

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
NORIE - NÚCLEO ORIENTADO PARA A INOVAÇÃO DA EDIFICAÇÃO**

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO
PROTÓTIPO HABITACIONAL ALVORADA**

- Dissertação de Mestrado -

Alessandro Morello

Porto Alegre
março 2005

ALESSANDRO MORELLO

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO
PROTÓTIPO HABITACIONAL ALVORADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia na
modalidade Acadêmico

Porto Alegre
março 2005

M873a Morello, Alessandro

Avaliação do comportamento térmico do protótipo habitacional Alvorada / Alessandro Morello. – 2005.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2005.

Orientador : Prof. Dr. Miguel Aloysio Sattler

1. Comportamento térmico – Edificações. 2. Conforto térmico – Construção Civil. I. Sattler, Miguel Aloysio, orient. II. Título.

CDU-697(043)

ALESSANDRO MORELLO

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO
PROTÓTIPO HABITACIONAL ALVORADA**

Porto Alegre, 3 de março de 2005.

Prof. Miguel Aloysio Sattler
PhD pela University of Sheffield, UK
Orientador

Prof. Américo Campos Filho
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Roberto Lamberts (UFSC)
PhD pela University of Leeds, Inglaterra

Prof. Heitor da Costa Silva (UFRGS)
PhD pela Architectural Association of London

Prof. Antônio César Silveira Baptista da Silva (UFPeI)
Doutor pela Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Ana Luiza Raabe Abitante (UFRGS)
Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho para minha mãe, dona Marli, por ser um exemplo de perseverança e caráter, guiando os meus passos pelo caminho do bem; e para Fabiane, pelo apoio, paciência e companheirismo durante todo o período em que estive envolvido na execução dessa dissertação.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor PhD. Miguel A. Sattler, por sua dedicação, incentivo e, mais do que tudo, pela sua amizade durante essa longa jornada de trabalho.

Aos demais professores do NORIE, por serem, além de Doutores e mestres dedicados, seres humanos acessíveis e compreensivos.

Aos professores do IPH, David L. da Mota Marques e Agustin Sanches y Vacas, e aos bolsistas Marcello Guedes, Luciano Trasel e Leandro Soccoloski pelo fornecimento dos dados da estação meteorológicos do Campus da UFRGS.

Aos professores Arno Krenzinger, Renato Brito, Eugênio Hackbart, Heitor da Costa Silva, Heinrich Hasenack, Carin Schmitt e Luis Carlos Bonin, cada um em sua área específica, pelos conselhos e esclarecimentos das dúvidas surgidas durante o desenvolvimento desta dissertação.

A CAPES (Coordenadoria de Auxílio à Pesquisa e Extensão) pela bolsa de estudos fornecida durante o período de setembro de 2002 a janeiro de 2003.

Ao CNPq - (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de estudos fornecida durante o período de fevereiro de 2003 a fevereiro de 2004.

Aos colegas do NORIE, por saberem escutar os problemas, mesmo sem saber muito bem como ajudar (especialmente àqueles com os quais convivi a maior parte do tempo: Aline Barroso, César Mello, Daniel Pagnussat, Fábio K. Schramm e Giane Grigoletti).

Aos colegas mestrandos e doutorandos da UFSC, pelo auxílio referente à utilização dos programas desenvolvidos pelo LABEEE e pelo envio de referências que muito contribuíram para a realização do trabalho.

Ao camarada Prof. Joaquim Vaz, por compartilhar sua experiência profissional durante os trabalhos do mestrado e cuja convivência proporcionou um constante aprendizado.

Aos amigos, familiares e todos aqueles que incentivaram ou colaboraram de alguma forma para realização desse trabalho.

RESUMO

MORELLO, A. Avaliação do Comportamento Térmico do Protótipo Habitacional Alvorada. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

O presente trabalho trata da verificação, in loco, do comportamento térmico de um protótipo de edificação térrea unifamiliar, de padrão popular, construído no Campus da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, na cidade de Porto Alegre/RS (30° 02' S; 51° 13'O). A edificação, denominada “protótipo Alvorada”, foi desenvolvida a partir dos princípios e pressupostos básicos de sustentabilidade. O projeto original considerou os aspectos climáticos do local de implantação e buscou minimizar a utilização de materiais poluentes, tóxicos ou de alto conteúdo energético. Durante as quatro estações, em um período de doze meses (entre maio de 2003 e maio de 2004), foram realizadas medições em intervalos horários de diversas variáveis ambientais no interior da edificação. Os dados internos foram comparados com os dados externos obtidos em uma estação meteorológica localizada nas imediações do protótipo. O principal critério utilizado para a avaliação do comportamento térmico do protótipo Alvorada, foi o diagrama bioclimático de Givoni (1992) para países em desenvolvimento e de clima quente. Os resultados indicaram que, durante o ano de monitoramento, o número de horas de conforto foi triplicado no interior do protótipo (em relação às condições externas). A construção conseguiu amenizar os valores extremos de temperatura e reduziu consideravelmente o número de horas com umidade relativa superior a 80%.

Palavras chave: conforto térmico; comportamento térmico de edificações; edificações de interesse social

ABSTRACT

MORELLO, A. Thermal Performance Evaluation of the Alvorada Housing Prototype. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

This work deals with the verification in loco of the thermal performance of a single family house named "Alvorada Prototype ". It was built at the Campus of the Federal University of Rio Grande do Sul, in Porto Alegre city (30° 02 ' S; 51° 13 'W). The prototype was developed with the principles of sustainability. The original design considered the climatic aspects on the plot and tried to minimize the use of pollutant and toxic materials or of high energy content. During the four seasons, in a period of twelve months (between May 2003 and May 2004), measuring was accomplished in hourly intervals. The internal data were compared with the external data obtained in a meteorological station located near the prototype. The main approach for the evaluation of the building thermal behavior was to use the parameters of the Givoni's building bioclimatic chart (1992) for tropical-developing countries. The results indicated that, during the monitored period, the number of comfort hours, inside the prototype, was three times higher than in the exterior. The construction managed to reduce the extreme values of temperature and considerably reduced the number of hours with relative humidity values above 80%.

Key-words: thermal comfort; thermal performance of building; low-cost houses

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 JUSTIFICATIVAS PARA O TRABALHO PROPOSTO.....	22
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	23
1.3 DELIMITAÇÕES.....	24
1.4 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	24
1.4.1 Fluxograma.....	24
1.4.2 Estrutura da Dissertação.....	25
2 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO....	27
2.1 O SER HUMANO E O CONFORTO TÉRMICO.....	27
2.1.1 Mecanismos de Termo-regulação.....	29
2.1.2 Conforto Térmico.....	31
2.1.3 Índices de Conforto.....	32
2.1.4 Aclimação.....	35
2.1.5 Zona de Conforto.....	37
2.2 ESTUDOS DE CASO NA REGIÃO SUL DO BRASIL.....	40
2.2.1 Rio Grande do Sul.....	40
2.2.1.1 Análise de Desempenho Térmico de uma Habitação Unifamiliar Térrea em Cachoeirinha.....	40
2.2.1.2 Estudo Experimental do Desempenho Térmico de Coberturas Planas - Vegetação e Terraço.....	42
2.2.2 Santa Catarina.....	43
2.2.3 Paraná.....	44

2.3 LIMITES DE CONFORTO E PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO.....	46
2.3.1 Zona de Conforto de Givoni.....	46
2.3.2 Parâmetro de Avaliação proposto por Barbosa.....	50
2.3.3 Grau-Hora e Grau Médio.....	51
2.3.4 Atraso e Amortecimento Térmico.....	54
3 O PROTÓTIPO ALVORADA	56
3.1 O PROJETO ORIGINAL.....	56
3.2 A EDIFICAÇÃO	58
3.2.1 Localização do Experimento.....	58
3.2.2 Características da Construção.....	60
3.2.2.1 Fundações.....	63
3.2.2.2 Pisos.....	63
3.2.2.3 Paredes.....	63
3.2.2.4 Cobertura.....	64
3.2.2.5 Esquadrias.....	65
3.2.3 Características dos Materiais e Elementos Componentes da Edificação.....	66
4 INSTRUMENTAÇÃO.....	68
4.1 O EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO.....	68
4.1.1 Descrição dos Sensores Utilizados.....	70
4.1.1.1 Psicômetro.....	71
4.1.1.2 Termômetro de bulbo úmido.....	72
4.1.1.3 Termômetro de globo.....	73
4.1.1.4 Radiômetro de dupla face.....	74

4.2	INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO E PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO.....	76
4.2.1	Testes Preliminares e Programação do Equipamento.....	76
4.2.2	Localização do Equipamento na Edificação.....	77
4.2.3	Variáveis de Uso.....	79
4.2.4	Extração e Tratamento dos Dados.....	81
5	BREVE CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE PORTO ALEGRE / RS.....	82
5.1	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.....	82
5.1.1	O Clima do Rio Grande do Sul.....	82
5.1.2	O Clima de Porto Alegre.....	84
5.1.3	O Microclima Local.....	87
5.2	A ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO CAMPUS DO VALE.....	89
5.2.1	Fornecimento e organização dos dados externos.....	90
5.2.2	Dados Médios Medidos no Período Estudado (2003-2004).....	90
5.2.2.1	Temperatura do ar.....	91
5.2.2.2	Velocidade e direção do vento.....	93
5.2.2.3	Umidade relativa do ar.....	96
5.2.2.4	Radiação solar global (total).....	98
6	RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE DOS DADOS.....	101
6.1	ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO NO INVERNO.....	101
6.1.1	Dados Climáticos do Inverno.....	102
6.1.1.1	Temperatura do ar.....	102
6.1.1.2	Umidade relativa do ar.....	107

6.1.2 Graus-hora para o Inverno.....	109
6.1.3 Carta Bioclimática para o Inverno.....	112
6.2 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO NA PRIMAVERA	115
6.2.1 Dados Climáticos da Primavera.....	116
6.2.1.1 Temperatura do ar.....	116
6.2.1.2 Umidade relativa do ar.....	121
6.2.2 Graus-hora para a Primavera.....	122
6.2.3 Carta Bioclimática para a Primavera.....	125
6.3 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO NO VERÃO.....	128
6.3.1 Dados Climáticos do Verão.....	129
6.3.1.1 Temperatura do ar.....	129
6.3.1.2 Umidade relativa do ar.....	134
6.3.2 Graus-hora para o Verão.....	135
6.3.3 Carta Bioclimática para o Verão.....	138
6.4 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO NO OUTONO.....	141
6.4.1 Dados Climáticos do Outono.....	142
6.4.1.1 Temperatura do ar.....	142
6.4.1.2 Umidade relativa do ar.....	147
6.4.2 Graus-hora para o Outono.....	148
6.4.3 Carta Bioclimática para o Outono.....	151
6.5 COMPORTAMENTO TÉRMICO NO ANO ESTUDADO.....	154
6.5.1 Graus-hora para o Ano Estudado.....	155
6.5.2 Cartas Bioclimáticas.....	157

6.5.3 Discussão.....	161
7 CONCLUSÕES.....	163
7.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O EXPERIMENTO.....	163
7.2 SUGESTÕES PARA A MELHORIA DA EDIFICAÇÃO.....	165
7.2.1 No Inverno.....	165
7.2.2 No Verão.....	166
7.2.3 Na Primavera e no Outono.....	167
7.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	167
REFERÊNCIAS.....	169
APÊNDICE A – DADOS METEOROLÓGICOS EXTERNOS DA SEMANA COM AS MENORES MÉDIAS DAS MÍNIMAS.....	173
APÊNDICE B – DADOS METEOROLÓGICOS EXTERNOS DA SEMANA COM AS MAIORES MÉDIAS DAS MÁXIMAS.....	176

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: modelo "Akutsu" de fluxograma para avaliação de desempenho térmico de edificações.....	25
Figura 2: trocas de calor entre o corpo e o ambiente circundante.....	29
Figura 3: correlação entre o PMV e PPD.....	34
Figura 4: zona de conforto estabelecida por Givoni em 1992.....	38
Figura 5: quadro com valores de PMV, calculados sobre os limites da zona de conforto de Givoni.....	48
Figura 6: zona de conforto proposta por Givoni, para países em desenvolvimento.....	48
Figura 7: quadro das estratégias bioclimáticas para Porto Alegre	50
Figura 8: amortecimento e retardo térmico.....	55
Figura 9: mapa esquemático dos bairros de Porto Alegre.....	59
Figura 10: croqui da implantação do protótipo no Campus da UFRGS.....	59
Figura 11: planta baixa do protótipo Alvorada.....	60
Figura 12: cortes do protótipo Alvorada.....	61
Figura 13: fotografias do protótipo Alvorada.....	62
Figura 14: quadro de valores de absorvância e emissividade das superfícies externas do protótipo Alvorada.....	66
Figura 15: quadro de valores das propriedades térmicas dos materiais utilizados nas paredes do protótipo Alvorada.....	66
Figura 16: quadro de valores das propriedades térmicas dos materiais utilizados na cobertura do protótipo Alvorada.....	66
Figura 17: quadro de valores da transmitância , capacidade e atraso térmico dos elementos componentes do envelope construtivo do protótipo.....	67
Figura 18: equipamento de medição utilizado.....	69
Figura 19: psicrômetro.....	71
Figura 20: sonda termométrica de bulbo úmido.....	73
Figura 21: sonda globotermométrica.....	74
Figura 22: radiômetro de dupla face.....	75

Figura 23: localização do equipamento de medição em planta.....	78
Figura 24: corte A – A, com o posicionamento do equipamento de medição.....	79
Figura 25: fotografia da estação meteorológica do IPH.....	89
Figura 26: valores médios mensais da temperatura do ar nas diferentes estações meteorológicas.....	92
Figura 27: direção dos ventos, nas estações do ano, no Campus do Vale da UFRGS (2003-2004).....	94
Figura 28: direção dos ventos, no Campus do Vale da UFRGS (período: 12 de maio de 2003 a 12 de maio de 2004).....	95
Figura 29: valores médios mensais da umidade relativa do ar nas diferentes estações meteorológicas.....	98
Figura 30: valores médios mensais da radiação solar global (2003-2004).....	99
Figura 31: valores médios horários da radiação solar global recebida ao longo dos doze meses do ano estudado (2003-2004).....	100
Figura 32: valores internos e externos da temperatura do ar - inverno de 2003.....	103
Figura 33: temperatura do ar durante a semana com a menor média das mínimas diárias – inverno.....	104
Figura 34: temperatura do ar durante a semana com a maior média das máximas diárias – inverno.....	105
Figura 35: dias com a maior amplitude diária da temperatura do ar – inverno.....	106
Figura 36: umidade relativa do ar – inverno.....	108
Figura 37: histograma das temperaturas externas – inverno.....	111
Figura 38: histograma das temperaturas internas – inverno.....	111
Figura 39: carta bioclimática com os dados externos de umidade e temperatura do ar - inverno de 2003.....	113
Figura 40: carta bioclimática com os dados internos de umidade e temperatura do ar - inverno de 2003.....	113
Figura 41: quadro resumo dos dados verificados no inverno de 2003.....	114
Figura 42: valores internos e externos da temperatura do ar – primavera de 2003.....	116
Figura 43: temperatura do ar durante a semana com a menor média das mínimas diárias – primavera	117

Figura 44: temperatura do ar, durante a semana com a maior média das máximas diárias – primavera.....	118
Figura 45: dias com a maior amplitude diária da temperatura do ar – primavera.....	120
Figura 46: umidade relativa do ar – primavera.....	121
Figura 47: histograma das temperaturas externas – primavera.....	124
Figura 48: histograma das temperaturas internas – primavera.....	124
Figura 49: carta bioclimática com os dados externos de umidade e temperatura do ar - primavera de 2003.....	126
Figura 50: carta bioclimática com os dados internos de umidade e temperatura do ar - primavera de 2003.....	126
Figura 51: quadro resumo dos dados verificados no período da primavera de 2003.....	127
Figura 52: valores internos e externos da temperatura do ar - verão de 2003-2004	129
Figura 53: temperatura do ar durante a semana com a menor média semanal – verão	131
Figura 54: temperatura do ar, durante a semana com a maior média das máximas diárias – verão.....	132
Figura 55: dias com a maior amplitude diária da temperatura do ar – verão.....	133
Figura 56: umidade relativa do ar – verão.....	134
Figura 57: histograma das temperaturas externas – verão.....	137
Figura 58: histograma das temperaturas internas – verão.....	137
Figura 59: carta bioclimática com os dados externos de umidade e temperatura do ar - verão de 2003-2004.....	139
Figura 60: carta bioclimática com os dados internos de umidade e temperatura do ar - verão de 2003-2004.....	139
Figura 61: quadro resumo dos dados verificados no período do verão de 2003-2004.....	140
Figura 62: valores internos e externos da temperatura do ar - outono de 2003-2004.....	143
Figura 63: temperatura do ar durante a semana com a menor média das mínimas diárias – outono.....	144
Figura 64: temperatura do ar, durante a semana com a maior média das máximas diárias - outono.....	145
Figura 65: dias com a maior amplitude diária da temperatura do ar – outono.....	146

Figura 66: umidade relativa do ar – outono.....	147
Figura 67: histograma das temperaturas externas - outono.....	150
Figura 68: histograma das temperaturas internas - outono	150
Figura 69: carta bioclimática com os dados externos de umidade e temperatura do ar - outono de 2003-2004.....	152
Figura 70: carta bioclimática com os dados internos de umidade e temperatura do ar - outono de 2003-2004.....	152
Figura 71: quadro resumo dos dados verificados no período do outono de 2003-2004	153
Figura 72: histograma anual das temperaturas externas.....	156
Figura 73: histograma anual das temperaturas internas.....	156
Figura 74: carta bioclimática com os dados externos de umidade e temperatura do ar durante o período de 2003-2004.....	157
Figura 75: quadro resumo do relatório gerado pelo programa Analysis Bio, para os dados externos no período estudado (2003-2004).....	158
Figura 76: carta bioclimática com os dados internos de umidade e temperatura do ar durante o período de 2003-2004.....	159
Figura 77: quadro resumo do relatório gerado pelo programa Analysis Bio, para os dados internos no período estudado (2003-2004).....	160
Figura 78: quadro resumo dos dados verificados no período estudado.....	160

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: dimensões e áreas das janelas do protótipo.....	65
Tabela 2: dados médios para o período de observação de 1916 a 1988 (estação meteorológica do 8º Distrito de Meteorologia).....	84
Tabela 3: sumários climatológicos - Porto Alegre/RS 1951 a 1970 (estação meteorológica do aeroporto Salgado Filho).....	86
Tabela 4: comparativo da temperatura do ar - dados do IPH, Aeroporto Salgado Filho e 8º Distrito de Meteorologia.....	91
Tabela 5: direção dos ventos no Campus do Vale da UFRGS.....	96
Tabela 6: comparativo da umidade relativa do ar - dados do IPH, Aeroporto Salgado Filho e 8º Distrito de Meteorologia.....	97
Tabela 7: somatório de graus-hora para aquecimento - inverno.....	109
Tabela 8: somatório de graus-hora para refrigeração - inverno.....	110
Tabela 9: somatório de graus-hora para aquecimento - primavera.....	122
Tabela 10: somatório de graus-hora para refrigeração - primavera.....	123
Tabela 11: somatório de graus-hora para aquecimento - verão.....	135
Tabela 12: somatório de graus-hora para refrigeração - verão.....	136
Tabela 13: somatório de graus-hora para aquecimento - outono.....	148
Tabela 14: somatório de graus-hora para refrigeração - outono.....	149
Tabela 15: somatório de graus-hora para aquecimento - anual.....	155
Tabela 16: somatório de graus-hora para refrigeração - anual.....	155

LISTA DE SIGLAS

ANTAC: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

ASHRAE: *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

CAPES: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CETHS: Centro Experimental de Tecnologias Habitacionais Sustentáveis

CNPq: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAPERGS: Fundação de Apoio a Pesquisa do Rio Grande do Sul

FINEP: Financiadora de Estudos e Projetos

IBUTG: Índice de Bulbo Úmido e Temperatura de Globo

IPH: Instituto de Pesquisas Hidráulicas

ISO: *International Organization for Standardization*

LABEEE: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

LSI: *Laboratori di Strumentazione Industriale* (Laboratório de Instrumentação Industrial)

NORIE: Nucleo Orientado para a Inovação da Edificação

PLEA: Passive and Low Energy Architecture

PMV: *Predicted Mean Vote* (voto médio estimado)

PPD: *Predicted Percentage of Dissatisfaction* (percentual de pessoas insatisfeitas)

PPGEC: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

SIOCERGS: Sindicato das Indústrias de Olaria e de Cerâmica para Construção no Rio Grande do Sul

UFSC: Universidade Federal de Santa Catarina

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

ULBRA: Universidade Luterana do Brasil

LISTA DE SÍMBOLOS

Σ : somatório

®: marca registrada

α : absorptância

ε : emissividade

ρ : densidade de massa aparente

λ : condutividade térmica

c: calor específico

1 INTRODUÇÃO

O déficit habitacional brasileiro é um problema conhecido por todos. Nos últimos anos, as tentativas por parte do poder público de resolver essa carência, têm se mostrado pouco efetivas. Muitas vezes, nessa corrida para a geração de construções que atendam à população carente, aspectos qualitativos como, por exemplo, o de conforto térmico, são relevados a um segundo plano ou simplesmente ignorados.

Por outro lado, a população de baixa renda tem lançado mão da autoconstrução para resolver seu problema habitacional. Muitas vezes, na tentativa de economizar através da compra de materiais baratos, desconsidera a qualidade do ambiente que está sendo gerado. Entretanto, em um segundo momento, essa economia inicial pode se traduzir em desconforto térmico para os seus ocupantes, ou maior gasto energético para manutenção das condições internas de conforto.

Nesse contexto, nos últimos anos, vários profissionais ligados à construção civil vêm demonstrando sua preocupação com o esgotamento dos recursos naturais do planeta. Mas nem sempre isso foi um fator preponderante a ser considerado por engenheiros e arquitetos no momento de projetar edificações. Por motivos meramente formais, muitos projetistas contemporâneos simplesmente desconsideraram os pressupostos básicos de conforto térmico da arquitetura vernácula. Segundo Dutra (1994), a partir do surgimento do estilo internacional, o modo de projetar ficou cada vez menos comprometido com as necessidades de conforto do homem. Essa standardização da arquitetura mundial, difundida pelos arquitetos do Movimento Modernista, é ressaltada por Dutra (1994, p. 3):

[...] A partir do surgimento do Estilo Internacional desenvolveu-se um modo de projetar cada vez menos comprometido com o equilíbrio entre as especificidades climáticas do sítio a ser edificado e as necessidades de conforto do homem. Isto estigmatizou os fundamentos de Le Corbusier. Já que poucos profissionais possuíam as habilidades desse mestre, e se traíram quando limitaram a arquitetura funcionalista a um mero jogo de motivos em fachadas ou a uma luta pela conquista de vãos cada vez maiores em concreto armado [...] o formalismo de Mies van der Rohe, com suas "cortinas de vidro", criou um verdadeiro ícone de edifícios de escritórios. Seu formalismo foi seguido por várias gerações de profissionais, que internacionalizaram o que era distinto para algumas economias. O conseqüente "edifício estufa" foi então exportado como símbolo de poder, assim como sistemas sofisticados de ar-condicionado e mega-estruturas de aço e concreto, sem sofrer readaptações às características culturais e climáticas do local [...].

Assim, os sistemas de iluminação e climatização artificial passaram a ser utilizados em grande escala. Segundo Lamberts et al., a falta de preocupação dos projetistas com os aspectos climáticos acabou gerando verdadeiros “colossos arquitetônicos, submetidos a uma hemorragia energética”.

Além disso, o surgimento de vários equipamentos eletro-eletrônicos, criados e divulgados nos últimos trinta anos, para o grande público como indispensáveis para a vida do homem moderno, também contribuiu para que ocorresse um aumento significativo do consumo de energia.

No entanto, a partir da crise energética da década de 70, aquela posição despreocupada dos projetistas começou a ser revista. Segundo Lamberts et al. (1997), a crise do petróleo em 1973 e o conseqüente aumento dos preços da energia forçaram vários setores da sociedade a reavaliar suas práticas de uso de energia.

No ano 2000, a falta de chuvas junto às bacias hidrográficas brasileiras, associada a ausência de investimentos no setor, provocou a maior crise energética da história do país, até então, comparada somente com a crise do petróleo da década de 70. Mas por trás dessa crise verificou-se um problema bem maior, a fragilidade da política energética brasileira frente às formas de captação de energia adotadas ao longo da história. A dependência, quase que exclusiva do potencial hidrelétrico, ocorre no Brasil porque essa ainda é a forma mais barata de geração de energia. Benjamim (2001) reforça essa situação conjuntural:

[...] em eletricidade, o Brasil ocupa no mundo uma posição semelhante à da Arábia Saudita em petróleo. Graças a isso, mais de 90% de nossa capacidade de geração se baseia em duas coisas gratuitas, a água das chuvas e a força da gravidade. Bacias hidrográficas generosas, com centenas de rios permanentes e caudalosos, se espalham por grandes regiões - Sul, Sudeste, Nordeste, Centro-Oeste e Norte - cujos regimes de chuvas são bem diferentes [...]

Cabe à sociedade a tarefa de buscar soluções viáveis a curto e médio prazo, estruturando as estratégias para longo prazo. Atualmente, no Brasil, se vislumbram duas possibilidades: a diversificação das formas de captação de energia (aproveitando o potencial eólico e solar, por exemplo), e o aumento da eficiência no uso da energia. A primeira possibilidade, segundo Lamberts et al. (1997), exigirá o investimento de muitos recursos financeiros (em curto prazo), o que, por conseguinte, implicará na redução de investimentos em outras áreas prioritárias, como saúde, educação e habitação. A segunda possibilidade se mostra mais

adequada, pois, segundo Geller (1994, apud LAMBERTS et al., 1997, p.19) "... é mais barato economizar energia do que fornecê-la, pois se reduz a necessidade de gastos com o setor público, passando aos fabricantes de equipamentos e aos consumidores os investimentos necessários...".

Se o consumo de energia continuar aumentando, em breve, poderemos ter outra crise com conseqüências ainda mais sérias. Assim sendo, mais uma vez deve ser ressaltada a grande responsabilidade que recai sobre os profissionais das áreas de engenharia e arquitetura. E para atender a essa demanda do mercado, é necessário que os projetistas tenham conhecimento dos princípios de eficiência energética na arquitetura.

Acredita-se que, através da adoção de estratégias bioclimáticas, seja possível desenvolver habitações populares, que apresentem melhor desempenho térmico, sem que para tal, seja necessário investir muito mais recursos do que aqueles gastos com as atuais construções de uso similar. Além disso, o consumo de energia para a obtenção de conforto (uso de ventiladores ou aquecedores elétricos), pode ser reduzido, diminuindo-se, também, os gastos energéticos durante a vida útil da edificação.

Assim, para cada localidade ou região que possua condições climáticas específicas, deverão ser adotados procedimentos de projeto adequados, para que se alcance uma solução que proporcione o maior número de horas de conforto, com o menor custo construtivo possível. Nesse sentido, o Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE - UFRGS) vem desenvolvendo estudos direcionados para a melhoria das condições das habitações de interesse social, sempre considerando os princípios de sustentabilidade ambiental e econômica.

Em 2000, a construção de um protótipo foi iniciada em Porto Alegre, no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, na avenida Bento Gonçalves, nº 9500. A edificação, denominada protótipo Alvorada, já foi objeto de estudo de diversos trabalhos¹ desenvolvidos por pesquisadores, ao longo dos últimos anos.

A partir da aquisição de um equipamento para avaliação higrotérmica de ambientes, em novembro de 2002, o grupo de pesquisas em sustentabilidade e conforto ambiental das

¹ Até o momento, em outras dissertações e trabalhos de pesquisa, já foram analisadas as condições de iluminação interna, sistema de esquadrias, sistema de tratamento de esgoto e sistema de captação da água da chuva.

edificações, do NORIE, passou a ter condições de realizar medições higrotérmicas em ambientes internos.

Com a demanda existente e o equipamento necessário para realizar o experimento, surgiu a oportunidade de avaliar o comportamento térmico do protótipo habitacional Alvorada, permitindo que o presente estudo fosse proposto.

1.1 JUSTIFICATIVAS PARA O TRABALHO PROPOSTO

Muitas vezes o poder público investe recursos na construção de habitações populares, sem levar em conta o conforto térmico de seus ocupantes, utilizando tecnologias construtivas e materiais prejudiciais ao meio ambiente. Nesse contexto, o protótipo construído no Campus da UFRGS apresenta-se como uma alternativa viável economicamente. Embasada nos princípios de sustentabilidade, a edificação foi projetada e construída levando-se em conta os aspectos climáticos do local onde está implantada. Este fato é destacado, pois, apesar de ser um requerimento lógico e básico, são ainda raras as edificações contemporâneas projetadas em observância a esses princípios.

Após o monitoramento das variáveis higrotérmicas e da quantificação das horas de conforto/desconforto, pelo período de um ano, é possível avaliar com maior precisão a eficiência das estratégias adotadas na fase de projeto do protótipo, bem como a identificação de possíveis melhorias, que poderão ser implementadas para incrementar as condições de conforto interno.

Sob esse aspecto se deve destacar que, atualmente, existem diversos programas de simulação sendo usados para avaliar o desempenho térmico das edificações, porém, muitas vezes, os resultados encontrados se mostram contraditórios à realidade. Esse aspecto é reforçado por Grings (2002, p.2), que realizou um estudo comparando resultados de simulações computacionais com resultados experimentais de um ambiente térmico:

[...] frente à necessidade de se utilizar cada vez mais "softwares" para simulação de ambientes, muitos programas computacionais têm sido desenvolvidos, alguns de fácil emprego; outros mais elaborados [...] Diante de uma variedade enorme de softwares, tem-se, às vezes, chegado a resultados controversos, quando uma mesma situação é avaliada por diferentes ferramentas.

Poucos são os trabalhos que envolvem monitoramentos contínuos, por períodos representativos da variação climática ao longo do ano. Quando se trata de habitações de cunho social, o número de casos estudados, nos últimos anos, diminui ainda mais, visto que, nesse tipo de edificação, o principal objetivo é a redução dos custos (em detrimento do conforto térmico dos seus usuários).

Por fim, os dados medidos pela estação meteorológica do IPH - UFRGS (Instituto de Pesquisas Hidráulicas), servirão como referencial para futuros trabalhos de simulação computacional, que poderão ser realizados para outras edificações similares ou, até mesmo, para testar programas de simulação comparando seus resultados com os valores medidos no interior do protótipo Alvorada.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Considera-se como produto principal deste trabalho, a avaliação do comportamento térmico, através do monitoramento das variáveis higrótérmicas, do protótipo residencial Alvorada, localizado no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Além do objetivo principal, foram estabelecidos os seguintes objetivos secundários:

- a) seleção dos índices e parâmetros de conforto a serem adotados para a avaliação térmica do protótipo Alvorada;
- b) caracterização sucinta do clima regional e apresentação das diferenças em relação ao microclima onde está localizado o protótipo habitacional Alvorada;
- c) proposição, a partir da avaliação das condições ambientais internas, de sugestões de eventuais melhorias projetuais para os elementos construtivos da edificação atual.

1.3 DELIMITAÇÕES

As medições *in loco* foram realizadas, no interior do protótipo Alvorada, durante o período compreendido entre o dia 12 de maio de 2003 e 12 de maio de 2004, totalizando 8784 horas de medição (o ano de 2004 foi bissexto).

Os dados externos de temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e velocidade do ar, foram fornecidos pela estação meteorológica do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, localizada no Campus da UFRGS e, portanto, são considerados representativos para o microclima local.

Devido a existência de um único equipamento de medição, com todas as sondas acopladas a ele, os dados internos foram coletados em apenas um ponto da edificação, no centro da sala/cozinha, a 1,10m de altura, em relação ao piso (conforme indicado nas figuras 24 e 25 no capítulo 4).

1.4 DELINEAMENTO DA PESQUISA

No presente trabalho, o pesquisador foi um mero observador e avaliador das variáveis encontradas. Por isso, a melhor classificação de pesquisa baseada em procedimentos técnicos, é o estudo de caso, seguido da descrição dos fenômenos observados.

1.4.1 Fluxograma

Ao longo da revisão bibliográfica foram observados alguns modelos de fluxogramas recomendados por alguns autores que atuam na área de avaliação de desempenho térmico das edificações, como por exemplo, o sugerido por Akutsu et al. (1987), apresentado na figura 1.

Neste fluxograma (figura 1), os autores sugerem o estabelecimento de dias típicos a partir dos dados climáticos externos. As condições térmicas do ambiente seriam obtidas através de simulações computacionais.

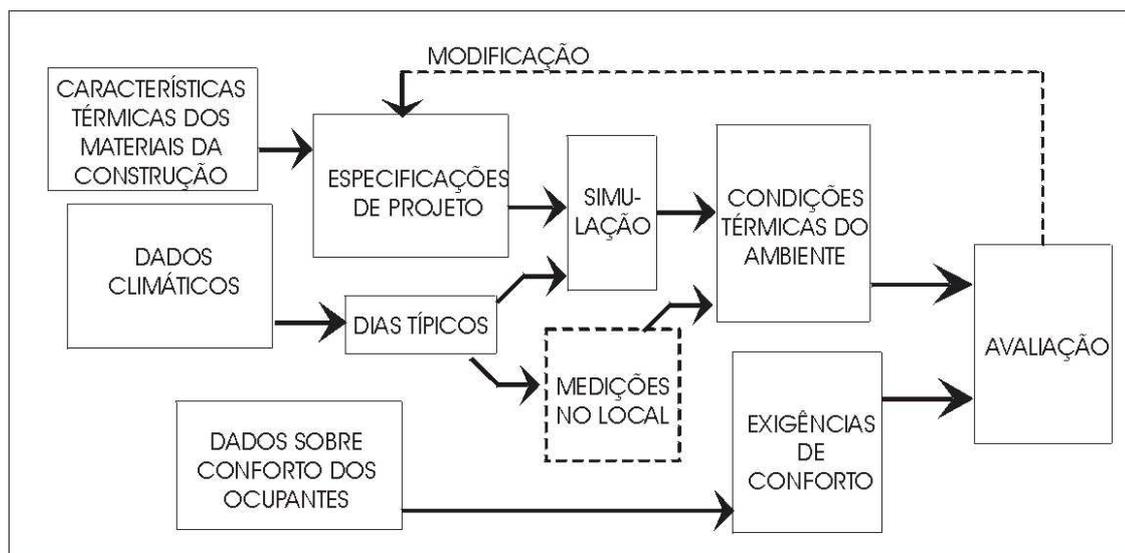


Figura 1: modelo "Akutsu" de fluxograma para avaliação de desempenho térmico de edificações (baseado em Akutsu et al., 1987)

Entretanto, considera-se que o presente estudo se diferencia, por apresentar resultados de medições realizadas *in loco*, ou seja, os valores medidos representam as condições térmicas reais do ambiente com muito mais fidelidade do que qualquer simulação.

Portanto, do fluxograma proposto por Akutsu et al. (1987), não serão efetuadas as simulações computacionais, já que os dados medidos no período de um ano são suficientes para avaliar o comportamento térmico da edificação. Também não serão escolhidos dias típicos, visto que serão realizadas comparações entre os valores medidos no exterior e interior do protótipo, em intervalos horários, durante o período de um ano.

1.4.2 Estrutura da Dissertação

A dissertação é composta por sete capítulos estruturados de forma seqüencial lógica. Após uma rápida introdução ao tema, no primeiro capítulo, são expostas as justificativas para a execução do trabalho, os objetivos principal e secundários e as delimitações da pesquisa.

No segundo capítulo são apresentados os parâmetros de avaliação e os limites de conforto térmico (adotados neste trabalho), necessários para que sejam mantidas as condições de conforto higrotérmico do ser humano. Também neste capítulo são apresentados alguns estudos de caso semelhantes realizados na região Sul do Brasil.

No capítulo 3 são descritos os conceitos e estratégias adotados na fase de concepção do projeto original. Além da localização do terreno onde está implantado o protótipo Alvorada, são apresentadas as plantas, cortes e vistas da edificação. As características termofísicas dos materiais e elementos componentes da edificação estudada são expostas no final do capítulo.

O quarto capítulo apresenta, de forma sucinta, os principais fatores intervenientes do clima do Rio Grande do Sul. As características do clima de Porto Alegre são expostas através de valores médios mensais de diversas variáveis ambientais, como: temperatura do ar, precipitação, umidade relativa, velocidade e direção dos ventos. Também, são descritos os aspectos específicos do local onde está implantada a edificação estudada e que tem influência direta nas características do microclima envolvente. Por fim, a estação meteorológica do Campus do Vale é descrita e os valores médios medidos no período englobado no estudo são apresentados e comparados àqueles medidos anteriormente, em outras estações meteorológicas de Porto Alegre.

No capítulo 5 são expostos os procedimentos adotados na fase de instrumentação do experimento. Cada uma das sondas que compõe o equipamento de medição é descrita separadamente. Também são justificadas as escolhas referentes à localização do equipamento dentro do protótipo e as variáveis de uso, que podem interferir nos resultados.

Ao longo do sexto capítulo são apresentadas as comparações entre os dados medidos no interior e exterior do protótipo. Os resultados são analisados para cada uma das quatro estações do período estudado, a partir de cada parâmetro de avaliação estabelecido para este estudo (apresentados no capítulo 2).

Finalmente, no sétimo e último capítulo, são expostas e discutidas as conclusões sobre a avaliação térmica do protótipo Alvorada. Também são indicadas algumas propostas de modificação do projeto original, visando a diminuição do número de horas de desconforto verificadas no interior da edificação estudada. Por fim, são apresentadas as considerações finais, bem como sugestões para o desenvolvimento de outros trabalhos futuros.

2 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

Neste capítulo, a partir da revisão das referências consultadas, são abordados os temas referentes aos parâmetros de avaliação, os limites de conforto térmico e os principais conceitos considerados neste trabalho. Além disso, são apresentados alguns estudos de caso realizados na região Sul do Brasil, que se assemelham ao estudo aqui apresentado.

2.1 O SER HUMANO E O CONFORTO TÉRMICO

Segundo Lamberts et al. (1997, p. 39) "embora o clima seja bem distinto em qualquer região da Terra, o ser humano é biologicamente parecido em todo o mundo, sendo adaptável a diferentes condições climáticas, ao fazer uso de mecanismos culturais como a vestimenta, a arquitetura e a tecnologia". E foi justamente essa adaptabilidade que permitiu ao homem colonizar regiões do planeta com climas adversos ao longo de sua evolução histórica.

Apesar disso, como é de conhecimento tácito, o homem não é um ser pecilotérmico². A temperatura interna do corpo situa-se por volta de 37°C, e para que essa temperatura seja mantida, o organismo utiliza o oxigênio da respiração para queimar as calorias ingeridas nos alimentos. Frota e Schiffer (1988, p.10) exemplificam esse processo:

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

Além desse ganho térmico constante, produzido pelo metabolismo basal, ao realizar uma atividade física qualquer, o organismo precisará transformar a energia dos alimentos em energia mecânica. No entanto, uma parcela dessa energia será transformada em trabalho, enquanto o restante, será transformado em calor. Essa ineficiência do organismo é

² Diz-se de animal cujo organismo sofre variações de temperatura de acordo com a que se observa no meio ambiente

apresentada por Givoni (1976), que afirma que a parcela de energia transformada em calor é muito maior que a energia transformada em trabalho, algo em torno de 80% e 20%, respectivamente.

O nível metabólico ou nível de atividade, em termos de consumo de energia, é expresso em *Watt* e denomina-se Taxa Metabólica (ASHRAE, 1993). Considerando-se que, para a execução de uma determinada atividade física, um indivíduo grande consumirá uma quantidade de energia maior do que um indivíduo pequeno, optou-se por expressar a taxa de metabolismo em termos de densidade de fluxo energético (W/m^2). A unidade adotada para expressar a taxa metabólica é o *met*, que corresponde ao nível de atividade de uma pessoa sentada, descansando, com um fluxo de energia de aproximadamente, $58,2 W/m^2$ (ISO 7730, 1994). Se um indivíduo, por exemplo, possuir $1,70 m^2$ de superfície corporal, deverá liberar para o ambiente quase 100 W por hora.

Assim sendo, para que o balanço térmico do organismo permaneça em equilíbrio, o calor excedente deve ser dissipado para o meio. A liberação de calor para o ambiente envolvente pode ocorrer através de trocas secas - convecção, radiação e condução - e trocas úmidas - evaporação. Essas trocas de calor com o ambiente são explicadas por Lamberts et al. (2000, p. 4):

O calor perdido para o ambiente através das trocas secas é denominado calor sensível e é função das diferenças de temperatura entre o corpo e o ambiente. O calor perdido através das trocas úmidas é denominado calor latente e envolve mudanças de fase - o suor (líquido) passa para o estado gasoso através da evaporação.

Entretanto, para que existam trocas por condução, é necessário que o corpo esteja em contato com uma superfície com maior ou menor temperatura. Neste sentido, a vestimenta que está em contato com a pele, não tem a função de aquecer o corpo, mas sim de evitar as perdas de calor para o meio. A figura 2 apresenta, de forma esquemática, as trocas de calor entre o corpo e o ambiente circundante.

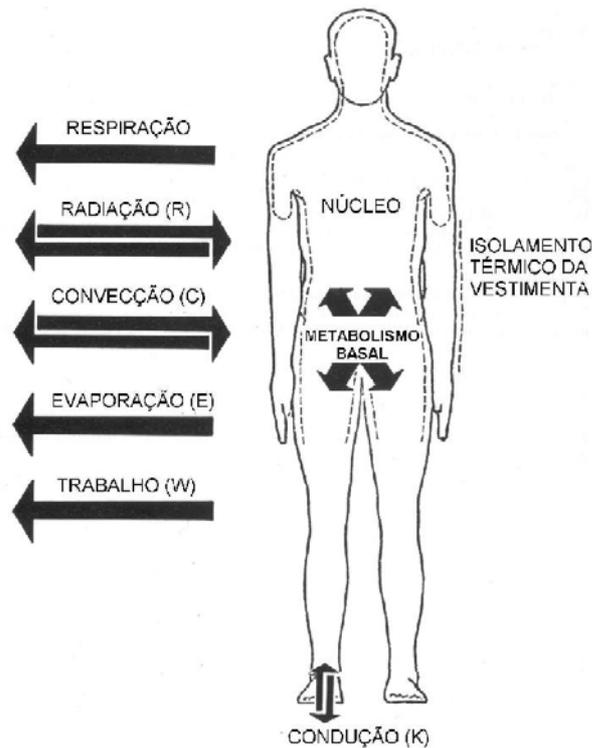


Figura 2: trocas de calor entre o corpo e o ambiente circundante (baseado em: Laboratório di Strumentazione Industriale, 1997)

2.1.1 Mecanismos de Termo-regulação

Segundo Szokolay (1980), o equilíbrio térmico existe se o somatório das perdas por radiação, convecção, condução e evaporação for igual ao metabolismo (basal e muscular). O autor cita um exemplo de situação em que, se a temperatura do ar for igual a 18°C e não existir contato do corpo com objetos frios (perdas por condução), a dissipação do calor se dará da seguinte forma: 45% por radiação, 30% por convecção e 25% devido a evaporação. Mas se este equilíbrio for perturbado por algum fator interno ou ambiental, o organismo deverá ativar os mecanismos termo-reguladores.

Segundo Fanger (1972), o aparelho termo-regulador é fundamental para gerenciar a quantidade de perdas de calor para o meio circundante e manter a temperatura interna do corpo dentro dos valores aceitáveis.

Em uma situação de frio intenso, quando a temperatura dos elementos envolventes é menor que a temperatura da superfície corporal, o primeiro mecanismo termo-regulador disparado é

a vasoconstrição periférica, ou seja, os vasos capilares mais próximos à pele se contraem, enquanto os mais próximos aos órgãos internos se dilatam, fazendo com que a pele se resfrie, atingindo a temperatura mais próxima possível àquela do meio circundante, para evitar perdas por convecção e radiação. Além disso, ainda pode ocorrer o arrepio da pele, que é um movimento muscular, que provoca o aquecimento da pele por atrito e, ainda, aumenta a rugosidade, dificultando as perdas de calor por convecção³. Se o frio ainda for intenso, ocorrerá o aumento do metabolismo (manifestado através do tremor dos músculos), de forma que a produção de calor interno possa compensar as perdas para o meio (AULICIEMS; SZOKOLAY, 1997).

Já em uma situação de calor, o primeiro mecanismo termo-regulador disparado pelo organismo é a vasodilatação periférica, que aumenta a temperatura superficial da pele, incrementando as perdas de calor por convecção e radiação. Se o calor perdurar, o organismo fará uso da sudação para perder calor (AULICIEMS; SZOKOLAY, 1997). Segundo Givoni (1976), cada grama de calor evaporada, consome nesse processo, o equivalente a 580 calorias (comparativamente, são necessárias 100 calorias para elevar a temperatura de 1 grama de água de 0°C a 100°C). Quando a evaporação do suor ocorre nos poros da pele, todo esse calor é extraído do corpo. Percebe-se, portanto, que o organismo pode perder grandes quantidades de calor, quando a temperatura do ar e a temperatura radiante estão acima da temperatura da pele. Além disso, segundo Markus e Morris (1980), existe uma contínua difusão de vapor de água através da pele, e isto não é controlado pelas glândulas sudoríparas. A taxa de difusão é proporcional à diferença da pressão de vapor saturado da pele e da pressão de vapor do ar. Ainda versando sobre o mesmo tema, de acordo com Givoni (1976), um indivíduo em repouso, produz em torno de 40 gramas de vapor da água por hora através da "transpiração imperceptível", ou seja, o suor que é produzido e evaporado sem que o indivíduo perceba. No entanto, é necessário lembrar que o suor somente será evaporado se existir movimentação do ar e se esse ar não estiver saturado.

Entretanto, a utilização dos mecanismos termo-reguladores somente se processará em uma situação de desconforto, como afirma Silva (1994, p. 29):

A termo-regulação apesar de ser o meio natural de controle de perdas de calor pelo organismo, representa um esforço extra e se solicitado freqüente ou persistentemente

³ Deve-se salientar que, o arrepio da pele como estratégia do organismo para aumentar a rugosidade da pele foi bem mais efetivo na época dos homens das cavernas, quando a quantidade de pêlos era maior.

provoca desconforto, queda de potencialidade de trabalho e até afeta de forma irreparável a saúde do indivíduo. Deste modo, um ambiente dito confortável, sob o aspecto fisiológico do ser humano, seria aquele que não exigisse, de modo perceptível, os mecanismos do sistema termo-regulador

2.1.2 Conforto Térmico

Além de todos os dispositivos que o organismo dispõe para manter o equilíbrio da temperatura do corpo, o ser humano ainda faz uso de seu conhecimento empírico para construir abrigos, tecer roupas e assim, manter a temperatura corpórea dentro dos limites de conforto (LAMBERTS et al. 1997).

Sob esse aspecto, Gonzales et al. (1986) afirmam que a vestimenta tem um papel importante, como fator modificante dos ganhos ou perdas de calor e manutenção das condições de conforto do corpo humano. Essa opinião é corroborada por Frota e Schiffer (1988, p. 14):

A vestimenta, que mantém uma camada, mínima que seja, de ar parado, dificulta as trocas por convecção e radiação. Em clima seco, vestimentas adequadas podem manter a umidade, advinda do organismo pela transpiração. A vestimenta funciona como isolante térmico - que mantém, junto ao corpo, uma camada de ar mais aquecido ou menos aquecido, conforme seja mais ou menos isolante, [...] sua resistência térmica depende do tipo de tecido, da fibra, do ajuste ao corpo, e deve ser medida através das trocas secas relativas a quem a usa [...]

Lamberts et al. (2000) citam o exemplo prático das populações dos desertos, onde a vestimenta, além de reduzir o ganho de calor devido à radiação solar direta (cor branca das vestimentas), ainda mantém a umidade, através da transpiração, evitando a desidratação provocada pela baixa umidade do ar.

O nível de vestimenta é, usualmente, expresso em unidades de resistência ao fluxo de calor (m^2K/W). Normalmente é usado o valor de *clo* (abreviatura de *clothing*, em inglês), onde 1 *clo* corresponde a $0,155m^2K/W$ (ISO 7730, 1994). Esse valor equivale à resistência oferecida por uma vestimenta típica para as condições interiores de inverno (SILVA, 1994).

No entanto, sabe-se que, para um grupo heterogêneo de pessoas submetidas a uma determinada situação térmica, sujeitas ao mesmo nível de atividade e com o mesmo nível de vestimenta, poderão existir opiniões diferentes sobre a sensação de conforto. Segundo Scarazzato (1989), entre os diversos aspectos de avaliação pós-ocupação dos espaços

arquitetônicos, os que dizem respeito à aferição do grau de conforto dos usuários estão entre os mais complexos, por envolverem aspectos subjetivos.

Essa subjetividade surge até mesmo na definição da ASHRAE (1993), que considera o conforto térmico como sendo “a condição da mente que expressa a satisfação do indivíduo com o ambiente térmico envolvente”. De um modo mais específico, Lamberts et al. (1997) complementam essa conceituação afirmando que, quando o balanço de todas as trocas de calor entre o corpo e o ambiente envolvente for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, o ser humano, em condições normais, sente conforto térmico.

Para Szokolay (1980), o fator mais importante para determinar o conforto térmico é a temperatura do ar, mas não é o único. As sensações de conforto ou desconforto dependem da combinação de vários fatores, como por exemplo, a umidade relativa, o movimento do ar, a radiação e também a temperatura do ar (ou temperatura de bulbo seco). O autor acrescenta, ainda, que existem fatores que não podem ser quantificados e que afetam as preferências térmicas de cada indivíduo, para uma mesma situação. Entre esses fatores podem ser citados: a aclimação⁴, idade e sexo, forma do corpo, condições de saúde, atividade física, comida e bebida.

Silva (1994) aponta as variáveis ambientais - temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade relativa e velocidade do ar - e as variáveis humanas - nível de vestimenta e nível de atividade - como sendo os fatores principais que influenciam a percepção de conforto higrotérmico dos seres humanos. O autor afirma, ainda, que, em função da quantidade e natureza das variáveis, a estimativa da percepção de conforto se torna bastante complexa e somente pode ser verificada através de índices de conforto.

2.1.3 Índices de Conforto

Considerando a complexidade envolvida, Barbosa (1997, p.32) aborda esta questão dos índices e escalas de conforto térmico:

⁴ Segundo Bligh (1990, apud SILVA, 1994, p. 31) não existe diferenciação etimológica entre as palavras aclimatização e aclimação, mas convencionou-se utilizar a primeira para estudos em ambientes naturais e a segunda para estudos em laboratório nos quais apenas uma componente ambiental é variável. Entretanto, nesta dissertação será utilizado o termo aclimação para a adaptação do indivíduo às condições do clima do local onde habita.

O processo de avaliação do ambiente térmico requer a existência de critérios e valores limites de referência, baseados nos índices e escalas de conforto térmico. No intuito de quantificar o comportamento humano ante as variações térmicas do ambiente, são definidos índices que expressam a relação entre causa e efeito, com a utilização de valores numéricos representativos do fenômeno. Com base nos índices, estabelecem-se as zonas de conforto térmico, delimitadas graficamente sobre diversos tipos de nomogramas, ou através de cartas e diagramas, que limitam os parâmetros físicos e definem o domínio no qual se estabelecem as zonas de conforto térmico. As escalas de conforto térmico podem ser semânticas ou numéricas, sendo montadas em termos de sensações subjetivas, graduadas por conforto e desconforto térmico, relacionando-se tais graduações com os parâmetros físicos de estímulo [...].

Entre os índices de conforto térmico, o mais utilizado, por diversos autores, é o Voto Médio Estimado ou PMV (*Predicted Mean Vote*), desenvolvido por Fanger em estudos realizados entre 1967 e 1972, com estudantes norte-americanos e dinamarqueses na faixa etária de vinte anos. Fanger formulou uma equação geral de conforto, na qual resumia todos os processos de trocas de calor entre o corpo e o ambiente. Em 1970, Fanger e Rohles utilizaram o conceito do Percentual de Pessoas Insatisfeitas ou PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfaction*), para suplementar o voto médio estimado de indivíduos, na avaliação de um ambiente térmico (FANGER, 1972).

Os experimentos de Fanger (1972) foram desenvolvidos em câmaras climatizadas, nas quais os grupos de estudantes eram submetidos a diferentes combinações de variáveis higrotérmicas (temperatura de bulbo seco, temperatura média radiante, umidade relativa e velocidade do ar), nível e eficiência da atividade e resistência térmica da roupa. As pessoas eram, então, questionadas sobre a percepção térmica, através de uma escala psicofísica de sensação térmica (PMV), composta por sete níveis de satisfação ou insatisfação, e que serviam para medir o grau de desconforto originado pela combinação das variáveis. Os valores adotados nessa escala eram, então, correlacionados com o percentual de pessoas insatisfeitas, para cada combinação (ver exemplo na figura 3):

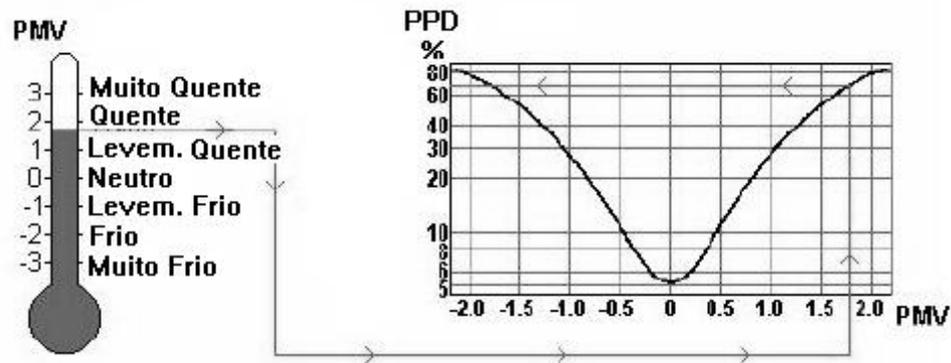


Figura 3: correlação entre o PMV e PPD (baseado em ISO 7730, 1994)

Segundo Silva (1994, p. 30), o trabalho de Fanger "... é considerado o estudo mais completo e detalhado até hoje disponível sobre o assunto, sendo sua aplicação sugerida pela ISO 7730". A ISO 7730 (1994) adotou as pesquisas de Fanger, recomendando o PPD menor que 10% como requerimento de conforto térmico, para espaços de ocupação humana. Esse percentual corresponde a uma faixa de variação do PMV de -0,5 a +0,5, na qual o ser humano pode ser considerado em neutralidade térmica. Ou seja, nesta condição, em um determinado ambiente, o indivíduo não deseja, nem mais calor, nem frio para se sentir confortável termicamente.

A situação de neutralidade térmica é uma das condições necessárias para que o ser humano se sinta confortável termicamente, mas não é a única. Isso é exemplificado por Lamberts e Xavier (2002, p. 9):

[...] a condição de neutralidade térmica... é necessária, mas não é suficiente para que uma pessoa encontre-se em conforto térmico, pois a mesma pode encontrar-se em neutralidade térmica e estar sujeita a algum tipo de desconforto localizado, isto é, sujeita a uma assimetria de radiação significativa, sujeita a alguma corrente de ar localizada, ou ainda estar sobre algum tipo de piso frio ou aquecido, e assim sendo, não estar em condições de conforto térmico.

Considerando esses tipos de desconforto localizado, para que se possa atingir o conforto térmico, Lamberts e Xavier (2002) apontam as três condições básicas listadas abaixo:

- a) que o indivíduo esteja em neutralidade térmica;
- b) que a temperatura da pele e a taxa de secreção de suor estejam dentro dos limites compatíveis com a atividade desenvolvida;

- c) que a pessoa não esteja sofrendo nenhum desconforto localizado.

Embora não seja o objetivo desse trabalho avaliar as condições de desconforto térmico localizado, considera-se importante listar os valores limites sugeridos pela ISO 7730 (1994) para que menos de 5% dos ocupantes sintam esse tipo de desconforto:

- a) a umidade relativa do ar deve estar entre os limites de 30% e 70%;
- b) a diferença entre a temperatura do ar, ao nível dos tornozelos (10cm), e da cabeça (1,10m considerando a pessoa sentada), deve ser inferior a 3°C;
- c) a assimetria da temperatura radiante, a partir de janelas ou outra superfície vertical mais fria, deve ser menor que 10°C (considerando um pequeno plano vertical, localizado a 60cm do piso);
- d) a assimetria da temperatura radiante, a partir de um forro aquecido ou resfriado, deve ser menor que 5°C (considerando um pequeno plano horizontal localizado a 60cm do piso);
- e) a temperatura superficial dos pisos deve estar entre 19°C e 26°C (mas no caso de um sistema de aquecimento projetado, pode ser considerada a temperatura de 29°C, como limite superior);

Além das condições listadas acima, a ISO 7730 (1994) sugere o limite de 15% de pessoas insatisfeitas com as correntes de ar, considerando indivíduos em atividades leves ou sedentárias (1,2 met). Para a avaliação destas condições, a ISO 7730 apresenta um gráfico que correlaciona os valores de velocidade média do ar no ambiente, temperatura do ar e a intensidade da turbulência.

2.1.4 Aclimação

Observa-se que os limites de conforto sugeridos pela ISO 7730 (1994), para a umidade relativa, são bastante restritos. Em Porto Alegre, por exemplo, valores externos de umidade relativa superiores a 70% são registrados na maior parte das horas do ano. Deve-se ressaltar,

no entanto, que as normas internacionais sugerem condições ótimas, recomendando valores limites que, muitas vezes, só podem ser alcançados com a utilização de condicionamento artificial. Na maioria das vezes, essa solução não reflete a realidade vivenciada pelas classes menos favorecidas, em países em desenvolvimento.

Nesse sentido, Szokolay (1980) afirma que não se pode desconsiderar a aclimação dos indivíduos ao local onde habitam, visto que é normal ocorrer um ajuste fisiológico do organismo às condições a que está submetido durante a maior parte do tempo⁵.

Segundo Givoni (1998), as pessoas que vivem em países de clima quente, preferem temperaturas mais elevadas que aquelas recomendadas pelas normas adotadas em países desenvolvidos. Na opinião do autor, podem ocorrer algumas discrepâncias quando os limites de conforto da ASHRAE e da equação de conforto de Fanger são adotados para avaliar as condições térmicas de construções, sem condicionamento artificial, em locais de clima quente e úmido. A principal crítica diz respeito ao valor máximo da velocidade do ar no interior das edificações residenciais, que, segundo o autor, é muito baixo (0,8 m/s). A justificativa apresentada por Givoni (1998) é que, as pessoas que habitam países quentes e úmidos aceitam bem os valores de velocidade do ar de até 2 m/s, dentro de edificações residenciais, desde que isso não cause transtornos no ambiente (levantar papéis, por exemplo).

Givoni (1992), apresenta como exemplo, o caso da cidade de Colima - México, onde um estudo baseado na zona de conforto da ASHRAE apontava a necessidade do uso de ar condicionado durante todo o verão (dia e noite). No entanto, observou-se que quase todas as construções de Colima não eram condicionadas e que, mesmo assim, seus moradores consideravam o período entre as horas mais tardias da noite e as primeiras horas da manhã como confortáveis no verão (tanto fora, quanto dentro das edificações).

Outra situação semelhante ocorreu em um estudo conduzido por Barbosa (1997), que após aplicar questionários e realizar medições em várias unidades habitacionais na cidade de Londrina-PR, verificou que existia uma boa aceitação, por parte dos moradores entrevistados, para valores de umidade entre 80 e 90%, desde que combinados aos valores de temperatura de

⁵ Um exemplo de adequação do organismo às condições locais, comumente lembrado durante os embates futebolísticos sul-americanos, ocorre nas elevadas altitudes dos países andinos, onde a baixa pressão atmosférica e menor quantidade de oxigênio causa desconforto e diminuição do rendimento físico nos atletas estrangeiros, enquanto que os atletas locais nada sentem por estarem adaptados àquelas condições.

bulbo seco, enquadrados na faixa dos 18°C aos 29°C. Os dois exemplo citados, de certa forma, refletem a aclimação dessas pessoas ao clima do local onde vivem.

2.1.5 Zona de Conforto

Para definir limites de conforto específicos, correlacionando os valores de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar, Givoni (1976) propôs um diagrama bioclimático, denominado *Building Bio-Climatic Chart* (BBCC). A zona de conforto é representada sobre uma carta psicrométrica, considerando condições de vestimenta usual e atividade sedentária, levando em conta o efeito da edificação sobre o ambiente interno.

Posteriormente, em virtude das observações relacionadas às questões de aclimação dos indivíduos aos climas quentes e úmidos, Givoni (1992) propôs uma nova versão do seu diagrama bioclimático, para habitantes de países em desenvolvimento. Considerando condições de baixa velocidade do ar (0,15 m/s, para o inverno e 0,25 m/s, para o verão), o autor recomenda para o interior das edificações, temperaturas variando entre 18 e 29°C. A umidade pode variar de 4 g/kg a 15g/kg de conteúdo de vapor no inverno, e de 4 g/kg a 17 g/kg no verão, nunca ultrapassando a curva dos 80% de umidade relativa do ar. A variação de temperaturas, sugeridas para as condições aceitáveis para pessoas que habitam países desenvolvidos (clima temperado) é de 18°C a 25°C no inverno e 20°C a 27°C no verão, sendo o limite máximo de temperatura aplicável em níveis baixos de umidade (abaixo de um conteúdo de vapor de 10 a 12 g/kg). A altas umidades, o limite máximo de temperaturas decresce progressivamente e o limite máximo de umidade, em termos de umidade absoluta, é de 15 g/kg.

Na carta psicrométrica da figura 4 é apresentada a zona de conforto de Givoni (1992), com os limites de temperatura e umidade relativa do ar citados acima, tanto para países desenvolvidos, como para países em desenvolvimento e de clima quente.

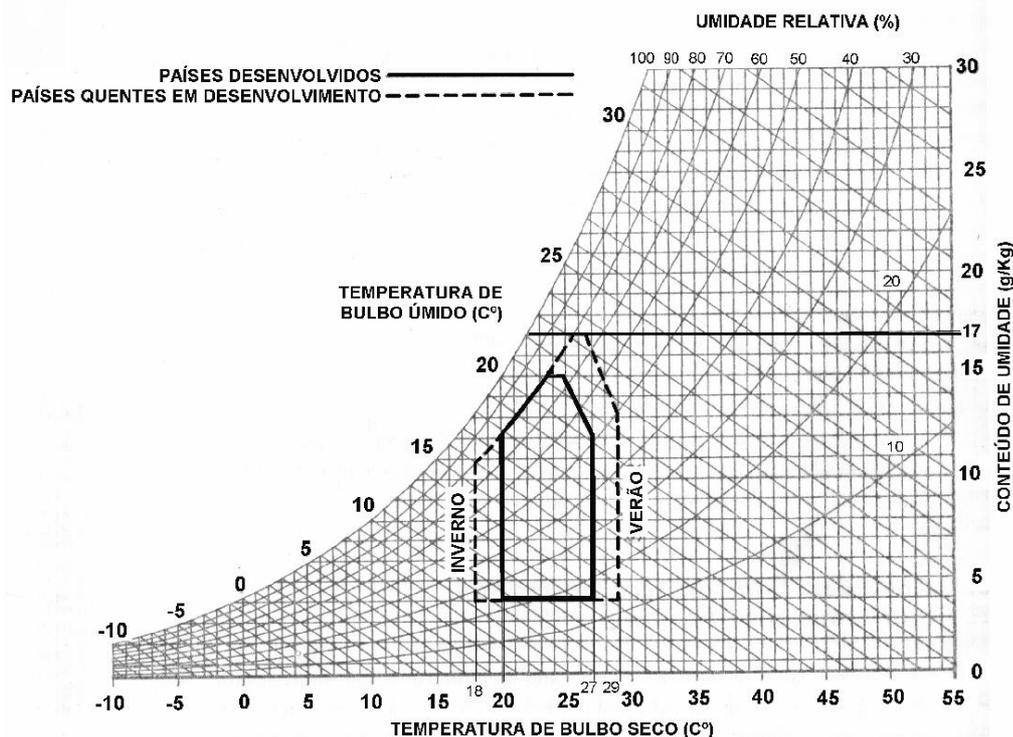


Figura 4: zona de conforto estabelecida por Givoni em 1992 (fonte: GIVONI, 1997)

Observa-se, portanto, que Givoni (1992) elevou em 2°C, o limite superior de temperatura, e em 2 g/kg, o limite superior do conteúdo de vapor por quilograma de ar seco, considerando a aclimação dos indivíduos que vivem em países de clima quente, onde a maioria dos edifícios não possui condicionamento artificial. Deve-se observar, também, que os limites superiores de temperatura (27°C e 29°C, para inverno e verão, respectivamente) somente são aceitáveis para valores de umidade relativa inferiores a 50%. Entretanto, o autor afirma que podem ser aceitos valores de até 32°C, desde que a velocidade do ar seja equivalente a 2 m/s (excluindo ambientes onde haja trabalhos de escritório, pois o vento pode causar transtornos levantando papéis, por exemplo).

Um aspecto referente à adoção dos limites de conforto de Givoni, para países em desenvolvimento, diz respeito à localização do Rio Grande do Sul dentro da área de clima subtropical do território brasileiro (região sul). Nesse sentido, Silva (1994) afirma que a maioria dos habitantes desta região também vive em edifícios não-climatizados e, portanto, estão acostumados a variações climáticas maiores do que os habitantes de países desenvolvidos. Assim sendo, na região sul, entende-se que poderiam ser adotados os mesmos limites de conforto sugeridos por Givoni, para países em desenvolvimento e de clima quente.

Dutra (1994) afirma que em regiões como o sul do Brasil, são encontradas três situações climáticas diferentes ao longo do ano - os meses frios do inverno, os meses quentes do verão e os meses amenos do outono e da primavera. Como os limites de conforto sugeridos por Givoni (1992) para países em desenvolvimento, são específicos para o inverno (temperatura do ar entre 18 e 27°C) e para o verão (temperatura do ar entre 20 e 29°C). O autor questiona, então, qual seria a forma mais coerente de avaliar os meses intermediários do outono e primavera, já que não existe nenhuma recomendação para essas estações do ano. Nesse sentido, Dutra (1994, p. 64) sugere que sejam adotados os valores intermediários:

[...] no inverno é mais fácil se perder calor, enquanto que no verão é mais fácil ganhar-se calor. Ora, nos meses intermediários, onde as temperaturas tendem a ser mais amenas, pode-se ganhar ou perder calor igualmente. Por esse motivo, a zona de conforto proposta para estes períodos é um pouco mais estreita, entre os 20°C e os 27°C, garantindo uma pequena folga de 2°C tanto no limite superior como no inferior para ganhos ou perdas de calor não previstos [...]

Por outro lado, Barbosa (1997, p. 171-172), que realizou a avaliação de edificações térreas de padrão popular em Londrina-PR, não faz nenhuma diferenciação em relação às diferentes estações, adotando os valores extremos de 18°C e 29°C ao longo de todo o ano e sugerindo, até mesmo, uma elevação do limite superior da zona de conforto ampliando os valores de umidade relativa do ar de 80% para 90%:

O levantamento realizado e a análise feita dentro da carta psicrométrica com a zona de conforto de Givoni, mostram que para as variações de umidade, são desnecessárias as preocupações com o limite superior, podendo a zona de conforto se estender naturalmente até a 90% de umidade relativa [...]. Para a metodologia proposta neste trabalho, o parâmetro considerado para avaliação terá por base somente os limites de temperaturas internas. Assim, o critério básico para avaliação de desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares pode ficar restrito aos limites de temperaturas entre 18°C e 29°C, sendo que na avaliação, a verificação pode ser efetivada pela quantidade de horas por ano em que o ambiente interno apresenta temperaturas fora do intervalo de 18°C a 29°C.

Considera-se que as duas justificativas são coerentes com os objetivos a que os autores se propuseram. Pode-se, inclusive, acrescentar outros aspectos mais específicos, que poderiam ser tratados de forma específica, como por exemplo, as condições de temperatura abaixo dos 18°C, que ocorrem durante as madrugadas, quando todos estão dormindo e podem ter um nível de vestimenta maior.

Sob este aspecto, Aroztegui (1977) utilizou a sistemática proposta por Carl Mahoney para um diagnóstico primário do clima de Porto Alegre. O autor alerta que, em sua avaliação, foram

realizados alguns ajustes determinando uma correção nos valores originais dos limites de temperatura do ar. Dessa forma, segundo Aroztegui (1977, p. 74), poderiam ser adotados valores de "... 21°C a 27°C, para o período diurno, e 17°C a 20°C, para o período noturno".

2.2 ESTUDOS DE CASO NA REGIÃO SUL DO BRASIL

Ao longo da revisão bibliográfica foram encontrados alguns estudos de caso, realizados na região sul do Brasil (área de clima temperado do território brasileiro), que apresentam metodologias e considerações importantes, muitas das quais foram adotadas no trabalho aqui proposto. Alguns desses estudos são relatados de forma sucinta nos próximos itens.

2.2.1 Rio Grande do Sul

Nos itens seguintes são apresentados dois estudos, com medições *in loco*, realizados no estado do Rio Grande do Sul. O primeiro, uma edificação de interesse social construída na cidade de Cachoeirinha, e o segundo, uma bancada experimental construída na cidade de Pelotas.

2.2.1.1 Análise de Desempenho Térmico de uma Habitação Unifamiliar Térrea em Cachoeirinha

Realizou-se um estudo prático na cidade de Cachoeirinha-RS, durante o outono de 1990, no protótipo habitacional denominado Casa AGLOTEC, desenvolvido pela Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC). Esse caso é importante por tratar-se de um dos primeiros estudos, dentro da área de avaliação de desempenho térmico de edificações, realizados no estado do Rio Grande do Sul.

Segundo Becker (1992), nesse experimento, as temperaturas externas, internas, superficiais e de globo, foram monitoradas, de 10 em 10 minutos, no período de 28 de março a 02 de junho de 1990 (dias não consecutivos).

Para a referida pesquisa, os dados climáticos externos (temperatura, umidade relativa e velocidade de ventos) foram obtidos a partir dos registros da estação meteorológica do Aeroporto Salgado Filho de Porto Alegre, distante, aproximadamente 10km do protótipo. Os dados de radiação solar foram obtidos junto ao 8º Distrito Meteorológico localizado a, aproximadamente, 20km de distância do protótipo.

O protótipo, focado no experimento, apresentava cobertura em telhas onduladas de cimento amianto, forro em tábuas de pinho, paredes de tijolos maciços rebocado, com 25cm de espessura externa e 15cm de espessura interna.

A avaliação não considerou ganhos internos de calor, visto que o protótipo estava desocupado durante as medições. Com relação às esquadrias, Becker (1992) afirma que as janelas e portas foram fechadas e as frestas vedadas para impedir a infiltração de ar externo durante o experimento. Segundo a autora, para a caracterização das exigências humanas de conforto adotou-se o critério de Fanger.

De acordo com a análise de Becker (1992), o desempenho térmico da habitação (protótipo) pode ser enquadrado como aceitável, em função de atender aos critérios da metodologia Fanger, embora não satisfaça totalmente as exigências da ASHRAE 55-81. Deve-se lembrar que essa aceitação está limitada aos critérios adotados e, principalmente, às condições climáticas existentes no período de medição (outono).

Becker (1992), ao final do trabalho, aponta a necessidade de se estender o período de medição para as condições de inverno e de verão, que são mais representativos para a avaliação de situações de frio e calor do que o outono. Segundo a autora, os intervalos de leitura poderiam ser de 30 ou de 60 minutos, sem que houvesse prejuízo na qualidade dos resultados buscados.

Quanto aos tipos de dados coletados, concluiu-se que, em experimentos futuros, seria importante coletar dados de umidade e considerar as condições de uso e ocupação - carga térmica de pessoas, equipamentos, iluminação e a influência do modo de operação das aberturas - para se ter condições de realizar uma avaliação térmica completa.

Apesar de ser pouco conclusivo, por não apresentar uma avaliação para os períodos de inverno e verão, o trabalho de Becker (1992) traz muitas considerações relevantes, principalmente no que se refere ao método de coleta de dados, variáveis de uso da edificação e recomendações para trabalhos futuros.

2.2.1.2 Estudo Experimental do Desempenho Térmico de Coberturas Planas - Vegetação e Terraço

Pouey (1998) realizou um estudo experimental do comportamento de dois tipos de coberturas planas, através do monitoramento de uma bancada experimental, construída na cidade de Pelotas/RS. As medições ocorreram em dois períodos, no verão, nos meses de janeiro e março e no inverno, nos meses de maio e junho de 1996.

Na análise do desempenho térmico foram comparadas as temperaturas obtidas nas diferentes coberturas (verde e terraço), bem como os dados de temperatura do ar no exterior e interior da bancada e a temperatura de globo. Além disso, outras variáveis como velocidade e direção do vento, radiação solar global diária, precipitação, temperaturas máximas e mínimas, gráficos de umidade relativa e temperatura do ar foram obtidos junto a Estação Agroclimatológica da EMBRAPA de Pelotas (localizada nas proximidades do experimento).

Com relação à periodicidade de leitura, o equipamento foi programado para realizar varreduras de coletas de dados em intervalos de 30 minutos, durante 24 horas por dia. Pouey (1998) apresenta os gráficos comparativos das temperaturas medidas nos dois tipos de cobertura e no exterior, bem como os comentários referentes aos resultados encontrados para cada período de medição considerado (verão e inverno).

Em suas conclusões gerais, Pouey (1998, p.142) afirma que:

[...] a cobertura verde apresentou melhor resposta, nas condições de verão, e comportamento térmico semelhante ao terraço, em condições climáticas de inverno. Afora isto, todos os seus materiais constituintes sofreram menores variações de temperatura; e mais, os coeficientes de amortecimento térmico revelaram que esta tem maior capacidade de amortecer a onda térmica externa [...] por isso, a cobertura verde é uma alternativa viável para coberturas planas, que pode proporcionar um espaço diferenciado de lazer e contemplação, além de funcionar com bom isolamento térmico e garantir desempenho térmico adequado.

Como sugestão para trabalhos futuros, Pouey (1998) salienta a importância da realização de estudos comparativos da relação custo/benefício de diferentes coberturas verdes, bem como a verificação do aumento percentual do custo da estrutura necessária, em diferentes tipos de coberturas verdes.

2.2.2 Santa Catarina

Papst (1999) realizou um estudo, no qual foram monitoradas as temperaturas de bulbo seco, no interior de quatro edificações residenciais, na cidade de Florianópolis-SC. As edificações foram selecionadas com base nas diferenças de capacidade e transmitância térmica de suas coberturas e dos fechamentos laterais. A autora propõe que a inércia térmica das construções pode ser uma estratégia importante juntamente com o uso de aquecimento solar passivo no período frio. Quando a inércia é associada ao uso de ventilação noturna, pode constituir uma importante estratégia de resfriamento passivo, no período quente de Florianópolis-SC.

Para o monitoramento das edificações foram utilizados sensores de temperatura do ar, do tipo *data loggers* HOBO, instalados em diferentes compartimentos e também no exterior de cada uma das casas. Os valores foram registrados em intervalos horários, durante os meses de abril a dezembro de 1998. Deve-se salientar que as edificações estavam ocupadas por moradores durante o período de estudo.

Os dados medidos foram analisados através de gráficos de distribuição de temperatura, amplitude térmica, amortecimento térmico, atraso térmico, carta bioclimática de Givoni, grau médio e horas acima ou abaixo de determinadas temperaturas estipuladas. O método de coleta de dados e análise dos resultados é relatado pela autora (PAPST, 1999, p. 159):

As medições resumiram-se à coleta de TBS interna e externamente em cada edificação. Os dados horários de TBS foram plotados em base horária, calculou-se as amplitudes diárias, o amortecimento térmico diário superior e inferior, e o atraso térmico diário. Outras duas formas usadas para analisar os dados foram o uso da carta bioclimática de Givoni, e o somatório de graus hora. Com o uso da carta bioclimática de Givoni, analisou-se a porcentagem de horas em conforto e desconforto externo, com as horas de conforto e desconforto procedentes das temperaturas medidas nos ambientes internos. No somatório de graus hora, analisou-se a partir de determinadas bases de temperatura, se a temperatura interna encontrava-se acima, ou dependendo do caso, abaixo da base estipulada. Os resultados usados foram o somatório de horas, e o grau médio, que é o somatório de graus hora pelo número de horas acima/abaixo da base.

Como conclusões, Papst (1999, p. 160) afirma que:

Pelas medições e suas diversas formas de análise percebe-se a vantagem do uso de inércia térmica no uso do fechamento lateral, tanto para o período quente, quanto para o período frio. Os resultados da pesquisa mostraram que a residência que têm maior inércia térmica, mas com boa orientação solar, apresentou os melhores resultados durante todo o período analisado. Por isto, não se pode afirmar que o uso de inércia térmica não é recomendado para os períodos quentes em Florianópolis,

pois o clima do verão não é constantemente quente devido às entradas de frentes frias. Edificações com pouca inércia térmica tem de ter um ganho de calor interno para evitar que as mínimas temperaturas externas ocasionem desconforto por frio.

No trabalho de Papst (1999), deve-se comentar os resultados obtidos com a avaliação pela carta bioclimática de Givoni. Os gráficos apresentados pela autora mostram que, a maioria dos valores de temperatura do ar interno, localizam-se dentro dos limites de 18°C a 29°C. Entretanto, como os valores adotados para a umidade relativa do ar apresentaram valores superiores a 80% (foram utilizados valores fornecidos pelo Labsolar da UFSC, os quais não foram medidos no interior das edificações estudadas), o percentual de horas de conforto, no interior da residência com melhor desempenho térmico, foi igual a 35,9%, que pode ser considerado baixo, levando-se em conta o padrão construtivo da edificação⁴ e o percentual de horas de conforto externo, que foi igual a 27,9%.

Com relação à medição da umidade relativa do ar, Papst (1999) sugere que, em futuros trabalhos, os valores de umidade sejam medidos conjuntamente aos de temperatura de bulbo seco, no interior das edificações, para evitar resultados discrepantes.

No que se refere ao critério do somatório dos graus-hora, embora Papst (1999) não tenha apresentado os valores calculados na dissertação (os dados foram disponibilizados na Internet), o procedimento de cálculo é bastante simples e sua utilização se apresenta como uma alternativa viável a ser adotada neste trabalho.

2.2.3 Paraná

Barbosa (1997), propõe uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares na cidade de Londrina/PR. O trabalho considera muitas variáveis e analisa detalhadamente cada uma delas.

A revisão bibliográfica é composta por um levantamento das pesquisas existentes em nível nacional e internacional, envolvendo as questões pertinentes às metodologias para avaliação de desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares. Como complemento, foram enfocados, também:

- a) revisão sobre os índices e zonas de conforto térmico;
- b) métodos para tratamento de dados climáticos de interesse para a edificação;
- c) ferramentas para simulação de desempenho térmico de edificações.

A partir de um estudo preliminar, foi definida a amostragem, composta por cinco tipologias construtivas diferentes, consideradas como as mais representativas entre aquelas existentes em Londrina/PR. Estas tipologias construtivas são listadas abaixo:

- a) de ardósia;
- b) de argamassa armada;
- c) de concreto monolítico;
- d) de blocos de concreto;
- e) de alvenaria de tijolos cerâmicos furados.

O critério adotado para o estabelecimento dos limites de conforto em Londrina, foi formulado a partir de duas considerações básicas: a zona de conforto de Givoni, para países em desenvolvimento e de clima quente e, a viabilidade técnica e econômica para facilitar a adoção das recomendações de melhorias (tipologia de casa mais construída por questões culturais). Segundo a autora, a zona de conforto de Givoni (1992) apresenta um intervalo de temperaturas maior que as zonas de conforto da ASHRAE, e 92% das respostas de conforto coletadas no levantamento de campo realizado, caíram neste intervalo.

A análise sobre a zona de conforto de Givoni foi efetivada considerando a quantidade de horas em que as temperaturas internas se apresentam fora da zona de conforto (horas de desconforto por calor ou por frio ao longo do ano).

A partir do estudo e validação de vários programas de simulação existentes na época, foi escolhido o programa denominado “COMFIE”, por ser, segundo Barbosa (1997), o mais adequado para o experimento em questão. O arquivo climático TRY (ano climático de

⁴ As paredes externas dessa residência são compostas por tijolos de dois furos no exterior, uma câmara de ar de 10cm no meio e tijolos maciços na face interna. Na cobertura foram usadas telhas de barro claras, folhas de alumínio logo abaixo das ripas e forro de madeira embaixo dos caibros.

referência) de Londrina, do ano de 1986, foi fornecido ao programa para proceder estas simulações. Os elementos construtivos foram transformados em dados de entrada para o programa, da mesma forma como foram montados para as simulações, com as cinco casas estudadas em Londrina. A partir disso, obteve-se o número de horas de desconforto, ao longo de um ano, para as diferentes tipologias.

Com relação aos limites de desempenho térmico das edificações, Barbosa (1997, p.214) sugere o número máximo de 1000 horas de desconforto como sendo adequado para a aceitação de edificações populares em Londrina/PR:

[...] é possível estabelecer o limite aceitável de desempenho térmico, em 1000 horas de desconforto anual o que corresponde ao referencial cultural com um pequeno benefício de baixo custo. Isto significa pouco mais de 10% de horas anuais de desconforto no interior da habitação.

Como conclusão do trabalho, Barbosa (1997) apresenta a nova metodologia desenvolvida para avaliação de desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares, que consiste, portanto, da confirmação de uma zona de conforto térmico, o ajuste de uma ferramenta de simulação horária anual, frente a diferentes sistemas construtivos, e o estabelecimento de um limite de horas anuais de desconforto baseado em um referencial cultural (sistema construtivo mais utilizado).

2.3 LIMITES DE CONFORTO E PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO

Nos itens seguintes serão apresentados os valores limites de conforto e os parâmetros de avaliação adotados neste estudo.

2.3.1 Zona de Conforto de Givoni

Com a finalidade de avaliar o desempenho térmico da edificação estudada, comparar-se-ão os resultados obtidos com os critérios da zona de conforto, para países em desenvolvimento, estabelecida por Givoni (1992). Bogo et al. (1994), propõem a adoção da carta Bioclimática

para Edifícios de Givoni, por que esta apresenta melhores condições de aplicação para o Brasil. Lamberts et al (1997, p.105) reforçam esta afirmação:

[...] recentemente foi desenvolvido um trabalho que faz uma revisão bibliográfica abordando o tema bioclimatologia a ser adotada para o Brasil. Neste estudo foram analisadas as metodologias de vários autores, entre eles Watson e Labs, Olgyay, Givoni e Szokolay. Com base nas análises, concluiu-se que o trabalho de Givoni de 1992, para países em desenvolvimento, é o mais adequado às condições brasileiras [...]

Segundo Lamberts et al. (1997, p.106), a zona de conforto delimitada por Givoni consegue enquadrar uma faixa relativamente ampla de condições, nas quais o indivíduo pode sentir-se confortável:

[...] nas condições delimitadas por essa zona haverá uma grande probabilidade de que as pessoas se sintam em conforto térmico no ambiente interior. Percebe-se que o organismo humano pode estar em conforto mesmo em diversos limites de umidade relativa (entre 20% e 80%) e de temperatura (entre 18°C e 29°C), em países em desenvolvimento [...]

Além disso, em um estudo realizado por Silva (1994), com o auxílio de um programa desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina, o índice de PMV foi aplicado sobre os limites da zona de conforto estabelecida por Givoni (1992), sendo adotadas as seguintes variáveis:

- a) metabolismo - pessoa deitada relaxada (58W/m²);
- b) vestimenta - 0,5 clo, 1,2 clo e 1,4 clo (três simulações diferentes);
- c) temperatura radiante média - igual à temperatura do ar;
- d) Velocidade do ar - 0,25 e 0,15 m/s.

Silva (1994) adotou os mesmos valores de PMV recomendados por Akutsu et al. (1987), para a avaliação de habitações no Brasil, ou seja, um percentual de pessoas insatisfeitas (PPD) igual a 20%, que corresponde a um voto médio estimado que varia de -0,82 a +0,82.

Ao todo, foram realizadas seis simulações para diferentes combinações de variáveis humanas e ambientais, adotando os limites de temperatura e umidade relativa do ar, que correspondem

aos extremos da zona de conforto de Givoni, para países em desenvolvimento. Os resultados encontrados podem ser visualizados no quadro da figura 5.

Temp. do Ar (°C)	Umid. Relat. (%)	Vel. do Ar (m/s)	Metabolismo (W/m ²)	Vestimenta (clo)	PMV
29	50	0,25	58	0,5	0,9
29	12	0,25	58	0,5	0,5
26,7	75	0,25	58	0,5	0,2
25,5	80	0,25	58	0,5	-0,1
18	80	0,15	58	1,2	-0,8
18	28	0,15	58	1,4	-0,8

Figura 5: quadro com valores de PMV, calculados sobre os limites da zona de conforto de Givoni (fonte: SILVA, 1994, p. 35)

Os valores de PMV calculados demonstraram que os limites da zona de conforto de Givoni (1992) estão, quase que em sua totalidade, englobados dentro de padrões que se admite deverão ser considerados aceitáveis pela maioria da população (80% dos indivíduos).

Além disso, quando as condições de temperatura e umidade de um determinado local são sobrepostas à carta psicrométrica, é possível verificar o percentual de pontos que se encontram dentro da zona de conforto. Os pontos que não se encontram dentro da zona de conforto caem nas outras zonas de estratégias bioclimática (figura 6).

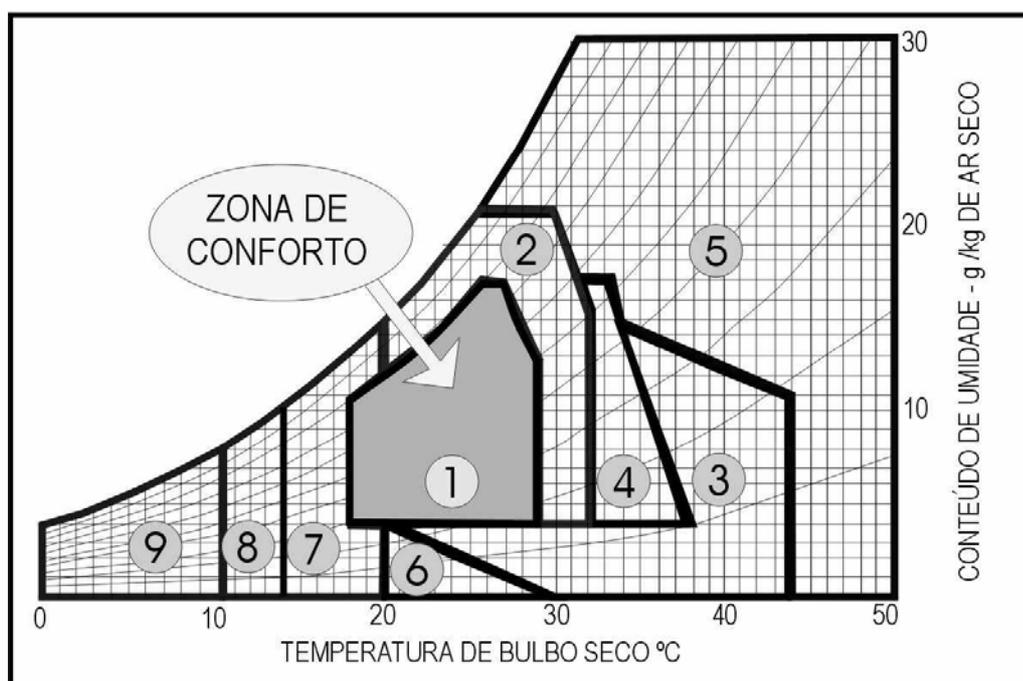


Figura 6: zona de conforto proposta por Givoni, para países em desenvolvimento (baseado em Lamberts et al. 2000, p.15)

Observa-se que podem ser identificadas nove zonas de estratégias, a serem seguidas para atingir as condições de conforto em um projeto bioclimático:

- a) zona 1 - de conforto;
- b) zona 2 - de ventilação;
- c) zona 3 - de resfriamento evaporativo;
- d) zona 4 - de massa térmica para resfriamento;
- e) zona 5 - de ar-condicionado;
- f) zona 6 - de umidificação;
- g) zona 7 - de massa térmica para aquecimento;
- h) zona 8 - de aquecimento solar passivo;
- i) zona 9 - de aquecimento artificial.

A única ressalva feita por Bogo et al. (1994), em relação aos limites das zonas de conforto, estabelecidos por Givoni, diz respeito a fato de que este não estabelece a estratégia a ser adotada, quando as condições climáticas caem dentro de uma interseção de duas ou mais zonas.

Posteriormente, Lamberts et al. (1997 p.114) afirmam que nas zonas de intersecção podem ser empregadas quaisquer das estratégias sobrepostas, propondo que a análise climática de cada local do país seja feita a partir dos valores horários do Ano Climático de Referência (TRY). Os autores sugerem também que sejam traçadas as estratégias a partir do percentual de horas inserido em cada uma das zonas da carta bioclimática para cada cidade:

[...] através do Ano Climático de Referência, que contém valores horários de temperatura e umidade relativa, entre outros, pode-se plotar os dados de diversas cidades brasileiras diretamente sobre a carta bioclimática, obtendo-se quais as estratégias mais adequadas para cada período do ano. As cartas bioclimáticas, com as estratégias foram construídas para cada uma das cidades analisadas e fornecem uma indicação visual sobre o comportamento climático ao longo do ano...para visualizar essas indicações de forma prática tem-se, nas tabelas geradas, os percentuais das horas do ano em que ocorre conforto ou desconforto térmico [...]

De acordo com o procedimento sugerido, realizado para a cidade de Porto Alegre por Lamberts et al. (1997), é possível verificar que a capital gaúcha está submetida a uma grande variação climática ao longo do ano, e que um percentual considerável das horas de desconforto é decorrente da alta umidade relativa (acima de 80%) e das baixas temperaturas (inferiores a 18°C). No quadro da figura 7 é possível visualizar a distribuição dos percentuais de cada zona da carta bioclimática a partir do ano climático de referência.

CONFORTO					22,4%
DESCONFORTO	Frio	Massa Térmica/Aquecimento Solar	33,7%	51,6%	77,5%
		Aquecimento Solar Passivo	11,7%		
		Aquecimento Artificial	6%		
	Calor	Ventilação	19,5%	25,9%	
		Ventilação/Massa	0,2%		
		Ventilação/Massa/Resfr. Evap.	3,7%		
		Massa Térmica p/ Resfriamento	0,1%		
		Massa/Resfriamento Evaporativo	0,5%		
		Resfriamento Evaporativo	0,03%		
		Ar Condicionado	1,4%		
Umidificação	0%				

Figura 7: quadro das estratégias bioclimáticas para Porto Alegre (fonte: LAMBERTS et al. 1997, p. 117)

No que se refere ao uso da estratégia de aquecimento artificial, Lamberts et al. (2000, p 18), afirmam que este "... deve ser utilizado apenas em locais extremamente frios, com temperatura inferior a 10,5°C, em que a estratégia de aquecimento solar passivo não seja suficiente para produzir a sensação de conforto".

Embora essas estratégias sejam premissas básicas de um projeto bioclimático, elas podem ser utilizadas para verificar o comportamento térmico de uma edificação. A partir da inserção dos dados de umidade relativa e temperatura do ar sobre a carta psicrométrica, poderão ser comparadas as condições externas com as internas e estabelecidas as estratégias para melhorar o desempenho térmico do protótipo Alvorada.

2.3.2 Parâmetro de Avaliação Proposto por Barbosa

Também se considera como válido o "método das horas anuais de desconforto", sugerido por Barbosa (1997), para habitações térreas padrão COHAB em Londrina-PR. Através de simulações computacionais, são quantificadas as horas de calor e de frio no interior das

edificações. Até um determinado número de horas de desconforto, a edificação é considerada aprovada para o aspecto de conforto térmico. Acima deste valor, devem ser adotadas medidas que diminuam o número de horas de desconforto interno.

Na avaliação por desempenho, a edificação deve ser simulada e estabelecidas as horas de desconforto anuais. Para o caso específico da região de Londrina, adotam-se os seguintes critérios: se a quantidade de horas anuais, fora da zona de conforto, for menor que 1000 horas, a edificação será considerada dentro do limite aceitável para desempenho térmico. Se a quantidade de horas, fora da zona de conforto, for maior que 1000 horas, a edificação avaliada será considerada fora do limite aceitável de desempenho térmico.[...] sendo entendido como horas de desconforto aquelas que estão fora dos limites de temperaturas da zona de conforto de Givoni (18°C a 29°C) [...] (BARBOSA, 1997, p.217-218).

No caso específico dessa dissertação, as simulações poderão ser substituídas pela medição e comparação das variáveis ambientais, configurando valores mais confiáveis que qualquer simulação.

Com relação ao número de horas de desconforto, deve ser feita uma ressalva, visto que, para cada cidade deverá ser estabelecido um limite que considere as especificidades do clima e cultura local. Observa-se, por exemplo, o caso dos iglus construídos no pólo Norte, onde a temperatura externa chega facilmente aos 20°C negativos, e qualquer amortecimento que deixe a temperatura interna igual a 0°C, sem o aquecimento adicional com fogueiras, será mais do que apropriado dadas as condições externas (mesmo que não esteja dentro da zona de conforto proposta por givoni).

2.3.3 Grau-Hora e Grau Médio

Com relação à temperatura do ar, deve-se ressaltar que, em alguns casos, apenas a quantificação das horas de desconforto não é suficiente para demonstrar o abrandamento das condições térmicas externas. Isso porque, se considerarmos apenas as horas em que a temperatura do ar interno esteve abaixo (ou acima) de um valor limite (máximo ou mínimo), teremos um número absoluto⁶, que não necessariamente expressará a eficiência da envolvente construtiva frente as adversidades do clima.

⁶ Ao quantificar as horas em que a temperatura do ar está abaixo de 18°C, por exemplo, um valor de temperatura do ar igual a 17,9°C terá o mesmo peso que um valor de temperatura de 10°C, sem distinção.

Nesse sentido, o critério de graus-dia ou graus-hora, que é normalmente utilizado para estimar a energia necessária para refrigeração ou calefação de um ambiente (GOULART, 1993), pode ser adotado como um critério adicional de avaliação do envelope construtivo da edificação, em relação aos valores de temperatura medidos externamente.

Segundo Szokolay (1987), graus-dia é um parâmetro climático que pode ser definido como o somatório das diferenças de temperatura, quando esta se encontra abaixo de uma temperatura-base (T_b). Ou seja, toma-se como base um valor de temperatura de bulbo seco e calcula-se a temperatura média ($T_{méd}$) para cada dia do ano. Sempre que o valor médio diário for menor que a temperatura-base, calcula-se a diferença em graus ($T_b - T_{méd}$) e soma-se cada um dos 365 valores do ano (equação 1).

$$GD = \sum (T_b - T_{méd}) \quad (\text{equação 1})$$

Para o cálculo dos graus-hora o procedimento é semelhante, porém tomam-se os valores horários de temperatura (T_h) e não mais os valores médios de cada dia para o cálculo, conforme apresentado na equação 2.

$$GH = \sum (T_b - T_h) \quad (\text{equação 2})$$

Quando se utiliza os graus-hora para estimar a energia necessária para o resfriamento de um ambiente, a temperatura-base passa a ser o subtraendo da equação, conforme apresentado abaixo (equação 3).

$$GH = \sum (T_h - T_b) \quad (\text{equação 3})$$

Com relação à temperatura-base adotada, Peach (1977, apud LITTLER; THOMAS, 1984) afirma que, pode-se tomar como referência uma temperatura-base de 15,5°C, considerando que os ganhos internos, através de fontes de calor como aparelhos, lâmpadas e pessoas, podem elevar a temperatura em 2,8°C, atingindo o valor interno de 18,3°C, considerado confortável para os propósitos domésticos normais. Sob esse aspecto, Littler e Thomas (1984) adotam o ganho de calor interno de 2,8°C, como valor padrão em seus estudos, mas alertam

que na prática, esse valor deve ser verificado cuidadosamente, visto que em edificações altamente isoladas, os ganhos de calor interno podem deixar a edificação suficientemente aquecida, mesmo com temperaturas externas entre 12°C e 13°C (que poderiam ser adotadas como temperatura base para o cálculo de graus-dia).

Nesse sentido, a norma espanhola NBE-CT-79 (1979; apud GOULART, 1993) recomenda o valor de 15°C ao estabelecer os graus-dia anuais, para determinar a energia necessária para o aquecimento. Por outro lado, Evans e Schiller (1988), que desenvolveram trabalhos na Argentina, adotaram a temperatura-base de 14°C para os graus-dia anuais.

Goulart (1993), em seu estudo desenvolvido na cidade de Florianópolis-SC, propõe a adoção de diferentes temperaturas-bases, recomendando os valores de 14°C a 18°C, para aquecimento e 27°C a 29°C, para refrigeração. Entretanto, a autora alerta para as distorções que podem ocorrer quando são utilizados os valores de graus-hora, sem considerar o aquecimento interno:

Observa-se que os valores de graus-dia e graus-hora anuais, para aquecimento, resultaram maiores para refrigeração. Este resultado não é representativo na prática, pois se sabe, pela experiência, que em Florianópolis o período de calor é bem mais intenso que o de frio, necessitando-se mais de carga de refrigeração. Porém, o cálculo de graus-dia e graus-hora é baseado na temperatura externa e a sensação de calor no interior da edificação é acrescida por ganhos internos. Ou seja, no verão a temperatura aumenta, tornando-se desagradável e, conseqüentemente a carga de refrigeração precisa ser maior ou por muito mais tempo. Da mesma forma, no inverno a massa térmica da edificação e ganhos de calor internos amenizam o frio provocado por temperaturas externas mais baixas, necessitando-se, portanto, de menor carga de aquecimento no interior do ambiente (GOULART, 1993, p. 100).

Os valores de temperatura-base, sugeridos por Goulart (1993), podem ser utilizados para calcular os graus-hora para aquecimento e refrigeração, considerando-se as condições tanto no exterior como no interior do protótipo.

Além do grau-hora, Papst (1999, p. 50) sugere o conceito de grau-médio, que nada mais é que, "... a razão do somatório dos graus-hora, pelo número de horas em que a temperatura esteve acima, ou abaixo, da base estipulada, ou seja, a média dos graus hora".

O grau médio sugerido por Papst (1999) pode ser descrito na forma de uma equação simples apresentada abaixo:

$$G_{\text{med}} = \Sigma GH \div h \quad (\text{equação 4})$$

Os graus médios serão calculados a partir dos valores resultantes do somatório dos graus-hora e discutidos para cada uma das estações do ano estudado. Com isso acredita-se que a redução do desconforto, proporcionada pela envoltória construtiva, será representada de forma mais clara.

2.3.4 Atraso e Amortecimento Térmico

Rivero (1986) define o retardo, ou atraso térmico, como sendo o tempo que leva uma diferença térmica ocorrida em um dos meios para se manifestar na superfície oposta do componente. De forma semelhante, o projeto de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas 02:135.07-001 (1998a) enuncia o atraso térmico como "o tempo que transcorre entre os momentos de ocorrência da temperatura máxima do ar no exterior e no interior da edificação quando se verifica um fluxo de calor através de um componente construtivo submetido a uma variação periódica de temperatura".

As edificações têm a função, entre outras, de proteger os seres humanos das condições extremas de temperatura verificadas no exterior. Essa capacidade de diminuir a amplitude das variações térmicas externas é chamada de amortecimento térmico (RIVERO, 1986).

Os efeitos do amortecimento térmico são mais facilmente percebidos em locais com grandes variações de temperatura entre o dia e a noite. Nestes casos, a temperatura no interior dos edifícios não atinge os valores máximos, ou mínimos, constatados no exterior, apresentando uma curva mais suave para o gradiente interno. Através do esquema gráfico da figura 8, pode-se compreender melhor os conceitos de amortecimento e atraso térmico.

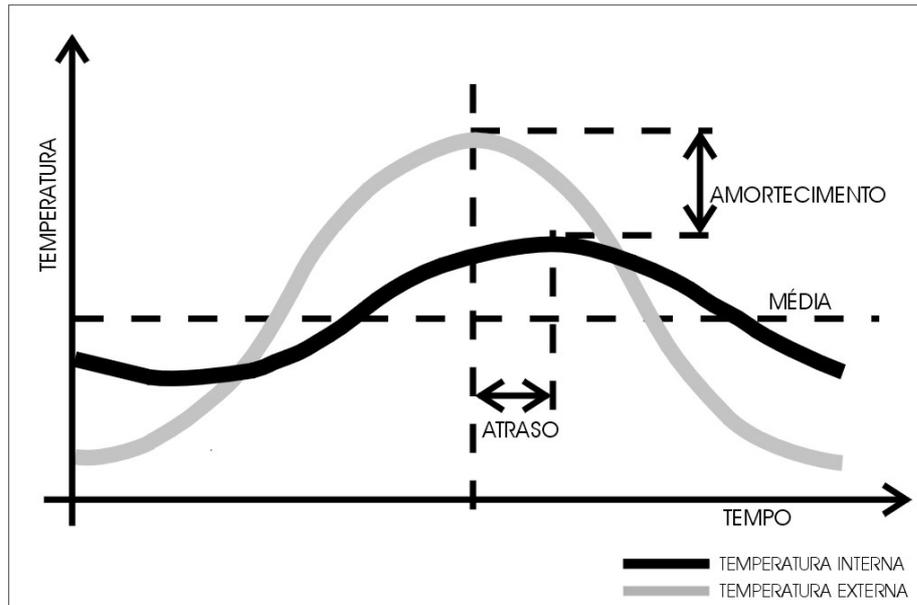


Figura 8: amortecimento e retardo térmico (baseado em Frota e Schiffer, 1988, p.40)

Na figura 8, a curva cinza é uma representação hipotética da variação da temperatura externa diária, enquanto que a curva negra é a resultante interna do abrandamento proporcionado pela envolvente construtiva. Assim, o amortecimento pode ser descrito na forma da equação apresentada abaixo:

$$A = T_{\text{ext máx}} - T_{\text{int máx}} \quad (\text{equação 5})$$

3 O PROTÓTIPO ALVORADA

O capítulo que segue tem o objetivo de relatar a história do projeto original do protótipo Alvorada, descrever o local de implantação do protótipo construído pelo NORIE/UFRGS e detalhar as estratégias bioclimáticas adotadas na fase de concepção do projeto, bem como as características termo-físicas dos elementos e materiais componentes da edificação.

A maior parte das informações contidas nesse capítulo, foi extraída dos Memoriais do Projeto - Protótipo de Habitação Sustentável de 1999. Muitos dados também foram conhecidos a partir de entrevistas não estruturadas (informais) com o coordenador do projeto, o professor Miguel Sattler, e com o Arq. Marco A. Maia (que participou da concepção do trabalho).

3.1 O PROJETO ORIGINAL

O processo de desenvolvimento do projeto do Protótipo “Alvorada” teve início com a análise das idéias propostas no Concurso Internacional ANTAC/PLEA 95 *Design Ideas Competition Sustainable Housing for Poor*, que visou discutir novos parâmetros para políticas habitacionais, segundo princípios sustentáveis. A partir das idéias propostas, uma equipe composta por alunos e professores do NORIE (Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação), passou a desenvolver um projeto de habitação para a cidade de Alvorada, através de convênio firmado com a Prefeitura daquele município.

A demanda partiu da Prefeitura de Alvorada - RS (daí o nome do protótipo), cidade limítrofe de Porto Alegre, com um sério problema de déficit habitacional. Conforme encontramos nas especificações do trabalho desenvolvido pela equipe do NORIE, desde os primeiros momentos os aspectos de sustentabilidade e adaptação à realidade da população local foram buscados com afinco (SATTLER e BONIN, 1999):

[...] o trabalho foi desenvolvido considerando a realidade sócio-econômica de Alvorada e dos futuros usuários, com uma abordagem baseada em sistemas regenerativos, para maior eficiência nos fluxos de materiais e energias de todo o sistema. Para assegurar a interação entre habitação e lote, algumas soluções foram aplicadas incluindo a consideração da orientação, ventilação cruzada, coletores solares para aquecimento d'água, coletores de água da chuva, paisagismo produtivo,

criação de pequenos animais, e tratamento de resíduos (leitos de evapotranspiração e compostagem) [...]

Entre os pressupostos e diretrizes básicas estabelecidos nas fases do projeto do protótipo podem ser destacadas as seguintes como principais:

- a) especificação, no projeto, de materiais compatíveis com os princípios de sustentabilidade e com os valores culturais da população;
- b) inclusão, no projeto, de relações espaciais que permitam a utilização da habitação por pessoas portadoras de deficiências físicas (acessibilidade universal);
- c) utilização de recursos da arquitetura bioclimática;
- d) utilização de tecnologias de fácil apropriação pelos usuários da habitação, de forma a permitir os processos de autoconstrução e/ou programas de mutirão.

Ainda, como definição final das idéias consideradas na concepção do projeto, pode-se citar o comentário de Rosa et al. (2001), “... o protótipo é, portanto, uma construção destinada a populações de baixa renda, que se insere em um processo de busca pelo desenvolvimento de referenciais mais sustentáveis para a produção da habitação e do ambiente urbano”.

Mas, apesar de todo o esforço da equipe do NORIE, o entusiasmo inicial do poder público de Alvorada foi diminuindo e nenhuma casa foi construída naquele município. Entretanto, com a divulgação do projeto, surgiu uma nova demanda na cidade de Nova Hartz (29,9°S; 50,9°W), Esta pequena cidade possui, aproximadamente, quinze mil habitantes, e está localizada na região metropolitana de Porto Alegre (MORELLO et al., 2003). Um pequeno assentamento foi implantado em uma área de 2,3 hectares localizada a 2km do centro da cidade. Oito casas foram construídas, sendo seis delas semelhantes ao protótipo Alvorada. Em julho de 2002, com a conclusão das obras, oito famílias ocuparam as habitações.

Entretanto, como freqüentemente ocorre em obras públicas direcionadas para população de baixa renda, muitas das proposições do projeto original acabaram não sendo contempladas no momento da execução das edificações naquela cidade. Alguns itens foram simplesmente desconsiderados pelos órgãos responsáveis pela execução das edificações. Assim, muitas das idéias originais acabaram sendo deturpadas.

Com o intuito de construir uma edificação que contemplasse todas as estratégias do projeto inicial, surgiu a idéia de edificar um protótipo no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Para isso, foram de grande valia os recursos financeiros fornecidos pelo FINEP e Caixa Econômica Federal, e a cessão de uma área junto ao Laboratório de Energia Solar, pelo Departamento de Engenharia Mecânica da UFRGS. Contando com a mão-de-obra dos alunos do NORIE, e com o trabalho permanente de um pedreiro e um auxiliar, iniciou-se a execução do protótipo.

3.2 A EDIFICAÇÃO

Nos próximos itens serão apresentados o local de implantação do protótipo, as estratégias adotadas na fase de concepção do projeto e as características dos elementos e materiais componentes da edificação.

3.2.1 Localização do experimento

O protótipo Alvorada, construído pelo NORIE, localiza-se no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, no bairro Agronomia da cidade de Porto Alegre (30° 02' S; 51° 13' W). No mapa da figura 9 é possível verificar a posição do bairro Agronomia, em relação ao centro da cidade de Porto Alegre.

O terreno pertencente ao Laboratório de Energia Solar está situado na entrada do Campus do Vale da UFRGS. No croqui da figura 10 estão locadas as construções importantes do terreno, bem como o protótipo Alvorada.



Figura 9: mapa esquemático dos bairros de Porto Alegre (baseado em: Companhia de processamento de dados do município de Porto Alegre - PROCEMPA, 2002)

Desde o momento da locação da obra no terreno, foram tomados cuidados referentes ao aproveitamento da vegetação do entorno, para que não fosse necessário cortar nenhuma árvore e, ao mesmo tempo, que a vegetação existente pudesse ser aproveitada para sombrear e proteger a fachada oeste, que comumente, é a face que recebe uma grande parcela da radiação solar diurna.



Figura 10: croqui da implantação do protótipo no Campus da UFRGS

3.2.2 Características da Construção

O protótipo Alvorada possui uma área construída de, aproximadamente, 48m^2 , no qual estão contemplados os seguintes compartimentos: dois dormitórios, uma sala de estar integrada à cozinha, um banheiro, uma varanda e uma pequena área de serviço aberta. A disposição dos ambientes, dimensões internas, pé direito e aberturas são apresentados na planta baixa da figura 11 e nos cortes da figura 12.

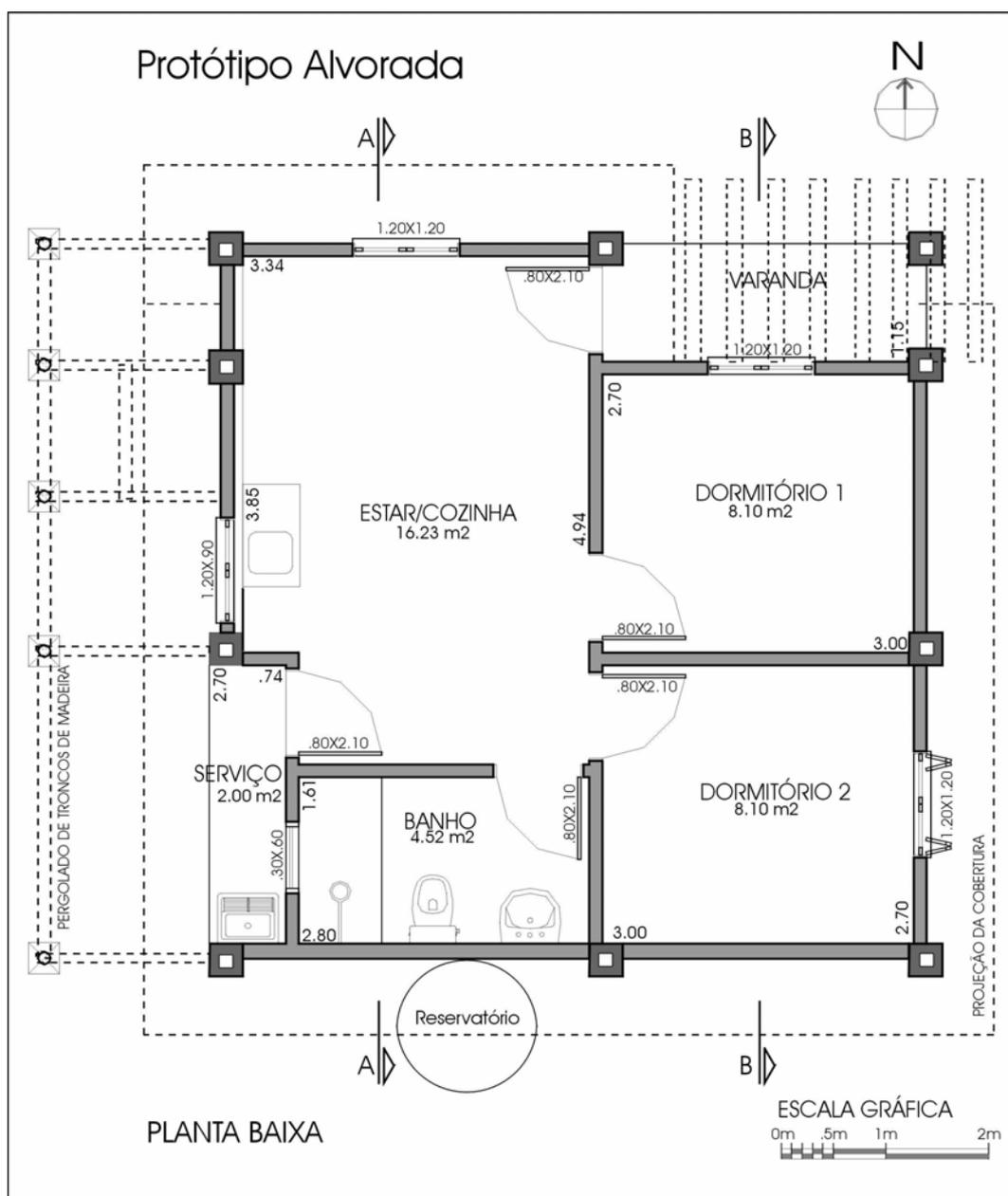


Figura 11: planta baixa do protótipo Alvorada

Considera-se importante ressaltar alguns aspectos de implantação propostos e executados, de forma a maximizar as técnicas passivas de controle térmico. Entre elas, destaca-se a orientação solar da edificação, onde as janelas das áreas de permanência prolongada são voltadas para o norte e/ou leste (como é o caso dos dormitórios e sala/cozinha). Outro aspecto diz respeito à captação dos ventos predominantes, permitindo a ventilação cruzada durante o verão.

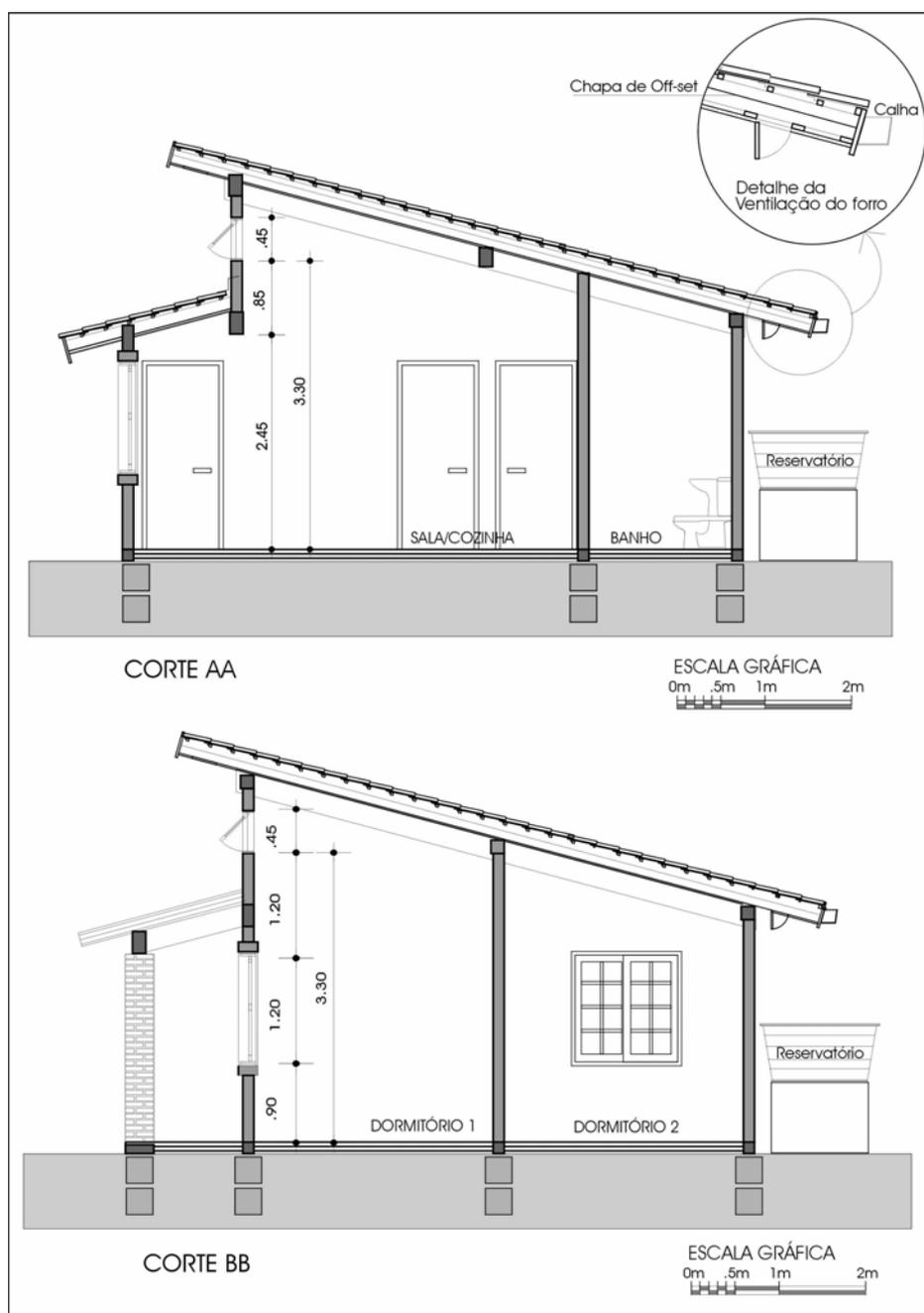


Figura 12: cortes do protótipo Alvorada

Na figura 13 podem ser visualizadas duas fotografias que mostram, respectivamente, as fachadas leste/norte e norte/oeste da habitação, em uma manhã do mês de julho de 2003. Nestas imagens também é possível observar que o beiral permite a incidência dos raios solares nas janelas da fachada norte, o que é desejável no período de inverno.



Figura 13: fotografias do protótipo Alvorada (fonte: Sattler)

Pelo lado oeste foi construído um pergolado com troncos de eucalipto, para sombrear a parede com trepadeiras (a serem implantadas), controlar a incidência dos raios solares no período vespertino e, conseqüentemente, reduzir a absorção de calor.

Foram estabelecidas algumas diretrizes, com relação à escolha dos materiais de construção utilizados na execução do protótipo. Entre elas destacam-se as seguintes:

- a) uso de materiais produzidos na região;
- b) minimização do consumo de materiais ambientalmente inadequados (poluentes, tóxicos ou de alto conteúdo energético);
- c) observância das condições climáticas da região, visando o aproveitamento máximo da capacidade dos materiais, em relação à manutenção dos níveis de conforto no interior da edificação.

A seguir serão apresentadas as características de cada elemento construtivo da edificação.

3.2.2.1 Fundações

Foram utilizadas pedras de granito de 22cm X 22cm, dispostas em três fiadas ao longo das linhas das paredes. Sobre as fiadas de pedra foram construídas vigas de baldrame, de concreto armado, com 15cm X 25cm.

3.2.2.2 Pisos

São do tipo cerâmico em todos os compartimentos da edificação e foram doados por uma empresa local. As lajotas foram dispostas sobre o contrapiso composto por uma camada de 8cm de brita e 5cm de concreto magro.

3.2.2.3 Paredes

Para a construção das paredes foram utilizados tijolos maciços, doados pelo Sindicato das Indústrias de Olaria e de Cerâmica para Construção no Rio Grande do Sul - SIOCERGS. Esses tijolos possuem 11cm X 5cm X 22cm e determinam a espessura de onze centímetros para as paredes de alvenaria aparente. A espessura da argamassa de assentamento é de, aproximadamente, um centímetro (1cm).

As paredes leste e norte não possuem revestimento de argamassa, ficando os tijolos maciços aparentes, tanto externa como internamente. Ambas as paredes possuem três pilares de alvenaria vazados, os quais aumentam a resistência térmica média das paredes.

Na parede oeste, foi previsto um revestimento de argamassa na face externa, na área correspondente à sala/cozinha, para refletir os raios solares incidentes e diminuir o valor da transmitância térmica. Além disso, parte desta parede possui espessura de 22cm até a altura de 1,10 m, o que também contribui para o aumento da sua resistência térmica.

Na parede sul, não existe nenhuma janela e as superfícies externa e interna são revestidas com argamassa, para criar uma resistência maior à perda de calor no inverno. As faces internas das paredes do banheiro, além do revestimento com argamassa, são revestidas com azulejos cerâmicos, até a altura de, aproximadamente, 1,50m (os azulejos foram doados pela mesma empresa que doou os pisos). Nenhuma das paredes recebeu qualquer tipo de pintura ou caiação.

3.2.2.4 Cobertura

Segundo Lamberts (1983), a cobertura de uma habitação é o elemento do envelope construtivo mais exposto às agressões do clima e, portanto, é o que necessita maiores cuidados no momento de sua concepção projetual. Em função disso, no projeto do protótipo Alvorada, foram adotadas estratégias de projeto para evitar, ou minimizar, as variações da temperatura externa. A cobertura é dividida em duas águas, sendo que sua maior superfície está orientada para o sul, diminuindo assim, a densidade de radiação solar incidente.

A estrutura da cobertura constitui-se de cinco camadas: telha cerâmica, colchão de ar, placa metálica de alumínio reciclada, colchão de ar e forro de cedrinho vermelho (cerne). A placa metálica, que havia sido utilizada na indústria gráfica (de off-set), foi disposta com a superfície polida voltada para baixo, funcionando como barreira à radiação térmica e reduzindo a transmissão de calor pela cobertura. Além disso, foi criado um sistema de ventilação da cobertura, através de aberturas de fácil operação, no beiral do lado sul (ver detalhe no corte da figura 11). No ponto mais alto do beiral, do lado norte, existem outras aberturas, que estão permanentemente descerradas e tem por objetivo a extração de ar quente, por convecção natural, durante o período mais quente do ano. Salienta-se que as telhas

cerâmicas também foram doadas pelo SIOCERGS (como contrapartida financeira em um projeto de pesquisa desenvolvido com o apoio da FAPERGS).

Além dos aspectos térmicos relatados no parágrafo anterior, o telhado inclinado para o sul funciona como superfície de captação pluvial. A água coletada é conduzida para a calha e desta para a cisterna, instalada a aproximadamente um metro de altura do solo. Isso permitirá a utilização da água captada para a rega dos jardins e para o abastecimento da caixa de descarga, acoplada ao vaso sanitário do banheiro (quando o projeto hidráulico for concluído).

3.2.2.5 Esquadrias

Todas as janelas da Casa Alvorada foram confeccionadas em madeira de eucalipto de diversas espécies (segundo o fabricante), com as dimensões indicadas no quadro da figura 13. As janelas da sala/cozinha e dormitório 01 (da frente), são do tipo maxim-ar, com caixilhos quadriculados, com vidros lisos de 3mm (ver fotos na figura 12). A janela do dormitório 02 (de fundos) possui quatro folhas externas de veneziana e duas folhas internas de correr, com vidros lisos quadriculados. A janela do banheiro é do tipo maxim-ar, com vidros jateados. A superfície envidraçada das janelas corresponde, em média, a 50% da área total da esquadria (ver tabela 13).

Tabela 1: dimensões e áreas das janelas do protótipo

Localização	Dimensões - vão luz (m)	Área da esquadria (m ²)	Superfície envidraçada (%)	Superfície de ventilação (%)
Sala cozinha – norte baixa	1,19 x 1,18	1,40	51	56
Sala/cozinha – oeste	1,14 x 0,94	1,07	52	48
Sala/cozinha – norte alta	1,53 x 0,48	0,73	44	74
Dormitório 01 – baixa	1,19 x 1,19	1,42	51	56
Dormitório 01 – alta	1,53 x 0,48	0,73	49	74
Dormitório 02	1,20 x 1,19	1,43	58	35
Banheiro	0,81 x 0,40	0,32	50	70

As portas externas e internas, assim como os marcos, são de madeira de eucalipto (do mesmo fabricante e tipo de madeira que as janelas). Assim como as janelas, as portas foram protegidas com duas demãos de um composto a base de terebentina e óleo de linhaça (que possui coloração que lembra o verniz).

3.2.3 Características dos Materiais e Elementos Componentes da Edificação

A seguir, serão apresentadas as características termofísicas dos materiais de construção, de interesse para a análise do comportamento térmico da edificação. No quadro da figura 14 são apresentados os valores de absorvância (α) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (ϵ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas).

Tipo de superfície	Absortância (α)	Emissividade (ϵ)
Concreto aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro	0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro	0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Vidro comum	Transparente	0,90 / 0,95

Figura 14: quadro de valores de absorvância e emissividade das superfícies externas do protótipo Alvorada (fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas 02:135.07-002, 1998a)

Nos quadros das figuras 15 e 16, são apresentadas as propriedades térmicas dos materiais que compõem, respectivamente, as paredes e a cobertura da edificação estudada. Os valores apresentados correspondem a: densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c).

Material	Densidade de massa aparente (ρ) (kg/m ³)	Condutividade térmica (λ) (W/ (m x K))	Calor específico (c) [kJ/(kg x K)]
Concreto normal	2400	1,75	1,0
Cerâmica (tijolos)	1600	0,9	0,92
Argamassa de emboço ou assentamento	2000	1,15	1,0
Vidro comum	2700	1,1	0,84

Figura 15: quadro de valores das propriedades térmicas dos materiais utilizados nas paredes do protótipo Alvorada (fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas 02:135.07-003, 1998b)

Material	Densidade de massa aparente (ρ) (kg/m ³)	Condutividade térmica (λ) (W/ (m x K))	Calor específico (c) [kJ/(kg x K)]
Cerâmica (telhas)	2000	1,05	0,92
Lâmina de alumínio polido ($\epsilon < 0,2$)	2700	230	0,88
Madeira	600	0,14	2,30

Figura 16: quadro de valores das propriedades térmicas dos materiais utilizados na cobertura do protótipo Alvorada (fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas 02:135.07-003, 1998b)

Entretanto, como já foi comentado anteriormente, as paredes do protótipo possuem características diferentes de espessura e revestimento. Em função disso, foram calculados os valores médios de transmitância, para os principais componentes construtivos da edificação, os quais são apresentados no quadro da figura 17.

	Materiais e revestimento	Área (m ²)	Transmitância U[W/(m ² *K)]	Capacidade C _T [kJ/(m ² *K)]	Atraso φ (horas)
Paredes	Tijolos maciços - 11cm sem reboco	35,5	3,49	170	2,8
	Tijolos maciços - 22cm sem reboco (bordas das janelas)	3,3	2,47	337	5,6
	Tijolos maciços - 11cm com reboco em um dos lados	9,7	3,29	210	3,2
	Tijolos maciços - 2x11cm com reboco em um dos lados	3,2	2,33	401	6,4
	Tijolos maciços - 11cm com reboco dos dois lados	13,5	3,11	251	3,8
Vigas de concreto	15cm de espessura	6,9	3,91	360	4,0
Pilares	Tijolo 11cm – ar 13cm – tijolo 11cm sem reboco	2,2	1,77	337	7,0
	Tijolo 22cm – reboco 2cm – tijolo 11cm	4,4	1,88	525	8,7
Cobertura*	Telha de barro, lâmina de alumínio e forro de madeira	38,6	1,11	32	2,0

* Os valores da cobertura não foram calculados, mas sim extraídos do projeto de norma 02:135.07-003 (1998c)

Figura 17: quadro de valores da transmitância, capacidade e atraso térmico dos elementos componentes do envelope construtivo do protótipo Alvorada

Segundo o projeto de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas 02:135.07-003 (1998c), para a Zona Bioclimática 3, que inclui Porto Alegre, o valor máximo admissível para a transmitância térmica das vedações externas é de 3,6W/m²K e 2,0W/m²K para a cobertura. Salienta-se que as paredes que possuem o valor de transmitância mais elevado (3,49W/m²K), estão voltadas para leste e norte.

Já para o atraso térmico o projeto de norma sugere que as paredes sejam leves e refletoras, com um atraso térmico menor ou igual a 4,3 horas. Nesse sentido, observa-se que as maiores superfícies externas possuem valores de atraso térmico inferiores aos recomendados pelo projeto de Norma.

4 INSTRUMENTAÇÃO

Neste capítulo são abordados os temas referentes à fase de preparação e realização do experimento.

Em um primeiro momento, descreve-se o equipamento utilizado na medição das variáveis climáticas é descrito, apresenta-se os limites ambientais de operação, as faixas de leitura, a resolução e precisão de cada uma das sondas.

Posteriormente, são descritos os procedimentos adotados nos testes iniciais, preparação do ambiente, localização do equipamento de medição dentro do protótipo e as variáveis de uso.

Considera-se importante descrever minuciosamente esta etapa, para que os trabalhos futuros tenham uma referência clara do procedimento adotado, no caso de uma repetição do experimento, visando a comparação de resultados.

4.1 O EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO

Para a realização das medições *in loco* utilizou-se um analisador de ambientes internos, da linha instrumental BABUC (ver figura 18). Este corresponde a um conjunto de instrumentos, sensores, acessórios e programas para a aquisição, visualização, memorização e elaboração de uma grande variedade de grandezas físicas, geradas em um ambiente de informações. O aparelho possui ingressos universais, isto é, pode receber qualquer combinação de sensores dos mais diversos tipos.



Figura 18: equipamento de medição utilizado (Laboratori di Strumentazione Industriale, 2002)

O modelo específico BABUC/A, utilizado na medição, possui 11 canais de ingresso. Três deles possuem finalidades específicas (anemômetro e sinal voltimétrico), enquanto que os outros oito reconhecem, automaticamente, qualquer um dos sensores conectados. Algumas sondas ocupam mais de um canal de entrada, no entanto, uma mesma sonda pode medir uma série de grandezas, como é o caso do psicrômetro e do radiômetro de dupla face.

Outro aspecto a ser destacado em sua utilização, é o nível de informações desejado, já que o aparelho permite a visualização imediata de todos os valores, instantaneamente. Além disso, permite a memorização dos dados e a transferência das informações para um computador, desde que este possua o programa de intercâmbio.

A alimentação do aparelho é realizada em 9 V, sendo que possui 6 baterias internas de 1,2 V, que são recarregáveis e possuem uma autonomia de dois dias de trabalho contínuo (desde que o visor esteja desativado, para diminuir o consumo de energia). Para medições mais longas, o aparelho deve ser ligado à rede elétrica. Existe a possibilidade de conexão à corrente 110 V ou 220 V. A última é mais aconselhável por manter a carga das baterias internas por mais tempo.

Todas as sondas conectadas ao Babuc/A foram calibradas na fábrica e, conforme orientações constantes nos manuais do fabricante, devem ser recalibradas a cada dois anos no laboratório da empresa. Como o equipamento era novo e ainda não havia completado dois anos,

considerou-se que, no período de medição, seus sensores estavam dentro do prazo garantido pelo fabricante, no que se refere à sua precisão.

As variáveis medidas e/ou calculadas pelo aparelho, instalado no protótipo Alvorada, foram as seguintes:

- a) temperatura;
 - de globo;
 - de bulbo seco (com ventilação forçada);
 - de bulbo úmido (com e sem ventilação forçada);
 - de orvalho;
- b) assimetria da temperatura radiante
- c) umidade relativa do ar;
- d) iluminamento;

Além dessas variáveis ambientais, o aparelho calcula e armazena os valores do índice de IBUTG, que correlaciona a temperatura de bulbo úmido e a temperatura de globo, estimando o stress térmico por calor para trabalhadores, de acordo com a norma ISO 7243 (1989, apud Laboratori di Strumentazione Industriale, 1997).

Muito embora tenham sido coletados dados sobre todas essas variáveis, algumas destas, como é o caso do iluminamento, temperatura de bulbo úmido, temperatura de orvalho e a assimetria da temperatura radiante, não serão discutidas no presente trabalho.

4.1.1 Descrição dos Sensores Utilizados

Segundo o Laboratori di Strumentazione Industriale (2002), os sensores do Babuc/A não devem ser expostos diretamente à radiação solar, para que não ocorram discrepâncias nos dados registrados e/ou danos de caráter irreversível aos sensores. Em nenhum momento, durante todo o período de medição, as temperaturas ultrapassaram os limites estabelecidos.

4.1.1.1 Psicrômetro

Essa sonda é projetada em conformidade com a ISO/DIS 7726 (1996) e a partir dos valores medidos para a temperatura do ar, com o bulbo seco e bulbo úmido, ambos sob ventilação forçada, permite ao equipamento calcular, com uma boa confiabilidade, a umidade relativa do ar e a temperatura de orvalho.

A sonda psicrométrica é constituída de dois sensores de temperatura, do tipo Pt100 (platina). O primeiro é um termômetro que mede a temperatura de bulbo seco do ar, o segundo é um termômetro revestido por uma bainha de algodão imersa em um recipiente com água destilada, o qual mede a temperatura de bulbo úmido, sob ventilação forçada, através de um pequeno ventilador, que proporciona uma velocidade do ar superior a 4,5 metros por segundo. Os termômetros estão localizados dentro de um duto metálico, de alumínio anodizado, ficando protegidos da influência da radiação solar, ou mesmo da ação das correntes de ar externo, que poderiam interferir na precisão dos valores medidos. Na figura 19 é possível visualizar um psicrômetro similar ao que foi utilizado no experimento.



Figura 19: psicrômetro (Laboratori di Strumentazione Industriale, 2003)

Esta sonda, que ocupa dois canais de ingresso no Babuc/A, apresenta os seguintes limites ambientais de operação: 0°C a 60°C, para a situação em que o recipiente está com água, e -10°C a +60°C para a situação em que o recipiente está sem água (situação inexistente no método adotado). As faixas de leitura das variáveis medidas e calculadas pelo equipamento

são: -25°C a $+150^{\circ}\text{C}$, para temperatura de bulbo seco; 0 a $+60^{\circ}\text{C}$, para a temperatura de bulbo úmido; -20 a $+60^{\circ}\text{C}$, para a temperatura de orvalho; 0 a 100% , para a umidade relativa.

A precisão indicada Nos manuais do fabricante, para os termômetros, é de $\pm 0,1$, quando a temperatura está em torno de 0°C , e $\pm 0,13$, para a temperatura em torno de 20°C . Também são apresentados os seguintes percentuais para a precisão dos valores de umidade relativa, para temperaturas entre 15 e 25°C :

- a) 15-40%: 2%;
- b) 40 a 70%: 1%;
- c) 70 e 98%: 0,5%.

Durante a estação de inverno, a água destilada do recipiente era substituída a cada três semanas, visto que a alta umidade relativa do ar dificultava a evaporação. Já durante o verão, com a alta evaporação, foram necessários acréscimos semanais de água destilada.

4.1.1.2 Termômetro de bulbo úmido

O valor da temperatura de bulbo úmido, com ventilação natural, corresponde à temperatura de um sensor do tipo Pt100, recoberto por uma bainha de algodão imersa em um recipiente com água destilada e sujeito à ventilação natural. Este valor é bem diferente daquele fornecido pelo psicrômetro para ventilação forçada, e é indispensável para a determinação do índice IBUGT, indicado pelas normas ISO 7243 (1989, apud Laboratori di Strumentazione Industriale, 1997), para a avaliação de ambientes quentes (conjuntamente com a temperatura de globo). Na figura 20 é possível visualizar um termômetro de bulbo úmido, similar àquele utilizado no experimento.



Figura 20: sonda termométrica de bulbo úmido (Laboratori di Strumentazione Industriale, 2003)

A sonda ocupa um canal de ingresso no Babuc/A e apresenta os seguintes limites ambientais de operação: 0°C a 60°C, para a situação em que o recipiente está com água, e -15°C a +80°C para a situação em que o recipiente está sem água (situação inexistente no método adotado). O campo de leitura da variável medida abrange a faixa de 0°C a +60°C. A precisão indicada nos manuais do fabricante, para o termômetro de bulbo úmido, é de $\pm 0,15^\circ\text{C}$, para temperatura de 0°C.

Assim como o psicrômetro, durante a estação do inverno, a água destilada do recipiente era complementada a cada 3 semanas (aproximadamente), enquanto que no verão, foram necessários acréscimos de água semanais.

4.1.1.3 Termômetro de globo

Esta sonda é constituída de um globo metálico negro, de 15cm de diâmetro, com o seu interior oco, no centro do qual está fixado um sensor termométrico do tipo Pt100. A temperatura medida permite ao Babuc/A calcular a temperatura radiante média.

O globo, também chamado de globo de Vernon, possui emissividade elevada (maior ou igual a 0,98) e reflexão baixíssima (menor que 2%), de forma a ser um corpo negro em relação à radiação infravermelha. Na figura 21 pode ser observada uma sonda semelhante àquela utilizada no experimento.

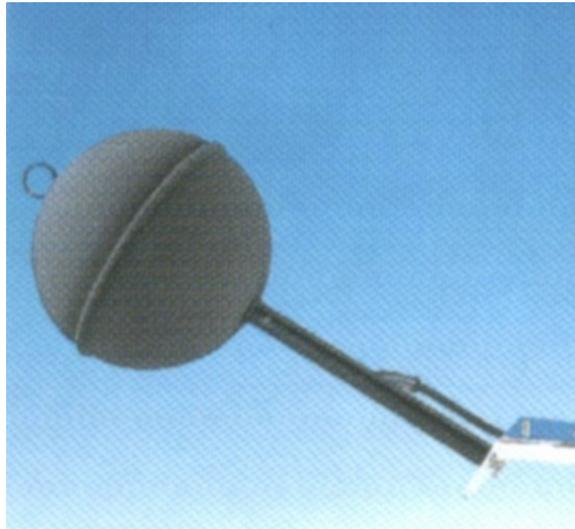


Figura 21: sonda globotermométrica (Laboratori Di Strumentazione Industriale, 2003)

Mediante os valores registrados por essa sonda é possível avaliar e verificar a carga térmica radiante, que é extremamente importante para a análise dos ambientes quentes e moderados. Em particular, esta sonda é indispensável para o cálculo dos índices PMV, PPD e IBUTG, entre outros.

A sonda ocupa um canal de ingresso no Babuc/A e necessita um tempo de resposta equivalente a 20 minutos (até estabilizar o valor da temperatura interna). O campo de leitura da variável medida abrange a faixa de -10°C a $+100^{\circ}\text{C}$. A precisão indicada pelos manuais do fabricante, para a temperatura de globo, é de $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$, para temperatura de 0°C .

A sonda não necessita nenhuma manutenção especial, mas o globo não pode estar amassado e nem sujo, visto que isso poderia alterar suas características físicas e distorcer os dados medidos.

4.1.1.4 Radiômetro de dupla face

A sonda BSR-231 é um radiômetro de dupla face (ou radiômetro de fluxo líquido), utilizado para determinar a temperatura radiante plana, através da radiação líquida trocada entre o ambiente e a superfície do elemento e da temperatura superficial do radiômetro. O elemento

de medição é recoberto por uma fina esfera de polietileno, que tem a função de impedir o efeito da velocidade do ar sobre o sensor. Na figura 22 pode ser observada uma sonda semelhante àquela utilizada no experimento.



Figura 22: radiômetro de dupla face (Laboratori Di Strumentazione Industriale, 2003)

Entre os valores medidos e calculados pelo radiômetro de dupla face temos:

- a) Radiação líquida (W/m^2);
- b) Cálculo da temperatura assimétrica radiante plana, conforme a ISO/DIS 7726 ($^{\circ}\text{C}$);
- c) Cálculo percentual da insatisfação, pela assimetria radiante sobre o eixo horizontal (%).

A assimetria radiante corresponde, portanto, à diferença entre a temperatura radiante plana das duas faces opostas de um pequeno elemento de superfície plana. O conceito de assimetria radiante é introduzido quando a temperatura média radiante não é suficiente para descrever adequadamente um ambiente radiativo, por exemplo, quando a radiação proveniente de duas direções opostas no espaço apresente uma consistente falta de homogeneidade térmica.

No caso específico desse estudo, o radiômetro foi posicionado paralelamente ao piso da edificação, a 1,10m de altura. Portanto, para as condições de medição, essa assimetria pode

ser causada pela diferença de temperatura entre o piso e a cobertura, que em determinada hora do dia esteja recebendo maior quantidade de radiação solar externa.

A sonda ocupa dois canais de ingresso no Babuc/A e necessita um tempo de resposta de aproximadamente 3 minutos. Os seguintes limites ambientais de operação são apresentados: -40°C a +70°C. A faixa de leitura medida pelo equipamento, para a radiação líquida é de -150 W/m² a +1500 W/m². A precisão indicada nos manuais do fabricante é de 3% \pm 1W/m².

Com relação à manutenção da sonda, as recomendações referem-se à limpeza da esfera de plástico, com um pano de algodão, e a eliminação da umidade interna, através da substituição da micro-sílica, sempre que essa não estiver seca.

4.2 INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO E PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO

4.2.1 Testes Preliminares e Programação do Equipamento

Inicialmente, foram realizados estudos para definir os procedimentos e as grandezas que implicariam na determinação das condições térmicas do ambiente. Durante os meses de fevereiro e março de 2003, foram realizados testes de medições, em uma sala da Escola de Engenharia Civil, no Campus Central da UFRGS, para programar e estudar o funcionamento das sondas de medição conectadas ao BABUC/A.

Para definir o intervalo de tempo necessário para validar a medição, foi realizado um estudo da bibliografia disponível. Segundo Becker (1992), o intervalo de leitura de 10 minutos acaba gerando muitos dados, o que dificulta o trabalho e aumenta o tempo de processamento dos dados. Em função disso, esse intervalo poderia ser ampliado para 30 min. ou 1 hora.

Em suas medições em Florianópolis/SC, Papst (1999) adotou o intervalo horário para avaliar as edificações estudadas, considerando suficiente essa periodicidade. A partir dessas recomendações e dos testes realizados, constatou-se que o intervalo horário para as medições internas seria suficiente para avaliar a oscilação dos valores de temperatura e umidade relativa, no interior do protótipo.

De acordo com os manuais do fabricante, o equipamento permite a ligação à rede elétrica em 110 V ou 220 V. Entretanto, pelos testes realizados nos meses de fevereiro e março de 2003, constatou-se que, quando o aparelho era ligado à rede elétrica de 110 V, a bateria interna do aparelho diminuía sua carga gradativamente. Quando a carga atingia o limite inferior de 6 V, o equipamento se desligava, automaticamente, e com isso, ocorriam perdas de dados do intervalo de medição. Para evitar esse tipo de problema, a ligação elétrica provisória do protótipo Alvorada foi feita em 220 V.

A ligação elétrica provisória foi realizada no início do mês de abril de 2003. Na manhã do dia 24 de abril de 2003 o BABUC/A foi instalado no interior do protótipo. Devido a alguns problemas com a rede elétrica, as primeiras semanas de medição sofreram interrupções. Os problemas foram contornados e, a partir do dia 12 de maio de 2003, as interrupções deixaram de ocorrer com tanta frequência.

Embora o equipamento possuísse memória suficiente para realizar leituras por um período de 55 a 60 dias, optou-se por programar intervalos de medição semanais. Justifica-se esta opção devido à necessidade de manutenção de algumas sondas do equipamento (complementação da água destilada nos receptáculos das sondas que mediam a temperatura de bulbo úmido, limpeza da poeira, que se acumulava sobre o globo de Vernon). Além disso, com visitas semanais, os problemas de interrupção poderiam ser detectados mais cedo, evitando a perda de uma grande quantidade de dados.

Ao longo do período de testes foram detectados problemas no anemômetro de fio quente, o que impossibilitou sua utilização no experimento. Além disso, apesar de todos os testes iniciais realizados nos primeiros meses, o radiômetro somente foi configurado de maneira correta na metade do mês de outubro de 2003. Em função disso, os dados medidos por essa sonda não foram considerados neste estudo.

4.2.2 Localização do Equipamento na Edificação

O aparelho de medição deveria ficar em uma posição estratégica, na qual os ganhos térmicos da edificação fossem percebidos, sem que ocorressem distorções devido à insolação diferenciada das fachadas. Para essa escolha, também se considerou a utilização dos compartimentos por parte dos moradores em uma situação real de uso.

De acordo com o estudo pós-ocupação, realizado junto ao CETHS de Nova Hartz, cujas casas possuem plantas semelhantes ao protótipo Alvorada, a sala/cozinha é o compartimento da casa onde os moradores passam a maior parte do dia (MORELLO et al., 2003).

Além desse motivo, outros dois aspectos foram preponderantes para que se escolhesse a sala/cozinha para instalar o equipamento de medição: primeiro, por ser o maior ambiente da casa; segundo, por que todas as portas se abrem para esse compartimento, conferindo-lhe uma hierarquia centralizadora natural (figura 23).

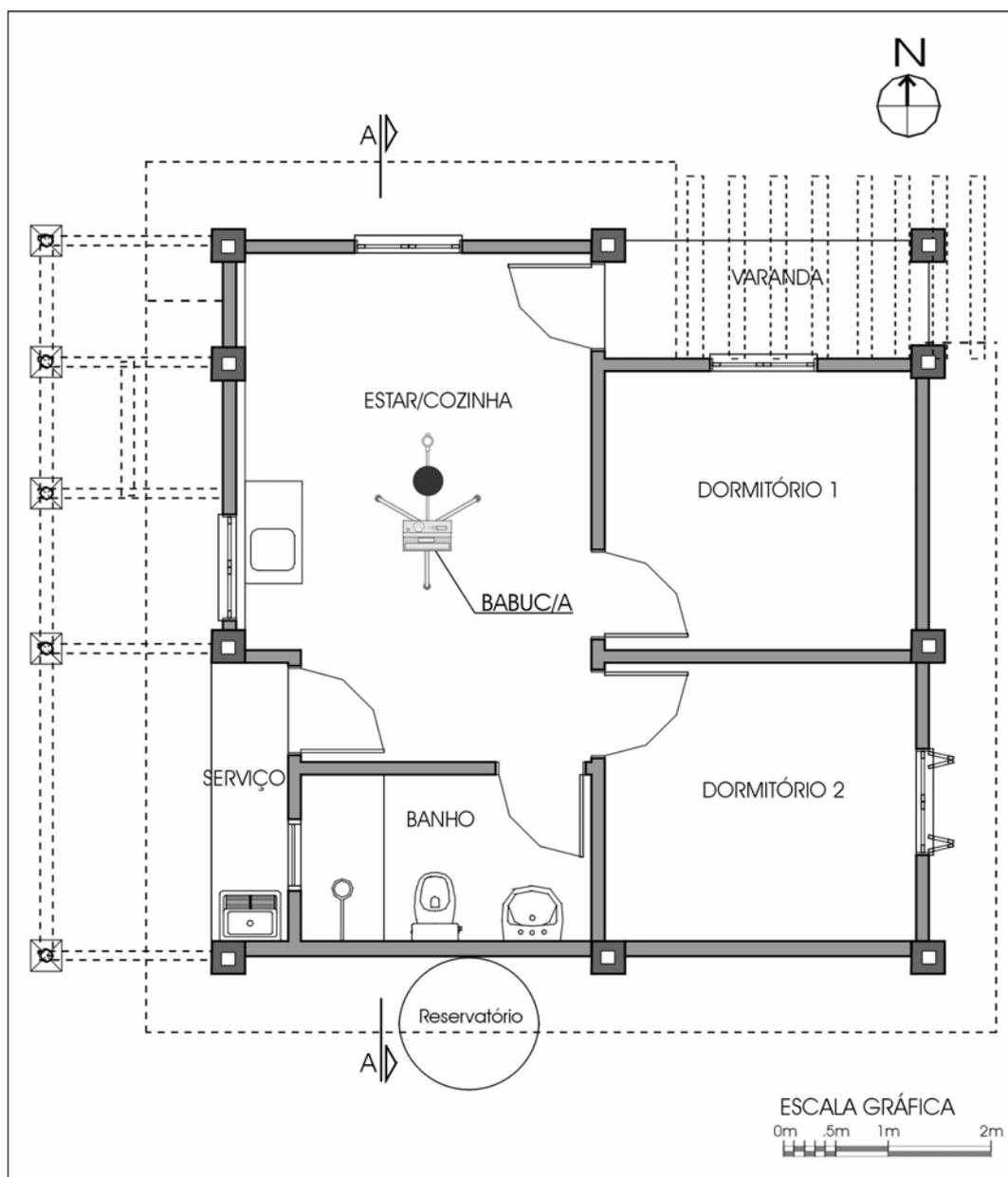


Figura 23: localização do equipamento de medição em planta

Assim, o equipamento de medição foi instalado no centro da sala/cozinha sobre um tripé, de forma que os sensores ficaram posicionados a, aproximadamente, 1,10m de altura, em relação ao piso interno (figura 24).

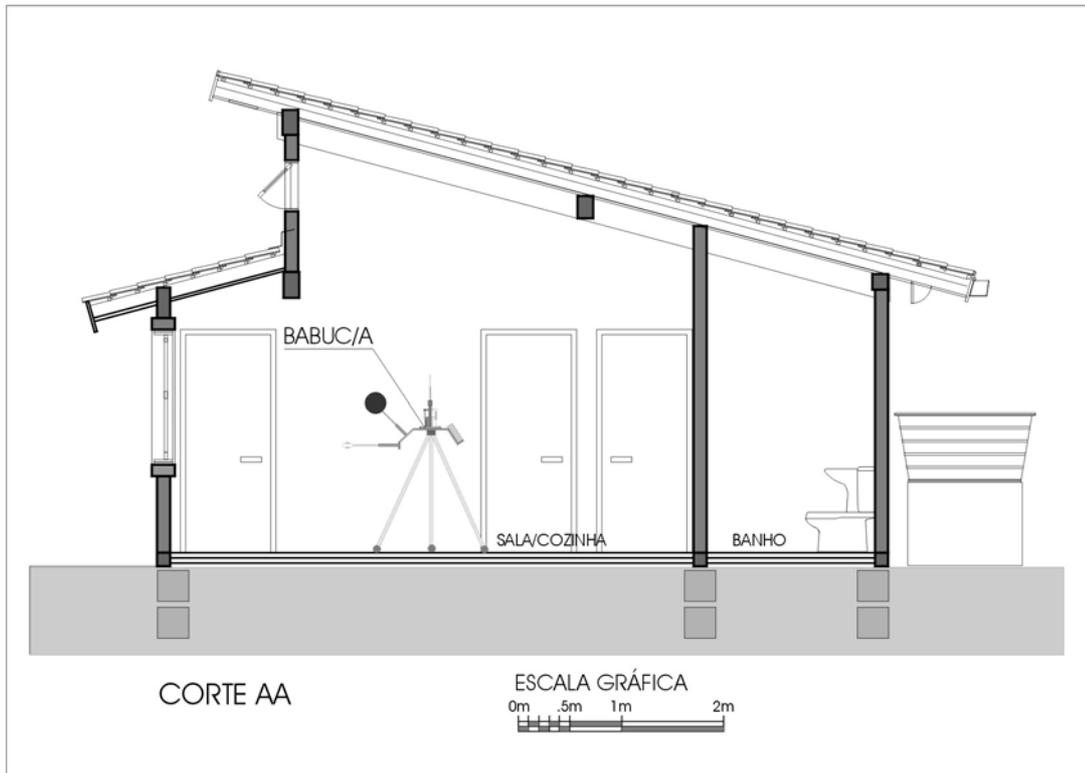


Figura 24: corte A - A, com o posicionamento do equipamento de medição

4.2.3 Variáveis de Uso

Da mesma forma que no estudo de Becker (1992), no presente trabalho, a avaliação foi realizada considerando, apenas, as variáveis de projeto, configuradas pela envolvente construtiva e sua interação com o clima.

Com relação às janelas, optou-se por mantê-las fechadas, devido ao grande risco de roubo do equipamento, decorrente da inexistência de guardas ou seguranças para vigiar o local. Acredita-se que, durante o inverno, isso não irá influenciar negativamente o desempenho da edificação, visto que a manutenção das janelas fechadas é algo normal nesta estação (excetuando-se, é claro, o caso da ventilação higiênica). Também por motivo de segurança, a

veneziana da janela do dormitório 2 permaneceu fechada durante todo o período de medição. Neste caso, especificamente, cabe salientar que poderia haver um ganho térmico significativo, caso essa veneziana fosse aberta no período da manhã. Também durante os dias quentes de verão, a abertura das janelas poderia se configurar como um atenuador das condições de desconforto, através da ventilação cruzada.

Observa-se que, no trabalho de Becker (1992), além de ficarem permanentemente fechadas, as esquadrias ainda foram vedadas, para minimizar os efeitos de infiltração de ar. Já no caso do protótipo Alvorada, optou-se por não vedar as frestas das janelas, visto que, em uma situação real de uso, sempre haverá infiltração de ar, sem que haja controle desse aspecto por parte dos ocupantes.

Com relação às portas internas, deve-se atestar que, durante todo o período de medições, as mesmas ficaram abertas, permitindo a livre circulação do ar entre os compartimentos. Nesse caso, é necessário observar que foram realizados testes com sensores de temperatura, posicionados à mesma altura, no centro do dormitório 1 (da frente). Comparando os valores medidos nos diferentes compartimentos, verificou-se que a temperatura do ar interno não apresentou grandes diferenças, com uma média inferior a 0,3°C.

As aberturas de ventilação da cobertura permaneceram fechadas durante o período de inverno e parte da primavera. Obviamente, em uma situação real, o usuário poderia controlar o mecanismo diariamente, de acordo com as condições climáticas externas. Entretanto, como o pesquisador não poderia ficar junto ao protótipo em tempo integral, optou-se por arbitrar o fechamento e/ou abertura das portinholas, durante o período intermediário da primavera e do outono, estabelecendo um período equivalente a seis meses para cada situação. Assim, as portinholas do beiral sul foram abertas no dia 11 de novembro de 2003, quando a temperatura do ar externo estava sensivelmente elevada (nesse dia a temperatura do ar interno ultrapassou os 28°C, pela primeira vez). Durante seis meses as aberturas permaneceram descerradas, até o dia 11 de maio de 2004, quando novamente foram fechadas.

Por fim, salienta-se que a edificação foi monitorada sem que houvesse nenhum ocupante em seu interior. Sempre que ocorriam visitas ao protótipo, a seqüência de dados, no período em que os visitantes estavam no interior do protótipo e em algumas horas subseqüentes, eram desconsideradas. Também não havia nenhum aparelho elétrico, lâmpada ou qualquer outro

tipo de equipamento, que pudesse se caracterizar como fonte geradora de calor no interior do protótipo (a não ser o próprio equipamento de medição).

4.2.4 Extração e Tratamento dos Dados

Durante a coleta de dados verificou-se que, quando configurado para realizar coletas horárias com todas as sondas conectadas, o aparelho possuía memória suficiente para armazenar de sete a oito semanas, ininterruptamente.

Inicialmente, os dados eram extraídos com o auxílio de um computador portátil no local da coleta. Posteriormente, surgiram problemas com esse computador e a solução encontrada foi a de desconectar a unidade de memória do BABUC e levá-la até o NORIE, no centro de Porto Alegre, para a extração dos dados, a cada dois meses. Toda vez que esse traslado se fazia necessário, um pequeno intervalo de dados deixava de ser medido, em função do desligamento dos sensores.

Para extrair os dados medidos pelo BABUC-A foi utilizado o software denominado InfoGAP 1.2®, de autoria do *Laboratori di Strumentazione Industriale (LSI)*. Da mesma forma que os dados meteorológicos externos fornecidos pelo IPH, os dados internos foram exportados para as planilhas do *software Excel®*, no qual, foram quantificadas as horas de conforto/desconforto e gerados os gráficos comparativos, que serão apresentados no capítulo de resultados.

Para sobrepor os valores de umidade relativa e temperatura do ar, na carta psicrométrica, foi utilizado o programa Analysis Bio 2.1.1., desenvolvido pela equipe do LABEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações), da Universidade Federal de Santa Catarina. As planilhas do Excel foram transformadas em arquivos do tipo ".txt" e exportadas para o programa Analysis Bio, no qual foram gerados os arquivos ".try", necessários para a geração das cartas psicrométricas.

5 BREVE CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE PORTO ALEGRE / RS

O presente capítulo tem o objetivo de descrever o clima do Rio Grande do Sul e seus principais fatores intervenientes. Após, a partir de estudos específicos anteriores, são apresentadas as características do clima de Porto Alegre e, por fim, são apontadas as especificidades da área onde estão localizados o protótipo Alvorada e a estação meteorológica do Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH da UFRGS.

Na seqüência, os valores medidos pela estação meteorológica do IPH, no período estudado, são comparados com os valores apresentados por outros autores, medidos nas estações do Aeroporto Salgado Filho (1951-1970) e do 8º Distrito de Meteorologia (1916-1988). A partir da análise comparativa dos dados externos do local do experimento, se torna possível verificar as principais diferenças encontradas no microclima local.

5.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

Segundo Goulart (1993), "o clima afeta a execução, a segurança, o conforto e o desempenho de edificações". Portanto, o estudo do clima é imprescindível para que se possa avaliar com coerência o comportamento térmico da edificação estudada neste trabalho.

Considera-se importante expor as características do clima, a partir de uma visão global para, depois, apresentar as características peculiares, que distinguem o macroclima regional do microclima do local onde está situado o protótipo Alvorada.

5.1.1 O Clima do Rio Grande do Sul

De acordo com Nimer (1989), na região sul há o domínio exclusivo do clima mesotérmico, do tipo temperado, relacionado às latitudes médias, aparecendo, também, junto ao nível do mar, diferentemente das outras regiões brasileiras, onde esse tipo de clima está relacionado às altas

altitudes. Segundo esse autor, o clima temperado do sul do Brasil confere a esta região uma notável oscilação térmica ao longo do ano.

Isso também é ressaltado por Silva (1994, p.22), "em função da trajetória aparente do sol, as estações nas latitudes médias são bastante nítidas... sendo que a estação quente está sempre relacionada com o solstício de verão, enquanto que a estação fria relaciona-se com o solstício de inverno". Silva (1994), afirma ainda, que os verões quentes estão relacionados à pequena inclinação, em relação à normal, com que os raios solares incidem sobre a região, durante essa estação. Além disso, os dias são mais longos, aumentando o tempo diurno de radiação. Já os invernos são bastante frios e a região sofre sucessivas invasões de frentes polares, com chuvas abundantes, sucedidas por massas polares. Nimer (1989) aponta a maritimidade, a latitude e o relevo como os principais determinantes para a distribuição das temperaturas, durante a estação do inverno na região Sul.

Os aspectos relacionados à circulação atmosférica regional são melhor explicitados por Ferraro e Hasenack (2000), segundo os quais, a penetração da massa polar marítima, durante os meses de outono e inverno, provoca o declínio da temperatura. Quando a invasão da massa polar se processa com grande rapidez, pelo sudoeste do estado, os dias são extremamente frios e freqüentemente acompanhados de um vento frio e seco, que sopra pelas áreas planas do Rio Grande do Sul, durante o inverno (vento Minuano). Esta queda brusca de temperatura normalmente tem duração de três a nove dias. Os primeiros dias são chuvosos e instáveis, com a amplitude térmica moderada pela nebulosidade. Após a passagem da frente, os dias ficam frios e ensolarados, ocorrendo uma acentuação da amplitude térmica, devido à ausência de nebulosidade. Durante esses dias é comum a ocorrência de geadas e nevoeiros, no início das manhãs. Entretanto, durante a maior parte do ano, e principalmente durante a primavera e verão, o Rio Grande do Sul recebe a influência da massa Tropical Marítima (ou Tropical Atlântica). Essa massa de ar quente e úmida penetra no estado pelo nordeste e normalmente é acompanhada por precipitações intensas e passageiras. Eventualmente, a Massa Tropical Continental, formada na Depressão do Chaco, penetra no estado pelo noroeste, provocando dias excessivamente quentes no verão e produzindo temperaturas elevadas no outono e inverno. As temperaturas elevadas, associadas aos altos teores de umidade, provocam os desconfortáveis dias de mormaço em janeiro e fevereiro.

Embora a região possua estações bem definidas, o regime de chuvas caracteriza-se pela sua uniformidade ao longo do ano, em todas as regiões do estado. Com relação à umidade relativa

média anual, observa-se que os percentuais mais elevados encontram-se no litoral, enquanto que os mais baixos aparecem no centro e oeste do Rio Grande do Sul (SILVA, 1994).

5.1.2 O Clima de Porto Alegre

Por estar localizada na faixa litorânea norte do Rio Grande do Sul, a aproximadamente 100km da costa do Oceano Atlântico, e na margem oeste do lago Guaíba, a cidade de Porto Alegre sofre a influência direta da grande massa líquida circundante. Esta localização, associada à evaporação natural, confere ao município as características de clima subtropical úmido (FERRARO; HASENACK, 2000).

Na tabela 2 são expostos os valores médios mensais de diversas variáveis, para o período compreendido entre 1916 e 1988, medidos pela estação meteorológica do 8º Distrito de Meteorologia de Porto Alegre, pertencente ao Ministério da Agricultura (FERRARO; HASENACK, 2000).

Tabela 2: dados médios para o período de observação de 1916 a 1988 (estação meteorológica do 8º Distrito de Meteorologia).

Mês	Temperatura (°C)					Precipitação Total				Umidade Relativa (%)
	Média	Média Máx.	Média Mín.	Máxima Abs.	Mínima Abs.	Média (mm)	Máxima (mm)	Mínima (mm)	Variab. (%)	
Jan	24,7	30,5	20,1	40,7	10,4	101,6	275,1	10	62,7	71
Fev	24,6	31,1	20,3	40,4	11,3	100,7	231,7	20,5	47,4	74
Mar	23,2	28,6	19	38,9	9	93,9	247,7	3,7	51,7	76
Abr	19,9	25,3	15,8	35,9	4,5	92,1	386,6	0,5	74,9	77
Mai	17	22,1	12,8	33,4	0,4	102,8	405,5	2,5	68,7	81
Jun	14,7	19,8	10,8	31,5	-2	133,3	403,6	16,6	57,5	82
Jul	14,4	19,5	10,3	32,9	-1,3	120,8	280,1	11	52,8	81
Ago	15,2	20,5	10,9	34,9	-1,5	127,3	330	19,2	53,1	79
Set	16,8	21,8	12,8	36,1	2,2	133,1	362,7	15,5	48,5	78
Out	19	24	14,8	37,1	0,9	110,5	317,3	19,9	60,1	75
Nov	21,1	26,7	16,5	39,8	6,4	85,1	283,4	5,1	67,1	71
Dez	23,4	29,2	18,6	39,6	7,8	95	224,2	0,4	55,1	69
ANO	19,5	24,8	15,2	40,7	-2	1296,2	405,5	0,4	21	76

(baseado em FERRARO e HASENACK, 2000, p.19)

De acordo com a tabela 2, a temperatura média anual é de 19,5°C, e segundo Ferraro e Hasenack (2000), esse valor não demonstra a variação térmica que ocorre ao longo do ano,

visto que a temperatura média, no verão, corresponde a 24,3°C, enquanto que, no inverno, o valor médio cai para 14,7°C. No outono, a média da estação é de 20°C, e na primavera, 19°C. O mês de julho, normalmente, apresenta o valor médio mais baixo do ano (14,4°C), ao passo que os meses de janeiro e fevereiro apresentam as médias mensais mais elevadas, 24,7°C e 24,6°C, respectivamente. Os valores extremos absolutos das temperaturas, no período englobado pelo estudo, apontam a temperatura máxima de 40,7°C, no mês de janeiro, e -2°C, em julho.

Com relação à temperatura do ar, Aroztegui (1977) afirma que os valores máximos ocorrem, normalmente, entre as 14 e 16 horas, enquanto que os valores mínimos se dão entre as 5 e 7 horas da manhã. Isso é corroborado por Uber (1992, p. 69), "a curva diária de temperatura repete o mesmo padrão durante todo o ano, onde os valores mínimos ocorrem por volta das 6h e os máximos cerca de 15h".

Observa-se ainda, na tabela 2, que Porto Alegre não possui estação seca. A precipitação média anual é de 1296,2 mm, distribuídos de forma regular ao longo do ano, sendo que o período mais chuvoso ocorre durante os meses de inverno. Apesar dessa regularidade, já ocorreram casos extremos em que, no período de um mês, choveu mais de 400 mm, enquanto que, em outros meses, a precipitação média apresentou valores inferiores a 1 mm.

O valor médio da umidade relativa anual é de 76%, sendo que o valor médio máximo ocorre no mês de junho (82%), enquanto que o valor médio mínimo ocorre no mês de dezembro (69%).

Mas, além do trabalho de Ferraro e Hasenack (2000), que é baseado nas informações do 8º Distrito de Meteorologia, Uber (1992) apresenta dados de temperatura e umidade relativa do ar, baseados em observações horárias, coletadas ao longo de 20 anos (1951 - 1970), na estação meteorológica do Aeroporto Salgado Filho, localizada na zona norte de Porto Alegre. Embora a autora advirta sobre a discrepância de alguns dados, que se encontravam em fase de correção, considera-se importante apresentar os valores médios mensais de temperatura e umidade, com os respectivos desvios médios. Os valores apresentados por Uber (1992) foram organizados na tabela 3.

Tabela 3: sumários climatológicos - Porto Alegre/RS 1951 a 1970
(estação meteorológica do aeroporto Salgado Filho).

Mês	Temperatura (°C)		Umidade Relativa (%)	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Jan	24,7	2,8	75	10,3
Fev	24,4	2,8	76	10,3
Mar	23,1	3,0	78	9,6
Abr	19,4	3,5	81	9,2
Mai	16,4	4,0	84	8,9
Jun	14,3	4,1	86	9,8
Jul	14,2	4,3	84	10,0
Ago	15,1	4,0	83	10,6
Set	16,9	3,6	82	11,0
Out	19,1	3,3	80	10,6
Nov	21,4	3,1	75	10,5
Dez	23,3	3,0	73	11,1
ANO	19,4		80	

(baseado em UBER, 2000, p.107-110)

Observa-se que os valores médios mensais de temperatura apresentam diferenças pequenas, em relação àqueles medidos pelo 8º Distrito Meteorológico (ver tabela 2). Já para umidade relativa do ar, os valores encontram-se 3 a 4 pontos percentuais acima da média mensal apontada por Ferraro e Hasenack (2000). De qualquer maneira, os dados apresentados por Uber (1992) são importantes por apresentarem o desvio padrão ao longo dos vinte anos de observação, e como pode ser notado no caso da umidade relativa, pode representar uma grande amplitude para a média mensal.

Além dos elementos climáticos, apontados acima, o regime de ventos de uma região deve ser conhecido pelo projetista de edificações, visto que a ventilação é uma estratégia de climatização natural imprescindível, em locais onde a umidade relativa do ar é alta. No entanto, para Aroztegui (1977), o vento é o elemento climático mais variável, pois muda de um momento para outro, e de um local para outro, em direção e velocidade. Apesar disso, através da análise estatística ao longo dos anos, podem ser constatadas as características que se repetem com maior frequência, apontando as tendências para o regime de ventos de um determinado local.

Para Porto Alegre, os ventos do quadrante leste-sudeste são predominantes, na maior parte do ano. A exceção ocorre nos primeiros meses de inverno, quando as horas calmas e os ventos

fracos predominam, com uma distribuição a partir dos quadrantes oeste e leste (MARQUARDT, 1969; AROZTEGUI, 1977). A velocidade dos ventos, em termos médios, é baixa, com valores que vão de aproximadamente 1 m/s, durante os meses de inverno, até 2,3 m/s, nos meses de outubro, novembro e dezembro. Baseado em dados médios, do período de 1961 a 1974, Aroztegui (1977) identifica o mês de setembro como um período de transição violenta entre as baixas velocidades dos ventos do inverno e o início da primavera. Já os meses de janeiro a abril representam uma transição suave até as velocidades mais baixas, que são registradas no inverno.

Ferraro e Hasenack (2000) afirmam que a velocidade dos ventos em Porto Alegre, em termos médios, é baixa, variando de 4,8km/h (1,3m/s), em junho, até 10,2km/h (2,8m/s), de outubro a dezembro. Entretanto, eventualmente, podem ocorrer rajadas de vento, que atingem velocidades muito superiores aos padrões médios, principalmente no outono e na primavera. Os autores salientam que, a direção e velocidade dos ventos, dentro da cidade, podem ser alteradas, em função do local onde se está realizando a medição. O traçado das ruas, a morfologia da cidade, a geometria dos prédios, o relevo e até a vegetação do entorno são fatores que influenciam e modificam a direção e velocidade do vento.

5.1.3 O Microclima Local

Segundo Uber (1992), "passando da abordagem da climatologia urbana para um aspecto mais focal, temos o estudo do microclima, como o próximo passo na determinação dos parâmetros climatológicos, que influenciam o desempenho da edificação".

No caso específico do microclima, no qual está inserido o protótipo Alvorada, a topografia e o revestimento do solo são os mais importantes, visto que, no Campus do Vale da UFRGS, os morros representam barreiras ou direcionadores dos ventos que atuam na região, enquanto que, a vegetação que recobre o solo, tende a moderar os extremos de temperatura. Diferentemente do centro da cidade, onde as superfícies pavimentadas tendem a elevar as temperaturas e reduzir a umidade do ar, o bairro Agronomia caracteriza-se por possuir grandes áreas arborizadas e pouca pavimentação do solo.

Rivero (1985) explica que a vegetação, ao receber os raios solares, como qualquer outro corpo, absorve, reflete e transmite a energia incidente, de forma seletiva, de acordo com o

comprimento de onda da radiação, absorvendo 90% da radiação localizada dentro da faixa visível e 60% da radiação infravermelha. Uma pequena quantidade se transmite através da folha e o restante se reflete (15 a 30%). Da energia absorvida, uma parte considerável se transforma em energia química, através da fotossíntese, e outra parcela, se transforma em calor latente, ao evaporar-se a água eliminada durante o processo denominado evapotranspiração. Ou seja, a temperatura superficial da folha não é elevada, apesar da quantidade de energia absorvida. Com isso, o conteúdo de umidade do ar aumenta, e a temperatura não alcança valores tão elevados quanto àqueles encontrados em áreas excessivamente pavimentadas.

Silva (1994) explica a situação contrária, ou seja, com o aumento da pavimentação do solo pelo homem, aumenta, também, a quantidade de calor armazenada e liberada para o ar circundante, por convecção e radiação, com o conseqüente aumento da temperatura. Além disso, a pavimentação impede a evaporação natural do solo, a qual poderia transformar o calor sensível em calor latente, diminuindo a temperatura ambiental. Esta é a causa do fenômeno denominado "ilha de calor urbana", que caracteriza o típico aquecimento diferenciado dos centros urbanos em relação às áreas rurais adjacentes.

Deve-se salientar que, na área específica onde está implantado o protótipo Alvorada, o solo é recoberto por grama e existe uma massa arbustiva significativa, trinta metros à frente da edificação (no lado norte). Não existem áreas pavimentadas no entorno imediato.

O local onde está instalada a estação Meteorológica do IPH fica a menos de cinco metros de uma rua interna da universidade, pavimentada com paralelepípedos. Pelo lado norte, a menos de quinze metros, existe um bosque com árvores do mesmo porte que aquelas encontradas nas proximidades do protótipo (4 a 7 metros de altura). Em função dessa proximidade, os valores de velocidade e direção do vento podem apresentar alguma diferença, em relação às demais estações meteorológicas da cidade.

5.2 A ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO CAMPUS DO VALE

As medições externas foram realizadas em uma estação meteorológica, localizada no campus da UFRGS, a menos de 500 metros do local onde está construído o protótipo. O equipamento registra dados, a cada 15 minutos, durante as 24 horas do dia. A coleta é realizada,

mensalmente, pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. A fotografia da figura 25 mostra o equipamento de registro de dados da estação meteorológica do IPH.



Figura 25: fotografia da estação meteorológica do IPH

A estação funciona desde janeiro de 2000, mas o fornecimento de dados, para esse estudo, começou no mês de abril de 2003 (paralelamente às medições iniciais realizadas no protótipo). Entre os dados medidos pela estação Meteorológica podem ser citados os seguintes:

- a) temperatura;
 - do ar;
 - de orvalho;
- b) radiação solar;
- c) velocidade e direção do vento;
- d) umidade relativa do ar;
- e) precipitação.

Como foi comentado anteriormente, os dados referentes à direção e velocidade do vento podem apresentar algumas diferenças em relação a outras estações meteorológicas, visto que o anemômetro da estação meteorológica do Campus está posicionado a uma altura de, aproximadamente, 2 metros do solo. Convencionalmente, em outras estações, o anemômetro é posicionado a 10 metros do solo, para evitar a influência do entorno (presença de construções, ou vegetação, que possam interferir na velocidade e direção do vento).

5.2.1 Fornecimento e Organização dos Dados Externos

Os dados externos foram fornecidos pelo IPH, na forma de arquivos do tipo ".txt". Optou-se por importar os arquivos para o programa Microsoft Excel®, no qual os dados foram organizados na forma de planilhas. Nesse mesmo programa foram contabilizados e calculados todos os valores, médias e percentuais apresentados no trabalho. Também foram gerados os gráficos comparativos das variáveis medidas, os quais serão apresentados nos próximos capítulos.

5.2.2 Dados Médios Medidos no Período Estudado (2003 – 2004)

A seguir, serão apresentadas as médias mensais dos dados coletados pela estação Meteorológica do IPH, no período de estudo considerado neste trabalho, ou seja, às 12h do dia 12 de maio de 2003 até as 11h do dia 12 de maio de 2004.

O período englobado no estudo corresponde a um total de 8784 horas de leitura externa, visto que o ano de 2004 foi bissexto. Infelizmente, alguns dados do final do mês de outubro de 2003 e início de novembro de 2004 foram perdidos, devido a uma falha no equipamento de armazenamento de dados da estação meteorológica. Com isso, não existem registros referentes ao intervalo das 15h do dia 29 de outubro até as 6h do dia 13 de novembro de 2003, o que corresponde a 352 dados horários faltantes.

5.2.2.1 Temperatura do ar

Na tabela 4 são apresentados os valores médios mensais de temperatura do ar, no Campus do Vale, durante o período estudado. Na mesma tabela também são apresentados os valores médios mensais, medidos pela estação do Aeroporto Salgado Filho, durante o período de 1951 a 1970 e pelo 8º Distrito de Meteorologia, para o período de 1916 a 1988.

Tabela 4: comparativo da temperatura do ar - dados do IPH, aeroporto Salgado Filho e 8º Distrito de Meteorologia.

Mês	IPH (2003-2004)	Estação do Aeroporto Salgado Filho (1951-1970)	8º Distrito de Meteorologia (1916-1988)
Jan	23,6	24,7	24,7
Fev	22,5	24,4	24,6
Mar	21,7	23,1	23,2
Abr	21,0	19,4	19,9
Mai	16,1	16,4	17,0
Jun	15,7	14,3	14,7
Jul	13,6	14,2	14,4
Ago	12,8	15,1	15,2
Set	14,9	16,9	16,8
Out	18,5	19,1	19,0
Nov	21,3	21,4	21,1
Dez	21,3	23,3	23,4
ANO	18,6	19,4	19,5

(baseado em Uber, 1992; Ferraro e Hasenack, 2000)

A temperatura média, no período estudado, ficou um pouco abaixo do valor médio anual. Essa diferença já era esperada, devido à localização do campus do Vale, em relação ao centro da cidade de Porto Alegre (em função do efeito da ilha de calor, como foi comentado anteriormente). Além disso, é importante salientar que, segundo os manuais dos sensores da estação do IPH (DAVIS INSTRUMENTS CORPORATION, 2001), a sonda de temperatura do ar, dessa estação, tem resolução de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ e precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Observa-se que os valores médios mensais do 8º Distrito de Meteorologia são um pouco mais elevados que os da Estação do Aeroporto Salgado Filho. O gráfico da figura 26 demonstra melhor, as diferenças médias mensais, das três estações meteorológicas, no ano estudado.

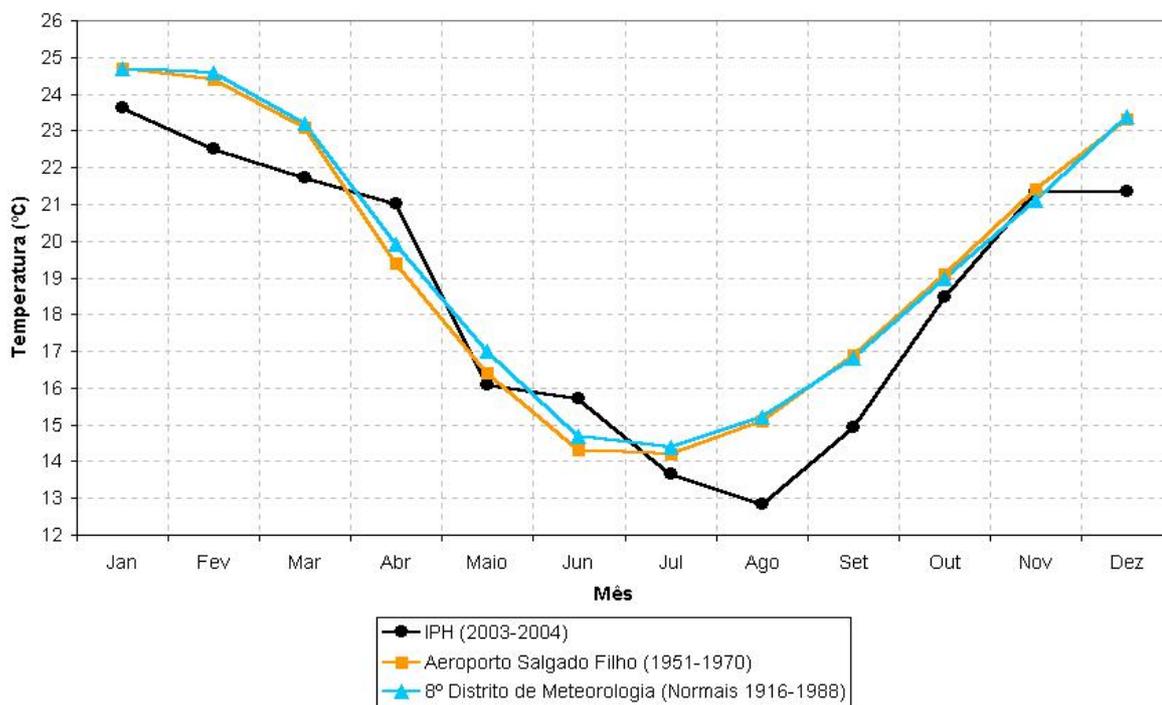


Figura 26: valores médios mensais da temperatura do ar nas diferentes estações meteorológicas

Nota-se que, no Campus do Vale, apenas os meses de abril e junho apresentaram temperaturas médias mais elevadas que as das outras estações meteorológicas. Apesar das diferenças, todos os valores médios apresentados se encontram dentro do desvio padrão apresentado por Uber (1992).

O mês de janeiro apresentou o valor médio de temperatura do ar mais elevado, com 23,6 °C. Em contrapartida, o mês de agosto foi o mais frio, com um valor médio de 12,8 °C. Normalmente, para Porto Alegre, o mês de julho costuma ser o mais frio do ano.

Analisando os dados separadamente, observou-se que a semana de dias mais frios do ano ocorreu entre 8 e 14 de julho, quando a média dos valores mínimos absolutos da temperatura do ar foi igual a 3,3 °C. O valor mínimo da temperatura do ar externo foi registrado às 4 h, da madrugada do dia 12 de julho, quando o termômetro atingiu a marca de 0,5°C.

Por outro lado, a semana de dias mais quentes ocorreu entre 4 e 11 de janeiro, quando a média dos valores máximos absolutos da temperatura do ar foi de 31,9°C. No entanto, o valor máximo da temperatura do ar só ocorreu às 15h do dia 3 de março, quando o equipamento

registrou a temperatura de 34,8 °C. Também deve ser frisado que os sensores atingiram a marca de 34,7 °C, às 14 horas do dia 29 de janeiro.

Durante a segunda semana de novembro de 2003, embora não existam registros da estação meteorológica do IPH, sabe-se que ocorreram temperaturas bastante elevadas. O professor Eugenio Hackbart, meteorologista e coordenador da rede de estações de climatologia urbana de São Leopoldo, afirma que, às 15h do dia 11 de novembro, verificou-se uma temperatura de 37,5 °C na estação meteorológica da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA), localizada em São Leopoldo. Entretanto, o próprio professor Hackbart⁷ afirma que a temperatura no Campus do Vale da UFRGS é sempre mais baixa do que no local onde está localizada a estação da ULBRA. De acordo com suas observações, é comum a ocorrência de dias quentes no mês de novembro, na região de Porto Alegre.

5.2.2.2 Velocidade e direção do vento

Como foi visto anteriormente, na cidade de Porto Alegre os ventos são predominantemente do quadrante leste/sudeste. Entretanto, no Campus do Vale, provavelmente devido à influência do relevo (e talvez, pela altura do anemômetro), nota-se uma predominância dos ventos do quadrante sul.

Deve-se salientar que, de acordo com o manual do anemômetro da estação do IPH (DAVIS INSTRUMENTS CORPORATION, 2001), a sonda tem resolução de 22,5° sobre a rosa dos ventos, com precisão de $\pm 7^\circ$ para a direção do vento. Com relação à velocidade do vento, o equipamento tem condições de medir no intervalo de 0,45 a 39 m/s, com precisão de $\pm 5\%$.

Nos gráficos da figura 27 é possível visualizar com maior clareza a direção dos ventos predominantes, medidos pela estação do IPH, durante as quatro estações do ano.

⁷ Informações obtidas através de uma entrevista não estruturada com o professor Eugênio Hackbart em agosto de 2004.

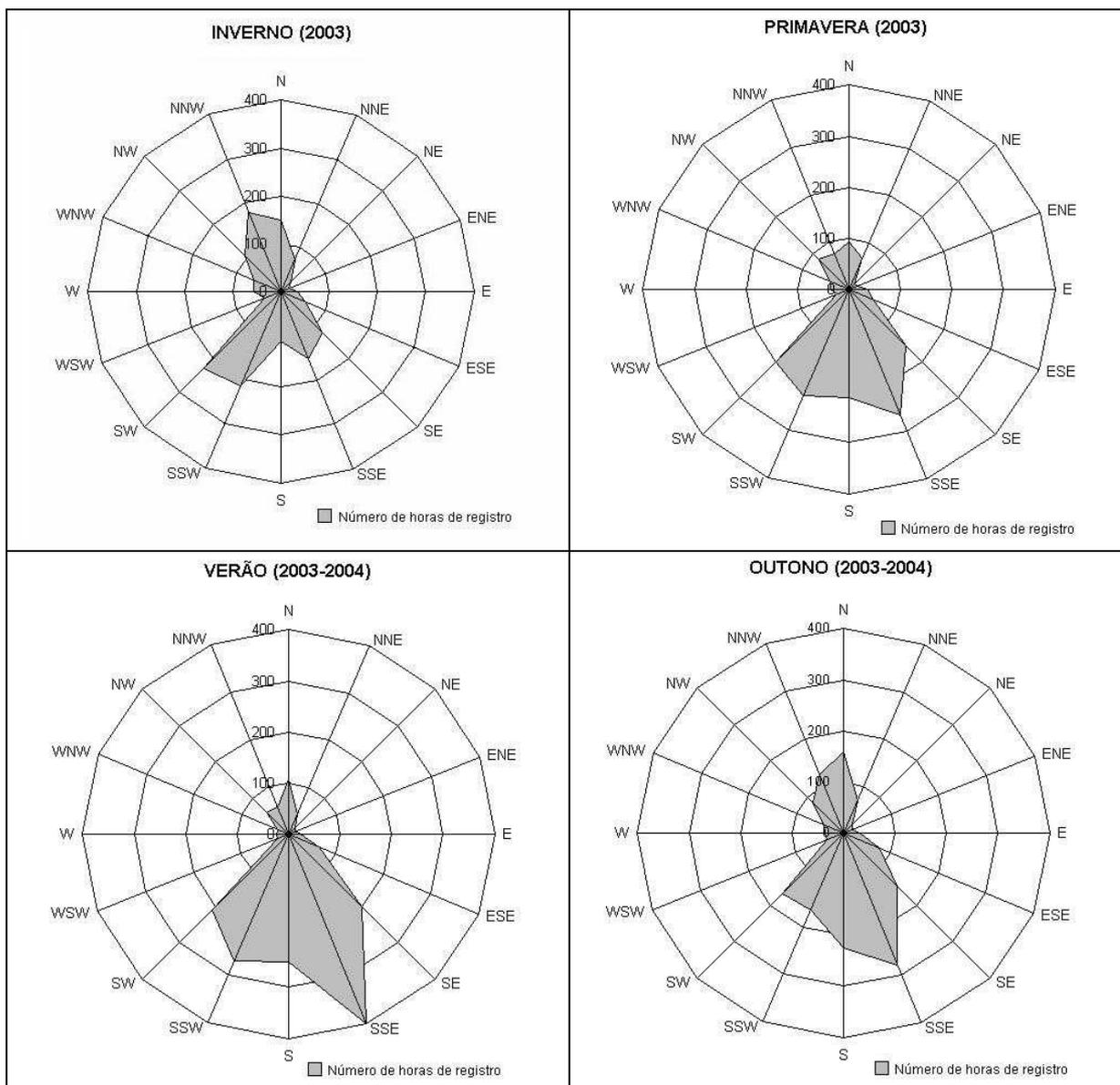


Figura 27: direção dos ventos, nas estações do ano, no Campus do Vale da UFRGS (2003-2004)

Com exceção da estação de inverno, quando os ventos predominantes provêm dos lados norte/noroeste e sudoeste/sul-sudoeste, nas demais estações a predominância é do quadrante sul, com o maior número de ocorrências do lado sul-sudeste.

O gráfico da figura 28 é resultante da soma dos valores apresentados nos gráficos da figura anterior. Deve-se salientar que, nesse período, em 20,74% das horas medidas, não havia vento, ou sua velocidade era muito baixa para ser registrada pelo equipamento de medição (inferior a 0,45 m/s).

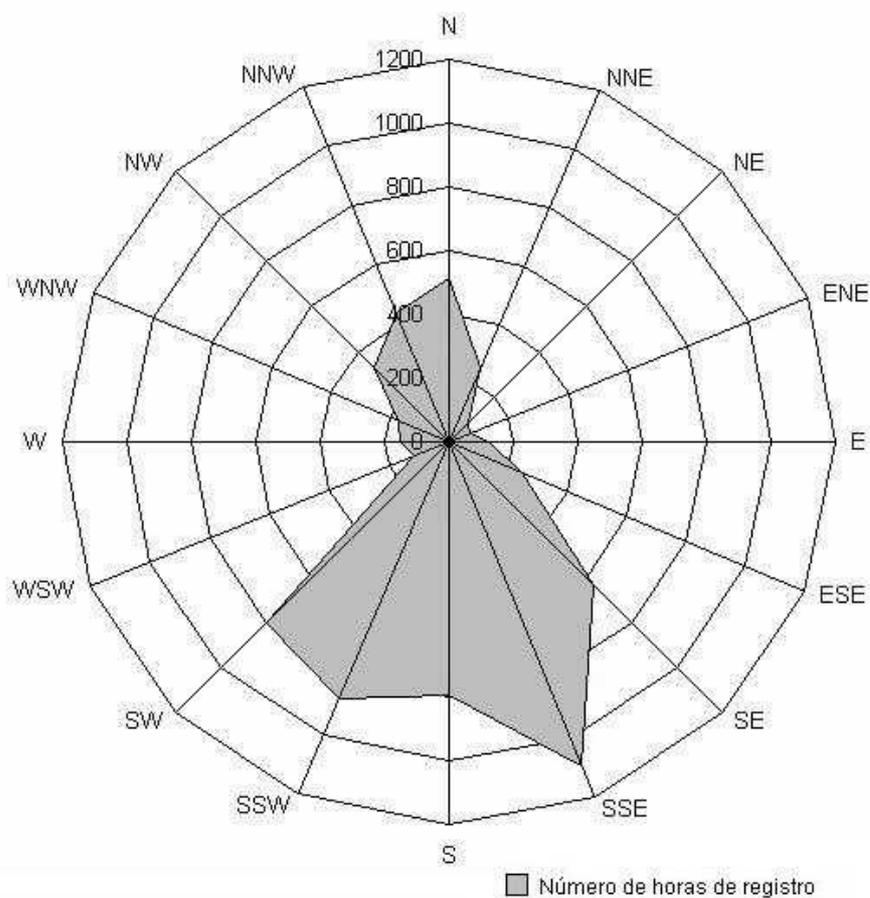


Figura 28: direção dos ventos, no Campus do Vale da UFRGS (período: 12 de maio de 2003 a 12 de maio de 2004)

Os ventos provenientes do quadrante norte ocorrem, principalmente, nas estações do outono e inverno. Ao todo, foram registrados 1.095 valores horários do lado sul-sudeste, sendo que, durante o verão, registrou-se o maior número de horas proveniente dessa direção (399 horas).

Quando somadas, as ocorrências do quadrante sul (do sudoeste ao sudeste) alcançam 4.188 horas, o que representa 49,7% do total dos valores registrados.

Na tabela 5, de acordo com os registros da estação do IPH, são apresentados o número de horas e o percentual correspondente de cada direção do vento.

Tabela 5: direção dos ventos no Campus do Vale da UFRGS

Direção	Número de horas	Percentual
N	509	6,04%
NNE	252	2,99%
NE	86	1,02%
ENE	72	0,85%
E	126	1,49%
ESE	245	2,91%
SE	627	7,44%
SSE	1095	12,99%
S	791	9,38%
SSW	873	10,35%
SW	802	9,51%
WSW	120	1,42%
W	153	1,81%
WNW	165	1,96%
NW	330	3,91%
NNW	437	5,18%
Sem Vento	1749	20,74%
Total	8432	100%

No Campus do Vale, as velocidades médias registradas são menores que aquelas encontradas nas outras referências consultadas. Isso já era esperado, em função da altura do anemômetro da estação do IPH (apenas 2 metros), em relação àquelas das outras estações meteorológicas (normalmente 10 metros de altura). O valor anual médio calculado foi de 1,22 m/s, sendo que a velocidade média mais elevada ocorreu no mês de dezembro (1,4 m/s). O mês de junho apresentou o valor médio mais baixo, com velocidade inferior a 1,0 m/s.

Em termos absolutos, o valor máximo ocorreu no dia 24 de maio de 2003, quando foi registrada a velocidade de 4,9 m/s, proveniente do lado norte-noroeste. Entretanto, a maior frequência de ventos fortes se deu nos meses de novembro e dezembro, quando foram registradas velocidades de 4,5 m/s, provenientes dos lados sudoeste e noroeste. Além disso, foram registradas rajadas superiores a 11 m/s, principalmente do quadrante norte e do lado sudoeste.

5.2.2.3 Umidade relativa do ar

Os valores registrados para a umidade relativa do ar, na estação meteorológica do IPH, no ano estudado, apresentaram médias bastante superiores aos valores das normais climatológicas apontados por Uber (1992) e por Ferraro e Hasenack (2000). Na tabela 6 é possível comparar

os valores registrados pelas diferentes estações meteorológicas e as médias calculadas para os diferentes períodos.

Tabela 6: comparativo da umidade relativa do ar - dados do IPH, aeroporto Salgado Filho e 8º Distrito de Meteorologia

Mês	IPH (2003-2004)	Estação do Aeroporto Salgado Filho (1951-1970)	8º Distrito de Meteorologia (1916-1988)
Jan	83	75	71
Fev	83	76	74
Mar	84	78	76
Abr	86	81	77
Maio	90	84	81
Jun	95	86	82
Jul	91	84	81
Ago	85	83	79
Set	87	82	78
Out	84	80	75
Nov	81	75	71
Dez	81	73	69
ANO	86	80	76

(baseado em Uber, 1992; Ferraro e Hasenack, 2000)

Deve-se salientar que, segundo os manuais dos sensores da estação do IPH (DAVIS INSTRUMENTS CORPORATION, 2001), a sonda de umidade relativa tem resolução de 1% e precisão de $\pm 3\%$. Assim sendo, os valores médios registrados pela estação do IPH podem apresentar uma pequena variação, para mais ou para menos, em relação ao valor real.

Apesar da diferença significativa entre as diferentes estações, nota-se uma coerência entre os valores médios mensais. Os valores médios mais elevados ocorreram no mês de junho e os valores mais baixos, no mês de dezembro (nas três estações meteorológicas). No gráfico da figura 29 é possível perceber que as médias mensais são bastante elevadas, com valores sempre superiores aos 80%.

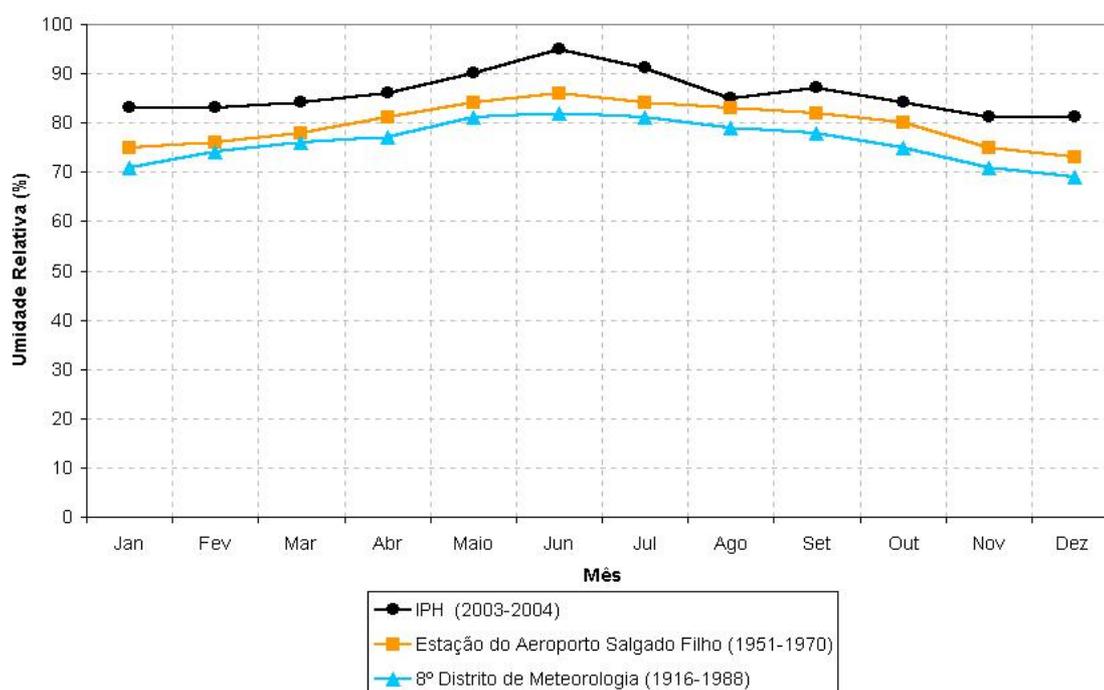


Figura 29: valores médios mensais da umidade relativa do ar nas diferentes estações meteorológicas

5.2.2.4 Radiação solar global (total)

A estação meteorológica do IPH mede a radiação solar global (direta e difusa), recebida por hora, sobre um plano horizontal. O valor é dado em $W/m^2 \cdot h$ e as tabelas com os valores horários das variáveis medidas durante as semanas com maiores máximas e menores mínimas do período estudado, encontram-se nos apêndices A e B, no final do trabalho.

Infelizmente não existem muitos dados comparativos de radiação solar. Aroztegui (1977) apresenta valores médios de radiação solar, obtidos a partir da interpolação de dados fornecidos pela Bouwcentrum Argentina e pelo Serviço de Climatologia Aplicada, da Faculdade de Arquitetura de Montevideú, Uruguai. Mas, como o próprio autor comenta, esses dados são pouco precisos e necessitam de uma confirmação experimental para Porto alegre.

No gráfico da figura 30 são apresentados os valores médios de radiação solar, para cada mês do período estudado (12 de maio de 2003 a 12 de maio de 2004), medidos pela estação meteorológica do IPH. Para se chegar a estes valores, foram calculadas as médias horárias, de

todos os dias de cada mês, obtendo-se então um dia médio mensal, a partir do qual foram somados os valores horários de radiação solar.

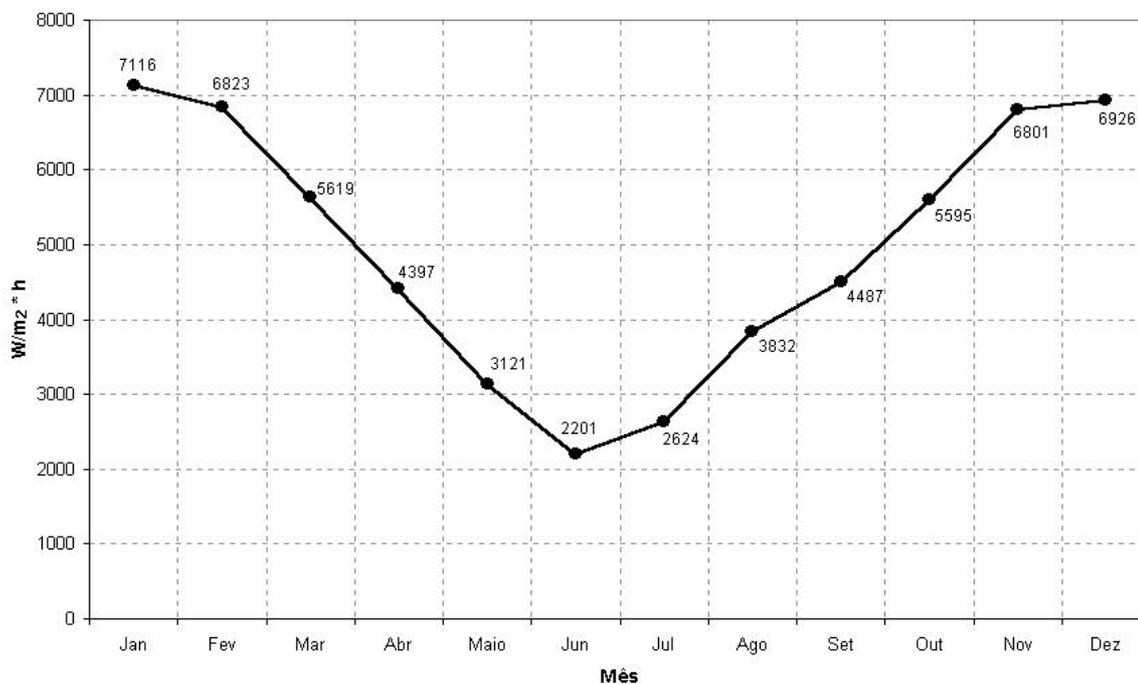


Figura 30: valores médios mensais de radiação solar global (2003-2004)

Observa-se uma coerência lógica dos valores médios calculados, já que no mês de junho, devido a inclinação do eixo terrestre, a área que recebe a máxima intensidade de radiação solar está no hemisfério norte, junto ao trópico de Câncer. E além de receber um número menor de horas de insolação, o mês de junho, juntamente com os meses de julho, setembro e outubro, se caracteriza por apresentar maior nebulosidade (UBER, 1992), o que diminui o ganho de radiação solar direta.

De acordo com os argumentos expostos acima, o mês de dezembro deveria ter apresentado um valor de radiação solar superior ao de janeiro, visto que durante o solstício de verão, a área próxima ao trópico de Capricórnio recebe maior intensidade de radiação. No entanto, provavelmente em decorrência da nebulosidade, o ano estudado apontou o mês de janeiro como sendo o que recebeu maior quantidade de radiação solar.

No gráfico da figura 31 são mostrados os valores médios horários de cada mês, ou seja, foram calculadas as médias de radiação solar, para cada hora do dia, durante cada mês do ano.

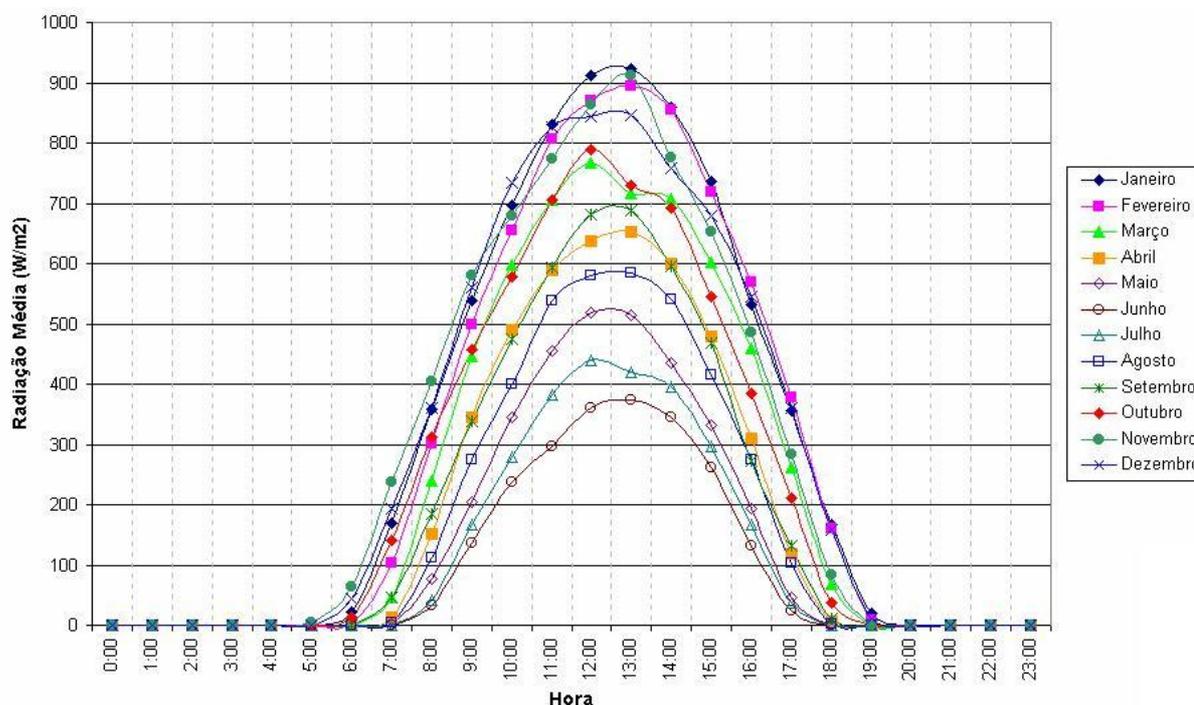


Figura 31: valores médios horários da radiação solar global recebida ao longo dos doze meses do ano estudado (2003-2004)

Observa-se que alguns dos valores médios mais elevados ocorreram às 13 h. Deve-se lembrar nesse caso, que Porto Alegre se encontra localizada na longitude $51^{\circ} 13'$ oeste, ou seja, existe um atraso de quase 25 minutos, em relação ao horário oficial de Brasília, que considera o meridiano 45° oeste como referência. Além disso, em função da órbita elíptica da Terra, em alguns meses esse atraso se torna maior, podendo chegar a 39 minutos em determinados dias, ou seja, quando o horário oficial marcar 12 h, pelo horário solar ainda faltarão mais de 30 minutos para que o sol atinja sua máxima altura (para o dia específico). O caso citado ocorre, por exemplo, nos meses de janeiro e fevereiro, quando a maior quantidade de radiação direta recebida ocorreu às 13h (na média do mês).

No caso específico do mês de novembro, que apresentou valores médios elevados, é necessário lembrar que a média foi calculada a partir dos valores existentes, ou seja, não existiam dados do dia primeiro até as 6h do dia 13. Em função disso, pode ter ocorrido alguma distorção na média horária calculada, já que os dias em que os valores foram coletados apresentaram pouca nebulosidade.

6 RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE DOS DADOS

O capítulo que segue, além de apresentar os dados coletados no interior e exterior do protótipo, tem o objetivo de analisar e discutir os resultados obtidos, para cada uma das estações do ano, no período estudado.

Os limites de conforto térmico e os critérios de avaliação utilizados são:

- a) diagrama bioclimático para edificações de Givoni (1992), para países em desenvolvimento e de clima quente;
- b) número de horas de desconforto, proposto por Barbosa (1997);
- c) grau-hora e grau-médio.

A edificação também é analisada sob os aspectos de retardo e amortecimento térmico, a partir da comparação da temperatura do ar (externo e interno), durante as semanas que apresentam as maiores temperaturas máximas diárias, menores mínimas diárias e os dias com as maiores amplitudes térmicas de cada estação do ano.

6.1 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO NO INVERNO

O período de inverno, arbitrado nesse estudo, teve início à meia-noite do dia 23 de junho de 2003 e prosseguiu até às 23h do dia 22 de setembro. Ao todo, foram registrados 2208 dados de cada variável ambiental externa (92 dias de medições).

Com relação aos dados internos de temperatura, deve ser ressaltado que, em 19 horas do período de medição, o aparelho esteve desligado para manutenção (extração dos dados ou devido à presença de visitantes no protótipo). Por um período de 215 horas não sequenciais, devido a falhas de leitura do equipamento, não foram registrados dados de umidade relativa do ar.

Com relação aos limites de conforto para o inverno, foi adotada a zona de conforto para países em desenvolvimento, proposta por Givoni (1992). Dessa forma, os valores de temperatura do ar de 18°C e 27°C, correspondem aos limites, inferior e superior, respectivamente, da zona de conforto de inverno, adotados neste trabalho.

6.1.1 Dados Climáticos do Inverno

6.1.1.1 Temperatura do ar

O menor valor de temperatura do ar externo foi registrado às 4 h, do dia 12 de julho, quando o termômetro atingiu a marca de 0,5°C. Em contrapartida, o valor máximo da temperatura do ar externo da estação ocorreu às 16 h, do dia 6 de setembro, com registro de 33,7°C.

No interior do protótipo Alvorada, verificou-se o valor mínimo de 8,7°C, às 8h do dia 13 de julho, enquanto o valor máximo foi registrado às 17 h, do dia 7 de setembro, com a temperatura de 25,9°C.

O valor médio da temperatura do ar externo, no Campus do Vale da UFRGS, no inverno de 2003, foi de apenas 13,8°C, enquanto que a média para a temperatura interna de bulbo seco foi de 16,3°C.

No gráfico da figura 32, são apresentadas as curvas de temperatura do ar, ao longo do período de inverno de 2003. As linhas horizontais indicam os limites, inferior e superior, da zona de conforto de Givoni (1992), para países em desenvolvimento (18°C e 27°C, respectivamente).

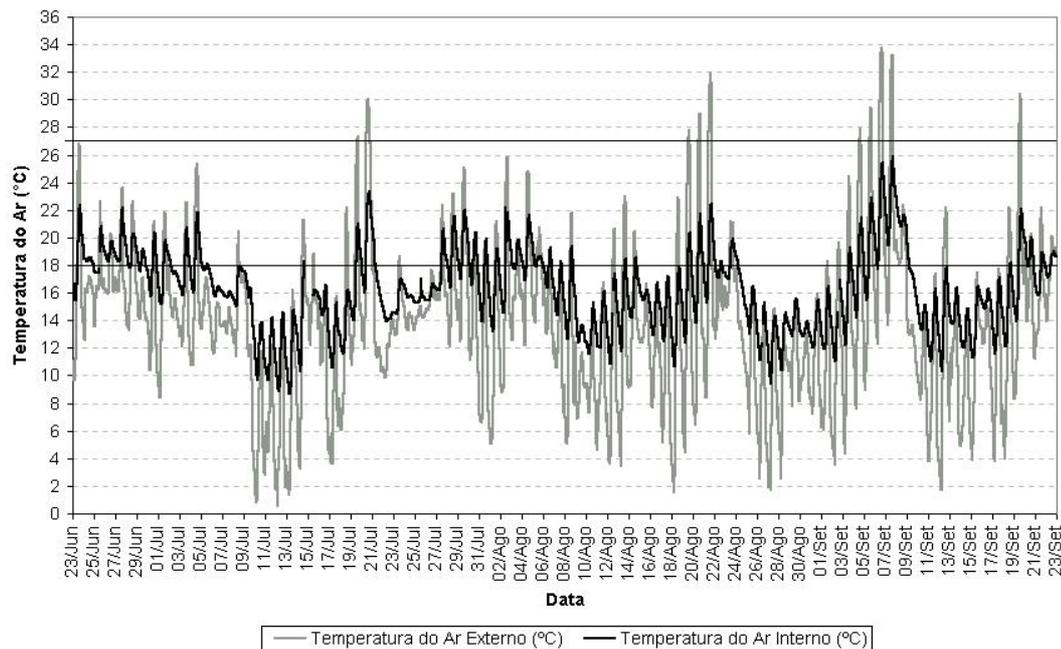


Figura 32: valores internos e externos da temperatura do ar - inverno de 2003

Observando o gráfico da figura 32, é possível notar que o período de inverno se caracteriza por grandes variações de temperatura ao longo do dia. Embora a edificação apresente um amortecimento significativo dos valores extremos verificados no exterior, percebe-se que as curvas de temperatura, interna e externa, apresentaram valores abaixo da linha horizontal do limite de conforto considerado (18°C) durante a maior parte do tempo.

6.1.1.1.1 Semana com a menor média das mínimas diárias do inverno

A semana com a menor média das mínimas diárias do inverno de 2003 ocorreu entre 8 e 15 de julho. O gráfico da figura 33 mostra a oscilação da temperatura durante essa semana. No apêndice A são apresentados os valores das variáveis externas, medidos durante esta semana.

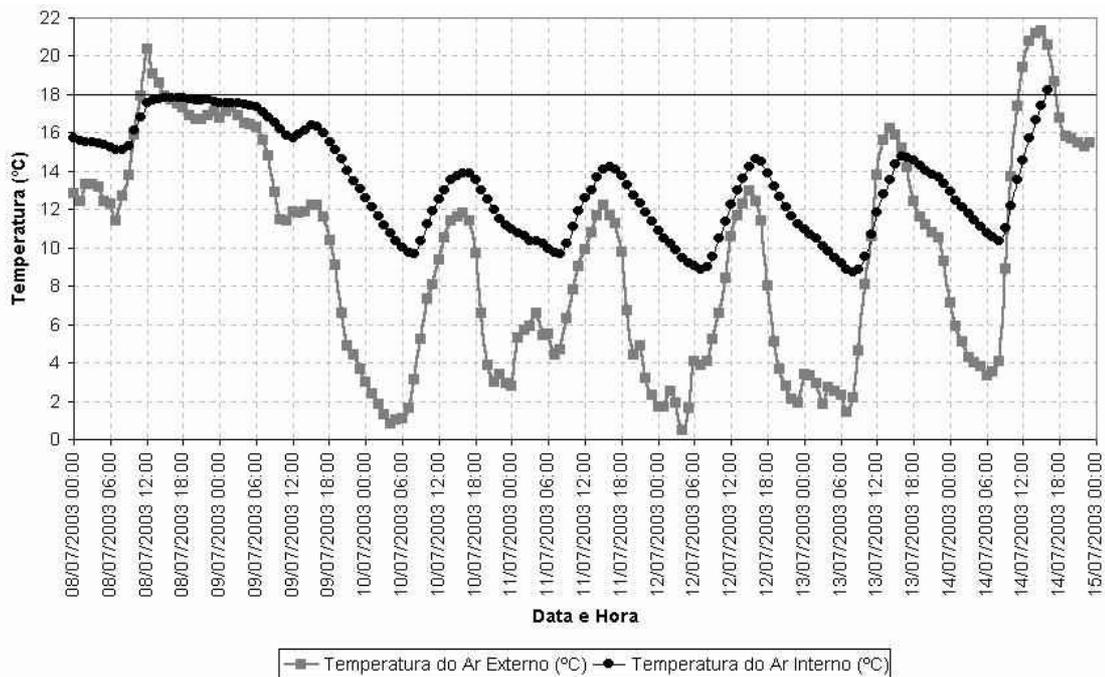


Figura 33: temperatura do ar durante a semana com a menor média das mínimas diárias - inverno

A média dos valores mínimos diários do ar externo, nesta semana, foi de 3,3°C. Após uma seqüência de dias frios, o valor mínimo da temperatura do ar externo foi registrado às 4h do dia 12 de julho, quando o termômetro atingiu a marca de 0,5°C. Verificou-se um atraso térmico de três horas, indicando o período decorrido até que este valor mínimo externo fosse percebido no interior do protótipo (a saber, 8,8°C às 7 h). Entretanto, o valor mínimo registrado no interior do protótipo só ocorreu às 8h do dia 13 de julho, quando o termômetro atingiu a marca de 8,7°C.

A temperatura média do ar no exterior, durante esta semana, foi de 9,6°C, enquanto que a média interna calculada foi de 13,2°C. O amortecimento térmico médio verificado para as mínimas foi de 7,4K. Deve-se observar ainda que, nesta semana, as temperaturas externas permaneceram abaixo dos 18°C durante 159 horas das 168 consideradas. Nos três dias mais frios, as temperaturas internas apresentaram valores sempre superiores àqueles medidos simultaneamente no exterior.

6.1.1.1.2 Semana com a maior média das máximas diárias do inverno

A semana que apresentou os dias mais quentes da estação ocorreu entre 2 e 9 de setembro. O gráfico da figura 34 permite a visualização clara da distribuição das temperaturas, durante a semana com a maior média das máximas diárias do inverno.

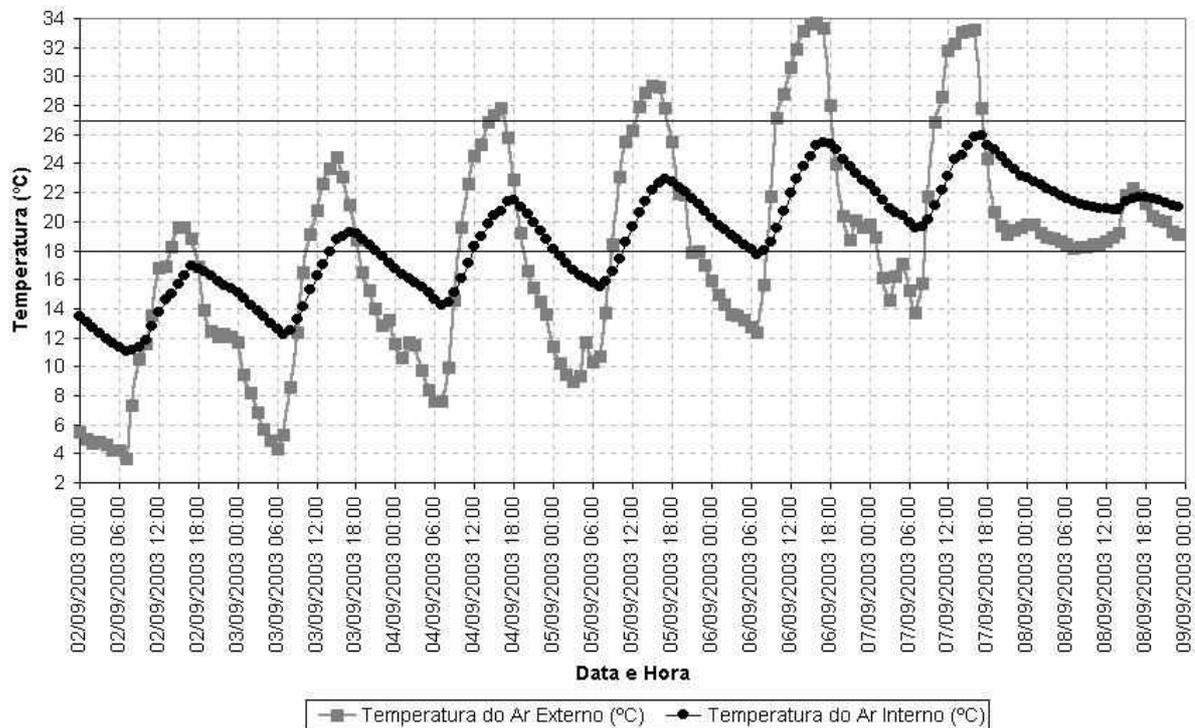


Figura 34: temperatura do ar durante a semana com a maior média das máximas diárias - inverno

A média dos valores máximos diários da temperatura do ar externo, nesta semana, foi de 27,2°C. O maior valor para a temperatura do ar externo foi atingido às 16 h, no dia 6 de setembro, quando o termômetro registrou o valor máximo de 33,7°C. O valor máximo absoluto da temperatura do ar interno ocorreu às 17 h, no dia 7 de setembro, quando o termômetro de bulbo seco registrou 25,9°C.

A temperatura média do ar no exterior, durante esta semana, foi de apenas 18,9°C, enquanto que a média interna calculada foi de 17,9°C. O amortecimento térmico médio verificado foi de 6K, para as mínimas absolutas, e 5,3K, para as máximas. Deve-se salientar que, durante as 168 horas consideradas, as temperaturas externas permaneceram abaixo dos 18°C, em 77 horas, e acima dos 27°C, em 23 horas. Enquanto isso, no interior do protótipo, não ocorreu desconforto por calor e os registros de desconforto por frio foram reduzidos para 66 horas.

Na semana em questão as amplitudes de temperatura não ultrapassaram os 8K, no interior do protótipo, enquanto isso, no exterior, foram registradas variações de temperatura superiores a 20K. As medições internas apontaram temperaturas mais baixas durante os dias, e mais elevadas durante as noites (em relação aos valores externos). A exceção ocorreu no dia 8 de

setembro, quando as nuvens encobriram o céu e diminuíram a temperatura do ar externo (choveu no final do dia 7 e também no dia 8). Com isso, a temperatura interna permaneceu mais elevada que a externa durante a maior parte do dia, apresentando valores entre 20,8°C e 23°C.

6.1.1.1.3 Maior amplitude térmica e o amortecimento proporcionado pela construção

As maiores amplitudes de temperatura externa, registradas no inverno de 2003, ocorreram entre os dias 18 e 22 do mês de agosto. Nos dias 19 e 21 de agosto, em menos de doze horas, verificou-se uma variação de 23,5K na temperatura do ar externo. Deve-se salientar que nestes quatro dias, houve pouca ou nenhuma nebulosidade, com temperaturas baixas ocorrendo por volta das 6h ou 7h da manhã, aumentando gradativamente até atingir os valores máximos, entre 15h e 16h da tarde.

No gráfico da figura 35 podem ser observadas as variações diárias de temperatura no interior e exterior do protótipo Alvorada, durante o intervalo citado.

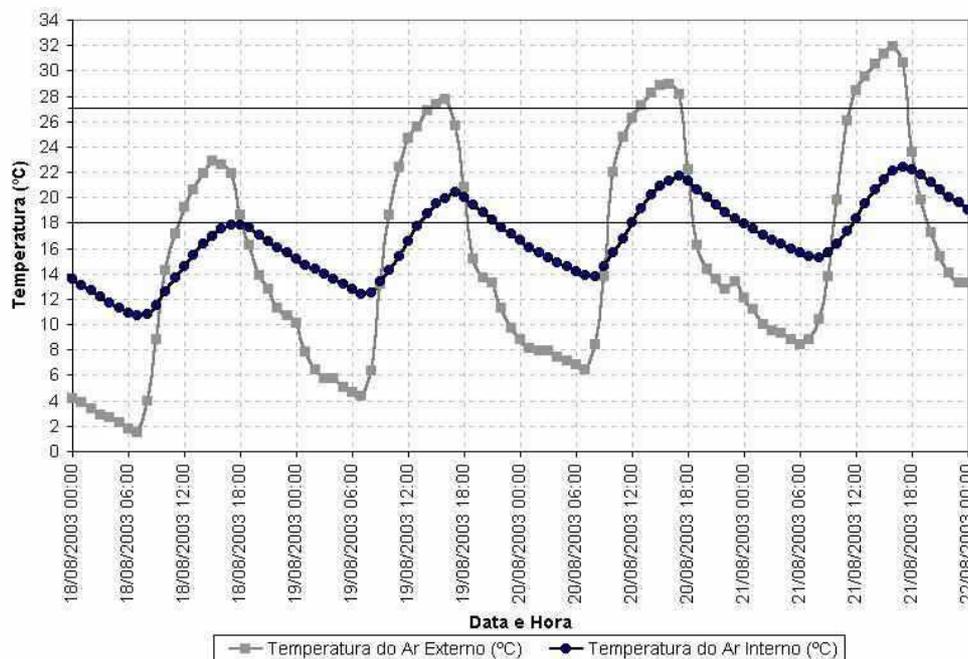


Figura 35: dias com a maior amplitude diária da temperatura do ar - inverno

Embora a temperatura externa tenha apresentado uma amplitude média de 22,7K, a temperatura interna teve uma variação média de apenas 7,6K, no período considerado. Os

valores externos oscilaram entre 1,5°C, no dia 18, e 31,9°C, no dia 21. Enquanto isso, no interior do protótipo, a temperatura mínima no período foi de 10,7°C, e a máxima de 22,4°C. Apesar da grande diferença registrada entre essas amplitudes, as temperaturas médias do ar interno e externo apresentaram valores bastante próximos: 16,7°C e 15,2°C, respectivamente.

A partir dos dados analisados, pode-se afirmar que a edificação foi capaz de proporcionar um abrandamento significativo das temperaturas extremas ocorridas no exterior. O amortecimento térmico médio verificado, durante os quatro dias do período avaliado, foi de 7,9K para as mínimas absolutas e 7,3K para as máximas.

6.1.1.1.4 Temperatura de globo

Com relação aos dados de temperatura de globo no interior do protótipo, verificou-se que os valores medidos foram sempre um pouco superiores àqueles registrados pelo termômetro de bulbo seco. A diferença máxima entre os valores medidos pelas duas sondas foi de 1,17K. A temperatura de globo apresentou um valor médio de 16,7°C, enquanto que a média para a temperatura de bulbo seco foi de 16,3°C.

6.1.1.2 Umidade relativa do ar

No que se refere à umidade relativa do ar, observou-se que os valores externos oscilaram entre 27% e 100%, e a média, calculada para o período, foi de 87,9%. Os valores mínimos foram medidos às 14h e 15h do dia 19 de agosto. Já os valores máximos, de 100%, foram registrados em 885 horas, quase sempre durante as madrugadas frias. Destaca-se que, nos meses de inverno, em apenas cinco dias, a umidade relativa do ar não atingiu o valor máximo de 100%, em pelo menos uma hora do dia.

Enquanto isso, no interior do protótipo, a variação constatada permaneceu entre 51,1%, para o valor mínimo, e 89,4%, para o valor máximo, com uma média de 71,6% (durante as horas medidas).

No gráfico da figura 36, são apresentadas as curvas com a oscilação da umidade relativa no período de inverno.

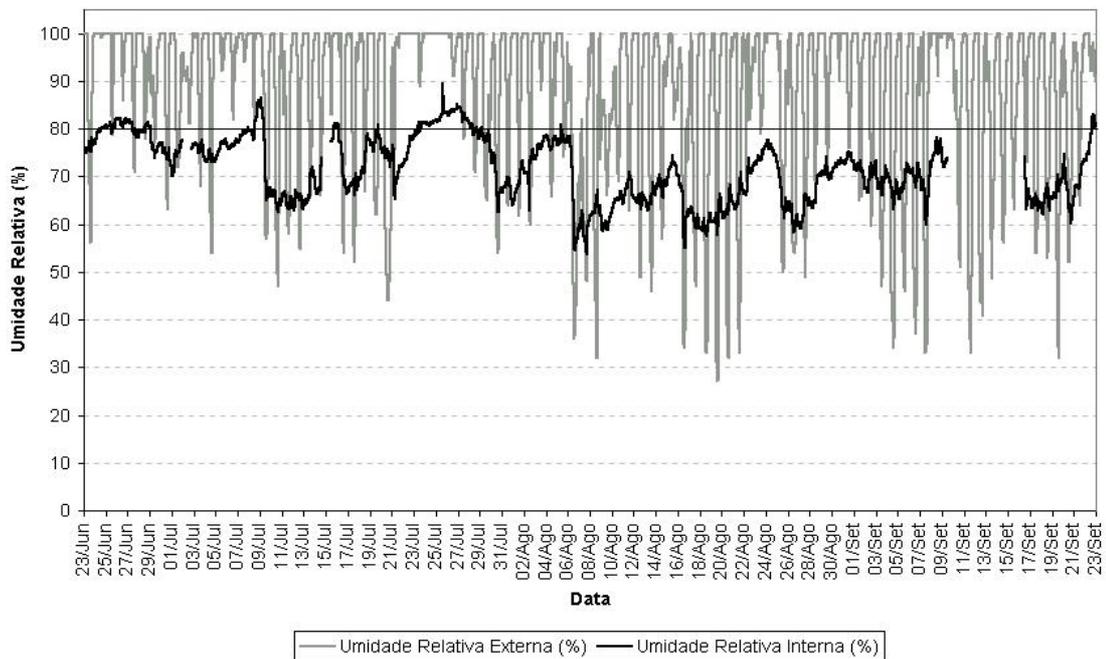


Figura 36: umidade relativa do ar - inverno

Verificou-se que a umidade relativa do ar, no exterior, esteve abaixo dos 80% em 527 horas, em um total de 2.208 horas medidas no período (aproximadamente 24%). Já no interior do protótipo, das 1.993 horas medidas, em 1.751 horas a umidade relativa do ar esteve abaixo dos 80% (quase 90% das horas medidas).

Observando a figura 36, nota-se que os valores da umidade relativa são mais estáveis no interior do protótipo, apresentando a maior parte dos valores no intervalo dos 60 a 80%. Parte dessa estabilidade se deve ao fato da temperatura interna ser, em média, maior que a do exterior. Além disso, as paredes internas também podem ter contribuído, através da absorção do vapor, quando o ar externo atingia os valores mais elevados de umidade, e liberação desse vapor, em horários nos quais a umidade externa apresentava valores baixos.

Observa-se que, quando a edificação estiver em uso, com a produção de vapor devido às atividades diárias comuns em ambientes domésticos (cocção de alimentos, banhos, etc), provavelmente ocorrerá um aumento no percentual da umidade relativa interna. Também se deve salientar que, com a abertura das esquadrias e as conseqüentes trocas de ar, os valores de umidade relativa interna sofrerão uma modificação e talvez se aproximem daqueles medidos no exterior.

6.1.2 Graus-hora para o Inverno

Como já foi comentado anteriormente na revisão bibliográfica, às vezes, o número de horas de desconforto não é suficiente para caracterizar a eficiência da envolvente construtiva, diante das condições externas. Em função disso, os graus-hora foram calculados, tanto para o exterior, como para o interior do protótipo Alvorada, com vistas a comparar os valores resultantes e analisar o abrandamento das condições externas.

Neste estudo, optou-se por estabelecer os graus-hora para aquecimento com as temperaturas-base de 14°C, 15°C, 16°C, 17°C e 18°C. As temperaturas bases utilizadas no cálculo dos graus-hora para refrigeração foram: 25°C, 26°C, 27°C, 28°C e 29°C.

Os valores do somatório de graus-hora para aquecimento são mostrados na tabela 7. Na mesma tabela são apresentados os valores do grau-médio, calculados para cada uma das temperaturas-base prescritas.

Tabela 7: somatório de graus-hora para aquecimento - inverno

Temperatura -Base	Temperatura Externa			Temperatura Interna		
	Graus-hora	Nº de horas	Grau-médio	Graus-hora	Nº de horas	Grau-médio
14°C	4.943,8	1.148	4,3	608,8	405	1,5
15°C	6.201,5	1.343	4,6	1.405,6	722	1,9
16°C	7.638,0	1.521	5,0	2.274,8	1.039	2,2
17°C	9.256,6	1.689	5,5	3.467,5	1.308	2,6
18°C	11.007,7	1.789	6,1	4.902,7	1.574	3,1

No período de inverno, o exterior apresentou valores de grau-médio e graus-hora superiores àqueles do interior do protótipo (para as mesmas temperaturas-base). Destaca-se que o somatório dos graus-hora, para a temperatura-base de 18°C, foi reduzido de 11.007,7 no exterior para 4.902,7 no interior do protótipo. Já o grau-médio, para a mesma temperatura-base, também teve uma redução significativa, passando de 6,1K para 3,1K.

Nota-se que os somatórios de graus-hora, para a temperatura-base interna de 18°C (4.902,7) e base externa de 14°C (4.943,8), apresentam valores muito próximos. Comparativamente, é como se todos os valores da temperatura-base externa de 14°C tivessem sido deslocados para cima atingindo a base de 18°C, no interior do protótipo. Isso pode ser um indicativo que, para as condições de frio, a envolvente construtiva proporcionou um aumento médio de 4K, em relação às condições do exterior.

O somatório de graus-hora para refrigeração, os valores de grau-médio e o número de horas com temperatura superior às bases estipuladas são apresentados na tabela 8.

Tabela 8: somatório de graus-hora para refrigeração - inverno

Temperatura -Base	Temperatura Externa			Temperatura Interna		
	Graus-hora	Nº de horas	Grau-Médio	Graus-hora	Nº de horas	Grau-Médio
25°C	263,9	82	3,2	2,93	7	0,4
26°C	190,8	65	2,9	0	0	0
27°C	132,4	49	2,7	0	0	0
28°C	88,7	36	2,5	0	0	0
29°C	56,3	26	2,2	0	0	0

Conforme a tabela 8, ocorreram somente 7 valores horários acima da temperatura-base interna de 25°C, os quais produziram um grau médio de 0,4K. Já os valores externos, para a mesma temperatura-base, mostraram um somatório de graus-hora de 263,9, com um grau-médio de 3,2K.

Deve-se ressaltar que não ocorreram valores internos acima da base de 26°C. Já no exterior, em 26 horas a temperatura do ar extrapolou a base de 29°C, produzindo um somatório de graus-hora de 56,3 e um grau-médio igual a 2,2K.

Como a edificação foi monitorada sem que houvesse nenhum ocupante ou equipamento gerando calor no interior da casa, supõe-se que, em uma situação real de uso, haveria um ganho térmico interno. Assim, alguns valores que na atual medição estão fora da zona de conforto, passariam a fazer parte dela. Por outro lado, alguns dos valores internos, incrementados pelos ganhos de calor, extrapolariam os limites superiores da zona de conforto. Dessa forma, considera-se importante apresentar a distribuição das temperaturas externas e internas, visto que algumas destas podem se configurar em potenciais acréscimos (ou decréscimos) dos valores horários de conforto.

As figuras 37 e 38 mostram os histogramas da temperatura do ar no inverno, externo e interno, respectivamente. Através deles, também é possível observar a distribuição dos valores de temperatura que apareceram com maior frequência durante as medições. As colunas em cinza escuro representam o intervalo das horas em que a temperatura medida se encontra dentro da zona de conforto considerada (18°C a 27°C).

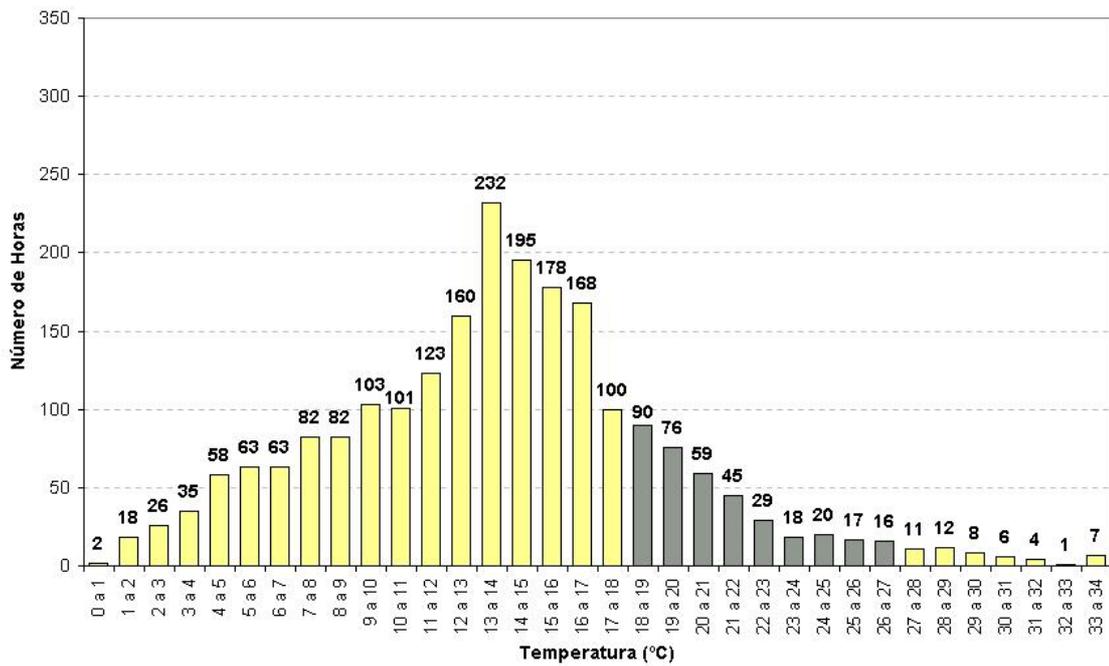


Figura 37: histograma das temperaturas externas - inverno

Nota-se que, apesar da distribuição esparsa dos valores internos, há uma predominância de registros horários no intervalo de 12°C a 17°C (933 valores). Também é visível a preponderância das temperaturas horárias dentro da zona de desconforto por frio (1.574 valores).

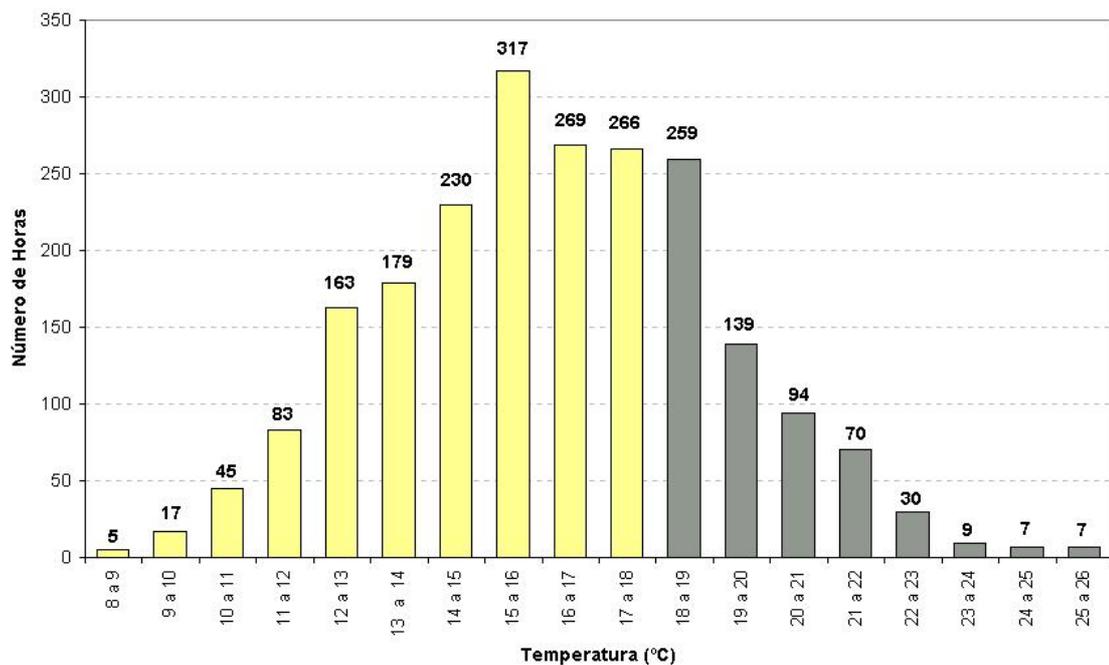


Figura 38: histograma das temperaturas internas - inverno

No histograma da figura 38, nota-se um aumento dos valores na faixa de conforto, mas ainda predominam as temperaturas baixas. Percebe-se, no entanto, que mais de 1000 valores internos concentram-se no intervalo que vai dos 15°C aos 19°C. Supondo que os ganhos internos de calor, produzidos pelos equipamentos e metabolismo dos usuários, proporcionem um acréscimo de temperatura na ordem de 2,8°C (conforme referido no item 2.3.3), um número significativo de valores horários de temperatura, inseridos no intervalo citado, poderiam superar o limite dos 18°C.

Por outro lado, considerando o mesmo raciocínio para os valores próximos a temperatura limite de desconforto por calor, tem-se apenas 14 valores internos acima dos 24°C, que somados aos 2,8°C poderiam superar o limite de 27°C.

Além disso, deve-se destacar que 514 registros internos de temperatura do ar inferior a 18°C ocorreram entre a meia-noite e 6h da manhã, quando o usuário provavelmente estará dormindo e com um nível de vestimenta maior, podendo, portanto, suportar temperaturas um pouco mais baixas.

6.1.3 Carta Bioclimática para o Inverno

Como as condições de conforto consideradas neste trabalho correlacionam a temperatura com a umidade relativa do ar, optou-se por utilizar o programa Analysis Bio, desenvolvido pela equipe do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Deve-se frisar, no entanto, que o programa estabelece o limite superior da zona de conforto com a temperatura de 29°C, enquanto que neste estudo foi adotada a temperatura de 27°C, como valor máximo de conforto para o inverno. Em função disso, as cartas psicrométricas geradas pelo Analysis Bio foram editadas, e os limites superiores de temperatura e umidade foram deslocados para se enquadrar na proposta deste trabalho. Pelo mesmo motivo, não foram utilizados os relatórios gerados pelo programa, para calcular os percentuais de conforto e desconforto.

Os dados horários de temperatura e umidade relativa do ar foram dispostos sobre duas cartas psicrométricas, uma externa e a outra interna à edificação (figuras 39 e 40, respectivamente).

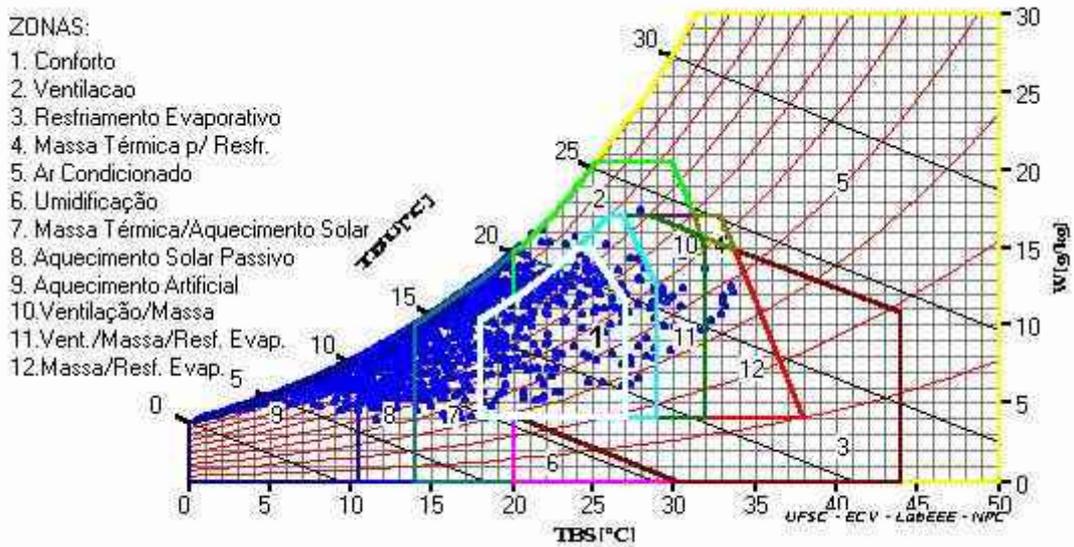


Figura 39: carta bioclimática com os dados externos de umidade e temperatura do ar - inverno de 2003

Observando a figura acima, verifica-se que os pontos estão amplamente distribuídos sobre as diferentes zonas da carta bioclimática. Todavia, os pontos que se encontram dentro da zona de conforto são minoria em relação ao total. Além disso, nota-se que em um grande número de horas, a temperatura do ar externo foi menor ou igual a 10,5°C (zona 9).

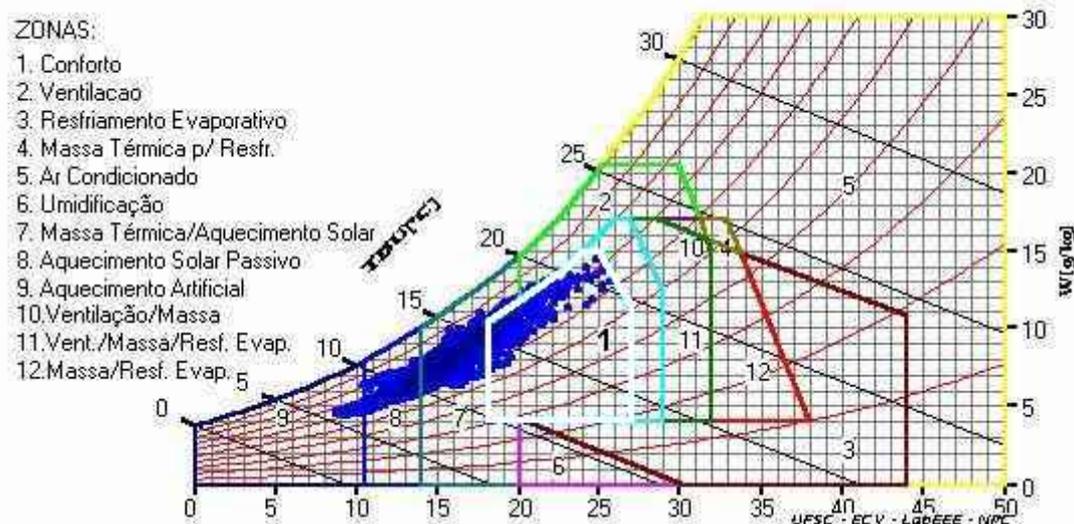


Figura 40: carta bioclimática com os dados internos de umidade e temperatura do ar - inverno de 2003

Na figura 40, a maior parte dos pontos concentra-se dentro de uma faixa relativamente estreita, entre as curvas de umidade relativa de 60 e 80%. Percebe-se que, apesar do amortecimento proporcionado pela construção, a maioria dos valores ainda se encontra fora da zona de conforto.

Em 1789 horas, das 2208 horas monitoradas no exterior, a temperatura do ar apresentou valores inferiores à 18°C. Por outro lado, em 49 horas a temperatura do ar externo ultrapassou o valor de 27°C, considerado como limite superior de conforto, para o período de inverno, em países em desenvolvimento (GIVONI, 1992).

Foram obtidas, portanto, 81% de horas de desconforto devido ao frio e 2,2% de horas de desconforto devido ao calor. Além disso, em 7,6% das horas, embora a temperatura do ar externo tenha apresentado valores entre 18°C e 27°C, a umidade relativa do ar apresentou valores superiores ao limite de conforto considerado. Com isso, o percentual de desconforto externo alcançou 90,9% das horas do inverno de 2003. O quadro resumo da figura 41 permite a visualização dos dados medidos e seus respectivos percentuais. Salienta-se que, no cálculo dos percentuais internos, foram desconsiderados os valores de temperatura que não possuíam a leitura simultânea da umidade relativa do ar (196 registros).

Parâmetros limite de conforto/ desconforto	Valores Externos		Valores Internos	
	nº de horas	(%)	nº de horas	(%)
Número de horas de leitura	2.208	100	1.993	100
Número de horas com temperatura abaixo de 18°C	1.789	81	1.385	69,5
Número de horas com temperatura acima de 27°C	49	2,2	0	0
Número de horas com umidade relativa igual ou superior a 80%	1.681	76,1	242	12,1
Número total de horas de desconforto devido à temperatura do ar inadequada (<18°C ou >27°C)	1.838	83,2	1.385	69,5
Número total de horas dentro da zona de conforto de inverno	201	9,1	514	25,8
Número total de horas fora da zona de conforto de inverno	2.007	90,9	1.479	74,2

Figura 41: quadro resumo dos dados verificados no inverno de 2003

Destaca-se que, em 94 registros internos (4,72%), apesar da temperatura do ar encontrar-se dentro dos limites de conforto, a umidade relativa do ar apresenta valores superiores àqueles estabelecidos na zona de conforto.

Verificou-se uma redução do número de horas de desconforto, devido aos valores elevados da umidade relativa exterior. O número de horas internas, inseridos na zona de conforto, foi praticamente triplicado, em relação aos valores medidos no exterior.

Além disso, deve ser destacado que, no exterior, em 584 horas ou 26,4% do período de inverno, a temperatura do ar esteve abaixo dos 10,5°C (zona 9). Percebe-se, portanto, a necessidade de um sistema de aquecimento artificial⁸, para ser usado durante as manhãs e depois do pôr-do-sol, visto que a estratégia de aquecimento solar passivo, nestas situações, não é suficiente para produzir conforto térmico no interior da edificação (LAMBERTS et al., 2000).

6.2 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO NA PRIMAVERA

O período de primavera, estabelecido nesse estudo, teve início à meia-noite do dia 23 de setembro de 2003, e prosseguiu até às 23h do dia 21 de dezembro. Ao todo, foram 90 dias de medições, que equivalem a 2.160 registros de cada variável ambiental. Entretanto, devido à ocorrência de uma falha no equipamento de armazenamento de dados, da estação meteorológica do IPH, não existem registros referentes ao intervalo das 15h do dia 29 de outubro, até as 6h do dia 13 de novembro de 2003, o que corresponde a 352 dados faltantes.

Com relação aos dados internos, o equipamento de medição não registrou valores (ou esteve desligado), durante 103 horas do período, por questões de manutenção, falhas de leitura ou devido à presença de visitantes no protótipo.

Estabeleceu-se neste estudo, como valores limites da zona de conforto para primavera, as temperaturas de 18°C e 29°C. Justifica-se esta escolha em função de que, a maioria dos autores brasileiros que utilizam o diagrama bioclimático de Givoni (1992), para países em desenvolvimento, não faz distinção entre as estações do ano, considerando os limites de 18°C

⁸ No projeto original, consta a proposição de um fogão à lenha a ser construído em alvenaria, junto da parede oeste, no centro da sala/cozinha.

a 29°C para todas. Além disso, considera-se que no início da estação, o indivíduo estará adaptado ao frio do inverno e a aclimação ao calor se processará ao longo dos meses, até a chegada do verão.

6.2.1 Dados Climáticos da Primavera

6.2.1.1 Temperatura do ar

Na figura 42, são apresentadas as curvas de temperatura do ar para o exterior e interior do protótipo Alvorada, durante a primavera de 2003. As linhas horizontais indicam os limites de temperatura da zona de conforto considerada, para esta estação (18°C e 29°C).

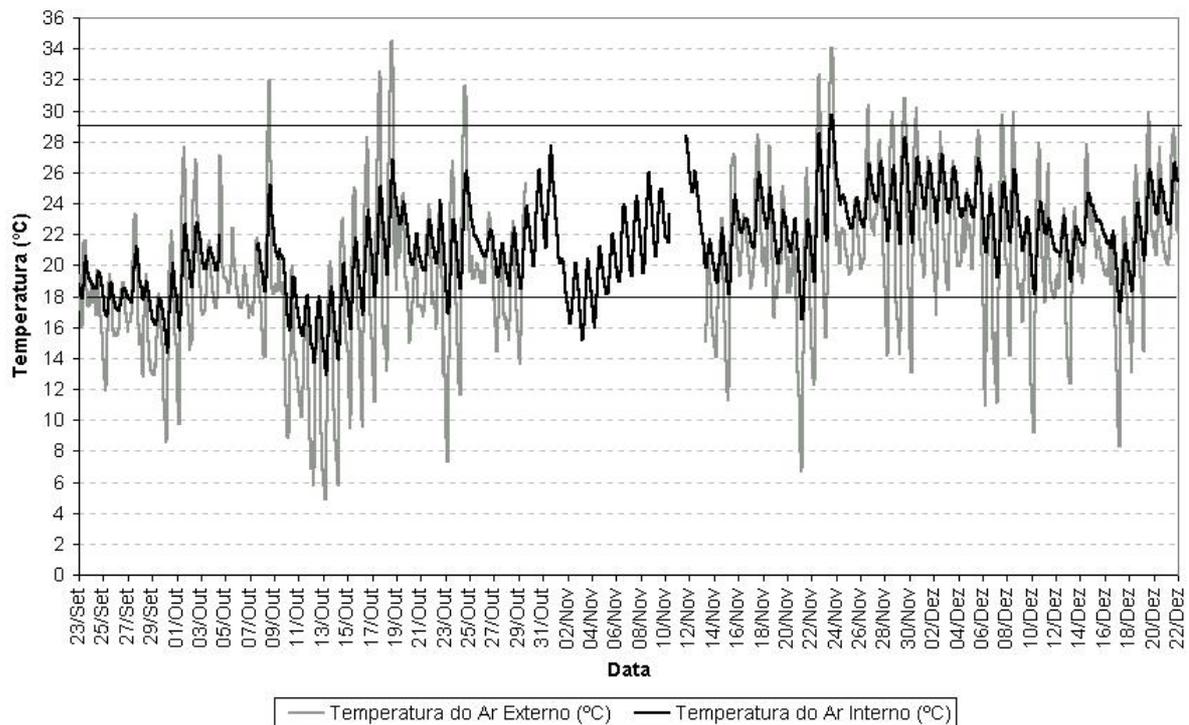


Figura 42: valores internos e externos da temperatura do ar – primavera de 2003

Observando o gráfico acima, é possível notar que o mês de outubro apresentou as temperaturas extremas da estação. O menor valor de temperatura do ar externo foi registrado

às 4 h, no dia 13 de outubro, a saber, 4,9°C. Apenas cinco dias depois, ocorreu a temperatura máxima de 34,5°C, às 15h do dia 18⁹. Deve-se salientar, no entanto, que a maior temperatura interna não ocorreu em outubro, mas sim em novembro, quando o termômetro de bulbo seco registrou 29,7°C, às 17h do dia 23.

Nota-se que, externamente, ocorreram amplitudes térmicas com variações superiores a 20K em menos de 12 horas. Entretanto, a edificação conseguiu amortecer os efeitos, pois em seu interior a maior parte dos valores registrados permaneceu dentro da faixa de conforto.

Considerando-se apenas os valores registrados no período da primavera, a temperatura média do ar no Campus do Vale da UFRGS, foi de 19,7°C, enquanto que, no interior do protótipo Alvorada, a média foi de 21,5°C.

6.2.1.1.1 Semana com a menor média das mínimas diárias da primavera

A semana com a menor média das mínimas diárias da primavera ocorreu entre 10 e 17 de outubro. O gráfico da figura 43 mostra a oscilação da temperatura, durante essa semana.

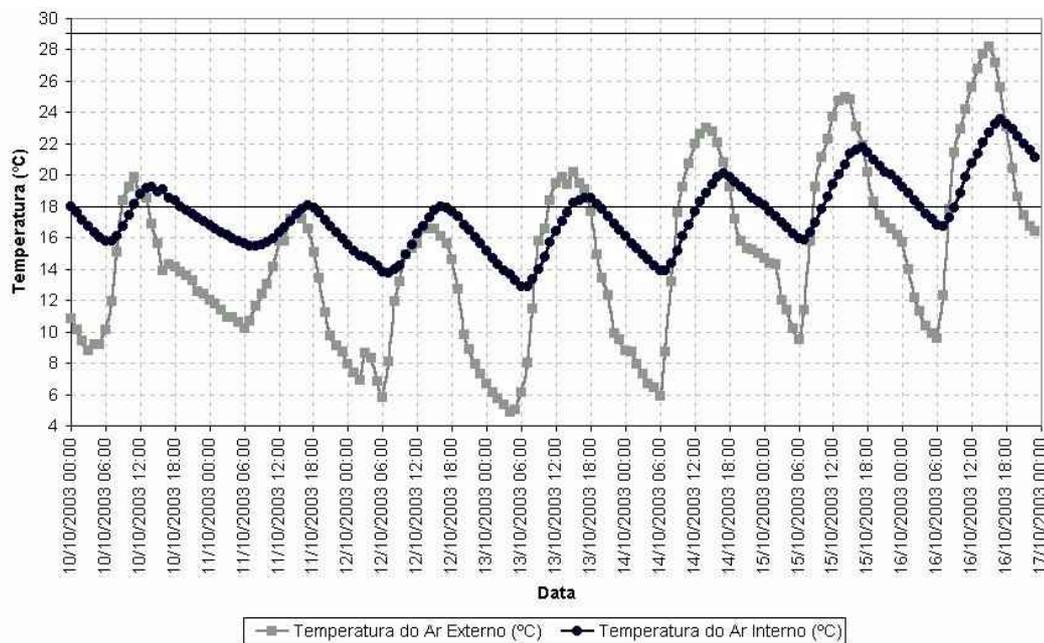


Figura 43: temperatura do ar durante a semana com a menor média das mínimas diárias - primavera

⁹ Conforme foi comentado anteriormente, pelos dados medidos em outras estações da região de Porto Alegre, é provável que a temperatura máxima tenha ocorrido no dia 11 de novembro (no intervalo faltante).

A seqüência de dias frios foi precedida por uma chuva, ocorrida entre os dias 10 e 11 de outubro. O valor mínimo da temperatura do ar externo foi registrado às 4 h, no dia 13 de outubro, quando o termômetro atingiu a marca de 4,9°C. Verificou-se um atraso térmico de três horas, indicando o período decorrido, até que este valor mínimo externo fosse percebido no interior do protótipo (a saber, 12,9°C, às 7 h). A média dos valores mínimos diários da temperatura do ar externo nesta semana foi de 7,9°C, enquanto que, internamente, a média das mínimas foi igual a 14,9°C (amortecimento térmico médio calculado de 7K).

A temperatura média do ar, no exterior, durante esta semana, foi de 14,6°C, enquanto que a média interna calculada ficou em 17,4°C. Em 168 registros, ocorreram 125 horas com temperaturas externas inferiores a 18°C. Apesar da redução das horas de desconforto não tenha sido muito significativa (apenas 15 horas), as amplitudes da temperatura externa apresentaram uma média de 13,6K, enquanto que no interior do protótipo, a variação média foi de apenas 5K.

6.2.1.1.2 Semana com a maior média das máximas diárias da primavera

A semana com a maior média das máximas da primavera ocorreu entre 26 de novembro e 2 de dezembro. O gráfico da figura 44 permite a visualização da distribuição das temperaturas durante essa semana.

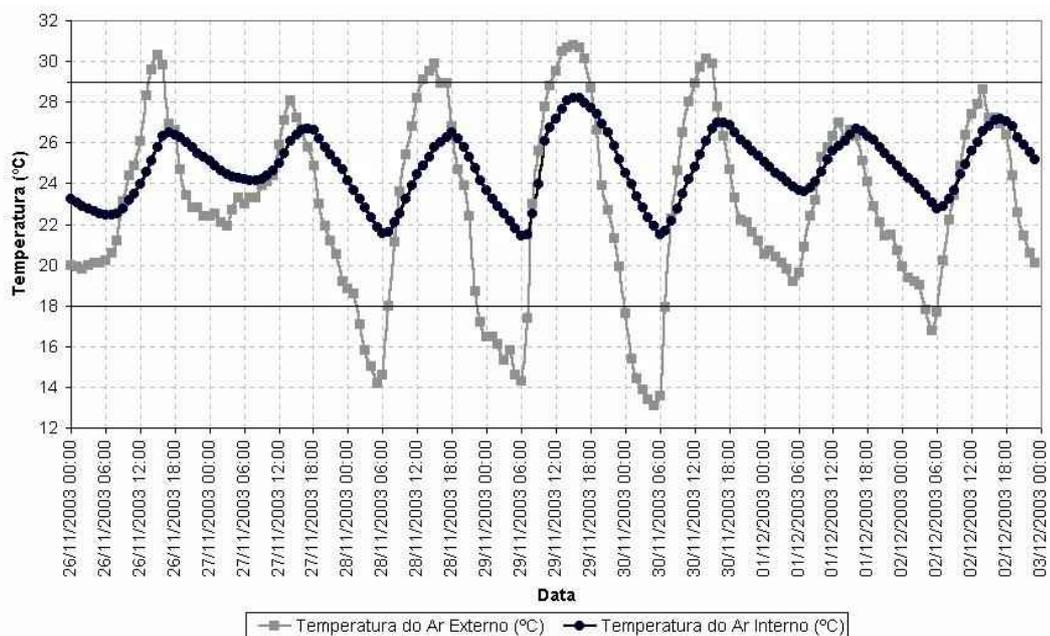


Figura 44: temperatura do ar, durante a semana com a maior média das máximas diárias - primavera

A semana apresentou, como média das máximas, a temperatura de 29,3°C. O maior valor de temperatura do ar externo desta semana ocorreu às 15h do dia 29 de novembro, quando foi registrada a marca de 30,8°C. Entretanto, como já foi comentado anteriormente, o valor máximo de temperatura externa, registrado na estação, ocorreu no dia 18 de outubro (34,5°C).

Durante essa semana, foram registradas variações externas de temperatura de até 17K, com uma média de 12,2K. Já no interior, as oscilações diárias não ultrapassaram os 6,8K, apresentando uma amplitude média de 4,5K.

A temperatura média do ar, no exterior, durante esta semana, foi de 22,9°C, enquanto que a média interna calculada foi de 24,8°C. O amortecimento térmico médio verificado foi de 2,3K, para as máximas absolutas, e 5,4K, para as mínimas. Para as temperaturas externas foram constatados 25 registros inferiores a 18°C e 15 valores acima dos 29°C. Enquanto que, no interior do protótipo, todos os valores de temperatura se encontravam dentro do intervalo de conforto arbitrado.

6.2.1.1.3 Maior amplitude térmica e o amortecimento proporcionado pela construção

As maiores amplitudes térmicas externas, registrados no inverno de 2003, ocorreram entre os dias 16 e 19 do mês de outubro. Nos dias 17 e 18 de outubro, em menos de doze horas, foram verificadas variações de 21,3K na temperatura do ar externo. Deve-se salientar que nestes três dias, houve pouca ou nenhuma nebulosidade, com temperaturas baixas ocorrendo por volta das 5h ou 6h da manhã, aumentando gradativamente até atingir os valores máximos, entre 15h e 16h da tarde.

No gráfico da figura 45 pode ser observada a oscilação da temperatura, no interior e exterior do protótipo, durante o intervalo citado. Verifica-se que, durante o dia, a temperatura do ar externo é mais elevada do que a do ar interno, enquanto nas madrugadas, ocorre o inverso.

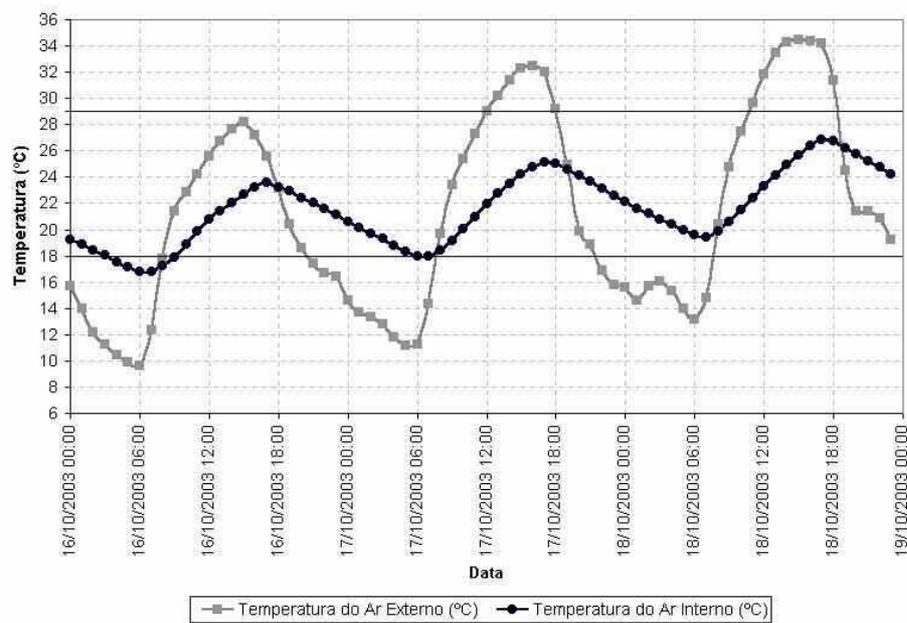


Figura 45: dias com a maior amplitude diária da temperatura do ar - primavera

Embora a temperatura externa tenha apresentado uma amplitude média superior a 20K, a temperatura interna teve uma variação diária inferior a 7,5K. Os valores externos oscilaram entre 9,6°C, no dia 16, e 34,5°C, no dia 18, enquanto isso, no interior do protótipo, a temperatura mínima no período foi de 16,8°C, e a máxima, de 26,8°C. Apesar da grande diferença registrada entre essas amplitudes, as temperaturas médias do ar interno e externo foram bastante próximas: 22°C e 21,3°C, respectivamente.

As medições internas apontaram um abrandamento significativo das temperaturas extremas. O amortecimento térmico médio verificado, durante os três dias do intervalo avaliado, foi de 6,7K, para as mínimas, e 6,7K, para as máximas. Já o atraso térmico, tanto para as máximas como para as mínimas, variou de 1 a 2 horas.

6.2.1.1.4 Temperatura de globo

Os valores da temperatura de globo foram, sempre, um pouco superiores àqueles registrados para a temperatura de bulbo seco, mas os valores apresentados pelas duas sondas foram praticamente iguais, com médias de 21,8°C e 21,5°C, respectivamente. A diferença máxima entre os valores medidos pelas duas sondas foi de 1K.

O maior valor da temperatura de globo (30,1°C) ocorreu às 17 h, no dia 23 de novembro, justamente quando o termômetro de bulbo seco apresentou o máximo valor interno da estação

(29,7°C). Já o valor mais baixo, acompanhando a temperatura de bulbo seco, se deu no dia 13 de outubro, com o valor registrado de 13,2°C.

6.2.1.2 Umidade relativa do ar

A figura 46 mostra o gráfico com a oscilação da umidade relativa do ar, no interior e exterior do protótipo Alvorada, durante a primavera de 2003. A linha contínua, disposta na horizontal, marca o limite superior de umidade relativa do ar considerado neste estudo (80%).

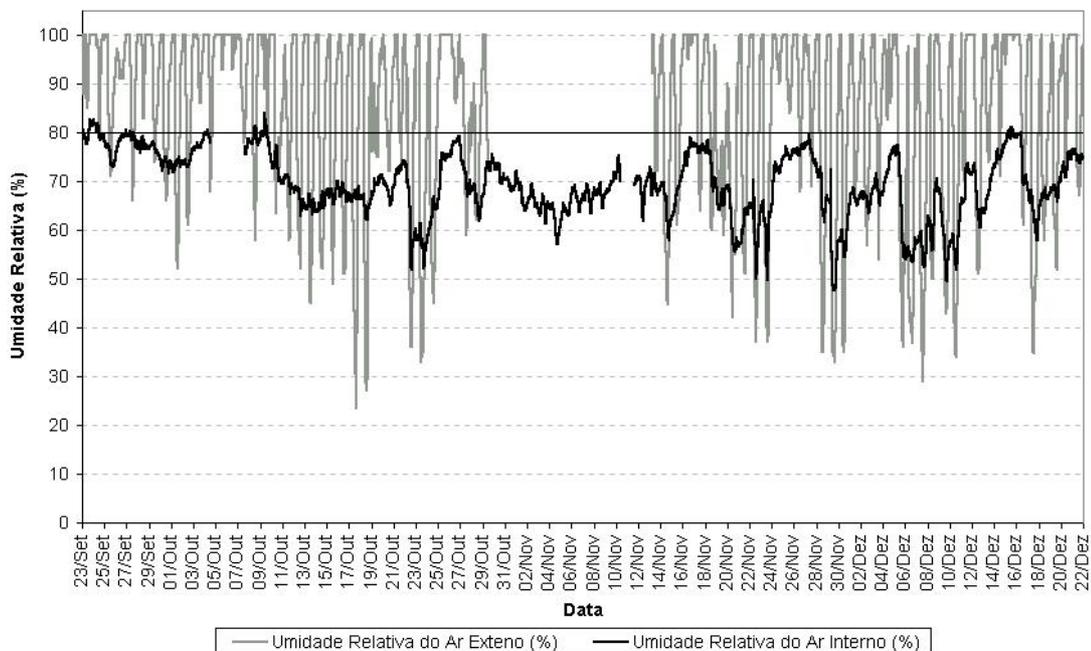


Figura 46: umidade relativa do ar - primavera

Durante a primavera de 2003, os valores externos de umidade relativa do ar oscilaram entre 24% e 100%, sendo que a média calculada para o período foi de 83,5% (considerando os valores registrados). O valor mínimo foi medido às 17h do dia 17 de outubro, enquanto que os valores máximos de 100% foram registrados em 509 horas.

No exterior, a umidade relativa do ar apresentou 1.179 valores acima dos 80%, em um total de 1808 horas medidas no período (ou 65,2%). Analisando os dados, trecho a trecho, percebe-se

que os picos diários coincidem com os horários em que os valores de temperaturas são menores, ou seja, durante as madrugadas.

Já no interior do protótipo, das 2.057 horas medidas, em apenas 53 horas a umidade relativa do ar apontou valores iguais ou superiores a 80% (2,6%). Aliás, observando o gráfico da figura 46, nota-se que a umidade relativa se mantém mais estável no interior do protótipo, provavelmente, pelos mesmos motivos discutidos, anteriormente, para o inverno.

No interior do protótipo, a variação constatada ficou entre 47,6%, para o valor mínimo, e 83,9%, para o valor máximo, com uma média de 69,3% (durante as horas medidas).

6.2.2 Graus-hora para a Primavera

Os graus-hora foram calculados, tanto para o exterior, como para o interior do protótipo Alvorada, com o objetivo de comparar a atenuação das condições externas.

Na tabela 9 são apresentados os valores do somatório de graus-hora para aquecimento, grau-médio e o número de horas com temperatura inferior às bases arbitradas.

Tabela 9: somatório de graus-hora para aquecimento - primavera

Temperatura -Base	Temperatura Externa			Temperatura Interna		
	Graus-hora	Nº de horas	Grau-médio	Graus-hora	Nº de horas	Grau-médio
14°C	622,4	206	3,0	4,7	10	0,5
15°C	863	272	3,2	23,5	29	0,8
16°C	1.183,5	366	3,2	65,7	62	1,1
17°C	1.605	480	3,3	163,8	141	1,2
18°C	2.156,2	605	3,6	360,6	260	1,4

Durante a primavera, os valores de grau-médio e graus-hora do exterior foram sempre superiores àqueles do ambiente interno, considerando as mesmas temperaturas-base. Destaca-se que o somatório dos graus-hora, para a temperatura base de 18°C, foi reduzido de 2.156,2, no exterior, para 360,6, no interior do protótipo. Já o grau-médio, para a mesma temperatura-base, também teve uma redução significativa, passando de 3,6K para 1,4K.

Apenas 10 horas apresentaram valores inferiores a temperatura-base de 14°C, no interior do protótipo, enquanto que, no exterior, foram 206 horas, para a mesma base. Destas, 75 registros apontaram temperaturas inferiores a 10,5°C.

A tabela 10 apresenta o somatório de graus-hora para refrigeração, os valores de grau-médio e o número de horas com temperatura superior às bases convencionadas.

Tabela 10: somatório de graus-hora para refrigeração - primavera

Temperatura -Base	Temperatura Externa			Temperatura Interna		
	Graus-hora	Nº de horas	Grau-Médio	Graus-hora	Nº de horas	Grau-Médio
25°C	713	250	2,8	285,8	232	1,2
26°C	485,9	201	2,4	113,7	118	1,0
27°C	315,3	137	2,3	41	42	1,0
28°C	202,4	90	2,2	12,1	18	0,7
29°C	125,8	62	2,0	2,5	5	0,5

Ocorreram apenas 5 valores horários acima da temperatura-base interna de 29°C, os quais produziram um somatório de 2,5 graus-hora e um grau-médio de 0,5K. Já os valores externos, para a mesma temperatura-base, mostraram um somatório de graus-hora de 125,8, com um grau-médio de 2,0K.

Como foi exposto anteriormente, com o ganho térmico interno produzido pelos ocupantes e equipamentos elétricos, supõe-se que alguns valores internos, que na atual medição estão fora da zona de conforto, passariam a fazer parte dela. Por outro lado, alguns dos valores na faixa dos 26°C aos 29°C, incrementados pelos ganhos de calor interno, extrapolariam o limite superior da zona de conforto.

Em função disso, considera-se importante apresentar a distribuição da temperatura do ar na primavera, através dos histogramas externo e interno das figuras 47 e 48, respectivamente. Através deles, também é possível observar os valores que apareceram com maior frequência durante as medições. As colunas em cinza escuro representam o intervalo das horas consideradas dentro da zona de conforto, para a primavera (18°C a 29°C).

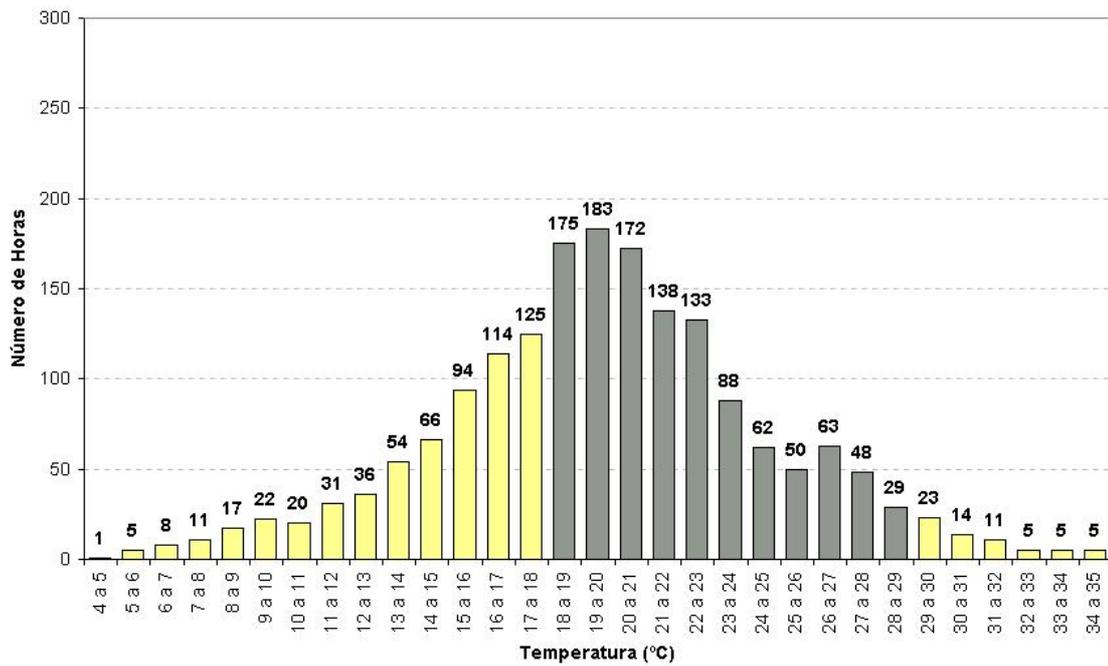


Figura 47: histograma das temperaturas externas - primavera

Aparentemente, a maioria dos registros localiza-se no intervalo de conforto, embora exista um número considerável de valores abaixo dos 18°C (604 registros). Nota-se também que, apesar da distribuição esparsa dos valores, há uma predominância de registros horários no intervalo que vai dos 18°C aos 23°C (801 valores).

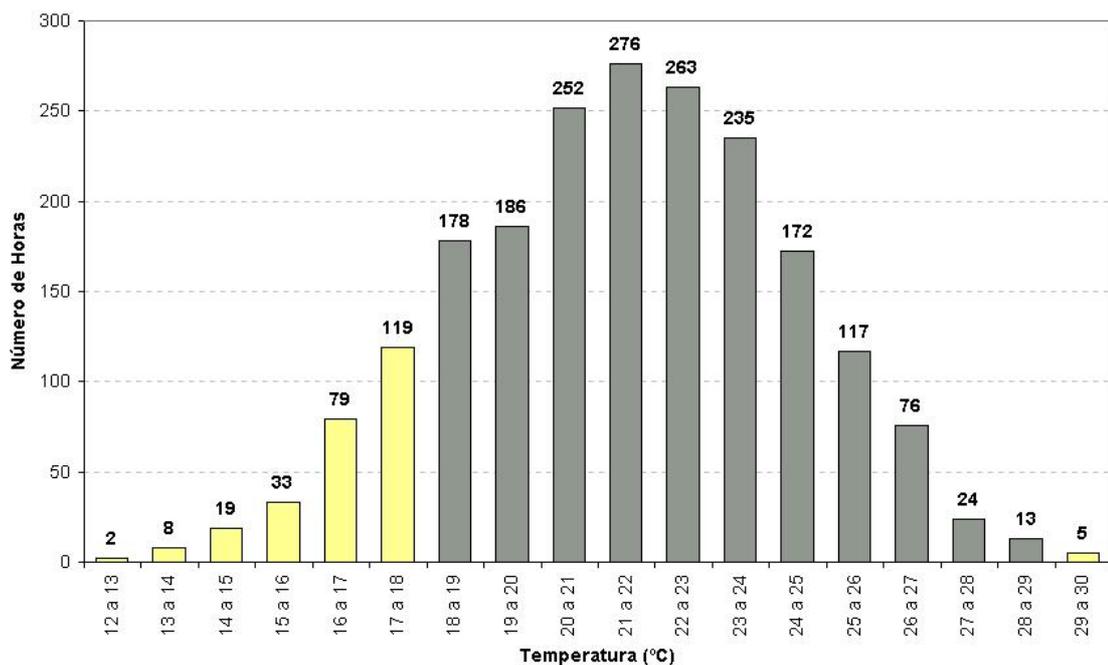


Figura 48: histograma das temperaturas internas - primavera

No histograma interno, nota-se um aumento significativo dos valores na faixa de conforto. Percebe-se, também, a concentração de mais de 1.000 valores no intervalo de 20°C a 24°C.

Destaca-se o amortecimento proporcionado pela construção, para as temperaturas extremas verificadas no exterior. As temperaturas inferiores aos 10°C, que somavam 64 registros no exterior, aparentemente foram deslocadas para a faixa dos 12°C aos 16°C, no histograma interno (62 registros). Além disso, dos 260 registros de temperatura inferior a 18°C, 116 horas ocorreram durante a madrugada (da meia-noite às 6h da manhã), quando o usuário, provavelmente, estará dormindo e disporá de um nível de vestimenta maior.

Conforme referido no item 2.3.3, os ganhos internos de calor, produzidos por equipamentos e metabolismo dos usuários, podem proporcionar um acréscimo de temperatura de 2,8°C. Com isso, em uma situação real de uso, aproximadamente 200 horas seriam deslocadas para dentro da zona de conforto (acima dos 18°C). Em contrapartida, considerando-se a mesma hipótese para os valores próximos à temperatura limite de desconforto por calor, aproximadamente 100 valores internos, superariam o limite dos 29°C. Entretanto, deve-se ponderar que, neste caso, as condições de calor poderiam ser atenuadas pela ventilação, nas situações em que a temperatura externa apresentar valores inferiores à temperatura interna.

Em função disso, antes de qualquer conclusão preliminar, o mais adequado seria realizar um estudo mais aprofundado com a edificação em uso, verificando o ganho real de temperatura e a ação da ventilação sobre os usuários.

6.2.3 Carta Bioclimática para a Primavera

Através do programa Analysis Bio, os dados horários de temperatura e umidade relativa do ar, da primavera de 2003, foram dispostos sobre duas cartas psicrométricas, e são apresentados nas figuras 49 e 50.

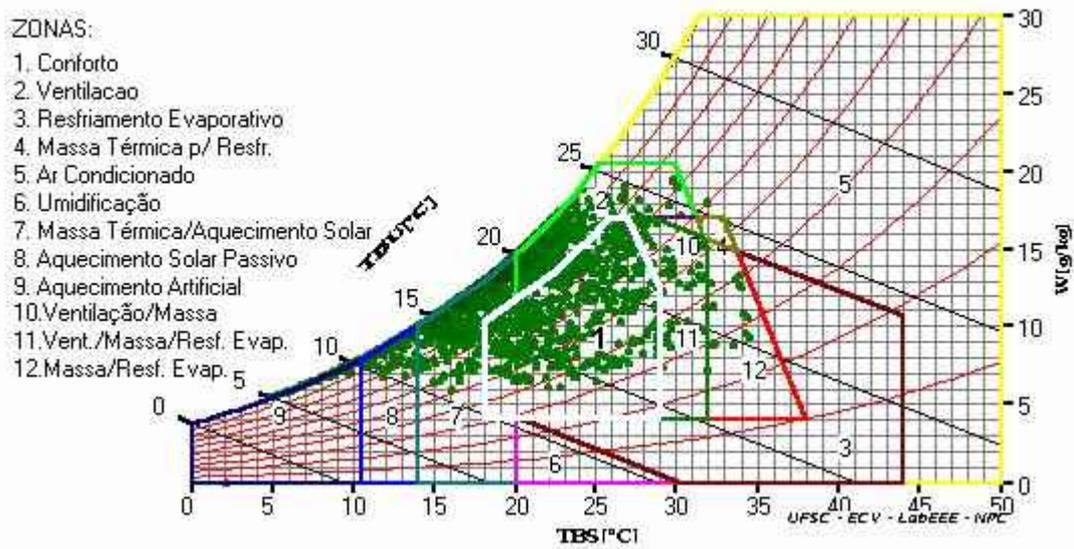


Figura 49: carta bioclimática com os dados externos de umidade e temperatura do ar - primavera de 2003

Observando a figura 49, verifica-se que os pontos estão espalhados sobre as diferentes zonas da carta bioclimática, mas percebe-se, no entanto, uma mancha distinta de valores entre as curvas de 80% e 100% (1.179 horas).

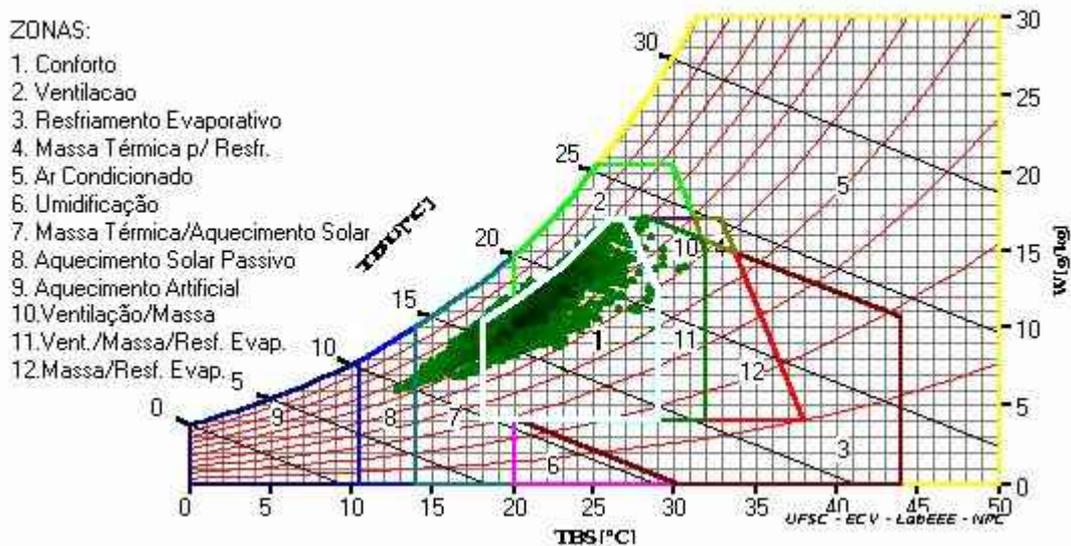


Figura 50: carta bioclimática com os dados internos de umidade e temperatura do ar - primavera de 2003

Graças ao amortecimento proporcionado pela construção, a maioria dos valores medidos encontra-se dentro da zona de conforto. Além disso, nota-se que houve uma redução significativa do percentual da umidade relativa do ar, já que a mancha dos pontos da figura 50 concentra-se, principalmente, entre as curvas de umidade relativa de 50% e 80%.

No exterior, em 604 horas, das 1.808 horas monitoradas, a temperatura do ar apresentou valores inferiores à 18°C. Por outro lado, em 62 horas a temperatura do ar externo ultrapassou os 29°C. Tem-se, portanto, 33,4% de horas de desconforto devido ao frio, e 3,4% de horas de desconforto devido ao calor. Além disso, em 36,4% das horas, apesar da temperatura do ar externo estar dentro dos limites de conforto, verificou-se que a umidade relativa do ar apresentava valores superiores aos da zona de conforto. Assim, o percentual de desconforto, frente às condições externas, alcançou 73,2% das horas da primavera de 2003. O quadro resumo da figura 51 permite a visualização dos dados medidos e percentuais calculados com o auxílio dos relatórios gerados pelo programa Analysis Bio.

Parâmetros limite de conforto/ desconforto	Valores Externos		Valores Internos	
	nº de horas	(%)	nº de horas	(%)
Número de horas de leitura	1.808	100	2.057	100
Número de horas com temperatura abaixo de 18°C	604	33,4	260	12,6
Número de horas com temperatura acima de 29°C	62	3,4	5	0,2
Número de horas com umidade relativa igual ou superior a 80%	1.179	65,2	53	2,6
Número total de horas de desconforto devido à temperatura do ar inadequada (<18°C ou >29°C)	666	36,8	265	12,9
Número total de horas dentro da zona de conforto	484	26,8	1.720	83,6
Número total de horas fora da zona de conforto	1.324	73,2	337	16,4

Figura 51: quadro resumo dos dados verificados no período da primavera de 2003

Destaca-se que, em 72 registros horários (3,5%), apesar da temperatura do ar interno encontrar-se dentro do intervalo de 18°C a 29°C, a umidade relativa apresentava valores superiores aos limites da zona de conforto.

Deve-se comentar que, no interior do protótipo, houve uma redução significativa do número de horas de desconforto verificado no ambiente externo. Esse desempenho se deve, em grande parte, à redução do percentual da umidade relativa do ar.

No exterior, foram registrados 75 valores de temperatura do ar inferiores a 10,5°C. Isso corresponde a 4,2% das horas consideradas para a primavera, nas quais seria necessária a utilização de aquecimento artificial (zona 9). Embora 63 destas horas tenham ocorrido entre a meia-noite e 6h da manhã, os efeitos acabam repercutindo no interior do protótipo ao longo das manhãs, exigindo, portanto, um aporte de calor para elevar a temperatura do ar interno em alguns desses dias.

De acordo com os relatórios do programa Analysis Bio, em 0,1% (2 horas) do período da primavera, seria necessária a utilização de resfriamento artificial (zona 5), para proporcionar as condições desejadas de conforto.

6.3 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO NO VERÃO

O período de verão, arbitrado neste estudo, teve início à meia-noite do dia 22 de dezembro de 2003 e prosseguiu até às 23h do dia 22 de março de 2004. Deve-se salientar que o ano de 2004 foi bissexto e, portanto, o mês de fevereiro teve 29 dias. Com isso, foram registrados 2.208 valores de cada variável ambiental externa, o que corresponde a um total de 92 dias de medições.

Com relação aos dados internos, deve ser ressaltado que, em 17 horas do período de medição, o aparelho não registrou valores, ou esteve desligado (manutenção, falhas de leitura ou devido à presença de visitantes no protótipo). Além disso, devido à falta de água no psicrômetro, das 10h do dia 30 de dezembro às 9h do dia primeiro de janeiro, 47 registros sequenciais de umidade relativa apresentaram valores incoerentes e foram descartados.

Com relação aos limites de conforto para o verão, foi adotada a zona de conforto, para países em desenvolvimento e de clima quente, proposta por Givoni (1992). Dessa forma, os valores de temperatura do ar de 20°C e 29°C são, os limites de temperatura da zona de conforto de verão adotados neste trabalho.

6.3.1 Dados Climáticos do Verão

6.3.1.1 Temperatura do ar

O menor valor de temperatura do ar externo foi registrado às 5h do dia 4 de março, com a temperatura de 9,9°C. Já a menor temperatura interna ocorreu no dia 2 de janeiro, quando o termômetro de bulbo seco registrou 18,8°C, às 6h da manhã.

Em contrapartida, o valor mais elevado de temperatura do ar externo ocorreu em março, com o valor registrado de 34,8°C sendo atingido às 14h do dia 2. No interior do protótipo, o valor máximo de 30,1°C ocorreu duas vezes, nos dias 7 e 8 de janeiro, às 17 h.

A temperatura média do ar, no Campus da UFRGS, durante o período de verão, foi de 22,6°C, enquanto que o valor médio, calculado internamente ao protótipo Alvorada, foi de 25°C.

A figura 52 apresenta a oscilação da temperatura do ar, para o exterior e interior do protótipo, durante o verão de 2003-2004. As linhas horizontais indicam os limites de temperatura da zona de conforto, considerados para esta estação (20°C e 29°C).

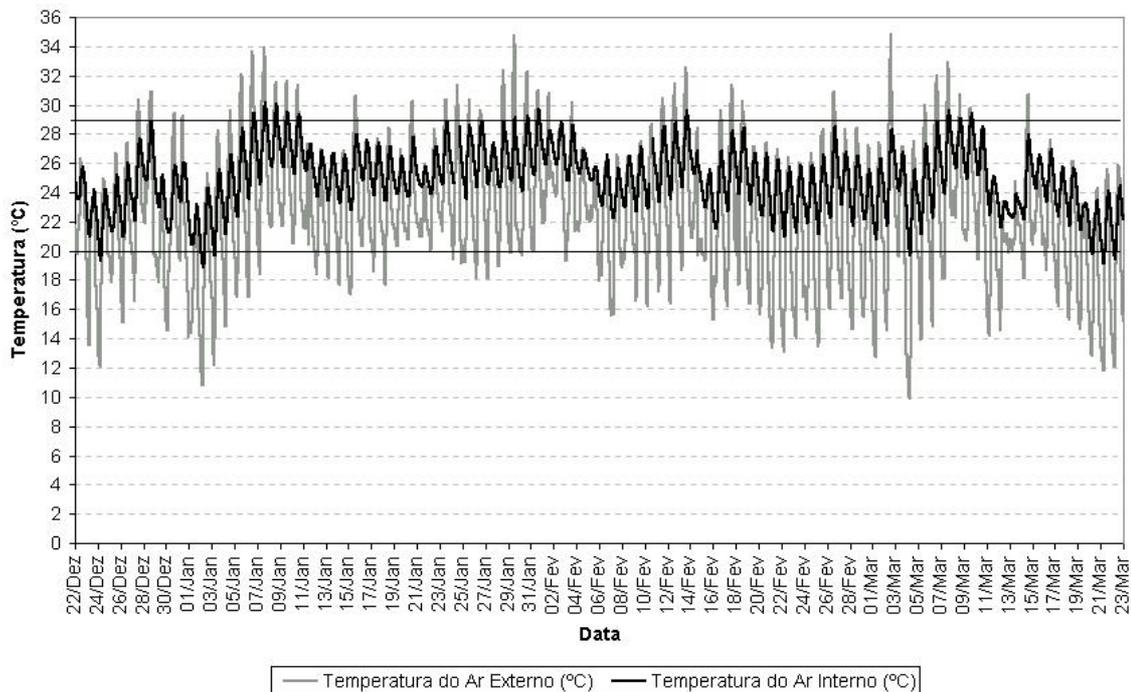


Figura 52: valores internos e externos da temperatura do ar - verão de 2003-2004

Destaca-se no gráfico da figura 52, a grande variação de temperatura externa, ocorrida entre os dias 2 e 4 de março. Todavia, nota-se que existe uma grande incidência de dias com amplitudes de temperatura na ordem de 10K a 15K. Também se percebe que o número de horas de desconforto por frio, no ambiente externo, é maior do que o de desconforto por calor. Sob este aspecto, observa-se que a edificação conseguiu amortecer os efeitos das amplitudes externas, já que a maior parte da curva com a oscilação dos valores internos, permaneceu dentro da faixa de conforto.

6.3.1.1.1 Semana com a menor média semanal da temperatura do verão

O verão, ao contrário das demais estações, não apresentou semanas destacadamente frias, mas sim, temperaturas um pouco mais baixas durante as madrugadas, elevando-se a partir do surgimento do sol. A semana com a menor média das mínimas diárias do verão ocorreu entre os dias 28 de fevereiro e 6 de março. No entanto, essa semana não será considerada, em virtude da média ter sido deslocada para baixo, em função da temperatura mínima de um dia atípico do intervalo (valor espúrio). Além disso, as temperaturas máximas diárias ultrapassaram duas vezes os 29°C e a média semanal foi superior a 21°C. Ou seja, a semana é pouco representativa das condições de frio.

Dessa forma, analisando o gráfico da figura 52, apresentado anteriormente, observa-se que ocorreram duas semanas que provocaram quedas significativas nas temperaturas internas. A primeira, no início do mês de janeiro, e a segunda, nos últimos dias do verão. Optou-se pela segunda, por essa apresentar a menor média da temperatura do ar durante os sete dias (19,9°C). Além disso, durante os sete dias desta semana, os valores mais baixos ocorreram sempre durante as madrugadas e as temperaturas mais altas não ultrapassaram a marca de 28°C. Por fim, como último argumento para justificar a escolha, durante todo o período de verão, as temperaturas internas declinaram abaixo dos 20°C em apenas 6 ocasiões, sendo que três destas ocorreram na semana do dia 16 a 23 de março.

O gráfico da figura 53 mostra, de forma concisa, a oscilação da temperatura durante essa semana.

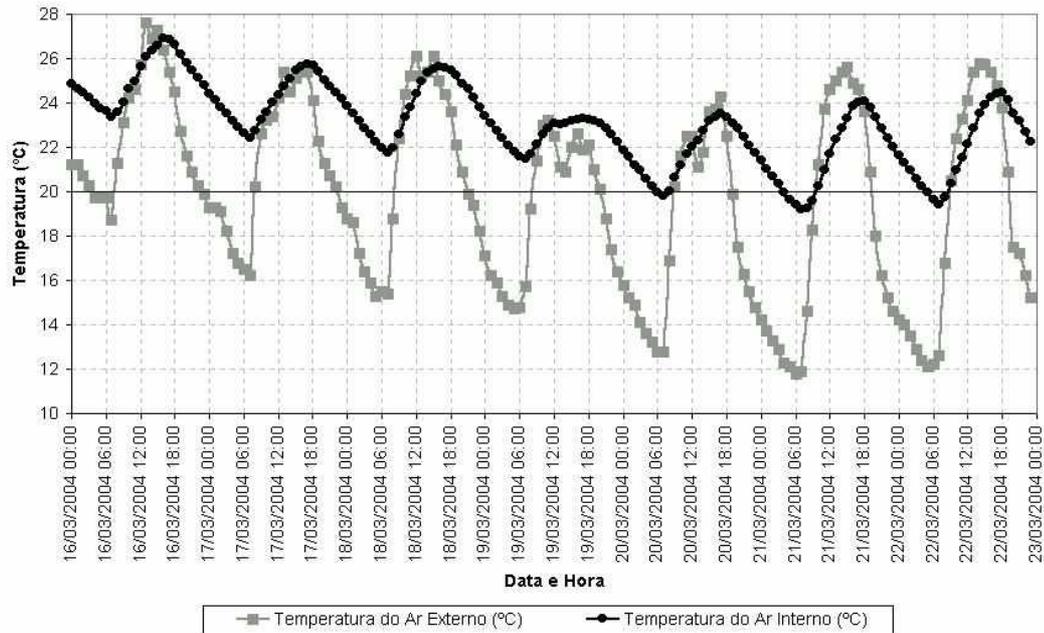


Figura 53: temperatura do ar durante a semana com a menor média semanal - verão

Durante a semana, o valor mínimo de 11,8°C foi registrado às 6 h, no dia 21 de março. Verificou-se um atraso térmico de uma hora, até este valor mínimo externo ser percebido no interior do protótipo (a saber, 19,1°C às 7 h). A média dos valores mínimos diários da temperatura do ar externo, nesta semana, foi de 14,5°C, enquanto que, internamente, a média das mínimas foi igual a 21°C. Assim sendo, o amortecimento térmico médio calculado foi de 6,5K.

A média semanal da temperatura externa foi de 19,9°C, ao passo que a média interna calculada ficou em 23°C. Em 168 registros, ocorreram 79 valores externos de temperatura inferiores a 20°C. Enquanto isso, no interior do protótipo, foram registradas apenas 12 horas com temperaturas menores que 20°C. No exterior, as amplitudes de temperatura apresentaram uma variação de 8,5K a 13,8K, com um valor médio de 10,9K. Já no ambiente interno a variação média calculada foi de 3,8K, variando de 1,8K a 5K.

6.3.1.1.2 Semana com a maior média das máximas absolutas do verão

A semana com a maior média das máximas do verão ocorreu entre os dias 4 e 11 de janeiro. O gráfico da figura 54 permite a visualização da distribuição das temperaturas no intervalo. No apêndice B são apresentados os valores das variáveis externas, medidos durante esta semana.

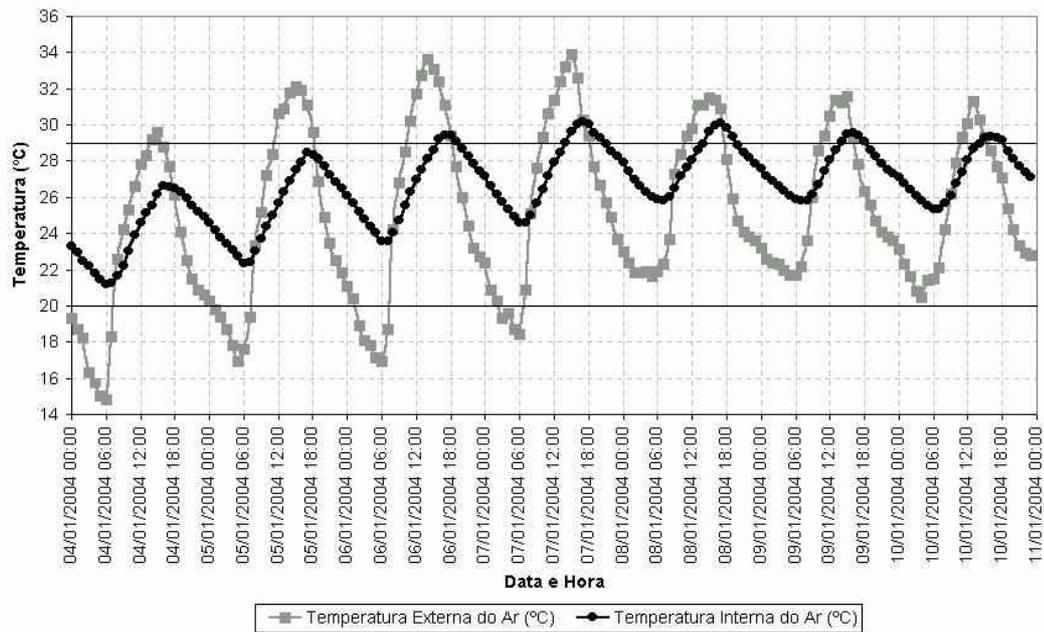


Figura 54: temperatura do ar, durante a semana com a maior média das máximas diárias - verão

A média das máximas diárias da temperatura, calculadas para esta semana foi de 32,1°C. O maior valor de temperatura do ar externo da semana, ocorreu às 15h do dia 7 de janeiro, quando foi registrada a marca de 33,9°C. Durante os sete dias do período, foram registradas variações de temperatura externa de até 16,7K, com uma média de 13,3K. Já no interior do protótipo, a oscilação máxima foi de 6,1K, apresentando uma amplitude média de 5K.

A temperatura média do ar, no exterior, durante esta semana, foi de 25°C, enquanto que a média interna calculada foi de 26,6°C. O amortecimento térmico médio verificado foi de 3K para as máximas absolutas e 5,5K para as mínimas. Com relação às temperaturas externas, foram constatados 25 registros inferiores a 20°C e 44 valores acima dos 29°C. Enquanto isso, no interior do protótipo, ocorreram 24 registros de temperatura acima do limite superior de conforto.

6.3.1.1.3 Maior amplitude térmica e o amortecimento proporcionado pela construção

O verão apresentou, em sua maioria, dias com amplitudes de temperatura externa inferior a 15K. Uma exceção ocorreu entre os dias 2 e 5 do mês de março, quando em menos de 40 horas a temperatura externa decaiu da máxima absoluta para a mínima absoluta da estação. A maior amplitude diária ocorreu no dia 2, com uma variação de 20,2K em nove horas.

Deve-se salientar que nestes dias houve pouca ou nenhuma nebulosidade durante o período diurno. Entretanto, no início da noite do dia 2, ocorreu uma chuva leve que, precedeu a frente fria responsável pela diminuição brusca da temperatura, nos dias que se seguiram.

O gráfico da figura 55 permite a visualização da variação de temperatura, durante o intervalo citado.

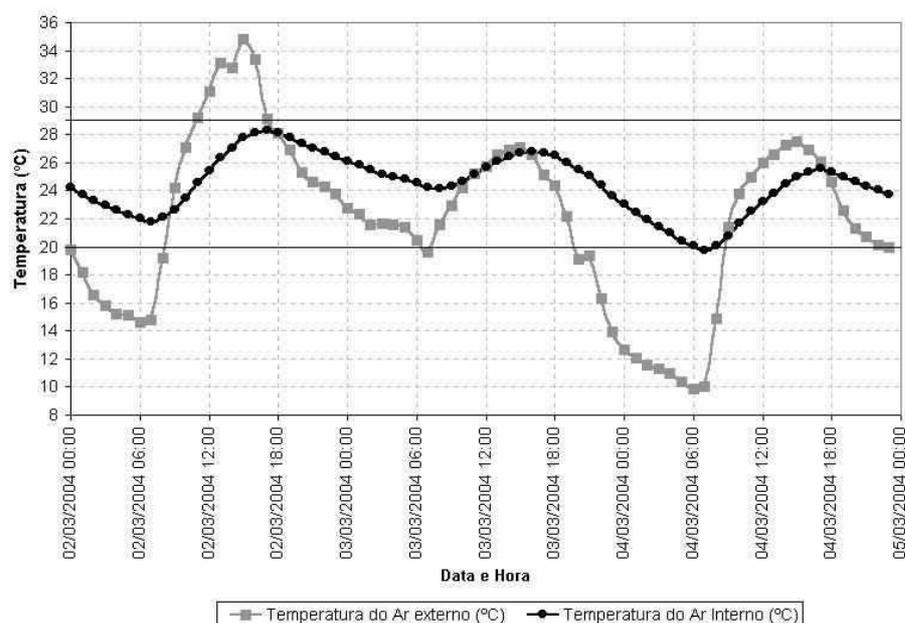


Figura 55: dias com a maior amplitude diária da temperatura do ar - verão

Os valores externos oscilaram entre 34,8°C e 9,9°C, enquanto no interior do protótipo, a temperatura máxima no período foi de 28,3°C e a mínima de 19,7°C. O amortecimento térmico médio verificado, durante os três dias do intervalo avaliado, foi de 7,2K, para as mínimas, e 2,9K, para as máximas. Já o atraso térmico, para as mínimas, foi de uma hora e para as máximas variou de 1 a 2 horas.

6.3.1.1.4 Temperatura de globo

As medições simultâneas de temperatura de globo e temperatura de bulbo seco apresentaram valores muito próximos, com médias da estação de 25,3°C e 25°C, respectivamente. Os valores da temperatura de globo foram, sempre, um pouco superiores àqueles registrados para

a temperatura de bulbo seco. A diferença máxima entre os valores medidos pelas duas sondas foi de 1K (ocorreu apenas uma vez).

A temperatura de globo atingiu o máximo valor de 30,7°C, às 17h do dia 8 de janeiro, justamente quando o termômetro de bulbo seco alcançou um dos seus valores máximos, no interior da edificação (30,1°C). Já o valor mais baixo, acompanhando a temperatura de bulbo seco, ocorreu no dia 2 de janeiro, com o valor registrado de 19,1°C.

6.3.1.2 Umidade relativa do ar

O gráfico da figura 56 mostra a oscilação da umidade relativa do ar, no interior e exterior do protótipo Alvorada, durante o período de verão. Nota-se a predominância de valores internos no intervalo dos 60% aos 70%.

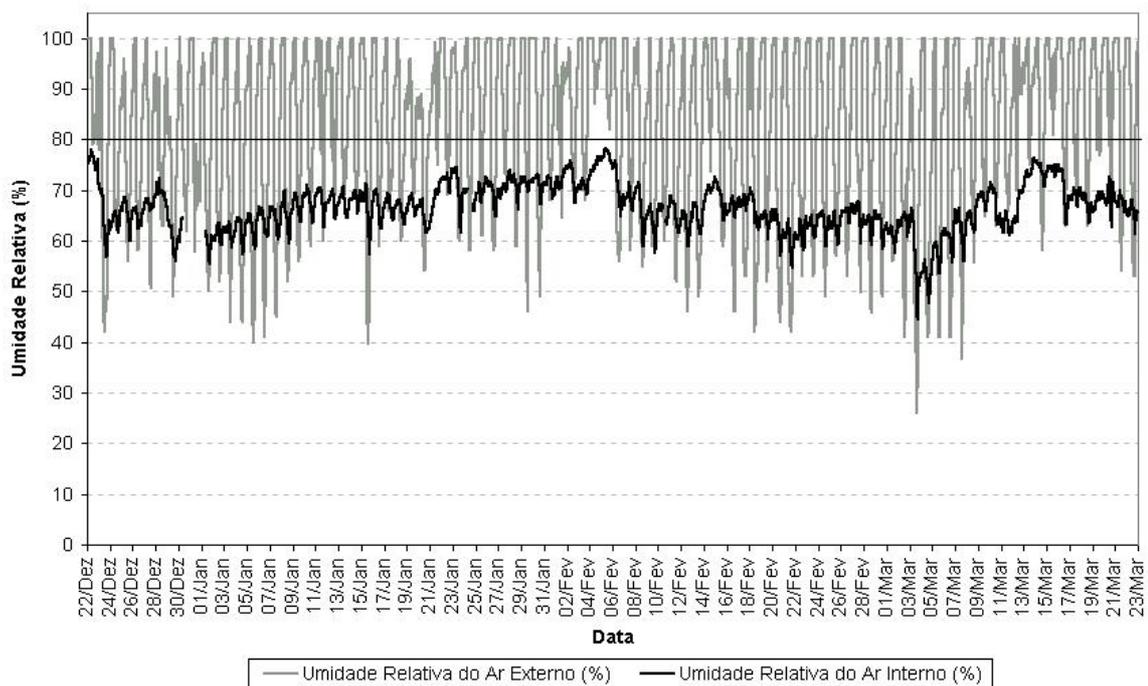


Figura 56: umidade relativa do ar - verão

No verão de 2003, os valores externos de umidade relativa do ar oscilaram entre 26% e 100%, com uma média, calculada para o período, de 82,6%. O valor mínimo foi medido às 16h do dia 3 de março, enquanto que os valores máximos de 100% foram registrados em 508 horas.

Ao todo, foram registrados 1.350 valores externos de umidade relativa, maiores ou iguais a 80%, o que corresponde a 61,4% das horas medidas no período (total de 2.208 horas). Já no interior do protótipo Alvorada, não houve nenhum registro igual ou superior a 80%.

A amplitude interna da umidade relativa do ar apontou o valor mínimo de 44,4%, às 17h do dia 3 de março, e 78,1% para o máximo, verificado às 9h do dia 5 de fevereiro. A média interna da estação foi de 66,6%.

6.3.2 Graus-hora para o Verão

Como no verão não houve nenhuma temperatura inferior a 18°C, no interior do protótipo, optou-se por ampliar o valor das temperaturas-bases utilizadas no somatório de graus-hora para aquecimento, de modo a poder comparar com os valores externos. Assim, foram adicionadas as temperaturas-bases de 19°C e 20°C, para aquecimento.

A seguir, na tabela 11, podem ser visualizados os valores do somatório de graus-hora para aquecimento, o número de horas com temperatura inferior às bases prescritas e o grau-médio calculado.

Tabela 11: somatório de graus-hora para aquecimento - verão

Temperatura -Base	Temperatura Externa			Temperatura Interna		
	Graus-hora	Nº de horas	Grau-médio	Graus-hora	Nº de horas	Grau-médio
14°C	82,8	61	1,4	0	0	0
15°C	166,4	116	1,4	0	0	0
16°C	312	175	1,8	0	0	0
17°C	520,8	246	2,1	0	0	0
18°C	803,1	321	2,5	0	0	0
19°C	1.177,4	418	2,8	0,28	2	0,1
20°C	1.671,3	575	2,9	12,1	27	0,4

Salienta-se a redução significativa do número de horas com temperaturas inferiores a 20°C, decrescendo de 575 para apenas 27 valores, no interior da edificação. Além disso, todos os valores externos de temperatura, inferiores a 18°C, foram amortecidos pela envolvente construtiva e o somatório dos graus-hora para a temperatura base de 20°C, foi reduzido de 1.671,3 no exterior, para apenas 12,1 no interior do protótipo. Já o grau-médio, para a mesma temperatura-base, também teve uma redução expressiva, passando de 2,9K para 0,4K.

A tabela 12, a seguir, compara os valores internos e externos calculados para os graus-hora de refrigeração, grau-médio e o número de horas com temperatura superior às bases determinadas anteriormente.

Tabela 12: somatório de graus-hora para refrigeração - verão

Temperatura -Base	Temperatura Externa			Temperatura Interna		
	Graus-hora	Nº de horas	Grau-Médio	Graus-hora	Nº de horas	Grau-Médio
25°C	1.804,8	662	2,7	1.799,7	1.105	1,6
26°C	1.221,2	495	2,5	901,7	685	1,3
27°C	795,4	354	2,2	386,3	364	1,1
28°C	494,8	249	2,0	122,1	177	0,7
29°C	283,7	179	1,6	18,5	44	0,4

Ocorreram 44 valores horários acima da temperatura-base interna de 29°C, os quais produziram um somatório de 18,5 graus-hora e um grau-médio de 0,4K. Já os valores externos, para a mesma temperatura-base, mostraram um somatório de graus-hora de 283,7 com um grau-médio de 1,6K.

Com o ganho térmico interno produzido pelos ocupantes e equipamentos, os valores de temperatura interna inferiores a 20°C, passariam a fazer parte dela. Por outro lado, alguns dos valores na faixa dos 26°C aos 29°C, incrementados pelos ganhos de calor interno, poderiam extrapolar o limite superior de temperatura.

Para facilitar a compreensão da distribuição da temperatura do ar no verão, são apresentados os histogramas externo e interno, das figuras 57 e 58, respectivamente. Também é possível observar os valores que apareceram com maior frequência durante as medições. As colunas em cinza escuro representam o intervalo das horas consideradas dentro da zona de conforto, consideradas para o verão (20°C a 29°C).

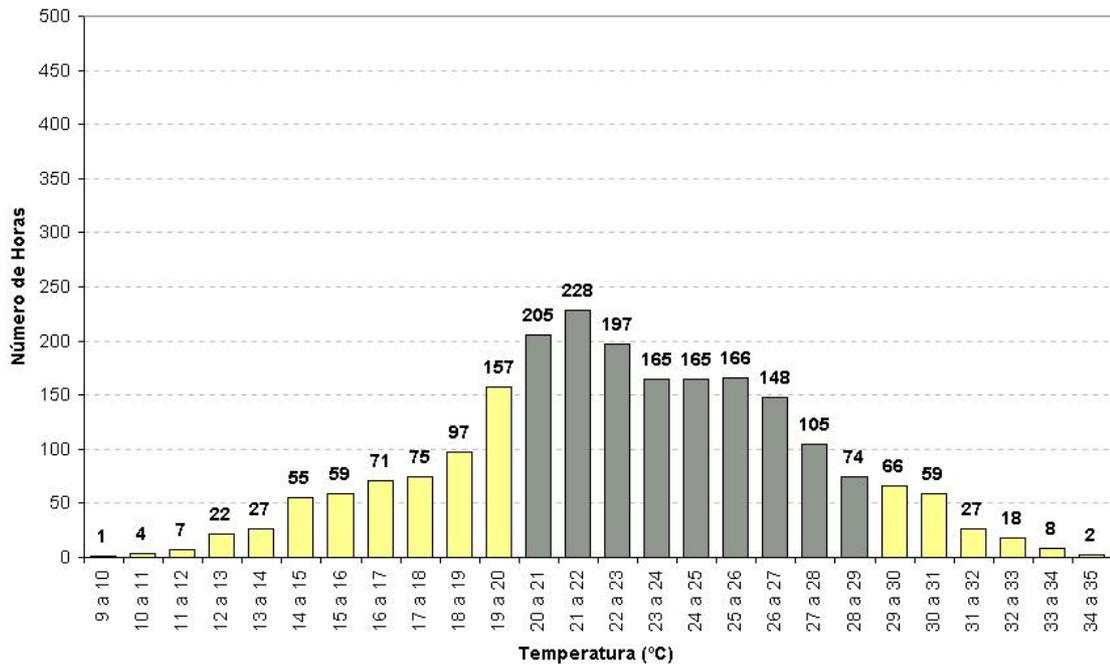


Figura 57: histograma das temperaturas externas - verão

Embora exista um número considerável de registros abaixo dos 20°C (575 horas), a maioria dos valores da estação se encontra dentro do intervalo de conforto, com uma leve predominância na faixa dos 20°C aos 23°C (630 horas).

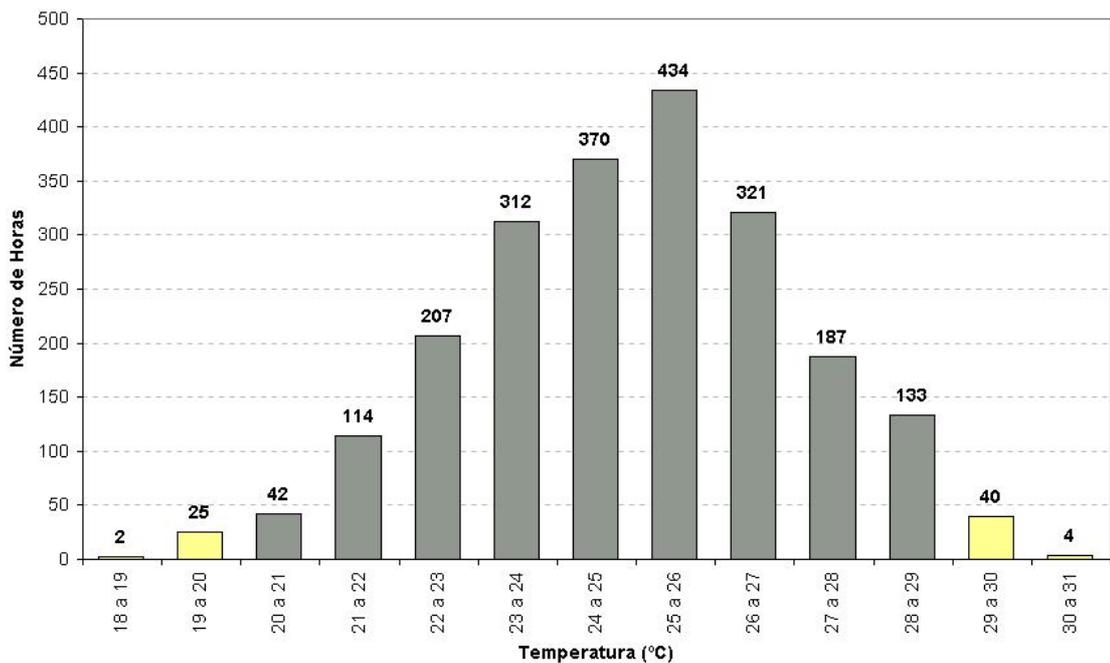


Figura 58: histograma das temperaturas internas - verão

No histograma interno, destaca-se o amortecimento das temperaturas extremas verificadas no exterior, principalmente aquelas inferiores a 20°C, que somavam 575 registros no exterior e foram reduzidas para apenas 27 registros internos (todos ocorridos das 3h às 9 h). Percebe-se também a concentração de 1.437 valores no intervalo de 23°C a 27°C.

Em uma situação real de uso, os valores inferiores a 20°C seriam eliminados a partir dos ganhos internos de calor. Por outro lado, considerando-se a mesma hipótese, mais de 500 valores internos superariam o limite dos 29°C. Deve-se ponderar, no entanto, que as condições de calor poderiam ser atenuadas pela ventilação (nos momentos em que a temperatura do ar externo seja menor que a do interior).

Com relação à ventilação, lembra-se que neste estudo, a edificação foi monitorada com as portas e janelas fechadas e, portanto, as trocas de ar foram proporcionadas apenas pela infiltração ocorrida através das frestas das esquadrias. Dessa forma, antes de qualquer conclusão prévia, o mais apropriado seria realizar um estudo com a edificação em uso, quantificando os ganhos reais de temperatura e a ação da ventilação cruzada para extração do calor interno.

6.3.3 Carta Bioclimática para o Verão

O programa Analysis Bio foi utilizado para gerar as cartas psicrométricas com os dados horários de temperatura e umidade relativa do ar. Entretanto, deve-se salientar que o programa estabelece o limite inferior da zona de conforto com a temperatura de 18°C, enquanto que, neste estudo, foi adotada a temperatura de 20°C, como valor mínimo de conforto para o verão. Em função disso, as cartas psicrométricas foram editadas, e o limite inferior de temperatura foi deslocado, para se enquadrar na proposta deste trabalho. Os percentuais de conforto também foram calculados com o auxílio do programa, mas o percentual correspondente aos valores de temperatura do intervalo dos 18°C aos 20°C foi descontado do total.

Através das cartas bioclimáticas apresentadas nas figuras 59 e 60, é possível observar a distribuição dos valores de umidade e temperatura do ar, no exterior e interior do protótipo, durante o período de verão.

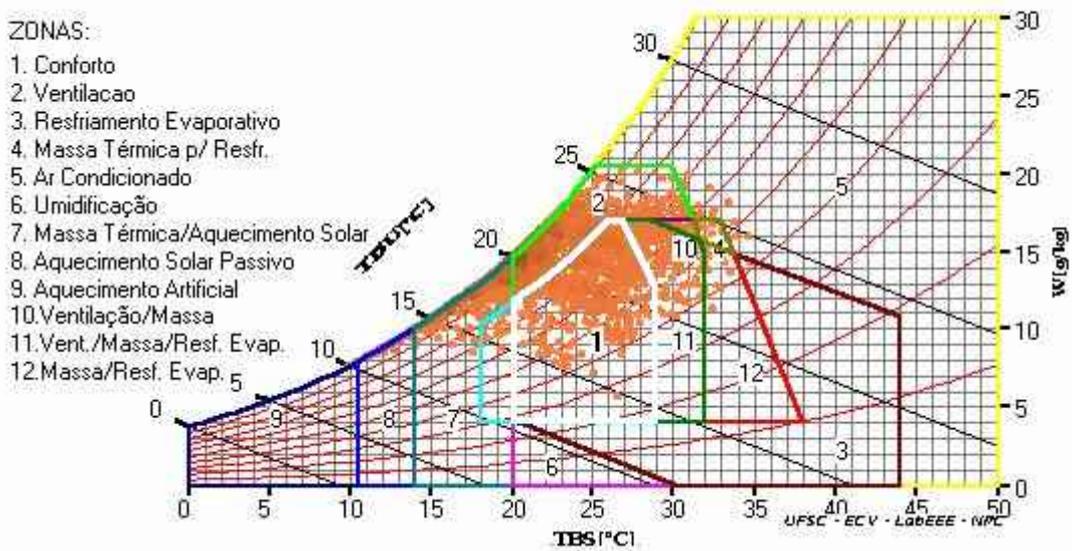


Figura 59: carta bioclimática com os dados externos de umidade e temperatura do ar - verão de 2003-2004

Observando a figura acima, percebe-se a grande variação climática ocorrida no período de verão. Os pontos estão amplamente distribuídos sobre a carta bioclimática, com pontos distribuídos desde a zona 9 (aquecimento artificial) até a zona 5 (ar condicionado).

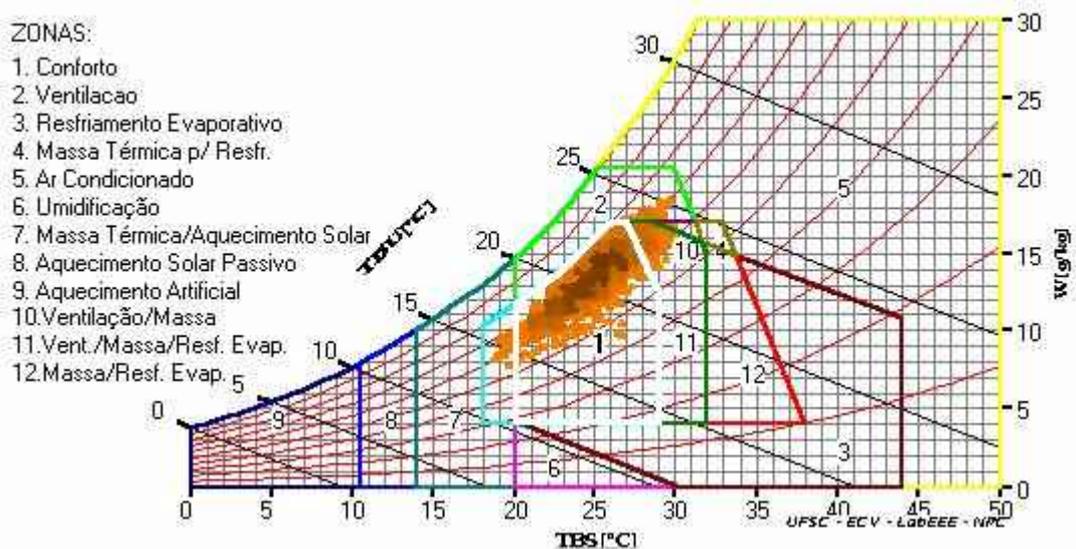


Figura 60: carta bioclimática com os dados internos de umidade e temperatura do ar - verão de 2003-2004

Observando a figura 61, percebe-se que, graças ao amortecimento proporcionado pela construção, a maioria dos valores internos se encontra dentro da zona de conforto. Além disso, percebe-se que os pontos concentram-se entre as curvas de umidade de 50% e 80%, demonstrando a redução da umidade relativa interna, em relação ao exterior.

Como já foi apresentado anteriormente, em 26% (575 horas), das 2.208 horas monitoradas no exterior, a temperatura do ar apresentou valores inferiores à 20°C. Por outro lado, a temperatura do ar externo ultrapassou os 29°C em 179 horas, que correspondem a 8,1% do tempo. Além disso, em 40,5% do período de verão (894 horas), embora a temperatura do ar externo estivesse dentro dos limites de conforto, verificou-se que a umidade relativa do ar apresentava valores superiores aos da zona de conforto estabelecida. Assim, o percentual de desconforto externo alcançou 74,6% das horas do verão de 2003-2004. O quadro resumo da figura 61 permite a visualização dos dados medidos e seus respectivos percentuais. Salienta-se que, para o cálculo dos percentuais internos, foram considerados apenas os valores de temperatura que possuíam a leitura simultânea da umidade relativa do ar (2.144 registros).

Parâmetros limite de conforto/ desconforto	Valores Externos		Valores Internos	
	nº de horas	(%)	nº de horas	(%)
Número de horas de leitura	2.208	100	2.144	100
Número de horas com temperatura abaixo de 20°C	575	26	27	1,3
Número de horas com temperatura acima de 29°C	179	8,1	44	2
Número de horas com umidade relativa igual ou superior a 80%	1.350	61,1	0	0
Número total de horas de desconforto devido à temperatura do ar inadequada (<20°C ou >29°C)	754	34,2	71	3,3
Número total de horas dentro da zona de conforto	560	25,4	1.879	87,6
Número total de horas fora da zona de conforto	1.648	74,6	265	12,4

Figura 61: quadro resumo dos dados verificados no período do verão de 2003-2004

Destaca-se que, em 194 registros horários (9,1%), embora a temperatura do ar interno se encontrasse dentro do intervalo de 20°C a 29°C, a umidade relativa apresentou valores superiores aos limites da zona de conforto.

Observa-se que, no interior do protótipo, as horas de conforto foram triplicadas, em relação ao exterior. Isso ocorreu, em grande parte, devido à eliminação do percentual da umidade relativa do ar, já que no exterior, em mais de 60% do tempo, a umidade apresentou valores iguais ou superiores a 80%.

No exterior, foram registrados três valores de temperatura do ar inferiores a 10,5°C. Isso corresponde a 0,1% das horas consideradas para o verão, nas quais seria necessária a utilização de aquecimento artificial (zona 9). Todavia, a envolvente construtiva foi capaz de amortecer os valores mais baixos da temperatura externa, de forma que, em uma situação real de uso, somente os ganhos de calor interno já seriam suficientes para elevar a temperatura acima dos 20°C.

Com relação às condições de calor no exterior, de acordo com os relatórios do programa Analysis Bio, em 17 horas do verão (0,8%) seria necessária a utilização de resfriamento artificial, para propiciar as condições desejadas de conforto. Outra estratégia importante diz respeito ao sombreamento das janelas sem veneziana. Observou-se que o pergolado do lado oeste não é suficiente para sombrear a janela da sala/cozinha, a qual se apresenta como principal responsável pelos ganhos de calor através da radiação direta. Com o sombreamento dessa esquadria, quer seja pela instalação de venezianas ou pelo plantio de trepadeiras caducifólias junto ao pergolado, é provável que a temperatura interna seja reduzida.

6.4 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO NO OUTONO

Devido às medições terem iniciado no meio do outono de 2003, não foi possível a obtenção de dados sequenciais para estação em questão. Arbitrou-se então pela junção de dois períodos distintos, um de 2003 e outro complementar de 2004. Dessa forma, o primeiro intervalo considerado teve início às 12h do dia 12 de maio de 2003 e prosseguiu até às 23h do dia 22 de junho de 2003, enquanto que o segundo período considerado teve início à meia-noite do dia 23 de março de 2004 e continuou até as 11h do dia 12 de maio de 2004. Ao todo foram registrados 2.208 valores de cada variável ambiental externa, o que corresponde a um total de 92 dias de medições.

Com relação aos dados internos, o equipamento de medição não efetuou registros ou esteve desligado durante 197 horas não sequenciais (por questões de manutenção, falhas de leitura ou devido à presença de visitantes no protótipo).

Da mesma forma que no período da primavera, foram arbitrados como valores limites da zona de conforto para o outono, as temperaturas de 18°C e 29°C. Justifica-se esta escolha porque se considerara que no início da estação, o indivíduo estará adaptado ao calor do verão e a aclimação ao frio se processará ao longo dos meses do outono, visto que a temperatura vai diminuindo gradativamente, até a chegada do inverno.

6.4.1 Dados Climáticos do Outono

6.4.1.1 Temperatura do ar

O menor valor de temperatura do ar externo que foi registrado no outono, ocorreu às 3h do dia 28 de maio de 2003, quando o termômetro atingiu a marca de 3,7°C. Em contrapartida, o valor máximo absoluto de 34,1°C, foi medido às 16 h, do dia 14 de abril de 2004.

No interior do protótipo, o valor mínimo, de 12,2°C, ocorreu às 8h do dia 8 de junho, enquanto o valor máximo foi registrado às 17h e 18 h, do dia 14 de abril, com a temperatura de 30,5°C.

O valor médio da temperatura do ar externo, no Campus do Vale da UFRGS, considerando os dois intervalos (2003 e 2004), foi de 18,4°C, enquanto que a média para a temperatura interna, de bulbo seco, foi de 20,8°C.

No gráfico da figura 62, são apresentadas as curvas de temperatura do ar externo e interno, para os dois períodos de outono considerados. As linhas horizontais indicam os limites de temperatura da zona de conforto estabelecida para esta estação (18°C e 29°C), enquanto que, a linha tracejada vertical, delimita os intervalos dos anos 2004 (23/03 a 12/05) e 2003 (12/05 a 23/06).

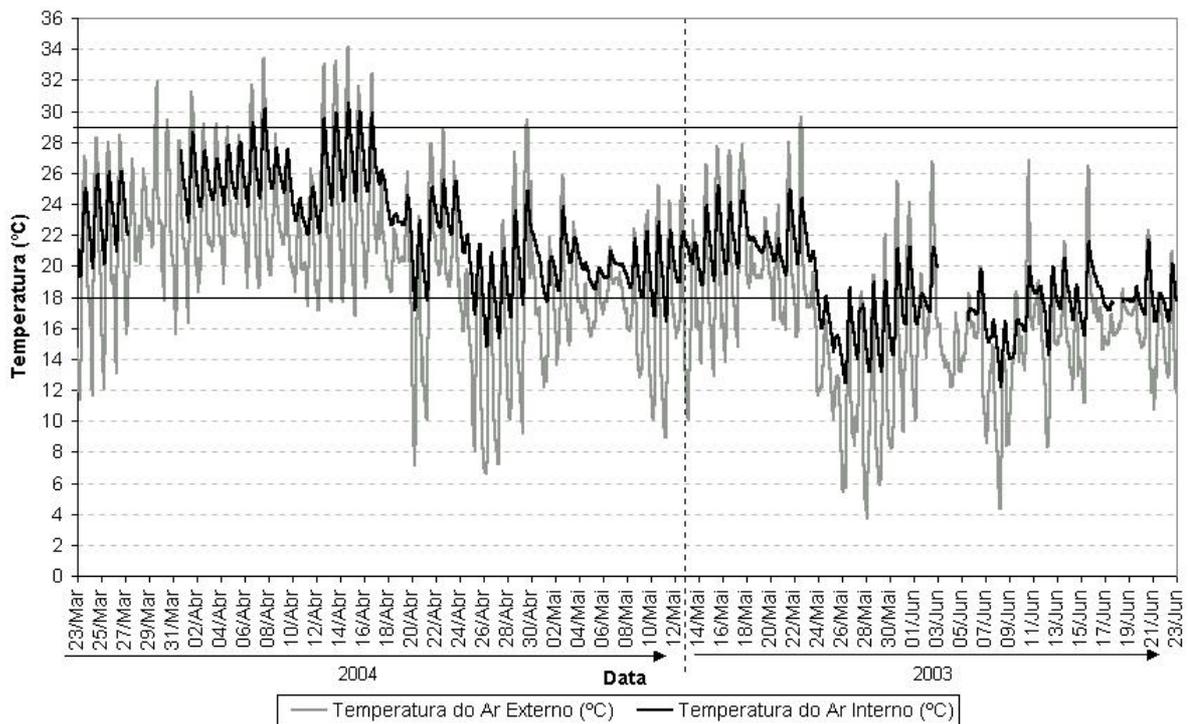


Figura 62: valores internos e externos da temperatura do ar - outono de 2003-2004

No período de outono, considerado no estudo, é perceptível a transição entre as temperaturas mais elevadas, que ocorrem no início da estação, e as mais baixas, decorrentes da aproximação do solstício de inverno. Com relação às condições internas, percebe-se que durante os meses de maio e junho, apesar do amortecimento significativo dos valores mais baixos da temperatura do exterior, os valores medidos internamente permaneceram abaixo da linha horizontal de 18°C durante a maior parte do tempo.

6.4.1.1.1 Semana com a menor média das mínimas diárias do outono

O gráfico da figura 63 mostra a variação da temperatura durante os sete dias da semana com a menor média das mínimas diárias do outono (25 a 31 de maio). No dia 27 de maio, no turno da tarde, as medições internas foram interrompidas para extração dos dados (6 valores).

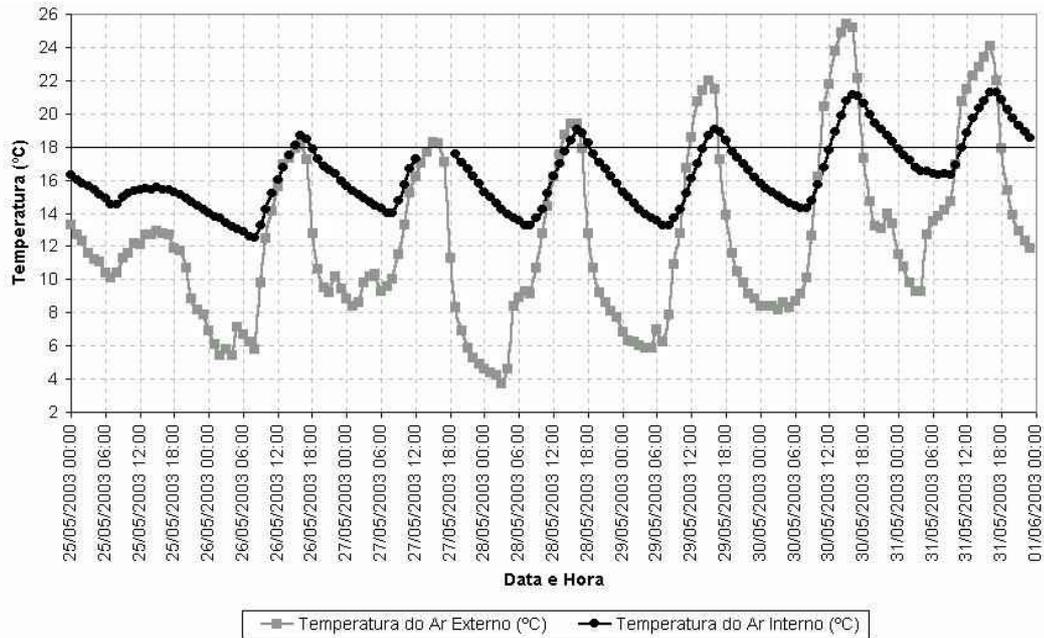


Figura 63: temperatura do ar durante a semana com a menor média das mínimas diárias - outono

A semana iniciou com um dia chuvoso (25/05), que antecedeu o período de baixas temperaturas. A média dos valores mínimos diários do ar externo, nesta semana, foi de 6,5°C. A menor temperatura medida no exterior foi registrado às 3h do dia 28, quando o termômetro atingiu a marca de 3,7°C (valor mais baixo da estação). Em decorrência dessa temperatura mínima, registrou-se no interior do protótipo o valor de 13,2°C, com um atraso térmico de cinco horas. Entretanto, o valor mínimo medido internamente nesta semana ocorreu às 8h do dia 26 de julho, quando o termômetro atingiu a marca de 12,5°C.

A média da temperatura do ar, no exterior, durante esta semana, foi de 12,4°C, enquanto a média interna calculada foi de 16,2°C. O amortecimento térmico verificado para as mínimas variou de 4,4K a 9,5K, com uma média de 6,7K. Deve-se ressaltar, ainda, que as temperaturas externas permaneceram abaixo dos 18°C durante 143 das 168 horas do intervalo, e em 71 horas, a temperatura externa apresentou valores inferiores a 10,5°C.

6.4.1.1.2 Semana com a maior média das máximas diárias do outono

A semana que apresentou os dias com as temperaturas mais altas do outono ocorreu entre 11 e 18 de abril de 2004. A média dos valores máximos diários do ar externo, nesta semana foi de 30,9°C. Deve-se destacar que no dia 12 de abril, durante o turno da tarde, devido à presença

de pessoas no protótipo, as medições foram descartadas (5 valores). O gráfico da figura 64 permite a visualização clara da distribuição das temperaturas nesta semana.

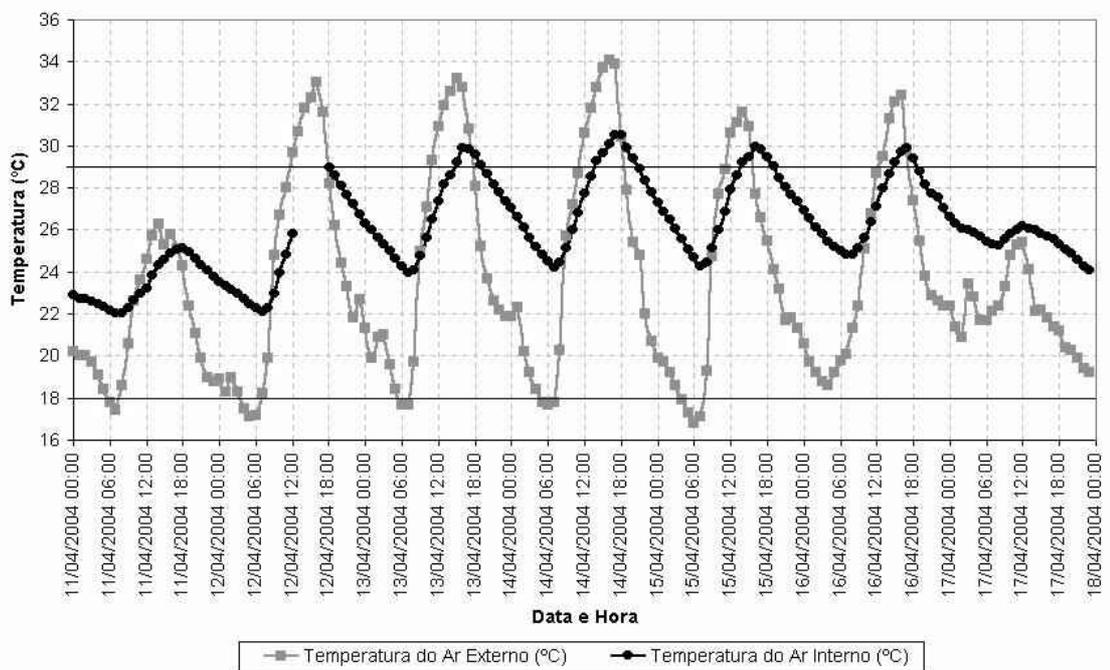


Figura 64: temperatura do ar, durante a semana com a maior média das máximas diárias - outono

A maior temperatura do ar externo ocorreu às 16h do dia 14 de abril, com a temperatura de 34,1°C. Este valor máximo da temperatura externa repercutiu no interior do protótipo, uma hora depois (17 h), quando o termômetro de bulbo seco registrou a marca de 30,5°C (valor mais alto do outono).

A temperatura média do ar, no exterior, foi de 23,6°C, enquanto que, no interior, o valor calculado foi de 26,1°C. O amortecimento térmico, para as máximas diárias, variou de 0 a 3,6K, com um valor médio de 2,1K. Já para as mínimas diárias, houve um amortecimento que alternou entre 4,3K e 7,4K, com um valor médio de 5,7K.

Salienta-se que, das 168 horas medidas no exterior, em 14 horas a temperatura foi inferior a 18°C e, em 29 horas, os valores medidos superaram os 29°C. No interior do protótipo, por sua vez, não houve desconforto por frio e os registros de desconforto por calor, foram reduzidos para 21 horas (das 163 horas consideradas).

6.4.1.1.3 Maior amplitude térmica e o amortecimento proporcionado pela construção

Nos dois intervalos considerados para o outono, no presente trabalho, os maiores gradientes externos de temperatura foram registrados entre os dias 27 e 30 do mês de abril. No dia 29, em menos de dez horas, verificou-se uma variação de 20,1K na temperatura do ar externo. Nestes três dias, houve pouca ou nenhuma nebulosidade, com as temperaturas mais baixas ocorrendo por volta das 6h ou 7h da manhã, aumentando, gradativamente, até atingir os valores máximos, entre 15h e 16h da tarde.

Na figura 65, a seguir, o gráfico apresenta as oscilações diárias da temperatura, no interior e exterior do protótipo, durante o intervalo citado.

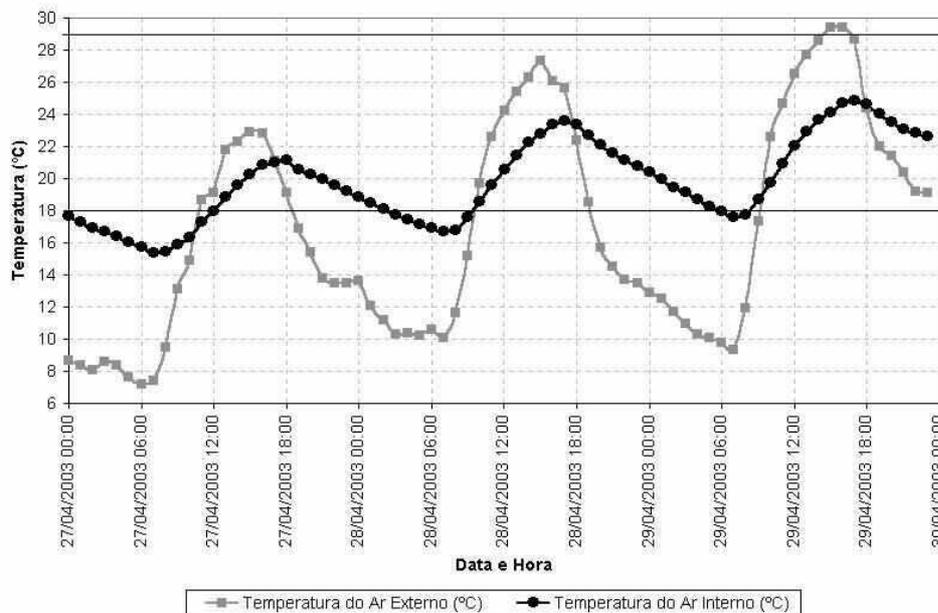


Figura 65: dias com a maior amplitude diária da temperatura do ar - outono

Conforme o esperado, a variação térmica do ar interno foi bem inferior à do ar externo. Tal amplitude oscilou entre 5,8K e 7,3K, enquanto externamente, a variação foi de 15,7K a 20,1K. O gradiente médio foi de 17,7K, no exterior, e 6,7K, no interior.

O gráfico da figura 66 mostra que a edificação foi capaz de proporcionar um abrandamento significativo das temperaturas extremas ocorridas no exterior. O amortecimento térmico médio verificado, durante os três dias do período avaliado, foi de 7,6K, para as mínimas, e

3,4K, para as máximas. A temperatura média do ar interno apresentou o valor de 19,3°C, enquanto no exterior, a média ficou em 15,8°C.

6.4.1.1.4 *Temperatura de globo*

Durante o outono de 2003-2004, os valores da temperatura de bulbo seco foram sempre um pouco inferiores aos da temperatura de globo (considerando as leituras simultâneas). A diferença máxima entre os valores medidos pelas duas sondas foi de 1,1K, sendo que essas diferenças maiores ocorreram sempre entre as 11h e 14 h. A média da temperatura de globo foi de 21,3°C, enquanto a média para a temperatura de bulbo seco foi de 20,8°C.

Acompanhando a temperatura de bulbo seco, a temperatura de globo atingiu o máximo valor de 31,1°C, às 17h do dia 14 de abril e o valor mais baixo ocorreu no dia 8 de junho, com o valor registrado de 12,6°C.

6.4.1.2 *Umidade relativa do ar*

O gráfico da figura 66, mostra a oscilação da umidade relativa do ar, no interior e exterior do protótipo Alvorada. A linha tracejada vertical indica a separação entre os dois intervalos, que configuram o período de outono considerado neste trabalho.

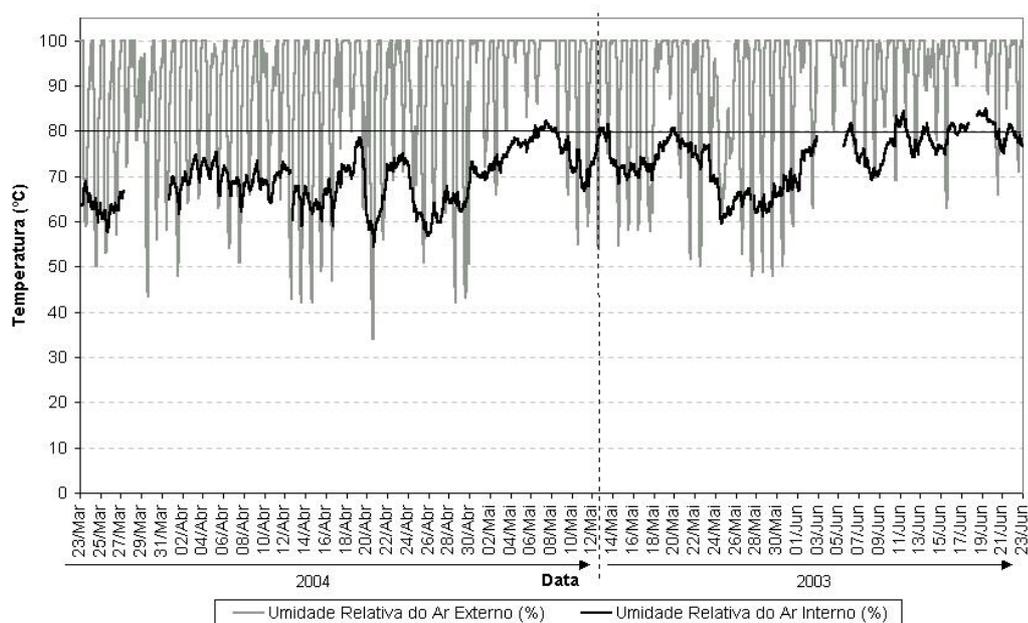


Figura 66: umidade relativa do ar - outono

Analisando o gráfico com os dados de umidade relativa do ar externo/interno, nota-se a predominância de valores internos, no intervalo dos 60% aos 80%, enquanto, no exterior, a umidade permaneceu, a maior parte do tempo, acima do limite superior considerado. Ao todo, foram registrados 1.693 valores externos, de umidade relativa, maiores ou iguais a 80%, o que corresponde a 76,7% das horas medidas no período. Já no interior do protótipo Alvorada, foram registrados apenas 196 valores iguais ou superiores a 80% (em 2.011 valores medidos).

Percebe-se, mais uma vez, que a envolvente construtiva do protótipo Alvorada foi responsável pela atenuação das condições extremas de umidade relativa externa. A amplitude constatada no interior do protótipo apontou um valor mínimo de 54,3%, no dia 20 de abril, e 84,9%, para o valor máximo, no dia 19 de junho. A média interna, verificada no período, foi de 71,4%.

Em contrapartida, no exterior, os valores externos oscilaram entre 34% e 100%, e a média calculada para o período foi de 89,2%. O valor mínimo foi medido às 15h do dia 20 de abril, ao passo que os valores máximos, de 100%, foram registrados em 898 horas, coincidindo com as temperaturas mais baixas do ar externo.

6.4.2 Graus-hora para o Outono

Na tabela 13, são apresentados os valores do somatório de graus-hora para aquecimento, o número de horas com temperatura inferior às bases estabelecidas e o grau-médio calculado. Deve-se lembrar que os valores externos foram calculados sobre um universo de 2.208 horas, enquanto que os internos, sobre 2.011 horas.

Tabela 13: somatório de graus-hora para aquecimento - outono.

Temperatura -Base	Temperatura Externa			Temperatura Interna		
	Graus-hora	Nº de horas	Grau-médio	Graus-hora	Nº de horas	Grau-médio
14°C	1.344,9	446	3,0	22,3	30	0,7
15°C	1843	544	3,4	83,9	88	0,9
16°C	2.470,1	701	3,5	209,4	165	1,3
17°C	3.268,3	884	3,7	436,7	298	1,5
18°C	4.263,8	1081	3,9	832,7	503	1,7

Observa-se que, do lado externo, ocorreu um grande número de horas com temperaturas inferiores à base de 18°C (quase a metade do período), com um grau-médio de 3,9K.

Comparativamente, o somatório de graus-hora, para a temperatura base interna de 18°C, foi reduzido para 20% do valor calculado para o exterior. O número de horas abaixo da mesma temperatura-base também teve uma redução expressiva, passando de 1.081 para 503. Além disso, destaca-se a redução das 446 horas abaixo da base de 14°C no exterior, para apenas 30 horas no interior do protótipo.

Na tabela 14, abaixo, são apresentados os valores, internos e externos, calculados para os graus-hora de refrigeração, grau-médio e o número de horas com temperatura superior às bases estipuladas.

Tabela 14: somatório de graus-hora para refrigeração - outono.

Temperatura -Base	Temperatura Externa			Temperatura Interna		
	Graus-hora	Nº de horas	Grau-Médio	Graus-hora	Nº de horas	Grau-Médio
25°C	732,2	275	2,7	528,6	301	1,8
26°C	492,2	205	2,4	290,1	183	1,6
27°C	316,2	143	2,2	143,6	115	1,2
28°C	195,3	93	2,1	60,3	56	1,1
29°C	120,1	60	2,0	17,9	29	0,6

Em 60 medições horárias a temperatura externa ultrapassou a base de 29°C, produzindo um somatório de 120,1 graus-hora e um grau-médio de 2,0K. Já no interior do protótipo, foram contabilizadas 29 horas acima da mesma temperatura-base, com um somatório de graus-hora de 17,9 e um grau-médio de 0,6K.

A distribuição das temperaturas, ao longo do período de outono considerado neste estudo, pode ser visualizada através dos histogramas externo e interno das figuras 67 e 68, respectivamente. As colunas em cinza escuro representam o intervalo das horas consideradas dentro da zona de conforto, para o período de outono estudado (18°C a 29°C).

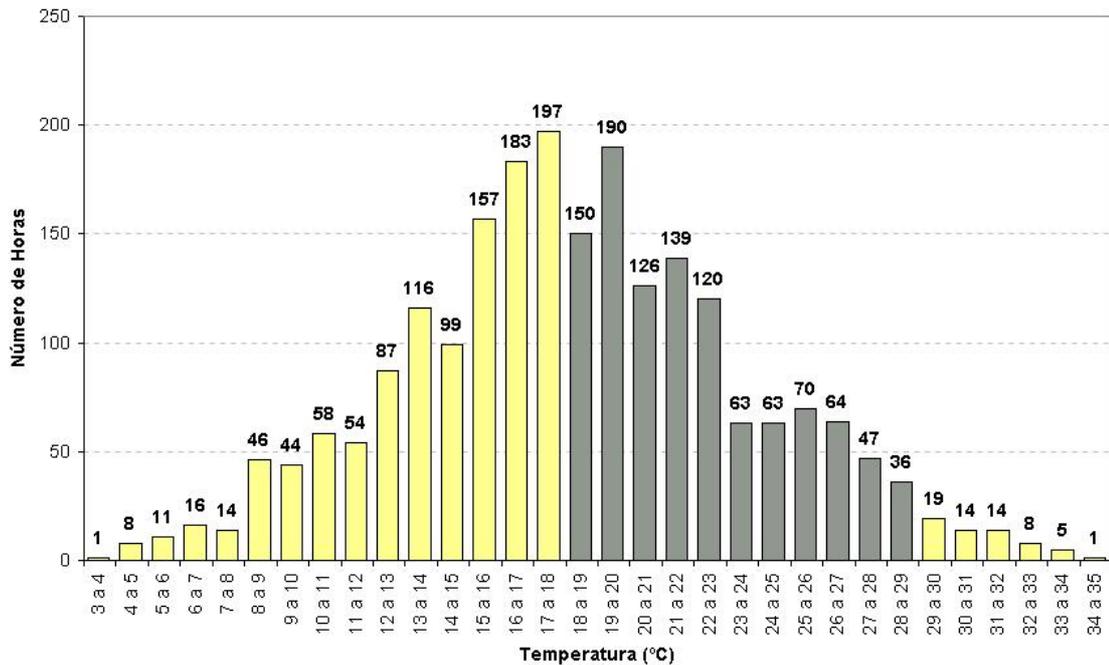


Figura 67: histograma das temperaturas externas - outono

Nota-se, no histograma acima, uma grande amplitude entre as temperaturas mais baixas e as mais altas da estação, com uma perceptível concentração de valores no intervalo, que vai dos 15°C aos 20°C (877 horas em 2.208 horas consideradas). Percebe-se, também, que o desconforto por frio é mais frequente que o desconforto por calor.

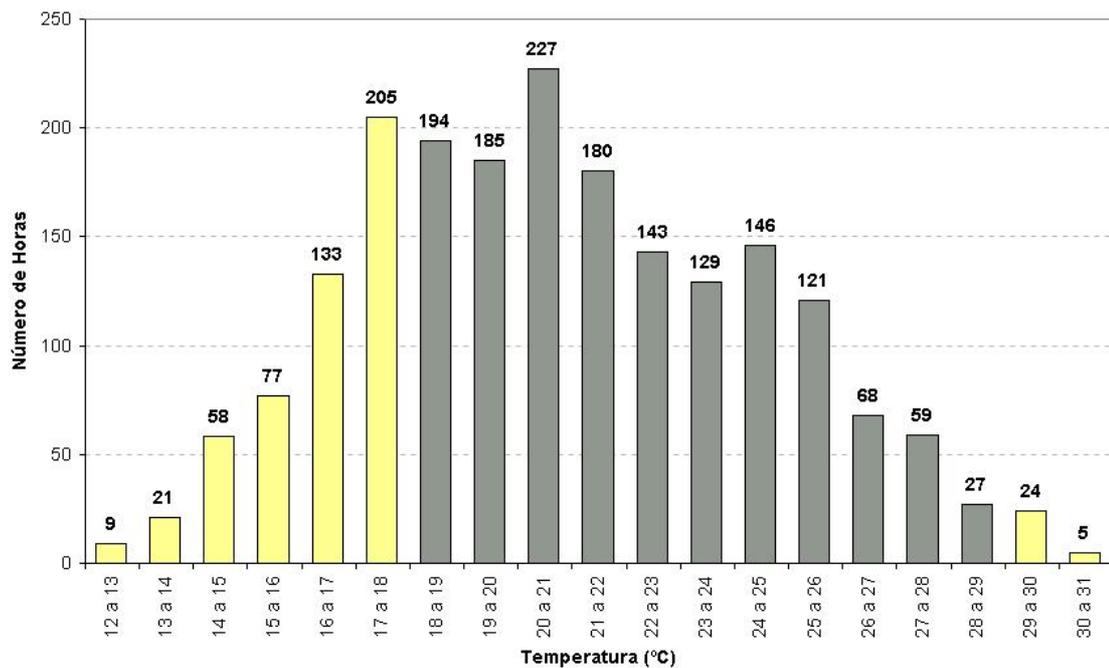


Figura 68: histograma das temperaturas internas - outono

Destaca-se nos histogramas do outono, o deslocamento dos valores de temperatura do intervalo de 3°C a 10°C (140 horas), verificado no exterior, para a faixa de 12°C a 16°C, no interior (165 valores). Percebe-se, também, a concentração de 989 valores no intervalo de 17°C a 22°C.

Os valores inferiores a 18°C foram reduzidos, mas ainda representam um número significativo de registros verificados no interior. A partir dos ganhos internos de calor é provável que as temperaturas sejam incrementadas, diminuindo um pouco mais o número de horas de desconforto por frio. Em contrapartida, considerando o mesmo raciocínio exposto, os valores internos de temperatura entre 26°C e 29°C poderiam superar o limite dos 29°C, entrando na zona de desconforto por calor.

6.4.3 Carta Bioclimática para o Outono

As cartas psicrométricas foram geradas pelo programa Analysis Bio, a partir dos dados horários de temperatura e umidade relativa do ar, medidos no interior e exterior do protótipo Alvorada. Os percentuais de conforto/desconforto também foram calculados com o auxílio do programa. Salienta-se que foram considerados apenas 2.011 pares de umidade e temperatura para a geração da carta bioclimática interna da estação.

A seguir, nas figuras 69 e 70, podem ser visualizadas as cartas bioclimáticas para a estação do outono, no exterior e interior do protótipo.

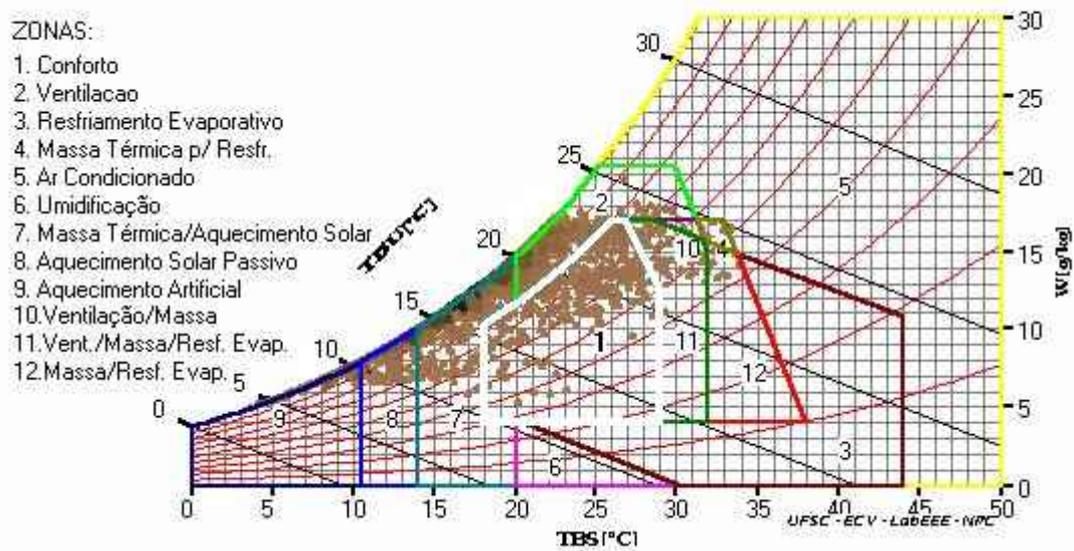


Figura 69: carta bioclimática com os dados externos de umidade e temperatura do ar - outono de 2003-2004

Observando a figura acima, percebe-se a grande variação climática ocorrida no período do outono, com pontos distribuídos em quase todas as zonas de estratégias da carta. Nota-se, também, a grande quantidade de pontos entre as curvas de umidade de 80% e 100%.

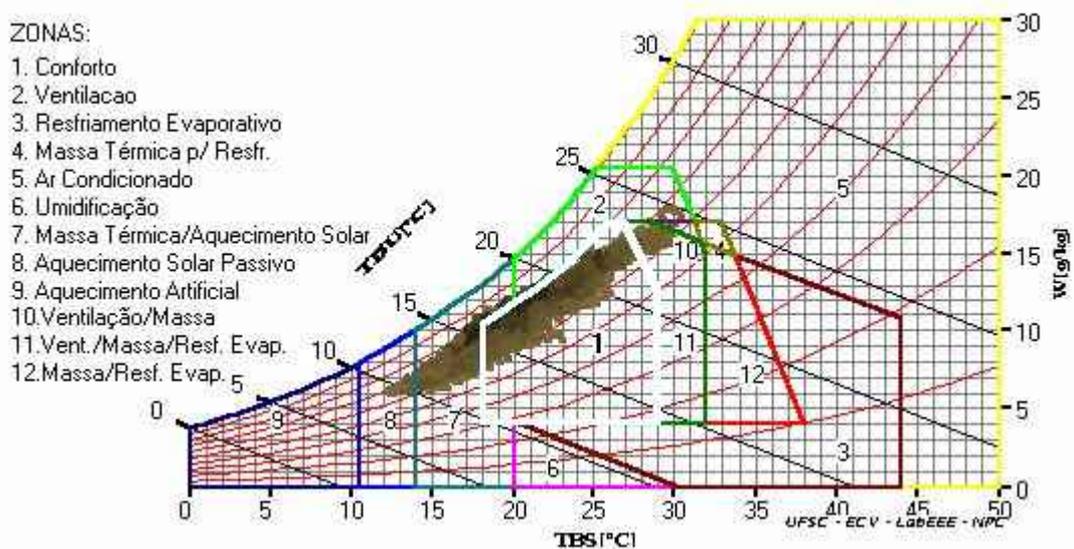


Figura 70: carta bioclimática com os dados internos de umidade e temperatura do ar - outono de 2003-2004

Analisando a figura 70, em relação à carta bioclimática externa, nota-se que houve um deslocamento da mancha de pontos, com uma concentração bem definida dos valores internos, dentro da zona de conforto, entre as curvas de umidade relativa de 60% e 80%.

Em 49% (1.081 horas), das 2.208 horas monitoradas no exterior, a temperatura do ar apresentou valores inferiores a 18°C. Por outro lado, a temperatura do ar externo ultrapassou os 29°C em 60 horas (2,7% dos valores medidos). Além disso, em 32,6% do período de outono (720 horas), apesar da temperatura do ar externo apresentar valores entre 18°C e 29°C, verificou-se que a umidade relativa do ar apresentava valores superiores aos da zona de conforto arbitrada. Com isso, o desconforto externo alcançou o percentual de 84,3% das horas do outono de 2003-2004. Os dados medidos e seus respectivos percentuais são apresentados no quadro resumo da figura 71. Destaca-se que, para o cálculo dos percentuais internos, foram considerados apenas os valores de temperatura que possuíam a leitura simultânea da umidade relativa do ar (2.011 registros).

Parâmetros limite de conforto/ desconforto	Valores Externos		Valores Internos	
	nº de horas	(%)	nº de horas	(%)
Número de horas de leitura	2.208	100	2.011	100
Número de horas com temperatura abaixo de 18°C	1.081	49	503	25
Número de horas com temperatura acima de 29°C	60	2,7	29	1,4
Número de horas com umidade relativa igual ou superior a 80%	1.693	76,7	196	9,8
Número total de horas de desconforto devido à temperatura do ar inadequada (<18°C ou >29°C)	1.141	51,7	532	26,4
Número total de horas dentro da zona de conforto	347	15,7	1.309	65,1
Número total de horas fora da zona de conforto	1.861	84,3	702	34,9

Figura 71: quadro resumo dos dados verificados no período do outono de 2003-2004

Em 170 registros horários (8,4%), embora a temperatura do ar interno se encontrasse dentro do intervalo de 18°C a 29°C, a umidade relativa apresentou valores superiores aos limites da zona de conforto.

No interior do protótipo, as horas de conforto foram quadruplicadas em relação ao exterior. Sob esse aspecto, a redução do percentual da umidade relativa do ar foi preponderante, já que no exterior, em quase 77% do tempo, a umidade apresentou valores iguais ou superiores a 80%.

De acordo com os relatórios do programa Analysis Bio, para as condições externas do outono, em 22% das horas o desconforto foi causado pelo calor. Dentre estas horas, houve apenas uma ocorrência dentro da zona 5 (ar condicionado), na qual seria necessária a utilização de resfriamento artificial. Em contrapartida, o programa indica que a maior parte das horas de desconforto por calor poderia ser solucionada através da ventilação natural (20,2%).

Deve-se comentar, ainda, que no Campus da UFRGS foram registrados 168 valores de temperatura do ar menores que 10,5°C. Isso corresponde a 7,6% das horas consideradas para o outono, nas quais seria necessária a utilização de aquecimento artificial (zona 9). Mesmo que 100 destes valores tenham ocorrido entre a meia-noite e as 6 h, os seus efeitos foram sentidos no interior do protótipo, durante as manhãs dos meses de maio e junho de 2003. Neste sentido, as mesmas estratégias recomendadas para o inverno poderiam ser adotadas para minimizar o desconforto durante os dias mais frios do outono.

6.5 COMPORTAMENTO TÉRMICO NO ANO ESTUDADO

Conforme foi relatado anteriormente, a falha no equipamento de armazenamento de dados da estação meteorológica do IPH, impossibilitou o registro de 352 dados horários, no período compreendido entre 29 de outubro e 13 de novembro de 2003 (primavera).

Com relação aos dados internos, em 336 horas do período de medição, o aparelho não registrou valores de temperatura de bulbo seco (manutenção, falhas de leitura ou devido à presença de visitantes no protótipo). Pelos mesmos motivos, só que por um período de 579 horas, não foram registrados dados de umidade relativa do ar.

Com isso, para cada variável ambiental externa, foram registrados 8.432 dados, enquanto que para as medições internas, foram medidos 8.448 valores de temperatura de bulbo seco e 8.205 valores de umidade relativa do ar. Deve-se salientar que as falhas na leitura da temperatura de bulbo seco foram sempre simultâneas às interrupções das medições de umidade relativa do ar.

6.5.1 Graus-hora para o Ano Estudado

Os valores do somatório de graus-hora anual para aquecimento e refrigeração são apresentados nas tabelas 15 e 16. O número de horas com temperatura inferior às bases estabelecidas e o grau-médio calculado também constam nas tabelas abaixo.

Tabela 15: somatório de graus-hora para aquecimento - anual

Temperatura -Base	Temperatura Externa			Temperatura Interna		
	Graus-hora	Nº de horas	Grau-médio	Graus-hora	Nº de horas	Grau-médio
14°C	6.979,9	1.860	3,8	816,1	532	1,5
15°C	9.058,9	2.274	4	1.513,1	839	1,8
16°C	11.587,6	2.762	4,2	2.549,9	1.266	2,0
17°C	14.633,7	3.298	4,4	4.067,9	1.747	2,3
18°C	18.212,8	3.795	4,8	6.095,9	2.337	2,6

Destaca-se na tabela acima, que no interior do protótipo, para a temperatura-base de 18°C, o somatório de graus-hora corresponde à terça parte do valor calculado para o exterior.

Tabela 16: somatório de graus-hora para refrigeração - anual

Temperatura -Base	Temperatura Externa			Temperatura Interna		
	Graus-hora	Nº de horas	Grau-Médio	Graus-hora	Nº de horas	Grau-Médio
25°C	3.513,9	1.269	2,8	2.617,1	1.645	1,6
26°C	2.390,1	966	2,5	1.305,4	986	1,3
27°C	1.559,3	683	2,3	570,8	521	1,1
28°C	981,2	468	2,1	194,5	251	0,8
29°C	585,9	327	1,8	38,9	78	0,5

Ao analisar as tabelas, observa-se que o grau-médio externo foi sempre maior que o interno, para todas as temperaturas-base, tanto para aquecimento, como para refrigeração. Ao longo do ano, a temperatura externa ultrapassou a base de 29°C em 327 horas, produzindo um somatório de 585,9 graus-hora e um grau-médio de 1,8K. Já no interior do protótipo, foram contabilizadas 78 horas acima da mesma temperatura-base, com um somatório de graus-hora de 38,9 e um grau-médio de, apenas, 0,5K.

Os histogramas das figuras 72 e 73 permitem a visualização da distribuição dos valores de temperatura ao longo do ano considerado neste estudo.

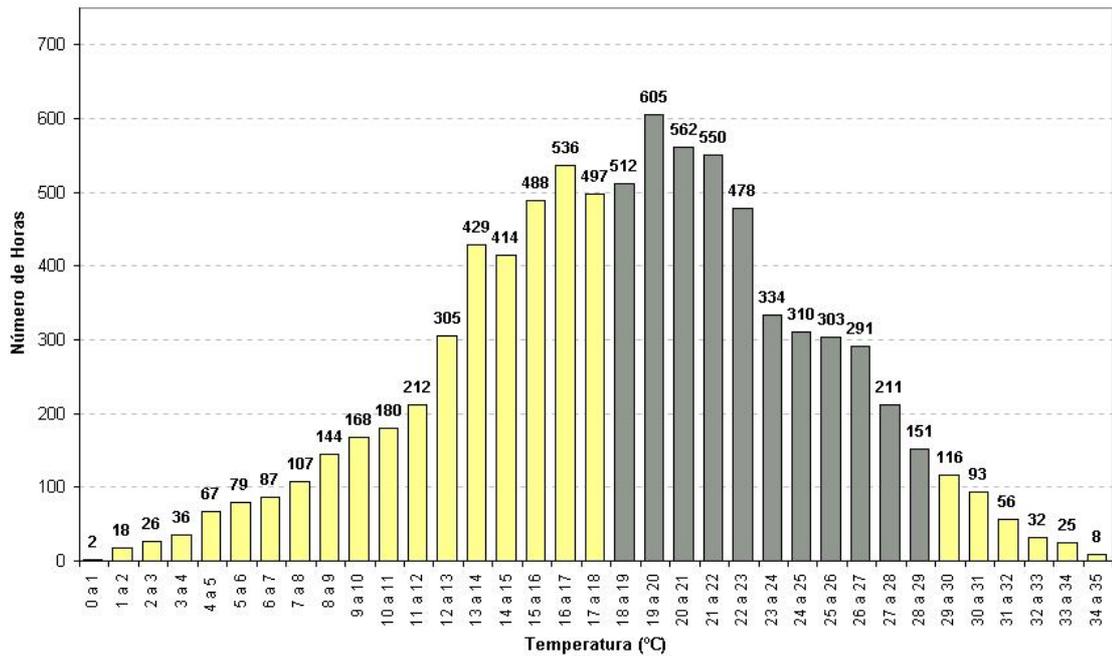


Figura 72: histograma anual das temperaturas externas

Nota-se, no histograma acima, a perceptível concentração de valores de temperatura no intervalo que vai dos 13°C aos 23°C, com mais de 400 horas em cada faixa de temperatura. Percebe-se, também, que o desconforto por frio é mais freqüente que o desconforto por calor.

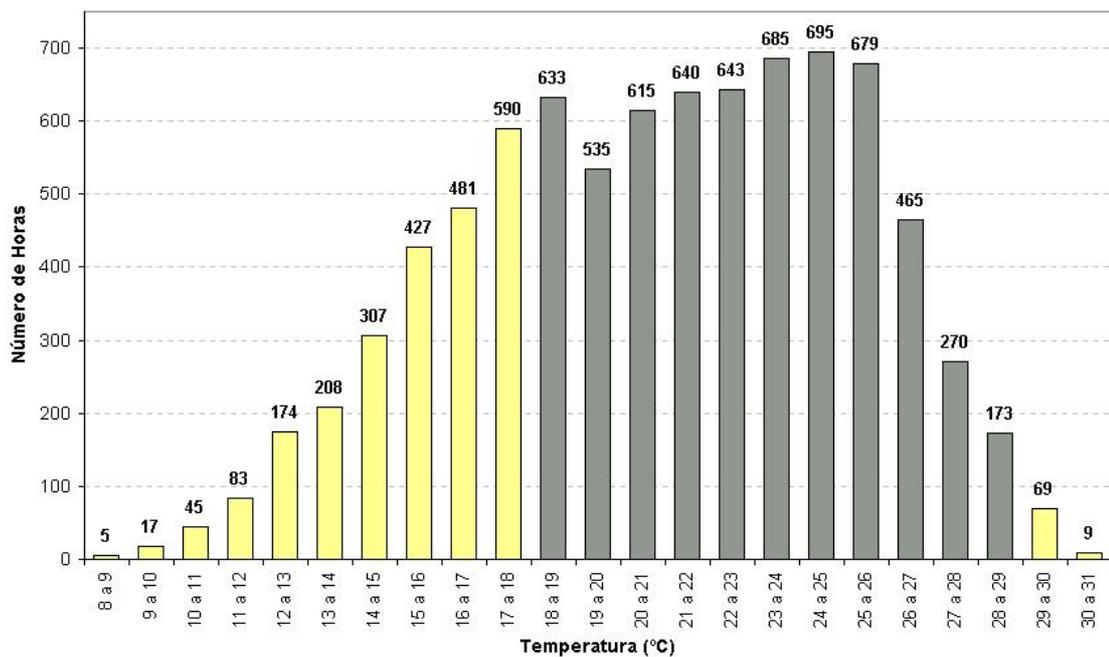


Figura 73: histograma anual das temperaturas internas

Nota-se que, no histograma anual interno, os valores inferiores a 18°C foram reduzidos, mas ainda representam um número significativo de registros. Considerando os ganhos potenciais de calor interno, é provável que as temperaturas sejam incrementadas, reduzindo o número de horas de desconforto por frio. Em contrapartida, considerando a mesma suposição acima, os valores internos de temperatura entre 26°C e 29°C, provavelmente, irão extrapolar o limite dos 29°C, entrando na zona de desconforto por calor.

6.5.2 Cartas Bioclimáticas

Para a confecção das cartas bioclimáticas do período completo, os limites de conforto foram simplificados, de acordo com a forma de apresentação do programa Analysis Bio, ou seja, limites de temperatura entre 18°C e 29°C, sem diferenciação para as estações do inverno e verão. Além disso, para a carta interna, foram utilizados apenas os registros em que constavam os dados simultâneos de umidade relativa e temperatura do ar.

Correlacionando os 8.432 valores de temperatura e umidade relativa do ar externo, a carta bioclimática da figura 74 apresenta a distribuição dos pontos, durante o período estudado.

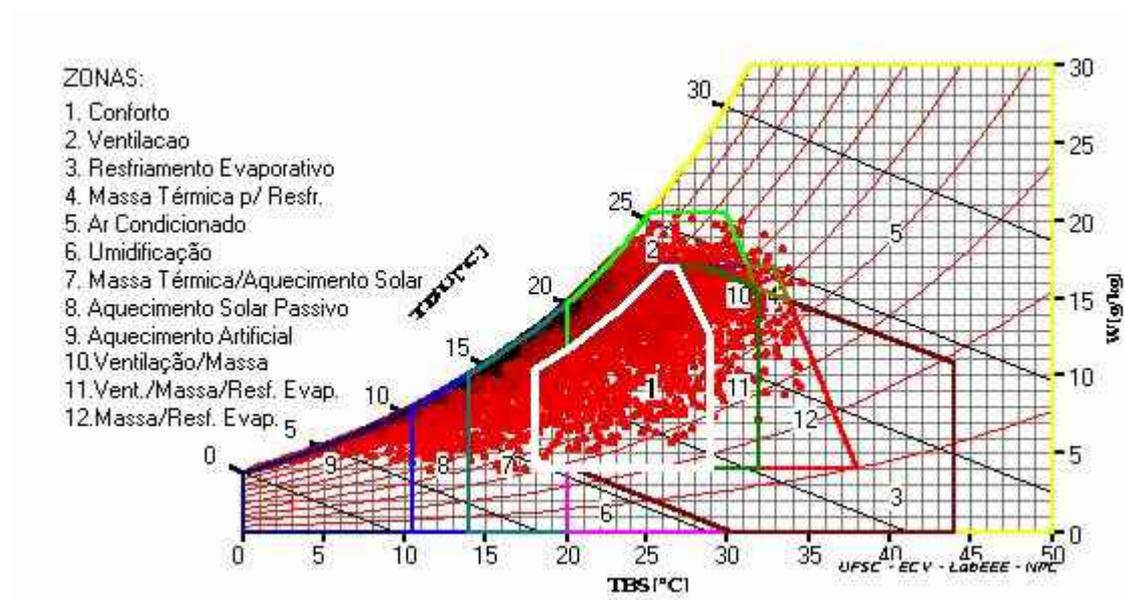


Figura 74: carta bioclimática com os dados externos de umidade e temperatura do ar durante o período de 2003-2004

O quadro da figura 75 mostra o resultado do relatório dos dados externos, gerado pelo programa Analysis Bio, com as recomendações das principais estratégias para alcançar o conforto térmico, em um projeto bioclimático. Salienta-se que o programa considera como desconforto por calor, os valores em que a umidade relativa é superior aos limites da zona de conforto e a temperatura se encontra na faixa dos 20°C aos 29°C. Já os valores com umidade superior a 80% e temperatura entre 18°C e 20°C são interpretados pelo programa como desconforto por frio.

CONFORTO					19,5%
DESCONFORTO	Frio	Massa Térmica/Aquecimento Solar Aquecimento Solar Passivo Aquecimento Artificial Umidificação	33,8% 12,3% 9,8% 0%	55,9%	80,5%
	Calor	Ventilação Ventilação/Massa Ventilação/Massa/Resfr. Evap. Massa Térmica p/ Resfriamento Massa/Resfriamento Evaporativo Resfriamento Evaporativo Ar Condicionado	20,1% 0,2% 3,4% 0,2% 0,5% 0,02% 0,2%	24,6%	
SOMBREAMENTO		41,7%			

Figura 75: quadro resumo do relatório gerado pelo programa Analysis Bio, para os dados externos no período estudado (2003-2004)

Comparativamente, a carta bioclimática baseada no ano climático de referência para Porto Alegre (LAMBERTS et al., 1997), aponta um percentual de conforto de 22,4%, enquanto que, no ano estudado, apenas 19,5% das horas medidas no Campus da UFRGS apresentaram valores dentro da zona de conforto.

O percentual de horas de frio intenso, com a temperatura externa inferior a 10,5°C, também mostrou um percentual maior em relação ao TRY de Porto Alegre (ver item 2.3.1), passando de 6% para 9,8%. Durante estas horas, o aquecimento artificial será necessário, visto que as estratégias da massa térmica para aquecimento e o aquecimento solar passivo não serão suficientes para proporcionar o conforto interno.

Para o desconforto por calor, percebe-se que a ventilação é a estratégia mais adequada para proporcionar o conforto em 20,1% das horas do ano. Além disso, em 3,6% das horas, os pontos se encontram nas zonas de interseção da ventilação com a massa térmica para

resfriamento e resfriamento evaporativo, totalizando 23,7% do período anual em que a ventilação pode ser utilizada para reduzir o desconforto por calor. Nota-se, ainda, que em 0,237% das horas o desconforto por calor somente será resolvido com a utilização de refrigeração artificial (ar condicionado).

A seguir, a carta bioclimática da figura 76 apresenta a distribuição dos 8.205 valores horários de temperatura e umidade relativa do ar interno, medidos entre maio de 2003 e maio de 2004.

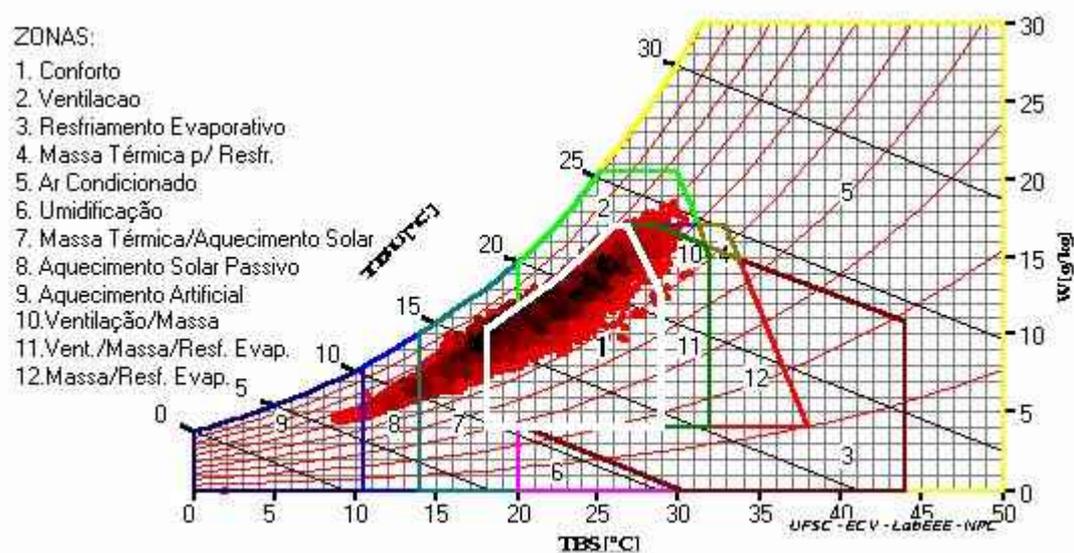


Figura 76: carta bioclimática com os dados internos de umidade e temperatura do ar durante o período de 2003-2004

Sabe-se que o relatório gerado pelo programa Analysis Bio, serve para indicar as estratégias mais adequadas para a concepção de um projeto bioclimático. No entanto, considera-se importante apresentar os percentuais de conforto/desconforto internos, bem como o percentual correspondente a cada zona da carta bioclimática, apresentada na figura 76, para comparar, de forma quantitativa, a atenuação das condições externas, proporcionada pela edificação.

Assim sendo, no quadro resumo da figura 77, são apresentados os valores calculados pelo programa a partir dos 8.205 valores, considerados para o interior do protótipo.

CONFORTO					66,5%
DESCONFORTO	Frio	Massa Térmica/Aquecimento Solar	22,7%	28,2%	33,5%
		Aquecimento Solar Passivo	5,1%		
		Aquecimento Artificial	0,4%		
		Umidificação	0%		
	Calor	Ventilação	2,1%	5,3%	
		Ventilação/Massa	0,1%		
		Ventilação/Massa/Resfr. Evap.	3,2%		
		Massa Térmica p/ Resfriamento	0%		
		Massa / Resfriamento Evaporativo	0%		
		Resfriamento Evaporativo	0%		
		Ar Condicionado	0%		

Figura 77: quadro resumo do relatório gerado pelo programa Analysis Bio, para os dados internos no período estudado (2003-2004)

O percentual de conforto interno foi triplicado em relação ao do ambiente externo. No interior do protótipo Alvorada, o desconforto por frio foi reduzido quase pela metade, enquanto o desconforto por calor apresentou uma redução superior a 75% das horas verificadas no exterior.

Os dados horários e os percentuais calculados para os valores internos e externos, são comparados no quadro da figura 78. Assim como foi estabelecido para a confecção das cartas bioclimáticas, no cálculo dos percentuais internos foram considerados apenas os valores de temperatura que possuíam a leitura simultânea da umidade relativa do ar (8.205 registros).

Parâmetros limite de conforto/ desconforto	Valores Externos		Valores Internos	
	nº de horas	(%)	nº de horas	(%)
Número de horas de leitura	8.432	100	8.205	100
Número de horas com temperatura abaixo de 18°C	3.795	45	2.148	26,2
Número de horas com temperatura acima de 29°C	327	3,9	78	0,9
Número de horas com umidade relativa igual ou superior a 80%	5.903	70	491	6
Número total de horas de desconforto devido à temperatura do ar inadequada (<18°C ou >29°C)	4.122	48,9	2.226	27,1
Número total de horas dentro da zona de conforto	1.640	19,4	5.456	66,5
Número total de horas fora da zona de conforto	6.792	80,6	2.749	33,5

Figura 78: quadro resumo dos dados verificados no período estudado

Na figura 78, é importante salientar que em 6,4% do tempo (523 registros horários), embora a temperatura do ar interno tenha apresentado valores entre 18°C a 29°C, a umidade relativa apresentou valores superiores aos limites da zona de conforto, ou seja, acima de 80% para as temperaturas entre 18°C e 25°C ou superior aos limites de umidade para as temperaturas acima de 25°C.

Destaca-se que, das 2.148 horas em que a temperatura do ar interno apresentou valores inferiores a 18°C, 823 destes registros ocorreram entre a meia-noite e às 6 h, quando os usuários estarão dormindo e com um nível de vestimenta maior.

6.5.3 Discussão

Segundo Barbosa (1997), em seus estudos na cidade de Londrina/PR, o limite superior de conforto, para a umidade relativa do ar, foi elevado para 90%, em virtude da aclimação das pessoas entrevistadas às condições a que estavam submetidas (umidade mais elevada). Neste sentido, não seria incoerente supor que essa aclimação também ocorra em Porto Alegre, visto que os moradores da cidade convivem com a alta umidade relativa do ar em cerca de 70% das horas do ano. No presente estudo, se esta ampliação do limite superior da umidade relativa do ar fosse considerada, haveria um acréscimo de 523 horas na zona de conforto, já que nenhum valor de umidade relativa, medido no interior, ultrapassou os 90%.

Além disso, Barbosa (1997) sugere um número máximo de 1.000 horas de desconforto para que uma edificação seja considerada dentro do limite aceitável de desempenho térmico em Londrina/PR. No entanto, deve-se observar que em Londrina/PR, as condições externas encontram-se dentro dos limites de conforto sugeridos por Givoni (1992), em cerca de 70% das horas do ano (para o ano climático de referência, tomado como base pela autora). Enquanto isso, para Porto Alegre, como foi apresentado anteriormente, a situação se inverte, com cerca de 80% das horas fora da zona de conforto.

Alerta-se ainda que, no Campus da UFRGS, em 9,8% do tempo, o frio foi muito intenso para ser abrandado apenas com a envolvente construtiva (temperaturas inferiores a 10,5°C). Ou seja, são 827 horas do período estudado, nas quais seria necessária a utilização de aquecimento artificial (zona 9). Embora a maior parte destes valores tenha ocorrido entre a meia-noite e às 6 h, quando os usuários estarão dormindo e com um nível de vestimenta

maior, os seus efeitos foram sentidos no interior do protótipo durante as manhãs, em todas as estações do ano. Além disso, em 0,2% do período considerado (20 horas), seria necessária a utilização de ar condicionado para refrigeração. Assim, em um total de 10% das horas do período, a edificação não será capaz de eliminar, totalmente, as condições de desconforto verificadas no exterior.

Considera-se, portanto, que o método das horas anuais de desconforto sugerido por Barbosa (1997), como um parâmetro de referência para a avaliação de desempenho térmico de edificações é válido, mas deve ser adaptado para a cidade de Porto Alegre.

De qualquer maneira, considera-se imprescindível a construção do fogão à lenha, previsto no projeto original do protótipo Alvorada, para proporcionar o aporte de calor necessário durante as horas de frio intenso. Com isso, certamente haverá um aumento da temperatura interna, não só no período mais frio, mas também durante as horas subseqüentes.

Deve-se frisar, ainda, que, para as condições de frio, os ganhos internos de calor poderão proporcionar um aumento significativo das horas de conforto no interior do protótipo. No entanto, sem um estudo experimental com a edificação em uso, não é possível estimar os ganhos de temperatura com exatidão. Além disso, com a ocupação da edificação, é muito provável que o conteúdo de vapor interno aumente, ultrapassando o valor máximo estabelecido na zona de conforto.

Embora as horas de calor não tenham sido tão numerosas, durante as medições efetuadas, poderão representar um percentual de desconforto significativo, a partir dos ganhos internos de calor em uma situação real de uso. Nesse sentido, para abrandar as condições de calor interno, a ventilação cruzada pode se configurar em uma importante estratégia a ser adotada durante as horas em que a temperatura do ar externo seja inferior à do ar interno.

7 CONCLUSÕES

No capítulo anterior foi descrito o comportamento da edificação frente às condições climáticas do período estudado. Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões sobre o experimento realizado, as recomendações de melhorias para diminuir o número de horas de desconforto da edificação e, por fim, as sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

7.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O EXPERIMENTO

O trabalho teve como objetivo principal a avaliação do comportamento térmico, através do monitoramento das variáveis higrotérmicas, do protótipo residencial Alvorada durante o período de um ano. Entretanto, ao longo do desenvolvimento do experimento foram realizadas algumas constatações, que devem ser relatadas para facilitar o trabalho de outros pesquisadores, em trabalhos similares no futuro.

Com relação ao equipamento e procedimento de medição:

- a) a realização de um período de medições preliminares é fundamental para evitar problemas decorrentes da instalação e programação dos equipamentos, já que possibilita a alteração dos procedimentos experimentais e a minimização de dados com erro;
- b) o equipamento de medição utilizado (BABUC/A) se mostrou adequado para a execução do experimento, não requerendo um acompanhamento constante, apenas as visitas de rotina, para a reposição da água destilada nas sondas de bulbo úmido e limpeza das demais;
- c) o intervalo horário de medições foi suficiente para a avaliação do comportamento térmico do protótipo Alvorada;

Com relação às variáveis externas, medidas no Campus do Vale da UFRGS durante o período de estudo:

- a) a direção dos ventos predominantes difere daquela observada nas estações meteorológicas de Porto Alegre, o que demonstra a influência do relevo e da vegetação circundante sobre essa variável ambiental;
- b) a temperatura do ar externo apresentou valores médios inferiores àqueles medidos em outras estações meteorológicas de Porto Alegre, provavelmente devido ao efeito da ilha de calor ocorrente junto a estas estações;
- c) os valores médios mensais da umidade relativa do ar ficaram acima daqueles medidos em outras estações meteorológicas de Porto Alegre, isso se deve, provavelmente, em função dos efeitos da evapotranspiração decorrente da maior cobertura vegetal do solo e devido às menores temperaturas medidas no Campus;

Com relação ao método e critérios para avaliação do protótipo habitacional:

- a) a zona de conforto proposta por Givoni (1992), para países em desenvolvimento, por usar uma carta psicrométrica como base, é de fácil operação e permite a visualização clara das estratégias bioclimáticas, para os valores que não se encontram no intervalo de conforto;
- b) o método das horas anuais de desconforto, sugerido por Barbosa (1997), pode ser uma possibilidade válida para a avaliação do comportamento térmico de edificações, mas, deve ser adaptada para a cidade de Porto Alegre, principalmente no que tange ao número máximo de 1000 horas de desconforto, a ser obtido apenas com a envolvente construtiva (visto que em quase 10% do tempo a temperatura externa apresenta valores muito baixos - zona 9);
- c) o critério dos graus-hora é de simples aplicação e constitui um recurso representativo do abrandamento das condições externas proporcionado pela edificação.

7.2 SUGESTÕES PARA A MELHORIA DA EDIFICAÇÃO

Um dos objetivos do trabalho, já citado anteriormente, foi a geração de subsídios para a melhoria da edificação, no que se refere às questões relacionadas ao desempenho térmico. Os resultados, principalmente de inverno, apontam a necessidade de introduzir ou aprimorar alguns detalhes construtivos, visando a melhoria das condições ambientais internas. Essas recomendações serão apresentadas nos itens subseqüentes.

7.2.1 No Inverno

Em função do grande número de horas em que a temperatura do ar externo apresentou valores menores ou iguais a 10,5°C (26,45% do total), sugere-se a construção de um fogão à lenha¹⁰ de alvenaria que, aliás, já estava previsto no projeto original do protótipo Alvorada. Com isso, haverá um aporte de calor no interior da edificação, proporcionando um número maior de horas de conforto aos seus usuários, com o uso de um recurso (biomassa) que pode ser produzido nas proximidades das edificações em grande parte dos municípios gaúchos e brasileiros.

Outro aspecto, referente à redução do número de horas de desconforto por frio, diz respeito ao isolamento da envoltória construtiva. Verifica-se um grande número de horas em que foram registrados valores de temperatura externa do ar entre os 10,5°C e os 18°C (1210 horas). Nesse caso, de acordo com a carta bioclimática, a estratégia recomendada seria a massa térmica e o aquecimento solar passivo. Como as paredes e a cobertura apresentam valores de transmitância menores que o máximo recomendado pelo projeto de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas 02:135.07-003 (1998c) conclui-se, portanto, que as janelas da cozinha e do dormitório da frente, se configuram como as superfícies mais vulneráveis em relação a troca de calor com o exterior. Nesse caso específico, sugere-se a instalação de venezianas externas, para diminuir a perda de calor nos dias frios.

Com relação à cobertura, considera-se que tão somente o fechamento das portinholas no beiral da face sul não é suficiente para evitar as trocas de ar por convecção. Ou seja, a camada

¹⁰ Observa-se, por experiência própria, que os fogões à lenha são largamente utilizados em edificações do centro e norte do Rio Grande do Sul, sendo, portanto, uma estratégia de aquecimento culturalmente aceita por boa parte dos gaúchos.

de ar localizada entre o forro de madeira e a chapa de *off-set* pode ser constantemente substituída, em virtude da ausência de vedações nas aberturas do beiral da face norte, e devido à presença de frestas, por onde o ar penetra sob a cobertura. Com isso, a resistência térmica da cobertura diminui, aumentando as perdas de calor interno nos dias frios. Uma solução viável poderia ser a instalação de portinholas móveis de vedação, semelhantes àsquelas do beiral da face sul, dificultando a saída do ar por convecção e facilitando o armazenamento de calor no interior da edificação.

7.2.2 No Verão

Durante o período de verão, foram contabilizadas 44 horas em que as medições registraram valores de temperatura do ar interno superiores a 29°C. Embora esse número represente um percentual baixo (2%) em relação ao período total do verão, considera-se que sempre é possível incrementar melhorias. Além disso, em uma situação real de uso, é provável que o número de horas com temperatura acima de 29°C aumente, em virtude dos ganhos de calor com equipamentos e metabolismo dos usuários.

Nesse sentido, observou-se que o pergolado da face oeste, embora ainda não dispusesse da proteção vegetal projetada na ocasião das medições, poderá não ser suficiente para sombrear a janela da sala/cozinha durante o período da tarde. Em função disso, recomenda-se a instalação de uma veneziana nessa janela, para que seja possível controlar a entrada de radiação solar na edificação e, por conseguinte, impedir o ganho de calor indesejado nas tardes quentes de verão.

Foram registrados apenas 27 valores horários com temperatura interna do ar inferior a 20°C. Mesmo assim, esses registros apontam valores superiores a 18°C e correspondem ao período da madrugada e início da manhã, quando os usuários podem dispor de um nível de vestimenta maior.

7.2.3 Na Primavera e no Outono

Para as estações intermediárias, de primavera e outono, valem as mesmas recomendações citadas, anteriormente, para o inverno e para o verão. Justifica-se esse procedimento em virtude do número de horas em que foram registrados valores de temperatura do ar exterior abaixo dos 10,5°C, principalmente nos meses de maio e junho, quando ocorreram seqüências de dias frios característicos do inverno. Em contrapartida, em determinados dias do mês de abril, foram registradas temperaturas externas que elevaram a temperatura interna significativamente. Nesse caso, valem as mesmas recomendações sugeridas para o período quente de verão.

7.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As considerações apresentadas nos capítulos anteriores podem embasar ou servir de referência para vários outros trabalhos de pesquisa. Como sugestões para estes estudos, são indicados alguns temas que poderão ser explorados por outros pesquisadores no futuro.

Estudos relacionados aos parâmetros de avaliação:

- a) verificação do PMV e PPD para os habitantes de Porto Alegre, observando a aclimação das pessoas às temperaturas do ar iguais ou inferiores a 18°C e aos valores de umidade relativa do ar superiores a 80%;
- b) definição de um número máximo de horas de desconforto para as edificações de interesse social em Porto Alegre, considerando o tipo de edificação culturalmente aceito pela população, o custo praticável ou viável economicamente e o número de horas em que as condições externas são extremamente desconfortáveis.

Estudos relacionados aos programas de simulação:

- a) ajuste e validação de programas de simulação do comportamento térmico de edificações, a partir do banco de dados obtidos experimentalmente neste estudo;

- b) com a validação de um determinado programa de simulação, poderão ser realizados experimentos computacionais testando o protótipo Alvorada em outros tipos de clima do Brasil, relativos a outras cidades.

Estudos relacionados ao protótipo Alvorada:

- a) realizar novas medições durante períodos em que o protótipo esteja ocupado, verificando possíveis alterações do seu desempenho, em função da abertura de esquadrias, aumento da temperatura, devido à geração de calor interno produzido pelo metabolismo dos ocupantes ou por equipamentos, e aumento da umidade relativa, devido à sudorese dos usuários, banho ou cocção de alimentos no interior do protótipo;
- b) efetuar novas medições após a construção do fogão a lenha, previsto na fase de projeto do protótipo, verificando o ganho térmico proporcionado pelo aquecimento artificial, durante os dias frios do inverno;
- c) realizar estudos referentes a absorção de umidade por parte dos materiais internos: tijolos, argamassa de revestimento, madeira. Visto que estes materiais parecem estar se comportando como superfícies absorptivas, absorvendo ou liberando umidade, de acordo com o conteúdo de vapor presente no ar interno.

REFERÊNCIAS

AULICIEMS, A.; SZOKOLAY, S.V. **Thermal Comfort**. In: Passive and Low Energy Architecture International - PLEA. Australia: University of Queensland, Brisbane. 1997.

AKUTSU, M. S.; SATO, N.M.; PEDROSO, N.G. **Desempenho Térmico de Edificações Habitacionais e Escolares**: manual de procedimento para avaliação. São Paulo: IPT, 1987. IPT Publicação n. 1732.

American Society of Heating, Refrigerating And Air-Conditioning Engineers – ASHRAE: handbook of fundamentals. New York, USA. 1993.

AROSZTEGUI, J. M. **Parâmetros do Conforto Térmico de Porto Alegre**. Porto Alegre: CPGE/UFRGS, 1977.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações. **Projeto 02:135.07-001**: desempenho térmico de edificações - Parte 1- definições, símbolos e unidades.. Rio de Janeiro, 1998a.

_____. Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações. **Projeto 02:135.07-002**: desempenho térmico de edificações - Parte 2- método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro. 1998b.

_____. Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações. **Projeto 02:135.07-003**: desempenho térmico de edificações - Parte 3- zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro. 1998c.

BARBOSA, M. J. **Uma Metodologia para Especificar e Avaliar o Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares**. 1997. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

BECKER, M.F.M. **Análise de Desempenho Térmico de uma Habitação Unifamiliar Térrea**. 1992. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil / UFRGS, Porto Alegre 1993.

BENJAMIM, C. **Foi Loucura, mas Houve Método nela**: gênese, dinâmica e crise energética brasileira. 2001. Disponível em: <www.ilumina.org.br>. Acesso em 3 maio 2003

BOGO, A. et al. **Bioclimatologia Aplicada ao Projeto de Edificações Visando o Conforto Térmico**. Florianópolis: UFSC, 1994. Relatório interno nº 02/94.

COMPANHIA DE PROCESSAMENTO DE DADOS DO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE - PROCEMPA. **Bairros da cidade de Porto Alegre**. 2002. 1 mapa, escala indeterminável. Disponível em: <<http://geo.procempa.com.br/geo/html>>. Acesso em 9 de out 2004.

DAVIS INSTRUMENTS CORPORATION. **Standard and Industrial External Temperature / Humidity Sensor**. Hayward / USA, 2001. Disponível em: <<http://www.davis.com>>. Acesso em 13 ago 2004.

_____. **Standard and Industrial Anemometer**. Hayward / USA, 2001. Disponível em: <<http://www.davis.com>>. Acesso em 13 ago 2004

DUTRA, L. **Uma Metodologia para a Determinação do Fator Solar Desejável em Aberturas**. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1994.

EVANS, J.M.; SCHILLER, S. de. **Diseño Bioambiental y Arquitectura Solar**. Buenos Aires: Eudeba, 1988.

FANGER, P.O. **Thermal Comfort** – analysis and applications in environmental engineering. New York: McGraw-Hill, 1972.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Nobel, 1988.

FERRARO, L.W.; HASENACK, H. Aspectos do Clima de Porto Alegre. In: ZURITA, M.L.L.; TOLFO, A.M. (Org.) **A Qualidade do Ar em Porto Alegre**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2000. p.16-27.

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. 2.ed. London: Applied Science Publishers. 1976. reimpresso em 1981.

GIVONI, B. Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Buildings**. Lausanne, v. 18, n.1. p. 11-23, 1992.

GIVONI, B. **Climate Considerations in Building and Urban Design**. New York: Van Nostrand Reinhold Co. 1998.

GONZALES, E. et al. **Proyecto Clima y Arquitectura**. Mexico: Gustavo Gili, 1986.

GOULART, S. **Dados Climáticos para Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações em Florianópolis**. 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 1993.

GRINGS, E.T.O. **Comparação entre Resultados Experimentais e Computacionais do Comportamento Térmico de um Ambiente**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**: moderate thermal environments - determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Genebra, 1994.

_____. **ISO/DIS 7726**: ergonomics of the thermal environment - instruments for measuring physical quantities. Genebra, 1996.

LABORATORI DI STRUMENTAZIONE INDUSTRIALE S.P.A. **L'Ambiente Fisico**. 3. ed. Milano, Italy: LSI, 1997.

_____. **BABUC/A/M**: strumento portatile per l'acquisizione, visualizzazione, memorizzazione ed elaborazione di grandezze ambientali. Milano, Italy: LSI, 2002. (Manuale per l'utente)

_____. **BABUC**: strumenti per la misura di grandezze fisiche. Milano, Italy: LSI, 07-2003. (Manuale).

LAMBERTS, R. **Desempenho Térmico de Coberturas Leves com Ático: Bancada de Testes e Modelo Matemático**. 1983. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre, 1983.

LAMBERTS, R.; PEREIRA, F.; DUTRA, L. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PAPST, A.L. **Desempenho Térmico de Edificações**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. **Conforto Térmico e Stress Térmico**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEEE), 2002.

LITTLER J.; THOMAS R. **Design with Energy**: the conservation and use of energy in buildings. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

MARQUARDT, H. **Determinantes Climatológicas para a Arquitetura em Porto Alegre e Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Gráfica da UFRGS, 1969.

MARKUS, T.A.; MORRIS, E.N. **Buildings, Climate and Energy**. London. Pitman Publishing Limited , 1980.

MORELLO, A. et al. **Environmental Comfort Perception in the Alvorada Sustainable Low Cost House**. In: PASSIVE END LOW ENERGY ARCHITECTURE - PLEA, 20., 2003, Santiago. **Anais...** Chile: Pontifícia Universidad Católica de Chile. 2003. p. 1331-1336.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

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

POUEY, M.T.F. **Estudo Experimental do Desempenho Térmico de Coberturas Planas**: vegetação e terraço. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 1998.

RIVERO, R. **Arquitetura e Clima**: condicionamento térmico natural. 2. ed. Porto Alegre: D.C. Luzzato, 1986.

ROSA, T. F.; SEDREZ, M. M.; SATTTLER, M. **Análise do Desempenho Energético do Protótipo Alvorada: protótipo de habitação sustentável**. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO; 6. ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO; 3., 2001, São Pedro, SP. **Anais ...** Campinas, SP: ANTAC. p. 254-255.

SATTTLER, M.; BONIN, L.C. (coord.). **Protótipo de Habitação Sustentável**: memoriais do projeto. Porto Alegre: NORIE/UFRGS, 1999.

SCARAZZATO, P.S. Avaliação Pós-Usado: considerações sobre conforto térmico e iluminação. In: SEMINÁRIO AVALIAÇÃO PÓS-USO, 1989, São Paulo. **Anais ...** São Paulo: ANTAC. p.45-58.

SILVA, A. C. S. B. da. **Zoneamento Bioclimático Brasileiro para Fins de Edificação**. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 1994.

SZOKOLAY, S.V. **Environmental Science Handbook**:- for architects and builders. Lancaster, England: Pitman. 1980.

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

UBER, L.L. **A Climatologia Aplicada ao Ambiente Construído**: uma contribuição à caracterização climática de Porto Alegre/RS. 1992. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 1993.

**APÊNDICE A – DADOS METEOROLÓGICOS EXTERNOS DA
SEMANA COM AS MENORES MÉDIAS DAS MÍNIMAS**

Data e Hora	Temp. do Ar Externo (°C)	Umidade Relativa do Ar Externo (%)	Rad. Solar sobre um plano horiz. (W/m2)	Velocidade do Vento (m/s)	Direção do vento	Chuva (mm)	Pressão Atmosférica (mm)	Temp. do Ar Interno (°C)	Umidade Relativa do Ar Interno (%)
8/7/03 0:00	12,8	100	0	0	---	0	758,8	15,67	79,5
8/7/03 1:00	12,4	100	0	0	SW	0	758,3	15,55	79,4
8/7/03 2:00	13,3	100	0	0	E	0	758	15,51	79,4
8/7/03 3:00	13,3	100	0	0	SE	0	757,7	15,48	79,4
8/7/03 4:00	13,2	100	0	0	SE	0	757,2	15,44	79,7
8/7/03 5:00	12,4	100	0	0,4	SE	0	756,9	15,36	79,7
8/7/03 6:00	12,3	100	0	0,4	SSW	0	757,2	15,21	79,6
8/7/03 7:00	11,4	100	0	0	SSW	0	757,5	15,06	79,1
8/7/03 8:00	12,7	100	72	0	SSW	0	757,5	15,06	78,7
8/7/03 9:00	13,8	100	224	0	SSW	0	757,3	15,29	78,9
8/7/03 10:00	15,9	100	351	0,9	E	0	756,8	16,08	77,9
8/7/03 11:00	17,9	91	492	0,9	ESE	0	755,8	16,76	77,6
8/7/03 12:00	20,4	82	388	0,9	SE	0	753,8	17,55	78,1
8/7/03 13:00	19,1	89	37	0,4	SE	0	752,4	17,67	80,7
8/7/03 14:00	18,6	97	0	0	SE	0,6	753,8	17,74	81,1
8/7/03 15:00	17,9	100	0	0,4	ESE	1	752,8	17,82	82,1
8/7/03 16:00	17,7	100	0	0	WNNW	3	752,7	17,82	81,8
8/7/03 17:00	17,5	100	0	0,9	ESE	1,2	752	17,78	82,5
8/7/03 18:00	17,3	100	0	0,4	SE	1	753,2	17,78	82,8
8/7/03 19:00	16,9	100	0	1,3	ESE	1,2	752,5	17,7	84,6
8/7/03 20:00	16,7	100	0	1,3	ESE	0,6	752	17,67	86
8/7/03 21:00	16,7	100	0	1,3	S	0,6	753,3	17,67	85,6
8/7/03 22:00	16,9	100	0	2,7	NE	0,2	752,1	17,7	85,6
8/7/03 23:00	17,1	100	0	0,9	NNE	0	752,9	17,59	84,5
9/7/03 0:00	16,8	100	0	1,3	NNE	0	753,3	17,52	84,8
9/7/03 1:00	17,1	100	0	2,2	N	0	753,3	17,52	85,2
9/7/03 2:00	17,3	100	0	2,2	NW	0	754,6	17,52	86,6
9/7/03 3:00	16,9	100	0	1,3	NNW	0	755	17,52	85,2
9/7/03 4:00	16,5	100	0	0,4	NNW	0,2	755,5	17,44	84,5
9/7/03 5:00	16,4	99	0	1,3	NNE	0	755,7	17,36	84,4
9/7/03 6:00	16,3	98	0	1,8	NNW	0	757,1	17,29	84,4
9/7/03 7:00	15,6	92	0	2,2	NW	0	757,9	17,02	83,2
9/7/03 8:00	14,8	91	35	2,2	NNW	0	758,8	16,76	82
9/7/03 9:00	12,9	92	58	3,1	NNW	0	760,5	16,5	79,6
9/7/03 10:00	11,5	90	34	1,3	W	0	762,2	16,16	78,3
9/7/03 11:00	11,4	85	139	1,8	NW	0	762,6	15,85	77,4
9/7/03 12:00	11,9	73	402	2,2	N	0	762,8	15,67	74,7
9/7/03 13:00	11,8	61	496	2,7	NW	0	762,6	15,92	65
9/7/03 14:00	11,9	57	541	2,7	N	0	762,7	16,15	65
9/7/03 15:00	12,2	58	458	2,2	NNW	0	762,1	16,38	65,9
9/7/03 16:00	12,2	59	236	2,2	NNW	0	762,4	16,27	65,9
9/7/03 17:00	11,6	58	58	2,7	NNW	0	762,6	15,93	65,6
9/7/03 18:00	10,4	63	0	1,3	NNW	0	763,8	15,48	66,2
9/7/03 19:00	9,1	74	0	0,4	N	0	764,3	15,1	65,8
9/7/03 20:00	6,6	87	0	0	---	0	764,8	14,57	66,7
9/7/03 21:00	4,9	94	0	0	---	0	765,9	13,97	67,5
9/7/03 22:00	4,4	97	0	0	---	0	766,2	13,44	67,8
9/7/03 23:00	3,7	99	0	0	---	0	766,5	13,02	67,3
10/7/03 0:00	3	99	0	0	---	0	766,8	12,57	67,2
10/7/03 1:00	2,4	100	0	0	---	0	767,2	12,08	67,1
10/7/03 2:00	1,8	100	0	0	---	0	767,2	11,63	66,6
10/7/03 3:00	1,3	100	0	0	---	0	767,7	11,14	66,4
10/7/03 4:00	0,8	100	0	0	---	0	767,3	10,72	65,9
10/7/03 5:00	1	100	0	0	---	0	767,6	10,31	65,8
10/7/03 6:00	1,1	100	0	0	---	0	767,9	10,01	65,9
10/7/03 7:00	1,6	100	0	0	WSW	0	768,2	9,74	66,4
10/7/03 8:00	3,1	100	64	0,4	WNNW	0	768,5	9,67	66,8
10/7/03 9:00	5,2	99	294	0,9	W	0	767,7	10,31	67,1
10/7/03 10:00	7,3	80	426	1,3	N	0	767,1	11,21	66,9
10/7/03 11:00	8,1	71	486	2,2	N	0	767	11,85	66
10/7/03 12:00	9,4	63	661	1,8	N	0	766,3	12,46	64,7
10/7/03 13:00	10,5	57	635	1,8	NNE	0	765,6	12,99	64,5
10/7/03 14:00	11,4	55	618	2,2	N	0	764,6	13,48	64,3
10/7/03 15:00	11,6	47	293	1,8	N	0	764,5	13,74	62,7
10/7/03 16:00	11,8	54	241	1,3	N	0	764,6	13,82	62,8
10/7/03 17:00	11,4	61	55	0,9	NNE	0	764,2	13,82	64
10/7/03 18:00	9,7	63	0	0,4	NNW	0	764,9	13,48	63,9
10/7/03 19:00	6,6	84	0	0	---	0	765,8	12,95	65,3
10/7/03 20:00	3,9	93	0	0	---	0	766,5	12,46	65,1
10/7/03 21:00	3	96	0	0	---	0	767,1	11,97	64,1
10/7/03 22:00	3,4	99	0	0	NE	0	767,4	11,48	63,9
10/7/03 23:00	2,9	100	0	0	---	0	767,8	11,14	64,3
11/7/03 0:00	2,8	100	0	0	---	0	767,9	10,95	65,3
11/7/03 1:00	5,3	95	0	0,4	NNE	0	767,6	10,76	65,1
11/7/03 2:00	5,7	94	0	0,4	NNW	0	767,2	10,57	65,7
11/7/03 3:00	5,9	92	0	1,3	NNW	0	767,5	10,31	66,7
11/7/03 4:00	6,6	83	0	0,9	SW	0	767,6	10,31	65,8
11/7/03 5:00	5,4	89	0	0	NW	0	768	10,16	66,5
11/7/03 6:00	5,5	86	0	0	NNW	0	768,7	9,93	66,7
11/7/03 7:00	4,4	96	0	0,4	NNW	0	769,6	9,71	66,8
11/7/03 8:00	4,7	93	73	0,9	NNW	0	770,3	9,67	66,4
11/7/03 9:00	6,3	83	293	1,8	N	0	770,3	10,16	66,1
11/7/03 10:00	7,8	75	460	2,2	NNW	0	770,3	11,06	65
11/7/03 11:00	9	70	583	2,2	NNW	0	770,1	11,89	64

Data e Hora	Temp. do Ar Externo (°C)	Umidade Relativa do Ar Ext. (%)	Rad. Solar (W/m2)	Velocidade do Vento (m/s)	Direção do vento	Chuva (mm)	Pressão Atmosférica (mm)	Temp. do Ar Interno (°C)	Umidade Relativa do Ar Int. (%)
11/7/03 12:00	9,9	65	676	2,7	NNW	0	770,1	12,53	64,4
11/7/03 13:00	10,8	63	681	2,2	NNW	0	769,6	12,99	63,7
11/7/03 14:00	11,7	58	633	1,8	NNW	0	769	13,63	63,4
11/7/03 15:00	12,2	58	419	1,8	NNW	0	769,1	14,04	63,1
11/7/03 16:00	11,7	60	157	1,3	NNW	0	769,2	14,19	63,3
11/7/03 17:00	11,3	64	51	0,9	NNW	0	769,8	14,08	63,5
11/7/03 18:00	9,8	73	0	0	NNE	0	770,6	13,74	65
11/7/03 19:00	6,7	87	0	0	---	0	771,5	13,25	65,6
11/7/03 20:00	4,4	94	0	0	---	0	772,2	12,72	65,8
11/7/03 21:00	4,9	97	0	0	---	0	772,3	12,27	64,9
11/7/03 22:00	3,2	97	0	0	---	0	772,6	11,82	63,9
11/7/03 23:00	2,3	98	0	0	---	0	773,3	11,33	63,7
12/7/03 0:00	1,7	99	0	0	---	0	773,1	10,87	63,5
12/7/03 1:00	1,7	100	0	0	---	0	773,2	10,46	64,3
12/7/03 2:00	2,5	100	0	0	---	0	772,8	10,2	65,2
12/7/03 3:00	1,9	100	0	0	---	0,2	772,9	9,82	63,9
12/7/03 4:00	0,5	100	0	0	---	0	773,3	9,44	62,9
12/7/03 5:00	1,6	100	0	0	NNE	0	773,6	9,18	64,4
12/7/03 6:00	4,1	100	0	0,9	NNW	0	773,7	9,03	65,5
12/7/03 7:00	3,9	100	0	0,9	NNW	0	774,1	8,84	67,1
12/7/03 8:00	4,1	100	66	0,9	NNW	0	774,5	8,99	66
12/7/03 9:00	5,2	98	275	1,3	NNW	0	774,3	9,48	66,6
12/7/03 10:00	6,6	93	456	1,3	NNW	0	774,1	10,46	65,6
12/7/03 11:00	8,4	82	585	1,3	NNW	0	773,6	11,36	66,2
12/7/03 12:00	10,6	72	671	1,3	N	0	773,2	12,19	66,4
12/7/03 13:00	11,7	64	691	1,3	NW	0	772,6	12,95	66,1
12/7/03 14:00	12,3	60	602	0,9	NE	0	771,9	13,59	66
12/7/03 15:00	13	57	471	0,4	N	0	771,4	14,16	65,1
12/7/03 16:00	12,4	55	288	0,9	WSW	0	771,4	14,57	65,2
12/7/03 17:00	11,4	66	56	0,9	SW	0	771,9	14,46	65,1
12/7/03 18:00	8	85	0	0	---	0	772,7	13,82	66,2
12/7/03 19:00	5,1	93	0	0	---	0	773,7	13,17	65,9
12/7/03 20:00	3,7	96	0	0	---	0	774,2	12,65	64,9
12/7/03 21:00	2,8	97	0	0	---	0	774,7	12,12	63,9
12/7/03 22:00	2,1	98	0	0	---	0	775	11,63	63,3
12/7/03 23:00	1,9	99	0	0	---	0	775,1	11,21	63,1
13/7/03 0:00	3,4	100	0	0	---	0	774,6	10,95	64,5
13/7/03 1:00	3,3	100	0	0	---	0	774,3	10,69	65
13/7/03 2:00	2,9	100	0	0	---	0	774,2	10,46	63,8
13/7/03 3:00	1,8	100	0	0	---	0	774,1	10,08	63,8
13/7/03 4:00	2,7	100	0	0	---	0	774	9,78	64,3
13/7/03 5:00	2,5	100	0	0	---	0,2	773,9	9,44	64,3
13/7/03 6:00	2,3	100	0	0	---	0	774,3	9,18	65,3
13/7/03 7:00	1,4	100	0	0	---	0	774,8	8,84	64,4
13/7/03 8:00	2,2	100	48	0	---	0	774,9	8,69	64,6
13/7/03 9:00	4,6	100	212	0	SW	0	774,4	8,84	65,8
13/7/03 10:00	8,1	100	473	0,4	SSW	0	773,2	9,48	66,1
13/7/03 11:00	10,6	94	598	0,4	E	0	772,8	10,69	65
13/7/03 12:00	13,8	73	679	1,3	S	0	772,1	11,82	66
13/7/03 13:00	15,6	71	682	1,3	S	0	771,4	12,76	68,6
13/7/03 14:00	16,2	69	618	1,8	S	0	770,6	13,51	70,6
13/7/03 15:00	15,9	68	443	1,8	SSE	0	769,9	14,34	70,2
13/7/03 16:00	15,2	66	233	1,3	SE	0	769,9	14,72	70,6
13/7/03 17:00	14,2	69	50	0,9	SE	0	770,2	14,68	70,9
13/7/03 18:00	12,4	81	0	0	ESE	0	770,8	14,5	71,9
13/7/03 19:00	11,6	88	0	0,9	SE	0	771,1	14,23	70,9
13/7/03 20:00	11,2	92	0	0,4	SSE	0	771,5	14	70,3
13/7/03 21:00	10,8	95	0	0,9	SSE	0	771,4	13,78	71,2
13/7/03 22:00	10,5	97	0	0,4	SSE	0	771,4	13,63	70,7
13/7/03 23:00	9,3	98	0	0	SE	0	771,4	13,29	70,7
14/7/03 0:00	7,1	99	0	0	---	0	771,4	12,91	69,6
14/7/03 1:00	5,9	100	0	0	---	0	771,2	12,42	69,9
14/7/03 2:00	5,1	100	0	0	---	0	770,9	12,08	68,3
14/7/03 3:00	4,3	100	0	0	---	0	770,6	11,74	67,1
14/7/03 4:00	4	100	0	0	---	0	770,5	11,4	66,7
14/7/03 5:00	3,8	100	0	0	SE	0	770,2	11,1	66,4
14/7/03 6:00	3,3	100	0	0	---	0	770	10,76	67,2
14/7/03 7:00	3,5	100	0	0	---	0	770,2	10,5	66,9
14/7/03 8:00	4,1	100	53	0	---	0	770,1	10,35	67,6
14/7/03 9:00	8,9	100	283	0	---	0	769,3	10,99	67,5
14/7/03 10:00	13,7	97	427	0,4	ENE	0,2	768,7	12,16	66,8
14/7/03 11:00	17,4	78	608	0,9	E	0	768,1	13,51	67,5
14/7/03 12:00	19,4	67	671	1,3	SSW	0	767,5	14,5	70,7
14/7/03 13:00	20,8	66	673	1,3	E	0	766,2	15,67	72,1
14/7/03 14:00	21,2	68	596	1,3	SSE	0	765,5	16,61	72,6
14/7/03 15:00	21,3	68	449	1,8	S	0	765	17,4	73,9
14/7/03 16:00	20,6	74	274	1,3	SSE	0	764,7	18,23	73,8
14/7/03 17:00	18,7	81	35	1,3	SSE	0	764,8		
14/7/03 18:00	16,8	90	0	0,4	SE	0	765,2		
14/7/03 19:00	15,8	94	0	0,4	SE	0	765,8		
14/7/03 20:00	15,7	96	0	0,9	ESE	0	766		
14/7/03 21:00	15,5	98	0	0,9	ESE	0	766		
14/7/03 22:00	15,3	98	0	0,4	SSE	0	765,9		
14/7/03 23:00	15,5	98	0	0,9	ESE	0	765,8		

**APÊNDICE B – DADOS METEOROLÓGICOS EXTERNOS DA
SEMANA COM AS MAIORES MÉDIAS DAS MÁXIMAS**

Data e Hora	Temp. do Ar Externo (°C)	Umidade Relativa do Ar Externo (%)	Rad. Solar sobre um plano horiz. (W/m2)	Velocidade do Vento (m/s)	Direção do vento	Chuva (mm)	Pressão Atmosférica (mm)	Temp. do Ar Interno (°C)	Umidade Relativa do Ar Interno (%)
4/1/04 0:00	19,3	88	0	0,9	S	0	1013,3	23,26	62,2
4/1/04 1:00	18,7	92	0	0,4	S	0	1013,1	22,92	63
4/1/04 2:00	18,2	94	0	0	SSE	0	1013	22,47	64,6
4/1/04 3:00	16,3	97	0	0	---	0	1012,7	22,16	63,7
4/1/04 4:00	15,7	99	0	0	---	0	1013,3	21,75	64,2
4/1/04 5:00	15	100	0	0	SSE	0	1013,7	21,45	64,2
4/1/04 6:00	14,8	100	38	0	---	0	1013,7	21,14	64,2
4/1/04 7:00	18,3	100	264	0	SSE	0	1014,2	21,22	64,6
4/1/04 8:00	22,6	77	523	0,4	SSE	0	1014,4	21,6	63,8
4/1/04 9:00	24,2	65	737	0,9	W	0	1014,7	22,2	64
4/1/04 10:00	25,3	59	950	0,9	NW	0	1014,5	22,96	64,4
4/1/04 11:00	26,6	54	1107	1,3	SW	0	1013,9	23,87	64,1
4/1/04 12:00	27,8	50	1196	0,9	SE	0	1013,1	24,55	63
4/1/04 13:00	28,3	47	1194	1,8	SE	0	1012,5	25,08	61,4
4/1/04 14:00	29,2	44	1130	1,3	SSW	0	1011,9	25,53	58,7
4/1/04 15:00	29,6	48	978	1,8	SE	0	1010,7	26,14	58,3
4/1/04 16:00	28,8	51	771	2,2	SSE	0	1009,8	26,59	57,2
4/1/04 17:00	27,7	57	519	2,2	SSE	0	1009,4	26,56	58,7
4/1/04 18:00	26,1	66	254	1,8	SSE	0	1009,5	26,48	59,3
4/1/04 19:00	24,1	74	16	1,8	SSE	0	1010,3	26,29	60,2
4/1/04 20:00	22,5	82	0	1,3	SE	0	1010,9	25,91	61,6
4/1/04 21:00	21,5	86	0	0,9	SSW	0	1011,1	25,49	62,5
4/1/04 22:00	20,9	89	0	0,9	SE	0	1011,3	25,19	62,8
4/1/04 23:00	20,6	90	0	0,4	SSE	0	1011,8	24,89	63,9
5/1/04 0:00	20,3	90	0	0,4	S	0	1011,4	24,59	63,6
5/1/04 1:00	19,8	91	0	0	S	0	1011,1	24,13	64,3
5/1/04 2:00	19,4	93	0	0,4	S	0	1010,8	23,75	65,1
5/1/04 3:00	18,7	95	0	0	S	0	1011	23,41	65,1
5/1/04 4:00	17,8	97	0	0,4	S	0	1011,4	23,03	65,3
5/1/04 5:00	16,9	98	0	0	---	0	1011,7	22,69	64,7
5/1/04 6:00	17,6	100	36	0	---	0	1011,8	22,32	65
5/1/04 7:00	19,4	97	254	0	S	0	1011,7	22,35	65
5/1/04 8:00	23,3	71	510	1,3	N	0	1011,7	23,01	64,5
5/1/04 9:00	25,2	61	737	0,9	NNW	0	1011,6	23,67	64
5/1/04 10:00	27,2	56	963	0,9	NNE	0	1011,4	24,33	63,5
5/1/04 11:00	28,4	49	1086	1,3	N	0	1011	24,99	63
5/1/04 12:00	30,6	46	1032	1,3	E	0	1010,5	25,65	62,4
5/1/04 13:00	30,9	42	1188	0,9	NE	0	1009,5	26,25	61,4
5/1/04 14:00	31,8	41	1106	1,3	SSE	0	1008,6	26,9	60,4
5/1/04 15:00	32,1	40	935	1,3	SSW	0	1008,1	27,5	59,5
5/1/04 16:00	31,9	48	620	1,8	SSW	0	1008	27,92	59,1
5/1/04 17:00	31,1	53	394	1,8	SSE	0	1007,9	28,41	58,8
5/1/04 18:00	29,6	58	224	1,8	S	0	1008,3	28,3	58,5
5/1/04 19:00	26,9	69	12	1,3	SSE	0	1008,8	28,07	59,5
5/1/04 20:00	24,9	80	0	1,3	SSE	0	1009	27,69	61,3
5/1/04 21:00	23,5	85	0	0,9	SE	0	1009,5	27,24	63,2
5/1/04 22:00	22,5	91	0	0,9	SSE	0	1009,9	26,78	64,6
5/1/04 23:00	21,8	94	0	0,4	SSW	0	1009,7	26,44	65,1
6/1/04 0:00	21,1	96	0	0	SSW	0	1009,4	26,06	65,6
6/1/04 1:00	20,4	99	0	0,4	SSW	0	1009,2	25,65	66,6
6/1/04 2:00	18,9	99	0	0	---	0	1008,6	25,15	66,5
6/1/04 3:00	18,1	100	0	0	---	0	1008,7	24,78	65,9
6/1/04 4:00	17,8	100	0	0	---	0	1008,8	24,32	65,8
6/1/04 5:00	17,1	100	0	0	---	0	1009,6	23,98	65
6/1/04 6:00	16,9	100	24	0	---	0	1010,3	23,56	65,8
6/1/04 7:00	18,7	100	235	0	---	0	1010,7	23,53	66,3
6/1/04 8:00	24,2	78	503	0,9	ESE	0	1010,3	23,98	65,8
6/1/04 9:00	26,8	68	739	1,8	NNE	0	1010,4	24,7	65,6
6/1/04 10:00	28,5	60	934	1,8	NNE	0	1010	25,49	65,9
6/1/04 11:00	30,2	53	1085	1,8	N	0	1009,8	26,29	65
6/1/04 12:00	31,7	47	1164	1,3	N	0	1009,4	26,93	64,2
6/1/04 13:00	32,7	41	1171	1,3	WNW	0	1008,8	27,46	63,8
6/1/04 14:00	33,6	42	597	1,3	SSW	0	1008	28,07	62,4
6/1/04 15:00	33,1	51	790	2,2	SSW	0	1007,2	28,56	61,3
6/1/04 16:00	32,4	57	549	2,2	SSW	0	1006,5	29,21	61,6
6/1/04 17:00	31,1	61	485	2,2	S	0	1006,3	29,4	62,2
6/1/04 18:00	29,4	64	243	1,8	SSE	0	1006,9	29,36	61,2
6/1/04 19:00	27,7	66	17	1,3	SSE	0	1007,5	29,02	60,7
6/1/04 20:00	26	75	0	0,9	SSE	0	1008,1	28,64	61,6
6/1/04 21:00	24,4	84	0	0,4	SE	0	1008,8	28,22	63
6/1/04 22:00	23,2	90	0	0,4	S	0	1009,4	27,84	64,1
6/1/04 23:00	22,7	93	0	0,4	SSW	0	1009,7	27,39	64,8
7/1/04 0:00	22,4	94	0	0	SSW	0	1009,2	27,16	65,4
7/1/04 1:00	20,9	97	0	0	SSW	0	1008,9	26,63	66,5
7/1/04 2:00	20,3	98	0	0	---	0	1008,2	26,14	66,7
7/1/04 3:00	19,3	100	0	0	SSW	0	1008	25,72	66,1
7/1/04 4:00	19,6	100	0	0	SSW	0	1008,6	25,34	66,3
7/1/04 5:00	18,7	100	0	0	SSW	0	1009,2	24,93	66,3
7/1/04 6:00	18,4	100	27	0	---	0	1010	24,59	66
7/1/04 7:00	20,9	100	246	0	SSW	0	1010,3	24,59	66,8
7/1/04 8:00	25,1	90	492	0,4	ESE	0	1010,1	24,96	65,8
7/1/04 9:00	27,6	67	728	0,9	NNE	0	1009,9	25,65	65,2
7/1/04 10:00	29,3	61	924	0,9	N	0	1009,7	26,4	65,3
7/1/04 11:00	30,6	57	1066	1,8	NW	0	1009,2	27,12	66,1

Data e Hora	Temp. do Ar Externo (°C)	Umidade Relativa do Ar Ext. (%)	Rad. Solar (W/m2)	Velocidade do Vento (m/s)	Direção do vento	Chuva (mm)	Pressão Atmosférica (mm)	Temp. do Ar Interno (°C)	Umidade Relativa do Ar Int. (%)
7/1/04 12:00	31,4	53	1082	1,8	NNW	0	1009,2	27,92	65,4
7/1/04 13:00	32,4	48	1139	0,9	NW	0	1008,5	28,41	65
7/1/04 14:00	33,2	45	1108	0,9	SSE	0	1007	28,98	63,8
7/1/04 15:00	33,9	48	843	1,3	SSW	0	1006	29,59	63,3
7/1/04 16:00	32,6	57	687	2,2	SSE	0	1005,7	30,04	62,9
7/1/04 17:00	30,3	61	233	1,3	S	0	1005,8	30,12	60,2
7/1/04 18:00	29,4	66	221	1,3	SE	0	1006,3	30	61,5
7/1/04 19:00	27,7	68	10	1,3	SE	0	1007,1	29,55	60,9
7/1/04 20:00	26,7	71	0	0,4	SE	0	1007,5	29,25	61,8
7/1/04 21:00	25,7	79	0	0,4	SSE	0	1008,1	28,9	62,3
7/1/04 22:00	24,9	86	0	0,4	SSE	0	1008,2	28,53	63,7
7/1/04 23:00	23,7	93	0	0,4	SE	0	1007,8	28,22	65,1
8/1/04 0:00	23	97	0	0,9	SSW	0	1008	27,88	66,1
8/1/04 1:00	22,4	99	0	0,4	SSW	0	1007,6	27,39	67
8/1/04 2:00	21,8	100	0	0	SSW	0	1007,2	26,97	67,3
8/1/04 3:00	21,8	100	0	0	SSW	0	1007,1	26,59	67,2
8/1/04 4:00	21,9	100	0	0	SSW	0	1007,3	26,29	68,1
8/1/04 5:00	21,6	100	0	0	---	0	1007,6	26,02	68,4
8/1/04 6:00	21,9	100	27	0	SSW	0	1008	25,84	69,1
8/1/04 7:00	22,3	100	110	0	---	0	1008,4	25,76	69,8
8/1/04 8:00	23,7	100	427	0,4	SSW	0	1008,4	25,99	69,4
8/1/04 9:00	27,3	74	708	0,9	NE	0	1008	26,44	66,6
8/1/04 10:00	28,4	69	702	0,9	SSW	0	1007,9	27,16	65,6
8/1/04 11:00	29,4	66	568	0,9	SW	0	1007,6	27,62	65,7
8/1/04 12:00	29,8	63	931	0,9	SSW	0	1007	28,03	65,7
8/1/04 13:00	31,1	52	1075	0,9	E	0	1006,3	28,56	64,4
8/1/04 14:00	31,1	57	749	0,9	ENE	0	1005,1	28,94	62,5
8/1/04 15:00	31,5	58	946	1,3	S	0	1004,4	29,62	61,2
8/1/04 16:00	31,4	54	736	2,2	SSW	0	1003,8	29,97	59,9
8/1/04 17:00	30,9	58	363	1,8	SSW	0	1004	30,08	59,5
8/1/04 18:00	28,1	73	99	1,3	SSE	0	1004,7	29,78	60,9
8/1/04 19:00	25,9	82	15	1,8	SE	0	1005,4	29,32	63,3
8/1/04 20:00	24,7	89	0	1,8	SSE	0	1006,1	28,83	64,8
8/1/04 21:00	24,1	92	0	1,8	SSE	0	1006,2	28,41	65,8
8/1/04 22:00	23,8	93	0	1,3	ESE	0	1006,5	28,15	66,1
8/1/04 23:00	23,6	93	0	0,4	ESE	0	1006,5	27,84	66,1
9/1/04 0:00	23,2	92	0	0	S	0	1006,5	27,54	66,4
9/1/04 1:00	22,6	97	0	0,4	S	0	1006,3	27,16	67,1
9/1/04 2:00	22,4	98	0	0	SSE	0	1005,9	26,9	67,2
9/1/04 3:00	22,3	100	0	0	SSE	0	1005,5	26,63	68,6
9/1/04 4:00	22	100	0	0	SE	0	1005,7	26,33	69,4
9/1/04 5:00	21,7	100	0	0	SE	0	1006,4	26,06	69,5
9/1/04 6:00	21,7	100	2	0,4	SE	0	1007,1	25,87	69,4
9/1/04 7:00	22,2	99	90	0,4	SE	0	1007,6	25,76	69,3
9/1/04 8:00	23,6	94	233	0,4	ESE	0	1007,7	25,8	69,3
9/1/04 9:00	26	82	547	0,9	NNE	0	1007,3	26,1	68,2
9/1/04 10:00	28,6	69	893	0,9	S	0	1006,7	26,67	67,8
9/1/04 11:00	29,4	61	912	1,3	S	0	1006,2	27,39	67,3
9/1/04 12:00	30,5	59	904	1,8	SSW	0	1005,9	28,03	66,7
9/1/04 13:00	31,4	56	720	1,3	SSE	0	1004,8	28,56	65,9
9/1/04 14:00	31,2	58	870	1,8	SSE	0	1004,2	29,06	64,8
9/1/04 15:00	31,6	61	592	2,2	SSE	0	1003,8	29,43	64,3
9/1/04 16:00	29,3	70	356	2,2	SSE	0	1004	29,51	63,7
9/1/04 17:00	27,8	75	159	2,7	S	0	1004,2	29,4	64,1
9/1/04 18:00	26,3	81	75	1,8	SE	0	1005	29,02	65,2
9/1/04 19:00	25,6	84	15	2,2	S	0	1005,1	28,56	66,4
9/1/04 20:00	24,7	89	0	2,2	SSE	0	1005,2	28,22	66,9
9/1/04 21:00	24,1	93	0	1,8	SSE	0	1005,4	27,81	68,1
9/1/04 22:00	23,8	94	0	0,9	SSE	0	1005,7	27,46	68,9
9/1/04 23:00	23,6	95	0	0,9	SSE	0	1005,8	27,27	68,7
10/1/04 0:00	23,1	96	0	0	SE	0	1005,9	27,05	69,3
10/1/04 1:00	22,3	98	0	0	SE	0	1005,9	26,71	69,4
10/1/04 2:00	21,6	100	0	0	SE	0	1005,4	26,4	68,9
10/1/04 3:00	20,8	100	0	0	---	0	1005,2	26,06	69
10/1/04 4:00	20,5	100	0	0	---	0	1004,9	25,76	69
10/1/04 5:00	21,4	100	0	0	SE	0	1005,4	25,49	69,4
10/1/04 6:00	21,5	100	33	0	SE	0	1005,9	25,31	70,9
10/1/04 7:00	22,1	100	233	0,4	SE	0	1006,4	25,34	70,1
10/1/04 8:00	24,2	92	467	0,9	SSE	0	1006,4	25,65	70
10/1/04 9:00	26,2	81	691	0,9	SSE	0	1006,1	26,06	70,3
10/1/04 10:00	27,9	71	702	1,3	SSW	0	1005,6	26,71	69,6
10/1/04 11:00	29,3	66	933	0,9	SSE	0	1005,5	27,35	68,8
10/1/04 12:00	30,1	64	112	1,3	SSW	0	1004,9	28,03	68
10/1/04 13:00	31,3	59	1011	1,3	SSE	0	1004,2	28,64	67,4
10/1/04 14:00	30,3	67	444	1,3	SE	0	1004	28,94	67,1
10/1/04 15:00	29,3	69	511	1,8	S	0	1003,8	29,28	66,1
10/1/04 16:00	28,6	70	396	2,2	S	0	1003,3	29,32	65,4
10/1/04 17:00	27,7	72	312	2,2	SSE	0	1003,1	29,28	63,5
10/1/04 18:00	27,1	74	268	1,8	SSE	0	1003,4	29,09	63,6
10/1/04 19:00	25,4	80	12	2,2	SSE	0	1003,9	28,49	64,4
10/1/04 20:00	24,2	87	0	1,8	SSE	0	1004,5	28,11	65,5
10/1/04 21:00	23,3	90	0	1,8	SSE	0	1004,8	27,69	66,5
10/1/04 22:00	22,9	93	0	1,8	SE	0	1005,7	27,35	67
10/1/04 23:00	22,8	94	0	1,3	SSE	0	1005,4	27,05	67,8