faixa de 80% de aceitabilidade térmica, relativamente próximo dos 73% manifestados pelos voluntários.

Já a metodologia proposta pela prEN15251 05-2005 indicou que, em Coimbra, e em novembro, o ambiente estava na faixa de 65 % de aceitabilidade térmica e foi muito proximamente indicado pelos voluntários, como está representado na Tabela 34. No mês de abril, a faixa de aceitabilidade da temperatura operativa deveria estar entre 22,1°C e 30,4°C, enquanto o valor obtido no experimento foi de 34,5°C, indicando que o ambiente estava termicamente inaceitável, contradizendo a afirmação de 59% dos voluntários que o aceitavam.

Em Corumbá, e em novembro, a temperatura operativa observada no ambiente, de 27,4°C determinou que o mesmo fosse inserido na faixa de 90% de aceitabilidade térmica, superior à indicação de 54% dos voluntários. Entretanto, em abril, o ambiente resultou termicamente inaceitável, tal como 69% dos voluntários o fizeram. No experimento, a temperatura operativa (33,3°C) foi muito acima do valor máximo (30,4°C).

Em Campo Grande, tanto em abril como em novembro, resultou que o ambiente onde foram realizados os experimentos estava termica-

mente aceitável. Os percentuais de aceitabilidade em abril, de 90%, e novembro, de 80%, foram próximos aos resultantes das indicações manifestadas pelos voluntários, respectivamente 86% e 73%.

Conclusivamente, pode-se afirmar que, respeitando as condições climáticas e pessoais adotadas neste trabalho, na avaliação da aceitabilidade térmica de ambientes internos na região pesquisada, devem prevalecer as indicações da Tabela 40 abaixo.

Tabela 40 – Resultados das metodologias de avaliação da aceitabilidade térmica nos ACN.

		ASHRAE Standard 55 (2004)	Adaptive Temperature Limits (AGT)	prEN15251 05- 2005
Coimbra	abril	não	não	não
	novembro	não	sim	sim
Corumbá	abril	sim	sim	sim
	novembro	sim	restrição	restrição
Campo Grande	abril	sim	não	sim
	novembro	sim	sim	sim

### 5.7.2 AMBIENTE CONDICIONADO ARTIFICIALMENTE

Os resultados percentuais das respostas “sim” dadas ao quesito “você aceita termicamente este ambiente?”, proposta pela ISO 10551:1995(E), indicaram 80% em abril e 82% em novembro. Logo, 20% em abril e 18% em novembro estavam insatisfeitos retratando o PPT calculado pela ISO 7730(1994), de, respectivamente, 14% e 27%.

Segundo a ASHRAE Standard 55(2004), observou-se que somente em novembro o ambiente estava inserido na zona de conforto. Em abril, para os valores de temperatura operativa e umidade relativa monitorados, o gráfico indicou que os voluntários participantes do experimento deveriam estar vestindo roupa com índice de isolamento igual a 1,0 clo., o que, apesar de falso, poderia ser referendado pelos valores do VMP = -0,7 e do PPD = 14%. Entretanto, com o VST próximo de zero nas 2 ocasiões e o resultado da análise estatística que não apontou associação entre os índices de isolamento das roupas e os VST e VPT manifestados pelos voluntários, podemos afirmar que o resultado obtido para abril não reflete a realidade.

O modelo Adaptive Temperature Limits (AGT), proposto por A. C. van der Linden et al. (2006), indicou que tanto em abril como em novembro o ambiente manteve-se com 90% de aceitabilidade térmica, valor muito próximo ao do obtido pelas respostas dadas pelos voluntários.

Já para aplicação da metodologia da prEN 15251:2005 (E), analisaram-se as respostas dadas pelos voluntários ao quesito “de que maneira você se encontra neste momento?”. Segundo ela, 61% dos voluntários, em abril, e 66% em novembro se sentiam confortáveis e, consequentemente 39% e 34%, insatisfeitos, percentuais bastante superiores ao maior indicado pela metodologia, que é PPD < 15%, apontando que o ambiente, nas 2 oportunidades, estava termicamente inaceitável, o que era contrário à realidade manifestada. Assim sendo, pode-se afirmar que, respeitando as condições climáticas e pessoais adotadas neste trabalho, na avaliação da aceitabilidade térmica de ambientes condicionados artificialmente na região pesquisada devem prevalecer as indicações da Tabela 41 abaixo.

Tabela 41 – Aceitabilidade térmica no ACA.

		ASHRAE Standard 55 (2004)	Adaptive Temperature Limits (AGT)	prEN15251 05- 2005
GIDUR	abril	não	sim	não
	novembro	sim	sim	não

## 5.8 PRINCIPAIS CONCLUSÕES DESTE TRABALHO

A principais conclusões deste trabalho foi alcançada com a indicação dos modelos de avaliação inicialmente admitidos como necessários, ou seja, para os ambientes condicionados naturalmente:

$$VST = - 5,581 + 0,187 * VMP_{ISO7730(1994)} + 0,146 * t_{ext} + 0,034 * UR_{ext} \quad (r^2 = 0,544) \quad [28]$$

onde:

$VMP_{ISO7730(1994)}$  = Voto médio predito calculado segundo a ISO7730(1994)

$t_{ext}$  = Temperatura média do ar externo

$UR_{ext}$  = Umidade relativa do ar externo

Já para ambientes condicionados artificialmente resultou:

$$VST = -15,158 + 1,533 * VMP_{ISO7730(1994)} + 0,453 * t_{ext} + 0,034 * UR_{ext} \quad (r^2 = 0,313) \quad [29]$$

onde da mesma forma:

$VMP_{ISO7730(1994)}$  = Voto médio predito calculado segundo a ISO7730(1994)

$t_{ext}$  = Temperatura média do ar externo

$UR_{ext}$  = Umidade relativa do ar externo

## 5.9 LIMITAÇÕES OBSERVADAS

O presente trabalho além de focar área de estudo multidisciplinar, baseou-se em dados colhidos em 2 ambientes condicionados natural e 1 ambiente condicionado artificialmente, nas cidades de Coimbra, Corumbá e Campo Grande. Os indivíduos participantes desenvolveram atividade sedentária, mais precisamente atividade típica de sala de aula nos primeiros e de escritório no segundo tipo de ambiente.

Em todos ambientes foram respeitados os calendários propostos pelos respectivos responsáveis pelas atividades dos indivíduos, de tal sorte que não houvesse prejuízo nas tarefas rotineiramente previstas.

Também como limitação deve-se considerar a faixa de idade dos indivíduos participantes, visto que enquanto nos ambientes condicionados naturalmente ela variou de 18 a 44 anos, no ambiente condicionado artificialmente observou-se variação de 17 a 52 anos.

Não menos importante deve ser considerado que todos os experimentos foram realizados em período predominantemente quente, apesar da anormal situação climática vivida em abril e em Campo Grande, com a entrada de frente fria.

---

## 6. PROPOSTAS PARA FUTUROS PROJETOS

O desenvolvimento desta Tese baseou-se em dados obtidos em região de clima quente e úmido do Brasil, com indivíduos realizando atividade sedentária nos ACN, e em atividade típica de escritório no ACA. Observaram-se discrepâncias entre os VST manifestados e os VMP calculados segundo a ISO7730(1994), principalmente no ACN, ensejando a apresentação de *modelo alternativo* para avaliação de conforto térmico desses ambientes, em função do próprio VMP e das variáveis climáticas externas, temperatura do ar e umidade relativa. Acrescenta-se que na análise estatística realizada no modelo, adotaram-se os índices de correlação aplicados na Bioestatística.

Discrepâncias também foram verificadas com a aplicação das metodologias propostas por Humphreys e Nicol (2002) e Fanger e Tofum (2002).

Além disso, outras contradições foram verificadas, principalmente em relação a algumas afirmações existentes em Fanger (1982). Citam-se, como exemplo, as diferenças estatisticamente significativas entre os votos manifestados nos ACN pelos soldados de idades cronológicas diferentes (veteranos e recrutas), como também as observadas entre os votos dos homens e das mulheres participantes dos experimentos no ACA.

Dessa forma, mas sem prejuízo dos resultados apresentados, sugere-se para o futuro:

- Reavaliar os ambientes participantes deste trabalho, em período anual mais representativo, visando obter dados climáticos e votos de sensação (VST), preferência (VPT) e insatisfação (PPD) térmica que possam refletir a realidade da região.
  - Avaliar outros ambientes semelhantes aos deste trabalho, visando acrescentar dados ao banco de dados sobre conforto térmico da região.
  - Em ambos os casos, testar o modelo alternativo de cálculo do VST ora apresentado, adequando-o, se necessário for, de sorte que seu grau de incerteza diminua.
  - Objetivamente buscar-se produzir diagrama de conforto térmico para ambientes condicionados naturalmente, localizados em região de clima quente e úmido do Brasil.
-

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- ASHRAE Standard 55-2004 - AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. - *Thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta. USA.
- ARAÚJO, V. M. D. *Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro*. Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo. 1996.
- ARENS, E., BAUMAN, F., HUIZENGA, C. *ASHRAE Investigation of Thermal Comfort at High Humidities*. Building Science at UC Berkeley. Artigo acessado em 05/06/2004 no site: <http://www.arch.ced.berkeley.edu/resources/bldgsci/research/thermalcomf.htm>
- AULICIEMS, A. *Psychophysical criteria for global thermal zones of building design*. International Journal of Biometeorology. p. 69-86. 1983.
- BARLOW, S; FIALA, D. *Occupant comfort in UK offices - How adaptive comfort theories might influence future low energy office refurbishment strategies*. Energy and Buildings. 39 pp. 837-846. 2007.
- BEDFORD, T. *Environmental warmth and its measurement*. Medical Research Council. War memorandum no. 17. HMSO. 1940.
- BRAGER, G.S; DE DEAR, R.J. *Thermal adaptation in the built environment: a literature review*. Energy and Buildings. 27. pp.83-96. 1998.
- BUSCH, J. F. *Thermal responses to the Thai office environment*. ASHRAE Transactions Vol. 96 Part 1. p. 859-872. 1990.
- CÂNDIDO, C.; de DEAR, R.; LAMBERTS, R.; BITTENCOURT, L. *Natural ventilation and thermal comfort: air movement acceptability inside naturally ventilated in Brazilian hot humid zone*. Proceeding of Conference: Air Conditioning and the Low Carbon Coolin Challenge. Cumberland Lodge, Windsor, UK, 27-29 July 2008.
- CHEL, A.; TIWARI, G.N. *Thermal performance and embodied energy analysis of passive house - Case study of vault roof mud-house in India*. Applied Energy. 86. Pp. 1956-1969. 2009a.
- CHEL, A.; TIWARI, G.N. *Performance evaluation and life cycle cost analysis of earth to air heat exchanger integrated with adobe*

- building for New Delhi composite climate*. Energy and Buildings. 41. Pp. 56-66. 2009b.
- CLARK, N.J., *A laboratory investigation of the PMV thermal comfort index*. Final year undergraduate report. Department of Human Sciences. Loughborough University. UK. 1983.
- CHEONG, K.W.D.; YU, W.J.; SEKHAR, K.W.; THAM, K.W., KOSONEN, R. *Local thermal sensation and comfort study in field environment chamber served by displacement ventilation system in the tropics*. Buildings and Environment. 42. pp. 525-533. 2007.
- CORGNATI, S. P.; FILIPPI, M.; VIAZZO, S. *Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort*. Building and Environment. 42. pp. 951-959. 2007.
- DE DEAR, R. J.; LEOW, K. G.; AMEEN, A. *Thermal comfort in the humid tropics. Part 1: Climate chamber experiments on temperature preferences in Singapore*. ASHRAE Transactions Vol. 97 Part 1. p. 874-879. 1991.
- DE DEAR, R.J.; BRAGER, G.S. *The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment*. Int J Biometeorol. Vol. 45. pp. 100-108. 2001.
- 
- Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55 – Energy and Building 34 p. 549-561. 2002.*
- DE DEAR, R.J.; BRAGER, G.S.; COOPER, D. *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference*. Final Report. ASHRAE RP-884. 1997.
- DOHERTY, T.J.; ARENS, E. *Evaluation of the physiological bases of thermal comfort models*. ASHRAE Transactions. DA-88-16-4. 1988.
- FANGER, P.O. *Thermal Comfort - Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida. 1982.
- FANGER, P.O.; MELIKOV, A.K.; HANZAWA, H.; RING, J. *Air turbulence and sensation of draught*. Energy and Buildings 12. p. 21-39. 1988.
- FANGER, P.O.; TOFTUM, J. *Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates*. Energy and Buildings 34. p. 533-536. 2002.

- FERIADI, H; WONG, N.H. *Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia*. Energy and Buildings. 36. 614-626. 2004.
- FOUNTAIN, M.; HUIZENGA, C. *ASHRAE RP-781 - A Thermal Sensation Model for use by the Engineering Profession*. Final Report. June 31, 1995.
- 
- A Thermal Sensation Prediction Tool for use by the Profession*. ASHRAE Transactions. Vol. 103. Part 2. pp. 130-136. 1997.
- FOUNTAIN, M.; BRAGER, G.; DE DEAR, R. *Expectations of indoor climate control*. Energy and Buildings, Vol. 24, pp. 179-182. 1996.
- GAGGE, A.P.; FOBELETS, A.P.; BERGLUND, L.G. *A Standard Predictive Index of Human Response to the Thermal Environment*. ASHRAE Transactions. PO-86-14. No. 1.
- GIVONI, B. *Man, Climate and Architecture*. Applied Science Publishers Ltd. London. 1976.
- GIVONI, B., KHEDARI, J., WONG, N.H., FERIADI, H.; NOGUCHI, M. *Thermal sensation responses in hot, humid climates: effects of humidity*. Building Research & Information. Vol. 34(5) pp. 496-506. 2006.
- GODINHO, P.H. *Inferência estatística aplicada à psicologia e à educação*. São Paulo. Editora de Humanismo, Ciência e Tecnologia - HUCITEC. 1976.
- GOMES, C. H. G. *Análise dos níveis de conforto térmico em um edifício de escritórios na cidade de Maringá*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, SC. 2003.
- GONÇALVES, W.B. *Estudo de índice de conforto térmico, avaliados com base em população universitária na região metropolitana de Belo Horizonte*. Belo Horizonte. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Minas Gerais, MG. 2000.
- GRIFFITHS, I.D. *Thermal comfort in buildings with passive solar features: field studies*. Report to the Commission of the European Communities. ENS3S-090-UK, Department of Psychology, undated, circa 1990. University of Surrey, GU2 5XH, UK, p. 123.
- GUYTON, A.C. *Tratado de Fisiologia Médica*. Guanabara Koogan. RJ. 8ª. Ed. 1992.

- HAN, J., ZHANG, G., ZHANG, Q., ZHANG, J., LIU, J., TIAN, L., ZHENG, C., HAO, J., LIN, J., LIU, Y., MOSCHANDREAS, J. *Field study on occupants' thermal comfort and residential thermal environment in a hot-humid climate of China*. Building and Environment. 42 pp. 4043-4050. 2007.
- HAN, J.; YANG, W.; ZHOU, J.; ZHANG, G.; ZHANG, Q.; MOSCHANDREAS, D.J. *A comparative analysis of urban and rural residential thermal comfort under natural ventilation environment*. Energy and Buildings. 41. Pp. 139-145. 2009.
- HAVENITH, G, NILSON, H.O. *Correction of clothing insulation for movement and wind effects, a meta-analysis*. Eur J. Appl. Physiol 92: 636-640. 2004.
- HOCHBERG, J. E. *Percepção*. Zahar Editores. Rio de Janeiro. RJ. 1966.
- HOMES, M.J; HACKER, J.N. *Climate changes, thermal comfort and energy: Meeting the design challenges of the 21st century*. Energy and Buildings. 39. pp.802-814. 2007.
- HÖPPE, P. *Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort*. Energy and Buildings. Vol. 34, pp. 661-665. 2002.
- HUIZENGA, C. *ASHRAE 1332-RP. Revision to the ASHRAE Thermal Comfort Tool to maintain consistency with Standard 55-2004*. Final Report. December. 2006.
- HUMPHREYS, M.A. *Field studies to thermal comfort compared and applied*. Department of the Environment, Building Research Establishment, Watford. 1975.
- \_\_\_\_\_. *Outdoor temperatures and comfort indoors*. Building Research and Practice (J. CIB) 6 (2) p. 92-105. 1978.
- HUMPHREYS, M.A. e HANCOCK, M. *Do people like to feel 'neutral'? Exploring the variation of the desired thermal sensation on the ASHRAE scale*. Energy and Buildings. 39. pp. 867-874. 2007.
- HUMPHREYS, M.A., NICOL, J.F. *The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments*. Energy and Buildings 34. p. 667-684. 2002.
- HWANG, R-L.; CHENG, M-J.; LIN, T-P. e HO, M-C. *Thermal perception, general methods and occupant's idea about the trade-off between thermal comfort and energy saving in hot-humid regions*. Building and Environment (2008), doi:10.1016/j.buildenv.2008.08.001

- HWANG, R.L.; LIN, T.P.; KUO, N.J. *Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan*. Energy and Buildings, Vol. 38, pp. 53-62. 2006.
- IBGE 2005 - <http://www.ibge.gov.br> -> Banco de Dados -> Servidor de mapas -> Mapas de Climas. Site acessado em 28.10.2005.
- INDRAGANTI, M.; RAO, K.D. *Effect of age, gender, economic group and tenure on thermal comfort: a field study in residential buildings in hot and dry climate with seasonal variations*. Energy and Buildings. Doi:10.1016/j.enbuild.2009.09.003.
- ISO 7726 - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION *Ergonomics of the thermal environments - Instruments for measuring physical quantities*. Genebra. 1998.
- ISO 7730 - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION *Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*. Genebra, 1994.
- ISO 8996 - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION *Ergonomics of thermal environments - determinations of metabolic heat production*. Genebra. 1990.
- ISO 9920 - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION *Ergonomics estimation of the thermal characteristics of a clothing ensemble*. Genebra. 1993.
- ISO 10551 - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION *Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales*. Genebra. 1995.
- ISO 15831 - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Clothing - physiological effects - measurements of thermal insulation by means of a thermal manikin*. Genebra. 2001.
- ISO/FDIS 7730:2005(E) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Genebra. 2005.
- JACOBS, D. E.; WILSON, J.; DIXON, S. L.; SMITH, J. e EVENS, A. *The relationship of housing and population health: A 30-year retrospective analysis*. Environmental Health Perspective. Vol. 117. number 4. pp. 597-604. 2009.
- JI, X.L., LOU, W.Z., DAI, Z.Z., WANG, B. G., LIU, S. Y. *Predicting thermal comfort in Shanghai's non-air-conditioned buildings*.

- Building Research & Information. Vol. 34(5) pp. 507-514. 2006.
- JOHNSON, R.F.; KOBRICK, J.L. *Psychological aspects of military performance in hot environments*. The Textbooks of Military Medicine.  
[http://www.bordeninstitute.army.mil/published\\_volumes/harshEnvl/Ch4-PsychologicalAspectsofHotEnvironments.pdf](http://www.bordeninstitute.army.mil/published_volumes/harshEnvl/Ch4-PsychologicalAspectsofHotEnvironments.pdf) - Acessado em 22.01.2009.
- KEITH, S. W.; REDDEN, D. T.; KATZMARZYK, P. T.; BOGGIANO, M. M.; HALON, E. C.; BENCA, R. M.; RUDEN, D.; PIETROBELLI, A.; BARGER, J. L.; FONTAINE, K. R.; WANG, C.; ARONNE, L. J.; WRIGHT, S. M.; BASKIN, M.; DHURANDHAR, N. V.; LIJOI, M. C.; GRILLO, C. M.; DELUCA, M.; WESTFALL, A. O. e ALLISON, D. B. *Putative contributors to the secular increase in obesity: exploring the roads less traveled*. International Journal of Obesity. Vol. 30. pp. 1585-1594.
- KHEDARI, J.; YAMTRAIPT, N.; PRATINTONG, N.; HIRUNLABH, J. *Thailand ventilation comfort chart*. Energy and Buildings, Vol. 32, pp 245-249. 2000.
- KWOK, A. G. *Thermal comfort in tropical classrooms*. ASHRAE Transactions Vol. 104 p. 1031-1047. 1998.
- LANDI, F.R. *A adaptação térmica fisiológica do homem ao meio e a imprecisão das medidas das condições de conforto térmico*. São Paulo. Tese de Livre Docência da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP. 1976.
- LENZUNI, P.; FREDA, D.; GAUDIO, M. DEL. *Classification of Thermal Environments for Comfort Assessment*. Ann. Occup. Hyg. 53. n. 4. pp. 325-332. 2009.
- LINDEM, A. C. van der; BOERSTRA, A. C.; RAUE, A.H.; KURVERS, S.R.; DEAR, R.J. de *Adaptive temperature limits: A new guideline in The Netherlands. A new approach for the assessment of building performance with respect to thermal indoor climate*. Energy and Buildings. 38. pp. 8-17. 2006.
- LORSCH, H. G.; ABDUO, O. A. *The impact of the building indoor environment on occupant productivity - Part 2: Effects of temperature*. ASHRAE Transactions, Vol. 100, Part 2. 1994.
- MALLICK, F. H. *Thermal comfort and building design in the tropical climates*. Energy and Building 23 p. 161-167. 1996.
- McCAL, R.B. *Fundamental statistics*. Wiley. New York. 3rd. ed. 1970.

- MEINANDER, H; ANTTONEN, H; BARTELS, V; HOLMÉR, I; REINERTSEN R.E; SOLTYNSKI, K; VARIERAS, S. *Thermal insulation measurements of cold protective clothing using thermal manikins*. SUBZERO project final report. Fibre Materials Science, Tampere University of Technology, Tampere, Finland, 2003.
- MILES, J; SHEVLIN, M. *Applying Regression & Correlation - A Guide for Students and Researchers*. SAGE Publications Inc. California. 2001.
- MONTESQUIEU, C. de S. *The spirit of the laws*. Cambridge University Press. 1989.
- NICOL, J.F. *Thermal Comfort - A handbook for field studies toward an adaptive model*. University of East London. England. 1993.
- \_\_\_\_\_. *Thermal Comfort - Time and Posture - Exploratory studies in the nature of adaptive thermal comfort*. Oxford Brookes University. England. 1996.
- \_\_\_\_\_. *Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics*. Energy and Buildings 36 p. 628-637. 2004.
- \_\_\_\_\_. *Comfort and energy use in buildings - Getting them right*. Energy and Buildings. 39 pp. 737-739. 2007
- NICOL, F; HUMPHREYS, M. *Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings*. Energy and Buildings. 34 pp.563-572. 2002.
- NIKOLOPOULOU, K.; STEEMERS, K. *Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces*. Energy and Buildings. Vol. 35. pp. 95-101. 2003.
- NIKOLOPOULOU, M.; BAKER, N.; STEEMERS, K. *Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter*. Solar Energy. Vol. 70. pp; 227-235. 2001.
- NOGUEIRA, M.C.J.A; DURANTE, L.C; NOGUEIRA, J.S. *Conforto térmico em escola pública em Cuiabá-MT: Estudo de caso*. Rev. Elet. do Mestrado em Educação Ambiental. Fundação Universidade Federal do Rio Grande. ISSN 1517-1256. Vol. 14. 2005.
- OLGYAY, V. *Arquitectura y Clima – Manual de diseño bioclimático para arquitectos e urbanistas*. Editorial Gustavo Gilli, S.A. Barcelona. 1963.
- OLIVEIRA, B. de *Comprometimento organizacional: Os impactos das percepções de cultura e suporte organizacionais*. Dissertação de Mestrado em Psicologia. Universidade Federal de Uberlândia. MG. 2006

- PARSONS, K.C., *Human thermal environments*. British Library. 359p. 1993.
- \_\_\_\_\_. *The effects of gender, acclimation state, the opportunity to adjust clothing and physical disability on requirements for thermal comfort*. Energy and Buildings. 34. 593-599. 2002
- PARSONS, K.C.; CKARK, N.J. *A laboratory investigation of the PMV thermal comfort index*, in: E.D. Megaw (Ed.), *Contemporary Ergonomics*. 1984. Ergonomics, vol. 27 (Suppl. 1), Taylor & Francis. London. UK. 1984.
- prEN15251 05-2005. European Standard. *Criteria for the Environment including thermal, indoor air quality, light and noise*. 2005.
- PROSSER, C. L. *Physiological adaptation*. Washington, DC. American Physiological Society. 1958.
- RIBEIRO, B.A. *Contribuição ao estudo do conforto térmico*. Instituto de Higiene de São Paulo. Boletim no. 86. 14p. 1945.
- ROHLES JR, F. H. *Temperature & Temperament - A Psychologist Looks at Comfort*. ASHRAE Journal. pp. 14-22. February 2007.
- RUAS, A.C. *Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificadas e sua aplicação num software*. Campinas. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas. SP. 2002
- SÁ, P. *Estudos para o estabelecimento de uma escala de temperaturas efetiva no Brasil*. Revista Brasileira de Engenharia - Março de 1934. p. 67-69. 1934.
- SANGOWAWA, T.; ADEBAMOWO, M.A.; GODWIN, J. *Cooling, comfort and low energy design in warm humid climate; the case of Lagos, Nigeria*. Proceedings of Conference: Air Conditioning and the Low Carbon Cooling Challenge. Windsor, UK. 27-29. July 2008.
- SHARMA, M.R., ALI, S. *Tropical Summer Index - a study of thermal comfort of Indian subjects*. Buildings and Environments. 21. p. 11-24. 1986.
- SHOEMAKER, J. A., REFINETTI, R. *Day-Night difference in the preferred ambient temperature of human subjects*. Physiology & Behavior. Vol. 59. Nos. 4/5. p. 1001-1006. 1996.
- SOUNIS, E. *Bio Estatística*. McGraw-Hill do Brasil. São Paulo. 2ª. Ed. 1975.
- STOOPS, J. L. *The Thermal Environment and Occupant Perceptions in European Office Buildings*. Thesis for the Degree of Licentiate of Engineering. Department of Buildings Services Engi-

- neering. Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden. 2000.
- TOFTUM, J. *Human response to combined indoor environment exposures*. Energy and Buildings 34. p. 601-606. 2002.
- TURNER, S. *ASHRAE's Thermal Comfort Standard in America: Future steps away from energy intensive design*. Proceedings of Conference: Air Conditioning and the Low Carbon Cooling Challenge. Windsor, UK. 27-29. July 2008
- VERGARA, L.G.L. *Análise das Condições de Conforto Térmico de Trabalhadores da Unidade de Terapia Intensiva do Hospital Universitário de Florianópolis*. Florianópolis. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, SC. 2001.
- VLIERT, E.V. DE; HUANG, X; PARKER, P. *Do colder and hotter climates make richer societies more, but poorer societies less, happy and altruistic?* Journal of Environmental Psychology. 24. pp. 17-30. 2004.
- XAVIER, A.A.P. *Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias - Teoria física aliada a estudos de campo*. Florianópolis. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, SC. 2000.
- WAGNER, A; GOSSAUER, E; MOOSMANN, C; GROPP, TH; LEONHART, R. *Thermal comfort and workplace occupant satisfaction - Results of field studies in German low energy office buildings*. Energy and Buildings. 39. pp. 758-769. 2007.
- WAN, J. W.; YANG, K.; ZHANG, W. J. e ZHANG, J. L. *A new method of determination of indoor temperature and relative humidity with consideration of human thermal comfort*. Building and Environment. 44. pp. 411-417. 2009.
- WIJewardane, S.; Jayasinghe, M.T.R. *Thermal comfort temperature range for factory workers in warm humid tropical climates*. Renewable Energy. 33. pp. 2057-2063. 2008.
- WONG, N.H; KHOO, S.S. *Thermal comfort in classrooms in the tropics*. Energy and Buildings. 35. 337-351. 2003
- YAMTRAIpat, N.; KHEDARI, J.; HIRUNLABN, J. *Thermal comfort standards for air conditioned buildings in hot and humid Thailand considering additional factors of acclimatization and education level*. Solar Energy, Vol. 78, pp. 504-517. 2005.

- ZHAO, R.; SUN, S.; DING, R. *Conditioning strategies of indoor thermal environment in warm climates*. Energy and Buildings, Vol. 36, pp. 1281-1286. 2004.
- ZHU, S., KATO, S., YANG, L. *Examination of Thermal Adaptive Effect of Postural and Positional Adjustment of a seated human body exposed to spot airflow*. ASHRAE Transactions, LB-07-033. 2007.
-

<b>APÊNDICE 1 - QUESTIONÁRIO APLICADO NOS AMBIENTES CONDICIONADOS NATURALMENTE NO INÍCIO DA MANHÃ</b>
---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**  
**NÍVEL: DOUTORADO**

**Aluno: Wagner Augusto Andreasi**  
**Orientador: Prof. Roberto Lamberts, PhD**

Avaliação das condições, sensações e aceitabilidade térmica de ambientes internos.  
 Os quesitos abaixo devem ser anotados apenas uma vez, quando do primeiro horário de moni-  
 toramento.

**Quesito 1.- Dados do respondente**

Idade: \_\_\_ anos                                      Altura: \_\_\_\_\_ m                      Peso: \_\_\_\_\_ kg

Serve neste quartel desde: \_\_\_ - \_\_\_\_\_

Cidade anterior: \_\_\_\_\_ Estado: \_\_\_\_\_

**Quesito 2.- “A sua noite foi termicamente confortável?”**

sim, foi confortável      não foi confortável      não me lembro

**Quesito 3.- “Como você acha que vai ser termicamente o dia de hoje?”**

Muito frio	
Frio	
Ligeiramente frio	
Neutro	
Ligeiramente quente	
Quente	
Muito quente	

**APÊNDICE 2 - QUESTIONÁRIO APLICADO NOS AMBIENTES  
CONDICIONADOS NATURALMENTE INÍCIO DO PERÍODO  
DA TARDE**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
NÍVEL: DOUTORADO**

**Aluno: Wagner Augusto Andreasi  
Orientador: Prof. Roberto Lamberts, PhD**

Avaliação das condições, sensações e aceitabilidade térmica de ambientes internos  
Os quesitos de 1 a 5 devem ser anotados apenas uma vez, quando do primeiro horário de monitoramento.

**Quesito 1.- Dados do respondente**

Idade: \_\_\_\_ anos      Altura: \_\_\_\_ m      Peso: \_\_\_\_ kg

Serve neste quartel desde: \_\_\_\_ - \_\_\_\_

Cidade anterior: \_\_\_\_\_ Estado: \_\_\_\_

Na sua residência tem: Telha de barro      fibrocimento      forro de madeira      laje de concreto  
 piso de madeira      cerâmico  
 parede de tijolos      madeira  
 chuveiro elétrico      geladeira      rádio      ventilador      televisão      ar condicionado

Qual é o seu nível educacional:      Fundamental      Médio      Superior

**Quesito 2. - “Hoje, aqui no quartel você passa a maior parte do dia em:”**

ambiente interno com ventilador  
 ambiente interno com ar condicionado  
 ambiente externo na sombra  
 ambiente externo no sol

**Quesito 3 - “Antes de engajar no exército, você passava a maior parte do dia em:”**

ambiente interno com ventilador  
 ambiente interno com ar condicionado  
 ambiente externo na sombra  
 ambiente externo no sol

**Quesito 4.- “A sua noite foi termicamente confortável?”**

sim, foi confortável  
 não foi confortável  
 não me lembro

**Quesito 5.- “Você acha que o ventilador aqui existente, ligado, faz você se sentir termicamente mais confortável?”**

sim, muito mais  
 sim, um pouco mais  
 indiferente  
 não um pouco menos  
 não, muito menos

## VERSO DA FOLHA

**Os quesitos a seguir devem ser devidamente anotados em cada campo e a cada horário anunciado.**

**Quesito 6.- “Com relação a sua sensação térmica, como você está se sentindo nesse momento?”**

	1º. horário	2º. horário	3º. horário	4º. horário
Com muito calor				
Com calor				
Levemente com calor				
Neutro				
Levemente com frio				
Com frio				
Com muito frio				

**Quesito 7.- “De que maneira você se encontra nesse momento?”**

	1º. horário	2º. horário	3º. horário	4º. horário
Confortável				
Levemente desconfortável				
Desconfortável				
Muito desconfortável				

**Quesito 8.- “Como você preferia estar se sentindo agora?”**

	1º. horário	2º. horário	3º. horário	4º. horário
Bem mais aquecido				
Mais aquecido				
Um pouco mais aquecido				
Assim mesmo				
Um pouco mais refrescado				
Mais refrescado				
Bem mais refrescado				

**Quesito 9.- “Como você sente termicamente este ambiente?”**

	1º. horário	2º. horário	3º. horário	4º. horário
Muito frio				
Frio				
Ligeiramente frio				
Neutro				
Ligeiramente quente				
Quente				
Muito quente				

**Quesito 10.- “Você aceita termicamente este ambiente?”**

	1º. horário	2º. horário	3º. horário	4º. horário
Sim				
Não				

## APÊNDICE 3 - QUESTIONÁRIO APLICADO NO AMBIENTES CONDICIONADOS ARTIFICIALMENTE NO INÍCIO DO PE- RÍODO DA TARDE

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**  
**NÍVEL: DOUTORADO**

**Aluno: Wagner Augusto Andreasi**  
**Orientador: Prof. Roberto Lamberts, PhD**

Avaliação das condições, sensações e aceitabilidade térmica de ambientes internos  
Os quesitos de 1 a 4 devem ser anotados apenas uma vez, quando do primeiro horário de moni-  
toreamento. No caso de haver mudanças nas vestimentas entre um horário de anotação e outro, favor  
apontar após a tabela do **quesito 2**.

### Quesito 1.- Dados do respondente

Idade: \_\_\_\_ anos Altura: \_\_\_\_ m Peso: \_\_\_\_ kg Sexo: m f

Trabalha neste ambiente desde: \_\_\_\_ - \_\_\_\_

Cidade anterior: \_\_\_\_\_ Estado: \_\_\_\_

Na sua residência tem: Telha de barro      fibrocimento

forro de madeira      laje de concreto

piso de madeira      cerâmico

parede de tijolos      madeira

chuveiro elétrico      geladeira      rádio      televisão

ventilador      ar condicionado

Qual é o seu nível educacional: Fundamental      Médio      Superior

### Quesito 2.- Marque as vestimenta que você está utilizando

Sapato com sola fina	
Sapato com sola grossa	
Botinas	
Meia soquete fina	
Meia soquete grossa	
Meia até os joelhos	
Cueca/similar	
Camiseta de baixo	
Camiseta de mangas longas	
Gravata	
Camisas e blusa	
Camisa de manga curta	
Camisa de manga longa, tecido fino	
Camisa de manga longa, normal	
Camisa de flanela ou moletom	
Blusa leve fina, manga longa	

Blusa leve, fina, manga curta	
Camiseta	
Calça	
Bermuda	
Calça de tecido fino	
Calça jeans	
Calça grossa de lã ou flanela	
Casacos e suéteres	
Colete sem mangas fino	
Colete sem mangas grosso	
Suéter manga longa fina	
Suéter manga longa grosso	
Jaqueta leve	
Jaqueta/Japona normal	
Paletó	
Paletó de verão	

Houve alguma mudança de vestimentas entre um horário e outro? Especifique:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

