



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA**

GIOVANA CRISTINA BUSO WEILLER

**A INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS DE ENTORNO NO
DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE
SOCIAL**

Londrina
2008

GIOVANA CRISTINA BUSO WEILLER

**A INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS DE ENTORNO NO
DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE
SOCIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação, em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento.

Orientadora: Miriam Jerônimo Barbosa

Londrina
2008

**Catálogo na publicação elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

W422i Weiller, Giovana Cristina Buso.

A influência de variáveis de entorno no desempenho térmico de habitações de interesse social / Giovana Cristina Buso Weiller. – Londrina, 2008.
179f. : il.

Orientador: Miriam Jerônimo Barbosa.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) –
Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, 2008.

Inclui bibliografia.

1. Habitações – Conforto térmico (Engenharia) – Teses. 2. Equilíbrio térmico (Engenharia) – Teses. 3. Habitações – Aspectos sociais – Teses. I. Barbosa, Miriam Jerônimo. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. III. Título.

CDU 697:728.1

GIOVANA CRISTINA BUSO WEILLER

**A INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS DE ENTORNO NO
DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE
SOCIAL**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação:

**“A INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS DE ENTORNO NO DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES
DE INTERESSE SOCIAL”**

BANCA EXAMINADORA

Doutora Miriam Jerônimo Barbosa
Presidente da Comissão Examinadora
Orientadora

Doutora Ana Virgínia Sampaio
Universidade Estadual de Londrina
Arquitetura

Doutor Eneid Ghisi, PhD
Universidade Federal de Santa Catarina
Engenharia Civil

Londrina, 9 de maio de 2008.

*A minha querida mãe, que
mesmo longe, sempre esteve ao
meu lado em todas as horas ...*

AGRADECIMENTOS

A Deus, nosso Senhor, pela força espiritual nos momentos difíceis.

A minha família, pela confiança e motivação em todas as etapas do trabalho.

Aos amigos e colegas, pela colaboração e vibração em cada conquista.

A minha querida orientadora, companheira e braço amigo de todas as horas.

Aos moradores das unidades habitacionais, pela disponibilidade e hospitalidade em receber-me em suas residências.

A todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização e finalização deste trabalho.

WEILLER, Giovana Cristina Buso. **A Influência de Variáveis de Entorno no Desempenho Térmico de Habitações de Interesse Social**. 2008. 186f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

RESUMO

Discute a importância da avaliação do desempenho térmico de habitações de interesse social (HIS) através de parâmetros representativos da qualidade térmica global das edificações. Objetiva identificar parâmetros de avaliação que considerem também a influência das variáveis de entorno no desempenho térmico das habitações. O estudo de caso desenvolve-se em quatro unidades habitacionais em Londrina. A partir da mesma tipologia construtiva, selecionam-se condições de entorno distintos: topografia, orientação geográfica e sombreamento e um caso base como referência. Para a coleta de dados realizam-se medições de temperatura do ar, umidade relativa e temperatura de globo nos períodos de verão e inverno para conhecer as condições térmicas das habitações. Simulam-se os casos em estudo, através do programa EnergyPlus, gerando dados internos horários para o ano inteiro. Entrevista-se os moradores a fim de conhecer suas preferências e expectativas em relação às condições de conforto de suas habitações. A coleta de dados possibilita a avaliação das HIS pelos métodos das seguintes normas e metodologias conhecidas: NBR 15220 (2005), PNBR02.136.01.001 (2004), Zona Bioclimática de Givoni (1992), Horas de Desconforto de Barbosa (1997) e ASHRAE:55 (2004), analisando-se qual metodologia apresenta parâmetros que refletem as condições encontradas nas medições in loco. Aponta como principais resultados: a) nas avaliações, os métodos prescritivos apontaram para condições térmicas idênticas nos quatro casos de estudo; b) os métodos por desempenho e de conforto apontaram para o caso “orientação” como sendo o mais desconfortável no período de verão e inverno, em contrapartida ao caso “sombreamento”. Conclui que os parâmetros utilizados pelos métodos por desempenho representam melhor as condições térmicas das edificações, utilizando limites de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar e temperatura radiante.

Palavras-chave: Avaliação do desempenho térmico. Conforto térmico. Variáveis de entorno.

WEILLER, Giovana Cristina Buso. **The Influence of environment external variables on the Thermal Performance of Low-Income Housing**. 2008. 186f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

ABSTRACT

This work discusses the importance of the thermal performance evaluation in low-income housing (HIS), through representative parameters of global thermal quality in buildings. It has the objective to identify evaluation parameters that also consider the environment variables influence on the thermal performance of houses. The case study was conducted in four houses in the city of Londrina. Based on the same constructive typology, distinct external environments were selected: topography, geographic orientation, shading and a pilot case as reference. We measured the air temperature, the air relative humidity and globe temperature as data collection, during the summer and winter periods to understand the housing thermal conditions. We studied cases with different scenarios through the EnergyPlus program, which generated hourly internal data for the whole year. We conducted surveys with inhabitants in order to know their preferences and expectations in relation to their housing comfort conditions. The data collection provided us with a HIS evaluation according to the following standards and methodologies: NBR 15220 (2005), PNBR02.136.01.001 (2004), Givoni's Bioclimatic Zone (1992), Discomfort Hours by Barbosa (1997) and ASHRAE:55 (2004), and we analyzed which methodology presents parameters that reflect the conditions found in the measurements in loco. This paper has generated the following results: a) during evaluations, the prescriptive methods pointed to identical thermal conditions in the four case studies; b) the performance and comfort methods pointed to the "orientation" case as being the most uncomfortable in both summer and winter period, unlike the "shading" case. In conclusion, the parameters used by performance methods provide a better representation of the building thermal conditions, using limits to air temperature, relative humidity, air velocity and radiant temperature.

Keywords: Thermal performance evaluation. Low-income housing. Thermal comfort. Environment external variables.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Zonas climáticas brasileiras.....	32
Figura 2 – Movimento aparente do Sol no hemisfério sul.....	46
Figura 3 – Diagrama de Conforto de Fanger	50
Figura 4 – Gráfico de PMV/PPD	52
Figura 5 – Zona de Conforto da ASHRAE 55:2004.....	61
Figura 6 – Zona aceitável de temperatura operativa para espaços condicionados naturalmente	62
Figura 7 – Carta Bioclimática adaptada adotada no Zoneamento Bioclimático Brasileiro.	67
Figura 8 – Diagrama Psicrométrico e as 12 zonas de conforto da Carta Bioclimática de Givoni	74
Figura 9 – Foto aérea do Conjunto Habitacional São Vicente Palotti.....	96
Figura 10 – Tipologia básica das unidades de estudo.....	98
Figura 11 – Fachada do caso base (B)	99
Figura 12 – Fachada do caso topografia (T)	100
Figura 13 – Fachada do caso orientação (O)	101
Figura 14 – Fachada do caso sombreamento (S)	102
Figura 15 – Implantação do Conjunto Habitacional São Vicente Palotti	103
Figura 16 – Equipamento de medição HOBO	104
Figura 17 – Proteção contra radiação e Globo negro.....	104
Figura 18 – Disposição do equipamento no ambiente	105
Figura 19 – Vista da cidade de Londrina, com destaque aos pontos de monitoramento climático	107
Figura 20 – Perspectivas dos volumes das zonas térmicas modeladas na simulação.....	109
Figura 21 – Acréscimo de cobertura na zona 4 para o caso Sombreamento	112
Figura 22 – Calibração dos HOBOS	121
Figura 23 – Croqui explicativo de situação das unidades habitacionais.....	123
Figura 24 – Variação das TBSs das unidades e do ambiente externo no período representativo de verão.....	124
Figura 25 – Variação das URs das unidades e do ambiente externo no período representativo de verão.....	125
Figura 26 – Variação das TGs das unidades e do ambiente externo no período representativo de verão.....	126

Figura 27 – Atraso térmico das unidades no período representativo de verão	126
Figura 28 – Amortecimento térmico das unidades no período representativo de verão.....	127
Figura 29 – Variação das TBSs das unidades e do ambiente externo no período representativo de inverno	129
Figura 30 – Variação das URs das unidades e do ambiente externo no período representativo de inverno	130
Figura 31 – Variação das TGs das unidades e do ambiente externo no período representativo de inverno	131
Figura 32 – Atraso térmico das unidades no período representativo de inverno.....	131
Figura 33 – Amortecimento térmico das unidades no período representativo de inverno ..	132
Figura 34 – Variação das TBSs obtidas por medição e simulação das unidades em estudo no período representativo de verão	134
Figura 35 – Variação das TBSs obtidas por medição e simulação das unidades em estudo no período representativo de inverno.....	135
Figura 36 – Variação das TBSs das unidades e do ambiente externo nos dias típicos de verão	141
Figura 37 – Variação das TBSs das unidades e do ambiente externo nos dias típicos de inverno.....	142
Figura 38 – Carta Bioclimática para o ambiente externo	147
Figura 39 – Carta Bioclimática para o caso B	147
Figura 40 – Carta Bioclimática para o caso T.....	147
Figura 41 – Carta Bioclimática para o caso O	147
Figura 42 – Carta Bioclimática para o caso S.....	147
Figura 43 – Caso B na estação verão	148
Figura 44 – Caso O na estação verão.....	148
Figura 45 – Caso B na estação inverno.....	149
Figura 46 – Caso O na estação inverno	149
Figura 47 – Frequência das TBS medidas in loco para a zona de conforto de Givoni (1992)	150
Figura 48 – Frequência das TBS simuladas para a zona de conforto de Givoni (1992).....	151
Figura 49 – Frequência das horas de acordo com a Zona de Conforto da ASHRAE- 55 ...	152
Figura 50 – Caso S com PMV= 0,0 no verão	155
Figura 51 – Caso O com PMV= 3,0 no verão.....	155
Figura 52 – Caso T com PMV= 0,0 no inverno.....	155

Figura 53 – Caso O com PMV= -2,5 no inverno.....	155
Figura 54 – Caso S com PMV=1,03 no verão.....	157
Figura 55 – Caso O com PMV=2,17 no verão.....	157
Figura 56 – Caso S com PMV=-0,27 no inverno.....	157
Figura 57 – Caso B com PMV=-1,04 no inverno	157

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Taxa metabólica para diferentes atividades segundo ISO 7730 (1994)	39
Tabela 2 – Índice de isolamento térmico das vestimentas segundo ISO 7730 (1994).....	40
Tabela 3 – Data de início das estações do ano para o Hemisfério Sul	45
Tabela 4 – Metodologias e zonas de conforto térmico.....	49
Tabela 5 – Tabulação das respostas para as questões 22, 23 e 24 das entrevistas	118
Tabela 6 – Resumo dos dados medidos no período de verão e inverno.....	122
Tabela 7 – Propriedades Térmicas calculadas para a Tipologia básica	136
Tabela 8 – Áreas de aberturas para ventilação	136
Tabela 9 – Propriedades Térmicas recomendadas pela NBR 15220-3	137
Tabela 10 – Propriedades Térmicas das paredes recomendadas pela PNBR 02:136.01.004	139
Tabela 11 – Propriedades Térmicas das coberturas recomendadas pelo PNBR 02:136.01.005	139
Tabela 12 – Resumo dos dados monitorados no dia típico de verão.....	142
Tabela 13 – Resumo dos dados medidos no dia típico de inverno.....	143
Tabela 14 – Relatório de saída do Analysis Bio: medição de verão (dados em %).....	144
Tabela 15 – Relatório de saída do Analysis Bio: medição de inverno (dados em %).....	145
Tabela 16 – Relatório de saída do Analysis Bio: simulação dados horários (dados em %).146	
Tabela 17 – Relatório de saída do Analysis Bio: simulação dos dados horários (dados em %) para estações de verão e inverno (22/12 a 22/03 e 23/06 a 22/09).....	148
Tabela 18 – Valores encontrados com a tabulação das questões de 22 a 24.....	154
Tabela 19 – Índice de conforto $PMV_{relatado}$ para cada caso em estudo	154
Tabela 20 – Índice $PMV_{calculado}$ para cada caso em estudo	156

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA	18
1.2 OBJETIVOS	20
1.2.1 Objetivo geral	20
1.2.2 Objetivos específicos	20
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1 QUALIDADE DE VIDA E HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL	23
2.2 ASPECTOS BIOCLIMÁTICOS	25
2.2.1 Classificação Climática	26
2.2.2 Clima e Arquitetura	27
2.2.3 Variáveis climáticas	29
2.2.4 Zoneamento Climático	31
2.2.5 Dados Climáticos utilizados na avaliação térmica de edificações	32
2.3 CONFORTO AMBIENTAL E TÉRMICO	34
2.3.1 Equilíbrio Térmico	35
2.3.2 Variáveis de Conforto Térmico	36
2.3.2.1 Variáveis Ambientais	36
2.3.2.2 Variáveis Pessoais	38
2.3.3 Condicionantes do Conforto Térmico	40
2.3.3.1 Inércia Térmica	41
2.3.3.2 Isolamento Térmico	42
2.3.3.3 Sombreamento	43
2.3.3.4 Orientação Solar	44
2.3.3.5 Topografia	47
2.3.3.6 Ventilação Natural	47
2.4 ÍNDICES E ESCALAS DE CONFORTO TÉRMICO	48
2.4.1 Modelo Balanço Térmico	49
2.4.2 Modelo Adaptativo	53
2.4.3 Modelo PMV ajustado	56
2.4.4 ISO 7730 (1994)	58

2.4.5 ASHRAE 55 (2004).....	59
2.5 NORMAS E METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES	63
2.5.1 Método de Avaliação Térmica por Prescrição e por Desempenho	64
2.5.2 Brasil: Situação Normativa.....	65
2.5.2.1 Norma 15220: Desempenho Térmico de Edificações (2005)	66
2.5.2.2 Projeto de Norma 02:136.01-001/1:2004 – Desempenho Térmico em edifícios habitacionais de até cinco pavimentos	68
2.5.3 Zona Bioclimática de Givoni.....	71
2.5.4 Método das Horas de Desconforto	74
2.6 PESQUISAS REALIZADAS SOBRE DESEMPENHO E CONFORTO TÉRMICO	75
2.6.1 Avaliação de Desempenho e Conforto Térmico de Edificações	75
2.6.2 Eficiência Energética e Desempenho Térmico.....	79
2.6.3 Desempenho Térmico de Componentes Construtivos.....	81
2.6.4 Normas e Metodologias de Avaliação Térmica	83
2.7 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS DE SIMULAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO	86
2.7.1 EnergyPlus.....	89
2.8 SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	91
3 MÉTODOS E MATERIAIS	94
3.1 ESTUDO DE CASO	94
3.2 ESCOLHA DAS UNIDADES DE ESTUDO.....	95
3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES DE ESTUDO.....	97
3.3.1 Caso Base	99
3.3.2 Caso Topografia	99
3.3.3 Caso Orientação.....	100
3.3.4 Caso Sombreamento	101
3.4 COLETA DE DADOS	103
3.4.1 Monitoramento das Variáveis Ambientais Internas	103
3.4.2 Obtenção das Variáveis Climáticas Externas	106
3.4.3 Simulação das Variáveis Ambientais Internas	108
3.4.4 Levantamento das Sensações e Preferências Térmicas dos Moradores	113
3.5 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES	114
3.5.1 Avaliação por Prescrição	114

3.5.2 Avaliação por Desempenho.....	115
3.6 AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO DOS MORADORES	117
3.7 ANÁLISE DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO E SEUS PARÂMETROS	119
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	121
4.1 DADOS CLIMÁTICOS OBTIDOS POR MEDIÇÃO IN LOCO	121
4.1.1 Período de medição de verão.....	123
4.1.2 Período de medição de inverno	128
4.1.3 Comparação com os dados obtidos por Simulação	133
4.2 AVALIAÇÃO TÉRMICA DA TIPOLOGIA BÁSICA POR PARÂMETROS PRESCRITIVOS.....	136
4.2.1 Propriedades Térmicas Calculadas.....	136
4.2.2 NBR 15220-3 (ABNT, 2005).....	137
4.2.3 PNBR 02:136.01 (ABNT, 2004).....	139
4.3 AVALIAÇÃO TÉRMICA DAS HABITAÇÕES POR PARÂMETROS DE DESEMPENHO.....	141
4.3.1 PNBR 02:136.01 (ABNT, 2004).....	141
4.3.2 Zona Bioclimática de Givoni (1992).....	143
4.3.3 Método das Horas de Desconforto de Barbosa (1997).....	149
4.3.4 ASHRAE 55 (2004).....	151
4.4 AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO DOS USUÁRIOS	163
4.4.1 ISO 7730 (1994).....	157
4.5 SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	158
5 CONCLUSÃO.....	161
5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	162
5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	163
REFERÊNCIAS.....	165
APÊNDICES	181
APÊNDICE A – Questionário utilizado nas entrevistas	182
APÊNDICE B – Propriedades físicas dos elementos construtivos da tipologia estudada	186

CAPÍTULO 1.
INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Grande parte da população do Brasil é atingida por alguma deficiência quanto à alimentação, educação, saúde ou moradia. De acordo com Cepal apud Cohen et al. (2004), a população urbana do Brasil chega a 80% da população total, sendo que 50% vivem em áreas de favelas ou em condições precárias de moradia. Nesse contexto, algumas políticas públicas de habitação surgem na intenção de melhorar as condições de vida das camadas menos favorecidas da sociedade brasileira.

Entretanto, a análise da realidade brasileira, assim como da cidade de Londrina – PR, mostra que tais medidas públicas intencionam apenas a velocidade e quantidade de benefícios produzidos, como forma de valorizar e destacar a gestão corrente. Essa preocupação de produzir cada vez mais e a um custo mínimo causa o abandono da qualidade do produto. E quando este produto é a habitação popular percebe-se a não observância dos aspectos bioclimáticos e adequação ao uso quando da elaboração do projeto arquitetônico.

A resposta qualitativa da edificação deve estar intimamente relacionada à importância dada ao projeto arquitetônico, principalmente no que se refere ao conforto térmico, um dos aspectos mais significativos quando se avaliam as condições de conforto de uma edificação. Sendo assim, o desempenho térmico das edificações é um fator importante em habitações, principalmente naquelas destinadas às pessoas de baixa renda. Uma edificação projetada para o clima no qual está inserida torna-se confortável, além de economizar energia. (SIQUEIRA et al., 2005)

Porém, assim como as políticas públicas, a própria formação acadêmica dos profissionais de projetos arquitetônicos desconsidera a importância da adoção de estratégias de conforto e desempenho térmico como característica indispensável da qualidade do produto.

Considerando que o projeto arquitetônico é o projeto de uma obra que abrigará o ser humano, deve-se ter em mente que o homem será o usuário daquilo que se está criando e, como usuário, ele procura o seu bem-estar. Desse modo, a arquitetura deve servir ao conforto do homem, para que ele tenha melhores condições de vida e saúde. No entanto, segundo Corbioli (2001), as escolas não treinam os futuros projetistas adequadamente, pois se cultua a arquitetura do gesto, da genialidade, e não se dá a devida importância ao desempenho da edificação.

Conforme Nery et al. (1994), a arquitetura tem sido prioritariamente

concebida como organização do espaço ou produção de um volume idealizado em função de uma estética: “[...] é o jogo sábio, correto e magnífico dos volumes sob a luz” (LE CORBUSIER, apud NERY et al., 1994)

Atualmente percebe-se uma mudança no conceito da arquitetura nas escolas, através da integração entre disciplinas de conforto ambiental e projeto. Porém, a noção de arquitetura enquanto habitat ou de elemento de controle das condições ambientais tem sido preterida e até mesmo esquecida pelos projetistas, o que se traduz no abandono da qualidade das habitações, reflexo da ineficiência térmica dos projetos frente aos aspectos bioclimáticos.

De acordo com Lamberts et al. (1997), outro importante fator que levou ao abandono da qualidade das habitações, juntamente com o ideal da Arquitetura Moderna e Contemporânea, foi a rápida evolução tecnológica, resultado da Revolução Industrial ocorrida em meados do século XX. O desenvolvimento de estratégias artificiais de condicionamento do edifício somado à grande oferta de recursos energéticos impulsionou os profissionais da construção a esquecerem os artifícios naturais e o respeito ao meio ambiente, como importantes aliados na busca pela qualidade térmica e eficiência energética das habitações.

Segundo Menezes (2006), outro fator que contribui para a ineficiência térmica das habitações é a falta de normas que definam desempenhos a serem obtidos nessas edificações, as quais deveriam observar definições tecnológicas que atendessem a parâmetros técnicos fixados por normas nacionais e/ou internacionais.

Internacionalmente, as normas técnicas referentes às condições térmicas estão em constante evolução, apresentando diferentes métodos de avaliação do desempenho térmico das edificações e do conforto térmico dos seus usuários. Como exemplo, pode-se citar a American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, que apresenta a norma ASHRAE 55: Thermal environmental conditions for human occupancy, onde remete a parâmetros internos de conforto térmico do usuário; e a International Organization for Standardization, ISO 7730: moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD Indices and specification of the conditions for thermal comfort, que se baseia em parâmetros que demonstram o índice de aceitação térmica do ambiente pelo usuário.

O Brasil vem iniciando seu processo de normalização, podendo-se destacar o Comitê Brasileiro da Construção Civil, que elabora estudos de normas capazes de definir parâmetros para desempenho térmico de habitações. Neste sentido pode ser citada a NBR 15220 – Desempenho Térmico de edificações, já aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, e o Projeto de Norma PNBR 02:136.01 – Desempenho de Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos, que está em discussão pública. Entretanto, tem-se

notado uma dificuldade em obter resultados representativos da sensação de conforto do usuário pela avaliação do desempenho térmico de habitações de interesse social através da norma e textos pertinentes. Tal dificuldade é resultado da insuficiência de parâmetros de avaliação que considerem a influência das variáveis de entorno da edificação e do microclima local resultante, ou seja, de parâmetros que representem a sensação de conforto do usuário, que é o que realmente traduz uma qualidade térmica satisfatória ou não da edificação.

A NBR 15220 (ABNT, 2005), embora aprovada pela ABNT e conhecida pela classe técnica envolvida com a questão de desempenho térmico de edificações como um texto normativo, não tem a pretensão de apresentar uma metodologia para avaliar o desempenho térmico de edificações. Na verdade, conforme consta na parte 3 do texto aprovado, o objetivo da norma é estabelecer o zoneamento bioclimático brasileiro e apresentar recomendações e diretrizes construtivas, sem caráter normativo, para habitações unifamiliares de interesse social com até 3 pavimentos.

Dessa forma, o problema de pesquisa consiste no fato da norma técnica brasileira referente ao desempenho térmico, a NBR 15220 (ABNT, 2005), ainda não ter avançado com ousadia suficiente para, além de abordar os parâmetros termofísicos intrínsecos das edificações, abordar também as condições de entorno e fatores do microclima local. Isso seria possível através do desenvolvimento de uma metodologia eficaz de avaliação por desempenho privilegiando diretamente a eficiência térmica das edificações para habitações unifamiliares de interesse social e a satisfação de seus usuários.

1.1 JUSTIFICATIVA

Segundo Araújo (1996), os edifícios construídos no Brasil são inadequados do ponto de vista bioclimático, gerando um grande custo social. De um lado, gera profundo desconforto térmico para os ocupantes, comprometendo assim, sua saúde e sua disposição para a realização das mais variadas atividades. Por outro lado, onera gastos com instalações de equipamentos mecânicos, como ventiladores e condicionadores de ar, contribuindo assim para o aumento no consumo de energia. Deve-se considerar ainda, que devido às condições financeiras das camadas de média e baixa renda da população, estas não têm acesso a alguns bens de consumo como os próprios aparelhos de ar condicionado.

A avaliação do desempenho térmico através de parâmetros que representem

a sensação de conforto do usuário é muito importante na retomada da qualidade do projeto arquitetônico, da implantação do empreendimento, das condições de habitabilidade e de vida.

De acordo com Siqueira et al. (2005), esta avaliação deve reunir a resposta global do projeto arquitetônico proposto em relação às trocas térmicas entre o ambiente construído e o ambiente externo, onde a caracterização do entorno e das condições climáticas locais é uma etapa importante.

Segundo Batista (2006), a utilização de diretrizes construtivas mais eficientes sob o ponto de vista do desempenho térmico alcança grande relevância, possibilitando o atendimento às exigências de conforto térmico através de meios mais econômicos e financeiramente mais acessíveis.

Nos países em desenvolvimento, as restrições econômicas afetam os investimentos de capital, levando à baixa qualidade térmica das habitações (EVANS, 2001). Portanto, devem ser destacadas as alternativas mais econômicas para a melhoria da qualidade ambiental das edificações residenciais, as quais podem ser obtidas pela adequação da arquitetura ao clima local e pelo uso de estratégias passivas de condicionamento.

Nesse contexto, encontram-se diversos estudos e pesquisas sobre estratégias bioclimáticas de condicionamento passivo para regiões do Brasil (CARDOSO, 2002; LOUREIRO, 2003; MACIEL, 2002; GOULART, 1993; MENEZES, 2006; entre outros).

Tendo o Brasil iniciado o processo de normalização, torna-se fundamental a realização de pesquisas de aplicação da NBR 15220 (ABNT, 2005), em habitações de interesse social para que se possa analisar a eficiência dos parâmetros definidos pela norma quanto à sua representatividade da qualidade térmica das edificações frente às necessidades dos usuários. Com isso, criam-se subsídios para estudos futuros e importantes informações que possam embasar futuras formulações de normas de conforto térmico. Os gestores públicos terão à disposição informações técnicas e científicas que podem ser utilizadas visando encontrar parâmetros de avaliação que representem a qualidade térmica das habitações construídas e em fase de projeto, melhorando as condições de vida de seus ocupantes.

A partir de parâmetros que considerem a habitação como uma obra inserida no contexto urbano, é possível conhecer o verdadeiro desempenho desta edificação frente ao conforto térmico, ou seja, com base nos índices de sensação de conforto dos usuários, pode-se desenvolver todo um projeto de forma a satisfazer os níveis de desempenho almejados pelo cliente, no caso, o morador.

Dessa forma, essa dissertação torna-se relevante por mostrar a importância da avaliação do desempenho térmico através de parâmetros que representem a sensação de

conforto do usuário e a qualidade térmica global das habitações de interesse social, reforçando a necessidade de integrar métodos de avaliação por medição e simulação nos textos normativos. É nesse intuito que o trabalho buscou uma resposta para a seguinte questão norteadora:

Quais parâmetros de avaliação térmica de habitações de interesse social melhor representam a sensação de conforto dos usuários e a qualidade térmica global das edificações, levando em consideração a influência das condições de entorno e do microclima local resultante?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

- Identificar a influência de variáveis de entorno na qualidade térmica de habitações de interesse social de Londrina;

1.2.2 Objetivos específicos

- Aplicar o método prescritivo da Norma 15220 (ABNT, 2005) em habitações de interesse social de Londrina para avaliação do desempenho térmico dessas edificações de acordo com a norma em vigor;
- Avaliar o desempenho térmico das habitações de interesse social de Londrina através do método de avaliação por desempenho do Projeto de Norma 02:136.01 (ABNT, 2004), que traz parâmetros distintos da norma mencionada acima;
- Utilizar a simulação, através do EnergyPlus, para obter dados climáticos internos das edificações no período de um ano, a partir dos dados climáticos externos da cidade de Londrina a fim de aplicar metodologias de avaliação por desempenho;
- Comparar as metodologias de avaliação e os parâmetros por elas utilizados, bem como os resultados obtidos;

- Identificar parâmetros de avaliação que considerem a influência das variáveis de entorno no desempenho térmico de habitações de interesse social.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

No presente capítulo é apresentado o problema de pesquisa, a justificativa pela temática abordada, a questão norteadora e os objetivos. Além deste capítulo, este trabalho compõe-se por mais quatro capítulos.

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica abordando os conceitos expressos pela problemática do tema, discutindo-se o estado da arte relativo à questão do desempenho e conforto térmico em habitações de interesse social.

No capítulo 3 apresenta-se o método de pesquisa utilizado no trabalho para a caracterização das unidades de estudo e obtenção de dados climáticos, bem como o desenvolvimento das atividades e tratamento dos dados.

A análise do desempenho térmico das unidades de estudo em função das variáveis de entorno e condições microclimáticas é apresentada no capítulo 4, avaliando-se a concordância com a norma brasileira e outras metodologias existentes.

O capítulo 5 encerra com as conclusões do trabalho, destacando sua contribuição no contexto habitacional e bioclimático brasileiro. Também expõe as limitações encontradas e recomendações para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2.
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No presente capítulo, foram abordados os conceitos que serviram como base para a elaboração da problemática deste estudo. Também são apresentados alguns trabalhos desenvolvidos no Brasil e no mundo sobre a questão do desempenho térmico. Por fim, apresenta-se uma revisão sobre os softwares existentes quanto à avaliação térmica de ambientes, destacando o Energy Plus, usado como ferramenta de simulação neste trabalho.

2.1 QUALIDADE DE VIDA E HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

Segundo Bonilla (1992), a vida do ser humano depende de várias necessidades reais: físicas, vitais, afetivas, sociais, culturais e éticas; e a satisfação dessas necessidades está relacionada à qualidade de vida, que compreende um conceito abrangente, no qual se interligam diversas abordagens e problemáticas. Martin e Stockler (1998) sugerem que qualidade de vida seja definida em termos da distância entre expectativas individuais e a realidade (sendo que quanto menor a distância, melhor). Conforme afirma Menezes (1999) a cada dia que passa, o homem procura melhorar a sua qualidade de vida, procurando desenvolver junto ao seu habitat e ao seu local de trabalho condições que garantam esta melhora, que pode estar ligada ao conforto, lazer, boa alimentação, etc.

O conceito de qualidade de vida está intimamente ligado às condições de habitação disponível para a população. A nova concepção de política habitacional, incorporada à Constituição Federal (BRASIL, 1988), remete ao direito às cidades, à função social da propriedade e à moradia, competindo ao Estado, União e Municípios promover programas de construção de moradias e a melhoria das condições de saneamento básico. Tais princípios devem estar incorporados aos instrumentos de política urbana, em qualquer gestão pública, visando garantir condições de vida digna a todos os cidadãos.

Para Veríssimo e Bittar (1999, p. 21) o conceito de habitação deve abranger “[...] de tudo um pouco, a casa é o reduto da família e, portanto, seu próprio espelho, refletindo também, numa maneira mais abrangente, a sociedade da qual essa mesma família faz parte, ao mesmo tempo em que é sua geradora”. De acordo com Almeida (2001), habitar é uma experiência existencial humana relacionada com o meio em que vive. Afirma ela que,

para viabilizar esta existência espacial, o homem interfere no meio, com a finalidade de adaptá-lo aos seus propósitos, de acordo com suas necessidades de sobrevivência, propiciando o bem-estar psicofisiológico humano. Se uma obra arquitetônica “é para habitar”, uma edificação que se aproxime o máximo possível da mediação adequada do habitar que pode ser concretizada pela arquitetura, será aquela que oferecer habitabilidade. É por meio desta aproximação que Malard (1993) conceitua a habitabilidade como a característica essencial das edificações, mas que depende de um conjunto de qualidades para ser efetiva.

Atualmente, pode-se verificar a massificação do padrão de construção destinado às classes socialmente menos favorecidas. Segundo Almeida (2001), pelo lado da política habitacional oficial proliferaram-se no país os conjuntos habitacionais para população de baixa renda. Padronizados, com espaços reduzidos, e executados com materiais de baixa qualidade, estas moradias, destinadas a suprir “necessidades básicas” revelaram-se portadoras de diversos problemas para as famílias que nelas habitam. Além das questões mais observáveis de conforto (térmico, acústico, lumínico e antropométrico), distribuição e quantidade de espaço, outras questões mais sutis não consideradas quando da concepção destas habitações têm causado muitos conflitos na interação dos moradores com suas casas.

De acordo com Carvalho et al. (2004), o problema habitacional no Brasil é muito grave, tanto em termos quantitativos quanto qualitativos; ou seja, à falta de unidades habitacionais somam-se problemas relacionados com a qualidade da moradia e a falta de infra-estrutura urbana. As más condições do espaço expressam-se em termos de materiais, infra-estrutura, falta de espaços adequados e problemas relacionados com a implantação das edificações. A instalação e o funcionamento de empreendimentos habitacionais de forma inadequada – ausência de planejamento, desconsideração do meio físico, condições precárias de infra-estrutura, análise sócio-econômica insuficiente – têm levado a situações de degradação ambiental, causando prejuízos ao próprio empreendimento e gerando impactos ambientais que geralmente extrapolam a área do projeto (NÓBILE, 2003). De acordo com Souza e Serpa (2002), os problemas têm início na escolha da área e do tipo de projeto para o empreendimento, agravam-se durante sua construção e têm continuidade na fase de ocupação.

No 7º ENCAC (Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído), Villarouco et al. (2003) apresentaram um trabalho que visa desenvolver uma metodologia para obtenção de projetos de habitações populares mais adequados aos usuários. Com apoio da Caixa Econômica Federal, o trabalho levanta a hipótese de que é possível conseguir espaços de melhor qualidade, promovendo maior satisfação e menores índices de reformas. Tendo concluído a fase de pesquisas com os usuários, passa-se a criar novos

projetos mais adequados, contemplando uma fase de custeio e planejamento.

Nesse mesmo evento, Faria et al. (2003) apresentaram um trabalho sobre a falta de cuidados com que é tratado o conforto térmico dos usuários das habitações populares.

Os pesquisadores adotaram como objeto de estudo dois modelos de habitação utilizada pela Companhia Habitacional do Estado de São Paulo, uma unidade unifamiliar térrea e um edifício multifamiliar, já que ambas as tipologias são largamente utilizadas pelo órgão governamental. Através da análise das condições climáticas da cidade, foram levantadas as melhores formas de implantação, orientação das aberturas e dos elementos transparentes, bem como os elementos de proteção solar. Em seguida, comparou-se o desempenho de diferentes materiais construtivos e, através de simulações, a interação destes materiais com estratégias de conforto, como o uso de massa térmica e isolante nas paredes e na cobertura.

Visando disciplinar o setor, o governo federal instituiu o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social, criando o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social. Nesse sentido, o HABITARE (Programa de Tecnologia de Habitação), juntamente com a participação da FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e da CEF (Caixa Econômica Federal), soma esforços para o avanço do conhecimento na área de tecnologia de habitação. Esses órgãos apóiam pesquisas na área de ciência e tecnologia, visando o atendimento das necessidades de modernização do setor de construção civil para a produção de habitações de interesse social.

Na esfera municipal, o Plano Diretor do município de Londrina abrange o dever de moradia digna, por meio de programas de lotes urbanizados, da autoconstrução e da habitação popular (LONDRINA, 1998). Entretanto, sua situação habitacional, de modo similar à maioria das grandes e médias cidades brasileiras, é reflexo direto das desigualdades que caracterizam a sociedade.

2.2 ASPECTOS BIOCLIMÁTICOS

Segundo Siqueira et al. (2005), uma edificação projetada para o clima no qual está inserida torna-se confortável, além de economizar energia. Conforme o autor, a caracterização das condições climáticas locais é uma das etapas mais importantes na avaliação do desempenho térmico de uma edificação, englobando a resposta do projeto arquitetônico

proposto em relação às trocas térmicas entre o ambiente construído e o ambiente externo.

O clima interfere na vida do homem, assim, se torna necessário conhecer os dados climáticos da região em que se pretende desenvolver pesquisas que possam ter relação com estas variáveis. Segundo Evans e Schiller (1994), o estudo do clima na avaliação do impacto no ser humano, define o grau de conforto ou desconforto, e identifica as modificações desejáveis para melhorar as condições de habitabilidade e conforto. Lynch apud Romero (2000), aponta a temperatura, umidade, precipitação, nebulosidade, insolação, velocidade e direção dos ventos como os condicionantes externos do clima com os quais o planejador deve operar. Ele destaca as modificações do clima (microclima) impostas pela forma especial das pequenas superfícies, como topografia, cobertura, superfície do solo e formas criadas pelo homem.

2.2.1 Classificação Climática

De acordo com Maciel (2002), para análise bioclimática de uma região, tendo em vista estudar o conforto humano no ambiente construído, aborda-se uma classificação mais geral da distribuição dos climas, que procure distinguir os tipos mais representativos, como a classificação de Köppen. Nela, utilizam-se três letras: a 1ª maiúscula (para indicar o clima geral), a 2ª minúscula (as chuvas) e a 3ª minúscula (a temperatura). De acordo com essa classificação, Londrina, cidade onde foi realizado o estudo que se apresenta neste trabalho, é do tipo Cfa, clima subtropical úmido mesotérmico, com chuvas em todas as estações; verões quentes e invernos frescos; geadas menos frequentes; tendência à concentração das chuvas nos meses de verão acima do paralelo 24° S; e sem estação seca.

Para diferenciar escalas climáticas e identificar o clima por meio de uma divisão ordenada e hierárquica, devem-se considerar três níveis: macroclima, mesoclima e microclima. O macroclima é o clima geral de uma região, incluindo radiação solar, nebulosidade, temperatura, ventos, umidade e precipitação. Tais variáveis são dependentes das influências geográficas como latitude, massa de água e de terra e padrões de ventos. O mesoclima de uma região é o macroclima influenciado por condições locais como: topografia, vegetação, nebulosidade e turbulência da atmosfera. De acordo com Papst et al. (2005), é no microclima que as intervenções humanas podem ter maior efeito, criando condições para melhorar o conforto humano, a saúde, a segurança e o consumo de energia.

2.2.2 Clima e Arquitetura

Desde que o ser humano começou a habitar o planeta, a arquitetura e o clima são inseparáveis, entretanto a partir da década de 50 houve nisto uma ruptura. Segundo Cardoso (2002), tal ruptura ocorreu durante os anos dourados da Arquitetura Moderna, no Brasil e no mundo, quando na Europa e nos EUA não havia mecanismos que regulassem a integração entre edifícios e consumo de energia; os arquitetos ficaram livres para importar modelos, formas e materiais e criar à vontade.

Entre os profissionais brasileiros houve raras exceções, entre elas Rino Levi, arquiteto moderno que se preocupou com a relação entre Arquitetura e meio ambiente. Serve como exemplo o edifício Sul Americano, em São Paulo, erguido na década de 60, que devido à sua orientação quanto a protetores solares, ficou muitos anos sem ar condicionado e sem apresentar grandes problemas quanto a conforto térmico (IWASHITA, 1999).

Nesta época, certas correntes de arquitetura começaram a influenciar todo o mundo, com seus edifícios envidraçados, indiferentes às condições do clima. Durante algum tempo a evolução da tecnologia, com novos sistemas artificiais de iluminação e condicionamento de ar, e a disponibilidade de energia barata, permitiu ao arquiteto que ignorasse as características climáticas de cada região (MACIEL, 2002).

Entretanto, de acordo com Goulart (1993), a crise de energia de 1973 e o impacto ambiental que o homem vinha causando à natureza ao longo dos anos trouxeram a necessidade de uma mudança de atitude por parte dos profissionais de projeto, tornando-se importante estabelecer critérios de projeto que garantissem à arquitetura uma identificação maior com o lugar e seu entorno.

Foi na década de setenta que surgiu pela primeira vez o termo “Projeto Bioclimático” abordado pelos irmãos Olgyay (1973) como uma utilização da climatologia aplicada à arquitetura e às condições de conforto térmico humano. Nos últimos anos, a importância da climatologia aplicada em projeto e construção vem aumentando significativamente.

Segundo Olgyay (1973), o processo de construir uma edificação adaptada ao clima pode ser dividido em quatro passos, dos quais o último é a expressão arquitetônica. Porém, ainda existe um longo caminho a percorrer até que os princípios bioclimáticos sejam totalmente aceitos e incorporados ao projeto.

É hora de o arquiteto ampliar seus horizontes:

“[...] permitindo que as especificidades de cada local aflorem como condicionantes a serem respeitados em uma linguagem arquitetônica adequada, e enriquecendo a arquitetura brasileira com tipologias diferenciadas e próprias” (LAMBERTS et al., 1997).

Dessa maneira, a arquitetura deve assumir o papel que sempre teve, que é o de minimizar os efeitos climáticos e não de intensificá-los e agravá-los, como vem acontecendo na arquitetura contemporânea. Entendendo melhor o clima da região é possível evitar, ou pelo menos minimizar aspectos ambientais indesejáveis, como ventos fortes, altas temperaturas, poluição do ar. Para tanto, é necessária a compreensão das variáveis que compõem o clima e do grau de influência de cada uma delas sobre o ambiente construído. Para Hagan (2004), um projeto ambiental deve estar integrado ao clima, utilizando os recursos naturais para chegar ao conforto, além de técnicas e tecnologias para conseguir um bom desempenho e eficiência energética nos edifícios.

A separação contumaz entre implantação e arquitetura, recursos naturais e projetos do período da energia fácil; está hoje restrita e obriga a se confrontar com as exigências dos princípios da Arquitetura Bioclimática, poupadoras de energia. Segundo Oliveira (1990), respeitar a natureza não significa rejeitar o desenvolvimento, e sim adaptá-lo ao meio ambiente. Um projeto bem adaptado às condições locais, além de causar bem-estar às pessoas, reduz as necessidades de energia e aumenta a durabilidade da construção.

Hagan (2004) define um novo conceito, a “arquitetura sustentável”, como sendo aquela que vai se preocupar com questões ambientais, numa continuidade natural da arquitetura bioclimática, uma vez que se preocupa com a adequação do ambiente construído ao clima, com a eficiência energética e com o meio ambiente, não esquecendo da qualidade de vida e bem-estar dos usuários. Entretanto, no Brasil, a resposta que a edificação dará as condições climáticas do local onde será implantada ainda é deixada a um plano secundário. Para Goulart (1993), isto se deve principalmente à falta de uma normalização adequada e à dificuldade de obtenção de dados climáticos para serem trabalhados.

2.2.3 Variáveis climáticas

Para o entendimento detalhado da influência do clima sobre as edificações e a escolha correta das estratégias bioclimáticas a serem utilizadas, deve-se levar em conta a ação das variáveis climáticas sobre as edificações e seu entorno.

Segundo Cunha (2005), as variáveis climáticas mais significativas para se definir o microclima são: radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar, condições de vento e precipitação. De acordo com Frota e Schiffer (1995), o conhecimento e avaliação destas variáveis climáticas, e das condições desejáveis de conforto, são importantes ferramentas no processo de projeto de uma edificação, evitando desde o início do projeto possíveis problemas ocasionados pela desconsideração das condições climáticas.

Segundo Menezes (2006), o sol emite constantemente energia na forma de radiação eletromagnética, sendo parte desta interceptada e captada pela Terra e sua atmosfera, formando a principal fonte de interferência nas características climáticas das diversas regiões do planeta. No entanto, a energia solar não é distribuída igualmente sobre a Terra; a desigualdade desta distribuição é causada principalmente pelos movimentos de rotação e translação da Terra em relação ao Sol e também por variações da superfície terrestre e da atmosfera. O movimento de rotação se realiza sobre um eixo cuja inclinação é de $23^{\circ}27'$ com relação à perpendicular no plano que forma a órbita da Terra em torno do sol. Essa inclinação faz com que a orientação da Terra em relação ao Sol mude continuamente, enquanto realiza seu movimento de translação. O hemisfério sul, durante o verão, recebe mais horas de sol devido à sua inclinação que faz com que se aproxime mais do sol e receba uma maior incidência de radiação solar. No inverno, o hemisfério sul fica mais afastado da estrela solar, recebe menos horas de sol e a radiação incide com um ângulo menor. No outono e na primavera, a radiação solar é constante para ambos os hemisférios, dado que o sol gira em torno do equador (AYOADE, 1998).

De acordo com Papst (2005), a temperatura do ar de um local depende de dois fatores: fluxos de ar conduzidos por fatores climáticos em grande escala e fatores climáticos locais. Tais fatores modificam a temperatura do ar a uma maior ou menor extensão de acordo com a velocidade do ar, sendo que seu efeito diminui para altas velocidades do vento e com maior altitude. A temperatura do ar local também é influenciada pela topografia e vegetação, além da natureza da superfície do solo. Para Menezes (2006), a temperatura média do ar possui relação direta com a intensidade de radiação solar recebida e a nebulosidade. Se

há nuvens, estas interceptam o fluxo de radiação infravermelha emitida, modificando o balanço térmico local. Se o céu estiver limpo, o solo ganha energia solar, mas perde energia por irradiação mais do que com céu encoberto. A temperatura do ar em uma determinada localidade depende também do ganho de calor, devido ao deslocamento de massas de ar que ocorre através dos ventos, correntes oceânicas e da existência de proximidade de grandes massas de água, as quais atenuam as amplitudes térmicas (BUTERA, 1995).

A umidade relativa do ar pode ser definida como a quantidade de vapor d'água no ar, em relação à máxima quantidade de vapor que o ar pode conter (ar saturado), com as mesmas condições de temperatura e pressão (EVANS; SCHILLER, 1994). Os referidos autores afirmam que “a umidade do ar é uma das variáveis meteorológicas que mais influenciam na sensação de conforto térmico”. A flutuação diária da umidade relativa é menor no verão do que no inverno, de forma análoga à temperatura do ar. Os valores mais elevados registram-se durante a madrugada, quando a temperatura do ar atinge seu valor mínimo, e mais baixo no início da tarde, correspondentemente ao máximo da temperatura de bulbo seco (BUTERA 1995). Em regiões com altos índices de umidade relativa, a transmissão da radiação solar é reduzida, já que é absorvida pelo vapor d'água e espalhado pelas nuvens, constituindo em amplitudes térmicas menores durante o dia e a noite (PAPST, 2005).

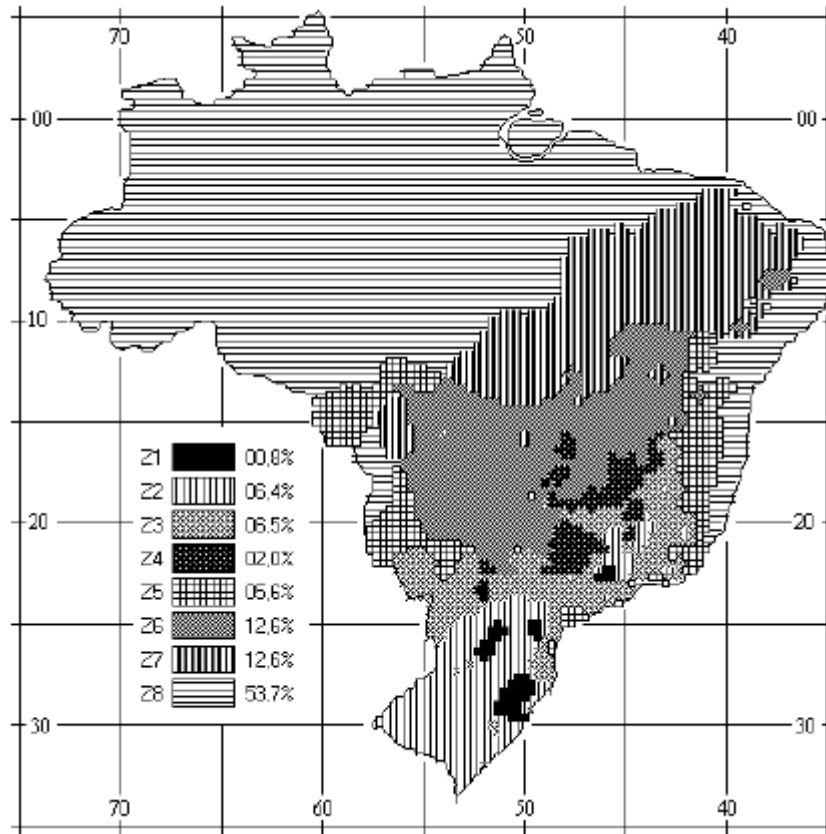
O vento ou o movimento do ar na atmosfera terrestre são causados por diferenças de pressão entre uma área e outra, as quais são geradas por fenômenos climáticos diversos. O vento também apresenta variações diárias e características específicas conforme a estação. Afirmam Evans e Schiller (1994), que a variação da incidência da radiação solar na Terra, e a distribuição desequilibrada das massas continentais e oceânicas produzem diferenças na pressão atmosférica que provoca o movimento do ar em escala mundial, das zonas de alta pressão às de baixa pressão. A velocidade dos ventos não é constante, havendo uma tendência a aumentar perto do meio dia, quando os valores da radiação solar atingem os níveis máximos, e produzem turbulência devido à subida do ar quente e descida do ar frio. As velocidades mínimas do vento ocorrem nas últimas horas da tarde, quando as coberturas superficiais do ar são mais frias, e reduzem o intercâmbio com as coberturas superiores, que têm velocidades maiores. Segundo os autores, o vento é um componente climático que se relaciona com o desenho dos edifícios e assentamentos urbanos.

A precipitação pluvial é o fenômeno pelo qual a nebulosidade atmosférica se transforma em água, formando a chuva (EMBRAPA, 2007). Normalmente, as chuvas estão relacionadas com os ventos provenientes de certas direções, dado importante para um projeto habitacional (MENEZES, 2006).

Para Sampaio (1999) a relação de massas de terra e água de uma região também interferem no seu clima, pois a água tem um desempenho distinto da terra em relação à radiação solar recebida, dada às diferenças no calor específico e na cor da superfície do material. Analisando o globo terrestre, verifica-se que as temperaturas no hemisfério norte sofrem variações maiores que no hemisfério sul, devido à diferença da proporção terra/água dos dois hemisférios. O hemisfério sul, conhecido por hemisfério das águas, tem como característica climática menor variação térmica, (comparativamente à mesma latitude do hemisfério oposto) resultando em pequenas amplitudes térmicas.

2.2.4 Zoneamento Climático

No Brasil, dada a sua grande extensão territorial e a sua localização entre dois trópicos, diferentes tipos de clima são identificados. Segundo Siqueira et al. (2005), o clima do país é predominantemente tropical, porém, a influência da continentalidade, maritimidade, latitude, relevo e massas de ar, fazem com que, no Brasil, existam diversas variações do tropical. Além disso, mesmo dentro de uma mesma região geográfica é possível encontrar diversidade climática. Atualmente, a ABNT (2005) traz um zoneamento bioclimático para o país visando padronizar o clima brasileiro em relação à análise térmica dos ambientes e embasar as recomendações e estratégias construtivas destinadas às habitações unifamiliares de interesse social. Este zoneamento divide o país em oito zonas, conforme mostrado na figura 1.



Fonte: ABNT, 2005

Figura 1 – Zonas bioclimáticas brasileiras

Com base nesse zoneamento bioclimático, formulou-se uma série de recomendações técnico-construtivas objetivando otimizar o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática (RORIZ et al, 1999).

2.2.5 Dados climáticos utilizados na avaliação térmica de edificações

De acordo com Leão (2006), diferentes níveis de projeto podem utilizar elementos climatológicos integrados através de tratamentos específicos, que vise direcioná-los para o uso na solução de problemas de projeto de edificações. Isto requer um prévio tratamento estatístico que transforme uma grande quantidade de registros em ferramentas práticas de trabalho. Os dados climáticos mais comumente utilizados na avaliação do desempenho térmico de edificações têm sido os dias típicos, as temperaturas de projeto e o ano climático de referência.

O Dia Típico de Projeto é uma ferramenta importante na determinação das exigências higrotérmicas dos usuários de edificações. No processo de avaliação de desempenho térmico, de acordo com Goulart e Lamberts (1993), os dados climáticos devem apresentar um significado estatístico quanto à frequência em um determinado período de tempo, caracterizando os níveis de exigência na avaliação desejada, evitando-se o uso de dados meteorológicos para a concepção bioclimática na arquitetura. Assim se recomenda o uso dos chamados “dias típicos de projeto”.

Na maioria dos casos, caracterizam-se duas condições para representar um determinado local, denominadas “dia típico de verão” e “dia típico de inverno”. Dessa forma, um projeto, ou estudo, pode ser realizado de forma a melhor responder ao conforto térmico do indivíduo, adaptando a edificação ao clima local.

De acordo com Menezes (2006), existem várias metodologias para a determinação dos dias típicos, entre elas podem ser citadas: a do IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (AKUTSU, 1991) e de Miguel Sattler, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (SATTLER, 1989). Na primeira, são analisadas as temperaturas máximas diárias para o período de verão e mínimas diárias para o período de inverno, a partir de dias reais. Na segunda, os dias típicos não são dias reais, e sim, valores médios de uma faixa de dias (a data é definida posteriormente pela declinação solar).

As duas metodologias foram aplicadas em dados meteorológicos de Florianópolis por Goulart e Lamberts (1993), que compararam e analisaram os resultados para a escolha de uma das metodologias. Eles concluíram que a amplitude é um parâmetro de grande influência no projeto da edificação, por isso acreditam que o dia típico deve ter amplitude térmica média.

Antes de se escolher a metodologia para a definição de dias típicos, deve-se analisar a amplitude diária de temperatura. Em locais onde os valores de amplitude diária são próximos ao valor da amplitude média do período em questão, recomenda-se aplicar a metodologia desenvolvida por Sattler. Caso contrário, se os valores de amplitude diária estão acima do valor de amplitude média, recomenda-se a metodologia desenvolvida pelo IPT.

O Ano Climático de Referência é a reunião de dados climáticos de um ano típico utilizado para o cálculo do consumo de energia através de programas de simulação de desempenho térmico de edificações. O procedimento utilizado para determinar o Test Reference Year (TRY) ou Ano de Referência foi descrito por STAMPER (1997), baseado na eliminação de anos de dados, que contêm temperaturas médias mensais extremas (mais altas e mais baixas), até permanecer um ano somente, que será eleito como o ano climático do local

específico em estudo.

O Test Reference Year (TRY), determinado por este processo, consiste em dados climáticos horários apresentados em um formato padronizado, conforme necessário para simulação de desempenho térmico de edificações. Os dados do Ano Climático de Referência podem ser plotados sobre uma Carta Bioclimática, obtendo-se quais as estratégias de projeto mais adequadas, para melhor adaptar a edificação ao clima local.

2.3 CONFORTO AMBIENTAL E TÉRMICO

Segundo Fitch, apud Nery et al. (1994), “considerar a arquitetura enquanto habitat humano significa reconhecer seu objetivo de modelar as condições ambientais em favor do homem”. Esta concepção abrange o conceito de Conforto Ambiental, entendido como o conjunto de condições do ambiente que melhor satisfazem aos requisitos bio-psico-fisiológicos do ser humano. Por este raciocínio, é exigido da arquitetura que assegure as condições de conforto ambiental, o que é reforçado pelo longo tempo de permanência do homem contemporâneo em ambientes fechados.

Para Sampaio (2005), o conforto ambiental que abrange as sensações de bem-estar com relação à temperatura, umidade relativa, movimento do ar e radiação é denominado conforto térmico. Partindo para o foco deste trabalho, que está relacionado ao conforto térmico, pode-se afirmar que, segundo Menezes (2006), uma habitação só oferece habitabilidade e qualidade de vida aos seus ocupantes, se o conforto térmico for contemplado.

De acordo com o autor, o conforto térmico pode ser visto e analisado sob dois pontos de vista: pessoal e ambiental. Se for considerado apenas o ponto de vista pessoal, define-se conforto térmico como sendo uma condição mental que expresse satisfação com o ambiente térmico.

Do ponto de vista físico, confortável é o ambiente cujas condições permitam a manutenção da temperatura interna sem a necessidade de serem acionados os mecanismos termo-reguladores.

De acordo com a norma International Organization for Standardization - ISO 7730 (1994) que avalia o conforto térmico através dos índices Voto Médio Estimado (VME) e Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (PEI), o conforto térmico pode ser definido como “o estado de espírito que exprime a satisfação do homem em relação ao ambiente

térmico”. A insatisfação pode ter sua causa na sensação de desconforto por calor ou frio para todo o corpo ou para uma parte definida dele. A Norma Brasileira 15220 (ABNT, 2005) define conforto térmico como a satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente. Segundo o Projeto de Norma Brasileiro 02:136.01.001(ABNT, 2004), a edificação habitacional deve reunir características que atendam as exigências de conforto térmico dos usuários, considerando-se a região de implantação da obra e as respectivas características bioclimáticas.

2.3.1 Equilíbrio Térmico

Para Vergara (2001), o conforto térmico pode ser definido como a sensação de neutralidade térmica experimentada pelo ser humano, em determinado ambiente. Segundo Fanger (1970), o corpo humano está em neutralidade térmica quando todo o calor gerado pelo organismo através do metabolismo é trocado em igual proporção com o ambiente ao redor, através das perdas de calor por convecção, radiação, evaporação e eventualmente condução.

No entanto, esta condição não é suficiente, pois se pode estar em neutralidade térmica, mas não em conforto térmico, devido a algum tipo de desconforto localizado. Fanger (1970) estabeleceu três condições fisiológicas e ambientais necessárias para que a pessoa se encontre em estado de conforto térmico:

- Estar em neutralidade térmica;
- Possuir a temperatura da pele e taxa de secreção de suor dentro de limites aceitáveis de acordo com a atividade;
- Não estar sujeito a nenhum tipo de desconforto térmico localizado, tais como: assimetria de radiação térmica, correntes de ar indesejáveis, diferenças na temperatura do ar no sentido vertical e contato com pisos aquecidos ou resfriados.

De acordo com Gouvêa (2004), o sistema termorregulador comanda a redução e o aumento das perdas de calor, mantendo a temperatura interna do organismo humano a 37°C. Assim, quanto maior for o trabalho desse sistema para manter a temperatura interna do corpo, maior será a sensação de desconforto. Segundo Gonzalez et al. (1986), este

mecanismo regulador permite que o organismo se mantenha no equilíbrio térmico necessário para o bem-estar fisiológico em condições climáticas adversas. À medida que o corpo, para estabelecer equilíbrio térmico, necessite trabalhar menos para adaptar-se a um meio específico, ele estará próximo da zona denominada como “Zona de bem-estar térmico” (LOUREIRO, 2006). Esta zona caracteriza-se pela maior porcentagem de pessoas manifestarem-se não sentir nem calor e nem frio e não saberem decidir por um ambiente mais frio ou mais quente, por sentirem-se bem.

2.3.2 Variáveis de Conforto Térmico

O conforto térmico depende de variáveis ambientais e também de variáveis pessoais. As principais variáveis ambientais que influenciam no conforto térmico são: temperatura do ar, umidade do ar, temperatura média radiante, e velocidade relativa do ar. As variáveis pessoais envolvidas são: atividade física e resistência térmica da vestimenta. Há, ainda, as variáveis características individuais, aspectos psicológicos, culturais e hábitos (FANGER, 1970). De acordo com Araújo (2001), a reunião destas variáveis propicia a perda de calor em maior ou menor quantidade do que aquela produzida pelo organismo, resultando em um ambiente considerado frio, quente ou ainda em neutralidade térmica caso propicie a dissipação do calor na medida certa.

2.3.2.1 Variáveis ambientais

As variáveis ambientais ou físicas estão relacionadas às condições termoclimáticas do ambiente analisado, e são definidas pela norma ISO 7726 (1996).

A temperatura do ar (t_a), expressa em °C, é a principal variável do conforto térmico. De acordo com Lamberts et al. (2006), a sensação de conforto baseia-se na perda de calor do corpo pelo diferencial de temperatura entre a pele e o ar, complementada pelos outros mecanismos termo-reguladores. O calor é produzido pelo corpo através do metabolismo e suas perdas são menores quando a temperatura do ar está alta ou maiores quando a temperatura está mais baixa.

A temperatura do ar, chamada de temperatura de bulbo seco, TBS, costuma ser medida junto com a temperatura de bulbo úmido através do psicrômetro giratório. A temperatura de bulbo úmido é medida com um termômetro semelhante ao usado para medir a TBS, porém envolvido por um tecido umedecido de forma que a umidade seja considerada, assim, a TBU é sempre menor que TBS.

Para o conforto, é interessante conhecer também a temperatura operativa, que resume as perdas da temperatura do corpo, que está submetido a um ambiente real com efeitos desiguais por todos os lados. A temperatura operativa é uma temperatura teórica que gera uma perda de calor equivalente a todos os fenômenos relacionados, caso o corpo esteja em um ambiente imaginário submetido apenas a uma temperatura homogênea. O intervalo da temperatura do ar para conforto da maior parte da população, segundo Papst et al. (2005), varia entre 20°C no inverno e 25°C no verão.

Em estudos de conforto, normalmente é utilizada a umidade relativa do ar (UR), expressa em %, que corresponde à razão entre a pressão parcial de vapor de água (p_a) no ar úmido e a pressão de saturação de vapor de água (p_{as}) na mesma temperatura e pressão atmosférica. A umidade do ar conjuntamente com a velocidade do ar intervém na perda de calor por evaporação: quanto maior a UR, menor a eficiência da evaporação na remoção do calor, o que mostra a importância de uma ventilação adequada (LAMBERTS et al, 2006).

Quando a temperatura do ar é superior a da pele, a pessoa ganha calor por convecção, mas, ao mesmo tempo se produz um fenômeno de efeito contrário, já que a circulação do ar acelera as perdas por evaporação. No momento em que o balanço começa a ser desfavorável, ou seja, quando apenas se ganha calor, a umidade do ar torna-se importante.

Se o ar está saturado, a evaporação não é possível, o que faz a pessoa começar a ganhar mais calor assim que a temperatura do ar seja superior a da pele. No caso em que o ar está seco, as perdas continuam ainda com as temperaturas mais elevadas.

De acordo com Papst et al. (2005), em termos gerais de conforto, a umidade relativa deveria estar sempre acima de 20%, abaixo de 60% no verão e abaixo dos 80% no inverno. Há problemas encontrados em umidades abaixo de 20%: sangramento do nariz, ressecamento da pele, eletricidade estática, etc. Altas umidades além de reduzirem o processo de resfriamento por evaporação, incrementam a produção de suor, resultando em desconforto.

Para Vergara (2001), a velocidade do ar (v_{ar}), expressa em m/s, é um importante fator na determinação da transferência de calor por evaporação e convecção de uma pessoa. O ar se desloca pela diferença de temperatura no ambiente, onde o ar quente sobe e o ar frio desce (convecção natural). Quando o ar se desloca por meios mecânicos, como um

ventilador, o coeficiente de convecção aumenta, aumentando a sensação de perda de calor (convecção forçada). O deslocamento do ar também aumenta os efeitos da evaporação no corpo humano, retirando a água em contato com a pele com mais eficiência, reduzindo a sensação de calor (LAMBERTS et al, 2006). Em ambientes internos, a velocidade do ar costuma ser abaixo de 1m/s, ocorrendo sem necessariamente a ação direta do vento. Segundo Papst et al. (2005), velocidades acima de 1,5 m/s devem ser evitadas nos ambientes internos, pois provocam desconforto; além disso, o movimento do ar não é desejável em climas muito quentes e secos, pois aquece a pele por convecção.

A temperatura radiante média (t_{rad}), expressa em °C, corresponde à temperatura uniforme de um ambiente imaginário, cuja radiação sobre um lado de um elemento plano é igual à de um ambiente real não uniforme. Esta variável de conforto pode

ser obtida por instrumentos que permitam que a energia radiante, geralmente heterogênea proveniente das paredes dentro de um ambiente real, possa ser integrada em um valor médio (VERGARA, 2001). Segundo este autor, o termômetro de globo é o dispositivo de medição mais utilizado, permitindo que a temperatura radiante média seja determinada a partir dos valores obtidos da temperatura de globo, da temperatura do ar e da velocidade do ar ao redor do globo. O globo recomendado para medições ambientais (globo negro: 15 cm de diâmetro) tende a um balanço térmico sob os efeitos das trocas térmicas devido à radiação proveniente das paredes do ambiente e aos efeitos da convecção.

2.3.2.2 Variáveis pessoais

As variáveis pessoais que influenciam o conforto térmico são: atividade física (taxa metabólica) e isolamento térmico da vestimenta; e normalmente são classificadas a partir de tabelas normalizadas.

O metabolismo depende do nível de atividade física, sendo um processo de produção de energia interna a partir de elementos combustíveis orgânicos. Porém, de toda energia produzida pelo organismo humano, apenas 20% é transformada em potencialidade de trabalho. Os 80% restantes são transformados em calor que deve ser dissipado para que a temperatura interna do corpo seja mantida em equilíbrio (LAMBERTS et al, 2006). Como a temperatura interna do organismo deve ser mantida constante, quando o meio apresenta condições térmicas inadequadas, o sistema termo-regulador do homem é ativado, reduzindo

ou aumentando as perdas de calor pelo organismo através de alguns mecanismos de controle, como reação ao frio e ao calor. Assim, quando o organismo, sem recorrer a nenhum mecanismo de termo-regulação, perde para o ambiente o calor produzido pelo metabolismo compatível com a atividade realizada, experimenta-se a sensação de conforto térmico.

A taxa metabólica corresponde à quantidade de energia consumida pelo corpo para o desempenho das atividades, que pode ser expressa por uma unidade "met", onde 1 met é igual a 58,2 W/m². Existem duas formas de determinação da taxa metabólica: através de medição do consumo de oxigênio do indivíduo, conforme ISO 8996 (1990), que é um método de maior precisão; e pela estimativa através de tabelas normalizadas de referência, em função da atividade, tais como a da ISO 7730 (1994) e da American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers - ASHRAE (2004). A tabela 1 apresenta dados relativos ao calor dissipado pelo corpo em função da atividade do indivíduo.

Tabela 1 – Taxa metabólica para diferentes atividades segundo ISO 7730 (1994)

Atividade	Metabolismo (W/m ²)
Reclinado	46
Sentado, relaxado	58
Atividade sedentária (escritório, escola)	70
Fazer compras, atividades laboratoriais	93
Trabalhos domésticos	116
Caminhando em local plano a 2 km/h	110
Caminhando em local plano a 5 km/h	200

Fonte: adaptado de ISO 7730 (1994)

Segundo Papst et al. (2005), a resistência térmica da roupa também é de grande importância na sensação de conforto do homem. A resistência da vestimenta (I_{cl}), expressa em clo, representa uma barreira para as trocas de calor por convecção e radiação, funcionando como isolante térmico, que mantém junto ao corpo, uma camada de ar mais ou menos aquecida. Uma roupa adequada será função da temperatura média do ambiente, do movimento do ar, do calor produzido pelo organismo e, em alguns casos, da umidade do ar e da atividade desenvolvida pelo usuário. Dessa forma, a vestimenta reduz: o ganho de calor relativo à radiação solar direta; as perdas em condições de baixo teor de umidade; e o efeito refrigerador do suor. Sua resistência térmica depende do tipo de tecido, da fibra e do ajuste ao corpo (FROTA; SCHIFFER, 1995).

Quanto maior a resistência térmica da roupa, menor será sua troca de calor

com o meio. De acordo com Vergara (2001), a determinação de I_{cl} foi feita através de medições em manequins aquecidos (FANGER, 1970), as quais se encontram em tabelas das normas ISO 7730 (1994), ASHRAE (2004) e ISO 9920 (1995). A necessidade de especificar o valor do isolamento e permeabilidade das vestimentas é uma fonte de incerteza considerável no modelo físico de troca de calor humano. A tabela 2 apresenta o índice de resistência térmica (I_{cl}) para as principais peças de roupa, sendo que o índice de resistência térmica (I) para a vestimenta de uma pessoa será, segundo a ISO 7730 (1994), o somatório de I_{cl} de cada peça usada.

Tabela 2 – Índice de isolamento térmico das vestimentas segundo ISO 7730 (1994)

Vestimenta	Índice de resistência térmica (clo)
Meia grossa	0,05
Calcinha e sutiã	0,03
Cueca	0,03
Camisa manga curta	0,15
Camisa manga longa	0,25
Blusa manga longas	0,15
Saia grossa	0,25
Vestido leve	0,15
Jaqueta	0,35
Calça fina	0,20
Calça média	0,25
Sapatos	0,04

Fonte: adaptado de ISO 7730 (1994)

2.3.3 Condicionantes do Conforto Térmico

Segundo Cardoso (2002), o conforto térmico depende de complexos parâmetros relacionados aos processos de troca de calor entre usuário-edificação e edificação-ambiente externo, tais como as propriedades higrotérmicas dos materiais e componentes, a insolação, a ventilação e a inércia térmica; além das condições climáticas da região, do entorno e das atividades previstas. Tudo isso deve ser inserido no processo projetual, nem sempre de forma sistemática, devido à complexidade dos fenômenos envolvidos.

O contexto urbano deve ser considerado na seleção das estratégias bioclimáticas, buscando identificar de forma integrada o conjunto de condicionantes impostas ao projeto para o local desejado. Segundo Batista (2006):

“A identificação de condicionantes do entorno que irão influenciar no

conforto térmico de uma edificação é uma importante informação aos arquitetos, servindo como subsídio para a definição de parâmetros de desempenho térmico de edificações”.

Visando identificar algumas variáveis de projeto que influenciam na sensação de conforto térmico dos usuários e no desempenho das edificações, apresentam-se, a seguir, algumas condicionantes impostas pelo material de construção usado e pelo entorno da edificação; informações estas, muito importantes também na definição de parâmetros normativos.

2.3.3.1 Inércia Térmica

Um material inerte termicamente é aquele que não apresenta grandes reações em presença de variações de temperatura e calor. A inércia térmica total da edificação vai depender das características do envelope, ou seja, do tipo de piso, parede e cobertura; estes devem ser compostos por materiais densos, de elevada capacidade térmica, que representa uma grande capacidade do material de armazenar energia térmica, promovendo também um amortecimento das temperaturas mínimas e máximas (ELETROBRÁS, 2006).

Componentes de alta inércia térmica funcionam como uma bateria térmica: durante o verão absorvem o calor, mantendo a edificação confortável; no inverno o mesmo componente, se bem orientado, pode armazenar o calor, do sol ou de aquecedores, para liberá-lo à noite, ajudando a edificação a permanecer aquecida. O uso da estratégia de alta inércia no envelope da edificação só tem efeito se a ventilação natural através dos ambientes internos for restringida ao longo do dia, uma vez que, com a ventilação, a temperatura interna aumenta diretamente. Também é importante destacar o perigo da utilização da estratégia de alta inércia térmica nos componentes de cobertura e de paredes à oeste, que devido a elevada exposição à radiação solar durante a maior parte do ano, podem transformar-se em acumuladores de calor e provocar elevado desconforto térmico interno no período de verão.

2.3.3.2 Isolamento Térmico

Os sistemas de isolamento térmico são compostos por materiais de baixa condutividade e elevada resistência térmica, combinados para se atingir uma transmitância térmica global menor do sistema. O efeito do isolamento térmico na temperatura interna está inter-relacionado à localização do isolante, à espessura e à cor externa da superfície e depende das variações diurnas da temperatura externa do ar.

A cobertura é o componente mais exposto à radiação solar direta e, portanto exerce um papel fundamental, principalmente para edifícios horizontais, uma vez que, os edifícios em altura exigem mais cuidados com a fachada. Em coberturas duplas (telha e forro), comumente utilizadas no setor residencial, a performance térmica é influenciada pelo material e cor externa da cobertura, e também pelas condições de ventilação no espaço intermediário e pela resistência térmica das duas camadas.

De acordo com Batista (2006), em um país tropical com forte insolação como o Brasil, deve-se priorizar a redução dos elevados ganhos térmicos advindos da cobertura. A quantidade de energia térmica de onda longa irradiada para o interior dos recintos pode ser reduzida também pelo emprego de materiais de baixa emissividade, os quais atuam como barreiras radiantes (VITORINO et al, 2003). Segundo Szokolay (1987) em regiões onde a amplitude térmica é alta ou a temperatura do ar diurna é acima de 33°C, o isolamento térmico é recomendado mesmo em coberturas brancas, para reduzir o fluxo de calor devido ao gradiente de temperatura externo-interno.

As condicionantes apresentadas até o momento são características intrínsecas do material de construção escolhido para a edificação e, portanto, suas corretas aplicações podem ajudar na definição do conforto térmico no projeto. Entretanto, há algumas variáveis que funcionam mais como condições de projeto, já que são expressas pelo entorno próximo da edificação, caracterizando o microclima local de uma forma diferenciada. A seguir, estão descritas alguns fatores condicionantes do entorno e que devem ser levados em consideração no estudo do conforto térmico habitacional.

2.3.3.3 Sombreamento

O sombreamento é uma estratégia fundamental para redução dos ganhos solares através do envelope da edificação. Uma proteção solar corretamente projetada deve evitar os ganhos solares nos períodos mais quentes, do dia e do ano, sem obstruí-los no inverno e sem prejudicar a iluminação natural através das aberturas. Para tanto, é necessário que o projetista conheça a geometria solar de inverno e verão em relação ao lugar de implantação dos edifícios (ELETROBRÁS, 2006).

Dependendo da localização da edificação, a própria sombra provocada por áreas construídas ou massas de vegetação vizinha pode minimizar a necessidade de sombreamento em certas fachadas. Portanto, também é muito importante que o estudo da insolação também considere o entorno da área edificada, para posteriormente planejar a orientação da edificação e as proteções necessárias às fachadas. No trabalho desenvolvido por Santana (2006), analisou-se a influência do entorno da edificação no consumo anual de energia, concluindo-se que o entorno influencia diretamente no consumo de energia de edifícios devido ao sombreamento causado.

O sombreamento possui um amplo efeito fisiológico alcançado pela redução do stress térmico, além de gastos menores em relação a sistemas que reduzem as temperaturas externas. Empregando-se soluções simples como os pergolados, por exemplo, é possível manter o ar resfriado do pátio separado do ar externo aquecido (GIVONI, 1994). Ao se promover o resfriamento dessas áreas, minimizam-se as condições de temperatura externa às quais a edificação está exposta, favorecendo também a redução dos ganhos de calor através das suas paredes e janelas.

A diversificada arquitetura brasileira apresenta vários dispositivos destinados ao sombreamento das aberturas: beirais, treliças, muxarabis, pergolados, entre outros. Alpendres, varandas anteriores e posteriores também desempenham papel importante, pois além de garantir o sombreamento das aberturas, atuam como espaços de transição entre o interior e o exterior das edificações, eliminando quase que totalmente a insolação das paredes externas das residências (BITTENCOURT; CANDIDO, 2005).

A vegetação também pode ser usada como importante elemento de sombreamento em localidades quentes, pois bloqueia a incidência da radiação, absorvendo-a e contribuindo para o balanço de energia local. De acordo com Rigitano e Labaki (2003), a vegetação absorve até 90% da radiação visível e 60% da infravermelha, sendo que o restante é

transmitido entre as folhas ou refletido.

O uso da vegetação nas áreas externas adjacentes ou integradas às edificações (pátios) proporciona o sombreamento da edificação e de suas aberturas, possibilitando a diminuição da temperatura no exterior próximo à edificação, enquanto o solo vegetado reduz a quantidade de poeira carregada pelo vento (GIVONI, 1997). Em algumas horas da tarde, o sol fica quase perpendicular à fachada oeste, o que induziria a uma proteção que praticamente obstruiria o campo visual da abertura. Do ponto de vista da iluminação, de acordo com Papst (2005), isto significa um sério problema para o ambiente interno, que necessitará de luz artificial durante o dia. O uso de árvores com folhas caducas pode ser uma solução para o problema; além de sombrear a janela sem bloquear a luminosidade natural, permite a incidência do sol desejável no inverno, quando então as folhas tendem a cair.

2.3.3.4 Orientação Solar

A orientação de uma edificação em relação ao Norte traz importantes diretrizes de projeto na busca pela satisfação térmica de seus ocupantes, principalmente em climas quentes, onde se deve evitar que a radiação solar direta atinja as construções e penetre excessivamente nos ambientes. De acordo com Castrejón (2002), nas edificações onde forem analisados os movimentos solares, é possível aperfeiçoar a eficiência de sistemas de iluminação, resfriamento e aumentar a vida útil da edificação.

O valor da radiação solar varia de acordo com a orientação, com os dias do ano, pela maior ou menor proximidade e inclinação dos raios solares. Assim, para cada local, hora do dia, estação do ano e orientação escolhida, tem-se sempre uma única posição espacial e um único valor de radiação (KRAUSE et al, 2004).

Para proteger certos ambientes da edificação, orientando-os para a fachada mais favorável, é necessário conhecer a trajetória do sol para o local em questão e para todas as épocas do ano. Para isso, é necessário recorrer a algumas noções básicas da Geometria da Insolação, a qual possibilitará determinar, graficamente, os ângulos de incidência do Sol, em função da latitude, da hora e da época do ano. O movimento de translação da Terra ao redor do Sol determina as quatro diferentes estações do ano. A tabela 3 apresenta a data de início destas estações no hemisfério sul, bem como a sua denominação.

Tabela 3 – Data de início das estações do ano para o Hemisfério Sul

Data	Denominação
21 de março	Equinócio de outono
21 de setembro	Equinócio de primavera
21 de junho	Solstício de inverno
21 de dezembro	Solstício de verão

Fonte: adaptado de Lamberts et al, 2006

A rotação do planeta em um eixo inclinado de $23^{\circ}27'$, proporciona um ano com estações diferenciadas. Segundo Novais et al. (2003), para os territórios localizados na linha do Equador elas quase não são perceptivas, em termos de temperatura, mas quando se ganha latitude, as diferenças vão ficando cada vez maiores.

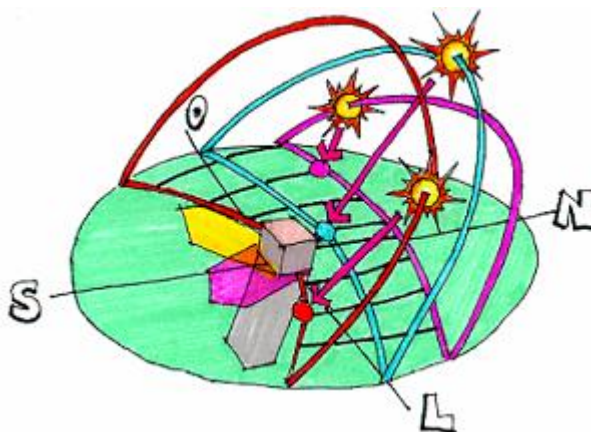
Nos equinócios de primavera e outono o planeta fica iluminado igualmente, do Pólo Norte ao Pólo Sul os raios do sol são vistos por 12 horas; é neste dia que o sol nasce no leste e se põe no oeste, pois ele se encontra a pino sobre o equador terrestre. No verão do hemisfério Sul, por exemplo, os dias ficam maiores que as noites e à medida que se se desloca para o sul esta diferença fica mais evidente, chegando a ter dentro do Círculo Polar Antártico, 24 horas de raios solares durante o primeiro dia de verão. No inverno, a situação se inverte do sul do Equador ao Pólo as noites vão ficando mais longas, tendo no Pólo Sul o seu período máximo de escuridão, com 24 horas.

A zona tropical da Terra compreende a faixa entre os Trópicos de Câncer e Capricórnio, ou seja, é o local do planeta onde pelo menos em um dia do ano o Sol passa a "pino" pelo local, às 12 horas. As cidades que se situam nesta faixa como Boa Vista, Recife, Brasília e Uberlândia, verão o Sol passar no zênite ao meio dia sobre elas duas vezes por ano, uma no seu trajeto vindo do norte e a outra voltando do sul, pois todas as cidades estão entre os paralelos $23^{\circ}27'$ Norte e $23^{\circ}27'$ Sul. Já cidades como São Paulo e Londrina que são cortadas pelo Trópico de Capricórnio, verão o Sol passar a pino sobre elas apenas no dia do solstício de verão no hemisfério sul. O deslocamento do Sol, do norte para o sul atinge o Trópico de Capricórnio no dia 21 de dezembro onde começa seu retorno para o norte. Ou seja, para esta situação geográfica, o sol apresenta a peculiaridade de estar a pino no solstício de verão ao meio-dia, o que significa que a altura solar é a máxima possível, igual a 90° . Em qualquer outra época do ano, a altura solar máxima diária será inferior a 90° . No solstício de inverno, essa altura atinge seu valor mínimo anual.

As cidades ao sul do Trópico de Capricórnio como Curitiba, Foz do Iguaçu PR e todas dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul nunca terão o Sol incidindo

perpendicularmente ao meio dia. Elas situam-se na zona temperada do planeta, que compreende a faixa entre os trópicos e os círculos polares. Esta faixa está entre os paralelos de $23^{\circ}27'$ norte ou sul e se estende até os paralelos de $66^{\circ}33'$ norte ou sul.

Para traçar os diagramas solares, considera-se a Terra fixa e o Sol percorrendo a trajetória diária da abóbada celeste, variando de caminho em função da época do ano (figura 2). Nela, vêem-se os limites da trajetória anual que consistem nos solstícios de inverno (em rosa) e de verão (em vermelho), enquanto a linha do meio (em azul) indica o equinócio (LAMBERTS et al, 2006).



Fonte: adaptado de Lamberts et al, 2006

Figura 2 – Movimento aparente do Sol no hemisfério sul

Para a correta orientação das aberturas e ambientes de permanência prolongada é necessário saber, a cada hora desejada, onde está o Sol, para se conhecer a direção de seus raios e a potência desta radiação. Assim, podem-se conhecer as fachadas mais expostas à radiação para dimensioná-la e calcular a forma de suas proteções. No entanto, o primeiro passo é a compreensão completa da posição solar (KRAUSE et al, 2004).

Acredita-se que uma orientação adequada é capaz de gerar mais economia do que qualquer tecnologia sofisticada. Segundo o arquiteto César Imai:

“É importante observar a orientação solar, para que o ambiente esteja sempre bem iluminado. No caso de Londrina, evita-se construir determinado cômodo voltado para a região Oeste, que é extremamente quente [...]” (IMAI, 2006).

2.3.3.5 Topografia

Com relação à topografia, é importante analisar a orientação, declividade, exposição e elevação das superfícies, pois estes fatores vão interferir diretamente na caracterização climática de um local. O relevo de um local define sua altitude, interferindo nas condições climáticas, o que ocorre pela variação da temperatura do ar, devido a menor quantidade de componentes que absorvem as radiações do sol e as provenientes da terra.

Para Frota e Schiffer (1995), a topografia também afeta a temperatura do ar a nível local. Um relevo acidentado pode se constituir em barreira aos ventos, modificando as condições de umidade e de temperatura em relação à escala regional.

De acordo com Papst (2005), a topografia tem forte influência na temperatura do ar devido ao seu efeito na orientação e inclinação do solo, na exposição ao vento, resfriamento noturno e fluxos de ar quente ou frio. Dessa forma, é importante destacar as condições do relevo como condicionante do entorno, no qual se deseja implantar uma edificação confortável termicamente.

2.3.3.6 Ventilação Natural

A ventilação de um ambiente é entendida como a troca de ar interno por ar externo. Qualquer período do ano exige a ventilação no ambiente construído, porém, suas necessidades são bastante diferentes: no verão as necessidades de ventilação dizem respeito às questões térmicas e higiênicas; no inverno a necessidade é apenas de ordem higiênica.

Um ambiente pode ser ventilado através da ventilação natural, por diferença de pressão causada pelo vento ou por diferença de temperatura; e por ventilação artificial, produzida por equipamentos. Segundo Santamouris e Asimakopoulos (1996), em ambientes naturalmente ventilados, a temperatura interna e de suas superfícies constituintes tende a se aproximar da temperatura externa, devido ao incremento das trocas térmicas entre o ar interno e os elementos do edifício, favorecidas pela velocidade do ar elevada. Portanto, o uso da ventilação só é recomendável quando a temperatura externa for menor que a temperatura interna e possuir um valor máximo entre 28°C e 32°C, dependendo da aclimação (GIVONI, 1994).

Em climas quentes, as elevadas temperaturas externas restringem o uso da ventilação durante o dia; por outro lado, com a queda da temperatura externa durante a noite, a ventilação torna-se desejável, favorecendo o resfriamento da estrutura do edifício. Dessa forma, a redução das taxas de ventilação nos horários mais quentes do dia é recomendável para minimizar o aquecimento da edificação. No fim da tarde, porém, com a queda da temperatura externa, a ventilação torna-se desejável tanto para favorecer o conforto dos usuários como para resfriar a estrutura, principalmente no caso de edifícios com elevada inércia térmica. De acordo com Krause et al. (2004), uma boa opção de esquadria e posição de aberturas pode permitir ao usuário resfriar seu ambiente em caso de queda de temperatura externa (chuva ou cair da noite). Deve-se observar, entretanto, problemas práticos relacionados ao uso da ventilação noturna, como a questão da segurança, ao se manter as janelas abertas durante a noite (GIVONI, 1994).

Segundo afirma Batista (2006), o desconhecimento das características dos ventos disponíveis em determinado local pode conduzir a erros de interpretação do real potencial de ventilação natural em edificações, de modo que a obtenção de tais informações é necessária para a realização de uma avaliação mais abrangente.

2.4 ÍNDICES E ESCALAS DE CONFORTO TÉRMICO

Segundo Gouvêa (2004), a necessidade de se conhecer a sensação térmica experimentada pelas pessoas, quando expostas a determinadas combinações de variáveis ambientais e pessoais, levou ao desenvolvimento de índices de conforto que possibilitam avaliar a situação de conforto térmico de um ambiente, bem como obter subsídios para melhor adequá-lo às necessidades humanas. Tais índices representam tentativas de indicar, através de um único parâmetro, o efeito conjugado das diversas variáveis sobre a sensação térmica.

De forma geral, estes índices são desenvolvidos fixando um tipo de atividade e a vestimenta do indivíduo para, a partir daí, relacionar as variáveis do ambiente e reunir, sob a forma de cartas ou nomogramas, as diversas condições ambientais que proporcionam respostas iguais por parte dos indivíduos.

De acordo com Barbosa (1997), com base nos índices, estabelecem-se as zonas de conforto térmico delimitadas graficamente sobre diversos tipos de cartas e diagramas que limitam os parâmetros físicos e definem o domínio no qual se estabelecem as zonas de

conforto térmico. De acordo com Loureiro (2003), vários pesquisadores procuraram após experiências extensivas, estabelecer padrões e limites para zonas de conforto, de maneira a atender o maior número possível de pessoas, porém, cada índice é adequado às condições nas quais foram desenvolvidas, conforme mostra a tabela 4. Para Batista (2006), a questão é qual a zona de conforto a ser adotada. Alguns autores utilizam estudos em câmaras climatizadas, conhecido como Teoria do Balanço Térmico. Outra abordagem utilizada é a realização de pesquisas de campo como evidência da aclimação dos indivíduos às condições térmicas típicas de cada local, destacando-se os estudos de Humphreys no Paquistão (NICOL, 2001), os quais fundamentaram as bases do Modelo Adaptativo.

Tabela 4 – Metodologias e zonas de conforto térmico

Metodologia	Temperatura		Umidade		Observação
	Limite mínimo	Limite máximo	Limite mínimo	Limite máximo	
ASHRAE 55 (1992)	> 23,0° TE > 20,0° TE	< 26,0° TE < 23,5° TE	> 4,5 g/kg e 30%	< 60%	Verão Inverno
GONZALEZ (1986)	> 22,0° TE	< 29,0° < 26,5°	> 4 g/kg	< 14 g/kg ou 75%	Baixa umidade Alta umidade
GIVONI - países desenvolvidos (1992)	> 20,0° > 18,0°	< 27,0° < 25,0°	> 4 g/kg	< 15 g/kg e 80%	Verão Inverno
GIVONI - países em desenvolvimento (1992)	>25,0°	< 29,0° < 26,0°	> 4 g/kg	< 17 g/kg e 80%	Verão / baixa umidade
SZOKOLAY (1995)	> 18,0° TMA+-2K SET 18,5° TMA+-1,75K SET	< 25,0° 28,5°	> 4 g/kg	< 12 g/kg	Inverno Limites variáveis com o clima local
WATSON e LABS (1983)	> 20,0°	< 25,6°	> 5 mm Hg	< 80%	-

Fonte: adaptado de GOULART et al. (1994)

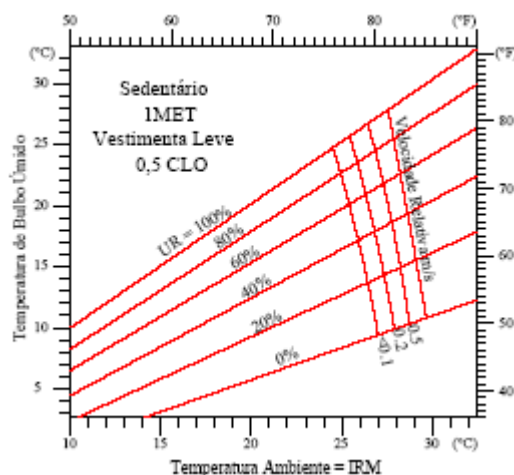
2.4.1 Modelo Balanço Térmico

De acordo com Gomes (2003), os estudos em conforto térmico tiveram grande impulso através dos experimentos realizados por Fanger (1970), na Dinamarca. Este autor realizou estudos em câmaras climatizadas onde o ambiente era totalmente controlado, assim como as atividades exercidas pelos indivíduos estudados, avaliando pessoas de diferentes nacionalidades, idade e sexo. Nos testes, participaram 256 pessoas de ambos os sexos, sendo 128 com idade média de 23 anos e 128 com idade média de 68 anos.

Segundo Gouvêa (2004), é importante ressaltar que a pesquisa sobre o

conforto térmico teve um avanço significativo com a publicação desse trabalho. E foi nele, que Fanger, utilizando o procedimento experimental descrito em Mcnall et al. (1967), realizou testes que, em conjunto com os resultados de experiências anteriores, Rohles et al. (1966) e Mcnall et al. (1967), permitiram relacionar, para a condição de conforto térmico, a atividade física, representada pelo calor produzido internamente pelo corpo humano, com a temperatura média da pele e com a quantidade de calor perdido por evaporação do suor.

Partindo da equação do balanço térmico do corpo com o ambiente e do princípio de que, para haver conforto térmico numa determinada atividade física, o indivíduo deve apresentar determinado valor para a temperatura média da pele e perder uma certa quantidade de calor por evaporação do suor, Fanger elaborou uma equação chamada de Equação de Conforto. Utilizando essa equação, Fanger conseguiu, para determinada combinação de variáveis pessoais, obter todas as combinações de variáveis ambientais que produzissem a neutralidade térmica para 95% da população estudada. Dessa forma, qualquer combinação das variáveis pessoais e ambientais que satisfaça a Equação de Conforto deve resultar numa sensação de neutralidade térmica para aquela porcentagem da população. A equação era de difícil aplicação prática, razão pela qual Fanger, com o auxílio de um computador, criou uma série de diagramas denominados Diagramas de Conforto, que representam tais combinações, conforme mostra a figura 3.



Fonte: adaptado de FANGER, 1970

Figura 3 – Diagrama de Conforto de Fanger

Para Gouvêa (2004), é importante ressaltar que para obter os Diagramas de Conforto, Fanger restringiu algumas variáveis de sua equação de conforto, adotando:

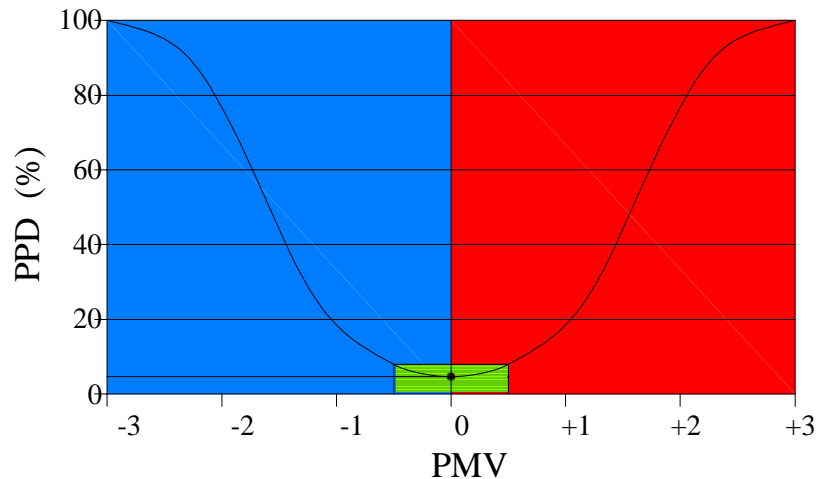
- Três níveis de atividades: sedentária: 1
met, média: 2
met, pesada: 3
met;
- Quatro possibilidades de vestimenta: sem roupa: 0 clo,
roupa leve: 0,5
clo, média: 1,0 clo
e pesada 1,5 clo;
- Inexistência de fontes importantes de radiação;

Do ponto de vista prático, tais diagramas permitiam obter de forma gráfica as diversas combinações de variáveis que resultam em neutralidade térmica. No entanto, era importante ainda conhecer o grau de desconforto experimentado pelos indivíduos que estivessem em ambientes com condições diferentes daquelas de neutralidade térmica. Foi partindo dessa necessidade que Fanger elaborou um critério para avaliar o grau de desconforto.

Segundo Gomes (2003), o critério, chamado de Predicted Mean Vote (PMV) ou Voto Médio Estimado (VME), teve o objetivo de relacionar matematicamente as variáveis que influenciam no conforto térmico através de uma abordagem analítica sustentada pela teoria de trocas térmicas e balanço do calor entre o corpo humano e o ambiente. Assim, o Modelo PMV tenta traduzir para um valor numérico a sensibilidade humana ao frio e ao calor, com uma escala de sensação térmica definida da seguinte forma:

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

Para se projetar um ambiente termicamente confortável, deve-se procurar satisfazer o maior número possível de pessoas. Partindo-se desse princípio, Fanger (1970), através de análise estatística de dados experimentais com um grupo de aproximadamente 1300 indivíduos, conseguiu relacionar o Percentual of Dissatisfied ou Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (PPD) ao Voto Médio Estimado, o que é mostrado na figura 4.



Fonte: adaptado de FANGER, 1970

Figura 4 – Gráfico de PMV/PPD

Na figura 4, pode-se notar que a porcentagem mínima esperada de insatisfeitos, mesmo em um ambiente com sensação térmica neutra (VME igual a 0), é 5%; e que a curva é simétrica em relação ao ponto de neutralidade, significando o mesmo percentual de pessoas insatisfeitas com o ambiente em relação às sensações de frio e calor.

De acordo com a ISO 7730, o “intervalo aceitável” do PMV varia entre - 0,5 e + 0,5, o que corresponde a um PPD inferior a 10%. De acordo com Goulart et al (1994), o Modelo proposto por Fanger foi incorporado pela ASHRAE em 1981 (ASHRAE 55, 1981) e é amplamente difundido no meio científico, sendo adotado como base para o desenvolvimento da norma internacional que especifica condições de conforto térmico para ambientes termicamente moderados, a ISO 7730 de 1984 e sua atualização em 1994.

O principal aspecto positivo relacionado a esse Modelo, é o fato de que permite a inclusão de uma série de variáveis que afetam a sensação de conforto (ambientais e humanas), caracterizando de forma abrangente o meio ao qual o indivíduo encontra-se submetido (FANGER; TOFTUM, 2002). A verificação do PPD também pode ser realizada através das medições subjetivas, segundo Xavier (2000), de quatro maneiras distintas:

- Comparação direta entre os votos de sensações térmicas e os votos de preferências térmicas;
- Considerando que votos iguais a +1 ou -1 represente 50% de pessoas insatisfeitas;
- Considerando que esses votos não representem nenhum percentual de pessoas insatisfeitas;

- Considerando que votos iguais a +1 ou -1 represente 100% de pessoas insatisfeitas;

As diferentes formas de verificação do PPD foram empregadas em estudos de campo variados (XAVIER; LAMBERTS, 2001; FANGER, 1970; ARAÚJO, 1996), observando-se divergências entre os resultados obtidos e o método original que consta na ISSO 7730 (1994).

Xavier (2000), em seus estudos de campo, constatou que o Modelo do PMV/PPD superestima a sensação de calor e acaba por encorajar o estabelecimento de limites de temperatura inferiores ao necessário. Devido ao fato de assumir valores fixos para o isolamento térmico das vestimentas, tende ao estabelecimento de temperaturas internas constantes, possíveis de serem obtidas apenas com o uso do condicionamento artificial (NICOL, 2000). Por sua vez, o condicionamento artificial apresenta elevado custo e consumo de energia, enquanto há a possibilidade de favorecer o conforto térmico dos usuários por vias passivas, através do incremento do desempenho térmico do edifício.

Como argumento contrário ao Modelo do PMV/PPD, tem-se ainda o fato que as pessoas usualmente aceitam uma grande variação de temperatura e velocidade do ar como uma situação normal (GIVONI, 1992). Em seu estudo, Xavier (2000) concluiu que a faixa de conforto sugerida pela ISO 7730, compreendida entre valores de PMV correspondentes a - 0,5 e + 0,5, apresenta grande variabilidade do percentual de pessoas insatisfeitas com o ambiente. Ou seja, a tentativa de expressar as sensações em função da carga térmica atuando sobre o corpo não representa muito bem as situações encontradas no cotidiano, observando-se dispersões bastante elevadas nas correlações efetuadas entre as sensações térmicas relatadas pelos indivíduos e os valores estimados do PMV (XAVIER, 2000). Tal argumento é o princípio básico da abordagem adaptativa desenvolvida a partir dos estudos de Humphreys no Paquistão.

2.4.2 Modelo Adaptativo

Segundo Batista (2006), os estudos de Humphreys e outras diversas pesquisas de campo contribuíram para evidenciar a adaptação dos indivíduos às particularidades climáticas (NICOL, 1993; MALLICK, 1996; HANNA, 1997), sugerindo um novo índice de

conforto: o Modelo Adaptativo.

Segundo Gomes (2003), a equação do PMV considera a transferência de calor em regime permanente, porém, este estado raramente ocorre na vida cotidiana. Humphreys e Nicol (1998) sugeriram que as pessoas não são receptoras passivas do seu ambiente térmico. Elas alteram ou adaptam seu ambiente para se satisfazerem e se uma situação produz mudanças em seu ambiente gerando desconforto, estas pessoas tenderão a agir para restaurar o seu conforto. Para os autores, as variáveis envolvidas possuem uma amplitude de aplicação nas formas de adaptação humana através de controles pessoais.

Assim, a abordagem proposta pelo Modelo Adaptativo se baseia na observação de que há uma série de ações que podem ser realizadas pelos indivíduos para obter o conforto térmico. O desconforto seria resultado de fatores do ambiente físico ou social que impediriam as pessoas de realizarem tais ações (NICOL, 1993).

Roriz (2003) amplia ainda mais a visão a respeito da possibilidade de aclimatação, considerando-a como um processo contínuo que acompanha o ritmo biológico dos indivíduos. Desse modo, lança a hipótese de que a temperatura neutra também varia ao longo do dia, sincronizada com as variações da temperatura externa. Roriz se baseia na afirmativa de Nicol (2001) de que variações nas temperaturas limites de conforto inferiores à metade das oscilações das temperaturas externas são aceitáveis. O autor destaca que a adoção dessa hipótese poderia alterar a avaliação dos efeitos de cada variável construtiva sobre o conforto ambiental ou eficiência energética, principalmente se o somatório de graus dia ou graus hora necessários para aquecimento ou resfriamento forem adotados como parâmetro de desempenho (RORIZ, 2003).

Considerando a ação para manter-se em conforto, Heidari e Sharples (2001), em pesquisas realizadas no Irã, constataram esta tendência do ser humano de adaptação ao ambiente. Em suas pesquisas haviam dois grupos de pesquisados. Os primeiros indivíduos eram restritos a estar sentados em uma cadeira, e tinham o valor médio de temperatura neutra em torno de 26,7°C, para o período de junho a agosto. Já os segundos eram habitantes residenciais livres para se movimentar e sentar onde quisessem, e podiam inclusive sentar-se ao chão frio. Os autores acreditaram que talvez isto explicasse porque a temperatura neutra para estes indivíduos era mais alta, em torno de 28,4 ° C.

Em relação aos níveis de isolamento térmico através das vestimentas Leung e Yik (2001) em seus estudos em câmaras climatizadas notaram que as pessoas preferiram colocar mais roupas, quando sentem frio, a aumentarem a temperatura interna estabelecida. A falta do hábito de regular a temperatura interna do ambiente desconsiderou a otimização dos

equipamentos de controle térmico do ambiente, pois o mesmo é sempre mantido em uma faixa restrita de temperatura, não havendo assim uma eficiência no equipamento.

Um estudo considerando as quatro estações do ano realizado em 5 cidades da Tunísia verificou a adaptabilidade humana ao ambiente térmico. Bouden e Ghrab (2001) notaram que apesar das condições ambientais serem similares na primavera e no outono, as temperaturas quentes eram mais aceitas como confortáveis no outono que na primavera. Para os autores esta observação pode ser explicada por dois fatores. O primeiro considera que as pessoas estão acostumadas com altas temperaturas, depois de terem experimentado três meses de verão. O segundo fator relaciona que durante o outono, o valor das resistências térmicas das roupas das pessoas é mais baixo que na primavera, durante a qual, as pessoas ainda estão utilizando roupas pesadas.

Para Fanger e Toftum (2002), um dos fatores que explicam porque o PMV superestima a sensação térmica das pessoas, situadas em ambientes naturalmente ventilados em regiões quentes, é a própria expectativa dos ocupantes. Estes são pessoas adaptadas em ambientes quentes, talvez por gerações. Este mesmo ambiente pode ser considerado inaceitável para pessoas que estão acostumadas em ambientes condicionados. Outro fator citado por estes autores, é a atividade estimada, que contribuiu para a diferença entre o PMV calculado e o voto de sensação térmica atual, em edifícios sem ar condicionado. Segundo eles, muitos campos de estudo em escritórios, a taxa metabólica é estimada com base em um questionário que identifica a porcentagem de tempo que a pessoa estava sedentária, em pé ou andando. Este método não considera o fato de que as pessoas, quando sentem calor, inconscientemente tendem a diminuir suas atividades. As pessoas se adaptam ao ambiente quente diminuindo sua taxa metabólica.

Considerando ambientes quentes, a velocidade do ar pode trazer benefícios para o conforto. Olesen e Parsons (2002), revelaram que, se os ocupantes podem selecionar sua própria velocidade do ar, tanto por ventiladores como por aberturas de janelas, valores mais altos de temperaturas são aceitos. Para estes autores a velocidade do ar não é o único ponto de melhora no conforto e ou na tolerância a ambientes térmicos. Os autores observaram aumento de aproximadamente 1,5 K na temperatura de conforto, tendo uma temperatura externa de 30°C. Para estes pesquisadores a percepção de um ocupante do edifício em relação ao clima interno, em um dado momento, pode ser influenciada pelo que ele ou ela esperam achar naquele interior.

Os aspectos positivos e negativos relativos ao Modelo Adaptativo também são debatidos. Fanger e Toftum (2002) criticam o Modelo Adaptativo porque consideram que

este não inclui a vestimenta, atividades humanas e os demais parâmetros clássicos que influenciam o balanço térmico e, por conseguinte, a sensação térmica. Os autores parecem entrar em contradição quando afirmam que o Modelo Adaptativo prediz razoavelmente bem a sensação térmica dos usuários das edificações sem condicionamento artificial, conforme indicam diversas pesquisas realizadas no final do século XX.

Já De Dear (1995) afirma que a relação entre a neutralidade térmica e a temperatura média mensal externa por si só não possibilita dimensionar os efeitos de cada um dos fatores envolvidos na adaptação ao calor. Isso gera dúvidas se as opiniões dos indivíduos realmente expressam modificações em seus “critérios de conforto” ou se os mesmos tomam atitudes eficazes para minimizar a sensação de desconforto, tais como ajustes de vestimenta e uso de ventiladores (DE DEAR, 1995). Segundo a ASHRAE, o Modelo Adaptativo não prediz realmente os votos de conforto, e sim condições usuais nas quais as pessoas se sentem confortáveis no interior dos edifícios. Por outro lado, defende que esse Modelo é útil como guia no desenvolvimento do projeto arquitetônico e nas decisões relativas ao uso racional da energia elétrica (ASHRAE Fundamentals – Cap. 8, 2005).

2.4.3 Modelo PMV ajustado

A partir das idéias do Modelo Adaptativo, alguns autores buscaram reformular os conceitos do Modelo do Balanço Térmico através de uma revisão do índice PMV e suas incorreções.

Humphreys e Nicol (1996) sugeriram uma revisão no índice de PMV baseado na temperatura da pele e na taxa de secreção de suor correspondente a vários pontos na escala sensorial da ASHRAE (1997) e da ISO 10551 (1995), para uma grande faixa de taxas metabólicas por atividades desempenhadas. Sugeriram dessa forma a possibilidade de se introduzir um coeficiente para ponderar a temperatura média da pele, de modo que o balanço térmico seja restabelecido.

Outro autor que questionou a precisão da taxa metabólica foi Taffé (1997). Segundo ele, para indivíduos realizando a mesma atividade os valores na taxa metabólica, se fossem medidos com precisão, seriam valores diferentes. Givoni (1998) acreditou que problemas na equação do PMV resultaram porque o efeito da velocidade do ar é tomado em conta somente com respeito à troca de calor por convecção, enquanto seu efeito na

evaporação do suor não está incluído na fórmula do balanço de calor.

Partindo da pressuposição teórica consagrada do balanço térmico entre o homem e o ambiente, Xavier (1999) procurou minimizar do Modelo, os principais pontos de imprecisões já conhecidos dos estudos de conforto térmico, ou seja, taxa metabólica e isolamento térmico das roupas. O autor considerou que a minimização dos efeitos de imprecisões, provenientes dos valores tabelados da taxa metabólica, foi possível devido à atividade desempenhada pelos ocupantes permanecer constante, sendo considerada uma variável independente sobre as sensações de conforto. Com relação ao isolamento térmico das roupas, o pesquisador obteve duas conclusões. Inicialmente, constatou-se que, por não serem padronizadas e não apresentarem o mesmo isolamento térmico, as roupas denotam uma clara demonstração das diferenças individuais e servem como um mecanismo de adaptação às condições externas. Em segundo lugar, o autor conclui que o isolamento térmico não se apresenta como uma variável independente no processo do balanço térmico, mas sim como uma variável dependente do meio externo, mais notadamente da temperatura.

Considerando os erros de medições, Parsons (2001) colocou as dificuldades nas medições da taxa metabólica em situações reais. Mesmo utilizando a calorimetria indireta na realização desta tarefa, a interferência do equipamento sobre a atividade da pessoa não é considerada. Outras variantes como calibração, vazamentos do CO₂ no equipamento durante a coleta, podem afetar profundamente a estimativa. O autor coloca a necessidade de correção das tabelas existentes na ISO 7730(1994), ASHRAE (1997) e ISO 9920 (1995).

Ealiwa et al. (2001), realizaram estudos de campo em 51 edifícios situados em Ghadames, Líbia. O levantamento foi empreendido durante as estações de verão de 1997 e 1998, típicos do clima quente e seco do norte da África. Este estudo concluiu que o Modelo do PMV na forma da ISO 7730 (1994), não pode ser utilizado, sem algumas alterações, para prever o conforto térmico de ocupantes residentes em edifícios antigos que são naturalmente ventilados. Porém podem ser utilizadas, sem nenhuma restrição, em medições de conforto térmico em ocupantes de edifícios que utilizam ar condicionado.

Segundo Nicole Humphreys (2001), em um edifício ventilado naturalmente, o clima interno está relacionado às condições externas de clima e temperatura. Quando o edifício está sendo aquecido ou resfriado, a relação muda porque o clima interno é desassociado do externo. Ainda segundo estes autores, apesar de somente a temperatura externa ser usada para calcular a temperatura de conforto, esta é claramente uma função de mais de uma variável relacionada à predição de conforto térmico.

Evans (2001), em seus estudos sobre os padrões de conforto térmico na

Argentina, observou que estes são claramente baseados nos padrões norte-europeus com clima frio, os padrões argentinos não consideram a necessidade de definir temperaturas separadas e mais altas para as condições de verão e ou por regiões, o que não assegura o conforto térmico na prática.

Realizando comparações entre o PMV e o voto de sensações reais para a cidade de Ilam, situada no Irã, Heidari e Sharples (2001) concluíram que as pessoas de Ilam podiam aceitar temperaturas internas do ar mais altas do que as recomendadas pelos padrões internacionais, como a ISO 7730 (1994). Estas avaliam o homem médio, não considerando população ou indivíduos específicos. Este pesquisador concluiu que não é possível, em aplicação prática, obter uma estimativa precisa da produção de calor metabólico. Mesmo com estas dificuldades, é salientado aos pesquisadores que utilizam índices de conforto térmico, aceitem que isso é o melhor que pode ser feito na estimativa de calor metabólico, sendo a estimativa tão precisa quanto pode ser atingida.

Humphreys e Nicol (2001) analisaram um estudo para aperfeiçoamento do PMV, através de análises de dados gerados em pesquisas de conforto térmico de dados da ASHRAE. Com o estudo, concluíram que o desvio padrão das discrepâncias cresce potencialmente por três fatores: diferenças individuais; erros de medição e erros de equação. Segundo estes autores o PMV produz previsões que são variáveis com: a temperatura operativa, umidade do ar, movimento do ar, isolamento das roupas, taxa metabólica e também com a temperatura externa.

Fanger e Tofum (2002) recentemente concluíram que o Modelo PMV é satisfatório para prever as sensações térmicas em edifícios com sistemas de ar condicionado, porém em estudo em clima quente em edifícios sem ar condicionado, mostraram que o modelo prediz sensações térmicas mais quentes do que os ocupantes realmente sentem. Os autores consideraram que para estes edifícios o Modelo Adaptativo pode refletir melhor a situação térmica do ambiente.

2.4.4 ISO 7730 (1994)

Segundo Gouvêa (2004), o método mais conhecido e aceito para a avaliação do conforto térmico é o Voto Médio Estimado (comentado em 2.4.1.), razão pela qual foi adotado como base para o desenvolvimento da norma internacional que especifica condições

de conforto térmico para ambientes termicamente moderados, a International Organization for Standardization - ISO 7730 de 1984, e sua atualização em 1994.

A norma estabelece critérios para levantar a sensação de conforto térmico em ambientes, através do PMV e do PPD representando a sensação térmica esperada dos usuários, conforme escala mostrada anteriormente. Conforme descrito em 2.4.1. a norma determina como “intervalo aceitável” de PMV entre - 0,5 e + 0,5, o que corresponde a um PPD inferior a 10%.

De acordo com Menezes (2006), a Norma ISO 7730 (1994) aplica-se à avaliação de ambientes térmicos moderados. Assim, através de parâmetros físicos de um ambiente, tais como: temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade do ar, bem como os parâmetros pessoais como atividade desempenhada e vestimenta utilizada pelas pessoas, conhecidos, simulados ou medidos, a sensação térmica para o todo pode ser estimada pelo cálculo do índice do voto médio estimado. Essa norma apresenta ainda, o grau de desconforto das pessoas expostas a ambientes térmicos moderados.

O Laboratório de Eficiência Energética na Edificação da Universidade Federal de Santa Catarina (LABEEE, 2006) desenvolveu um software de simulação com o objetivo de estimar o PPD e PMV, avaliando-os em relação aos limites expressos pela norma em questão. O programa, chamado Analysis CST, utiliza como dados de entrada fatores pessoais: vestimenta (clo) e atividade (met); e fatores ambientais: temperatura do ar (°C), velocidade do ar (m/s), temperatura de globo ou temperatura radiante média (°C), umidade relativa, pressão de vapor, temperatura de bulbo úmido ou temperatura de orvalho, e altitude do ambiente simulado (dada em metros ou kPa de pressão barométrica). Como dados de saída, apresenta um gráfico do índice PMV e PPD, conforme ilustrado na figura 4. O programa gera também um relatório com várias informações sobre as condições térmicas do ambiente, tais como: índice PMV/ PPD, temperatura efetiva (SET), carga térmica sobre o corpo (L), troca de calor sensível pela respiração (Cres), etc.

2.4.5 ASHRAE 55 (2004)

A organização americana American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, traz a norma ASHRAE 55- Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, que trata das sensações dos usuários a respeito do desempenho

térmico proporcionado pelos ambientes, levando em consideração fatores ambientais e pessoais. Com isso, a norma traz uma evolução na avaliação dos ambientes, considerando a satisfação do usuário e sua adequação ao uso como preocupações primordiais, não caracterizando a edificação pelas suas propriedades físicas, mas pela sua resposta global às condições térmicas externas.

Em relação às exigências humanas de conforto em uma edificação, a norma ASHRAE 55 (2004) tem o propósito de especificar as combinações do ambiente interno e dos fatores pessoais que produzirão o ambiente térmico com uma aceitação de no mínimo 80% dos ocupantes de um espaço. A finalidade é integrar fatores ambientais e pessoais: temperatura, radiação térmica, umidade, velocidade do ar, vestimenta e atividade metabólica; considerando para isso, pessoas saudáveis na pressão atmosférica máxima de 3000m em espaços internos cuja permanência seja superior a 15 minutos.

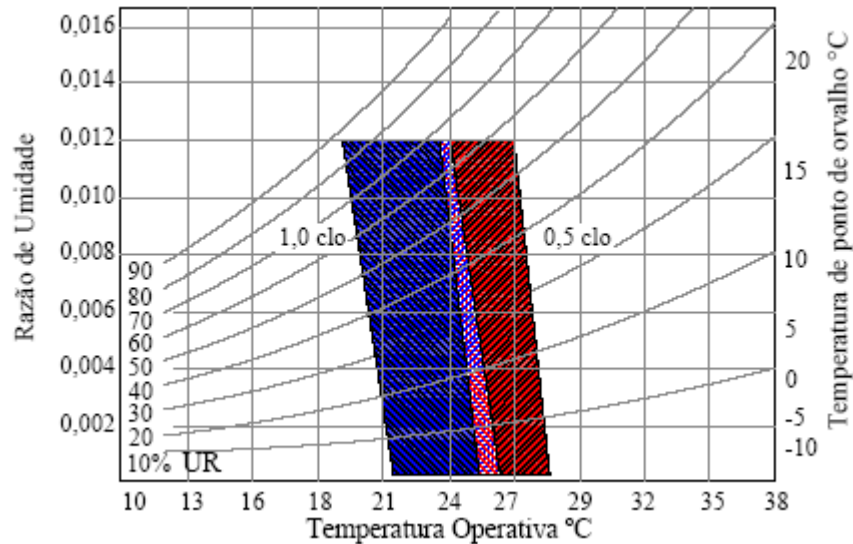
Segundo Menezes (2006), a ASHRAE 55 (2004), é muito utilizada para estudos de conforto térmico, por ser bastante abrangente, incluindo conceitos utilizados na definição do ambiente térmico e de suas variáveis climáticas. Em seu anexo A, por exemplo, traz uma tabela com estimativa para a taxa metabólica, considerando atividades físicas típicas.

Já no anexo B, são apresentados métodos para estimar o isolamento térmico das vestimentas além de tabelas com alguns exemplos de vestuário e seu correspondente isolamento em clo.

A norma aponta condições para se obter o conforto térmico, através de variáveis ambientais e pessoais, apresentando alguns métodos para determinar as condições térmicas de um recinto, baseados na porcentagem de ocupantes que o consideram aceitável.

O método gráfico simplificado usado na determinação da Zona de Conforto da ASHRAE é baseado em um diagrama psicrométrico e considera atividades leves (de 1 a 1,3 met), vestimentas entre 0,5 e 1,0 clo, relação máxima de umidade de 0,012 e velocidade máxima do ar de 0,20 m/s; sendo que a Zona de Conforto é válida para 80% de aceitação entre os usuários. A figura 5 apresenta a Zona de Conforto, determinada pela influência de fatores como: relação de umidade, temperatura de ponto de orvalho, umidade relativa, e principalmente através do conceito de Temperatura Operativa (t_o); além de ser diferenciada para as estações de inverno e verão (com 1,0 e 0,5 clo, respectivamente). Todos os pontos plotados fora da zona de conforto de inverno (em azul) e de verão (em vermelho), estão, automaticamente, em situação de desconforto térmico. Há uma intersecção das zonas de conforto de verão e inverno, onde a combinação dos fatores e variáveis climáticas é considerada satisfatória para ambos períodos.

O método gráfico simplificado será usado no trabalho proposto por essa dissertação como forma de avaliação das condições térmicas simuladas nos casos em estudo.



Fonte: Olesen e Brager, 2004

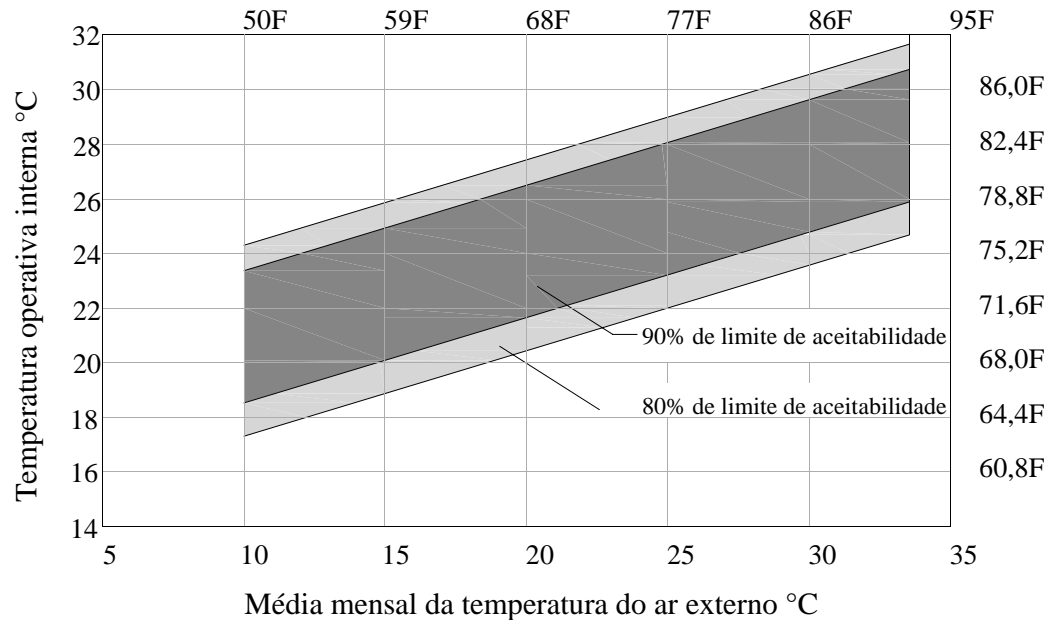
Figura 5 – Zona de Conforto da ASHRAE 55 (2004)

A temperatura operativa (t_o) é definida como a temperatura uniforme de um corpo negro imaginário no qual um ocupante trocaria a mesma quantidade de calor através da radiação e transmissão como num ambiente não uniforme. Para a norma americana, a t_o pode ser considerada igual à t_{ar} quando: não há radiação nem fonte de calor no espaço; o coeficiente de calor adquirido pela janela é $<0,48$; ou $U < 50/T_{di} - T_{de}$, conhecendo-se o U (transmitância), o T_{di} (temperatura de projeto interna) e o T_{de} (temperatura de projeto externa).

O método por procedimento computacional considera atividades leves (de 1 a 2 met) e vestimenta até 1,5 clo, baseando-se na escala sétima de sensação térmica do modelo de Fanger, recomendando como aceitável o índice $PPD < 10\%$ e $-0,5 < PMV < +0,5$. O anexo D da norma traz um exemplo de software, muito semelhante ao Analysis CST desenvolvido pelo LABEEE (ver 2.4.4.).

A norma apresenta também um método opcional para determinação da aceitabilidade das condições térmicas em espaços naturalmente ventilados, levando em consideração as particularidades do controle das condições térmicas pelo usuário e sua aclimação quanto às vestimentas e expectativas. O método opcional trabalha com a média mensal da t_{ar} externa e t_o , destacando duas faixas: 80% de aceitação como aplicação típica; e 90% de aceitação como nível superior de conforto. A aplicação deste método é restrita para

espaços condicionados naturalmente com controle do resfriamento pelo ocupante, considerando adaptação de vestimentas e atividades de 1 a 1,3 met (ver figura 6).



Fonte: ASHRAE 55 (2004)

Figura 6 – Zona aceitável de temperatura operativa para espaços condicionados naturalmente

Quanto às medições de variáveis climáticas de um ambiente, a norma especifica dispositivos de medição, apontando a norma ISO 7726, e ASHRAE 70 e 113 como bibliografia para a instrumentação exigida para a medição. A norma traz ainda recomendações quanto à posição dos medidores, o período de medição, as condições de medição e a operação dos equipamentos mecânicos.

Tanto a Norma Internacional ISO 7730 (1994), quanto a ASHRAE 55 (2004), além de apresentarem métodos de avaliação por desempenho, estabelecem índices de conforto capazes de quantificar as sensações térmicas dos usuários. Sendo a ASHRAE uma entidade de grande prestígio entre o meio tecnológico e científico, as suas normas têm sido muito empregadas na definição de zonas de conforto e na estruturação de cartas bioclimáticas de vários países.

A ASHRAE é utilizada em maior frequência como um padrão para o ambiente interno de espaços com ar condicionados, em habitações de países com climas temperados. Sua aplicação em países de clima tropical não é considerável, devido aos

costumes de vestimentas e à aclimatação. Na opinião de Givoni (1997), a aclimatação dos habitantes desses locais deveria ser considerada, bem como a função das altas velocidades na aceitação de conforto a altas umidades.

2.5 NORMAS E METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

Segundo Gonçalves et al. (2003), avaliar o desempenho de um produto consiste em definir qualitativa e/ou quantitativamente quais as condições que devem ser satisfeitas pelo mesmo, quando submetido às condições normais de uso, verificando-se o nível de atendimento de tais condições.

Nesse contexto, propor uma avaliação do desempenho térmico de uma edificação significa “avaliar seu comportamento térmico frente a requisitos pré- estabelecidos, para atender as necessidades térmicas do usuário frente às ações climáticas às quais a edificação está sujeita” (PEREIRA; NETO, 1988).

Visando garantir um padrão da qualidade aceito pela sociedade, proteger o consumidor e garantir a segurança, entidades organizadas elaboram normas técnicas a serem obedecidas no processo produtivo com relação a procedimentos, padronização, métodos de ensaios, terminologia, simbologia e classificação.

No Brasil, a ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas procura desenvolver estas normas através dos seus diversos comitês, nas diversas áreas. Segundo Menezes (2006), a nível internacional, podem ser citadas: ASTM – American Society for Testing and Materials, ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, BS – British Standards, ISO – International Organization for Standardization, AMN – Associação Mercosul de Normalização e CEN – Comité Européen de Normalisation.

Partindo do foco deste trabalho, que trata do desempenho térmico das edificações frente às necessidades de conforto observadas pelos usuários, pode-se dizer que o desempenho das edificações tem papel importante na qualidade de vida e no consumo energético, estabelecendo-se aí a necessidade de avaliá-lo, no sentido de propor estratégias de condicionamento térmico que melhorem a performance das edificações.

2.5.1 Método de Avaliação Térmica por Prescrição e por Desempenho

Segundo Batista (2006), a definição de pré-requisitos é essencial no processo de avaliação do desempenho térmico das edificações, constituindo-se no principal fundamento das normas e regulamentações pertinentes ao tema. Segundo Barbosa et al. (2003), podem ser identificadas duas formas de avaliação: por prescrição e por desempenho.

As avaliações por prescrição baseiam-se no cumprimento de limites para as características ou propriedades termo-físicas dos materiais construtivos, tais como: transmitância, atraso térmico e fator solar de paredes e coberturas, absorvidade à radiação solar, aberturas para ventilação e sombreamento de aberturas; reunindo um conjunto de recomendações visando a adequação do projeto às condições climáticas de um determinado local. Pode-se dizer que os métodos indicados pela Norma 15220 e pelo procedimento de cálculo do Projeto de Norma 02:136.01-001/1:2004 se enquadram nessa forma de avaliação.

Em contrapartida à prescrição, as avaliações por desempenho analisam a edificação através de condições internas geradas pelo envelope e cobertura da edificação através da simulação computacional do sistema construtivo utilizado ou monitoramento in loco, observando-se o enquadramento dos resultados dentro de limites ou parâmetros de conforto térmico ajustados para a população local (BARBOSA et al, 2003). Esse método é exemplificado pelo procedimento por simulação e por medição do PNBR 02:136.01-001/1:2004, onde avalia o ambiente interno através de limites para temperaturas de dia típico de verão e inverno e pela metodologia de Horas de Desconforto de Barbosa (1997).

No âmbito internacional, o método por desempenho é encontrado na norma americana ASHRAE-55, onde se estabelecem limites para as condições internas da edificação. A Norma ASHRAE (1989) estabelece os conceitos de avaliação por desempenho e por prescrição, onde os critérios de desempenho são usados quando muitas inovações de projeto ou flexibilidade são desejadas.

De acordo com Barbosa e Lamberts (1997), a avaliação por prescrição é mais rápida e fácil de aplicar, sendo necessário apenas observar se as propriedades e características dos elementos construtivos estão dentro dos limites aceitáveis pela norma. Já a avaliação por desempenho exige mais esforço para ser aplicada, necessitando de medições ou simulação do edifício com as condições do entorno e arquivo climático da cidade, porém, gera resultados mais precisos e com maior flexibilidade de projeto.

Para Giglio et al. (2006), o método de avaliação por desempenho considera a resposta térmica global da edificação exposta dinamicamente a um clima específico; dessa forma, considera as interações com o meio externo e suas condições microclimáticas locais na resposta térmica da edificação em relação aos seus usuários. Para isso, entretanto, é necessário obter dados horários de temperatura interna por monitoramento ou simulação da edificação, o que torna a aplicação do método por desempenho mais demorada e complexa.

Em um estudo do desempenho e conforto térmico de unidades residenciais, Weiller et al. (2006) utilizou diferentes metodologias de avaliação, concluindo que os métodos por desempenho apresentaram-se mais eficientes, pois envolvem as condições climáticas externas à edificação e a influência das características construtivas como um todo, e não em partes, como trazem os métodos prescritivos. De acordo com os resultados obtidos pelos métodos prescritivos no estudo, houve dificuldade de concluir qual edificação é mais confortável termicamente, pois para cada parâmetro apresentou uma classificação distinta.

2.5.2 Brasil: Situação Normativa

A necessidade do desenvolvimento de normas de conforto térmico e eficiência energética em edificações vem sendo discutida há vários anos no Brasil. Segundo Barbosa et al. (2003), o desenvolvimento de pesquisas visando à formulação de critérios para a avaliação do desempenho térmico de habitações populares no país tem sido realizado principalmente pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), de São Paulo e pelo grupo de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC).

De acordo com Menezes (2006), o acesso às normas não é facilitado e muitas vezes os profissionais têm dificuldades de adquiri-las, podendo desconhecê-las. Mas, elas são de fundamental importância para que se consiga garantir qualidade de serviços e produtos. Assim, não basta a existência de uma norma para que seja exigido o seu cumprimento, pois geralmente ela precisa ser regulamentada por uma Lei, Projeto de Lei ou Decreto.

2.5.2.1 Norma 15220: Desempenho Térmico de Edificações (2005)

Segundo Menezes (2006), a norma de Conforto Ambiental - Desempenho térmico de edificações: procedimentos para avaliação de habitações de interesse social, desenvolvido pelo Comitê Brasileiro de Construção Civil, liderado pela Universidade Federal de Santa Catarina, foi aprovada pela Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações em 2003, tendo sido publicada pela ABNT em abril de 2005, quando entrou em vigor. Os textos da norma NBR 15220 (ABNT, 2005) estão divididos em 5 partes:

- Parte 1: Definições, símbolos e unidades;
- Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações;
- Parte 3: Zoneamento bioclimático Brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica em regime estacionário pelo método fluximétrico.

Na parte 2 da norma, são estabelecidos procedimentos para o cálculo das propriedades térmicas de elementos e componentes de edificações quando sujeitos a um regime estacionário de transmissão de calor (ABNT, 2005).

Cabe ainda destacar sua Parte 3, na qual é apresentada a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima, chamadas de zonas bioclimáticas (ver 2.3.4.). Para cada uma destas zonas, são apresentadas recomendações tecnoconstrutivas de adequação climática, visando à otimização do desempenho térmico das edificações. Estas condições são verificadas analisando-se as características físicas e propriedades térmicas dos elementos de vedação externa (paredes e coberturas) e porcentagem de aberturas em relação ao piso, apresentando valores admissíveis para as características termo-físicas de elementos construtivos para cada Zona Bioclimática: transmitância (U), atraso térmico (ϕ) e fator solar (FS).

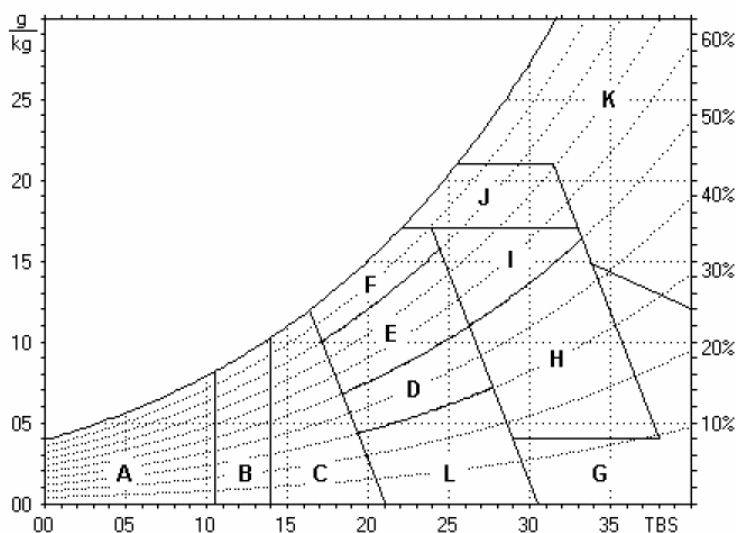
A transmitância térmica é conhecida como “coeficiente global de transferência de calor” e envolve, segundo Papst et al. (2005), trocas térmicas superficiais e

através do material. Essa grandeza física representa a capacidade do material de ser atravessado por um fluxo de calor induzido por uma diferença de temperatura entre dois ambientes; assim, a transmitância térmica é o inverso da resistência térmica (ABNT, 2005).

De acordo com Papst et al. (2005), “o atraso térmico representa o tempo transcorrido entre a variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor” (grifo nosso). Dessa forma, o atraso térmico vai depender da capacidade térmica do componente construtivo e da ordem em que as camadas estão dispostas.

O fator solar representa o quociente da taxa de radiação solar transmitida através de um componente opaco pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo (ABNT, 2005).

Também são apresentadas sugestões de estratégias de condicionamento térmico passivo para cada zona bioclimática que podem ser utilizadas com o objetivo de melhorar o desempenho da edificação quanto ao seu conforto térmico e eficiência energética. Essas estratégias são baseadas na carta bioclimática de Givoni (1992), porém foi necessário adaptar o método proposto pelo pesquisador para a realidade climática brasileira, alterando-se a demarcação dos limites da zona de conforto (RORIZ et al, 1999). A figura 7 representa a carta adaptada com o auxílio das planilhas de Mahoney (KOENIGSBERGER et al, 1970) e suas respectivas zonas de aplicação das estratégias bioclimáticas.



- A: Condicionamento artificial
- B + C: Aquecimento solar
- C: Massa térmica
- D: Conforto térmico (umidade baixa)
- E: Conforto térmico
- F: Renovação de ar
- G + H: Resfriamento evaporativo
- H + I: Massa térmica para resfriamento
- I + J: Ventilação
- K: Resfriamento artificial
- L: Umidificação do ar

Fonte: Roriz et al., 1999.

Figura 7 – Carta Bioclimática adaptada adotada no Zoneamento Bioclimático Brasileiro

No Anexo A da referida Norma, encontra-se uma tabela com 330 cidades, cujos climas foram classificados, indicando-se a Zona Bioclimática na qual a cidade está inserida e as estratégias recomendadas. No caso, Londrina encontra-se classificada na Zona Bioclimática 3, na qual se enquadram as localidades de clima quente-úmido (ver figura 1 em 2.2.4). Para tais regiões, as recomendações da NBR 15220-3 são as seguintes:

- Áreas de aberturas de 10% a 15% da área do piso
- Sombrear aberturas;
- Paredes pesadas: Transmitância térmica $U \leq 2,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, Atraso térmico $\phi \geq 6,5 \text{ h}$ e Fator Solar $\text{FSO} \leq 3,5$;
- Cobertura pesada: Transmitância térmica $U \leq 2,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, Atraso térmico $\phi \geq 6,5 \text{ h}$ e Fator Solar $\text{FSO} \leq 6,5$;
- Estratégias de condicionamento térmico passivo: resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento; ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa).

De acordo com Weiller et al. (2006), é importante salientar que as diretrizes e estratégias apresentadas nesta parte 3 são apresentadas como recomendações, sem caráter normativo. Falta à norma especificar qual dos critérios prevalece sobre os restantes na análise do conforto do usuário: a parede, a cobertura ou a ventilação; ou ainda, se todos os critérios devem ser obedecidos. Sabe-se que o desempenho térmico é o resultado dos três fatores juntos, e ainda das condições climáticas externas, características estas que não são levadas em conta no método prescritivo abordado pela Norma 15220.

2.5.2.2 Projeto de Norma 02:136.01-001/1:2004 – Desempenho Térmico em edifícios habitacionais de até cinco pavimentos

De acordo com Batista (2006), encontra-se em fase de consulta pública o Projeto de Norma para Avaliação de Desempenho de Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos (Comissão de Estudos - Desempenho de Edificações: CE-02:136.01), desenvolvido a partir de uma parceria entre o IPT e diversas outras instituições, sob a administração do COBRACON (Comitê Brasileiro de Construção Civil). O objetivo dessa Norma é fixar padrões de comportamento em uso esperado para essa categoria de edificações,

independente da tecnologia com a qual elas são construídas.

A proposta de norma de desempenho fixa parâmetros para avaliar o comportamento da edificação, definindo informações a serem contidas no projeto e permitindo verificar se uma tecnologia nova está de acordo com as necessidades de uso das edificações brasileiras (ABNT, 2004). De acordo com Menezes (2006), esta norma vem estabelecer parâmetros mais claros para aplicação do Código de Defesa do Consumidor.

O texto deixa de focar processos, materiais e componentes, estabelecendo um desempenho global mínimo, independentemente dos sistemas construtivos que forem utilizados, ou seja, traz uma abordagem diferente do método prescritivo, mesmo que ainda traga limites das propriedades físicas dos materiais construtivos. Com esse conceito, a norma considera as exigências dos usuários em tópicos como segurança, estanqueidade, higiene, conforto e durabilidade.

Esta norma prevê três níveis de desempenho: mínimo, intermediário e superior, que serão estabelecidos pelas necessidades ou exigências dos consumidores. Para cada um desses níveis, a edificação terá um prazo de garantia e vida útil diferente. O nível de desempenho dos edifícios deverá ser apresentado ao consumidor no ato da compra do imóvel. Isso permite antever que as vendas de imóveis passarão a exigir dos corretores um melhor preparo técnico.

O PNBR 02:136.01 não tem o objetivo de orientar o sistema construtivo, mas estabelecer que, independentemente do método adotado, terá que atender às condições pré-determinadas. No caso do desempenho térmico, consideram-se as respectivas características bioclimáticas definidas na norma NBR-15220. O PNBR estabelece três procedimentos alternativos para avaliação da adequação de habitações, nas oito diferentes Zonas Bioclimáticas:

- Procedimento 1 – Simplificado: verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos para fachadas e coberturas: metodologia prescritiva.
- Procedimento 2 – Simulação: verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos por meio da simulação computacional do desempenho térmico do edifício: metodologia por desempenho.
- Procedimento 3 – Medição: verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos: metodologia por desempenho.

O Procedimento 1, simplificado, estabelece critérios de desempenho para

fachadas e coberturas. No caso das fachadas, são definidos limites de transmitância térmica e recomendações para o dimensionamento de aberturas para ventilação e existência de dispositivos de sombreamento. No caso das coberturas, os critérios de desempenho são: transmitância térmica e absorvidade à radiação solar. Esses limites são específicos para cada Zona Bioclimática (conforme estabelecido na NBR 15220-3) e podem ser avaliadas edificações existentes ou em fase de projeto.

O método de avaliação do desempenho térmico de edificações por simulação computacional, procedimento 2, deve ser feito utilizando dias típicos de projeto, de verão e de inverno, obtidos através de dados climáticos da cidade onde se localiza a edificação. No Anexo A do Projeto 02:136.01.001, há uma lista com dados de dias típicos de verão e de inverno de algumas cidades brasileiras.

O Procedimento 3 deve ser realizado em edificações ou protótipos construídos, considerando-se os dias típicos de projeto de inverno e verão. A avaliação do desempenho térmico de edificações por medição deve ser feita medindo a temperatura de bulbo seco do ar no centro dos recintos dormitórios e salas, a 1,20 m do piso, seguindo as especificações apresentadas na norma ISO 7726. Com relação ao período de medição, deve ser tomado um dia típico de projeto, de verão ou de inverno. Recomenda-se trabalhar com uma seqüência de três dias e analisar os dados do terceiro dia. Para efeito da avaliação por medição, o dia típico é caracterizado unicamente pelos valores da temperatura do ar exterior medidos no local.

Esta proposta de norma permite avaliar o desempenho térmico do edifício por um dos três procedimentos. Considerando-se que o desempenho térmico do edifício depende do comportamento interativo da fachada, cobertura e piso, uma edificação que não atender aos requisitos desta norma, quando avaliada pelo primeiro procedimento, pode ser avaliada por um dos outros.

É importante destacar que este projeto de norma ainda está em discussão pública, sendo que sua versão do ano de 2006 não apresenta mais os procedimentos por simulação e medição.

2.5.3 Zona Bioclimática de Givoni

Na década de 60, os irmãos Olgyay aplicaram a bioclimatologia na arquitetura levando em consideração o conforto térmico humano e criaram a expressão “projeto bioclimático” (OLGYAY, 1973). Este projeto tem como base uma concepção arquitetônica que objetiva buscar por meio de seus próprios elementos as condições favoráveis do clima, de modo a satisfazer as exigências de conforto térmico do homem. O resultado do projeto foi o desenvolvimento de um diagrama bioclimático que propõe estratégias de adaptação da arquitetura ao clima (LOUREIRO, 2003).

O diagrama de Olgyay é desenhado entre dois eixos, sendo o eixo vertical o das temperaturas (secas) e o eixo horizontal o das umidades relativas, onde os limites de conforto foram obtidos através de pesquisas efetuadas por fisiologistas. O diagrama sugere que as condições de temperatura e umidade sejam plotadas como curvas fechadas ou ciclogramas das médias diárias (hora por hora), para cada mês, de uma dada localidade.

A carta bioclimática aplica-se estritamente para as condições externas, entretanto as estratégias de projeto sugeridas no diagrama são para o interior, o que é uma incoerência conforme Givoni (1992). Olgyay justifica que em suas experiências, as temperaturas internas foram muito próximas das temperaturas externas e sugere que seu diagrama seja utilizado principalmente para edifícios leves em regiões úmidas.

De acordo com Barbosa (1997), uma carta bioclimática para edifícios foi desenvolvida por Givoni em 1969, para corrigir as limitações do diagrama bioclimático idealizado por Olgyay. A principal diferença entre esses dois sistemas deve-se ao fato de que a carta de Givoni é traçada sobre uma carta psicrométrica convencional. Outra diferença nos sistemas desenvolvidos por Olgyay e Givoni, é que Givoni se baseia em temperaturas internas ao edifício, que foram obtidas através de cálculos e estimam as temperaturas esperadas para o interior. Na carta de Givoni, os limites foram baseados em pesquisas realizadas nos Estados Unidos, na Europa e em Israel, considerando a temperatura interna de um edifício sem climatização artificial e projetado adequadamente para o local onde está construído, ou seja, considerando-se que o edifício é inerte termicamente, protegido eficientemente contra a radiação solar e com ventilação adequada.

Nos sistemas desenvolvidos por Olgyay e Givoni aparecem alternativas para dilatar a zona de conforto, através da adoção de estratégias arquitetônicas, que alteram a sensação do clima interno em estudo. No caso de Givoni, foram baseadas em um índice de

conforto térmico, desenvolvido por ele mesmo, denominado de ITS (Index of Thermal Stress), de caráter biofísico.

Na carta bioclimática, o clima local pode ser representado mês a mês por dois pontos, cujas coordenadas são as médias mensais dos valores extremos do par temperatura e umidade diária do ar externo, o que não impede que sejam plotadas condições climáticas com a periodicidade que se desejar. Este diagrama serve para comprovar ao mesmo tempo a exigência humana, o rigor do clima local e a resposta qualitativa global de soluções arquitetônicas, segundo Izard e Guyot (1983).

Considerando estudos realizados em países quentes e, apoiado no fato de que as pessoas que moram em países em desenvolvimento e de clima quente e úmido, aceitam limites máximos superiores de temperatura e umidade; o autor sugere a expansão destes limites para a aplicação em países em desenvolvimento e de clima quente.

Em Givoni (1992), o autor sugere então, uma nova carta bioclimática, onde estão demarcados diferentes limites para climas temperados (países desenvolvidos) e para climas quentes (países em desenvolvimento), sugerindo, também, limites das condições climáticas, dentro dos quais várias estratégias de projeto de edifícios e sistemas de resfriamento natural podem garantir conforto térmico interno. As opções apresentadas para as estratégias são: ventilação durante o dia, inércia térmica com ou sem ventilação, resfriamento evaporativo direto e resfriamento evaporativo indireto. A variação de temperaturas sugeridas por Givoni para as condições aceitáveis de pessoas que habitam países desenvolvidos é 18°C a 25°C no inverno e de 20°C a 27°C no verão, sendo o limite máximo de temperaturas aplicável em níveis baixos de umidade.

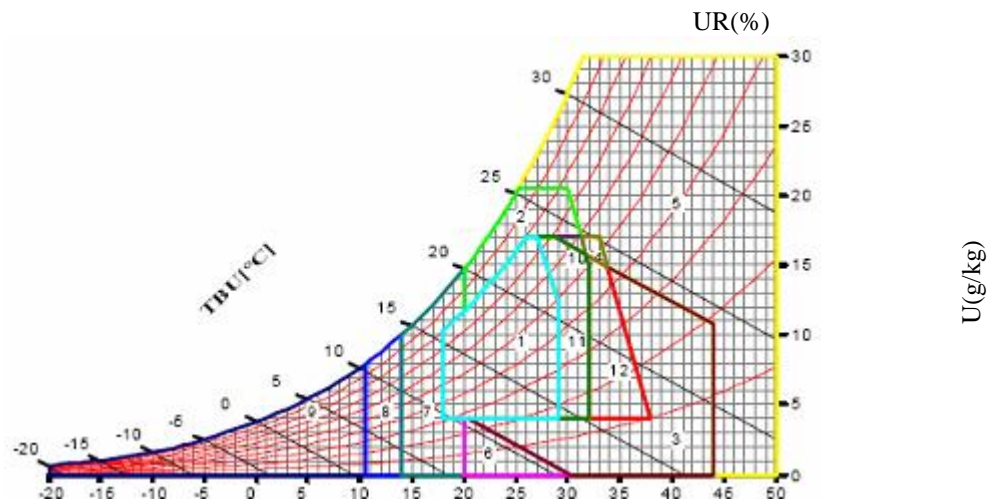
Nos países em desenvolvimento e de clima quente, Givoni sugere elevar de 2°C a temperatura limite máxima, elevando também de 2g /kg o valor do conteúdo de vapor. Essa adaptação é justificada com base em resultado de pesquisa, que alterou a nova carta de temperatura efetiva no limite superior da sensação de conforto, de 27°C para 29,7°C, quando a velocidade do ar é aumentada de 0,1 para 1,5 m/s. Givoni explica também que o clima interno em edifícios não condicionados reage mais largamente à variação do clima externo e à experiência de uso dos habitantes. Pode-se citar como exemplo, que uma temperatura interna variando de 20°C de manhã até 26°C de tarde no verão é comum em edifício não condicionado; a velocidade do ar interno em edifícios com ventilação cruzada é sempre próximo de 2 m/s; pessoas que moram em edifícios sem condicionamento e naturalmente ventilado usualmente aceitam uma larga variação de temperatura e velocidade do ar como uma situação normal (BUSCH, 1992). Portanto, essa diferença entre as condições aceitáveis

em um ambiente condicionado e em um ambiente não condicionado, deve ser refletida na carta bioclimática, especificando limites aceitáveis do clima interno para edifícios não condicionados e nos limites de aplicabilidade das várias estratégias de projeto de edifícios e sistemas de resfriamento passivo.

Assim, os limites sugeridos por Givoni para a zona de conforto térmico de países com clima quente e em desenvolvimento são: no verão em situação de umidade baixa, a variação de temperatura pode ser de 25 °C a 29°C, e em umidade alta de 25 °C a 26°C, podendo chegar a 32°C com ventilação de 2,0 m/s; no inverno, os limites são de 18 °C a 25°C; com relação à umidade, os limites são de 4,0 g/kg a 17g/kg e 80% de umidade relativa (GIVONI, 1992).

A partir dos estudos de Givoni (1992), foi adaptada uma carta bioclimática para a Norma Brasileira de Desempenho Térmico em Edificações, Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes para Habitações Unifamiliares de Interesse Social (RORIZ et al., 1999). Para a construção da carta foi utilizado um diagrama psicrométrico, referenciando as relações de umidade e da temperatura do ar. Divide-se a carta em 12 zonas de estratégias, associando informações sobre a zona de conforto térmico, o comportamento climático do local e as recomendações de projeto indicadas (ver figura 8). Estas zonas são:

- 1. Conforto
- 2. Ventilação
- 3. Resfriamento Evaporativo
- 4. Massa Térmica para Resfriamento
- 5. Ar Condicionado
- 6. Umidificação
- 7. Massa Térmica/ Aquecimento Solar
- 8. Aquecimento Solar Passivo
- 9. Aquecimento Artificial
- 10. Ventilação/ Massa
- 11. Ventilação/Massa/ Resfriamento Evaporativo
- 12. Massa/Resfriamento Evaporativo



Fonte: Lamberts et al, 2006

Figura 8 – Diagrama Psicrométrico e as 12 zonas de conforto da carta bioclimática de Givoni

O Analysis Bio, desenvolvido pelo LABEEE, é um software aplicado na avaliação do desempenho térmico da edificação, com o objetivo de adequá-la – considerando-se a fase de projeto – ao clima local de sua implantação, por meio da análise de cartas bioclimáticas construídas sobre o diagrama psicrométrico de Givoni.

Este software utiliza dados climáticos e normais climatológicas com valores médios mensais de temperatura do ar e umidade relativa, fornecendo valores percentuais gerais que representam a porcentagem do período desejado correspondente ao conforto e desconforto térmico da edificação. Com relação ao período de desconforto, o software indica a porcentagem deste período referente ao desconforto por frio e por calor. Apresenta também, estratégias bioclimáticas, com os respectivos valores percentuais de influência no conforto térmico – indicadas para que o projeto possa conferir à edificação condições de conforto térmico.

2.5.4 Método das Horas de Desconforto

Além das recomendações das normas da ABNT, ISO e ASHRAE, muitos pesquisadores têm estudado o assunto e proposto metodologias para avaliação do desempenho térmico de edificações. Dentre estes, podem ser destacados o Método das Horas de

Desconforto de Barbosa (1997).

Esta metodologia (BARBOSA, 1997) foi desenvolvida para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares térreas. Utilizando-se diferentes sistemas construtivos e medições horárias das temperaturas internas e, levando em conta as sensações dos usuários, a metodologia propõe o estabelecimento de limites de conforto e, por conseguinte de horas de conforto para cada sistema construtivo.

A aplicação desta metodologia é feita verificando-se no banco de dados do ano climático para a edificação em estudo a quantidade de horas em que a temperatura interna da edificação apresenta valores inferiores 18°C (desconforto pelo frio) e valores superiores a 29°C (desconforto pelo calor), ou seja, a zona de conforto de Givoni. De acordo com a pesquisadora, a somatória das horas de desconforto não deve ultrapassar 1000 horas para que a edificação seja considerada aceitável pelos usuários. Uma das limitações dessa metodologia é o fato de não considerar valores de umidade relativa na caracterização da zona de conforto, baseando-se apenas em valores de temperatura do ar interno.

2.6 PESQUISAS REALIZADAS SOBRE DESEMPENHO E CONFORTO TÉRMICO

Nesse capítulo são apresentados alguns dos estudos mais recentes sobre desempenho e conforto térmico em edificações no Brasil e no mundo, e que serviram de base para a realização deste trabalho de pesquisa.

2.6.1 Avaliação de Desempenho e Conforto Térmico de Edificações

A pesquisa desenvolvida por Menezes (2006) buscou avaliar o desempenho térmico de habitações de interesse social de passo Fundo – RS, visando verificar a aplicabilidade dos procedimentos da NBR 15220 (2005) e do PNBR 136 (2004). Para isso, desenvolveu estudos de caso em cinco unidades habitacionais representativas do Programa de Subsídio à Habitação de Interesse Social no município de Passo Fundo – RS. Foram realizadas medições in loco de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa do ar nos períodos de inverno e verão. Aplicou-se o procedimento simplificado da NBR 15220,

caracterizando-se as edificações e calculando-se propriedades como transmitância térmica das paredes e coberturas, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar. Utilizou-se o software EnergyPlus para modelar as unidades monitoradas, com o objetivo de obter as temperaturas horárias anual de cada tipologia construtiva e conhecer o índice PMV dos moradores.

Os resultados obtidos apontaram para o cumprimento da maioria dos limites estabelecidos pelo método simplificado das metodologias da NBR 15220 e do PNBR 136, à exceção do valor da transmitância da cobertura para o período de inverno.

Em relação à metodologia por desempenho do PNBR 136 (item 10.3 da parte 3), concluiu-se que as habitações atendem às condições mínimas exigidas no verão, já que tanto as temperaturas simuladas, como as medidas, são menores do que as do ambiente externo. No inverno, entretanto, as simulações de todas as unidades apresentaram temperaturas inferiores a 12°C, o que é confirmado pelas medições efetuadas nesta estação, onde apenas uma das habitações não apresentou temperatura inferior a 12°C. Verificou-se, dessa forma, que o desconforto térmico é maior devido ao frio do que devido ao calor, para a localidade estudada. O autor conclui ainda que a principal causa do desconforto no inverno está relacionada à cobertura leve, encontrada nas habitações estudadas.

Com relação às aberturas, a porcentagem de aberturas recomendadas pela NBR 15220 não foi atendida em nenhuma das unidades, recomendando-se uma área maior para ventilação natural, além disso, recomendou-se veneziana para sombreamento, garantindo o controle da entrada de luz pelos usuários. Quanto aos resultados obtidos por simulação e medição, a aplicação do software EnergyPlus para a avaliação do desempenho térmico de edificações apresentou resultados bastante próximos da realidade, sem que se tenham as limitações existentes nos dados medidos.

No trabalho de Krüger e Zannin (2006), também buscou-se avaliar o desempenho térmico e acústico de moradias populares construídas na Vila Tecnológica de Curitiba – PR. Para tanto, foram analisadas duas moradias com sistemas construtivos diferentes: sistema Batistella, composto de módulos e componentes pré-fabricados de madeira de reflorestamento; e sistema Constroyer, composto de painéis de EPS (poliestireno expandido) envolto em telas de aço eletrossoldadas e argamassa projetada.

Monitorou-se a temperatura e umidade relativa através de dataloggers HOBOS na estação inverno e verão. Através do método simplificado da NBR 15220, calcularam-se os valores de transmitância.

Com a análise dos resultados, observou-se que os materiais usados na envoltória passam a ser determinantes tanto nos ganhos/perdas de calor através dos elementos

construtivos quanto em sua capacidade de armazenar e reter calor, tendo o sistema com maior inércia térmica, o sistema Constroyer, apresentou os melhores resultados.

Na pesquisa desenvolvida por Leão (2006), analisou-se o desempenho térmico de duas unidades habitacionais para regiões de clima tropical, representativas das tipologias construtivas mais empregadas na construção de residências populares da cidade de Cuiabá – MT. Para avaliação do desempenho térmico das edificações, utilizaram-se três métodos de análise: avaliação por desempenho, avaliação por prescrição e verificação das frequências de temperatura.

As unidades de estudo, uma em alvenaria tradicional e outra em concreto pré-moldado, foram caracterizadas de acordo com os parâmetros expressos pelo método simplificado da NBR 15220. Foram feitas medições in loco do microclima interno das residências, nos períodos representativos de cada uma das quatro estações do ano. Com dados climáticos horários coletados no CPTEC/INPE da cidade de Cuiabá, utilizou-se o programa Analysis Bio para delimitação das horas de conforto e desconforto, comparando-se os dados do meio externo e interno. No estudo, adotou-se a zona de conforto térmico de Givoni (1992), com índices de temperatura entre 18°C e 29°C, como representativa para pessoas adaptadas aos climas existentes no Brasil. De acordo com a frequência das temperaturas de bulbo seco dentro da zona de conforto adotada, foram verificados os níveis de desempenho térmico das residências e comparadas entre si, para conclusões acerca da tipologia construtiva que melhor se adapta ao clima da região.

A partir da carta bioclimática de Givoni, observou-se que, no verão, as residências apresentaram índice zero de conforto enquanto que o clima externo apresentou 15% de conforto. A estratégia de resfriamento ativo (uso de ar condicionado) representou uma porcentagem média de 58% das horas. O uso da ventilação também foi destacado com média de 40% nas residências frente a 29% para o clima externo. No inverno, período analisado de maior conforto térmico nas edificações e de maior proximidade com o conforto externo, a porcentagem de conforto nas residências foi em média 54 e 55%, e 69% no exterior. Este período foi o único do ano onde a utilização do ar condicionado não foi requerido nas residências e no exterior sendo necessária o uso de aquecimento de 2% no clima exterior.

A partir da análise dos resultados, observou-se que a qualidade técnica das unidades habitacionais, com baixo custo de execução, utilização de materiais de construção de baixa qualidade e padrões construtivos mínimos; foi insuficiente para atingir o nível de conforto térmico desejado para a região de estudo. Paredes e coberturas leves com pouca massa e inércia, prejudicaram a capacidade térmica aumentando o índice de transmitância e

diminuindo o atraso térmico para o interior. Esquadrias com pouca área de ventilação, sombreamento inadequado das aberturas e implantação inadequada prejudicaram a ventilação cruzada, aumentando o ganho de calor pelas aberturas. O uso de cores fortes prejudicou todo o envoltório aumentando a temperatura das paredes em até 5,5°C .

O autor termina concluindo que as residências populares possuem ordem, espaço, proporção e características construtivas praticamente fixas em todo o Brasil, ou seja, não são projetadas respeitando-se o clima do local, mas sim seguindo um planejamento social e político.

Batista (2006), em sua dissertação de mestrado, procurou investigar o campo de aplicação de estratégias de condicionamento ambiental passivo, recomendáveis ao clima quente e seco, através de estudos de caso realizados em Santana do Ipanema – AL. A pesquisadora analisou o modo como os indivíduos lidam com as situações de desconforto térmico em ambientes diferenciados: residências naturalmente condicionadas e edificação comercial com condicionamento artificial.

Diante da tipologia predominante da cidade, destacou-se a inadequação das propriedades térmicas dos elementos construtivos, problemas relativos à ausência de sombreamento das aberturas e ao dimensionamento das áreas para ventilação. Quanto ao controle de ganho de calor solar, o uso de cores claras nas superfícies externas, o sombreamento adequadamente as aberturas e o uso de materiais com baixa transmitância térmica, principalmente na cobertura; foram estratégias recomendadas coincidentes com a NBR 15220 (2005).

Observou-se que os modelos preditivos utilizados na avaliação do conforto térmico apresentaram-se pouco representativos da realidade. Quanto à abordagem adaptativa, evidências da aclimatação ao calor foram observadas em todas as edificações, verificando-se também a necessidade de melhoria nas condições térmicas das residências monitoradas. O estudo destacou que, na visão do usuário, conceito de “conforto” está associado à ventilação, estratégia apontada para resfriar o ambiente interno. Verificou-se que tanto a ventilação noturna quanto o resfriamento evaporativo poderiam favorecer o conforto dos usuários.

Com este trabalho, a pesquisadora pôde afirmar que o contato efetuado durante a pesquisa de campo permitiu identificar aspectos importantes com relação às suas expectativas, sensações e preferências, as quais poderiam influenciar na concepção do projeto ou indicar modificações necessárias na edificação. Assim, reforça a necessidade de investimento em pesquisas de campo, a fim de promover a evolução do conhecimento relativo ao conforto térmico dos usuários das edificações, sob diferentes contextos climáticos.

2.6.2 Eficiência Energética e Desempenho Térmico

Alguns autores foram além da avaliação térmica buscando analisar o desempenho energético das edificações em função das características construtivas do clima local. De acordo com DOE (2006), as variáveis construtivas interferem no comportamento energético das edificações de forma que, quando pensadas conjuntamente, o edifício tem uma boa resposta com relação ao consumo de energia elétrica e ao conforto térmico.

Baseado nisso, Loureiro (2003) analisou o desempenho térmico e o consumo de energia de edificações residenciais na cidade de Manaus – AM, tendo por objetivo avaliar as reais condições térmicas das habitações da região, caracterizada por clima quente e úmido, com temperaturas elevadas durante todo o ano, baixas frequências de ventos e alta umidade relativa do ar. Primeiramente plotou-se, na carta bioclimática de Givoni, os dados climáticos da cidade, sendo obtidas as estratégias de ventilação natural (65%), ar condicionado (34,1%) e sombreamento durante todo o ano. Realizaram-se estudos de caso em quatro residências, baseados em medições horárias de temperatura de bulbo seco (TBS) e umidade relativa do ar (UR) no período de janeiro a março de 2002. Estes dados foram analisados através de comparações das TBS, das UR, das horas em desconforto e do desvio médio das temperaturas de cada residência. Paralelamente, foram investigados dados de conforto e de preferência térmica através de questionários aplicados aos moradores e também uma análise do consumo de energia elétrica de duas destas residências, com o objetivo de verificar a posse de equipamentos, hábitos de consumo e a representatividade da utilização de ar condicionado e ventiladores no uso final.

O período noturno foi o que apresentou desconforto interno mais evidente, já que as residências não estão expostas à ventilação. Assim, a autora sugere a ventilação cruzada e renovação de ar forçada durante o período noturno como estratégia de projeto para favorecer as trocas de ar, a salubridade dos ambientes e o conforto das residências de clima quente e úmido. Quanto aos questionários de sensação térmica, verificou-se que as sensações de conforto no momento das respostas relacionaram-se a faixa de temperatura de 25,6°C a 28,3°C, com desconforto por calor à temperatura de 29,5 °C e sensação de leve desconforto por frio à temperatura de 24,4 °C, conforme medições horárias realizadas.

Em geral, a análise dos desempenhos térmicos nas residências mostrou a necessidade de adequação da arquitetura local às reais condições climáticas da cidade, de maneira a atenuar o desconforto térmico e favorecer a eficiência energética.

Seguindo a mesma linha de pesquisa, Coelho (2006) buscou avaliar a influência de algumas características construtivas no consumo de energia de edifícios de escritório na cidade de Florianópolis – SC. Através de levantamento in loco e utilização de trabalhos desenvolvidos de Minku (2005) e Santana (2006), o pesquisador analisou características construtivas como: área, orientação solar da fachada principal, absorvância da cor externa, percentagem de área de janela, presença de proteção solar e índice de proporção, que representa a razão entre a largura e a profundidade. O consumo de energia por unidade de área dos escritórios foi obtido através da Central Elétrica de Santa Catarina, CELESC. A partir desses dados foram feitas correlações do consumo de energia com as características construtivas dos edifícios e escritórios (orientação solar da fachada principal, índice de proporção separado por orientação solar, e a área e o índice de proporção).

Através destas correlações, verificou-se a influência de cada característica construtiva no consumo de energia. As características construtivas que apresentaram tendências significativas e boa influência no consumo de energia foram: área, forma e orientação solar. Nos edifícios, as correlações com o índice de proporção apresentaram um baixo coeficiente de determinação e o consumo de energia diminuiu com o aumento do índice de proporção, variando-se o consumo mensal de energia em até 56%.

Na análise da orientação solar dos edifícios, as orientações oeste e sul são as que possuem os maiores consumos de energia, apresentando diferenças de até 75%. Analisando os escritórios separadamente, os maiores consumos médios mensais foram das orientações norte. Estes resultados coincidem com os resultados obtidos nas análises da forma separada por orientação e seguem a revisão bibliográfica. A maior variação do consumo de energia apresentada pelas orientações foi de aproximadamente 100%, ressaltando a importância da orientação na eficiência energética do ambiente. Nas correlações deste estudo, as características construtivas da edificação como cor externa, área de janela e presença de proteção solar não apresentaram grande influência no consumo de energia, ou então, não seguiram a tendência esperada.

Os principais resultados indicam que à medida que se aumenta o índice de proporção, que representa a relação entre a largura da fachada com maior área de janela e a profundidade, o consumo por unidade de área tende a diminuir nos escritórios. Diante das correlações envolvendo orientação solar, nos edifícios foi verificado um maior consumo nas orientações Oeste e Sul, respectivamente, e nos escritórios, os maiores consumos são das orientações Norte e Leste, respectivamente.

Ao contrário do que geralmente se observa em trabalhos sobre simulação

computacional do consumo de energia de edificações, as correlações obtidas nesta pesquisa apresentaram baixo coeficiente de determinação e nem sempre seguiram a tendência esperada, o que o autor explica pela influência de fatores que não foram levantados em seu estudo.

2.6.3 Desempenho Térmico de Componentes Construtivos

Prianto e Depecker (2003), do Laboratory CERMA, da Ecole d'Architecture de Nantes, na França, estudaram a otimização de elementos arquitetônicos em regiões tropicais úmidas com enfoque no conforto térmico. Os autores pesquisaram a influência de alguns elementos arquitetônicos na velocidade do ar interno em ambientes situados em regiões tropicais (clima quente-úmido). Baseados no conceito de que uma das condições para se obter conforto térmico em regiões caracterizadas por temperaturas e taxas de umidades altas é permitir velocidade do ar suficiente para remoção do calor, os pesquisadores buscaram encontrar o efeito de elementos como: sacadas, tipo e localização de janelas, divisórias internas, arranjo do layout, entre outros; na taxa de ventilação interna.

O estudo foi feito através de simulações de diferentes situações através do programa N3S, modelando-se a velocidade do ar para obter índices de conforto na altura de 1 e 1,5 metros acima do piso e com atividades de 1 a 1,25 met, ou seja, usuário em posição sentado e em pé, respectivamente. Para o estudo, manteve-se o nível de isolamento da vestimenta em 0,55 clo, umidade relativa em 70% e temperatura do ar em 28°C.

Para análise dos resultados utilizou-se um índice baseado no modelo PMV, que leva em conta a temperatura operativa e a temperatura efetiva. De acordo com os autores, tal índice foi aplicado por outros pesquisadores como Kwok (apud PRIANTO; DEPECKER 2003) e Brager e De Dear (2001). A escolha por tal índice baseia-se em estudos de campo onde foi comprovado que o modelo de Fanger não é adequado para predizer o conforto térmico em regiões de clima quente e úmido.

Com a pesquisa de Prianto e Depecker (2003) pode-se concluir que conforto térmico nem sempre está associado a altas taxas de velocidade do ar, sendo que a configuração correta de elementos como mobília, janelas e divisórias podem contribuir para um fluxo de ar desejável tanto para usuários sentados quanto para usuários em pé. A janela do tipo pivotante em 45° foi o modelo que apresentou melhor desempenho na contribuição à ventilação cruzada. A janela do tipo lanternim, de acordo com essa pesquisa, mostrou-se

eficiente tanto para atividades sedentárias quanto para outras de taxa metabólica mais elevada.

Em sua dissertação de mestrado, Gutierrez (2004) avaliou o desempenho térmico, em relação à radiação solar incidente, de protótipos com superfícies verticais transparentes protegidas por três tipologias brises-soleils na cidade de Campinas – SP.

Os dispositivos testados foram selecionados considerando as tipologias e materiais utilizados em edificações da arquitetura moderna brasileira entre os anos 1930 e 1960. O estudo realizou-se através de pesquisas de desempenho térmico de elementos e componentes construtivos aplicadas em protótipos. Foram levantadas as variáveis ambientais (temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, pluviosidade, direção e velocidade dos ventos), e variáveis dos protótipos (temperaturas do ar e superficiais), localizados em Campinas - SP. Foram analisados brise-soleil horizontal e vertical em madeira e concreto, e o elemento vazado (concreto), todos eles fixos e expostos nas fachadas norte ou oeste, durante uma semana em cada orientação, nos períodos próximos aos equinócios e solstícios de verão e inverno.

Nos ensaios realizados, os resultados mostraram a redução pontual de até 4,14°C na temperatura interna, dependendo do tipo de brise utilizado. O dispositivo com a melhor eficiência térmica foi o elemento vazado. Esse resultado era esperado, considerando a máscara de sombra mais abrangente gerada por essa tipologia. Entre as outras duas tipologias em ensaio, o melhor comportamento foi do brise-soleil horizontal. Seu comportamento demonstrou regularidade em ambas as fachadas e estações do ano. A tipologia horizontal apresentou bons resultados na orientação oeste, sendo melhor que a vertical, geralmente recomendada para essa orientação nos livros de projeto de arquitetura, ou seja, o brise-soleil vertical fixo perpendicular à fachada apresentou os piores resultados na fachada oeste, contrariando indicações usuais da literatura arquitetônica. Entretanto, na fachada norte, a tipologia vertical se mostrou importante, barrando os raios do início e final do dia, quando o sol está mais baixo no horizonte e a incidência da radiação direta é mais representativa no plano vertical do que para o horizontal.

Batista et al. (2005) analisaram a influência de diferentes tipologias de cobertura no desempenho térmico de uma edificação localizada na cidade de Brasília - DF. Para o estudo foi utilizado o programa EnergyPlus, versão 1.2.1., tornando-se possível verificar quais os períodos críticos de aquecimento e resfriamento da edificação pela cobertura. Nos modelos simulados mantiveram-se fixos os tipos do piso e das paredes, analisando três composições construtivas diferentes para a cobertura:

- Telha de barro + câmara de ar + forro de madeira;
- Telha de barro + câmara de ar + forro de madeira + lâ de vidro;
- Telha de barro + câmara de ar + laje de concreto

A partir dessas composições, variou-se a resistência, a transmitância e o atraso térmico da cobertura. Variou-se também as taxas de renovação de ar em 0,0075, 0,075 e 0,15m³/s. A análise dos resultados das simulações mostrou que a cobertura isolada apresentou-se como a mais indicada para as condições climáticas de Brasília, reduzindo os ganhos de calor através da cobertura em menos da metade em relação às outras duas configurações adotadas. No inverno, as perdas através da cobertura corresponderam aproximadamente um terço das perdas verificadas através das alternativas sem isolamento e com laje de concreto. Dessa forma, as simulações realizadas neste estudo indicaram que o uso do isolamento térmico na cobertura resultou em um desempenho mais satisfatório do que o uso da alternativa com maior capacidade térmica, sugerindo a adoção de estratégias de condicionamento passivo divergentes do que é proposto pelo projeto de Norma da ABNT como ideal para o clima de Brasília.

2.6.4 Normas e Metodologias de Avaliação Térmica

Ye et al (2003) apresentaram um estudo na Universidade de Hong Kong, China, sobre um novo enfoque para medição do voto médio predito (PMV) e Temperatura efetiva (SET). O estudo parte da preocupação em se trabalhar com índices de conforto representativos das sensações dos usuários no desenvolvimento de novos sistemas de controle para ambientes artificialmente condicionados.

Com bases nas discussões sobre o cálculo e medição dos índices PMV e SET, os autores propõem uma nova estrutura de sensor de conforto. A proposta de instrumento para medição de PMV e SET consiste na correlação de temperatura e umidade.

Em um sistema convencional de HVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado), a temperatura e a umidade do ar ambiente são controladas separadamente, sendo que somente o controle de temperatura é usado na maioria dos casos. Esses sistemas normalmente fracassam em prover condições de conforto térmico para seus ocupantes, além de ignorarem o potencial de conservação de energia do sistema. A radiação térmica normalmente exerce significativo papel nas trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente

do entorno. Em geral, as variáveis pessoais de conforto (metabolismo e isolamento de vestimentas) são de difícil medição, sendo frequentemente estimadas por tabelas. Porém, para o cálculo dos índices PMV e SET, é essencial conhecer os valores exatos de cada variável, o que os torna subjetivos. Pensando nisso, os autores sugerem determinar valores exatos de cada variável pessoal em um ambiente imaginário definido através da temperatura equivalente de Madsen (apud YE et al., 2003).

Foram simulados índices PMV e SET em ambientes reais e imaginários, considerando taxa metabólica de 1 e 1,5 met. Constatou-se que o índice PMV nos dois ambientes se assemelham muito para velocidade do ar menor que 0,5 m/s, sendo que a diferença máxima entre os ambientes é de 0,1 e ocorreu com Var igual a 0,8m/s. Os índices PMV e SET para ambiente imaginário e real apresentaram tendências semelhantes com a variação da umidade, observando diferenças máximas de 0,1 e 0,5, respectivamente. Observou-se que o cálculo do índice PMV no ambiente imaginário aproximou-se muito do valor encontrado para o ambiente real. A máxima diferença encontrada foi de 0,2 e na maioria dos casos, essa diferença é menor ainda.

Com o estudo, demonstraram que os índices calculados para o ambiente imaginário foram quase os mesmos que de um ambiente real, comprovado pelas simulações dos dois ambientes. Os resultados das simulações mostraram que o PMV e o SET sugeridos pelo sensor podem ter uma boa aplicação para o PMV, enquanto para o SET, mais trabalhos de pesquisa são necessários para melhorar a precisão dessas medições. Isso ocorre porque os índices PMV e SET baseiam-se em diferentes características e fatores. É importante ter mais trabalhos práticos que incluam a calibração e validação dos testes de sensibilidade do sensor frente às variáveis ambientais de condições reais.

Yoshida (2006), da Universidade Técnica de Lisboa, discutiu sobre as recomendações da norma NBR 15220, aplicando-a em um estudo de caso na cidade de São Paulo, situada na Zona Bioclimática 3. Para o estudo, foram simuladas – através do software EnergyPlus versão 2.0 – diferentes situações construtivas, variando-se características abordadas pela NBR 15220, com o objetivo de identificar quais são os parâmetros que mais influenciam no desempenho térmico das habitações.

As variáveis analisadas foram: cobertura (4 composições), paredes externas (4 composições), área dos vãos envidraçados (3 áreas), sombreamento (uso de veneziana) e ventilação natural. Para isso, modelou-se a edificação com características iguais para todas as simulações, como composição de piso e paredes internas, padrão de ocupação, e cargas provenientes de iluminação e equipamentos. Para a escolha da tipologia a ser simulada, a

pesquisadora realizou um trabalho de identificação de tipologias de habitação na cidade de São Paulo, apoiando-se em estudos já realizados por outros pesquisadores.

A partir da análise dos resultados obtidos por simulação, a autora concluiu que nas coberturas, a cor clara (α de 0,2) reduz em até 60% o número de horas de desconforto em relação à adoção por cor escura (α de 0,7) no verão; e no inverno, a cor escura reduz em até 10% do n.º. horas de desconforto, utilizando a Zona de conforto de Givoni, que considera aceitável TBS acima de 18 e abaixo de 29°C. Entretanto, embora as unidades estudadas tenham fator de calor solar dentro dos limites da NBR 15220, a diferença entre as cores externas resultou numa variação da TBS de até 123% no período de verão, o que implica na necessidade de revisão destes parâmetros e limites. A baixa transmitância térmica da cobertura (0,9 W/m²K) reduz em até 68 e 16,6% o número de horas de desconforto em relação à adoção por alta transmitância (4,5 W/m²K) no verão e inverno, respectivamente. Dessa forma, a autora propõe uma concordância com o limite estabelecido pela norma NBR15220 ($U < 2,0$ W/m²K).

Quanto ao atraso térmico, a autora constatou que o limite proposto pela norma não decorreu em diferenças significativas. Em relação às paredes externas, verificou-se uma concordância ao conjunto de limites propostos para a transmitância térmica, relação de área envidraçada e pavimentada e FCS. Quanto ao atraso térmico, os resultados apontaram como melhores alternativas aquelas com valores mais elevados e superiores ao limite recomendado pela norma. Constatou-se ainda que a variação da orientação oeste para sul resulta em uma diferença de 59,34% do n.º. horas de desconforto no verão; já no inverno, a variação da orientação sul para oeste gera uma diferença de 9,8% do n.º. horas de desconforto no inverno.

O aumento da área dos vãos envidraçados de 16% para 32% resultou em um aumento de 115 % do n.º. horas de desconforto no verão, e uma redução de até 4,2% do n.º. horas de desconforto no inverno. A autora destaca o estabelecimento de ventilação noturna, já que a diurna tende a igualar as temperaturas interna e externa, além do estabelecimento de ventilação cruzada ao invés de unilateral. O sombreamento dos vãos reduziu em até 98,9% do n.º. horas de desconforto no verão, confirmando essa estratégia como essencial e eficaz para o conforto térmico na estação mais quente.

No estudo realizado por Giglio e Barbosa (2006), aplicaram-se diferentes métodos de avaliação do desempenho térmico para analisar painéis de vedação em madeira, tendo por objetivo analisar a aplicabilidade dos métodos e a compatibilidade dos resultados obtidos pela diferentes metodologias. A avaliação do desempenho térmico dos painéis de

vedação em madeira foi realizada para a cidade de Londrina – PR, caracterizada como clima subtropical úmido e pertencente à zona bioclimática 3, segundo a classificação da norma brasileira de desempenho térmico (ABNT, 2005).

Primeiramente, avaliou-se os painéis de vedação isoladamente, considerando os métodos simplificados da NBR 15220 (ABNT, 2005) e do PNBR 136 (2004).

Os cálculos das propriedades térmicas foram efetuados segundo procedimento da NBR 15220. Em seguida, através da ferramenta de simulação francesa COMFIE, versão 3.4., obteve-se dados anuais de temperatura interna, os quais foram confrontados com os limites expressos pelo método do PNBR 136 (ABNT, 2004) e pelo método das horas de desconforto (BARBOSA, 1997).

A análise dos resultados mostrou que, apesar das características construtivas do painel de madeira atender aos limites expressos pelos métodos simplificados da NBR 15220 e do PNBR 136, as análises por desempenho comprovaram grandes oscilações climáticas no interior do protótipo, ocasionando grande amplitude térmica interna e picos de temperatura elevados. O uso da ferramenta de simulação garantiu dados anuais sobre os quais o método das horas de desconforto (BARBOSA, 1997) apresentou resultados com maior facilidade de interpretação. Em relação à NBR 15220, as autoras sugerem, no final do trabalho, uma reavaliação dos limites recomendados para a propriedade de atraso térmico, uma vez que valores mínimos para tal propriedade podem limitar o uso de fechamentos de pouca espessura na zona bioclimática 3.

2.7 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS DE SIMULAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO

Segundo Hagel (2005), a simulação termo-energética caracteriza-se por reproduzir um caso real através de um modelo que permite avaliar o comportamento térmico quando submetido a diferentes condições, tais como alterações dos fatores ambientais, características dos materiais do envoltório bem como cargas internas como pessoas, lâmpadas e equipamentos. Dessa forma, os objetivos da simulação térmica das edificações são: o cálculo de carga térmica, geralmente usado para dimensionamento de sistemas de condicionamento de ar, como ventiladores, chillers, boilers, fan-coils, etc.; e a análise energética, auxiliando na avaliação do custo de manutenção (consumo e demanda de energia)

de uma edificação ao longo dos anos (ENERGYPLUS, 2006).

Na avaliação de Romero (1995), os programas computacionais têm sido cada vez mais aplicados pelo fato de poderem ser utilizados tanto para projetos que ainda estejam em processo de concepção, como para aqueles que já se encontram construídos, e necessitam de algum tipo de modificação, para fins de análises de viabilidade.

De acordo com Menezes (2006), a utilização de programas de simulação tem sido cada vez maior, pois permitem diagnosticar um caso real modelado e avaliar o seu desempenho quando submetido a alterações de suas características (tipologia construtiva, uso, iluminação, equipamentos, etc.). Muitas vezes, as medições in loco se tornam difíceis e até inviáveis, principalmente quando deve ser realizado em construções habitadas. Da mesma forma, a facilidade na manipulação de variáveis, baixo custo e o tempo de processamento também contribuem para uma maior utilização de simulações computacionais. Com a simulação computacional, pode-se estimar o consumo de energia, seu custo, e até mesmo o impacto ambiental provocado pela alternativa de projeto antes mesmo de sua execução (MENDES et al., 2005).

Frente à necessidade de se utilizar cada vez mais softwares para simulação de ambientes, muitos programas computacionais nacionais e internacionais têm sido desenvolvidos, como: COMFIE (Calcul d'Ouvrages Multizones Fixé à une Interface Expert); THEDES; ARQUITROP; DOE; BLAST; e EnergyPlus.

Kusuda e Bejan (1981), ao comparar temperaturas e cargas térmicas medidas e simuladas pelos programas NBSLD, DOE-2 e BLAST-2, observaram que as temperaturas e a soma das cargas sensíveis horárias simuladas são geralmente maiores que as medidas. Kierkus et al. (apud ASHRAE, 1997) em uma simulação computacional através do software DOE 2.1, utilizaram três métodos diferentes para análise do ganho energético por radiação solar e observaram que nenhum dos métodos testados forneceu dados com a precisão necessária para prever a carga térmica por insolação.

Diante de resultados contraditórios encontrados por diversos autores quanto ao uso de softwares para simulação de carga térmica, Akutsu e Vittorino (1997), discutiram os métodos de avaliação do desempenho térmico de edificações, constatando que, por terem sido criados para países de clima frio, estão baseados na limitação das perdas térmicas, fixando valores para a resistência térmica e estanqueidade dos caixilhos. Sugerem que a avaliação esteja embasada não mais em regime permanente, mas nas condições dinâmicas de regime variável.

Nogueira e Debarba (2005), desenvolveram um estudo comparativo do

desempenho térmico dos materiais usados nas construções de Cuiabá (adobe, tijolo maciço e tijolo de 8 furos), através de medições in loco e simulação através do programa computacional ARQUITROP. Para a aplicação do programa foram necessárias algumas alterações no esquema original dos ambientes analisados, já que o ARQUITROP somente avalia projetos de dimensões quadradas ou retangulares.

As simulações computacionais foram feitas para os mesmos horários e dias do ano em que foram coletados os dados das medições in loco. Para o ambiente de adobe, não foi possível a comparação entre os valores das medições in loco e os fornecidos pelo ARQUITROP devido à falta de dados que pudessem inserir o sistema construtivo no banco de materiais do programa.

Com as medições in loco, observou-se que os tijolos de oito furos e os tijolos maciços apresentaram as temperaturas ambientais mais elevadas. Diante dos resultados das simulações, conclui-se que a utilização do programa de simulação computacional ARQUITROP é válida para a região de Cuiabá. Chega-se a esta conclusão pelo fato de que os valores médios obtidos através das medições in loco e do ARQUITROP estarem muito próximos. Porém, não se deve esquecer que, apesar dos valores serem próximos e o desempenho térmico compatível, existe diferenças quanto às médias, provavelmente ocasionadas pelas adaptações feitas aos esquemas das residências para a aplicação do programa de simulação. Os resultados obtidos por meio do programa de simulação ARQUITROP não podem ser considerados como sendo os valores fiéis do desempenho térmico das edificações; esses valores devem ser considerados como a média das temperaturas para o período estipulado.

Grings (2003) e Beyer e Grings (2004), analisaram o programa EnergyPlus, para condições climáticas da cidade de Porto Alegre, observando uma boa concordância entre os resultados simulados pelo programa e medidos experimentalmente. Além disso, observaram que os resultados para as diferenças de temperatura foram melhores que aqueles obtidos através do programa BLAST (predecessor do EnergyPlus). Concluíram que o EnergyPlus apresenta resultados confiáveis em simulações realizadas em edificações "termicamente pesadas" e sugere para futuros trabalhos a análise da simulação para edificações leves e médias, além da comparação de resultados computacionais e experimentais para outros tipos de climas brasileiros (outras cidades).

Cipriano, et al. (2003) ao analisar o consumo de energia elétrica de um ambiente climatizado em uma edificação "termicamente leve" localizada na cidade de Porto Alegre e, comparando os resultados medidos e simulados através do software EnergyPlus,

constatarem que o mesmo é um software confiável para simulações termo-energéticas. De acordo com Wallauer e Beyer (2003), que realizaram um estudo em edificações populares de quatro capitais brasileiras através do programa de simulação EnergyPlus, os resultados obtidos na análise térmica mostraram-se bastante coerentes com as condições externas e internas das residências.

Entretanto, de acordo com Mendes et al (2005), o uso de simulação de edificações no Brasil ainda está concentrado nas instituições de ensino e pesquisa, com pouca transferência da tecnologia para o setor privado. A complexidade das ferramentas existentes e a falta de programas nacionais são as principais causas da fraca disseminação dessa tecnologia no Brasil. Além disso, a falta de regularização no setor de desempenho térmico e energético do país inibe o desenvolvimento de ferramentas computacionais de apoio à avaliação do desempenho das edificações. Para Westphal e Lamberts (2005), um dos motivos para a pouca utilização de simulação energética de edificações por profissionais e escritórios de projeto é a falta de arquivos de dados climáticos horários para diferentes cidades.

2.7.1 EnergyPlus

O EnergyPlus, programa distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, é um software de simulação utilizado para avaliação de desempenho térmico e energético de edificações e foi criado a partir dos programas BLAST (Building Loads Analysis and Thermodynamics) e DOE-2.

De acordo com os autores Alves et al. (2005), o programa EnergyPlus consiste em uma coleção de módulos de programas que permitem calcular a energia requerida para climatizar um edifício, o que é feito simulando o edifício e os sistemas de energia associados sob diferentes condições ambientais e operacionais.

Conforme aborda Grings (2003), o balanço de energia utilizada pelo programa EnergyPlus é uma tentativa de descrever o invólucro da edificação como o Primeiro Princípio da Termodinâmica. Dessa forma a modelagem dos ambientes é definida por dois tipos de superfícies: as superfícies que armazenam energia e as superfícies que a transferem.

As primeiras são superfícies internas que dividem espaços com a mesma temperatura e as outras são superfícies externas ou internas que separam espaços com temperaturas diferentes. Neste caso, uma zona não é um conceito geométrico e sim, um

conceito térmico. Uma zona é um volume de ar com temperatura uniforme mais as superfícies externas (superfícies que transferem energia) e as superfícies interiores ao volume de ar (superfícies que armazenam energia). O que define uma zona térmica é o sistema de condicionamento de ar, dessa forma, dois ambientes, não adjacentes, podem formar uma zona térmica, desde que tenham a mesma temperatura e sejam servidos pelo mesmo sistema de condicionamento de ar.

O EnergyPlus utiliza um arquivo climático da região da edificação, com dados horários de temperatura, umidade relativa, ventos e radiação solar, permitindo que os cálculos do balanço de calor sejam realizados em intervalos menores que 1 hora. A simulação utilizando sistemas modulares permite a integração do cálculo do balanço de calor na zona térmica, entrada e saída de dados, possibilitando a sincronização com outras interfaces; além da inclusão do fluxo de ar entre múltiplos ambientes, ou simulação de energia elétrica incluindo células combustíveis, e outros sistemas de distribuição de energia.

De acordo com Menezes (2006), o programa simula o desempenho térmico e o consumo de energia da edificação a partir de dados de projeto e do meio externo:

- Arquivo climático horário do local da implantação;
- Caracterização geométrica da edificação;
- Caracterização dos componentes construtivos (paredes, cobertura, etc);
- Propriedades físicas dos materiais de construção (argamassa, tijolo, vidro, etc)
- Padrões de uso e ocupação;
- Cargas elétricas instaladas (iluminação e equipamentos);
- Características do sistema de condicionamento de ar;
- Estrutura tarifária de energia.

Quanto aos dados de saída do EnergyPlus, o usuário pode solicitar diversos tipos de relatórios do programa, com dados estimados durante o processo de simulação, incluindo temperatura interna de cada zona térmica, consumo de energia por uso final e carga térmica retirada ou adicionada pelo sistema de condicionamento de ar. Os principais arquivos de saída são (ENERGYPLUS, 2007):

- Arquivo de erros (.err), que lista os tipos e erros ocorridos no programa;
- Arquivo de variáveis de saída (.rdd), que lista todas as variáveis de saída para a simulação (temperatura média do ar interno, umidade interna, temperatura superficial das paredes internas, etc.);

- Arquivo de parâmetros (.eio) que especifica os parâmetros da simulação e lista os resultados dos cálculos das funções de transferência por condução;
- Arquivo de resultados da simulação (.eso), que possui interface com Excel, possibilitando a plotagem de gráficos dos resultados; e
- Arquivo de desenho (dxf), com interface no Auto Cad.

O programa ainda apresenta o índice PMV de Fanger, calculado a partir dos dados de entrada do projeto. Assim, pela flexibilidade de variáveis de simulação e crescente utilização em pesquisas científicas, adotou-se o EnergyPlus como ferramenta de simulação para este trabalho, somando-se à avaliação do desempenho térmico por medição in loco.

Matos et al. (2005) apresenta a simulação de um modelo hipotético de uma residência situada na cidade de Florianópolis, analisando a ventilação e sua interferência no conforto térmico durante o verão.

Os componentes construtivos do modelo seguiram as recomendações do Projeto de Norma de Desempenho Térmico para Habitações de Interesse Social. Para a realização das simulações foi utilizado o programa EnergyPlus. O modelo possui sala, cozinha e 2 dormitórios, pé direito de 3m e área de 51m², cobertura de telha de fibro cimento com forro de madeira e paredes de tijolos maciços rebocados. Foram simulados três casos com proteção solar: área de ventilação de 8%, 15% e 25% da área do piso e área de 8% sem proteção solar.

Para a sala o número de graus-hora calculado para o horário de ocupação, considerando a área de ventilação de 25%, máximo recomendado pela norma, foi superior aos resultados obtidos para as demais condições, indicando pior resultado. Para a cozinha e para os dormitórios, a hipótese de 25% de abertura para ventilação apresenta o menor valor de graus-hora. Uma dificuldade apontada na simulação pelos autores é na construção do modelo é assumir um padrão de uso para a ventilação, pois a forma de ventilação de uma edificação está intimamente ligada à cultura e à rotina das pessoas.

2.8 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Com base em toda a bibliografia consultada pode-se destacar a importância da qualidade térmica das habitações na melhoria das condições de habitabilidade da população de baixa renda. Observa-se também, a necessidade de considerar o entorno e o

clima local na concepção do projeto arquitetônico, favorecendo o desempenho térmico da edificação. Por fim, observa-se a existência de normas e metodologias que consideram a edificação como um todo na avaliação de seu desempenho, utilizando parâmetros que levam em conta a influência das variáveis de entorno, o microclima local e as características construtivas do projeto simultaneamente, indicando que o processo de normalização brasileiro tem ainda muito que progredir.

CAPÍTULO 3.
MÉTODOS E MATERIAIS

3 MÉTODOS E MATERIAIS

A pesquisa foi realizada na cidade de Londrina, localizada ao norte do estado do Paraná, com população de 428.808 habitantes e densidade demográfica de 259 a 291 hab/ km², conforme o censo 2000 do IBGE (2000).

A escolha pela cidade de Londrina deu-se pela facilidade na obtenção de dados por parte da pesquisadora, principalmente quanto ao monitoramento das edificações estudadas. O clima de Londrina, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, ou seja, clima subtropical úmido, com chuvas em todas as estações, podendo ocorrer secas no período de inverno. A temperatura média do mês mais quente é, geralmente, superior a 25,5°C e a do mês mais frio, inferior a 16,4°C. Levantamento feito pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR, 2007) constatou que a temperatura média anual em 2006 foi de 22,1°C, com média máxima de 28,5°C e média mínima de 17,2°C; e em 2007 a temperatura média anual foi de 23,0°C, com média máxima de 29,2°C e média mínima de 17,5°C, ou seja, houve aumento das temperaturas. A cidade, localizada em um espigão, apresenta verão quente e inverno ameno, com índices de umidade relativa do ar em torno de 76% no verão e 72% no inverno, e com a umidade relativa média do ano situada em torno de 69%. A altitude da área urbana central da cidade é de 608 metros acima do nível do mar, sempre beneficiada por um regime pluviométrico bem distribuído durante todo o ano, sendo raríssimos os períodos de grandes estiagens ou chuvas prolongadas. Segundo o IAPAR, a precipitação pluviométrica anual em 2005 foi de 1.426 mm, sendo janeiro, setembro e outubro, os meses mais chuvosos e fevereiro, março, maio e agosto os meses mais secos.

3.1 ESTUDO DE CASO

O trabalho desenvolveu-se através de estudos de unidades habitacionais, a fim de mostrar a influência das condições do entorno no desempenho e conforto térmico. O intuito é justificar que não são apenas as características construtivas, como as propriedades físicas dos materiais (absortância, transmitância, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar), que interferem no desempenho e conforto térmico. Dessa forma, foram escolhidas quatro unidades residenciais com características construtivas semelhantes (mesmos materiais

de construção e projeto arquitetônico) e características de entorno local diferentes.

3.2 ESCOLHA DAS UNIDADES DE ESTUDO

A partir do objetivo desse trabalho, que é identificar parâmetros de avaliação que considerem a influência das variáveis de entorno no desempenho térmico de habitações de interesse social, a escolha das unidades de estudo teve que atender às variáveis que se quer pôr em discussão quanto à sua validade na consideração pelas normas de desempenho térmico. Assim, os casos de estudo contemplam condições de entorno distintos, porém, mantendo-se fixas as características construtivas, aqui consideradas como sendo aquelas relativas às propriedades físicas dos materiais de construção usados e de projeto arquitetônico (proporção entre áreas de piso e de aberturas). Dessa forma, pode-se comprovar a influência de aspectos do entorno na resposta térmica da edificação, sendo estes, portanto, parâmetros de avaliação importantes e indispensáveis na avaliação representativa da qualidade térmica das habitações.

As unidades de estudo estão contidas no mesmo conjunto habitacional; ou seja, ter o mesmo projeto arquitetônico. Além disso, é importante que o conjunto a ser adotado no estudo tenha sido recentemente implantado, para que se encontrassem unidades habitacionais sem alterações de projeto, ampliações ou reformas. Dessa forma, foi escolhido o Conjunto Habitacional São Vicente Palotti, apresentado na Figura 9, que se encontra implantado na zona leste da cidade de Londrina. Este conjunto pertence ao programa de habitação popular financiado pela Caixa Econômica Federal, com apoio da Companhia de Habitação do Paraná (COHAB), entretanto, a construção é de responsabilidade da Construtora Companhia Geral de Engenharia (CGE).



Fonte: www.maps.google.co.br

Figura 9 – Foto aérea do Conjunto Habitacional São Vicente Palotti

O Conjunto São Vicente Palotti apresenta três tipologias diferentes de unidades unifamiliares térreas. A primeira tipologia apresenta-se recuada nas duas laterais do lote (tipo 1). A segunda (tipo 2) e a terceira tipologia (tipo 3) apresentam-se encostadas no alinhamento lateral direito do lote e o que as difere é a disposição do telhado: inclinação para frente e para os lados, respectivamente.

Para este estudo foram analisadas edificações pertencentes à tipologia 2, por apresentar-se em maior quantidade no conjunto e pela coincidente facilidade na obtenção de dados junto aos moradores. Considerando então a tipologia 2, foi preciso escolher qual ambiente interno seria medido para a verificação das temperaturas e umidades internas. Nessa escolha, privilegiaram-se ambientes de longa permanência, nos quais os equipamentos de medição não interferissem muito no cotidiano dos moradores. Além disso, a disponibilidade de apenas 4 equipamentos de medição fez com que a escolha se limitasse a um único ambiente por edificação. Assim, foi escolhido o dormitório de 10,45 m², que se encontra na parte frontal das unidades tipo 2, junto à divisa lateral direita do lote.

Em uma análise preliminar da implantação do Conjunto, foram selecionadas diferentes condições de entorno a partir de uma mesma tipologia construtiva (tipo 2). Tais condições são: topografia do entorno, orientação do terreno em relação ao Norte e sombreamento das fachadas expostas. O estudo de caso proposto deseja, portanto, verificar a influência dessas condicionantes de entorno no desempenho das unidades habitacionais em questão e no conforto térmico de seus moradores. O conhecimento desta influência servirá como base de apoio para adoção de parâmetros mais eficientes de avaliação da qualidade térmica da edificação.

Conhecidas as variáveis cuja influência no conforto térmico se desejava verificar, buscou-se unidades residenciais que apresentassem as características construtivas acima mencionadas, de forma que se pudesse comparar o desempenho e conforto térmico entre elas. Assim, foi escolhida uma residência como caso base, que serviu como comparação para as outras unidades. As outras três edificações foram escolhidas tendo em vista as características de entorno que se desejavam verificar.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES DE ESTUDO

Para dar suporte às avaliações pelos métodos e normas adotados para estudo, foi feita a caracterização das edificações levando-se em conta os seguintes aspectos:

- Propriedades físicas dos materiais usados nas coberturas e paredes e área de aberturas em relação à área do piso;
- Condições do entorno;
- Levantamento in loco da temperatura do ar (TBS), temperatura de globo (TG) e umidade relativa (UR) nos períodos típicos de verão e inverno;
- Levantamento -por simulação- da temperatura do ar e outras características necessárias para aplicação das metodologias de avaliação por desempenho, no período de um ano, a partir dos dados climáticos do ano de referência da cidade de Londrina.
- Levantamento -através de entrevistas- das atividades exercidas em cada unidade de estudo e o tipo de vestimenta normalmente usada pelos moradores nos períodos típicos de verão e inverno.
- Levantamento -através de entrevistas- das sensações térmicas dos usuários em relação à sua unidade habitacional, nos períodos típicos de verão e inverno.

Na caracterização construtiva das unidades habitacionais foi utilizado o programa de desenho Auto Cad, máquina fotográfica digital, plantas dos projetos residenciais fornecidos pela COHAB (2007), e memorial descritivo, obtido junto à construtora responsável pela obra. Tais informações foram confirmadas in loco quando das visitas às unidades.

A tipologia básica das unidades possui 47,40m², implantada em um terreno de 10 metros de largura por 25 metros de comprimento (figura 8). As paredes são constituídas de tijolo cerâmico furado (14x19cm), rebocadas nos dois lados por uma camada de 1,2cm e

revestidas com tinta látex cor branca e bege, nas áreas externas e internas, respectivamente.

As áreas úmidas, caracterizadas pela cozinha e banheiro, são revestidas internamente por revestimento cerâmico. O piso é constituído por uma camada de 5cm de contra piso em concreto, 3cm de cimento alisado e revestido por piso cerâmico.

A figura 10 representa a planta da tipologia básica das unidades habitacionais, com destaque ao ambiente onde foi realizado o monitoramento dos dados climáticos internos de verão.

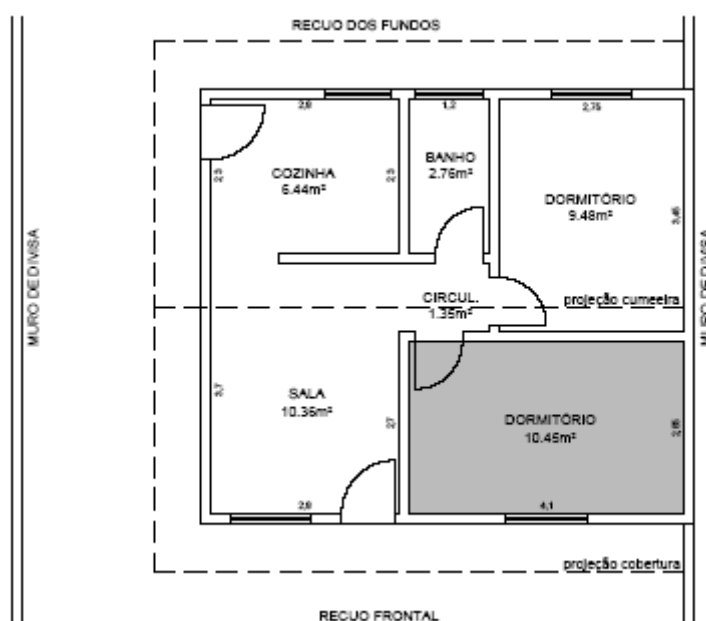


Figura 10 – Tipologia básica das unidades de estudo

A cobertura em duas águas é composta por telhas cerâmicas com inclinação de 30%, estrutura de madeira e laje maciça de concreto (9cm), rebocada na parte inferior com emboço de 2cm e revestida por tinta látex na cor bege.

As aberturas encontram-se voltadas para frente e para o fundo do terreno, conforme ilustrado na figura 10. As janelas dos dormitórios, do tipo de correr, constituem-se de vidro transparente de 3mm e veneziana metálica pintada na cor chumbo. A janela da sala, do tipo de correr, não possui nenhum elemento de sombreamento externo. As janelas da cozinha e banheiro são do tipo basculante, de vidro martelado 3mm.

A partir das especificações de materiais, contidas no memorial do projeto, obteve-se as propriedades térmicas dos materiais construtivos utilizados, as quais serão mostradas no capítulo 4.

3.3.1 Caso Base

A edificação escolhida como caso base “B”, está implantada na parte alta da topografia do Conjunto, próxima a curva topográfica 554 metros, garantindo boa ventilação. Quanto à orientação em relação ao Norte, o lote é voltado para a face nordeste, sendo assim, o ambiente onde foram coletados os dados tem suas fachadas expostas ao nordeste (frente da casa) e a noroeste (muro de divisa do lote). Quanto ao sombreamento das fachadas expostas, o ambiente não apresenta nenhum elemento de proteção à insolação direta, ou seja, não há nenhum elemento na fachada nordeste nem na fachada noroeste (lote vizinho sem cobertura na garagem).

A frente do terreno apresenta-se em terra batida, com uma pequena área de passagem pavimentada (figura 11). No passeio não há arborização e o alinhamento predial não possui barreira física, portões ou grades, permitindo a livre circulação do ar. Além disso, a divisa com o lote dos fundos não apresenta muro, o que pode ser visto na figura 11.



Figura 11 – Fachada do caso base (B)

3.3.2 Caso Topografia

Nessa unidade habitacional deseja-se verificar a influência da variação topográfica no desempenho térmico, o que pode ser analisado através da comparação com o

caso base. Dessa forma, o caso topografia “T” apresenta-se implantado na parte baixa do Conjunto Habitacional, próxima a curva topográfica 535 metros. A casa foi construída sob um aterro, pois o declive para os fundos é acentuado, em virtude da presença de um vale. Não há arborização no passeio, entretanto, toda a quadra frontal ao lote é uma praça gramada, com campo de futebol. No recuo frontal de 5 metros há um jardim, com passagens pavimentadas e a entrada é marcada com portões de alta permeabilidade visual, garantindo boa ventilação, o que pode ser observado na figura 12.

Quanto à orientação em relação ao Norte, o lote é voltado para a face nordeste, sendo assim, o ambiente onde foram coletados os dados tem suas fachadas expostas ao nordeste (frente da casa) e ao noroeste (muro de divisa do lote). Quanto ao sombreamento das fachadas expostas, o ambiente não apresenta nenhum elemento de proteção à insolação direta (lote vizinho sem cobertura na garagem). Essas duas últimas características projetivas se mantiveram fixas em relação ao caso base, variando-se apenas a posição topográfica no conjunto.



Figura 12 – Fachada do caso topografia (T)

3.3.3 Caso Orientação

No caso orientação “O” deseja-se verificar a influência da orientação do terreno (e por conseqüência, do projeto) em relação ao Norte geográfico no desempenho térmico, o que pode ser analisado através da comparação com o caso base. Dessa forma, o terreno da unidade é voltado para a face sudoeste, sendo assim, o ambiente medido tem suas

fachadas expostas ao sudoeste (frente da casa) e ao sudeste (muro de divisa do lote). A frente da casa encontra-se com áreas pavimentadas e em terra batida, um muro com portão bem alto separa o terreno da calçada (figura 13). A divisa dos fundos também é marcada pela presença de muro alto, o que dificulta a ventilação natural dos ambientes internos.

Quanto à topografia do terreno, a unidade apresenta-se implantada na parte alta do Conjunto Habitacional, próxima à curva topográfica 553 metros. Quanto ao sombreamento das fachadas expostas, o ambiente não apresenta nenhum elemento de proteção à insolação direta, ou seja, não há nenhum elemento na fachada norte nem na fachada oeste (lote vizinho sem cobertura na garagem). Essas duas últimas características projetivas se mantiveram fixas em relação ao caso base, variando-se apenas a orientação do projeto em relação ao Norte.



Figura 13 – Fachada do caso orientação (O)

3.3.4 Caso Sombreamento

No caso sombreamento “S” deseja-se verificar a influência do sombreamento das fachadas exposta à radiação solar direta no conforto e desempenho térmico, o que pode ser analisado através da comparação com o caso base, o qual não apresenta proteção à incidência dos raios solares. Para efeito desse trabalho, será estudado apenas o sombreamento da fachada lateral (noroeste). Dessa forma, a unidade habitacional apresenta a fachada lateral oeste sombreada pela cobertura da garagem do terreno vizinho, executada com telhas cerâmicas sem forro.

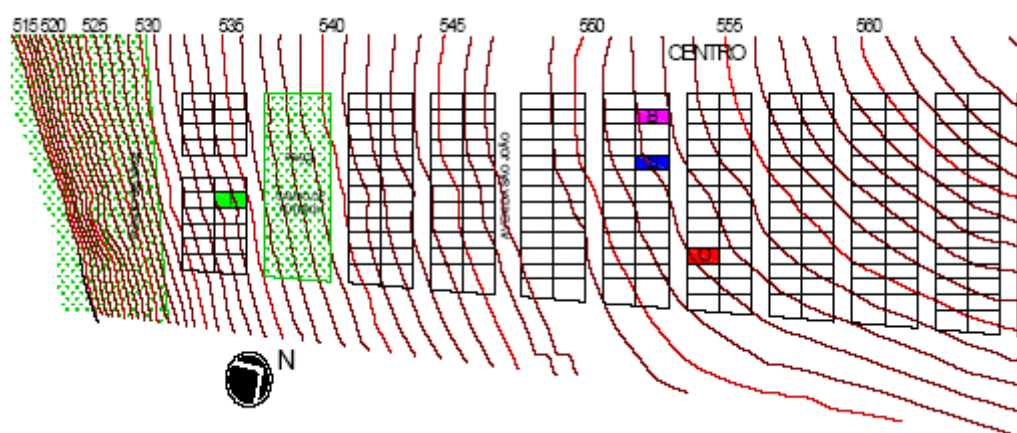
Quanto à topografia do terreno, a unidade apresenta-se implantada na parte alta do Conjunto Habitacional, próxima à curva topográfica 553 metros. Quanto à orientação em relação ao Norte, o lote é voltado para a face nordeste, sendo assim, o ambiente onde foram coletados os dados tem suas fachadas expostas ao nordeste (frente da casa) e ao noroeste (muro de divisa do lote). Essas duas últimas características projetivas se mantiveram fixas em relação ao caso base, variando-se apenas o sombreamento da fachada lateral. Nesta unidade habitacional, há um jardim no recuo frontal e no dos fundos, o que pode ser observado na figura 14. O fechamento é feito com muro e portão de entrada do carro.



Figura 14 – Fachada do caso sombreamento (S)

A figura 15 apresenta todo o conjunto habitacional com as curvas de nível e as referências espaciais, com destaque às unidades habitacionais escolhidas para o estudo, conforme legenda:

- B: caso base
- T: caso topografia
- O: caso orientação
- S: caso sombreamento



Fonte: Adaptado de COHAB-LD

Figura 15 – Implantação do Conjunto Habitacional São Vicente Palotti

3.4 COLETA DE DADOS

A pesquisa de campo, a medição de TBS, UR e TG e o levantamento das sensações de conforto objetivaram servir como subsídio à avaliação do desempenho térmico das edificações em estudo.

3.4.1 Monitoramento das Variáveis Ambientais Internas

Foram realizadas medições in loco da TBS, TG e UR no interior das habitações de estudo, no período típico de verão (de 15 de dezembro de 2006 a 27 de fevereiro de 2007), totalizando 75 dias. No inverno, foram realizadas medições de 05 de junho a 18 de agosto de 2007, totalizando 75 dias. Tanto nas medições de verão quanto de inverno, não foi necessário descarregar os dados armazenados durante as medições, devido à alta capacidade de armazenamento de dados do equipamento.

A aquisição dos dados de TBS, TG e UR foi realizada com o auxílio de equipamentos eletrônicos chamados HOBO® Temp Data Logger da Onset Computer Corporation, os quais operam na faixa de temperatura de -40 a 120°C e armazenam valores de -40 a 75°C, com precisão de $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ (figura 16), cedidos pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Os HOBOS têm capacidade de armazenar até 5.000 dados de temperatura e umidade, dependendo do período e intervalo de aquisição dos dados, definido pelo pesquisador. Na medição das variáveis internas no período de verão, optou-se pelo intervalo de 30 minutos entre as aquisições de dados. Entretanto, como o banco de dados das variáveis externas apresentava dados horários, para o monitoramento de inverno os equipamentos HOBOS foram programados para adquirirem os dados a cada hora, facilitando no tratamento dos dados e análises. Antes da instalação dos HOBOS nas residências, eles foram aferidos colocando-os em um recipiente metálico hermeticamente fechado. Após 24 horas, os equipamentos foram retirados do recipiente e conectados ao computador para que os dados fossem descarregados e analisados sob forma de gráfico, os quais são mostrados no capítulo de resultados (item 4.2.1).

Quanto à proteção contra radiação, mencionada pelas recomendações da ISO 7726 (1996), foi montado um abrigo para proteger os equipamentos registradores de dados da influência da incidência de radiação. O abrigo foi confeccionado em garrafa plástica tipo PET com aberturas para ventilação na parte inferior e superior e recoberta por lâminas refletivas de papel alumínio em sua face externa, conforme mostra a figura 17.

Um sensor externo de captação de dados foi conectado ao HOBOS e inserido no interior de um globo negro para obtenção das TGs. Devido à indisponibilidade de globos padronizados, utilizaram-se globos de material plástico de 9 cm de diâmetro pintadas com tinta preta fosca. Tal adaptação foi utilizada por Batista (2006), que obteve resultados válidos com o sistema adaptado (figura 17).



Figura 16 – Equipamento de medição HOBOS



Figura 17 – Proteção contra radiação e Globo negro

Em virtude da quantidade limitada desses sensores, foi disposto apenas um conjunto de sensores em cada unidade habitacional, de forma que os resultados encontrados sejam passíveis de comparação. Os sensores foram colocados em ambientes de longa permanência, conforme indicado pela NBR 15220 (ABNT, 2005), ou seja, no dormitório do casal, que se encontra na parte frontal da unidade tipológicas 2, conforme mencionado anteriormente (item 3.2.)

Com relação ao posicionamento do equipamento no ambiente, observou-se que cada unidade possui uma disposição de mobiliário distinta, dificultando a instalação do equipamento no mesmo local para todas as unidades. Após estudo das possibilidades existentes, optou-se por instalar o equipamento acima da porta de entrada do dormitório (preso ao teto), a aproximadamente 2,20m do piso, o que pôde ser repetido em todas as unidades, garantindo assim, iguais condições de entorno em relação à ventilação e radiação vindas da janela (figura 18). Dessa forma, o posicionamento dos sensores foi estabelecido de forma a não interferir no cotidiano dos moradores e garantir igualdade de condições de ventilação para todas as unidades monitoradas.



Figura 18 – Disposição do equipamento no ambiente

Depois de coletados, os dados obtidos pelas medições dos períodos de verão e inverno foram transferidos para um microcomputador, gerando um arquivo .txt, analisado e tratado com o auxílio do programa Microsoft Excel.

Calcularam-se as TBS, TG e UR máximas, médias e mínimas, analisando as condições térmicas de cada unidade em estudo em função das variáveis de entorno. O atraso térmico diário foi calculado obtendo-se o horário da máxima temperatura externa. A partir desse horário, procurou-se o horário da máxima temperatura interna registrada. A diferença entre esses dois horários – entre a TBS máxima externa e a TBS máxima interna - foi dada como atraso térmico (ϕ , dado em horas). Para o cálculo da capacidade de amortecimento das edificações, utilizou-se a metodologia aplicada por Papst (1999), no qual o amortecimento térmico diário é a relação entre a amplitude interna de cada ambiente pela amplitude externa.

Os dados medidos possibilitaram a avaliação térmica do ambiente através do PNBR 02:136.01.001 (ABNT, 2004); da Zona Bioclimática de Givoni nos períodos típicos de verão e inverno (com a ajuda do software Analysis Bio, item 2.4.6.); do Método de Desconforto de Barbosa; e da norma ISO 7730:1994, através dos índices PMV/PPD gerados com o auxílio do programa Analysis CST (item 2.4.4.).

3.4.2 Obtenção das Variáveis Climáticas Externas

A coleta e o tratamento dos dados climáticos do ambiente externo têm por objetivo auxiliar a análise e compreensão dos resultados obtidos da avaliação térmica das edificações em estudo.

- **Dados horários do período de medição**

Os dados climáticos do ambiente externo equivalentes ao período de medição nas habitações foram obtidos junto a uma estação de medição montada no Campus da Universidade Estadual de Londrina (UEL), para pesquisas afins. Esses dados apresentam a TBS e UR do ambiente externo, registrados com intervalos de 1 hora e encontram-se em formato .xls. Foram utilizados como comparação para análise dos dados obtidos por medição in loco, para aplicação do método do PNBR 02:136.01.001 (ABNT, 2004); para montagem da Zona Bioclimática de Givoni para o ambiente externo nos períodos típicos de verão e inverno (com a ajuda do software Analysis Bio); e aplicação do Método de Desconforto de Barbosa.

- Dados diários do período de medição

Além dos dados fornecidos pela UEL, obtiveram-se relatórios mensais referentes aos meses de dezembro de 2006, janeiro, fevereiro, junho e julho de 2007 junto à estação agrometeorológica do IAPAR, da cidade de Londrina.

Os relatórios apresentam dados relativos a cada dia do mês, como temperaturas máximas, médias e mínimas diárias; umidade relativa média; estado geral do tempo; direção predominante do vento; insolação; entre outras variáveis climáticas externas. Por se tratar de dados diários, esses relatórios servirão como apoio para análise dos resultados das avaliações térmicas, principalmente por trazer informações sobre direção do vento e condições do tempo a cada dia em que as unidades foram monitoradas.

Tanto a estação de medição do Campus da UEL, quanto do IAPAR, localizam-se distantes do conjunto onde se encontram as unidades habitacionais deste estudo.

A figura 19 mostra uma imagem da cidade de Londrina com destaque aos pontos de medição dos dados climáticos. A partir do levantamento da região, nota-se uma distância aproximada de 8,8 Km entre o conjunto habitacional e a UEL, 6 Km entre o conjunto e o IAPAR, e 5 Km entre as duas estações climáticas de dados externos, a UEL e o IAPAR.



Fonte: <http://earth.google.com/intl/pt/>

Figura 19 – Vista da cidade de Londrina, com destaque aos pontos de monitoramento climático

A utilização dos dados obtidos pela estação da UEL deu-se por ser o único banco de dados horários e atualizados disponíveis ao pesquisador, dessa forma, usaram-se esses dados para avaliação do desempenho térmico das habitações além de parâmetro de comparação entre os dados climáticos internos obtidos em cada habitação. Os dados obtidos junto ao IAPAR também são atuais, porém são fornecidos através de valores diários, com médias, mínimas e máximas.

3.4.3 Simulação das Variáveis Ambientais Internas

O objetivo da simulação neste trabalho é obter dados horários para o ano inteiro, já que a medição *in loco* só foi feita nos períodos típicos de verão e inverno. Além disso, a partir da modelagem do cálculo da carga térmica, almeja-se conhecer a resposta das edificações frente às condições climáticas locais, influenciadas pelas características diferenciadas do entorno próximo. A modelagem iniciou-se pelo caso base, utilizado neste estudo como fonte de comparação às outras unidades habitacionais.

Os dados de entrada para o programa EnergyPlus consistem basicamente na determinação de algumas variáveis de projeto e na caracterização do uso da edificação.

O período de simulação escolhido inicia-se em 1º de janeiro e termina em 31 de dezembro. Para o local de simulação, foi determinada a cidade de Londrina, com latitude $-23,3^\circ$, longitude $-51,22$, fuso horário -3 e altitude 576 metros.

Para determinação dos materiais construtivos utilizados em todo o projeto, observaram-se as propriedades térmicas como rugosidade, espessura, condutividade, densidade, calor específico e absorvância; caracterizando materiais como concreto, argamassa, telha, etc. Também foram caracterizadas as propriedades termo-físicas das camadas de ar presentes em cerâmicas e telhados. Os tipos de vidros utilizados nos fechamentos foram detalhados de acordo com suas propriedades térmicas e ópticas. Após a caracterização individual de cada material, formaram-se as composições dos fechamentos, tais como, pisos, paredes, coberturas e janelas.

Para a determinação geométrica das zonas térmicas, levou-se em consideração o projeto arquitetônico e o comportamento individual de cada ambiente, no intuito de modelar com a maior veracidade possível as condições térmicas e de entorno existentes no conjunto habitacional. Para isso, a tipologia básica foi modelada considerando-a

uma zona térmica única, chamada de ZONA 1 (com destaque em laranja). O ambiente onde se realizaram as medições in loco, o dormitório do casal, foi modelado separadamente, denominado de ZONA 2 (em vermelho). Dessa forma, considerou-se, padrões de uso e ocupação diferenciados para as zonas 1 e 2. Os muros laterais e de fundo, bem como a projeção do lote no solo também foram considerados como superfícies de transferência de calor, modelados como ZONA 3 (em verde), no objetivo de simular a influência do sombreamento causado pelos muros de divisa e a incidência dos ventos predominantes nas unidades de estudo. Ainda para simular a influencia causada pelo entorno, foi modelado a unidade habitacional que faz divisa com a parede do dormitório da ZONA 2 (em azul). As imagens abaixo (figura 20) ilustram as zonas térmicas consideradas na simulação.

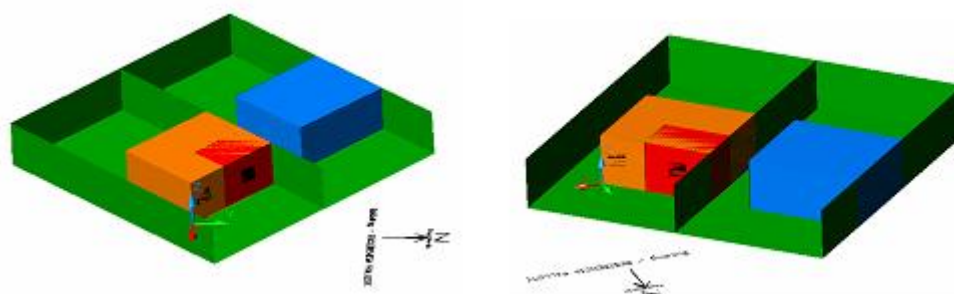


Figura 20 – Perspectivas dos volumes das zonas térmicas modeladas na simulação

Para efeito de estudo dos resultados e aplicação das metodologias de avaliação, foi analisada somente a ZONA 2, tornando os resultados passíveis de comparação com a situação térmica encontrada nas residência através das medições in loco.

Após a determinação geométrica dos limites espaciais de cada zona térmica, foi feito o dimensionamento e posicionamento das aberturas, janelas e portas, caracterizadas como superfícies de transferência de calor diferenciadas dos fechamentos.

O padrão de ocupação usado na modelagem objetivou maior semelhança com o padrão de uso real dos ambientes, de acordo com levantamentos feitos por observação e entrevistas. Dessa forma, optou-se em adotar um padrão de ocupação de quatro pessoas na zona 1 e 2 pessoas na zona 2, por tratar-se do dormitório do casal.

As cargas térmicas devido a equipamentos elétricos também foram analisadas de forma distintas para cada zona modelada. Na zona 1 utilizou-se a taxa de 800W, representando o consumo de equipamentos gerais como eletrodomésticos, chuveiro, lâmpadas, etc. Na zona 2 foi considerada uma taxa de 100W, já que os equipamentos

presentes nesse ambiente se resume basicamente a lâmpada, ventilador e rádio-relógio.

Para cálculo da taxa de infiltração de ar nas zonas térmicas, foi utilizado o método de cálculo apresentado em Lamberts et al. (2006), adotando métodos distintos para cálculo de ventilação cruzada e ventilação unilateral. Através das áreas de aberturas, posicionamento das aberturas, fluxo do ar médio, etc; estimou-se uma taxa de ventilação de 0,49m³/s para a zona 1 (ventilação cruzada); e 0,018 m³/s para a zona 2, onde há apenas uma abertura, caracterizando ventilação unilateral.

A determinação de padrões de uso e ocupação foi feito através de esquemas (schedules) diários, semanais, mensais e anuais, buscando maior semelhança com o padrão de uso real dos ambientes, baseando-se sempre nos levantamentos feitos por observação e entrevistas com os moradores.

Adotou-se um padrão de ocupação igual para as quatro unidades, assegurando uma análise mais precisa da influência das variáveis de entorno. De segunda a sexta-feira, entre 18:00 – 7:00, a ocupação foi considerada de 100%, sendo que entre 8:00 - 18:00 a ocupação foi reduzida em 50%, por ser o horário de trabalho dos moradores. Para os sábados, domingos e feriados consideraram-se ocupação de 100% para o dia todo. Este esquema foi mantido para o ano todo e determinou o padrão de ocupação das zonas 1 e 2.

O padrão de uso de equipamentos elétrico adotado diferenciou os dias da semana do fim de semana. Para segunda a sexta-feira, entre 22:00 – 06:00, definiu-se um uso de 15% da carga térmica devida aos equipamentos como geladeira, estabilizadores, ventiladores e iluminação externa. Entre 7:00 – 17:00 e 20:00 – 21:00, adotou-se valor de 28% de uso, ficando o horário das 18:00 – 19:00, com utilização máxima dos equipamentos elétricos, 100%; devido ao uso dos chuveiros elétricos. Para sábados, domingos e feriados, alterou-se a utilização entre 11:00 -17:00 e 20:00 - 22:00 para 35%. Este esquema foi mantido para o ano todo e determinou o padrão de uso de equipamentos elétricos das zonas 1 e 2.

Na determinação do padrão de atividade metabólica, utilizou-se a taxa máxima de 120 met, para atividades como trabalho doméstico; e mínima de 46 met para atividade de repouso (ISO 7730, 1994). Para a zona 1, entre 22:00-5:00, considerou-se nível de atividade metabólica igual a 46 met; entre 6:00-11:00 e 17:00-21:00, taxa de 80 met; e entre 12:00-16:00, taxa de 120 met. Para a zona 2, caracterizada pelo ambiente dormitório, utilizou-se nível de atividade metabólica igual a 46 met entre 20:00-6:00 e nenhuma atividade entre 7:00-19:00. Esses esquemas foram mantidos para todos os dias do ano.

Para determinação dos esquemas de infiltração de ar, utilizou-se valor máximo, 100%, quando as janelas encontravam-se abertas e 0% quando estavam totalmente

fechadas, além de diferenciar as infiltrações no período de inverno e de verão. Para o esquema de infiltração diária de verão, foi adotado 15% de infiltração entre 21:00-5:00, 60% entre 6:00-17:00 e 100% entre 18:00-20:00; para todos os dias da semana e de 1/09 a 30/04. Para o esquema de infiltração diária de inverno, adotou-se 0% de infiltração entre 21:00-11:00, 30% entre 12:00-18:00 e 20% entre 19:00-20:00; para todos os dias da semana e de 1/05 a 31/08.

Para caracterizar a velocidade do ar externo incidente em cada zona térmica, também foi utilizado um esquema diário com valores em m/s, válido para as zonas 1, 2 e 3. Com base nos relatórios do IAPAR (2007), adotou-se velocidade do ar de 1m/s de 23:00-6:00, 0,8m/s entre 7:00-17:00 e 1,2m/s entre 18:00-22:00. Esse padrão foi aplicado a todos os dias da semana e todo o período do ano.

O padrão de isolamento de vestimenta, dado em unidades de clo foi feito separadamente para o período de verão e de inverno. No esquema de verão, adotou-se isolamento de 0,2 clo para todas as horas e dias da semana; e foi aplicado para o período entre 01/09 e 30/04. Para o esquema de inverno, adotou-se isolamento de 0,52 clo para todas as horas e dias da semana; considerando o período entre 01/05 e 31/08.

O arquivo climático usado nas simulações, do tipo TRY, foi montado utilizando os dados climatológicos da estação de medição da UEL, com dados de temperatura e umidade do período de 01/09/2006 a 31/08/2007 e radiação do ano climático de referência do ano de 1996, obtido pela estação meteorológica do IAPAR (BARBOSA, 1999). Este arquivo climático foi convertido por um programa auxiliar do Energy Plus em arquivo EPW, para ser utilizado pelo programa de simulação como um dos dados de entrada, possibilitando a simulação das variáveis ambientais internas, detalhadas a seguir.

Para simular os quatro casos em estudo (B, T, O e S), destacando as variáveis de entorno que se coloca em discussão neste trabalho, modelou-se primeiramente o caso B, considerado como balizador dos resultados obtidos. A partir deste modelo, foram feitas alterações na modelagem dos outros três casos.

No caso T, que busca analisar a influência da variação da topografia e altitude no desempenho térmico, alterou-se a altitude do modelo simulado (de 553m para 535m) e a taxa de infiltração de ar na edificação (de 0,49m³/s para 0,6m³/s para Zona 1 e de 0,018m³/s para 0,022m³/s para Zona 2). A taxa de infiltração foi assim considerada por admitir-se uma velocidade do ar mais alta, pela ausência de barreiras no entorno próximo, tanto na frente (praça com campo de futebol), quanto no fundo da edificação (declive acentuada do fundo de vale), fachadas onde se dispõe as aberturas dos ambientes.

No caso O, o qual busca analisar a influência da orientação da edificação no

desempenho térmico, alterou-se o norte relativo do projeto em 180°, representando uma edificação de frente para o caso B.

Para o caso S, acrescentou-se uma cobertura na garagem do lote vizinho, proporcionando o sombreamento da fachada lateral do dormitório em estudo, a qual faz parte da divisa lateral do terreno. Essa cobertura foi inserida ao volume da ZONA 4, como uma continuidade da cobertura existente, como mostra figura 21.

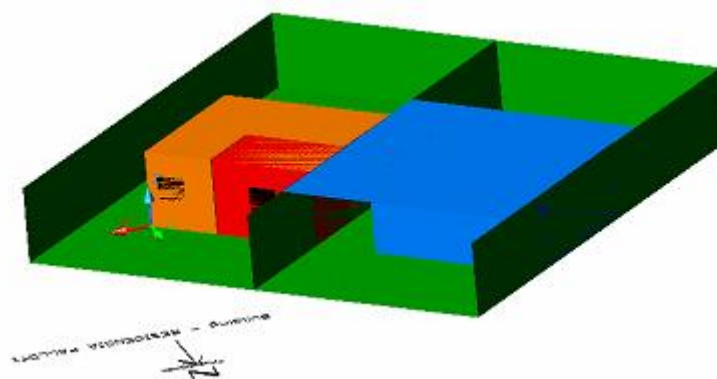


Figura 21 – Acréscimo de cobertura na zona 4 para o caso Sombreamento

A calibração do modelo foi feita através da comparação dos resultados obtidos por simulação do caso B com os dados climáticos medidos in loco para o mesmo período do ano, ajustando-se o modelo de forma a representar a edificação em todas as épocas do ano. Nos ajustes levou-se em conta a variação do fluxo de ar incidente na edificação, dado ao padrão de uso das aberturas pelos moradores (ajustes no esquema da infiltração de ar); e a variação da carga térmica total proveniente das pessoas e de equipamentos. Esses dois fatores foram sendo controlados até que os dados obtidos pela simulação fossem semelhantes aos dados medidos nas edificações.

Com os dados do ambiente externo obtidos no ano climático de referência, somados às características de projeto, foram simulados, através do software Energy Plus, os dados climáticos diários que contribuem para a caracterização térmica do ambiente interno, baseando-se nas necessidades de dados de cada norma e metodologia a ser aplicada. Dessa forma, os dados de saída do programa efetivamente utilizados e analisados foram: temperatura do ar interno; temperatura operativa interna; médias mensais da temperatura do ar externo; razão de umidade interna; umidade relativa interna; além de um dado de saída específico para avaliação pela norma ASHRAE 55:2004, time not comfortable summer clothes e time not comfortable winter clothes, ou seja, a quantidade de horas em que mais de 80% das pessoas

estavam insatisfeitas com as condições térmicas do ambiente interno para condições de isolamento térmico de verão e de inverno (0,5 e 1,0 clo, respectivamente) de acordo com a zona de conforto dessa norma americana.

A simulação de dados horários permitiu avaliar as condições térmicas das unidades de acordo com a Zona de Conforto de Givoni, analisada através do software Analysis Bio, onde se plotou a temperatura e umidade dos ambientes em estudo. Esses dados possibilitaram também aplicar a metodologia das Horas de Desconforto proposta por Barbosa (1997), a qual recomenda um limite máximo de 1000 horas de desconforto por ano para habitações de interesse social. Além disso, os dados obtidos com a simulação possibilitaram a aplicação da norma ASHRAE 55 (2004), avaliando-se a conformidade do ambiente interno com as condições da Zona de Conforto da referida norma.

3.4.4 Levantamento das Sensações e Preferências Térmicas dos Moradores

O conhecimento das sensações e preferências térmicas dos moradores de cada caso de estudo forneceu respostas individuais que auxiliaram na avaliação do conforto térmico. Essas informações, bem como as expectativas quanto aos aspectos térmicos de suas habitações foram obtidas utilizando-se questionários aplicados na forma de entrevistas. De acordo com algumas visitas prévias, realizadas antes das entrevistas, identificou-se que as habitações em estudo eram ocupadas por três pessoas, sendo duas adultas de sexos opostos e uma criança, à exceção do caso O, onde mora apenas um casal. Sendo assim, as entrevistas foram realizadas com 2 moradores adultos de cada unidade, um do sexo masculino e outro do sexo feminino, no dormitório onde foram instalados os HOBOS. Apenas uma entrevista do caso S com morador do sexo masculino foi realizada fora da residência, próxima à porta de entrada da sala, sendo desconsiderada na análise dos resultados, pois a velocidade do ar era mais alta e a temperatura do ar mais amena.

O objetivo das entrevistas foi adquirir informações sobre as sensações térmicas dos moradores em suas residências, identificando estratégias de resfriamento adotadas e suas preferências quanto aos ambientes mais confortáveis. Almejou-se também, identificar sob quais condições de temperatura a maioria dos indivíduos manifesta-se satisfeito, através da correlação entre as opiniões relatadas com as temperaturas registradas pelos HOBOS nos horários em que se realizou a entrevista.

Os questionários foram elaborados baseando-se na escala sétima do modelo de Fanger (1970) e nas pesquisas de Loureiro (2003) e Batista (2006) (conforme modelo no Apêndice A). Através das entrevistas, puderam-se avaliar as condições térmicas do ambiente de acordo com os índices PMV e PPD da norma ISO 7730:1994.

As entrevistas foram conduzidas de modo que os próprios moradores indicassem os aspectos considerados importantes para o conforto térmico, principalmente quanto às considerações de melhorias e reformas no projeto que favorecessem a qualidade térmica das habitações. Durando cerca de 7 minutos, as entrevistas foram repetidas três dias em cada residência no período de verão, nos dias 18 e 30 de dezembro de 2006 (as 10:00 e 14:00 horas, respectivamente) e 19 de janeiro de 2007 (as 18:00 horas); e dois dias no período de inverno, 7 e 24 de julho de 2007 (as 10:00 e 18:00 horas, respectivamente) devido à dificuldade em encontrar os moradores em casa no período das férias de julho.

3.5 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES

A avaliação do desempenho térmico através de diferentes metodologias tem por objetivo analisar qual delas reflete as condições reais encontradas nas unidades habitacionais durante as medições in loco, principalmente em função das variáveis de entorno de cada caso de estudo.

Verificou-se o enquadramento das habitações de interesse social nos parâmetros determinados pela NBR 15220 (ABNT, 2005); pelo PNBR 02:136.01 (ABNT, 2004); pela Zona de Conforto de Givoni (1992); pelo Método das Horas de Desconforto de Barbosa (1997); e pela norma americana ASHRAE 55:2004.

3.5.1 Avaliação por Prescrição

A partir das características construtivas das edificações estudadas, as quais se resumem na tipologia básica do conjunto, foram calculadas as propriedades térmicas das paredes e das coberturas e contabilizadas as áreas de aberturas para ventilação. Para isso, utilizou-se o método de cálculo expresso na NBR 15220-2 (ABNT, 2005), obtendo-se valores

de transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar dos elementos e componentes da tipologia das edificações.

Os valores encontrados foram comparados aos limites recomendados pela NBR 15220 (ABNT, 2005) para zona bioclimática 3, e pelo PNBR 02:136.01 (ABNT, 2004); verificando-se o nível de adequação ambiental do projeto das habitações para cada metodologia de avaliação.

3.5.2 Avaliação por Desempenho

A avaliação por desempenho foi feita através de quatro metodologias distintas: PNBR 02:136.01.001 (ABNT, 2004), Zona Bioclimática de Givoni (1992), Método das Horas de Desconforto de Barbosa (1997) e norma ASHRAE 55 (2004).

Primeiramente, o desempenho térmico das unidades de estudo foi avaliado de acordo com o procedimento por medição definido no PNBR 02:136.01.001 (ABNT, 2004). Para isso, compararam-se as temperaturas internas medidas em cada unidade com as temperaturas externas obtidas junto ao campus da UEL, observando-se os dias típicos de verão e inverno. Adotou-se o estudo de Barbosa (1999), o qual define os dias típicos de verão e inverno para a cidade de Londrina como sendo os dias 5, 17 ou 19 de dezembro; e 23 de junho, 11 e 12 de julho, respectivamente. Como o PNBR 02:136.01.001 (ABNT, 2004) estabelece que o dia típico deve ser precedido de 2 dias com semelhantes condições climáticas, a partir da análise dos dados externos optou-se pelo dia 18 de dezembro como representativo do período de verão. Entretanto, para o período de inverno, verificou-se um comportamento diferente do esperado pela pesquisa de Barbosa, dessa forma, adotou-se o dia 26 de julho como sendo representativo, já que as temperaturas externas mantiveram-se estáveis e com semelhantes valores. A partir dos dados climáticos internos de cada unidade para o dia típico e dos dados externos, procedeu-se à classificação do desempenho das edificações de acordo com os critérios M (mínimo), I (intermediário), e S (superior), segundo as recomendações do PNBR 02:136.01.001 (ABNT, 2004).

A avaliação térmica através dos limites da Zona Bioclimática proposta por Givoni (1992) foi realizada com o auxílio do software Analysis Bio, utilizando, para isso, dados de entrada de TBS e UR do ambiente interno obtidos pela medição in loco do período de verão e inverno (item 2.4.6.), com 75 dias de medições de verão (de 15 de dezembro de

2006 a 27 de fevereiro de 2007) e 75 dias de medição no inverno (de 05 de junho a 18 de agosto de 2007), totalizando aproximadamente 1800 horas de medições em cada estação. As condições térmicas das edificações no período do ano inteiro foram avaliadas através dos dados de TBS e UR do ambiente interno resultantes da simulação pelo programa EnergyPlus, com 8760 horas totais.

O Método das Horas de Desconforto proposto por Barbosa (1997), que utiliza a zona de conforto de Givoni (1992) para países em desenvolvimento (item 2.5.4.), também foi utilizado como forma de avaliação térmica das unidades residenciais. Esta metodologia consiste na verificação da quantidade de horas de desconforto referentes ao ano inteiro, tanto pelo frio como pelo calor, determinando um parâmetro de 1.000 horas de desconforto como limite máximo para que uma habitação de interesse social apresente desempenho térmico satisfatório.

Para a aplicação desta metodologia, utilizaram-se os dados da medição in loco do período de verão e de inverno (75 dias de cada estação, conforme período adotado para aplicação da Zona Bioclimática de Givoni). Dentro desse período, destacou-se as TBS superiores a 29°C e inferiores a 18°C, nos quais o ambiente encontrava-se em desconforto por calor e por frio, respectivamente. Com isso, obteve-se a quantidade de horas em conforto e em desconforto nos períodos monitorados, servindo para comparação do desempenho térmico entre as unidades.

Entretanto, a aplicação desta metodologia só é válida quando o ambiente em estudo apresenta dados horários de TBS de um ano inteiro, o que soma 8760 horas monitoradas. Para isso, foram utilizados os dados climáticos simulados, os quais puderam ser analisados de acordo com o limite determinado pela metodologia em questão.

A avaliação térmica dos ambientes através da norma americana ASHRAE 55 (2004) foi feita através da simulação das condições internas do ambiente, dada à dificuldade de medição de características como variação cíclica da velocidade do ar, assimetria radiante, dentre outras necessárias para verificar o enquadramento das condições térmicas na Zona de Conforto da norma. Dessa forma, utilizou-se o software de simulação Energy Plus, onde foram simulados dados climáticos internos das edificações, tais como: temperatura do ar, temperatura operativa, razão de umidade, umidade relativa, etc., por um período de um ano. Com esses dados, o programa de simulação gerou uma resposta térmica de aceitabilidade – ou não - do ambiente pela Zona de Conforto proposta para ambientes naturalmente ventilados (item 2.4.5.). O resultado foi dado em horas de insatisfação por parte do usuário no período de um ano, ou seja, quantidade de horas em que o ambiente esteve fora

da Zona de Conforto.

3.6 AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO DOS MORADORES

O objetivo da avaliação do conforto térmico dos moradores é conhecer o grau de satisfação do usuário em relação ao ambiente térmico das habitações, analisando principalmente se esta satisfação tem ligação direta com as condições de entorno de cada caso em estudo e com as respostas obtidas pela avaliação do desempenho térmico das edificações.

A ISO 7730 (1994) estabelece critérios para levantar a sensação de conforto térmico em ambientes internos, através do PMV (índice que estima o valor médio dos votos de um grupo de pessoas na escala de sensação térmica) e o PPD (porcentagem de pessoas insatisfeitas com o conforto térmico do ambiente). Dessa forma, a avaliação do conforto térmico dos moradores, realizada através do índice PMV e PPD, utilizou os dados obtidos nas entrevistas sobre sensações e preferências térmicas. Conhecendo fatores como: vestimentas, atividades exercidas pelos usuários, temperatura do ar, umidade relativa e a temperatura de globo, foi possível estimar o PMV e PPD, avaliando-os em relação aos limites expressos pela norma em questão.

A partir da escala sétima do modelo de Fanger, algumas questões do questionário utilizado nas entrevistas forneceram informações térmicas individuais dos moradores, denominados neste trabalho de índices relatados. A questão 22 buscou conhecer a sensação térmica experimentada pelo morador no momento da entrevista. A questão 23 avaliou a classificação de conforto que o morador fez em relação à sua sensação térmica, de forma a confirmar a resposta à pergunta anterior. Na questão 24 é levantada a preferência térmica do morador para aquela situação térmica experimentada, ou seja, como ele desejava estar. Na tabela 5 são apresentados os valores correspondente a cada questão e sua resposta.

Tabela 5 – Tabulação das respostas para as questões 22, 23 e 24 das entrevistas.

22. Como você está se sentindo neste momento dentro de sua residência?	
Com muito calor	+3
Com calor	+2
Levemente com calor	+1
Nem com calor, nem com frio	0
Levemente com frio	-1
Com frio	-2
Com muito frio	-3
23. De que maneira você se encontra neste momento na sua casa?	
Confortável	0
Levemente desconfortável	± 1
Desconfortável	± 2
Muito desconfortável	± 3
24. Como você preferia estar neste momento?	
Bem mais aquecido	-3
Mais aquecido	-2
Um pouco mais aquecido	-1
Assim mesmo	0
Um pouco mais refrescado	+1
Mais refrescado	+2
Bem mais refrescado	+3

A tabulação das respostas para as questões de 22 a 24 serviu como base de comparação entre os resultados, principalmente na análise da concepção que o morador tem em relação ao conforto e desconforto. Com a combinação dos valores correspondentes a cada resposta (média aritmética), obteve-se o índice $PMV_{relatado}$.

Além disso, durante as entrevistas realizadas com os moradores das unidades de estudo, as respostas aos questionamentos eram registradas, bem como os dados do morador (sexo, idade, situação de saúde), o dia e horário da entrevista. Observou-se a vestimenta usada pelos moradores, assim como foi perguntado a atividade física que se estava exercendo antes do início da entrevista, ou seja, foram levantados os fatores pessoais (conforme modelo do questionário no apêndice A).

Com o conhecimento dos fatores pessoais de cada entrevistado (isolamento da vestimenta e taxa metabólica), e dos dados medidos in loco no momento das entrevistas (TBS, UR, TG), obtiveram-se o índice do $PMV_{calculado}$, e o $PPD_{calculado}$, com o auxílio do programa Analysis CST, dentro do módulo de análise de conforto térmico (sobre o programa, conforme item 2.4.4.).

Avaliou-se então o $PMV_{relatado}$ e $PMV_{calculado}$, de acordo com os limites

recomendados pela norma ISO 7730, classificando-se a condição de conforto experimentada pelos moradores em suas respectivas residências.

O índice PMV relatado pelos moradores de cada caso de estudo e o PMV calculado para cada morador, foram comparados com os resultados das avaliações do desempenho térmico das edificações, buscando encontrar semelhanças na aceitabilidade dos ambientes entre essas duas metodologias distintas: avaliação do conforto térmico x avaliação do desempenho térmico.

3.7 ANÁLISE DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO E SEUS PARÂMETROS

Após concluir a avaliação do desempenho térmico das unidades habitacionais – realizada por seis métodos diferentes –, e do conforto térmico dos moradores, foi feita uma análise dos métodos e parâmetros de avaliação utilizados. Compararam-se os resultados obtidos em cada um desses métodos com os resultados das medições in loco das condições térmicas de cada caso de estudo e com os relatos dos moradores obtidos através das entrevistas realizadas (PMV_{relatado} e outras considerações gerais).

A medição in loco das condições térmicas dos ambientes internos serviu como fonte de conhecimento da qualidade térmica real das edificações. Com isso, puderam-se analisar os métodos que, através de seus parâmetros, conseguiram visualizar semelhante resposta térmica para cada caso de estudo. Métodos esses que estarão representando a sensação de conforto dos usuários e a qualidade térmica global das habitações, pois seus parâmetros consideraram a influência das variáveis de entorno e do microclima local em suas avaliações.

CAPÍTULO 4.
**APRESENTAÇÃO E ANÁLISE
DOS RESULTADOS**

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta as análises dos resultados dos dados climáticos de TBS, TG e UR medidos nos períodos de verão e inverno, dos dados gerados por simulação, e das entrevistas realizadas com os moradores de quatro unidades habitacionais de interesse social, no intuito de conhecer a influência das condições de entorno no desempenho térmico das edificações e no conforto térmico dos usuários; destacando os parâmetros de avaliação que considerem esta influência. A análise dos dados foi organizada de forma a diferenciar e ordenar os métodos de avaliação do desempenho térmico das habitações por prescrição; os métodos de avaliação do desempenho térmico das habitações por desempenho; e os métodos de avaliação do conforto térmico dos usuários, com o objetivo de identificar quais parâmetros de avaliação térmica melhor representam diferentes características de entorno encontradas em um conjunto habitacional.

4.1 DADOS CLIMÁTICOS OBTIDOS POR MEDIÇÃO IN LOCO

As variáveis climáticas internas, TBS, TG e UR, foram obtidas através de equipamentos eletrônicos do tipo HOBO, os quais foram calibrados antes da instalação nas residências. A figura 22 mostra os resultados obtidos com a calibração dos sensores.

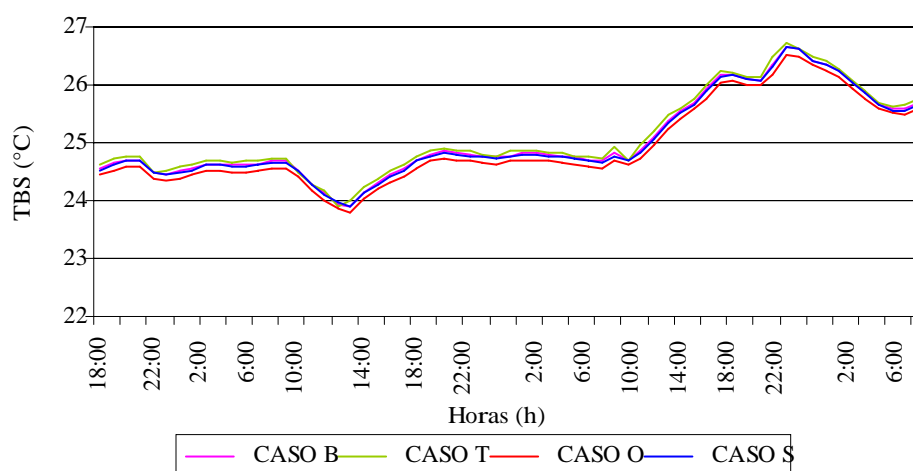


Figura 22 – Calibração dos HOBOS

A aferição mostrou que todos os equipamentos estão em concordância entre si, garantindo a validade dos dados que foram coletados, já que a análise estatística apontou uma variância máxima de 0,01°C e desvio médio de 0,07°C entre os registros dos HOBOS.

Uma análise prévia dos dados medidos de 15 de dezembro de 2006 a 27 de fevereiro de 2007 (período de verão), apontou para o período entre 15 de dezembro e 15 de janeiro como sendo representativo da estação de verão para este trabalho de pesquisa, pois as temperaturas permaneceram estáveis, sem grandes picos máximos e mínimos. Da mesma forma, a análise do período de medição de inverno, de 26 de maio a 18 de agosto de 2007, apontou como sendo período típico dessa estação, os dias entre 01 e 31 de julho de 2007. A avaliação por dias típicos, posteriormente apresentada no item 4.3.1., confirma a representatividade do período adotado para a análise dos resultados, os quais serão mostrados na forma de tabelas e gráficos.

A tabela 6 apresenta um resumo das condições térmicas das unidades monitoradas e do ambiente externo obtidas com as medições in loco nos períodos considerados típicos de verão e inverno, respectivamente.

Tabela 6 – Resumo dos dados medidos no período de verão e inverno

Dados Medidos		Externo		Caso Base		Topografia		Orientação		Sombreamento	
		ver.	inv.	ver.	inv.	ver.	inv.	ver.	inv.	ver.	inv.
Temperatura do Ar (°C)	máxima	35,70	31,93	34,04	28,22	34,30	28,17	36,90	-	33,94	27,50
	média	24,40	16,30	27,66	21,54	27,39	21,32	28,65	-	27,26	21,07
	mínima	17,90	3,31	23,47	14,72	23,42	14,40	25,40	-	23,80	14,79
Temperatura de Globo (°C)	máxima	-	-	34,33	27,87	34,62	28,34	37,09	-	34,41	27,21
	média	-	-	27,42	21,10	27,42	21,33	28,70	-	27,41	20,82
	mínima	-	-	23,42	13,95	23,71	14,40	25,35	-	23,97	14,26
Umidade Relativa (%)	máxima	100	100	86,29	82,43	87,53	83,32	84,06	-	85,85	78,24
	média	81,64	64,18	71,82	61,13	71,41	58,68	68,33	-	70,00	58,13
	mínima	25,60	24,00	38,11	39,29	37,53	38,69	37,73	-	38,19	39,27

O HOBO instalado na unidade de estudo caso Orientação apresentou problemas na captação das informações no período de inverno, não sendo possível analisar os dados de medição dessa unidade.

A figura 23 mostra as condições de entorno encontradas em cada unidade de estudo, destacando a proximidade de vegetação no caso topografia; a orientação geográfica e a altitude das unidades; a incidência dos ventos dominantes para o local e período estudados, a posição do ambiente de monitoramento em relação ao entorno e as fachadas que estão

expostas à incidência direta dos raios solares. O croqui não traz a seqüência e disposição exata das unidades, apenas ilustrando as condições de entorno.

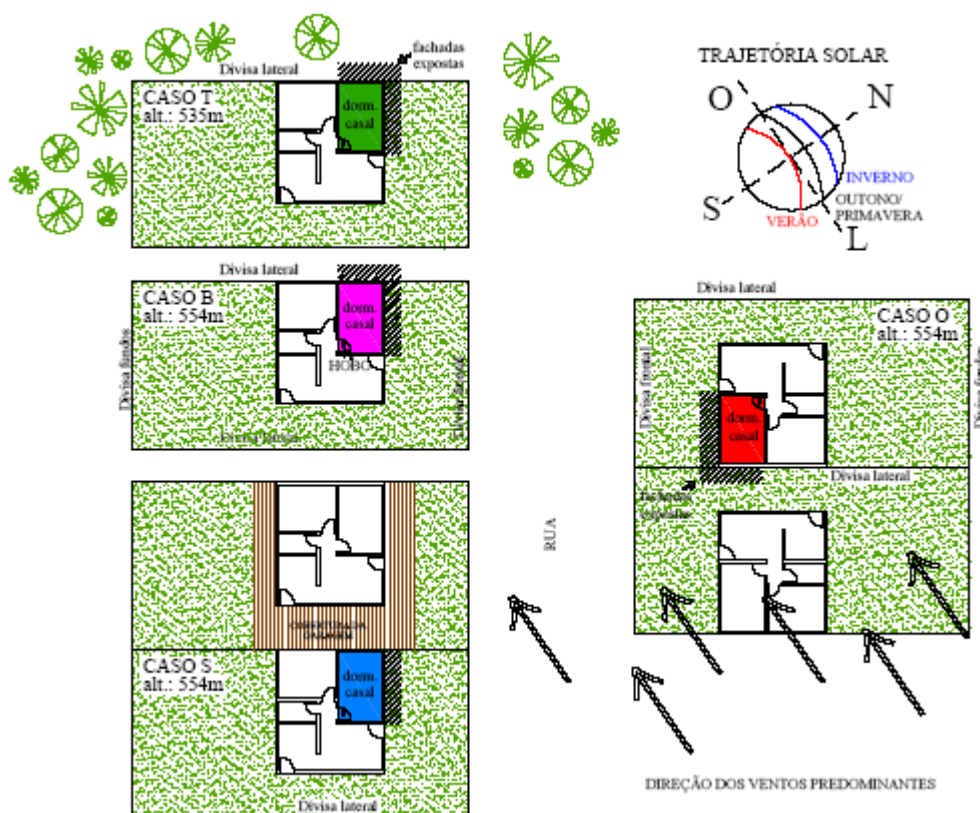


Figura 23 – Croqui explicativo de situação das unidades habitacionais

A seguir, formularam-se gráficos que ilustram as condições climáticas encontradas no interior de cada unidade monitorada e no ambiente externo.

4.1.1 Período de Medição de Verão

O período representativo de verão foi analisado através de gráficos de TBS, UR, TG, atraso térmico e amortecimento térmico de cada HIS, juntamente com valores de TBS e UR do ambiente externo.

A figura 24 apresenta as TBSs (temperaturas de bulbo seco) registradas no período de verão. Observa-se que foram registradas temperaturas externas bastante elevadas, com máxima de 35,70°C, observada por volta das 17 horas do dia 18 de dezembro. As TBS

máximas foram registradas no período da tarde, entre 14 e 17 horas, aproximadamente. A amplitude externa diária também foi alta, com média de 11,5°C de variação da TBS durante o dia. A temperatura mínima registrada foi de 17,9°C, às 7 horas; enquanto a média do período (média entre as temperaturas externas medidas) foi igual a 24,40°C.

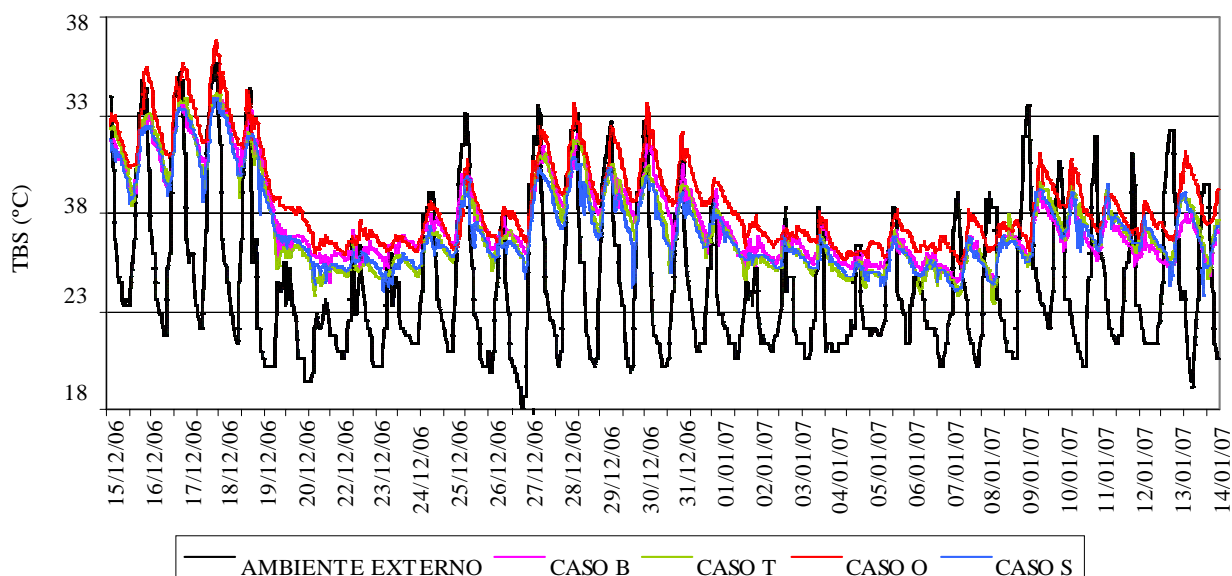


Figura 24 – Variação das TBSs das unidades e do ambiente externo no período representativo de verão

No caso B, as temperaturas máximas registradas mantiveram-se próximas das TBS máximas externas, enquanto que as mínimas internas apresentaram em média 6°C a mais que as mínimas observadas no ambiente externo. A temperatura máxima interna foi registrada no dia 18/12, com 34,04°C às 17h30min, enquanto a temperatura externa correspondia a 35,7°C, o que pode ser observado na figura 24. No caso T, as TBS máximas registradas mantiveram-se um pouco abaixo das TBS máximas encontradas no caso B, juntamente com as TBS mínimas. Em média, apresentou condições climáticas mais amenas em comparação com o caso B em 1°C (valor obtido a partir das médias diárias). As TBS máximas registradas no caso O mantiveram-se acima das TBS máximas do caso B em 100% do período analisado, numa média de 1,5°C. As TBS mínimas também permaneceram acima das registradas no caso B, apresentando variação média de 1,3°C. O caso S apresentou TBS máximas um pouco abaixo das registradas no caso B (variação média de 0,5°C), enquanto que as temperaturas mínimas se distanciaram um pouco mais da TBS mínima observada no caso B, numa média de 0,8°C.

A figura 25 apresenta os valores de UR (umidade relativa) encontrados nas

unidades de estudo e no ambiente externo. Os valores máximos de UR no ambiente externo foram observados nos dias em que ocorreram precipitações, chegando a 100%. Em períodos nos quais não ocorreram chuvas, as UR mínimas foram registradas por volta das 18 horas, e as máximas às 6 horas da manhã. O conhecimento desta variável ambiental auxiliou a compreensão dos resultados, principalmente quando se observou redução nas temperaturas em função de precipitações ocorridas.

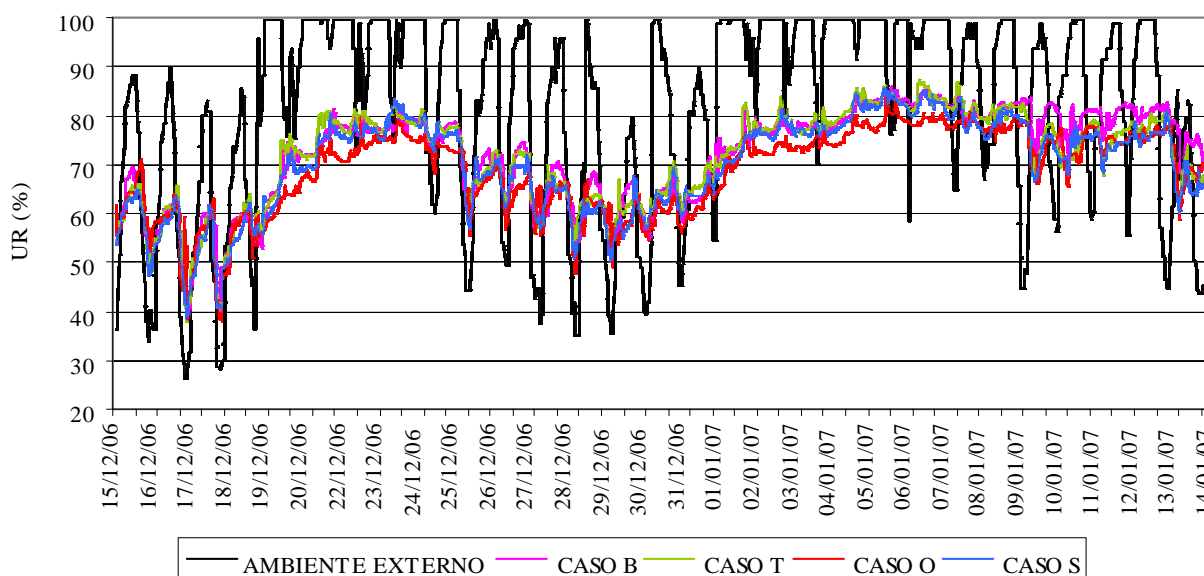


Figura 25 – Variação das URs das unidades e do ambiente externo no período representativo de verão

As maiores taxas de UR do caso B foram observadas durante o período de chuva e nos horários entre 6 e 12 horas, sendo as UR máximas e mínimas 86,29 e 38,11%, respectivamente. As taxas de UR do caso T e S ficaram muito próximas das do caso anterior, observando maior umidade no período matutino. O caso O apresentou valores de UR mais baixos para todo o período de verão, principalmente nos períodos de precipitações, onde atingiu diferenças de até 7% em relação ao caso B. Esses resultados demonstram a relação inversamente proporcional que a TBS tem com a UR.

Na figura 26, que traz valores de TG (temperatura de globo) das unidades de estudo e TBS do ambiente externo, pode-se perceber o diferencial entre as temperaturas do caso O em relação às outras três unidades, pois enquanto as TGs máximas das unidades B, T e S ficam por volta dos 34°C, no caso O, atinge 37°C, dada à maior exposição à radiação solar incidente nas paredes sudeste e sudoeste no verão.

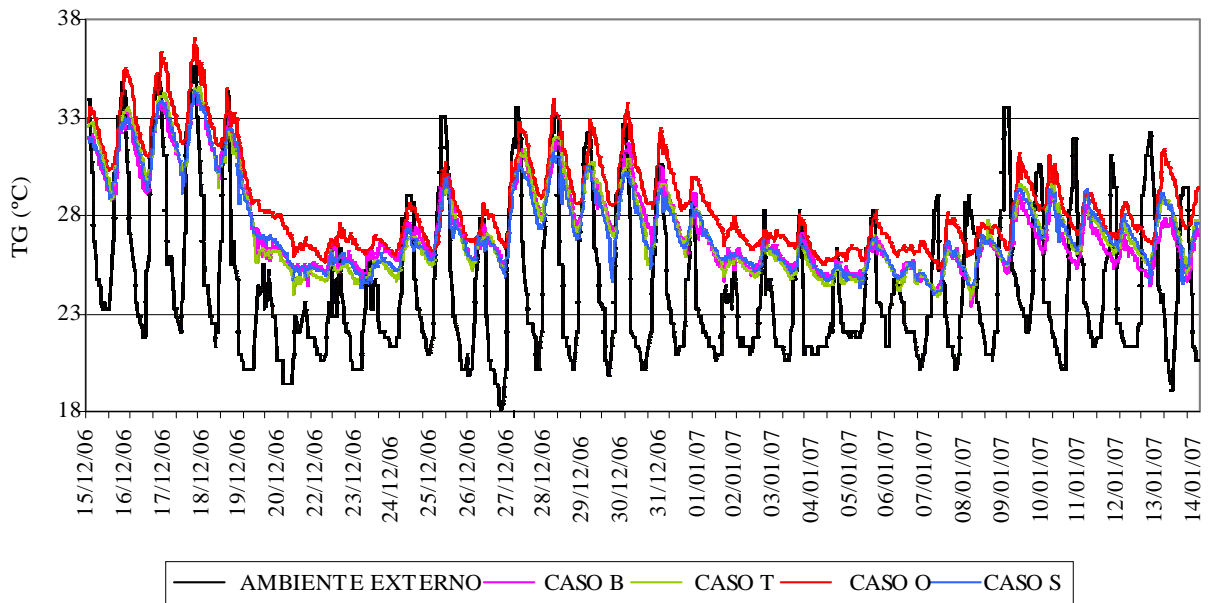


Figura 26 – Variação das TGs das unidades e do ambiente externo no período representativo de verão

A figura 27 apresenta o atraso térmico diário observado nas unidades de estudo. Observa-se que os valores máximos de atraso térmico correspondem aos períodos nos quais a UR externa estava bem alta, com freqüências diárias de chuvas, principalmente de 08 a 15 de janeiro, período no qual as taxas de UR externa apresentaram grandes variações diárias, de 100 a 45%.

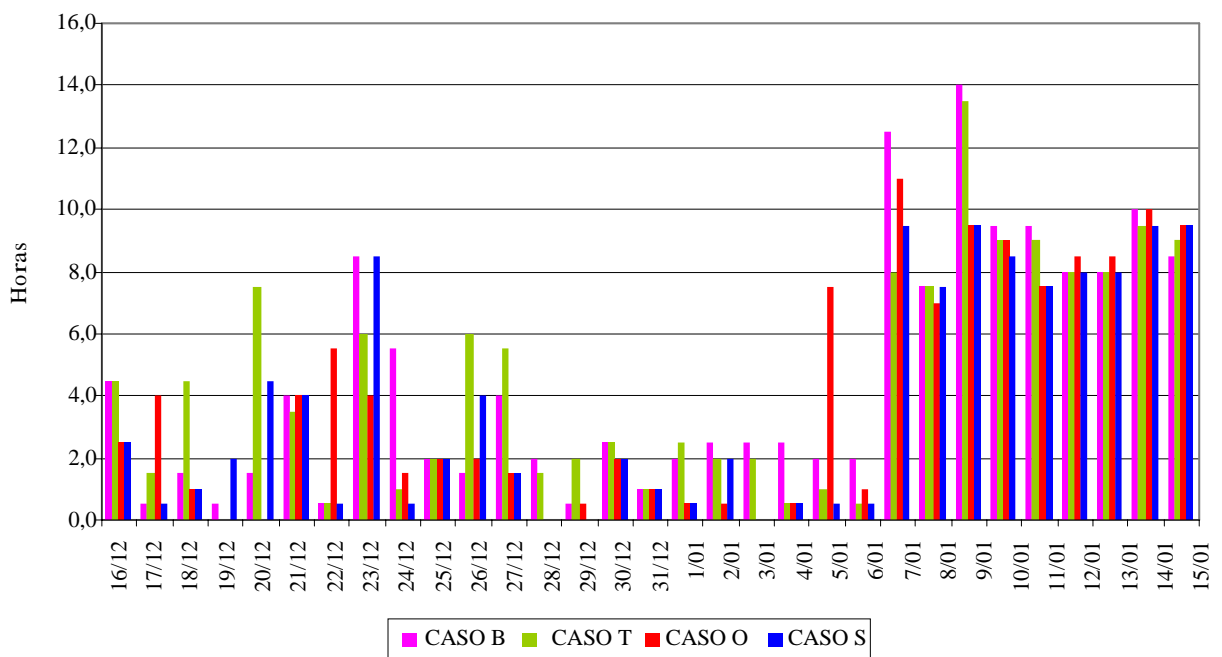


Figura 27 – Atraso térmico das unidades no período representativo de verão

No caso B, nota-se o maior atraso térmico do período, atingindo ponto máximo em 9 de janeiro, com 14 horas de atraso térmico, média de 4,57 e mínima de 0,5 hrs.

O caso T ficou muito próximo dessa unidade, com média de 4,5 e máxima de 13,5hrs. O caso O ficou com média de 3,94 hrs de atraso térmico, um pouco acima do caso S, que obteve o menor índice de atraso térmico, com média de 3,74 e máxima de 9,5hrs.

A figura 28 mostra o índice de amortecimento térmico de cada unidade, ou seja, a relação entre a amplitude interna de cada ambiente pela amplitude externa.

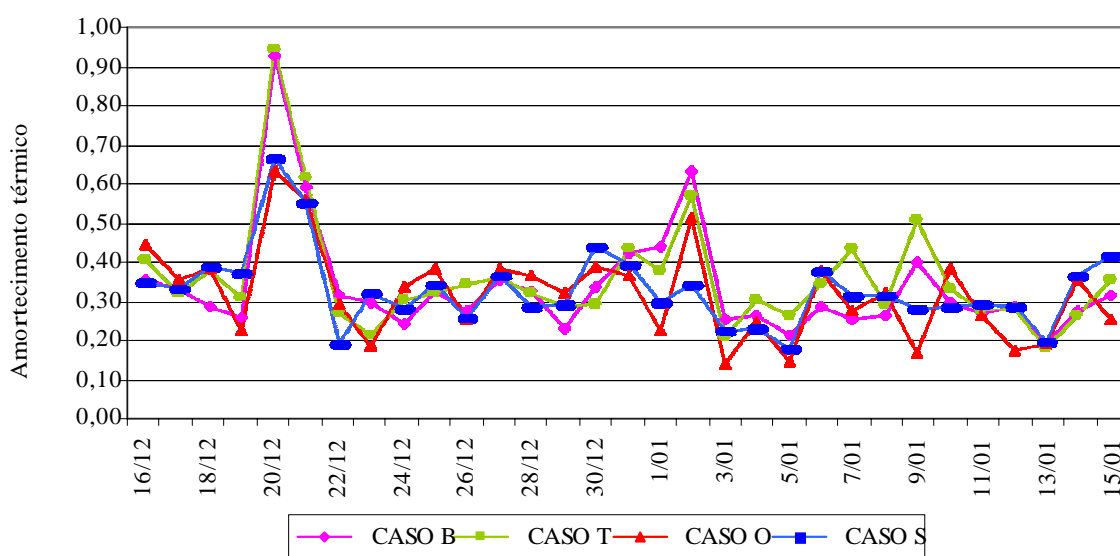


Figura 28 – Amortecimento térmico das unidades no período representativo de verão

Analisando-se todas as unidades de estudo, observa-se maior amortecimento térmico na unidade do caso T, com máxima de 0,95 e média de 0,36; em contrapartida ao caso O, com máxima de 0,63 e média de 0,32. O caso B, quando comparado ao caso S, apresentou amortecimento superior em até 0,27. O perfil geral de amortecimento térmico seguiu as tendências dos valores observados de UR, ou seja, quando as precipitações tornaram-se mais intensas, elevando as taxas de UR, o amortecimento térmico elevou-se também, principalmente nos casos B e T, conforme ilustra a figura 28.

Em resumo, os dados de TBS do caso topografia em comparação com o caso base aproximaram-se bastante. Entretanto, as TBSs do caso T apresentaram amplitude diária maior que no caso B, com valores de TBS mínimo inferiores a esse caso comparativo, ou seja, maior amortecimento térmico das temperaturas externas; o que pode ser explicado pela proximidade com o vale e as áreas verdes do entorno, que ajudam no resfriamento da edificação. De acordo com Papst et al.(2005), a topografia tem forte influência na temperatura

do ar devido ao seu efeito na orientação e inclinação do solo, na exposição ao vento, resfriamento noturno e fluxos de ar.

Em geral, o caso orientação apresentou valores mais altos de TBS e TG, com registros de umidades mais baixos, em comparação a todas as outras 3 unidades. Isso pode ser explicado pela análise da figura 2 (em 2.3.3.4.), onde se destacou a trajetória solar na estação verão, na qual os raios solares incidem diretamente na fachada lateral do dormitório durante a manhã e na fachada frontal durante a tarde, sendo que neste período não possui qualquer dispositivo de proteção ou sombreamento. Já no caso B, os raios solares do período da manhã, com menor parcela de infra-vermelho, incidem na fachada frontal do dormitório, e a tarde são bloqueados pelo sombreamento causado pelo muro de divisa lateral do lote vizinho. Somado a isso, a incidência dos ventos dominantes vindos do leste, que poderia ajudar no resfriamento da edificação, é bloqueada pelo muro lateral da divisa; ao contrário do caso B, que tem toda fachada frontal livre de obstáculos. Tal análise confirma que, em climas quentes é desejável uma menor área de fachada exposta à radiação solar, uma vez que a redução dos ganhos térmicos durante o dia é o fator primordial para minimizar o aquecimento da edificação (GIVONI, 1997).

Em relação à proteção da fachada lateral do ambiente de monitoramento, o caso sombreamento apresentou TBS média inferior ao caso base, ou seja, ao se promover o sombreamento, minimizam-se as condições de temperatura externa às quais a edificação está exposta, reduzindo ganhos de calor pelas paredes e janelas (GIVONI, 1994).

4.1.2 Período de Medição de Inverno

O período representativo de inverno foi analisado através de gráficos de TBS, UR, TG, atraso térmico e amortecimento térmico de cada HIS, juntamente com valores de TBS e UR do ambiente externo, à exceção do caso O, cujo equipamento eletrônico HOBO apresentou problemas na captação e armazenamento dos dados.

A figura 29 apresenta as TBSs registradas no período de inverno. Percebe-se que este período foi de temperaturas amenas, com média de 16,30 °C. Entretanto, apresentou grandes oscilações, onde a amplitude externa diária foi alta, numa média de 18°C de variação da TBS durante o dia, com TBS variando de 3,31 a 31,93 °C. As TBS máximas externas foram registradas no período da noite, entre 19 e 20 horas, aproximadamente. Já as TBSs

mínimas, foram registradas entre 10 e 14:00 hrs. A diferença entre os registros de temperatura interna e externa pode ser explicada pelo fato de que o conjunto onde foram feitas as medições internas fica muito distante da estação de medição dos dados externos, com 8,8km de distancia entre os dois pontos de medições.

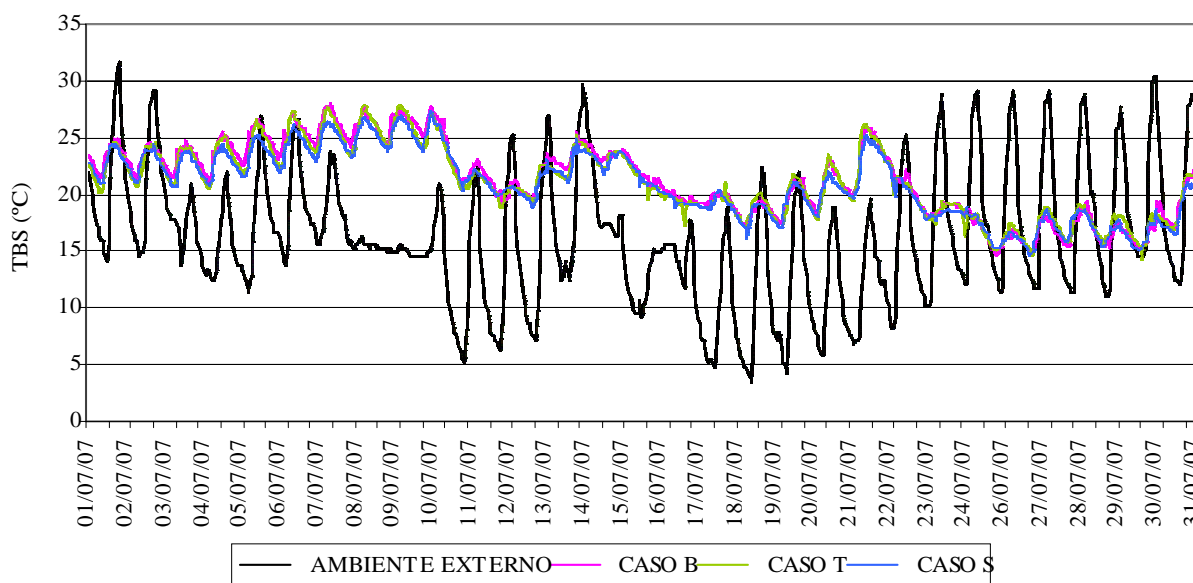


Figura 29 – Variação das TBSs das unidades e do ambiente externo no período representativo de inverno

As TBSs observadas no caso B apresentaram amplitudes menores que do ambiente externo, numa média de 3 a 4°C. As temperaturas mínimas registradas mantiveram-se bem acima das TBS máximas externas, tendo sido registrada mínima de 14,72°C (comparado aos 3,31°C do ambiente externo). A temperatura máxima interna registrada foi de 28,22°C no dia 07/07 às 18:00 hrs, enquanto a temperatura externa correspondia a 24,01°C. No caso T, as TBS máximas registradas mantiveram-se semelhantes às TBS máximas encontradas no caso B (28,17 e 28,22°C, respectivamente), entretanto, as TBS mínimas foram inferiores em relação ao caso B numa média de 1°C. Somente a partir do dia 26 de julho, com o aumento da UR do caso T, as TBS máximas diárias superam as do caso B. Já o caso S apresentou tanto as TBS máximas quanto as mínimas abaixo das registradas no caso B, numa média de variação de 1°C.

A figura 30 apresenta os valores de UR encontrados nas unidades de estudo e no ambiente externo. Os valores máximos de UR no ambiente externo foram observados nos dias em que ocorreram precipitações, chegando a 100% nos períodos de 8 a 10 e 17 de julho apenas, o que indica uma estação mais seca que o verão, período este onde as TBS

decreceram. Em períodos nos quais não ocorreram chuvas, as UR mínimas foram registradas por volta das 20 horas, e as máximas às 13 horas.

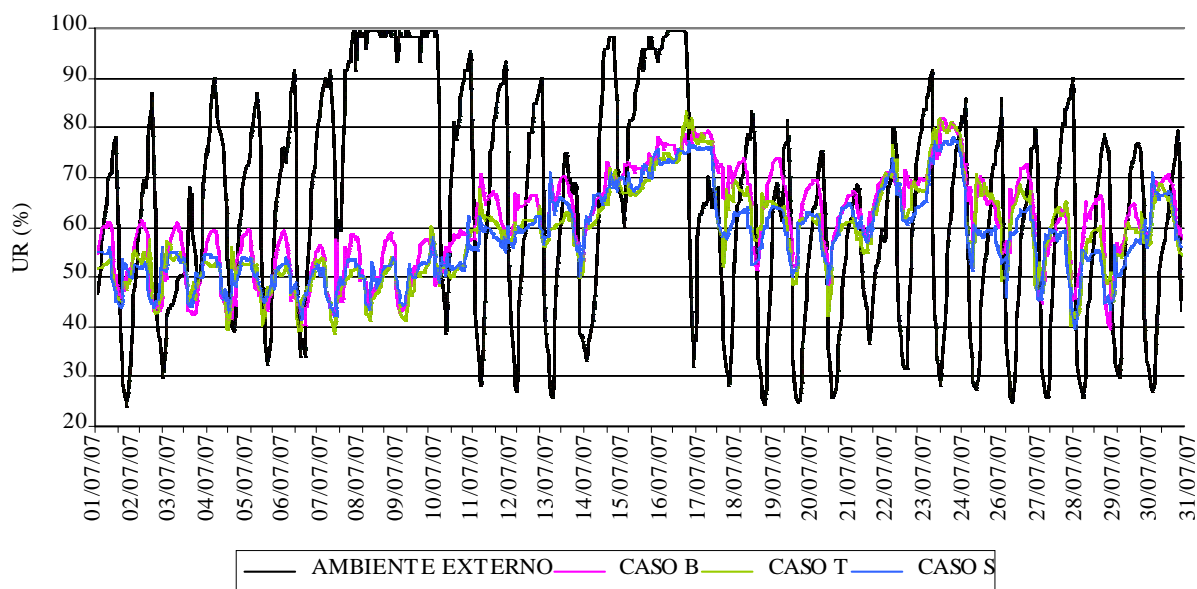


Figura 30 – Variação das URs das unidades e do ambiente externo no período representativo de inverno

O caso B apresentou taxas de UR máximas e mínimas superiores às outras duas unidades, com média de 61,13%. As maiores taxas de UR do caso B foram observadas durante o período de chuva e nos horários entre 6 e 12 horas, sendo as UR máximas e mínimas 82,43 e 39,29% respectivamente. As taxas de UR máximas do caso T e S ficaram abaixo das do caso anterior, observando maior umidade no período matutino. Sendo que o caso T apresentou alguns picos máximos e mínimos de UR, ou seja, neste caso foram observadas maiores variações de UR durante o dia.

A figura 31 traz valores de TG das unidades de estudo e TBS do ambiente externo. Pode-se perceber que as três unidades apresentam valores semelhantes, com pequeno diferencial entre o caso T e S, com maiores e menores registros, respectivamente. Com a proteção da fachada lateral do caso S, evitou-se a incidência direta dos raios solares, os quais influenciam diretamente no aumento da radiação e TG.

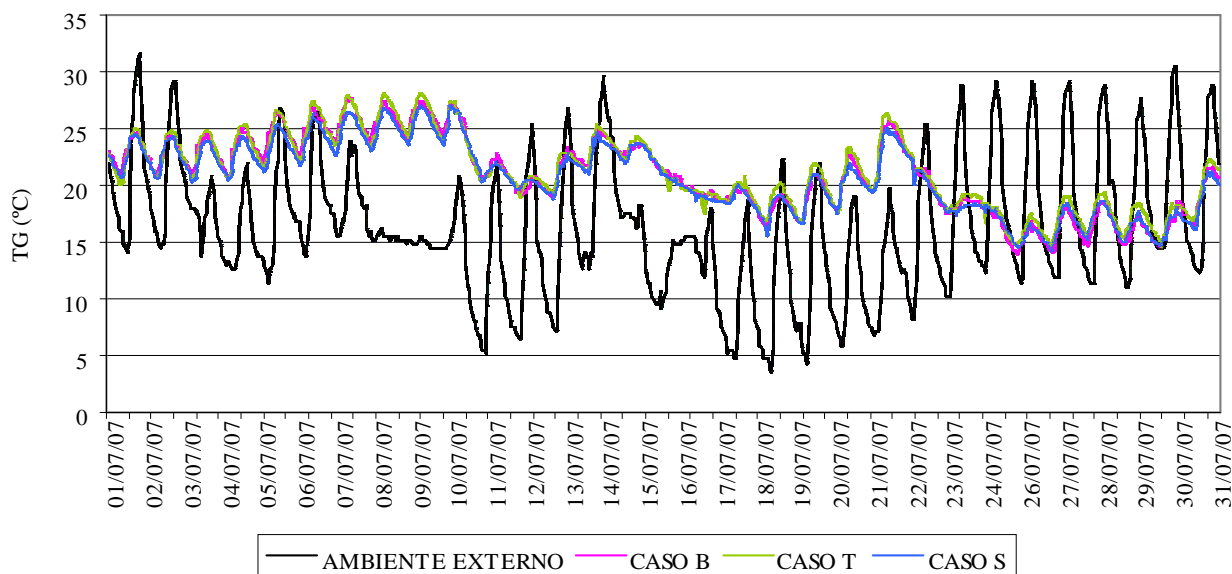


Figura 31 – Variação das TGs das unidades e do ambiente externo no período representativo de inverno

A figura 32 apresenta o atraso térmico diário observado nas unidades de estudo. Observa-se que os valores máximos de atraso térmico correspondem aos períodos nos quais a UR externa estava bem alta, principalmente de 8 a 10 de julho.

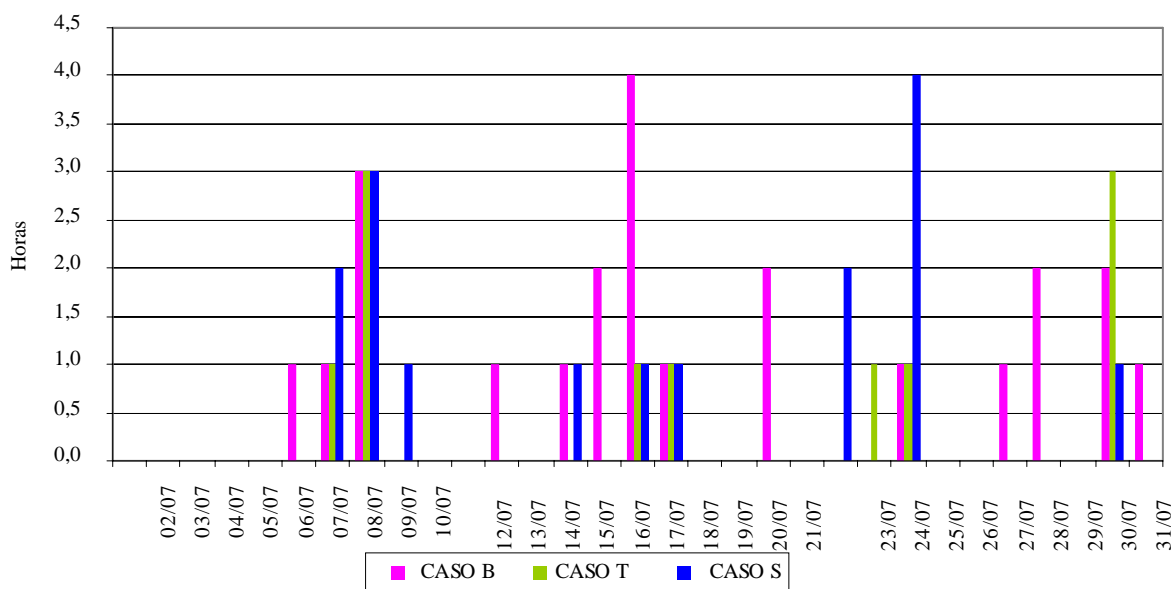


Figura 32 – Atraso térmico das unidades no período representativo de inverno

No caso B, nota-se o maior atraso térmico do período, atingindo ponto máximo em 16 de julho, com 4 horas de atraso térmico e média de 0,75hrs. Em seguida, o

caso S, com média de 0,51 e máxima de 4hrs e o caso T, com menores valores de atraso térmico no inverno, com média de 0,35hrs e máximo de 3hrs.

A figura 33 mostra o índice de amortecimento térmico de cada unidade, ou seja, a relação entre a amplitude interna de cada ambiente pela amplitude externa. Analisando-se todas as unidades de estudo, observa-se maior amortecimento térmico na unidade do caso T, com máxima de 3,4 e média de 0,42; em contrapartida ao caso S, com máxima de 2,66 e média de 0,34. O caso B ficou com média de 0,35 e máxima de 2,69. O perfil geral de amortecimento térmico seguiu as tendências dos valores observados de UR, ou seja, quando as precipitações tornaram-se mais intensas, elevando as taxas de UR, o amortecimento térmico elevou-se também.

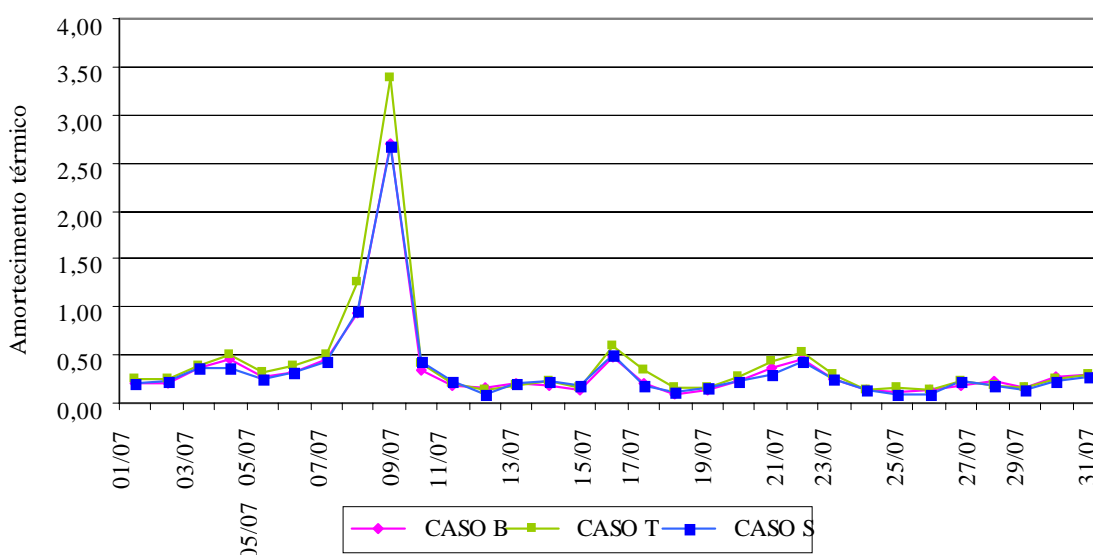


Figura 33 – Amortecimento térmico das unidades no período representativo de inverno

Em resumo, o caso topografia apresentou condições climáticas ligeiramente mais amenas que o caso base, com valores de TBS máximas e mínimas inferiores. A UR também se manteve abaixo dos índices medidos no caso B, além disso, o caso T apresentou em média valores de amortecimento térmico superiores quando comparado ao caso B. No caso sombreamento, em geral, foram observadas condições semelhantes ao caso T, exceto quanto ao atraso térmico, que foi maior que no caso T.

Os resultados apresentados para o período de inverno das unidades do caso

B, T e S seguiram o mesmo padrão registrado na estação verão, com condições climáticas mais amenas no caso T e S. Entretanto, com o problema de armazenamento de dados do caso orientação, a análise dos resultados foi comprometida, já que este caso foi considerado o mais crítico do período de medição de verão.

4.1.3 Comparação com os dados obtidos por Simulação

Conforme explicado no item 3.4.3, a simulação climática foi necessária para obter dados climáticos do ano todo, possibilitando a análise da situação térmica das unidades habitacionais através de diversas metodologias.

A figura 34 mostra as variações de TBS no período de verão, de 15/12/2006 a 14/01/2007, diferenciando os resultados obtidos por medição (EXTERNO, CASO Bm, CASO Tm, CASO Om, CASO Sm) e por simulação (CASO Bs, CASO Ts, CASO Os, CASO Ss). Em uma comparação entre os casos simulados e reais, é importante destacar que as variações de TBS nos casos simulados seguem claramente as condições climáticas externas, já que estes dados foram utilizados como dados de entrada na simulação. Já os dados obtidos por medição, seguem outro padrão, semelhantes entre si; o que pode ser explicado pelo fato das estações de monitoramento serem distantes (dados externos – UEL x dados internos – Conjunto Habitacional).

Entre os casos simulados, o caso Os apresentou maior amplitude térmica e picos máximos de TBS superiores ao ambiente externo, seguido pelo caso Bs, Ts e Ss; ou seja, o mesmo perfil de desconforto térmico por calor encontrado nas medições in loco.

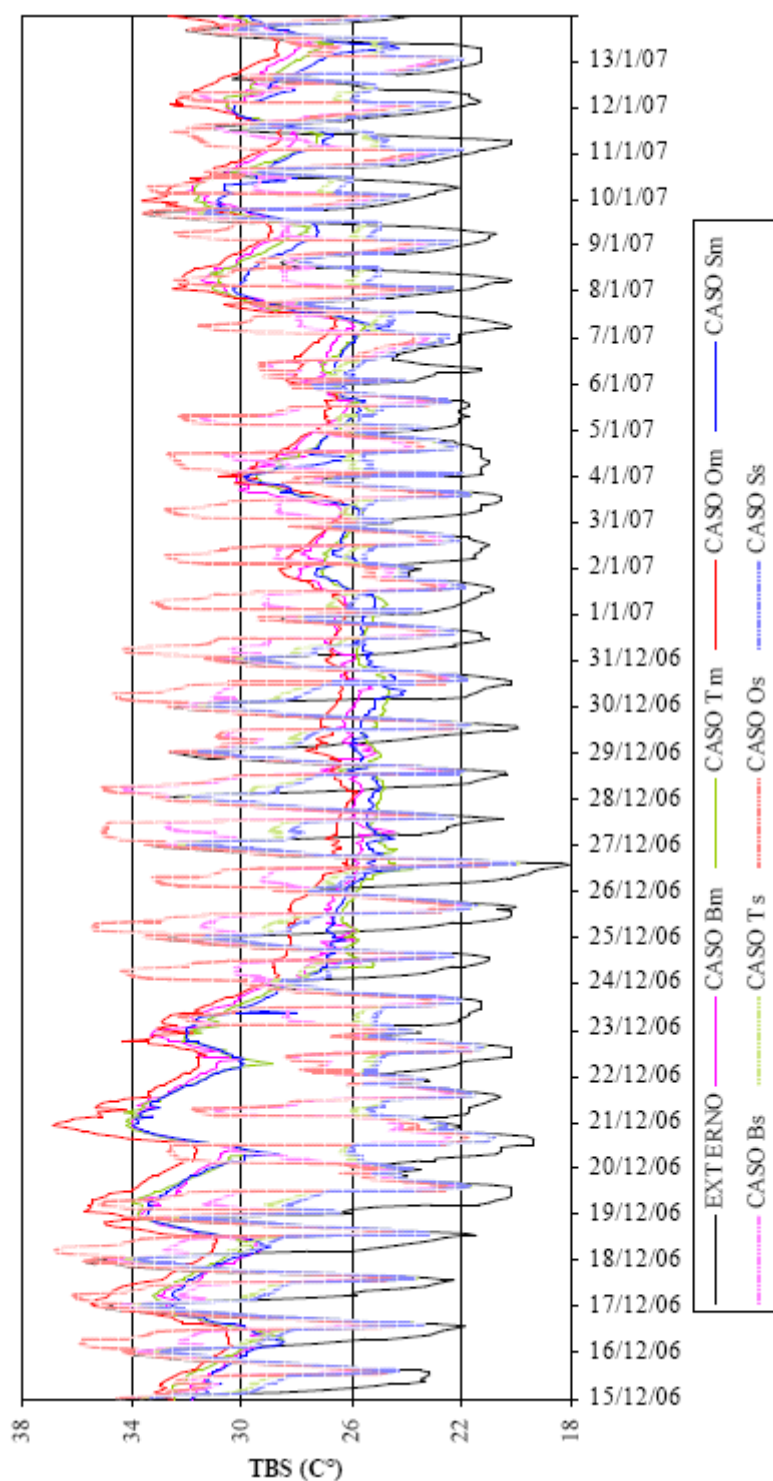


Figura 34 – Variação das TBSs obtidas por medição e simulação das unidades em estudo no período representativo de verão

No período representativo de inverno, ilustrado pela figura 35, também nota-se que as variações das TBS nos casos simulados seguem a tendência do ambiente externo, muito mais que os dados obtidos por medição. O caso Os aparece também como o

caso de maior desconforto térmico por frio, conforme indicava as medições in loco.

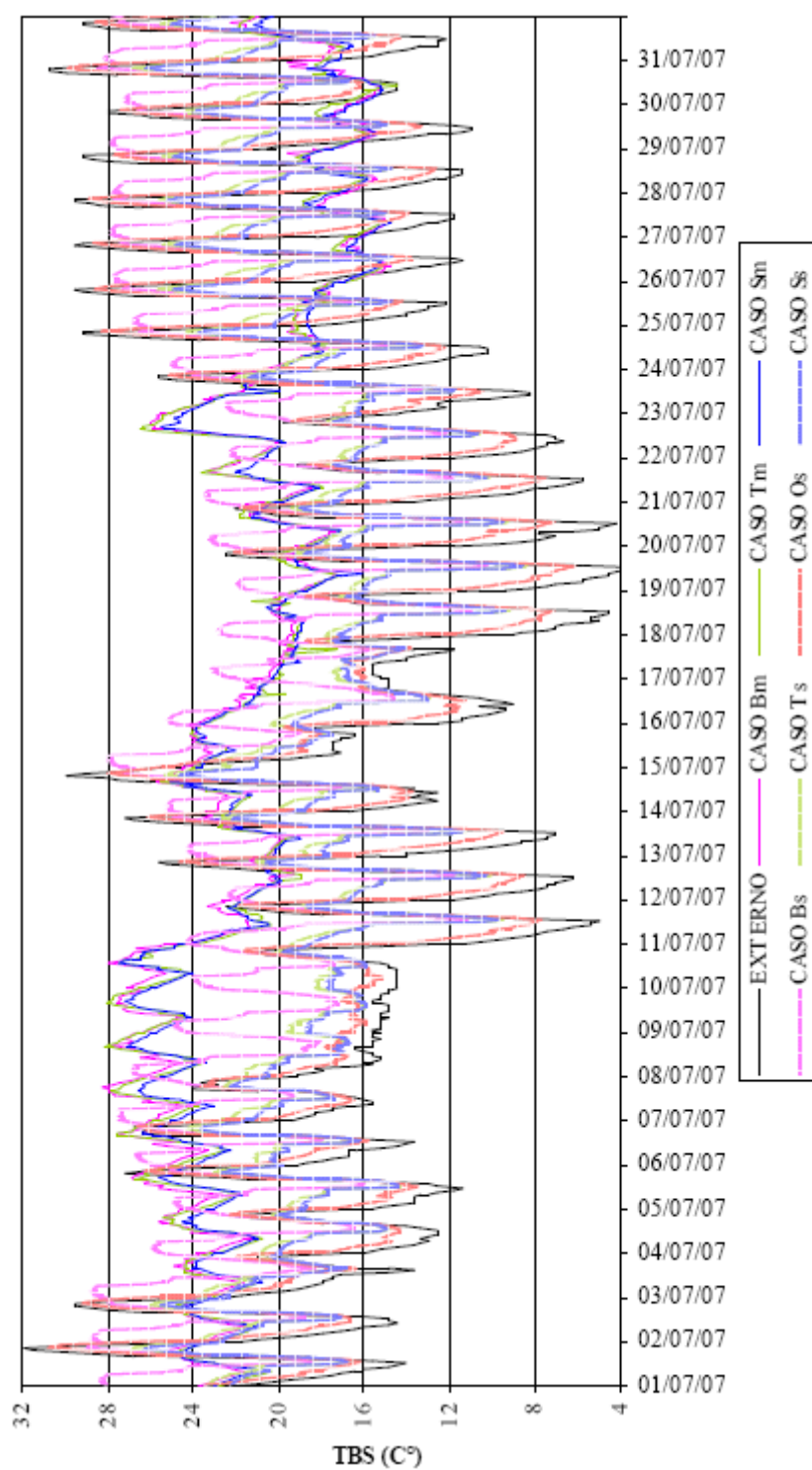


Figura 35 – Variação das TBSs obtidas por medição e simulação das unidades em estudo no período representativo de inverno

4.2 AVALIAÇÃO TÉRMICA DA TIPOLOGIA BÁSICA POR PARÂMETROS PRESCRITIVOS

4.2.1 Propriedades Térmicas Calculadas

Neste item são apresentados os cálculos das propriedades térmicas da tipologia básica das unidades de estudo, baseando-se no método de cálculo expresso na NBR 15220-2 (ABNT, 2005). As propriedades físicas de cada elemento da composição das paredes externas e da cobertura da tipologia construtiva encontram-se listados no Apêndice B.

Através das propriedades físicas de cada elemento construtivo, obtiveram-se valores de Transmitância térmica (U), Capacidade térmica (C_T), Atraso térmico (ϕ), Fator solar (FSO) e Absortividade externa (α) das paredes e coberturas, mostrados na tabela 7.

Tabela 7 – Propriedades Térmicas calculadas para a Tipologia básica

Tipologia Básica	U (W/m ² .K)	C_T (kJ/m ² .K)	ϕ (horas)	FSO (%)	α
Paredes	2,68	149,68	3,31	2,14	0,20
Cobertura	2,01	264,48	5,54	6,42	0,80

Admitiu-se o período de verão no cálculo das propriedades da cobertura, com fluxo descendente, já que, de acordo com o método de cálculo expresso na NBR 15220-2 (ABNT, 2005), o atraso térmico e o fator solar são determinados apenas para o verão, por ser a condição predominante no Brasil.

Calculou-se também, as porcentagens das aberturas para ventilação em relação às áreas do piso de cada ambiente de longa permanência (A), o que é mostrado na tabela 8.

Tabela 8 – Áreas de aberturas para ventilação

Ambientes	Área piso (m ²)	Área janela (m ²)		A (em % da área do piso)		
		Total	Efetiva	Total	Efetiva	Efetiva + Porta
Sala	10,36	1,20	0,60	11,58	5,79	26
Quarto casal	10,45	1,20	0,60	11,48	5,74	-
Quarto solteiro	9,48	1,20	0,60	12,65	6,32	-
Cozinha	6,44	0,96	0,48	14,90	7,45	40

A coluna referente à área total da janela compreende as dimensões das esquadrias, a coluna de área efetiva corresponde às áreas de ventilação efetiva, considerando o tipo de janela (correr, abrir, basculante ou máximo ar). Têm-se ainda a coluna referente à inclusão da área da porta como área efetiva de ventilação, já que os ambientes: sala e cozinha possuem portas para o exterior, normalmente deixadas abertas pelos moradores.

4.2.2 NBR 15220-3 (ABNT, 2005)

As diretrizes construtivas e os valores recomendados pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005) para a Zona Bioclimática 3, na qual a cidade de Londrina encontra-se inserida, foram comparados às propriedades térmicas calculadas no item anterior.

Quanto às vedações externas, para a zona climática em questão, a norma determina o uso de parede leve refletora e cobertura leve isolada, com valores das propriedades térmicas mostrados na tabela 9; estabelecendo também aberturas médias para ventilação, ou seja, de 15 a 25% de área em relação à área do piso.

Tabela 9 – Propriedades Térmicas recomendadas pela NBR 15220-3

Vedações Externas	U (W/m ² .K)	φ (horas)	FS _o (%)
Paredes	≤ 3,60	≤ 4,30	≤ 4,0
Cobertura	≤ 2,00	≤ 3,30	≤ 6,5

Fonte: adaptado de NBR 15220-3 (ABNT, 2005)

A partir dos limites expressos na tabela 9, é possível concluir que as paredes da tipologia básica das habitações de estudo atendem aos parâmetros da referida norma.

Quando analisada a cobertura, percebe-se que a tipologia atende aos valores de transmitância térmica e de fator solar, embora apresente valores muito próximos dos limites aceitáveis pela norma. Já o atraso térmico observado na tipologia, ficou acima do recomendado.

Quanto às aberturas para ventilação, a análise dos dados comprova que, quando analisados os ambientes de longa permanência, os índices de ventilação não são satisfatórios. Considerando a abertura efetiva das janelas como área de ventilação, nenhum dos ambientes atende ao mínimo de 15% de área em relação à área do piso. Entretanto,

levando-se em consideração que as portas da sala e da cozinha permanecem grande parte do dia abertas, têm-se um acréscimo de 2,1m² de área efetiva, com isso, esses ambientes ultrapassam o valor máximo exigido pela norma, com 26 e 40% de área para ventilação, respectivamente. É importante destacar que o tipo de esquadria da janela tem influência direta nesse requisito da norma, ou seja, se as janelas fossem do tipo de abrir, toda a área da esquadria seria para ventilação, aumentando a eficácia da ventilação natural, principalmente nos quartos.

A norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005) traz ainda algumas recomendações para a Zona bioclimática 3, nas quais distingue os períodos de inverno e verão. Para o inverno, recomenda que a forma, a orientação, as cores externas e a implantação da edificação, além da orientação de superfícies envidraçadas, contribuam para o aquecimento solar da edificação, através da radiação solar. Ainda para essa estação, aconselha a utilização de vedações internas pesadas, contribuindo para a inércia térmica dos ambientes e mantendo o interior da edificação aquecido. Recomenda também que o dispositivo de sombreamento das aberturas permita a entrada do sol no inverno. Para o verão, a norma recomenda a ventilação cruzada, obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Caso o ambiente tenha janelas em apenas uma fachada, a porta deve ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também se deve atentar para a direção dos ventos predominantes da região.

Quanto à recomendação de aquecimento solar da edificação no período de inverno, observa-se que o projeto da tipologia das habitações não contempla tal aspecto, preocupando-se em manter um padrão da COHAB para redução de custos na construção. Por esse motivo, as vedações internas são constituídas do mesmo material que as paredes externas, agilizando o processo de construção.

A recomendação quanto à ventilação natural para a estação verão é claramente observada como estratégia de resfriamento mais utilizada pelos moradores, principalmente em relação à ventilação cruzada proveniente das aberturas das portas da cozinha e da sala. Quanto à direção do vento, a predominância para a cidade de Londrina nos anos de 2006 a 2007, de acordo com os relatórios do IAPAR, foi na direção leste. Dessa forma, para as unidades caso base, topografia e sombreamento, todas com a mesma orientação em relação ao Norte, o vento predominante incide na fachada frontal, que, além de estar livre de barreiras (apenas algumas grades e muretas), possui as aberturas do quarto do casal e da sala. Já o caso orientação, tem o vento predominante incidindo no fundo do terreno que possui muro de divisa, o que pode funcionar como obstáculo ao vento, ajudando a explicar as altas

temperaturas verificadas nesta unidade (conforme item 4.1.).

4.2.3 PNBR 02:136.01 (ABNT, 2004)

O Projeto de Norma 02:136.01 (ABNT, 2004), em suas partes 4 e 5, analisa as propriedades térmicas das paredes externas, cobertura e área de aberturas de edificações residenciais de até cinco pavimentos, da mesma maneira que a norma 15220-3 (ABNT, 2005), porém com limites diferentes.

Os limites aceitáveis de transmitância térmica das paredes são dados em função da zona climática e da absorvância da face externa, instituindo um nível de desempenho mínimo. O Projeto de Norma também traz valores referentes à capacidade térmica das vedações verticais. Os valores e limites aceitáveis como nível de desempenho mínimo por esta metodologia de avaliação para a zona bioclimática 3 são apresentados na tabela 10.

Tabela 10 – Propriedades Térmicas das paredes recomendadas pela PNBR 02:136.01.004

Paredes	U (W/m ² .K)		C _T (kJ/m ² .K)
	$\alpha < 0,6$	$\alpha \geq 0,6$	
Nível de Desempenho Mínimo (M)	$\leq 3,7$	$\leq 2,5$	≥ 130

Fonte: adaptado de PNBR 02:136.01.004 (ABNT, 2004)

Na parte 5, o Projeto de Norma apresenta valores aceitáveis para as características das coberturas das edificações, apresentando três níveis de classificação do desempenho: o mínimo (M), o intermediário (I) e o superior (S), conforme mostra a tabela 11. Nesta parte, analisa ainda o sombreamento das aberturas localizadas em paredes externas, qualificando o projeto com desempenho mínimo caso as janelas dos dormitórios apresentem dispositivo de sombreamento controlado pelo usuário.

Tabela 11 – Propriedades Térmicas das coberturas recomendadas pelo PNBR 02:136.01.005

Coberturas	U (W/m ² .K)	α
Nível de Desempenho M	$\leq 2,3$	sem exigência
Nível de Desempenho I	$\leq 1,5$	$0,26 < \alpha \leq 0,4$
Nível de Desempenho S	$\leq 1,0$	$\leq 0,25$

Fonte: adaptado de PNBR 02:136.01.0045 (ABNT, 2004)

Para ambientes de longa permanência, como quartos, salas e cozinhas, o Projeto de Norma recomenda áreas mínimas de aberturas para ventilação (A), adotando nível de desempenho mínimo para $A \geq 8\%$, para a zona climática em estudo.

A partir das propriedades térmicas calculadas para a tipologia em estudo e os limites recomendados pelo PNBR 02:136.01.005, pode-se observar que as paredes externas atendem aos requisitos, obtendo nível de desempenho mínimo para transmitância e capacidade térmica. A cobertura também atende ao nível mínimo de desempenho, onde não há limite máximo de absorvância.

Em relação às aberturas para ventilação, a análise dos dados comprova que, analisado os ambientes de longa permanência, os índices de ventilação não são satisfatórios. Considerando a abertura efetiva das janelas como área de ventilação, nenhum dos ambientes atende ao mínimo de 8% de área em relação à área do piso (a janela da cozinha, do tipo basculante chega próximo ao valor mínimo). Entretanto, levando-se em consideração que as portas da sala e da cozinha permanecem grande parte do dia abertas, têm-se um acréscimo de 2,1m² de área efetiva, com isso, esses ambientes atingem o valor mínimo exigido pela norma, com 26 e 40% de área para ventilação, respectivamente (tabela 8). Como mencionado anteriormente (conforme item 4.1.2.), o tipo de janela tem influência direta nesse requisito da norma, variando de 30 a 100% o índice de aproveitamento das aberturas para ventilação (como exemplo, janelas basculantes e de abrir, respectivamente).

Quanto ao sombreamento das janelas dos dormitórios, o projeto das unidades habitacionais atende aos requisitos de desempenho mínimo do PNBR 02:136.01, apresentando venezianas metálicas nesses ambientes. Uma outra recomendação do projeto de norma é que não sejam usadas coberturas cuja capacidade térmica seja maior ou igual a 150 kJ/m².K sem isolamento térmico ou sombreamento. Dessa forma, a composição da cobertura da tipologia básica das unidades de estudo estaria fora do recomendado, já que possui $C_T = 264$ kJ/m².K (tabela 7) e não apresenta nenhum isolamento.

4.3 AVALIAÇÃO TÉRMICA DAS HABITAÇÕES POR PARÂMETROS DE DESEMPENHO

4.3.1 PNBR 02:136.01 (ABNT, 2004)

O método de avaliação por medição proposto pelo PNBR 02:136.01 classifica o nível de desempenho térmico das edificações a partir dos dados de TBS interna dos períodos de verão e inverno, adotando-se o dia típico como referencial para tal classificação.

Conforme descrito em 3.5.2 (ver em métodos e materiais), o dia típico de verão adotado para Londrina por este estudo é o dia 18 de dezembro, juntamente com os 2 dias que o precedem, 16 e 17 (ver figura 36).

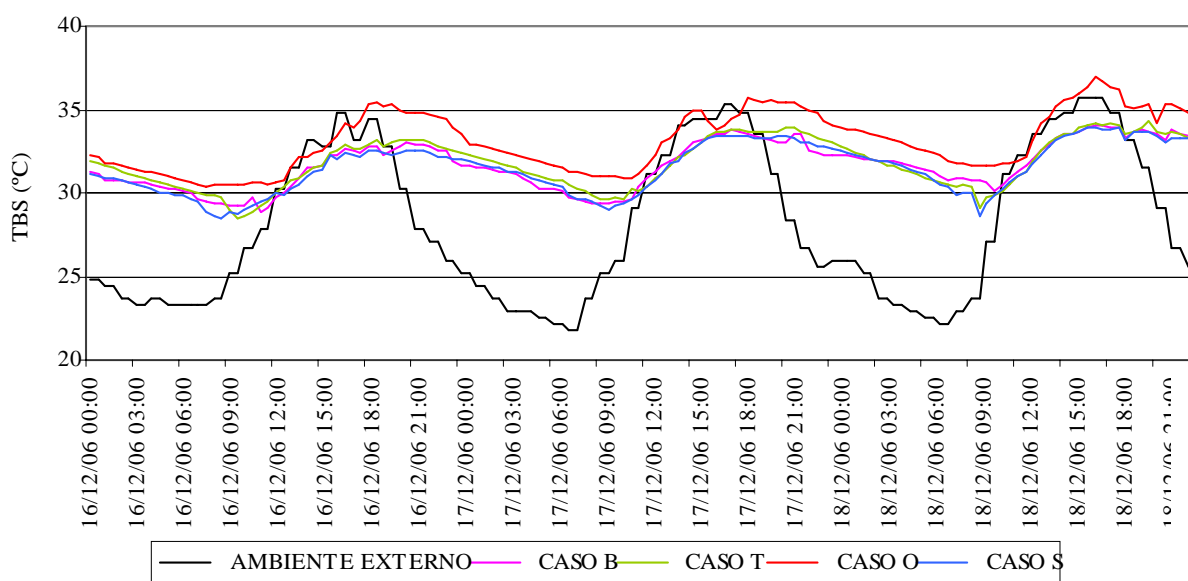


Figura 36 – Variação das TBSs das unidades e do ambiente externo nos dias típicos de verão

Analisando as TBS das quatro unidades habitacionais e comparando-as com a TBS externa máxima registrada durante o dia 18/12 (figura 36), observa-se que todos os casos de estudo são classificados com nível de desempenho mínimo já que possuem TBS menores que a TBS do ambiente externo, à exceção do caso orientação (destacado na tabela 12), que apresentou TBS interna maior que a externa, ficando sem classificação de acordo com os critérios do PNBR 02:136.01.

A tabela 12 apresenta um resumo dos dados medidos nos dias típicos de

verão. Observa-se que até as TBSs internas mínimas registradas são muito altas, ficando acima dos 28°C. A tabela traz ainda a UR correspondente ao momento do registro das TBS máximas, e a hora do dia em que esses dados foram obtidos. Pode-se observar o atraso térmico consideravelmente maior no caso topografia, onde as máximas internas foram obtidas depois de decorridas aproximadamente 4 horas do registro da TBS externa máxima. De acordo com registros fornecidos pelo IAPAR, o estado geral do tempo nesses 3 dias foi classificado como nublado, seguido de encoberto e registrando precipitações a partir do dia 20/12.

Tabela 12 – Resumo dos dados monitorados no dia típico de verão

Ambientes Monitorados	Temperaturas diárias (°C)			Horário /TBS _{máx} (hora)
	mínima	média	máxima	
Ambiente Externo	22,09	28,49	35,70	16:00
Caso B	30,17	32,36	34,05	17:30
Caso T	29,14	32,26	34,31	20:30
Caso O	31,66	33,85	36,91	17:00
Caso S	28,67	32,10	33,94	17:00

No inverno, considerando o dia típico adotado como 26 de julho de 2007, o caso B alcançou nível de desempenho mínimo, com valor mínimo diário de temperatura do ar acima dos 12°C. Os casos S e T atingiram desempenho intermediário, com temperatura mínima acima dos 15°C (figura 37). O caso O não obteve classificação devido ao problema de captação e armazenamento de dados do sensor instalado.

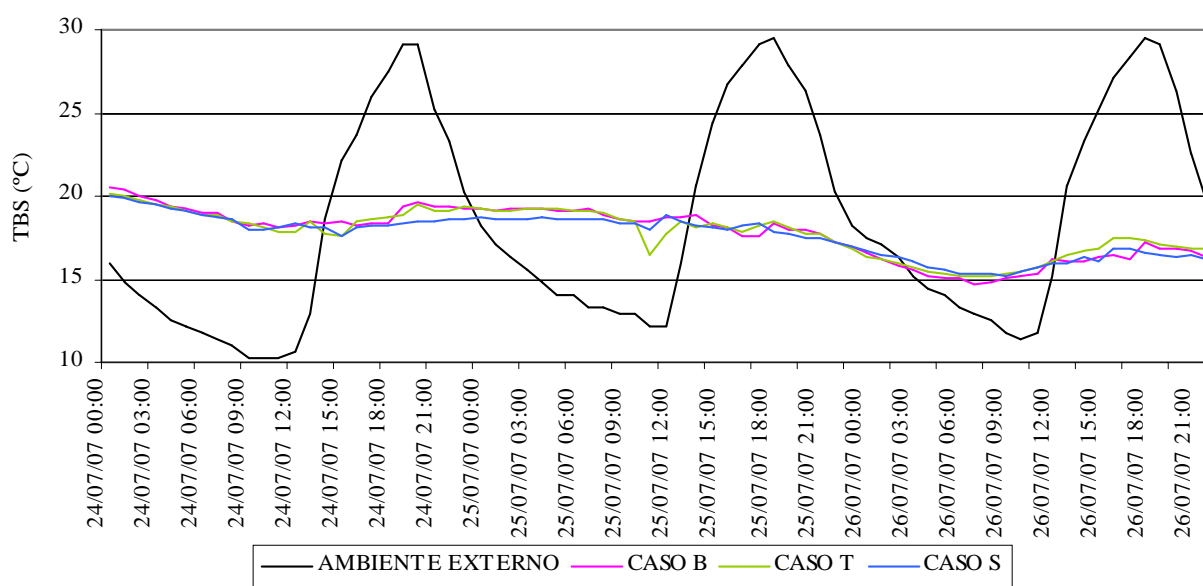


Figura 37 – Variação das TBSs das unidades e do ambiente externo nos dias típicos de inverno

A tabela 13 apresenta um resumo das TBS registradas no dia típico de inverno, juntamente com o horário em que ocorreram as mínimas temperaturas. Observa-se uma semelhança entre as condições climáticas das três unidades, com TBS mínimas, médias e máximas muito próximas. Quanto ao atraso térmico, pode-se observar que as TBS mínimas internas são decorrentes do resfriamento da edificação da noite anterior, pela ausência de radiação solar.

Tabela 13 – Resumo dos dados medidos no dia típico de inverno

Ambientes Monitorados	Temperaturas diárias (°C)			Horário /TBS _{mín} (hora)
	mínima	média	máxima	
Ambiente Externo	11,38	18,90	29,50	11:00
Caso B	14,72	15,95	17,15	8:00
Caso T	15,13	16,24	17,49	7:00
Caso S	15,22	16,09	16,94	10:00

4.3.2 Zona Bioclimática de Givoni (1992)

A zona bioclimática proposta por Givoni utiliza um diagrama psicrométrico onde as variáveis climáticas se resumem em TBS (°C), TBU (°C), U (g/kg) e UR (%).

Conforme descrito em 2.4.6., a carta está dividida em 12 zonas de estratégias bioclimáticas (ver figura 8 em 2.5.3.), sendo uma delas a zona de conforto, na qual o ambiente é considerado aceitável termicamente.

A partir das TBS e UR registradas nas unidades habitacionais e fornecidas pela UEL (ambiente externo), foi possível analisar a situação térmica das habitações e do meio exterior. Com o auxílio do programa Analysis Bio, plotou-se os dados referentes aos períodos de verão (15 de dezembro de 2006 a 27 de fevereiro de 2007) e inverno (05 de junho a 18 de agosto de 2007), cada um com 75 dias, ou seja, 1800 registros de dados para cada estação.

A tabela 14 mostra o desempenho térmico de cada unidade de estudo durante o período de medição de verão e as respectivas estratégias climáticas mais indicadas para se obter conforto térmico em cada caso.

Tabela 14 – Relatório de saída do Analysis Bio: medição de verão (dados em %)

VERÃO	Externo	Caso Base	Topografia	Orientação	Sombream.
Conforto	22,2	37,6	40,2	23,8	53,3
Desconforto geral	77,8	62,4	59,8	76,2	46,7
Desconforto por frio	6,79	0	0	0	0
- alta inércia/aquecimento solar	6,79	-	-	-	-
Desconforto por calor	71,1	62,4	59,8	76,2	46,7
- ventilação	52,7	35,6	31,2	37,8	16,9
- ventilação/ alta inércia	0,22	2,55	2,55	2,27	1,23
- vent./ alta inércia/ resfr. evaporativo	13,8	20	21,9	23,6	25,8
- alta inércia p/ resfriamento	0,22	1,35	1,12	1,71	1,29
- alta inércia/ resfr. evaporativo	3,7	1,23	1,01	0,393	1,21
- ar condicionado	0,45	1,6	1,99	10,3	0,28

A partir dos resultados, observa-se que no período de verão, as unidades estudadas apresentaram índices de conforto superiores ao do ambiente externo. Enquanto o ambiente externo apresentou 6,79% das horas em desconforto por frio, todas as unidades apresentaram somente desconforto por calor.

O caso T quando comparado ao caso B, apresentou melhor situação térmica, com 2,6% das horas em conforto a mais que este caso. Entretanto, no caso O observou-se a pior situação térmica, com 76,2% das horas em desconforto por calor, 38,6% a mais que o caso B; além disso, observa-se indicação do uso de ar condicionado, estratégia ativa de resfriamento, em 10,3% das horas, valor superior a todas as outras unidades. Já o caso S foi considerado como o mais confortável de todas as unidades estudadas, com apenas 46,7 % das horas em desacordo com os limites desta metodologia de avaliação. Em geral, o uso da ventilação foi a estratégia mais indicada para melhorar o conforto térmico, destacando a importância de estratégias passivas de condicionamento de ar.

Além das estratégias apontadas pelas zonas bioclimáticas, a necessidade de sombreamento (indicada em 100% das horas em todas as unidades estudadas) fica evidente pelos altos índices de radiação solar direta nas edificações, dada à falta de arborização do conjunto e de elementos de proteção. O baixo índice de estratégias artificiais, as quais demandam quantidade considerável de energia elétrica, confirmando que o projeto arquitetônico, juntamente com as características de cada material construtivo, pode contribuir com o conforto térmico, evitando o consumo de energia.

A tabela 15 mostra o desempenho térmico de cada unidade de estudo durante o período de medição de inverno e as respectivas estratégias bioclimáticas mais indicadas para se obter conforto térmico em cada caso.

Tabela 15 – Relatório de saída do Analysis Bio: medição de inverno (dados em %)

INVERNO	Externo	Caso Base	Topografia	Sombream
Conforto	33,80	91,3	91,5	91,5
Desconforto geral	66,20	8,72	8,5	8,5
Desconforto por frio	60,70	8,72	8,5	8,5
- alta inércia/aquecimento solar	9,81	0,05	0,05	0,05
- aquecimento artificial	33,2	8,66	8,44	8,44
- aquecimento solar passivo	17,7	-	-	-
Desconforto por calor	5,51	0	0	0
- ventilação	0,07	-	-	-
- vent./ alta inércia/ resfr, evaporativo	4,9	-	-	-
- alta inércia/ resfr, evaporativo	0,07	-	-	-
- resfriamento evaporativo	0,13	-	-	-
- umidificação	0,13	-	-	-

A partir dos resultados de medição de inverno, observa-se que as unidades estudadas apresentaram índices de conforto muito superiores ao do ambiente externo, chegando próximas do conforto em 100% das horas estudadas. Nesse período, todas as horas de desconforto observadas pelas unidades foram devidas ao frio, à exceção do ambiente externo, com 5,51 % de desconforto por calor. Em geral, as unidades apresentaram comportamentos térmicos semelhantes, com pequeno diferencial na necessidade de aquecimento artificial na unidade caso B.

Devido à falha de registro do caso O no período de inverno, foram analisados os resultados provenientes das simulações de dados horários para o ano inteiro de todas as unidades de estudo, a fim de proporcionar uma análise comparativa entre o caso mais crítico observado nas medições in loco e ou outros três casos. Dessa forma, a tabela 16 mostra o resultado da avaliação das condições térmicas das unidades em estudo e do ambiente externo.

Tabela 16 – Relatório de saída do Analysis Bio: simulação dados horários (dados em %)

ANO INTEIRO	Externo	Caso Base	Topografia	Orientação	Sombream.
Conforto	35,80	56,30	64,10	35,50	65,30
Desconforto geral	64,20	43,70	35,90	64,30	34,70
Desconforto por frio	31,60	13,50	12,70	19,12	13,40
- alta inércia/aquecimento solar	3,10	0,06	0,29	1,79	0,28
- aquecimento artificial	22,3	12,74	11,41	14,50	12,10
- aquecimento solar passivo	6,19	0,70	1,00	2,83	1,02
Desconforto por calor	32,60	30,20	23,20	45,18	21,30
- ventilação	19,30	15,60	14,00	12,00	14,30
- ventilação/ alta inércia	0	0	0	0,25	0
- vent./ alta inércia/ resfr, evaporativo	9,15	9,42	7,98	13,00	6,08
- alta inércia p/ resfriamento	0,05	0,16	-	0,63	0
- alta inércia/ resfr, evaporativo	3,80	2,08	1,08	4,80	0,84
- ar condicionado	0,06	1,82	0,02	14,30	0
- resfriamento evaporativo	0,15	0,86	0,02	0,30	0,02
- umidificação	0,10	0,26	0,10	0,10	0,06

Observa-se maior desconforto por calor no caso O, em contrapartida ao caso S, confirmando os dados obtidos por medição in loco no período de verão. O caso T, seguido pelo caso B, também obtiveram respostas térmicas semelhantes às medições in loco de verão.

No inverno, observou-se maior conforto no caso T (apenas 12,70% das horas em desconforto por frio), seguido pelo caso S e B (13,40 e 13,50, respectivamente), os quais obtiveram respostas térmicas semelhantes, confirmado pelas medições in loco. O caso O apresentou a pior situação no inverno, com 19,12% das horas em desconforto por frio, das quais o aquecimento artificial foi indicado em 14,5% das horas. O comportamento de inverno do caso O não pode ser confirmado pela medição in loco, devido às falhas de registros, entretanto, a análise da figura 23, esclarece os fatores que levaram essa unidade a obter um comportamento térmico desfavorável tanto no verão quanto no inverno: a trajetória solar no inverno causa o sombreamento das fachadas expostas do ambiente medido do caso O, reduzindo o ganho de calor pelas paredes e aberturas; já que as fachadas que mais recebem a incidência de raios solares no inverno são a norte, nordeste e noroeste.

Nas figuras 38 a 42 são apresentadas as cartas psicrométricas do ambiente externo e de cada unidade habitacional, ilustrando a dispersão dos dados obtidos por simulação nas 12 zonas de estratégias bioclimáticas no período de um ano.

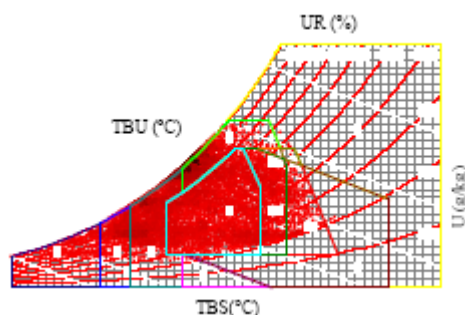


Figura 38 – Carta Bioclimática para o ambiente externo

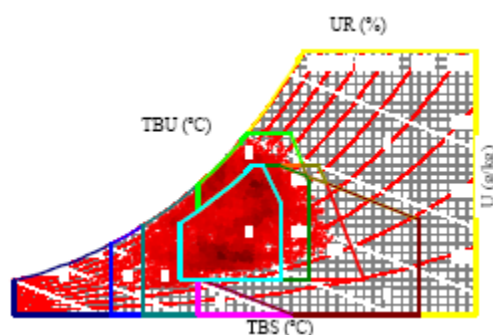
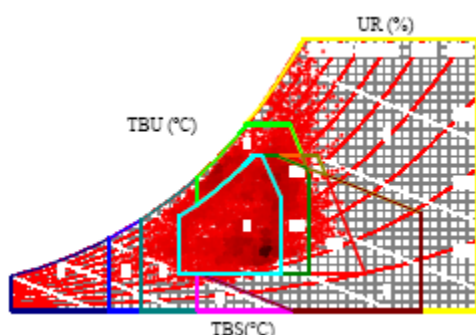


Figura 39 – Carta Bioclimática para o caso B **Figura 40** – Carta Bioclimática para o caso T

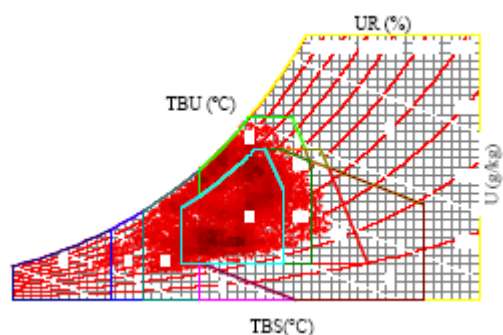
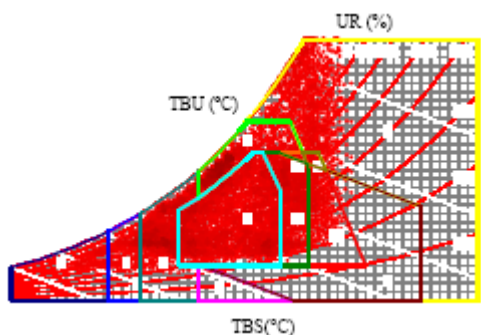


Figura 41 – Carta Bioclimática para o caso O **Figura 42** – Carta Bioclimática para o caso S

A partir da análise das cartas bioclimáticas, pode-se observar a concentração dos pontos próximos à zona de conforto nas unidades dos casos T e S. Por outro lado, observa-se claramente a dispersão dos pontos fora da zona de conforto (destacada em azul claro) no caso O. Nesta unidade, pode-se perceber o acentuado desconforto tanto por frio, na zona de aquecimento artificial (destacado em azul marinho), quanto por calor, na zona de ventilação (destacado em amarelo). Tendo como comparação a unidade do caso B, os casos T e S obtiveram melhores condições térmicas a partir de mesmas condições climáticas externas;

já o caso O, obteve os piores resultados térmicos, devido às suas condições de entorno e micro clima local.

A seguir, foram analisadas as unidades críticas, caso B e O, de acordo com os dados simulados para as estações verão e inverno separadamente plotadas nas cartas psicrométricas. O objetivo desta análise foi encontrar sob quais condições climáticas externas o caso O apresentava-se mais desconfortável.

Tabela 17 – Relatório de saída do Analysis Bio: simulação dos dados horários (dados em %) para estações de verão e inverno (22/12 a 22/03 e 23/06 a 22/09)

Situação térmica e Estratégias recomendadas	Caso Base		Orientação	
	Verão (%)	Inverno (%)	Verão (%)	Inverno (%)
Conforto	26,50	76,10	18,20	47,7
Desconforto geral	73,50	23,90	81,80	52,3
Desconforto por frio	0	12,80	0,20	40,00
- alta inércia/aquecimento solar	-	0,05	-	3,45
- aquecimento artificial	-	11,25	0,20	29,80
- aquecimento solar passivo	-	1,50	-	6,75
Desconforto por calor	73,5	11,13	81,60	12,30
- ventilação	34,8	0,18	28,20	0,29
- ventilação/ alta inércia	1,00	-	0,32	8,45
- vent./ alta inércia/ resfr, evaporativo	25,00	7,52	16,40	0,10
- alta inércia p/ resfriamento	0,27	-	1,15	2,15
- alta inércia/ resfr, evaporativo	2,20	0,90	5,77	-
- ar condicionado	10,5	0,18	29,5	0,95
- resfriamento evaporativo	0,09	1,72	0,23	0,18
- umidificação	-	0,63	-	0,18

A partir da tabela 17 observa-se que o caso O comporta-se de forma mais desconfortável no inverno que no verão, quando comparado ao caso B. As figuras 43 a 46 ilustram de forma gráfica os resultados alcançados pelas unidades B e O nas estações verão e inverno separadamente.

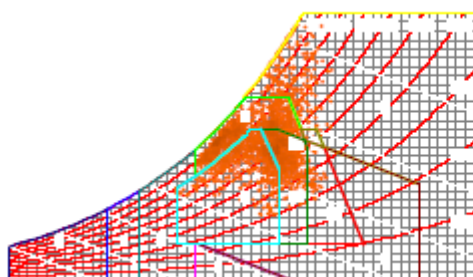


Figura 43 – Caso B na estação verão

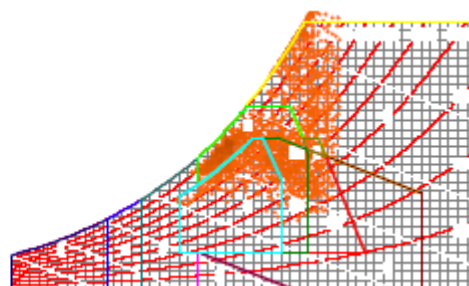


Figura 44 – Caso O na estação verão

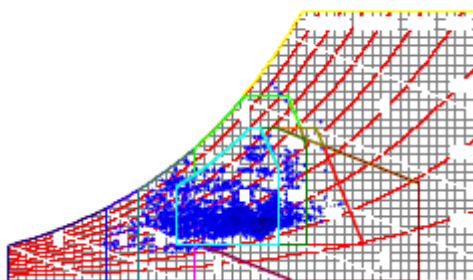


Figura 45 – Caso B na estação inverno

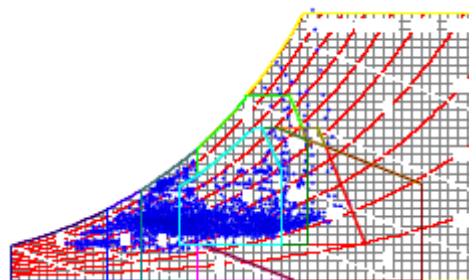


Figura 46 – Caso O na estação inverno

Observam-se grandes diferenças na indicação de estratégias artificiais para o caso O como forma de melhorar o conforto térmico da unidade habitacional, com 29,8% de uso de aquecimento artificial e 29,5% de uso de ar condicionado, comparado a 11,25% e 10,5% do caso B, respectivamente.

4.3.3 Método das Horas de Desconforto de Barbosa (1997)

Conforme descrito na fundamentação teórica, esse método, idealizado por Barbosa (1997), considera os limites de temperatura propostos pela Zona de Conforto de Givoni (1992), recomendando um limite de 1000 horas de desconforto total por ano para que o ambiente seja considerado aceitável termicamente.

A avaliação do conforto térmico é feita através da contagem de TBS dentro da zona de conforto, entre 18 e 29°C. Para as temperaturas menores que 18°C, é contabilizada a frequência de temperaturas na zona de desconforto por frio; e, para as temperaturas acima de 29°C, verifica-se a frequência de temperaturas na zona de desconforto por calor.

A partir dos dados medidos in loco nos períodos de verão (15 de dezembro de 2006 a 27 de fevereiro de 2007) e de inverno (05 de junho a 18 de agosto de 2007), totalizou-se 1800 registros horários para cada estação. O gráfico da figura 47 apresenta a frequência desses registros nas zonas de conforto e desconforto, tanto por frio quanto por calor, considerando o período acima observado. O limite de 1000 horas de desconforto recomendado pela metodologia em questão não pode ser aplicado aos dados medidos já que não são do ano inteiro.

É importante destacar que nas unidades habitacionais, todas as horas em

desconforto por frio referem-se à estação inverno, assim como as horas em desconforto por calor referem-se à estação verão. Conforme explicado anteriormente, o caso O não apresenta resultados de medição de inverno por problemas na captação de dados.

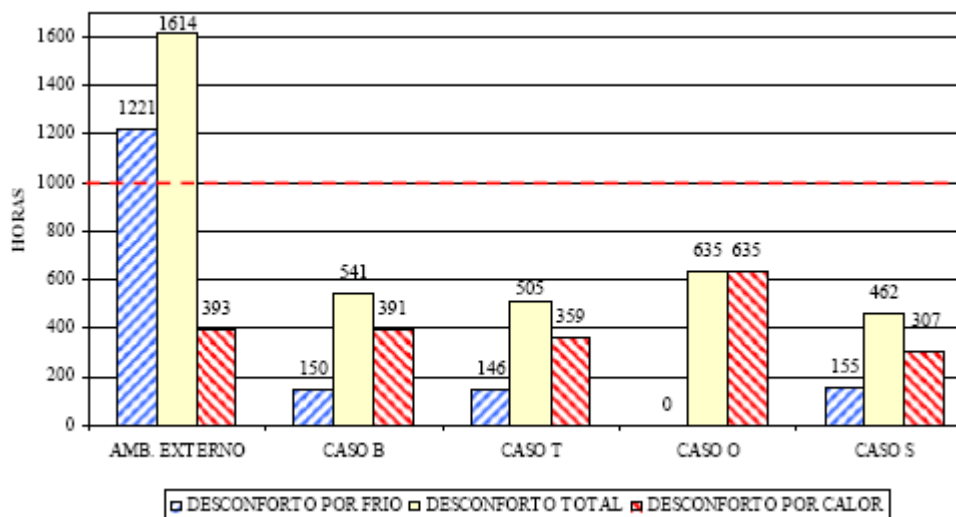


Figura 47 – Frequência das TBS medidas in loco para a zona de conforto de Givoni (1992)

No período de verão, o caso S apresentou maior conforto, seguido pelo caso T e B; o caso O obteve a maior frequência de suas TBS internas em desconforto; o que confirma os dados obtidos nos levantamentos in loco desse período.

Durante o inverno, os resultados das unidades B, T e S aproximaram-se bastante, conforme indicava análise das TBS, em 4.1.2. Pode-se observar que, embora o caso O não apresente medições de inverno, o total de horas em desconforto foi superior aos observados nas outras três unidades, onde se considerou dois períodos, ou seja, 3600 dados.

A figura 48 traz as frequências de TBS a partir dos dados horários anual obtidos pela simulação de cada unidade habitacional; dessa forma, têm-se 8760 dados referentes a cada hora do ano, tornando válida a aplicação dessa metodologia de avaliação.

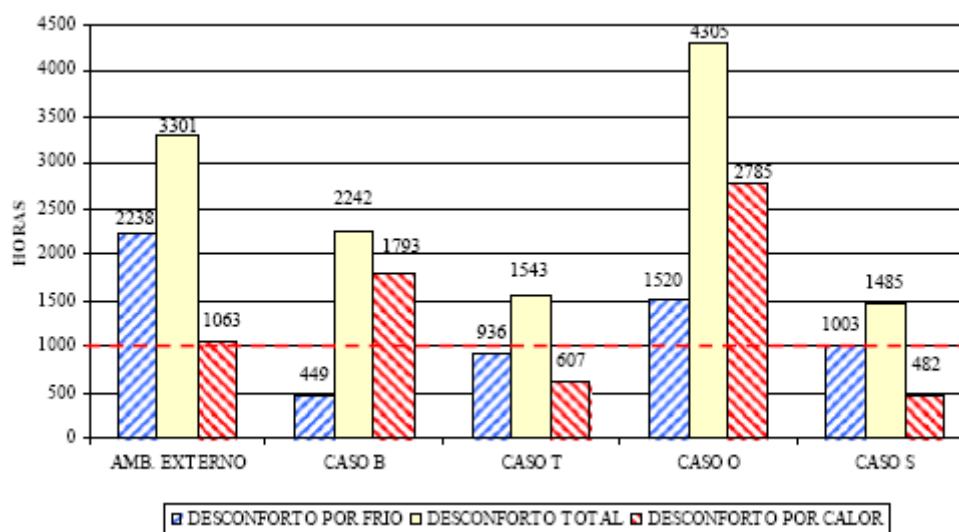


Figura 48 – Freqüência das TBS simuladas para a zona de conforto de Givoni (1992)

Com um total de horas de desconforto acima de 1000 horas, todas as unidades foram consideradas inadequadas por esse método. Entretanto, percebe-se que os casos S e T ficaram muito próximos da situação recomendada (ultrapassando apenas 485 e 543 horas, respectivamente); ao contrário do caso O, que apresentou 3305 horas a mais de desconforto do limite recomendado. Neste caso, com 49% das horas do ano em desconforto, observou-se desconforto maior em relação às outras unidades tanto no verão quanto no inverno. Novamente, a situação térmica do caso B fica intermediária entre o caso O e os casos T e S, confirmando dados medidos in loco.

Esta metodologia, quando comparada às outras metodologias estudadas neste trabalho, apresenta como parâmetro de avaliação térmica, somente valores de temperatura do ar interno, sendo menos detalhada e precisa; uma vez que a situação de conforto e desempenho térmico é uma resultante de variáveis climáticas como umidade, radiação, ventos, etc. O método da Zona Bioclimática de Givoni, por exemplo, também leva em consideração os dados de umidade do ar para a caracterização da zona de conforto.

4.3.4 ASHRAE 55 (2004)

Como mencionado em 3.5.2., a avaliação térmica dos ambientes através da norma americana ASHRAE 55 (2004) tornou-se possível através do software de simulação

Energy Plus, simulando-se os dados climáticos internos das habitações.

O programa gerou uma resposta térmica de aceitabilidade – ou não – dos casos analisados de acordo com a Zona de Conforto desta norma, assim, o resultado foi dado em horas de insatisfação térmica por parte do usuário no período de um ano, e em horas em que se encontrava em situação térmica satisfatória admitindo-se período de inverno e verão.

O resultado da aplicação da norma americana é mostrado na figura 49, com a quantidade de horas em que o ambiente esteve em desconforto térmico (destacado em amarelo); dentro da zona de conforto para inverno (destacado em azul) e dentro da zona de conforto para verão (destacado em vermelho).

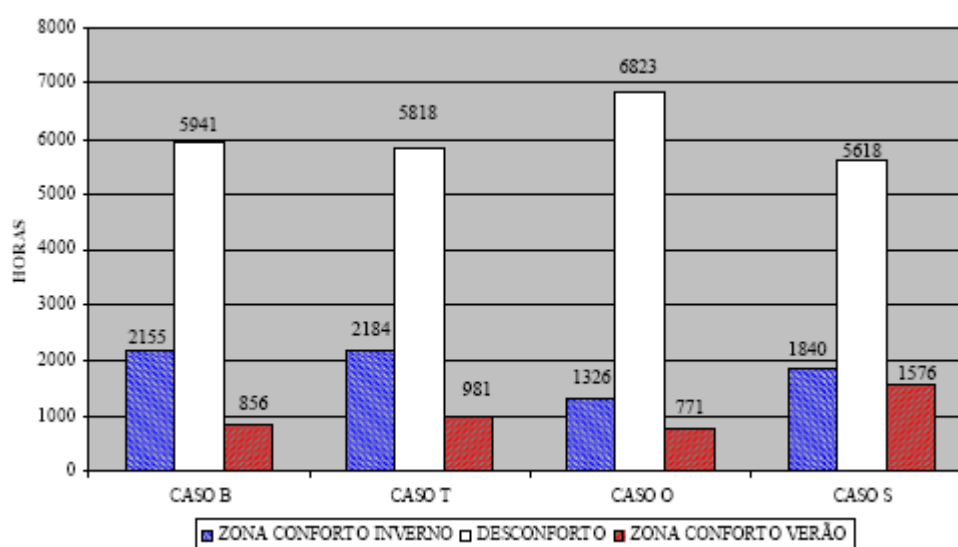


Figura 49 – Frequência das horas de acordo com a Zona de Conforto da ASHRAE-55

Observa-se que o caso O obteve o maior índice de desconforto, com 6823 horas em situação de desconforto, em contrapartida ao caso S, com 5618 horas. Os casos T e B seguiram a tendência encontrada nas análises anteriores e na medição in loco. Nota-se uma maior incidência das horas de conforto na zona de inverno, conseqüência das altas umidades obtidas na estação verão, as quais levaram a uma condição climática insatisfatória de acordo com os limites da zona de conforto de verão dessa metodologia de avaliação.

É importante destacar que a Zona de Conforto proposta pela ASHRAE (ver figura 5 em 2.4.5.) apresenta zonas separadas de conforto para verão e inverno, porém elas se interceptam, havendo pontos onde as condições térmicas estão de acordo com os limites da zona de conforto de verão e de inverno simultaneamente. Dessa forma, os resultados apresentados na figura 49, quando somados, totalizam um quantitativo de horas superior às 8760 horas do ano.

Destaca-se ainda, que este método de avaliação traz combinações de variáveis climáticas mais severas que a Metodologia de Horas de Desconforto de Barbosa, já que a quantidade de horas em desconforto total em todos os casos de estudo observada nessa norma americana foi superior àquela metodologia.

4.4 AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO DOS USUÁRIOS

Nas entrevistas sobre sensação e preferência térmica dos usuários, notou-se a importância da ventilação natural como estratégia de conforto. Ambiente de maior permanência, a sala é o local mais ventilado, dada às aberturas cruzadas. Porém é necessário analisar os picos de TBS externa e TBS interna para verificar a eficiência da ventilação natural, uma vez que, segundo Santamouris e Asimakopoulos (1996), o uso da ventilação só é recomendável quando a TBS externa é menor que a interna e possui valor máximo entre 28 e 32°C.

Com relação aos ambientes das unidades, a cozinha foi apontada como o local mais desconfortável, em contrapartida, a sala é o ambiente preferido para repousar. Notou-se que os moradores associam condições de desconforto por calor com a alta umidade, principalmente quando realizam atividades não sedentárias em períodos quentes e úmidos.

Como estratégia de resfriamento, os moradores enfatizaram principalmente o uso da ventilação natural pelas aberturas e o uso casual de ventiladores durante a noite, comentando que não usam mais a ventilação mecânica pelo diferencial do consumo de energia.

Como sugestão para melhoria do conforto térmico, os moradores apontaram a instalação de grades nas janelas como uma medida importante para manter a ventilação natural durante todo o período noturno. Sugeriram também o aumento dos vãos das janelas; a cobertura da garagem (como forma de proteger a fachada lateral da radiação direta); beirais maiores na frente e nos fundos; a arborização das calçadas; e elementos de sombreamento da edificação.

A maioria dos entrevistados, 62,5%, considera sua casa quente, entretanto, metade dos moradores prefere a estação verão, pois alegam que a unidade habitacional fica muito fria no inverno. A partir das respostas obtidas nas questões 22 a 24 (Apêndice A), as quais utilizaram a escala sétima proposta por Fanger (1970), obteve-se valores que

fornecheram o índice $PMV_{relatado}$, valores estes, ilustrados na tabela 18. É importante lembrar que foram realizadas apenas 2 entrevistas no período de inverno, às 10 e 18 horas.

Tabela 18 – Valores encontrados com a tabulação das questões de 22 a 24

Unidade de estudo	Estação	Horário	Morador sexo feminino			Morador sexo masculino		
			Q22	Q23	Q24	Q22	Q23	Q24
Caso B	verão	10:00	1	1	1	1	1	1
		14:00	1	2	1	2	1	2
		18:00	2	1	1	2	2	1
	inverno	10:00	-1	0	0	-1	-1	0
		18:00	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Caso T	verão	10:00	1	1	0	1	0	0
		14:00	1	1	2	2	1	2
		18:00	1	2	2	1	1	2
	inverno	10:00	-1	-1	0	0	0	-1
		18:00	0	0	0	0	0	0
Caso O	Verão	10:00	2	2	3	3	2	3
		14:00	3	3	3	3	3	3
		18:00	1	1	2	2	1	2
	inverno	10:00	-3	-2	-3	-2	-2	-3
		18:00	-1	-1	-2	-2	-1	-2
Caso S	Verão	10:00	0	0	0	0	0	0
		14:00	2	1	2	2	0	2
		18:00	1	0	1	1	0	0
	inverno	10:00	0	0	0	-1	-1	-1
		18:00	-1	0	0	-1	0	-1

Com a combinação dos valores obtidos em cada resposta, através de média aritmética, obteve-se o índice $PMV_{relatado}$ mostrado na tabela 19. Esse índice considerou a sensação térmica e as condições de conforto experimentadas pelo morador no momento das entrevistas e como desejava estar àquela hora, ou seja, sua preferência térmica.

O índice PMV destacado em vermelho representa o caso de maior desconforto por calor, já o destacado em azul, o maior desconforto por frio. Os valores em negrito destacam os casos com maior conforto térmico para a estação verão e inverno. Nas duas últimas colunas da tabela são apresentadas as médias finais para cada estação analisada.

Tabela 19 – Índice de conforto $PMV_{relatado}$ para cada caso em estudo

Unidade de estudo	Verão	Inverno	Verão	Verão	Inverno	Verão	Inverno
	10:00		14:00	18:00		Média	
Caso B	1,00	-0,50	1,50	1,50	-1,00	1,33	-0,83
Caso T	0,50	-0,50	1,50	1,50	-0,00	1,21	-0,33
Caso O	2,50	-2,50	3,00	1,50	-1,50	2,38	-1,99
Caso S	0,00	-0,50	1,50	0,5	-0,50	0,66	-0,41

Observa-se o alto índice PMV do caso O, tanto nas entrevistas de verão quanto nas de inverno. O caso S apresenta-se como a unidade mais confortável de acordo com as sensações de seus moradores, confirmando os resultados das medições in loco. Em seguida, tem-se o caso T e o caso B com nível de conforto acima do observado no caso O. À exceção do caso O, em todos os casos observou-se conforto maior na estação inverno, destacando o desconforto encontrado na estação verão nas medições dos dados climáticos. Em resumo, o $PMV_{relatado}$ reflete as situações térmicas das habitações observadas pelos métodos de avaliação por desempenho apresentados anteriormente, classificando o caso O como muito desconfortável e os caso S, T e B mais confortáveis, em ordem decrescente.

As figuras 50 a 53 ilustram os índices $PMV_{relatado}$ destacados na tabela 19, os quais representam os casos que obtiveram a melhor e a pior situação de conforto nos dois períodos analisados, ou seja, melhor índice de conforto nos casos S no verão e T no inverno; e pior índice de conforto no caso O tanto no verão quanto no inverno.

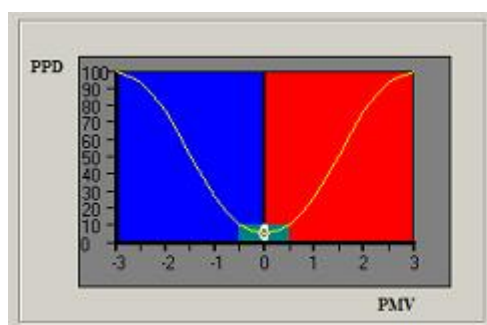


Figura 50 – Caso S com $PMV= 0,0$ no verão

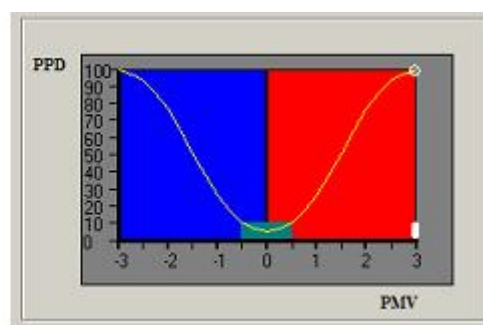


Figura 51 – Caso O com $PMV= 3,0$ no verão

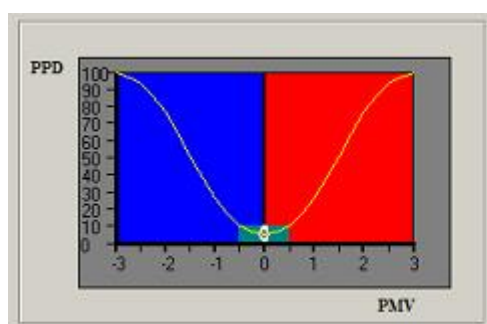


Figura 52 – Caso T com $PMV= 0,0$ no inverno

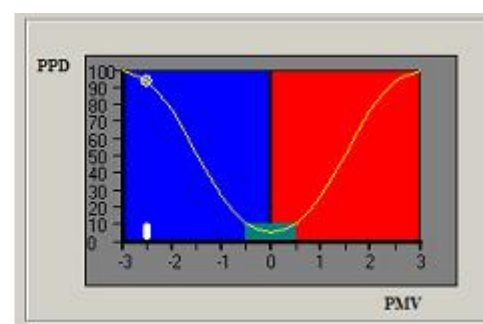


Figura 53 – Caso O com $PMV= -2,5$ no inverno

Além do índice $PMV_{relatado}$, as entrevistas possibilitaram obter o $PMV_{calculado}$, através da observação dos fatores pessoais dos moradores (vestimenta - clo e atividade

metabólica - W/m^2) e dos fatores ambientais obtidos pelas medições in loco (TBS, UR e TG).

Para uma análise mais precisa das condições de conforto dos moradores de cada unidade habitacional, foram fixados os valores de isolamento da vestimenta (0,5 no verão e 1,0 no inverno) e da atividade metabólica ($70 W/m^2$); valores considerados pelas observações nas visitas e entrevistas. Os valores de TBS, UR e TG de cada caso de estudo foram adquiridos através das medições in loco, observando o mesmo dia e horário para todas as unidades. Dada à falta de equipamento disponível, a velocidade do ar foi estimada em $0,25m/s$ para as entrevistas realizadas dentro das unidades.

Com o auxílio do programa Analysis CST, calculou-se um índice PMV para cada caso em estudo, considerando três horas distintas do dia (10:00, 14:00 e 18:00) e as duas estações de estudo (verão e inverno), o que é mostrado na tabela 20. As duas últimas colunas trazem a média dos valores encontrados nas três horas do dia. No caso O, com problemas de captação e armazenamento de dados nas medições de inverno, não foi possível calcular o PMV, devido à falta de TBS, TG e UR do ambiente interno.

Tabela 20 – Índice $PMV_{calculado}$ para cada caso em estudo

Unidade de estudo	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
	10:00		14:00		18:00		Média	
Caso B	1,73	-0,75	1,04	-0,84	1,46	-1,04	1,41	-0,88
Caso T	1,54	-0,55	1,07	-0,71	1,40	-0,84	1,34	-0,70
Caso O	2,17	-	1,62	-	1,95	-	1,91	-
Caso S	1,43	-0,27	1,03	-0,54	1,37	-1,01	1,28	-0,61

O índice PMV destacado em vermelho representa o caso de maior desconforto por calor, já o destacado em azul, o maior desconforto por frio. Os valores em negrito destacam os casos com maior conforto térmico para a estação verão e inverno.

No verão, observa-se que o caso O apresentou condições inferiores de conforto em todas as horas observadas, com valor mínimo de 1,62, máximo de 2,17 e média de 1,91. Em contrapartida, o caso S apresentou melhores condições de conforto nas ocasiões observadas, com valor mínimo de 1,03, máximo de 1,43 e média de 1,28. As figuras 54 e 55 ilustram os índices $PMV_{calculado}$ dos casos que obtiveram a melhor e a pior situação de conforto, ou seja caso S, com 1,03; e o caso O, com 2,17 de índice PMV.

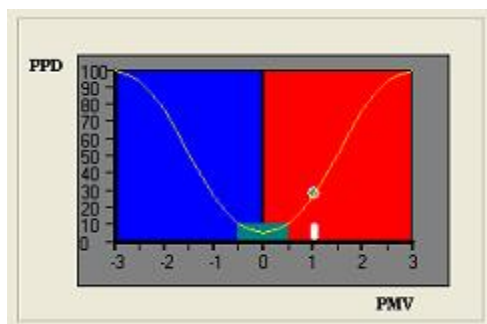


Figura 54 – Caso S com $PMV=1,03$ no verão

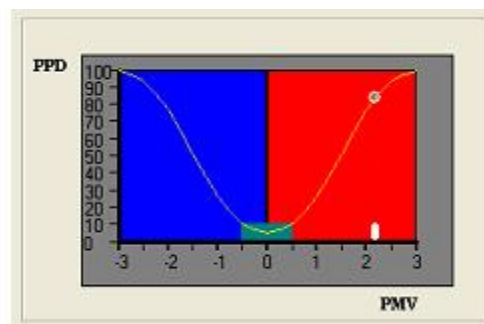


Figura 55 – Caso O com $PMV=2,17$ no verão

No inverno, o caso B apresentou a pior situação de conforto nos três horários de medições, com mínimo de $-0,75$, máximo de $-1,04$ e média de $-0,88$ de índice PMV. O caso S, ao contrário, observou melhores índices de conforto térmico, com mínimo de $-0,27$, máximo de $-1,01$ e média de $-0,61$ de índice PMV.

As figuras 56 e 57 ilustram os índices $PMV_{calculado}$ desses dois casos, que obtiveram a melhor e a pior situação de conforto, ou seja caso S, com $-0,27$; e o caso O, com $-1,04$ de índice PMV para a estação inverno.

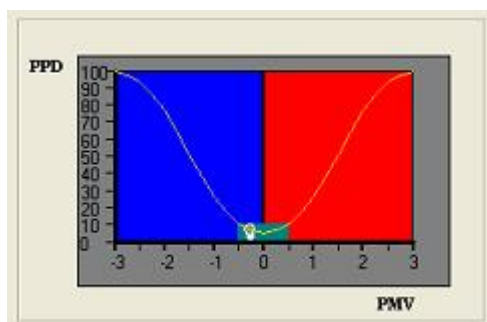


Figura 56 – Caso S com $PMV=-0,27$ no inverno

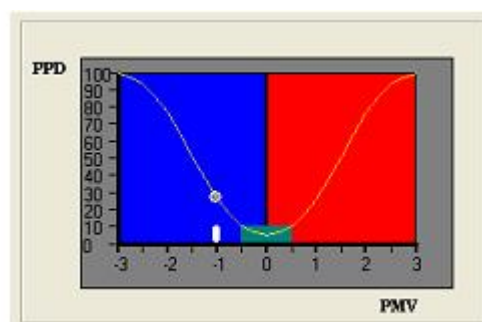


Figura 57 – Caso B com $PMV=-1,04$ no inverno

4.4.1 ISO 7730 (1994)

De acordo com a ISO 7730, o “intervalo aceitável” do PMV varia entre $-0,5$ e $+0,5$, o que corresponde a um índice de insatisfação PPD inferior a 10%.

A partir dos índices $PMV_{relatado}$ ilustrados na tabela 19, observa-se que, no período de verão, apenas os casos S e T apresentam ocorrências de acordo com a zona de conforto térmico da norma ISO 7730. No inverno, apenas o caso O não obteve nenhuma

ocorrência de PMV entre -0,5 e 0,5, ou seja, esta unidade foi a mais desconfortável termicamente de acordo com os relatos dos moradores.

Analisando os índices $PMV_{\text{calculado}}$ ilustrados na tabela 20, verifica-se que os moradores dos casos B, T e O estão fora da zona de conforto térmico, tanto no período de verão quanto no inverno. O caso S apresentou uma ocorrência de PMV dentro dos limites da zona de conforto, no período de inverno às 10:00.

Os resultados obtidos por essa metodologia apresentaram dificuldades nas análises pelo fato do índice PMV ser obtido a partir de dados climáticos de uma situação isolada, ou seja, não considera grandes períodos ou mesmo variações climáticas diárias, o que pode levar à conclusões parciais quando o momento analisado não corresponder à média da situação encontrada nas unidades habitacionais.

4.5 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou os resultados das medições de TBS, UR e TG nas unidades habitacionais, casos B, T, O e S. Em seguida, avaliou os quatro casos de estudo de acordo com normas e metodologias existentes por prescrição e desempenho das edificações e conforto dos usuários, procurando relacionar os resultados às condições climáticas encontradas nas medições in loco.

A seguir, apresenta-se um resumo das avaliações das unidades habitacionais pelas normas e métodos discutidas neste trabalho.

Dentre os métodos de avaliação por prescrição, a NBR 15220 classificou como aceitável as características das paredes das unidades, porém considerou a cobertura parcialmente satisfatória e a área de aberturas insuficientes. O PNBR 02:136.01 considerou as propriedades das paredes e cobertura aceitáveis, entretanto classificou como insuficiente a área de aberturas da tipologia básica das unidades habitacionais.

Em geral, os métodos de avaliação por desempenho que utilizaram os dados das medições in loco apontaram para o caso S como mais confortável e o caso O como mais desconfortável.

O PNBR 02:136.01 considerou desempenho mínimo nos casos B, T e S para verão, sendo que o caso O não obteve classificação. No inverno, os casos S e T obtiveram desempenho intermediário e o caso B obteve desempenho mínimo. De acordo com a Zona

Bioclimática de Givoni, para o período de verão, a unidade que obteve maior índice de conforto foi o caso S, seguido pelos casos T, B e O, respectivamente. No inverno, os casos T e S obtiveram índices de conforto iguais, superiores aos do caso B. O Método das Horas de Desconforto considerou o caso S mais confortável no verão, seguido pelos casos T, B e O. No inverno, o caso T foi o mais confortável, seguido pelos casos B, S e O.

Todos os métodos por desempenho que utilizaram dados climáticos resultantes da simulação térmica – Zona Bioclimática de Givoni, Método das Horas de Desconforto e ASHRAE 55, consideraram o caso S como mais confortável, seguido pelos casos T e B; deixando o caso O como a unidade mais desconfortável para o ano todo. No Método das Horas de Desconforto, nenhum caso observou o limite máximo de 1000 horas de desconforto.

De acordo com a avaliação do conforto dos moradores através do índice PMV relatado e calculado, o caso mais confortável tanto no verão quanto no inverno é o caso S, seguido pelos casos T e B; ficando o caso O, com pior classificação de conforto térmico.

Em resumo, os métodos de avaliação do desempenho das unidades habitacionais e do conforto térmico dos moradores apontaram para o caso S como sendo mais confortável, em contrapartida ao caso O.

CAPÍTULO 5.
CONCLUSÃO

5 CONCLUSÃO

Com os resultados das medições in loco e das avaliações através dos métodos por desempenho e por conforto, foi possível analisar a influência de variáveis de entorno na qualidade térmica de habitações de interesse social de Londrina.

O caso T, representando a topografia acentuada e a presença de vegetação (características de terrenos próximos a vales), quando comparado ao caso B, obteve situação térmica mais confortável; o que significa que a proximidade de áreas verdes e as características do relevo interferem na resposta térmica global que a edificação proporcionará aos seus moradores, alterando suas condições de conforto.

O caso O, que representa a orientação solar da edificação e de seus ambientes, comparado ao caso B, obteve condições térmicas mais extremas tanto no verão quanto no inverno; comprovando que a orientação da edificação em relação às fachadas expostas, aos ventos dominantes da região e à trajetória solar, interfere muito no desempenho final da edificação e, conseqüentemente, na sensação de conforto de seus usuários.

O caso S, representando a influência do sombreamento gerado por elementos construtivos, obteve as melhores condições térmicas em relação ao caso B (e aos outros casos T e O) em todo período analisado. As condições obtidas demonstram a capacidade que elementos de proteção de fachadas têm na redução de ganhos de calor, otimizando o conforto térmico observado pelos seus moradores.

Confirmada a influência das variáveis de entorno na qualidade térmica das habitações e no conforto de seus moradores, prosseguiu-se para a análise da representatividade dos métodos de avaliação empregados neste trabalho.

Através das medições in loco pode-se perceber, a princípio, que as unidades respondiam de forma distinta às variáveis de entorno que lhes foram determinadas. Entretanto, as avaliações pelos métodos prescritivos obtiveram o mesmo resultado de desempenho para as quatro unidades, já que foram construídas com a mesma tipologia básica.

Já os métodos de avaliação por desempenho apontaram resultados diferentes para cada caso em estudo, os quais chegaram a ter suas TBS variando em até 3°C para o mesmo horário, comprovando que cada unidade habitacional tem uma resposta térmica diferente quando submetidas às condições de entorno distintos. Na avaliação do conforto térmico dos moradores, realizada através do índice PMV, constatou-se que cada unidade proporcionou condições de conforto diferenciadas para seus usuários.

Em resumo, à exceção das avaliações por prescrição, todos os resultados das avaliações com métodos por desempenho e de conforto apontaram para o caso S como mais confortável e o caso O como mais desconfortável, confirmando a tendência dos resultados a partir das medições *in loco* e das sensações relatadas. Essa confirmação demonstra a representatividade dos parâmetros de avaliação utilizados por esses métodos, pois refletiram a realidade térmica observada nas medições *in loco* e nas sensações relatadas, considerando então, todo o entorno da edificação e sua resposta global em relação às condições do ambiente externo.

Nos métodos de avaliação por desempenho e obtenção de PMV por cálculo, as principais variáveis climáticas internas necessárias são: TBS, UR, V_{ar} e T_{rad} . Variáveis que podem ser consideradas como importantes parâmetros de avaliação, pois refletem praticamente todas as influências e interferências que a edificação sofre do meio externo, das características construtivas e das propriedades dos materiais utilizados; logo, a determinação de limites para essas variáveis permite uma avaliação representativa da qualidade térmica das edificações.

Dessa forma, os métodos que apresentarem, de uma forma ou de outra, limites de aceitabilidade para TBS, UR, V_{ar} e T_{rad} como parâmetros de avaliação, estarão mais próximos de obterem resultados significativos, por considerarem variáveis de entorno, condições climáticas locais e características construtivas.

A partir desses resultados, conclui-se que os parâmetros de avaliação por desempenho devem integrar as normas de desempenho térmico de edificações, ou seja, a NBR 15220 deve evoluir para além de parâmetros prescritivos, aprofundando a análise de desempenho térmico de HIS de forma a considerar as variáveis de entorno e do micro clima local resultante.

5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

O presente trabalho teve dificuldade em encontrar moradores dispostos a participar do estudo, principalmente quanto à instalação dos equipamentos de medição dos dados climáticos internos.

A carência de sensores de medição, os quais foram emprestados de outra instituição de ensino, restringiu o número de unidades habitacionais para estudo, além da

quantidade de ambientes monitorados de cada unidade; o que reduziu as chances de obter uma representatividade dos dados mais confiável, com maior número de amostras para cada variável de entorno que se desejou verificar. A utilização de apenas 1 sensor em cada unidade habitacional comprometeu os resultados das medições de inverno no caso O, onde ocorreu problemas na captação e armazenamento dos dados.

A impossibilidade de realizar medições externas no próprio conjunto também foi um limitante do trabalho, utilizando dados climatológicos de Londrina obtidos junto à estação da UEL, localizada a 8,8 km do conjunto.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como continuidade a este trabalho de pesquisa, sugere-se que se desenvolvam os seguintes estudos:

- Aprofundar e diversificar as simulações térmicas, considerando outras variáveis de entorno que são encontradas nas habitações de interesse social, principalmente aquelas referentes às modificações realizadas pelos moradores;
- Aplicar outras metodologias de avaliação do ambiente térmico, analisando os parâmetros utilizados e sua representatividade quanto à qualidade térmica global da edificação;
- Através de um aprofundamento no tema deste trabalho, propor novos parâmetros de avaliação de desempenho que possam ser incorporados às normas e textos pertinentes à área.

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

AKUTSU, M. Avaliação de desempenho térmico de edificações: a necessidade de uma revisão normativa. São Paulo: IPT, 1991.

AKUTSU, M. ; VITTORINO, F. *A tendência atual dos métodos de avaliação do desempenho térmico e energético de edificações*. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. Anais... Salvador: ANTAC, 1997.

ALMEIDA, Maristela Moraes de. *Da Experiência Ambiental ao Projeto Arquitetônico: um estudo sobre o caminho do conhecimento na arquitetura*. 2001. 219 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ALVES, Arone; PIMENTA, João; BALTORÉ, Alexandre. *Análise computacional da demanda energética de climatização de edifício*. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE AIRE ACONDICIONADO, CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN, 8., 2005, Montevideú. Anais... Disponível em: <http://www.laar.unb.br/Publicacoes_LaAR_arquivos/ARTIGO_CIAR_Edificio.pdf >. Acesso em 28 set. 2006.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE 55/1981: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: ANSI, 1981.

_____. ASHRAE 55/2004: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: ANSI, 2004.

_____. ASHRAE Fundamentals Handbook. Cap. 8: Thermal Comfort. Atlanta: ANSI, 1997.

_____. ASHRAE Fundamentals Handbook. Cap. 8: Thermal Comfort. Atlanta: ANSI, 2005.

_____. ASHRAE 90.1-1989: Energy efficient design of new buildings except low-rise residential buildings 1791 Tullie Circle, NE. Atlanta: GA, 1989.

ARAÚJO, V. M. D. Condicionantes ambientais e fisiológicas para os usuários das edificações em Natal - RN. In: Relatório Parcial: CNPq. 1996. p. 04.

_____. Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino: O caso de Natal/RN. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2001. 135 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. PNBR 02:136.01: Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Rio de Janeiro, 2004.

AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

BARBOSA, Miriam Jerônimo. Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares. 1997. 274 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BARBOSA, M. J.; LAMBERTS, R. *Aplicação de uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico em edificações residenciais unifamiliares ao clima de Londrina–Pr.* In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. Anais... Salvador: ANTAC, 1997. p. 205-210.

BARBOSA, Miriam Jerônimo et. al. (Orgs.). Arquivos climáticos de interesse para a edificação nas regiões de Londrina e Cascavel (PR). Londrina: Editora da UEL, 1999. v. 1. 62 p.

BARBOSA, M. J., et al. *Aperfeiçoamento e desenvolvimento de novos métodos de avaliação de desempenho para subsidiar a elaboração e revisão de normas técnicas.* In: ROMAN, H. R.; BONIN, L.C. Normatização e certificação na construção habitacional. Rio de Janeiro: Habitare, 2003. v. 3, p.135-173 (Coletânea Habitare).

BATISTA, Juliana Oliveira. A arquitetura e seu desempenho térmico no contexto do semi-árido alagoano: Estudos de caso em Santana do Ipanema-AL. 2006. 160 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<http://www.posarq.ufsc.br/defesas/disseertacao28.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2006.

BATISTA, Juliana O.; LAMBERTS, Roberto; WESTPHAL, Fernando S. *Avaliação de Desempenho Térmico de componentes construtivos utilizando EnergyPlus.* In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2005, Maceió. Anais... Maceió: ANTAC, 2005. p. 145-154. Disponível em: <<http://150.162.76.35/labee/publicacoes/artigos.php>>. Acesso em 17 abr. 2007.

BEYER, P.O, GRINGS, E. T. O. *Medição e simulação da carga térmica de ar condicionado de um ambiente*. In: Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, 10., 2004, Rio de Janeiro.

BITTENCOURT, L. S.; CANDIDO, C. M. *Introdução à ventilação natural*. Maceió: EDUFAL, 2005

BONILLA, José A. *Fundamentos da agricultura ecológica: sobrevivência e qualidade de vida*. São Paulo: Nobel, 1992.

BOUDEN, C.; GHRAB, N. Thermal comfort in Tunisia: Results of a one-year survey. In: *Proceedings of Moving Thermal Comfort Standarts into the 21st Century*. Oxford: Oxford Brookes University, Apr. 2001. p. 197-206.

BRAGER, G.S.; DE DEAR R. Climate, comfort and natural ventilation: a new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55. *Proceedings of Moving Thermal Comfort Standarts into the 21st Century*. Windsor, UK, Loughborough University, 2001, pp. 60–77.

BRASIL. Constituição (1988). *Constituição da Republica Federativa do Brasil*. Brasília, DF, 1988. Disponível em: <<http://www.presidencia.gov.br>>. Acesso em 06 set. 2006.

_____. *Estatuto da Cidade*. Lei nº 10257, de 10 de julho de 2001. Casa Civil de Presidência da República, 2005. Disponível em: <<http://www.presidencia.gov.br>>. Acesso em 06 set. 2006.

BUSCH, J. F. “A tale of two populations: thermal comfort in air-conditioned and naturally ventilated offices in Thailand”. *Energy and Buildings*, v.18, p. 235-249, 1992.

BUTERA, F. M. *Architettura e ambiente: manuale per il controllo della qualità termica, luminosa e acustica degli edifici*. Milano: Etaslibri, 1995.

CACHIONE, J. *Climatologia e meteorologia: que relação é esta?* Londrina: UEL, 2005. Disponível em: <http://geocities.yahoo.com.br/uel_climatologia/textobasico.htm>. Acesso em: 15 nov. 2006.

CARDOSO, João Carlos Mendes. *Estratégias visando eficiência energética e conforto térmico incorporados aos projetos de edifícios residenciais em Maringá –PR*. 2002. 145 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/pos_graduacao.html/>. Acesso em: 20 jun. 2006.

CARVALHO, Aline W. B.; AMORIM, Ivana C; ALVES, Patrícia L. *Projeto Habitat: Proposta de Ação no Bairro Nova Viçosa*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA, 2., 2004. Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, 2004.

CASTREJÓN, A. F. La factibilidad económica en la arquitectura bioclimática. In: *Estúdios de Arquitectura Bioclimática*. 2002. v. 4.

CIPRIANO, C. J. Simulação termoenergética de um sistema de ar condicionado para comparação dos resultados medidos e simulados. 2003. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

COELHO, Gabriel M. Correlação do consumo de energia elétrica com características construtivas de edifícios de escritório localizados em Florianópolis – SC. Relatório de iniciação científica – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006. Disponível em: <http://150.162.76.35/labee/publicacoes/relatorios_ic.php>. Acesso em 17 abr. 2007.

COHAB-LD, COMPANHIA DE HABITAÇÃO DE LONDRINA. Disponível em: <<http://www.cohabld.com.br/>>. Acesso em 29 jan. 2007.

COHEN, Simone Cynamon et al. “Healthy house in the Family Health Program (PSF): a strategy for the health and environment public politics”. *Ciência & saúde coletiva*, Rio de Janeiro, v.9, n. 3, p.807-813, jul/set. 2004. Disponível em: <<http://www.abrasco.org.br/revista/saudecoletiva>>. Acesso em 09 set. 2006.

COLUMBA, M.; BÁRBARO, S.; RIZZO, G.; CANISTRANO, G. *Applying Reduced Weather Data to Temperate Climates for Energy Analysis of Buildings*. In: *Proceedings of the Ninth International PLEA Conference*, Seville, 1991. p. 653-658.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: Conforto ambiental. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

CORBIOLI, Nanci. “Projeto é fator primordial para obtenção de edifícios energeticamente eficientes”. *Projeto Design*, s.l., n. 257, p. 108-111, jul. 2001.

CUNHA, Eduardo Grala (coord). *Elementos de arquitetura de climatização natural*. 2. ed. Passo Fundo: UPF, 2005.

DANTAS, E. H. M. “Ar condicionado vilão ou aliado? Uma revisão crítica.” *Revista Brasindoor*, São Paulo, v.2, n.9, p.4-14, abr/jun. 1998.

DE DEAR, R. J. Thermal comfort in air-conditioned office buildings in the tropics. In: NICOL, F.; HUMPREYS, M.; SYKES, O.; ROAF, S. (Ed.). Standards for Thermal comfort: indoor air temperatures for 21st century. 1995. p. 122-131.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG – DIN. DIN 4109: Schallschutz im Hochbau. Germany, 1989.

DOE. Low-energy buildings design guidelines. Disponível em <www.eren.doe.gov> Acesso em 18 abr. 2007.

EALIWA, M. A.; TAKS, A. H.; HOWARTH, A. T.; SEDEN, M.R. “An investigation into thermal comfort in the summer season of Ghadames, Lybia”. Building and environment, Oxford, v. 36, p. 231-237, 2001.

EMBRAPA . Bibliotecas. Disponívels em:
<http://www.embrapa.br/bibliotecas_virtuais/index_htm>. Acesso em: 12 fev. 2007.

ELETROBRÁS. Disponível em: <www.eletronbras.gov.br>. Acesso em: 13 jul. 2006.

ENERGY EFFICIENCY AND RENEW ABLE ENERGY. Energy Plus. Disponível em:
<www.eere.energy.gov/buildings/energyplus>. Acesso em: 13 jul. 2006.

_____. Lecture 1: An Overview of Simulation and EnergyPlus In: Material prepared by GARD Analytics, Inc. and University of Illinois at Urbana-Champaign under contract to the National Renewable Energy Laboratory. Disponível em:
<http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/training_download.cfm> Acesso em 4 abr. 2007.

EVANS, M.; SCHILLER, S. Diseño bioambiental y arquitectura solar. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 1994.

EVANS, J. M. Application of comfort standards in practice: The case of Argentina. In: Proceedings of Moving Thermal Comfort Standarts into the 21st Century. Oxford: Oxford Brookes University, Apr. 2001. p. 431 – 438.

FANGER, P.O. Thermal Comfort: analysis in environmental engineering. Nova York: Mc Graw – Hill Book Company, 1970.

FANGER, P. O.; TOFTUM, J. “Extension of the PMV model to non ir-conditioned buildings in warm climates”. Energy and Buildings, Berkley, n. 34, p. 533-536, 2002.

FARIA, F. M. de; Umetsu, C. M.; Frota, A. B. *O conforto térmico nas habitações populares da cidade de São Paulo*. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 2003, Curitiba. Anais... Florianópolis: UFSC, 2003. Disponível em: <<http://www.antac.com.br>>. Acesso em 15 set. 2006.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. *Manual de Conforto térmico*. 2. ed. São Paulo: Studio Nobel, 1995. 243 p.

GIGLIO, Thalita G. F.; BARBOSA, Míriam J. “Aplicação de métodos de avaliação do desempenho térmico para analisar painéis de vedação em madeira”. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 6, n. 3, p. 91-103, 2006. Disponível em: <www.antac.org.br/ambienteconstruido/pdf/revista/artigos/Doc125164.pdf>. Acesso em 18 abr. 2007.

GIVONI, B. *Man, climate and architecture*. 2. ed. London: Applied Science Publishers, 1976.

_____. “Comfort climate analysis and building design guidelines”. *Energy and Buildings*, v.18, n.1, p. 11 – 23, 1992.

_____. *Passive and low energy cooling of buildings*. New York: Van Nostrand Reinhold publishing company, 1994.

_____. *Climate considerations in building and urban design*. New York: John Wiley & Sons Inc., 1997.

_____. *Climate considerations in building and urban design*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1998.

GOMES, César H. G. *Análise dos níveis de conforto térmico em um edifício de escritório na cidade de Maringá*. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/>>. Acesso em: 20 jul. 2006.

GONÇALVES et al. *Normas técnicas para avaliação de sistemas construtivos inovadores para habitações*. In: ROMAN, H. R.; BONIN, L.C. *Normatização e certificação na construção habitacional*. Rio de Janeiro: Habitare, 2003. v. 3, p. 43-53. (Coletânea Habitare).

GONZALEZ, E.; HINZ, E.; OTEIZA P. de; QUIROS, C. *Proyecto, Clima e Arquitectura*. México: Gustavo Gili, v. 1, 1986. 198p.

GOULART, Solange V. G. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis. 1993. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/>>. Acesso em: 20 jul. 2006.

GOULART, S.V.G., BARBOSA, M.J., PIETROBON C. E., BOGO A., PITTA T., Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico. Relatório interno no. 02/94, NPC: UFSC, 1994, 80 p.

GOULART, S. ; LAMBERTS, R. *Metodologias de tratamento de dados climáticos para análises térmicas em edificações*. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1993, São Paulo. Anais... Foz do Iguaçu: ANTAC, 2002.

GOUVÊA, Tatiana Chrispim. Avaliação do conforto: uma experiência na indústria da confecção. 2004. 149 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

GRINGS, E. T. O. Comparação entre resultados computacionais e experimentais do comportamento térmico de um ambiente. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GUTIERREZ, Grace C. R. Avaliação do Desempenho Térmico de Três Tipologias de Brise-Soleil Fixo. 2004. 203 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000393801>> Acesso em: 18 abr. 2007.

HAGAN, Susannah. *Taking risks: environmentally sustainable architecture and the new*. In: NUTAU 2004, São Paulo. Anais... São Paulo: FAUUSP, 2004.

HAGEL, Arone P. L. A. Análise computacional da demanda energética de climatização de edifício. Brasília: UNB, 2005.

HANNA, R. The Relationship Between Thermal Comfort And User Satisfaction In Hot Dry Climates. In: Renewable Energy, 1997. v. 10, n. 4, p. 559- 568.

HEIDARE, S.; SHARPLES, S. A comparative analysis of short-term and long-term thermal comfort surveys in Iran. In: Proceedings of Moving Thermal Comfort Standarts into the 21st Century. Oxford: Oxford Brookes University, Apr. 2001. p. 223 – 246.

HUMPHREYS, M. A.; NICOL, J. F. *Conflicting criteria for thermal sensation within the Fanger predicted mean vote equation*. In: CIBSE/ASHRAE joint national conference, 1996, Londres. Anais... Londres, 1996. p.153-158.

HUMPHREYS, M. A.; NICOL, J. F. Understanding the adaptive approach to thermal comfort. In: ASHRAE Technical data bulletin, 1998. v. 14, p. 1-14.

HUMPHREYS, M.A.; NICOL, J. F. The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments. In: Proceedings of Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century. Oxford: Oxford Brookes University, Apr. 2001. p. 406 – 430

IMAI, César. “Moradia deve atender necessidade social”. Revista CREA-PR, s.l., v. 9, n.39, p.20, ago. 2006. Disponível em: <<http://www.crea-pr.org.br/crea/html/revista.htm>>. Acesso em 05 mar. 2007.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. IAPAR. Relatório Técnico. 2007. Disponível em: <<http://www.iapar.br/publicacoes/downloads.html>> Acesso em: 15 out. 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Censo 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 18 mai. 2007.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 8996: Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic heat production. 1990.

_____. ISO 7730: Moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD índices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva, 1994

_____. ISO 7726: Instruments and methods for measuring physical quantities, 1996.

_____. ISO 9920: Ergonomics of the thermal environment - Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble. Geneva, 1995.

_____. ISO 10551: Ergonomics of the thermal environment – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales. Geneva, 1995.

IZARD, J. L.; GUYOT, A. Arquitetura bioclimática. Barcelona: Gustavo Gilli, 1983. 191 p.
IWASHITA, Juliana. *Estudos de casos da iluminação natural em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo*. In: Cadernos Técnicos AUT. São Paulo: FAU, 1999. n. 6.

JANDA, K. B.; BUSH, J. F. Worldwide Status of Energy Standards for Buildings. In: Energy. London: Pergamon, 1994. v.19, n.1.

KOENIGSBERGER, Otto H.; MAHONEY, Carl T.; EVANS, Martin. Climate and house design. New York: United Nations, 1970.

KOENIGSBERGER, Otto H. Viviendas y edificios en zonas calidas y tropicales. Madri: Paraninfo, 1977.

KRAUSE, C. B.; SANTOS, M. J.; NIEMEYER, M. L.; PORTO, M. M. Bioclimatismo no prometo de arquitetura: Dicas de projeto. Apostila de Conforto ambiental do curso de Arquitetura e Urbanismo. Rio de Janeiro: UFRJ, 2004. Disponível em: <www.fau.ufrj.br/apostilas/conforto/apostilacbk20051.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2006.

KRÜGER, Eduardo L.; ZANNIN, Paulo H. T. “Avaliação termoacústica de habitações populares na vila tecnológica de Curitiba”. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 33-44, 2006. Disponível em: <www.antac.org.br/ambienteconstruido/pdf/revista/artigos/Doc124156.pdf>. Acesso em 18 abr. 2007.

KUSUDA, T.; BEAN J.W. Comparison of Calculated Hourly Cooling Load and Indoor Temperature With Data for High Mass Building Tested in an Environmental Chamber. In: ASHARE Transactions, 1981. v. 87, n. 1, p. 1232-1240.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Simulação termoenergética de edificações. Disponível em: <www.labeee.ufsc.br>. Acesso em: 13 jul. 2006.

LAMBERTS, Roberto. *Normalização em eficiência energética e conforto ambiental*. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. Anais... Salvador: ANTAC, 1997. p. 40-44. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br>>. Acesso em 27 set. 2006.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. Eficiência energética na arquitetura. São Paulo: AU editores, 1997.

LAMBERTS, R; et al. Desempenho Térmico de edificações: Apostila do curso de Engenharia Civil, ECV 5161. 4 edição. Florianópolis: UFSC, 2006. 110 p. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br>>. Acesso em 20 out. 2006.

LEÃO, Marlon. Desempenho térmico em habitações populares para regiões de clima tropical: Estudo de caso em Cuiabá-MT. 2006. 102 p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá. Disponível em: <http://www.pgfma.ufmt.br/dissertacoes/Marlon_Leao.pdf>. Acesso em: 26 set. 2006.

LEUNG, W. H.; YIK, F. W. H. Thermal comfort model for occupants of residential building in Hong Kong: Preliminary experimental study results. In: Proceedings of Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century. Oxford: Oxford Brookes University, Apr. 2001. p. 247 – 258.

LONDRINA. Prefeitura Municipal de Londrina. Plano Diretor. Lei nº 7482 de 20 de julho de 1998. Institui o Plano Diretor do município de Londrina e dá outras providências. Londrina, 1998.

LOUREIRO, Kelly Cristina G. Análise de desempenho térmico e consumo de energia de residências na cidade de Manaus. 2003. 139p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/dissertacao_kelly.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2006.

MACIEL, Alexandra Albuquerque. Projeto Bioclimático em Brasília: Estudo de caso em edifícios de escritório. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/>>. Acesso em: 20 jul. 2006.

MALARD, Maria Lúcia. *Os Objetos do Cotidiano e a Ambiência*. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2., 1993. Florianópolis. Anais... Florianópolis: ANTAC, ABERGO, SOBRAC, 1993.

MALLICK, F.H. “Thermal comfort and building design in the tropical climates”. *Energy and Buildings*, Berkley, n. 23, p. 161-167. 1996.

MARTIN, A.J.; STOCKLER, M. “Quality of life assessment in health care research and practice”. *Evaluation & Health Professions*, v. 2, n.21, p.141-156, 1998.

MASCARÓ, L. R. “Energia na edificação, estratégia para minimizar seu consumo”. Projeto de Editores Associados, São Paulo, n. 81, p. 69, nov. 1991.

MATOS, M; WESTPHAL, F.S.; LAMBERTS, R. *Análise de área de abertura para ventilação na cidade de Florianópolis utilizando o programa COMIS/EnergyPlus*. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2005, Maceió. Anais... Maceió: ANTAC, 2005. p. 1156-1163. CD ROOM.

MATOS, O. As formas modernas do atraso. Folha de S. Paulo, São Paulo, 27 set. 1998. Primeiro Caderno, p. 3.

MCCULLOUGH, E. A. The use of clothing in thermal comfort standards. In: Proceedings of Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century. Oxford: Oxford Brookes University, Apr. 2001. p. 292 – 300.

MCNALL, P.E.; JAAX, J.; ROHLES, F.H.; NEVINS, R.G.; SPRINGER, W. Thermal comfort (Thermally neutral) conditions for three levels of activity. In: ASHRAE Transactions, 1967. v.73.

MENDES, Nathan *et al.* “Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil.” Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 47-68, out./dez. 2005. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/Antac_Doc122144.pdf>. Acesso em 15 set. 2006.

MENEZES, Milton Serpa. A qualidade do ar interior. 1999. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.

_____. Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo-RS. 2006. 113p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.

MINKU, P. M. Tipologias construtivas de edifícios de escritório localizados em Florianópolis – SC. Relatório de iniciação científica – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

NERY, Jussara; FREIRE, Tereza; FARIA, Heliana. *Arquitetura Bioclimática em Salvador*. In: ENCONTRO DE PROFESSORES DE CONFORTO AMBIENTAL, 2., 1994, João Pessoa. Anais... João Pessoa, 1994. p. 69-72.

NICOL, F. Thermal comfort: a handbook for field studies toward na adaptative model. London: University of East London, 1993.

_____. *International Standards don't fit tropical buildings: what can we do about it?* In: CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE CONFORTO Y COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE EDIFICACIONES, 2., 2000, Maracaibo. Anais... p. 338-345.

_____. Thermal comfort: Notes by Fergus Nicol. London: University of North London, 2001.

NICOL, J.F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. In: Proceedings of Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century. Oxford: Oxford Brookes University, Apr. 2001. p. 45 – 57.

NÓBILE, Alexandre A. Diretrizes para a sustentabilidade ambiental em empreendimentos habitacionais. 2003. 386 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

NOGUEIRA, M. C.; DEBARBA, D. C. *Avaliação do desempenho térmico dos materiais construtivos mais utilizados em Cuiabá: comparação entre a aplicação do programa de simulação ARQUITROP e método experimental*. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2005, Maceió. Anais... Maceió: ANTAC, 2005. p. 1328-1337. CD ROOM.

NOVAIS, Giuliano Toste; et al. *Construção de um relógio de Sol horizontal para uso didático*. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOGRAFIA “PERSPECTIVAS PARA O CERRADO NO SÉCULO XXI”, 2., 2003, Uberlândia. Anais... Uberlândia: UFU, 2003. Disponível em: <www.ig.ufu.br2srg44-34A.pdf>. Acesso em 05 mar. 2007.

OLESEN, B. W.; PARSONS; K. C. “Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730”. Energy and buildings, Oxford, v. 34, p. 537-548, 2002.

OLESEN, B. W.; BRAGER, G. S. A Better Way to Predict Comfort: The New ASHRAE Standard 55-2004. In: ASHRAE Journal, aug. 2004. p. 22.

OLGYAY, V. Design with climate bioclimatic approach to architecture regionalism. 3.ed. Nova Jersey: Universidade de Princeton, 1973.

OLIVEIRA, J. L. F. de. Análise climática aplicada a arquitetura: estudos de caso real. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 1990.

OPAS. 2000. Guias Metodológicos para Iniciativa de Vivienda Saludable. Disponível em: <www.cepis.ops-oms.org>. Acesso em 09 set. 2006.

PAPST, Ana Lúcia. Uso de Inércia térmica no clima subtropical. Estudo de caso em Florianópolis – SC. 1999. 165 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PAPST, Ana Lúcia et al. Eficiência energética e uso racional da energia na edificação. Florianópolis: LABSOLAR, 2005. 121 p.

PARSONS, K. The estimation of metabolic heat for use in the assessment of thermal comfort. In: Proceedings of Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century. Oxford: Oxford Brookes University, Apr. 2001. p. 301 – 308

PEREIRA, F. O. R.; NETO, J. A. B. da C. *Princípios para otimização do desempenho térmico de componentes da edificação*. In: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1., Anais... Florianópolis: ANTAC, 1988, p. 124 - 131.

PIETROBON, C. E. *Conforto na edificação: conforto térmico*. In: SEMANA DA ENGENHARIA, 7., 2000, Maringá. Anais.... Maringá: LABCON/ARQ, 2000.

PRIANTO, E.; DEPECKER, P. “Optimization of architectural design elements in tropical humid region with thermal comfort approach”. *Energy and Buildings*. v. 35, n. 3, p. 273- 280, 2003.

RIGITANO, R. Z.; LABAKI, L. C. *A influência da vegetação no conforto térmico do ambiente construído*. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7.; CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 3., 2003, Curitiba. Anais... Curitiba: ANTAC, 2003.

ROHLES, F.H.; NEVINS, R.G.; SPRINGER, W.; FEYERHERM, A.M. Temperature – Humidity chart for thermal comfort of seated persons. In: ASHRAE Transactions, 1966. v.72, n.1.

ROMERO, M. A. B. Encontro nacional de modelos de simulação de ambientes. São Paulo: NUTAU, 1995.

_____. *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*. 2. ed. São Paulo: Projeto, 2000. 128 p.

ROMERO, M.; GONÇALVES, C. G.; GUGLIELMETTI, A. Edifício Birmann 21: um estudo sobre eficiência energética. 2001. Disponível em <<http://www.tecto.com.br>>. Acesso em: 26 set. 2006.

RORIZ, M. *Flutuações horárias dos limites de conforto térmico: uma hipótese de modelo adaptativo*. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7.; CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES, 3., 2003, Curitiba. Anais... Curitiba: ANTAC, 2003. p. 338 - 345.

RORIZ, Mauricio; GHISI, EneDir; LAMBERTS, Roberto. *Uma proposta de norma técnica brasileira sobre desempenho térmico de habitações populares*. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 1999, Fortaleza. Anais... Fortaleza: ANTAC, 1999. Disponível em: <http://www.encac99_roriz.pdf>. Acesso em 27 set. 2006.

SAMPAIO, Ana Virginia C. F. Conforto Ambiental. Apostila de Conforto Ambiental do curso de Arquitetura e Urbanismo. Londrina: UEL, 1999.

_____. Arquitetura Hospitalar: Projetos ambientalmente sustentáveis, conforto e qualidade. 2005. 402 p. Tese (Doutorado em Estruturas Ambientais Urbanas) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - Universidade de São Paulo, São Paulo.

SANTAMOURIS, M; ASIMAKOPOULOS, D. Passive cooling of buildings. James & James Science Publishers, 1996.

SANTANA, M. V. Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis – SC. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

SATTLER, M. A. Dias climáticos típicos para projeto térmico de edificações em Porto Alegre. Porto Alegre: CIENTEC, 1989.

SIQUEIRA, Túlio C. P. A.; AKUTSU, Maria; LOPES, Jarbas I. E.; SOUZA, Henor A. “Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações”. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, n.58, p. 133-138, abr./jun. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br>>. Acesso em 09 set. 2006.

SOUZA, A. M. N.; SERPA, C. B. Habitação e Meio Ambiente: abordagem integrada em empreendimentos de interesse social. São Paulo: IPT, 2002.

STAMPER, EUGENE. Weather data. In: ASHRAE Journal, feb. 1997. p. 47.

SZOKOLAY, Steven V. Thermal Design of Buildings, Áustria: Raia Education Division, 1987.

_____. The CPZ (Control Potential Zone) method and its use to develop climate zones Queensland: University of Queensland, 1995.

TAFFÉ, P. "A qualitative response model thermal comfort". Building and environment. Oxford, v. 32, p. 115-121, 1997.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. VDI 4100: Schallschutz von Wohnungen – Kriterien für Planung und Beurteilung. Düsseldorf, 1994.

VERGARA, Lizandra Garcia Lupi. Análise das condições de conforto térmico de trabalhadores da unidade de terapia intensiva do Hospital Universitário de Florianópolis. 2001. 202 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/>>. Acesso em: 20 jul. 2006.

VERÍSSIMO, F. S.; BITTAR, W. S. M. 500 anos da Casa no Brasil. Rio de Janeiro: Ediouro, 1999.

VILLAROUCO, V.; ROZENDO, A.; BARBOSA, M. *Habitação popular: o usuário definindo a tipologia*. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 2003, Curitiba. Anais... Florianópolis: UFSC, 2003. Disponível em: <<http://www.antac.com.br>>. Acesso em 15 set. 2006.

VITTORINO, F.; SATO, N. M. N.; AKUTSU, M. *Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas*. In.: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 2003, Curitiba. Anais... Curitiba: ANTAC, 2003.

XAVIER, Antônio A. Condições de conforto térmico para estudantes de segundo grau na região de Florianópolis. 1999. 198 p. Dissertação de Mestrado (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

_____. Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias: teoria física aplicada a estudos de campo. 2000. 247 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

XAVIER, A. A. P.; J.F.; LAMBERTS, R. Thermal comfort zones for conditioned and free running buildings in Florianópolis, South Brazil. In: Proceedings of Moving Thermal Comfort Standarts into the 21st Century. Oxford: Oxford Brookes University, Apr. 2001. p. 235-246

WALLAUER, Maurício D. ; BEYER, Paulo Otto. *Utilização do programa Energy Plus para a simulação do conforto térmico em edificações populares em quatro capitais brasileiras*. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 2003, Curitiba. Caderno de Resumos... Florianópolis: UFSC, 2003. Disponível em: <<http://www.antac.com.br>>. Acesso em 15 set. 2006.

WATSON, D.; LABS, K. *Climatic Building Design. Energy: efficient building principles and practice*. New York: McGraw- Hill book Company, 1983.

WEILLER, G. C. B.; BRANDÃO, E. L.; BARBOSA, M. J. *Análise de desempenho térmico de três habitações populares e um protótipo habitacional de bloco cerâmico*. In: ENCONTRO DE ATIVIDADES CIENTÍFICAS DA UNOPAR, 9., 2006, Londrina. Anais... Londrina: UNOPAR, 2006. 1 CD.

WESTPHAL, M. F. “O movimento cidades/ municípios saudáveis: um compromisso com a qualidade de vida”. *Ciência Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 39-52, 2000.

WESTPHAL, Fernando Simon; LAMBERTS, Roberto. *Simulação energética de edificações no programa EnergyPlus utilizando dados das normais climatológicas*. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2005, Maceió. Anais... Maceió: ANTAC, 2005. p. 2183-2192. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br>>. Acesso em 27 set. 2006.

YE, Guodong; *et al.* “A new approach for measuring predicted mean vote (PMV) and standard effective temperature (SET*)”. *Building and Environment*. v. 38, p. 33-44, 2003.

YOSHIDA, Rosana. *Das Normas em Conforto Térmico ao Projecto de Arquitectura*. 2006. 277 p. Dissertação (Mestrado em Arquitectura Bioclimática) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. Disponível em: <<http://150.162.76.35/labeee/publicacoes/dissertacoes.php>>. Acesso em 17 abr. 2007.

APÊNDICES

APÊNDICE A
Questionário utilizado nas entrevistas

APÊNDICE A – Questionário utilizado nas entrevistas

Pesquisador:

1. Qual a sensação térmica no momento da entrevista?

- Com muito calor
 Com calor
 Levemente com calor
 Nem com calor, nem com frio.
 Levemente com frio
 Com frio
 Com muito frio

2. Como está o tempo neste dia?

- ensolarado nublado chuvoso
 seco úmido

3. Que horas são?

4. Estudo de caso:

- caso base
 caso topografia
 caso orientação
 caso sombreamento

5. Quantas pessoas residem aqui?

Perfil do morador:

6. Quanto tempo você permanece em sua casa?

- 8 h 12h 20h 24 h

7. Qual período de maior permanência?

- manhã tarde noite

8. Qual atividade realiza na casa?

- estudo trabalho doméstico
 descanso trabalho sedentário
 exercícios

9. E no ambiente de estudo?

- estudo trabalho doméstico
 descanso trabalho sedentário
 exercícios

10. Em qual local você permanece mais?

- dormitório
 sala
 cozinha

11. Em qual local você gosta mais de ficar? Por quê? Em quais períodos?

12. Que tipo de roupa você usa normalmente quando está em casa?

13. Qual seu nome?

14. Idade?

15. Qual seu estado de saúde atual?

Sensação térmica no momento:

16. Que atividade estava realizando antes da entrevista?

17. Existe uma região determinada de seu corpo que está no momento com desconforto em relação à temperatura?

18. Caso você tenha respondido sim, qual parte de seu corpo estaria com desconforto em relação à temperatura?

19. Você está com sensação de desconforto em relação a sua vestimenta?

20. Caso você tenha respondido sim, qual peça de roupa causa este desconforto?

21. Marque um X ao lado de cada peça de roupa que você estiver usando nesse momento:

- Sapato/tênis
 Sandália/chinelo
 Botina/Bota

- Meia
- Meia até o joelho
- Meia calça

- Cueca
- Calcinha
- Soutien

- Calça de tecido fino
- Calça jeans
- Bermuda
- Calça de moletom
- Saia curta de tecido fino
- shorts
- Saia curta de tecido grosso
- Macacão
- Vestido curto sem manga
- Vestido curto manga curta
- Vestido até joelho manga curta
- Vestido compr. manga longa
- Vestido tipo jardineira
- Vestido compr. manga curta
- Mini blusa
- Camiseta regata
- Camiseta manga curta
- Camiseta manga longa
- Camisão manga curta
- Camisão manga longa
- Camisa manga longa
- Camisa manga curta
- Colete sem mangas fino
- Colete sem mangas grosso
- Suéter manga longa fino
- Suéter manga longa grosso
- Blusa gola redonda
- Jaquetão/japona leve
- Moletom manga longa
- Jaquetão/japona grosso

22. Como você está se sentindo neste momento dentro de sua residência?

- Com muito calor
- Com calor
- Levemente com calor
- Nem com calor, nem com frio.
- Levemente com frio
- Com frio
- Com muito frio

23. De que maneira você se encontra neste momento na sua casa?

- Confortável
- Levemente desconfortável
- Desconfortável
- Muito desconfortável

24. Como você preferia estar neste momento?

- Bem mais aquecido
- Mais aquecido
- Um pouco mais aquecido
- Assim mesmo
- Um pouco mais refrescado
- Mais refrescado
- Bem mais refrescado

25. Como você acha que está o clima lá fora?

- Muito quente
- Quente
- Levemente quente
- Neutro
- Levemente frio
- Frio

Sensação térmica em geral:

26. Qual a sensação que mais o incomoda: calor ou frio? Verão ou inverno?

27. No verão, com que vestimenta você dorme? Usa ventilador?

28. No inverno, com que vestimenta você dorme? Usa aquecedor?

29. Há períodos mais ou menos confortáveis ao longo do dia?

30. E do ano?

31. Quando você sente desconforto térmico, geralmente, em que condições você se encontra (quanto à roupa e a atividade desenvolvida)? Em que locais da casa?

32. Com relação ao ambiente onde o estudo está sendo realizado: qual seu período de permanência?

Fale um pouco sobre as sensações de conforto ou desconforto durante esses períodos.

33. O que você faz para se sentir mais confortável (Ex.: trocar de roupa, vai para outro ambiente, abre janelas/ portas, aciona o ventilador ou ar condicionado, etc.)?

34. E quando você está no ambiente em estudo?

35. Sempre é possível minimizar o calor (ou o frio) as condições de conforto através dessas ações?

36. A ventilação é sempre bem vinda ou você se incomoda com a entrada de ventos quentes ou trazendo poeira?

37. Você utiliza ventiladores? Em que horários? Esse uso muda de acordo com os meses do ano?

Em que período você utiliza mais?

Você e sua casa:

38. Como você classifica a sua casa: “quente” ou “fria”? Por quê?

39. Você considera que todos os ambientes possuem boas condições de ventilação e iluminação? Destaque alguns aspectos.

40. Há locais mais ou menos confortáveis aqui? Quais são?

Em sua opinião, o que os tornam assim?

41. Qual o quarto mais quente?

42. O que você mudaria na sua casa para deixá-la confortável, de acordo com o clima de sua cidade?

E no ambiente em estudo?

43. Em sua opinião, o que mais prejudica o conforto aqui?

Teria alguma sugestão (reforma, por exemplo)?

44. Você acha que a posição da sua casa em relação ao sol interfere no conforto térmico?

45. Se sua casa fosse numa parte mais alta/baixa do relevo, seria mais fresca?

46. Se tivesse uma varanda, ajudaria a amenizar o calor que vem das paredes?

APÊNDICE B

Propriedades físicas dos elementos construtivos da tipologia estudada

APÊNDICE B – Propriedades físicas dos elementos construtivos da tipologia estudada

PAREDES EXTERNAS:

- Pintura externa: $\alpha = 0,20$
- Argamassa: $\lambda = 1,15$; $c = 1,00$; $\rho = 2000$; $e = 0,012$
- Tijolo cerâmico 14 x 9 x 19 cm: $\lambda = 1,00$; $c = 0,92$; $\rho = 1600$; $e = 0,02$
- Câmara de ar não ventilada: $e = 0,09\text{cm}$; $R_{ar} = 0,17$

COBERTURA:

- Telha cerâmica: $\lambda = 1,05$; $c = 0,92$; $\rho = 1900$; $e = 0,01$
- Câmara de ar não ventilada: $R_{ar} = 0,21$ (verão)
- Concreto da laje: $\lambda = 1,75$; $c = 1,00$; $\rho = 2300$; $e = 0,09$
- Emboço da laje: $\lambda = 1,15$; $c = 1,00$; $\rho = 2000$; $e = 0,02$

Sendo:

λ : condutividade térmica (W/m.K)

c : calor específico (J/kg.K)

ρ : densidade de massa aparente (kg/m³)

e : espessura do material (m)

R_{ar} : resistência térmica do ar (m².K/W)