

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES UNIFAMILIARES DE INTERESSE
SOCIAL: ESTUDO DE CASOS EM IMBITUBA – SC**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção de título de Mestre em Engenharia Civil.

AUGUSTO MARTINS MARQUES

Florianópolis
Setembro de 2008

MARQUES, Augusto Martins

Desempenho térmico de edificações unifamiliares de interesse social: estudo de casos em Imbituba – SC. Florianópolis, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: EneDir Ghisi

1. Desempenho térmico 2. Edificação de interesse social 3. Imbituba

DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES UNIFAMILIARES DE INTERESSE SOCIAL: ESTUDO DE CASOS EM IMBITUBA – SC

AUGUSTO MARTINS MARQUES

Dissertação julgada adequada para a obtenção do Título de MESTRE em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

Prof. Dr. Glicério Trichês – Coordenador do PPGEC

Prof. Eneir Ghisi, PhD. - Orientador

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Maurício Roriz – UFSCar

Prof. Dr. Luís Alberto Gómez – ECV/ UFSC

Prof^a. Dra. Solange Virginia Galarca Goulart – PRODOC/ PPGEC

Dedico todos os meus méritos alcançados a todos que de alguma forma me ajudaram a estar aqui, a realizar este trabalho e de ser capaz de atingir este êxito.



OM TARE TAM SOHA

Aos meus pais, Américo Ferreira Marques e Ascensão Amarelo Martins.

Aos meus avôs, Ascensão de Jesus Amarelo (*in memoriam*), José Cardoso Marques (*in memoriam*) e Balbina Augusta Ferreira Marques.

SUMÁRIO GERAL

Lista de figuras	viii
Lista de tabelas	xii
Resumo	xiv
Abstract	xv
❶ CAPÍTULO 1 → INTRODUÇÃO	1
1.1 – Justificativa	1
1.2 – Motivação	3
1.3 – Objetivos	5
1.3.1 – Objetivo geral	5
1.3.2 – Objetivos específicos	5
1.4 – Estrutura do trabalho	5
CAPÍTULO 2 → REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 – Introdução	7
2.2 – Preocupações da avaliação do desempenho térmico de edificações	7
2.3 – Pioneiros na avaliação de desempenho térmico de edificações	9
2.4 – Referências de monitoramentos de habitações de baixo custo	13
2.5 – Diferentes formas de análises do desempenho térmico de edificações	15
2.5.1 – Métodos com base nas relações de temperaturas internas e externas	15
2.5.2 – Análises por referências em graus-hora	19
2.5.3 – Análises por diagramas bioclimáticos	21
2.5.4 – Análises com o uso do Coeficiente de Determinação (R^2)	23
2.6 – Considerações finais	26
❷ CAPÍTULO 3 → METODOLOGIA DE PESQUISA	28
3.1 – Introdução	28
3.2 – Seleção das residências para uma análise comparativa	28
3.2.1 – Localização e entorno imediato das residências	29
3.2.2 – O processo de seleção das habitações de interesse social e de diferentes envelopes construtivos	30
3.3 – Parâmetros relevantes às análises de desempenho térmico	31
3.3.1 – Dados referentes às variações térmicas das residências	31
3.3.2 – Dados referentes à ocupação e aos elementos construtivos	32

3.3.3 – Norte geográfico em relação às residências	33
3.3.4 – Absortância dos componentes construtivos	33
3.3.5 – Cálculos das propriedades térmicas dos componentes construtivos	35
3.4 – Tratamento dos dados referentes às avaliações de desempenho térmico	35
3.4.1 – Classificação das temperaturas e umidades relativas	35
3.4.2 – Verificação da adequação das residências ao clima local	36
3.4.3 – Classificação do desempenho térmico dos cômodos analisados	36
3.4.4 – Avaliação de desempenho térmico por graus-hora e grau médio	38
3.4.5 – Aplicação do programa computacional Analysis BIO	39
3.5 – Comparação entre as análises de desempenho térmico	40
3 CAPÍTULO 4 → RESULTADOS	41
4.1 – Introdução	41
4.2 – Estudo de casos da zona rural do município de Imbituba (SC)	41
4.2.1 – Apresentação e identificação do estudo de casos	42
4.2.1.1 – Estudo de casos compostos por fechamentos verticais de tijolo maciço aparente	42
4.2.1.2 – Estudo de casos compostos por fechamentos verticais de alvenaria de tijolos cerâmicos de seis furos	44
4.2.1.3 – Estudo de caso composto por fechamentos verticais de madeira	46
4.2.2 – Caracterização dos casos estudados	47
4.2.2.1 – Perfil de ocupação e disposição dos casos estudados	48
4.2.2.2 – Propriedades dos componentes dos casos estudados	49
4.2.2.3 – Condições de ventilação dos casos estudados	50
4.3 – Variação das temperaturas e umidades relativas externas	51
4.4 – Exposição das diferentes formas de avaliação do desempenho térmico	55
4.4.1 – Verificação da adequação ao clima do estudo de casos	56
4.4.2 – Classificação do desempenho térmico dos cômodos	58
4.4.3 – Análise de graus-hora e grau médio	64
4.4.4 – Análise por meio do Analysis BIO	68
4.5 – Comparação entre as diferentes análises de desempenho térmico	71
4.5.1 – Aspectos ligados a ventilação natural	72
4.5.2 – Aspectos ligados às propriedades termo-físicas	74
4.5.3 – Coerência entre a classificação de desempenho térmico e a análise de graus-hora ...	76
4.5.4 – Coerência entre a classificação de desempenho térmico e a análise bioclimática	79

4.6 – Considerações finais	82
CAPÍTULO 5 → CONCLUSÕES	83
5.1 – Conclusões gerais	83
5.2 – Limitações do trabalho	85
5.3 – Sugestões para trabalhos futuros	86
REFERÊNCIAS	88
APÊNDICES	96
Apêndice A – Aferição dos coletores de dados	96
Apêndice B – Coleta dos dados do luxímetro	98
Apêndice C – Classificação do Dia de Referência de verão e inverno	99
Apêndice D – Memorial de cálculos das propriedades térmicas	100
Apêndice E – Variação das temperaturas internas dos cômodos em relação à externa	103
Apêndice F – Variação das temperaturas internas dos cômodos em relação aos parâmetros de classificação do desempenho térmico	108
Apêndice G.1 – Diagramas bioclimáticos com a plotagem dos dados monitorados	114
G.1.1 – Diagramas do monitoramento de verão	114
G.1.2 – Diagramas do monitoramento de inverno	117

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa do zoneamento bioclimático brasileiro e imagem de satélite com a localização dos casos selecionados (fonte: ABNT, 2005; GOOGLE EARTH, 2007)	29
Figura 2.	Coletor de dados modelo HOBO RH-TEMP da Onset® (a) e o mesmo com sua proteção para o monitoramento externo das edificações (b)	32
Figura 3.	Ilustração do método utilizado para identificar o norte geográfico	33
Figura 4.	Luxímetro utilizado para verificar a iluminância refletida pelas superfícies externas das edificações	34
Figura 5.	Fotos, planta baixa e a posição dos coletores de dados dos ambientes monitorados, sendo cinco da Edificação A1 (<i>esq.</i>) e quatro da Edificação A2 (<i>dir.</i>)	43
Figura 6.	Fotos, planta baixa e a posição dos coletores de dados dos cinco ambientes monitorados da Edificação B, mais o coletor de dados das variações climáticas externas	44
Figura 7.	Fotos, planta baixa e a posição dos coletores de dados dos quatro ambientes monitorados da Edificação C	45
Figura 8.	Fotos, planta baixa e a posição dos coletores de dados dos cinco ambientes monitorados da Edificação D	46
Figura 9.	Fotos, planta baixa e a posição dos coletores de dados dos quatro ambientes monitorados da Edificação E	47
Figura 10.	Variação da temperatura externa durante o verão, frente ao referencial dos limites de temperatura de conforto para países quentes em desenvolvimento, segundo GIVONI (1992)	52
Figura 11.	Variação da umidade relativa do ar externo durante o verão, frente aos limites de referência de conforto para países quentes em desenvolvimento, segundo GIVONI (1992)	53
Figura 12.	Variação da temperatura externa durante o inverno, frente ao referencial dos limites de temperatura de conforto para países quentes em desenvolvimento, segundo GIVONI (1992)	53
Figura 13.	Variação da umidade relativa do ar externo durante o inverno, frente aos limites de referência de conforto para países quentes em desenvolvimento, segundo GIVONI (1992)	54

Figura 14.	Variação das temperaturas internas da Edificação A1 em relação à amplitude térmica externa (verão).....	55
Figura 15.	Variação das temperaturas internas da Edificação A1 em relação à amplitude térmica externa (inverno).....	55
Figura 16.	Relação de grau médio com a quantidade de horas em desconforto para o calor	66
Figura 17.	Relação de grau médio com a quantidade de horas em desconforto para o frio	68
Figura 18.	Diagramas bioclimáticos com os dados internos da Edificação A1 (a – sala e cozinha; b – banheiro; c – dormitório Sul 2; de- dormitório Sul 1; e – dormitório SO)	69
Figura 19.	Variação das temperaturas internas da Edificação A2 em relação à amplitude térmica externa (verão)	104
Figura 20.	Variação das temperaturas internas da Edificação B em relação à amplitude térmica externa (verão)	104
Figura 21.	Variação das temperaturas internas da Edificação C em relação à amplitude térmica externa (verão)	105
Figura 22.	Variação das temperaturas internas da Edificação E em relação à amplitude térmica externa (verão)	105
Figura 23.	Variação das temperaturas internas da Edificação A2 em relação à amplitude térmica externa (inverno)	106
Figura 24.	Variação das temperaturas internas da Edificação B em relação à amplitude térmica externa (inverno)	106
Figura 25.	Variação das temperaturas internas da Edificação D em relação à amplitude térmica externa (inverno)	107
Figura 26.	Variação das temperaturas internas da Edificação E em relação à amplitude térmica externa (inverno)	107
Figura 27.	Variação das temperaturas internas da Edificação A1 em relação aos níveis de classificação do desempenho térmico para o verão, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a)	108
Figura 28.	Variação das temperaturas internas da Edificação A2 em relação aos níveis de classificação do desempenho térmico para o verão, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a)	109

Figura 29.	Variação das temperaturas internas da Edificação B em relação aos níveis de classificação do desempenho térmico para o verão, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a)	109
Figura 30.	Variação das temperaturas internas da Edificação C em relação aos níveis de classificação do desempenho térmico para o verão, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a)	110
Figura 31.	Variação das temperaturas internas da Edificação E em relação aos níveis de classificação do desempenho térmico para o verão, segundo a NBR 15575-1 (<i>fonte:</i> ABNT, 2008a)	110
Figura 32.	Variação das temperaturas internas da Edificação A1 em relação aos níveis de classificação do desempenho térmico para o inverno, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a)	111
Figura 33.	Variação das temperaturas internas da Edificação A2 em relação aos níveis de classificação do desempenho térmico para o inverno, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a)	111
Figura 34.	Variação das temperaturas internas da Edificação B em relação aos níveis de classificação do desempenho térmico para o inverno, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a)	112
Figura 35.	Variação das temperaturas internas da Edificação D em relação aos níveis de classificação do desempenho térmico para o inverno, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a)	112
Figura 36.	Variação das temperaturas internas da Edificação E em relação aos níveis de classificação do desempenho térmico para o inverno, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a)	113
Figura 37.	Diagrama bioclimático com os dados externos das edificações (Ibiraquera, verão)	114
Figura 38.	Diagrama bioclimático com os dados internos da Edificação A2 (a – sala e cozinha, b – dormitório S, c – banheiro e, d - dormitório N)	114
Figura 39.	Diagrama bioclimático com os dados internos da Edificação B (a – área de serviço, b – dormitório L, c – dormitório S, d – sala e cozinha e, e – banheiro)	115
Figura 40.	Diagrama bioclimático com os dados internos da Edificação C (a – dormitório N, b – sala e cozinha, c – banheiro e, d – dormitório L)	116
Figura 41.	Diagrama bioclimático com os dados internos da Edificação E (a – sala e cozinha, b – banheiro, c – dormitório L e, d – dormitório S)	116

Figura 42.	Diagrama bioclimático com os dados externos das edificações (Ibiraquera, inverno)	117
Figura 43.	Diagrama bioclimático com os dados internos da Edificação A1 (a – sala e cozinha, b – banheiro, c – dormitório S2, d - dormitório S1 e, e – dormitório SO)	117
Figura 44.	Diagrama bioclimático com os dados internos da Edificação A2 (a – sala e cozinha, b – dormitório S, c – banheiro e, d - dormitório N)	118
Figura 45.	Diagrama bioclimático com os dados internos da Edificação B (a – área de serviço, b – dormitório L, c – dormitório S, d – sala e cozinha e, e – banheiro)	118
Figura 46.	Diagrama bioclimático com os dados internos da Edificação D (a – sala e cozinha, b – dormitório SO, c – banheiro, d – dormitório O e, e – área de serviço)	119
Figura 47.	Diagrama bioclimático com os dados internos da Edificação E (a – sala e cozinha, b – banheiro, c – dormitório L e, d – dormitório S)	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Recomendações das propriedades dos componentes construtivos para Zona Bioclimática 2, segundo a norma de Desempenho Térmico de Edificações (fonte: ABNT, 2005c)	36
Tabela 2.	Recomendações das propriedades dos componentes construtivos para Zona Bioclimática 2, segundo a norma de Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos – Desempenho (fonte: ABNT, 2008)	37
Tabela 3.	Classificação do desempenho térmico de edificações, segundo a norma de Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho (fonte: ABNT, 2008a)	38
Tabela 4.	Comparação entre os ambientes do estudo de casos, como sua ocupação, funcionalidades, dimensões e orientações	48
Tabela 5.	Comparação entre os casos, como sua tipologia construtiva, cores e aparências	49
Tabela 6.	Comparação entre as propriedades termo-físicas dos casos	50
Tabela 7.	Comparação entre as condições de ventilação dos ambientes do estudo de casos	51
Tabela 8.	Propriedades termo-físicas dos componentes construtivos frente às suas recomendações da NBR 15220 (ABNT, 2005)	57
Tabela 9.	Relações de ventilação das edificações e suas recomendações, segundo a NBR 15220 (ABNT 2005)	58
Tabela 10.	Propriedades termo-físicas dos componentes construtivos e suas recomendações, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008)	60
Tabela 11.	Classificação do desempenho térmico de verão do estudo de casos, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a)	62
Tabela 12.	Classificação do desempenho térmico de inverno do estudo de casos, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a)	63
Tabela 13.	Classificação de conforto e desconforto segundo a análise de graus-hora (verão)	65
Tabela 14.	Classificação de conforto e desconforto segundo a análise de graus-hora (inverno)	67
Tabela 15.	Porcentagem de horas encontradas com o Analysis BIO (verão)	70
Tabela 16.	Porcentagem de horas encontradas com o Analysis BIO (inverno)	71

Tabela 17.	Comparativo entre métodos frente às análises de ventilação	73
Tabela 18.	Comparativo entre métodos frente às propriedades termo-físicas	75
Tabela 19.	Comparativo entre métodos frente às análises de desempenho térmico (NBR 15575-1 <i>versus</i> graus-hora/ verão)	77
Tabela 20.	Comparativo entre métodos frente às análises de desempenho térmico (NBR 15575-1 <i>versus</i> graus-hora/ inverno)	78
Tabela 21.	Comparativo entre métodos frente às análises de desempenho térmico (NBR 15575-1 <i>versus</i> Analysis BIO/ verão)	80
Tabela 22.	Comparativo entre métodos frente às análises de desempenho térmico (NBR 15575-1 <i>versus</i> Analysis BIO/ inverno)	81
Tabela 23.	Processo de aferição dos coletores de dados para a coleta de temperatura ..	96
Tabela 24.	Processo de aferição dos coletores de dados para a coleta de umidade relativa	97
Tabela 25.	Refletância dos componentes construtivos do estudo de casos	98
Tabela 26.	Classificação do Dia de Referência de verão	99
Tabela 27.	Classificação do Dia de Referência de inverno	99

RESUMO

No presente trabalho se avalia seis edificações de interesse social típicas da zona rural do município de Imbituba (SC). O mesmo tem por objetivo avaliar o desempenho térmico dos casos selecionados cujos envelopes construtivos são distintos entre si (tijolo maciço aparente, madeira e alvenaria). Para isto, monitoraram-se as temperaturas externas e internas destas habitações, caracterizaram-se os seus componentes construtivos e definiram-se os seus perfis de ocupação. Com o auxílio de algumas normas técnicas brasileiras, verificou-se a adequação ao clima, classificou-se o desempenho térmico, e de forma complementar, avaliou-se os casos estudados pelas análises bioclimática e de graus-hora. Tais métodos foram utilizados por se visar não apenas uma efetiva compreensão dos desempenhos térmicos destas edificações, como também a verificação da coerência de resposta quanto à adoção da norma de Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos – Desempenho – NBR 15575 (ABNT, 2008). Através de referenciais normativos, caracterizaram-se os elementos construtivos, verificou-se a adequação ao clima destas habitações e classificou-se o desempenho térmico das mesmas. Já com as análises complementares, notou-se que avaliações baseadas apenas na relação das temperaturas internas e externas não retrataram de forma plena o real diagnóstico das condições internas às edificações. Respostas estas simples ao se comparar a uma análise bioclimática que cita sugestões de estratégias de condicionamento aos ambientes, além de também contar com a umidade relativa do ar em sua avaliação. Por fim, concluiu-se que para uma visão clara da classificação de um desempenho térmico de edificações, deve-se observar a maior quantidade de fatores de influência possíveis, como: as propriedades termo-físicas dos componentes construtivos; a disposição, orientação e ocupação da edificação; e as temperaturas e umidades relativas do ar máximas, médias e mínimas tanto internas como externas de períodos representativos. Desta forma, pôde-se compreender melhor o que mais induziu os resultados e quais os fatores de maior ou menor relevância ao caso.

ABSTRACT

The present study evaluates six low cost buildings of Imbituba's rural zone in SC (Brazil). The main purpose it is to assess the thermal performance of the selected cases, all of them with different building envelopes, like: apparent solid brick, wood and masonry. To achieve the results, the external and internal temperatures of these houses were monitored; the building components were characterized and occupation's scheduled set. A Brazilian technical standards aid a verification of the adequacy of the local climate, classified the thermal performance, and also allowed an assessment a bioclimatic and degree-hours analysis. Such methods were used because, besides bringing us an effective understanding of the thermal performance of these buildings, they were capable of checking the consistency of responses regarding the adoption of the standard NBR 15575 (ABNT, 2008). Through normative references, the building components were characterized, the houses were figured out the suitability to the local climate, and have classified their thermal performance. After further analysis, it was possible to verify that evaluations based only on the indoor and outdoor temperatures do not seem as realistic as, for example, a bioclimatic analysis, which also includes the relative humidity in his diagnostic. Finally, it was concluded that a clear vision for the classification of a building thermal performance, one must observe the highest amount of possible influencing factors, such as: the thermo-physical properties of building components; layout, orientation and occupation of the building; and the temperatures and relative humidity maximum, medium and minimum internal and external representative periods. Thus, we could better understand what led to more results and the factors of greater or lesser relevance to the case.

1.1 – Justificativa

O principal propósito de avaliar o desempenho térmico de sistemas construtivos populares e de baixo custo se deve a uma tentativa de contribuição de referências úteis ao avanço da qualidade térmica desta categoria de habitações. Vinculado a esta preocupação com seu desempenho térmico, há também outros indicadores atribuídos à pesquisa aqui apresentada, como a influência do clima externo e a forma e composição do envelope construtivo às condições internas de uma edificação.

Pesquisas anteriores exploraram algumas tentativas de identificar a prática construtiva no Brasil e seu comportamento térmico. Como exemplo, tem-se Barbosa (1997) que não apenas definiu uma ocorrência do padrão dos projetos desenvolvidos pelas Companhias de Habitação Popular (COHAB), como também, as suas variações térmicas e graus de satisfação do usuário quanto ao conforto oferecido pelas edificações monitoradas na pesquisa.

A ascendente preocupação quanto à eficiência energética de edificações indica uma tendência no que diz respeito à racionalização da construção civil em todo país, mesmo que este apresente particularidades como a variação climática e de recursos, as diferenças sociais e culturais, além de sua grande extensão. Tal tendência é reforçada pela aprovação, em 2005, da norma de *Desempenho Térmico de Edificações* – NBR 15220 – e , em 2008, pela norma de *Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos/ Desempenhos* – NBR 15575 –, ambas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Muitas vezes, na pressa de se ganhar dinheiro com construções que atendam à população carente, aspectos qualitativos são relevados a um segundo plano, ou simplesmente ignorados (MORELLO; SATTTLER, 2004). Esta lógica segue do século passado, onde, nas décadas de 60 e 70, algumas iniciativas de racionalizar a construção se deram com Brasília e os grandes conjuntos habitacionais. Este padrão, oriundo dos programas de massa do pós-guerra europeu, tem como modelo a produção fabril seriada e a organização de trabalho fordista (FARAH, 1992).

Por outro lado, observa-se que através das decisões de projeto e da escolha de materiais adequados, é possível desenvolver habitações populares que apresentem melhor desempenho térmico; isto, sem que seja necessário investir muito mais recursos com as atuais construções de uso similar, do que os até então já gastos. Paralelamente, o consumo de energia com o condicionamento térmico (uso de ventiladores e/ou aquecedores elétricos) poderá ser minorado, reduzindo-se também os gastos energéticos durante a vida útil da edificação.

Para os estudos e aprimoramentos das edificações, a verificação do comportamento térmico ocorre de duas maneiras: através de medições ou de modelos matemáticos, que podem ser baseados apenas em aspectos teóricos ou derivados de dados experimentais (PAPST, 2004).

Modelos matemáticos têm como vantagens: a rapidez de resultados, a possibilidade de análises paramétricas, além da possível verificação de prováveis problemas antes da execução do projeto. E como desvantagens: a utilização de dados climáticos que podem não retratar o clima local, ou até mesmo mascarar intensidades climáticas mais extremas ao se adotar o Ano Climático de Referência (TRY¹). Além disto, muitos dos cálculos não adotam a umidade em seus procedimentos e, há a freqüente falta de conhecimento preciso dos materiais empregados mesmo por parte dos seus fabricantes. Tais diferenças podem ser ainda mais agravadas em ambientes em uso, onde as incertezas nas intervenções dos usuários no gerenciamento e na ocupação dos ambientes serão constantes.

Verificações locais têm como desvantagens: a necessidade de um período mínimo de medição e equipamentos de obtenção de dados que podem prejudicar a utilização do ambiente. Já suas vantagens estão no dado colhido que terá a influência da umidade do ar (calor latente) e a real influência dos usuários na mecânica de condicionamento do ambiente. Portanto, tais condições estarão ali representadas com a influência das trocas térmicas com o solo, cobertura e fechamentos laterais, ou seja, informações que serão o resultado final de todo o calor absorvido e liberado pelo ambiente de interesse.

Quaisquer que sejam as formas de verificação, sempre haverá vantagens e desvantagens; no entanto, o que quer que seja apontado como resposta por uma metodologia pode não ser válido por outra, ou, até mesmo, pode não ser o suficiente

¹ ano climático de referência, em inglês, *Test Reference Year* (TRY).

para uma real compreensão da possível diferença do aspecto térmico analisado do conjunto edificado.

1.2 – Motivação

O crescimento acelerado dos centros urbanos e a freqüente manipulação dos programas de edificação de baixo custo não levam em consideração as especificidades locais. Conseqüentemente, segundo Krüger (2000), sistemas construtivos com muitas características similares são adotados em lugares com diferentes condições climáticas, o que acaba por disseminar casas de baixa qualidade que não respondem às necessidades de seus usuários.

A adoção de oito diferentes zonas bioclimáticas, que consta na terceira parte da normatização de Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2005), reforça a lógica desta preocupação. A mesma também indica parâmetros e condições de entorno, além de diretrizes construtivas para cada uma destas zonas. Algo que, dentro da prática de desenvolvimento de projeto, torna-se tanto uma ferramenta contemporânea, como uma base de conhecimento para problemáticas do desenvolvimento de projetos.

Criado pelo Ministério das Cidades, o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social (SNHIS) proporciona aos estados, municípios e até à iniciativa privada a opção de se aderir aos fundos nacionais destinados ao combate à falta de moradias. Este caminho proporciona maiores condições de se aferir o que convém ao governo e aos habitantes locais, pois possibilita a consideração às suas necessidades, recursos e condições. Apesar da infinidade de metas possíveis ao se embasar particularmente nestas três diretrizes, estudos simplificados com práticas bem sucedidas caminharam no sentido de facilitar os rumos relativos ao desempenho de edificações naturalmente ventiladas. Por mais que inicialmente as contribuições tenham sido feitas em protótipos não habitados (GIVONI, 1999), hoje já se encontram estudos em residências em uso (GIVONI; VECCHIA, 2001) de diversas técnicas e de envelopes construtivos (FERNANDES; KRÜGER, 2004) em diferentes condições de urbanização (KRÜGER *et al.*, 2004 e CHENG *et al.*, 2005).

A exemplo destas contribuições, torna-se de suma importância se conhecer os atributos que são determinantes às avaliações térmicas de uma edificação.

Porém, as inúmeras formas de se classificar o desempenho térmico de um conjunto edificado, nem sempre geram as mesmas conclusões. Entretanto, estes diferentes processos de avaliação podem se tornar complementares, devido ao fato de cada um deles visar de forma mais abrangente determinado aspecto relevante aos resultados encontrados. Assim, parâmetros ou informações de uma determinada forma de avaliação podem ser relacionados a um segundo método, podendo-se ampliar as conclusões obtidas em primeira instância.

Dentre estas formas complementares de métodos associados, cita-se Ghisi e Massignani (2007) que, através do Coeficiente de Determinação (R^2), uma técnica estatística, correlacionam em conjunto a influência das diferentes orientações, transmitâncias térmicas, áreas de fachada e quantia de horas de sol com as temperaturas máximas internas dos ambientes em questão. Tal procedimento lhes gerou um determinado grau de relação entre estes parâmetros agrupados com as condições internas encontradas nos casos estudados.

Nota-se então que, as relações dos resultados de diferentes métodos indicam não apenas conclusões mais elucidativas, mas também podem demonstrar o grau de influência dos diferentes pontos analisados, sejam eles os dados climáticos, as propriedades térmicas, ou as características geométricas de um dado ambiente. No mais, torna-se possível localizar nas soluções pontuais as mudanças térmicas indesejáveis; ou seja, podem ser levadas em conta as potencialidades e dificuldades dos três principais focos do ato de se construir: o clima, a edificação e também os seus usuários.

Apesar de uma avaliação do comportamento térmico de uma moradia ter por objetivo compreender suas variações, sempre haverá um foco no conforto proporcionado por este espaço. Contudo, conclui-se que: limitar as investigações de caráter térmico à composição e disposição da edificação, e à possibilidade de mecânica de condicionamento dos ambientes, não levará a uma precisa identificação do bem-estar de um usuário; todavia, possibilitará informações pertinentes a melhor situação que aquele conjunto edificado pode proporcionar em seu interior.

1.3 – Objetivos

1.3.1 – Objetivo geral

Esta dissertação tem por objetivo principal avaliar o desempenho térmico de seis habitações de interesse social, naturalmente ventiladas, localizadas na zona rural do município de Imbituba (SC).

1.3.2 – Objetivos específicos

Como objetivos específicos, têm-se:

- A caracterização dos parâmetros mais relevantes dos componentes construtivos para uma avaliação de desempenho térmico das edificações selecionadas;
- O monitoramento de variáveis climáticas externas as edificações, nos períodos mais significativos de calor e frio do ano, que correspondem às estações de verão e inverno;
- A verificação da adequação ao clima dos envelopes construtivos destas habitações, através dos critérios NBR 15220-3 (ABNT, 2005c);
- A classificação do desempenho térmico destes exemplares com o auxílio da NBR 15575-1 (ABNT, 2008a);
- A quantificação da oscilação térmica das edificações, por meio de análises de graus-horas, visando uma referência adicional à classificação de desempenho térmico;
- A ponderação da porcentagem de horas de conforto e desconforto através de uma análise bioclimática, a fim de também confirmarem as respostas encontradas com o monitoramento frente às recomendações sugeridas pelos métodos normativos e;
- A relação entre estas diferentes formas de avaliação de desempenho térmico, visando à verificação da coerência de suas indicações e, ainda, as potencialidades e diferenças entre elas.

1.4 – Estrutura do Trabalho

Na **introdução** se enfatizou alguns dos problemas encontrados no desenvolvimento das habitações populares brasileiras, a preocupação quanto a seus desempenhos térmicos, a relevância da diversidade climática e os objetivos do

trabalho. Segue-se com um **segundo capítulo** onde há uma revisão de assuntos pertinentes a estas ênfases, relatando-se diferentes métodos de parâmetros significativos das avaliações do desempenho térmico. Dentre as citações há: comparações de dados horários de temperatura, correlações das temperaturas internas às edificações e suas propriedades térmicas e, também, análises bioclimáticas. Apresentam-se trabalhos de monitoramento de habitações de interesse social, além de discussões referentes a parâmetros de importância do condicionamento térmico interno.

No **terceiro capítulo**, foi exposto todo o procedimento metodológico utilizado. Onde, resumidamente, pode-se definir como uma seleção de casos adequados ao estudo, um acompanhamento destes em períodos de relevância, a utilização de ferramentas adequadas à coleta dos dados pertinentes, uma caracterização dos objetos de estudo de forma a obter os parâmetros relevantes para, finalmente, certificar-se dos aspectos pontuais através de informações relacionadas.

Tal proposta metodológica se apresenta com critérios contemporâneos de avaliação e, também, com uma ampla visão das condições atreladas à meta do trabalho. Esta afirmação sucede-se tanto pelo uso de normas recentes, quanto pela aplicabilidade prática dos conceitos identificados.

No **quarto capítulo**, o relativo aos resultados, identificaram-se as diferenças arquitetônicas e dos componentes construtivos das habitações selecionadas, parte com levantamentos *in situ*, parte com referenciais normativos. Já com o monitoramento do clima local, que se mostrou mais rígido para o inverno em relação ao verão, estabeleceram-se suas temperaturas máximas, médias e mínimas, assim como os Dias Típicos de ambas as estações. A partir dos dados colhidos no interior das edificações, partiu-se para compreensão de seus comportamentos térmicos, onde através de diferentes métodos se identificou seus desempenhos térmicos. Com as diferentes respostas, maiores elucidções foram encontradas para uma real compreensão dos números diagnosticados, onde por fim, apenas o período de verão proporcionou um melhor discernimento dos resultados obtidos.

Por fim, há o **quinto capítulo** que apresenta as conclusões decorrentes do trabalho, suas limitações e algumas sugestões para trabalhos futuros.

2.1 – Introdução

Os temas desta revisão bibliográfica seguem os principais pontos da pesquisa, ou seja, a busca de métodos e parâmetros relevantes a uma análise de desempenho térmico de edificações habitacionais e as formas complementares de verificação de tal tipo de diagnóstico. Por conseguinte, salientam-se comentários de diferentes critérios, enfoques e até limites das avaliações de desempenho térmico. Para isto, ao longo do capítulo, foram feitas sínteses sobre os pontos de interesse de trabalhos que apresentam técnicas e, por vezes, críticas dos procedimentos adotados. Além disso, foram realizadas exposições de técnicas passivas de condicionamento de ambientes, segundo os critérios de recomendações bioclimáticas.

A necessidade de referências climáticas e parâmetros físicos à definição de um desempenho térmico sugerem um acompanhamento das mudanças de temperatura e das propriedades térmicas do envelope construtivo. O qual requer conhecimento frente ao levantamento destes dados de interesse citados, conseqüentemente, seus equipamentos, precisões e períodos adequados. A compreensão dos limites de temperatura perante determinadas funções e condições também se mostrara necessária, o que leva a definição de uma faixa de conforto esperado.

Assim, acredita-se englobar informações significativas do conhecimento adequado à pesquisa e sua prática, visando atingir a devida compreensão dos casos estudados e a condição de expressar algum eventual diagnóstico do aperfeiçoamento térmico destes.

2.2 – Preocupações da avaliação do desempenho térmico de edificações

A já conhecida relação do clima externo de uma edificação frente à condição interna por ela proporcionada foi originada desde os tempos em que o homem

passou a criar seu próprio abrigo. Tal instinto pode ter sido complementado por razões culturais, estratégicas (segurança) ou técnicas (falta de materiais), mas nunca descartado da condição climática, uma vez que há provas da presença e sobrevivência do Homem em climas extremos de diferentes temperaturas e umidades.

O aperfeiçoamento deste conhecimento foi de tanta importância que em Roma, já no século I d.C., Vitruvius escreveu a obra *Os Dez Livros de Arquitetura*, tendo por objetivo o relato de diferentes tipos de abrigos para posteriores conclusões sobre a adequação. Nesta coletânea, ele relatou a evolução de refúgios em cavernas até cabanas totalmente estruturadas pelo Homem, sendo que, no VI volume, ele trata especificamente da relação do clima com a arquitetura; tema este, que influenciou profundamente todo o seu trabalho (IZARD; GUYOT, 1983 *apud* DUMKE, 2002).

Hoje, início do século XXI, já se desenvolveram inúmeras pesquisas sobre técnicas de aclimação passiva e de tecnologias do condicionamento artificial para qualquer meio geográfico. Desta maneira, estudos que vêm verificando o desempenho térmico de edificações, sejam elas sistemas provisórios de abrigos (CRAWFORD *et al.*, 2005) ou de alto padrão (PFAFFEROTT *et al.*, 2005), visam desde o critério de conforto térmico relacionado com o balanço energético (ORESZCZYN *et al.*, 2006), até verificações mais sucintas como relações entre a temperatura externa e a temperatura interna (PAPST; LAMBERTS, 2001).

O fato de persistentemente se desenvolverem edificações que não consideram seu entorno imediato, é uma das atuais preocupações dos desenvolvedores de projeto (SOUZA; PEREIRA, 2004; MACIEL *et al.*, 2007). A questão se agrava ainda mais em países como o Brasil, onde há diversas condições climáticas e situações econômicas muito burocráticas para se solucionar os grandes problemas de moradia. O que leva à população carente programas habitacionais simplistas e, por vezes, desqualificados (PEREIRA *et al.*, 1999; KRÜGER; LAMBERTS, 1999).

Apesar da diversidade de técnicas para a avaliação do desempenho térmico pré e pós-construção, há de se convir que todas tivessem por objetivo criar conhecimentos para um aperfeiçoamento de edificações condizentes ao seu meio e seus usuários. Não obstante, a soma das particularidades climáticas e a compreensão de exemplares bem sucedidos em diferentes localizações levam a

acreditar que estes já seriam excelentes recursos de informações a futuras instalações.

Seguindo estes critérios, há tempos que pesquisadores e projetistas vêm se utilizando de referências climáticas visando diferentes tipos de edificações para diferentes níveis e condições de conforto. A observação dos resultados efetivos de interpretações desses desempenhos térmicos, com base em dados relevantes, fez deste rumo um grande caminho para breves, mas significativas, fontes de apoio ao desenvolvimento de projetos. Desta maneira, tem-se a aplicação de modelos matemáticos (AL-SANEA, 2002), estatísticos (GIVONI, 1999) e computacionais (GHRAB-MORCOS, 2005), cada qual com a sua complexidade e precisão.

Resumidamente, aqui serão expostas algumas metodologias já conhecidas do meio científico e suas ênfases e particularidades, além do aperfeiçoamento quanto ao seu procedimento. Dentre elas, cita-se: alguns métodos de comparação de dados horários de temperaturas, o diagrama bioclimático e o coeficiente de determinação (R^2).

2.3 – Pioneiros na avaliação de desempenho térmico de edificações

No Brasil, o estudo de caso de Akutsu e Vittorino (1993) foi pioneiro na promoção de critérios e definições dos níveis de desempenho térmico em ambientes construídos. Para o estudo de caso, selecionou-se um recinto de 17m² no andar superior de um sobrado situado em São Paulo (SP) com paredes de tijolos maciços, rebocadas e pintadas de bege, uma cobertura em laje maciça de concreto e telhado em telhas cerâmicas e, ainda, uma janela proporcional a 17% da área de piso. O estudo considerou: as características de exigências humanas segundo a ISO 7730² (1984), as condições típicas de exposição ao clima, as características tanto da edificação, quanto de sua ocupação e do comportamento térmico do ambiente; para então chegar à avaliação do desempenho térmico.

² A ISO 7730 (1984) considera o metabolismo exercido (70W/m² correspondente a atividades leves), a vestimenta (0,35clo para o verão e 0,8clo para o inverno), uma média esperada de umidade relativa (50%), uma temperatura radiante (equivalente à temperatura do ar) e uma faixa de conforto (entre 17°C e 28°C com velocidade do ar até 0,25m/s, ou sua extensão a 29°C com velocidade do ar a 0,5m/s).

O trabalho foi simulado através do programa computacional NBSLD (1976) – desenvolvido pelo *National Bureau of Standards* (Washington DC, EUA) – para dois períodos, o de verão e o de inverno. Como níveis de desempenho térmico adotaram-se três categorias: nível A, onde as temperaturas do cômodo sempre ficam dentro da faixa de conforto térmico estabelecida pela ISO citada; nível B, onde as mesmas não ultrapassam as temperaturas máximas ou mínimas externas; e nível C, onde as temperaturas máximas e mínimas internas ultrapassam as temperaturas equivalentes externas.

Em busca de resultados, os autores utilizaram quatro configurações: uma janela a oeste sem sombreamento, uma janela a leste também sem sombreamento, novamente uma janela a leste, mas com sombreamento (do tipo *brise-soleil*), e esta mesma configuração só que com ventilação noturna. Apesar da opção com ventilação noturna não ter sido avaliada no inverno, todas as demais atingiram o nível B. No entanto, para o verão, esta última foi a única a obter nível A, seguida da outra opção com sombreamento atingindo o nível B e as demais o nível C. Como conclusão, os autores destacaram a importância de cuidados quanto ao sombreamento de janelas e a necessidade de uma continuidade do trabalho para outras variações de edificações, ocupações e clima.

Esta continuidade da pesquisa foi uma tentativa de se dar início a uma normatização brasileira sobre desempenho térmico de habitações de interesse social, inclusive, recebeu o nome de *Método IPT* em referência ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Isso levou Akutsu *et al.* (1995) a um aprimoramento que propunha todo um universo de arranjos de fechamentos verticais e horizontais, onde as variações diferenciavam-se pelas suas composições e, também, por suas resistências e capacidades térmicas internas e externas. Ainda frente à edificação, o método abrangia opções de diferentes orientações de aberturas (norte, sul, leste e oeste), onde todo o conjunto recebia diferentes níveis (A, B e C dos já citados) frente às oito zonas climáticas que subdividiam todo o território nacional, segundo o estudo.

Como resultado, criou-se duas séries de tabelas (verão e inverno) que especificam trinta tipos de paredes, oito tipos de coberturas e quatro orientações distintas de janelas para cada um dos oito climas definidos pelo estudo. Todos estes conjuntos foram parametrizados por simulação computacional com referência em habitações térreas unifamiliares de 33m². Na época, o objetivo era facilitar uma

comprovação prévia da qualidade térmica dos projetos concebidos pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU), que necessitava de financiamento para seus projetos.

Além desse, um dos primeiros trabalhos a lidar com dados de campo de habitações de interesse social encontradas no Brasil foi o de Barbosa (1997). Seu objetivo se iniciou com uma tentativa mais efetiva de desenvolver uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações unifamiliares. Para isto, deu-se início a uma identificação da prática construtiva mais comum de todas as Companhias de Habitação Popular (COHAB). Algo que resultou em uma média de edificações de 34m², com cobertura em telhas cerâmicas estruturadas em madeira e sem forro³, com paredes de alvenaria pintadas de branco e compostas por tijolos cerâmicos rebocados dos dois lados, e de janelas de esquadria metálicas basculantes e sem proteção (média de 1,2m²). Com base neste referencial, selecionaram-se cinco moradias da cidade de Londrina (PR) que se assemelhassem a esta média encontrada, mas que se diferenciasssem na composição de seus fechamentos verticais (paredes monolíticas de concreto, com tijolos cerâmicos de seis furos, blocos de concreto, placas de ardósia e painéis estruturais de argamassa armada).

A elaboração dos critérios da avaliação de desempenho térmico ainda contou com as simulações do programa computacional francês COMFIE (1992) – *Calcul d'Ouvrages Multizones Fixé a une Interface Experte*. Para isto, foram necessários dois monitoramentos destes cinco exemplares mencionados, um de verão e outro de inverno (ambos em 1994). Assim, possibilitou-se o ajuste da ferramenta de simulação térmica que contou com o ano climático de referência da cidade paranaense, para se gerar uma base horária de dados. Esta, somada a uma análise *in situ* de voto médio estimado (PMV⁴), proporcionou à autora elaborar um *referencial cultural local* de conforto térmico. Tendo então sido realizada a primeira forma de avaliação de desempenho térmico, que para cidade em questão, definiu-se como uma edificação que pudesse contar com no máximo mil horas de desconforto ao ano.

³ foi apontado que para as regiões sul e sudeste, o padrão diferenciou-se pela existência de lajes em concreto maciço.

⁴ voto médio estimado, em inglês, *Predicted Mean Vote* (PMV).

De forma breve, pode-se especificar que o voto médio estimado, método desenvolvido por Fanger (1970), citado pela ISO 7730 (1984) e também aperfeiçoado pela *American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE), estabelece uma forma de definição numérica do conforto térmico de usuários por meio de suas sensações térmicas em dado ambiente levando também em consideração o metabolismo e as vestimentas dos mesmos.

Devido à complexidade decorrente da operação desta forma de simulação térmica e de todo levantamento de campo, também houve uma proposta de avaliação por prescrição. Por sua vez, esta segunda forma de avaliação, baseava-se nesta mesma pesquisa e contava com os critérios de caracterização da edificação por via da transmitância térmica, da absorvância, do sombreamento mínimo das aberturas e da área efetiva útil das aberturas para ventilação em relação à área de piso.

Ambas as formas tiveram como parâmetros térmicos, tanto as condições climáticas locais, como a zona de conforto estabelecida por Givoni (1992), que para países quentes em desenvolvimento compreende entre as temperaturas de 18°C a 29°C e determinados intervalos de umidade relativa do ar (que variam conforme a temperatura).

Com o mesmo estudo de casos de Londrina (PR), Sakamoto *et al.* (2001) procuraram o aperfeiçoamento do método de avaliação de unidades residenciais de Barbosa (1997). Para isto, os autores compararam os resultados obtidos pela simulação e pelo monitoramento com uma segunda aplicação de método já existente (LAMBERTS, 1998 *apud* SAKAMOTO *et al.*, 2001). Assim, foi possível verificar os critérios e requerimentos deste segundo processo, que se mostraram convenientes ao caso. Por sua vez, o estudo considerou o zoneamento climático e os cálculos de transmitância térmica, atraso térmico, o fator de ganho de calor solar de elementos opacos e a razão de proporção de ventilação entre aberturas e a área de piso; critérios estes da NBR 15220-3 (ABNT, 2005c) que, na época, era ainda uma proposta de norma.

Como resultado, percebe-se que nem sempre as edificações que obtiveram as melhores porcentagens de conforto térmico por simulação ou monitoramento, classificaram-se com o maior preenchimento de critérios estabelecidos pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005c). Por conseguinte, os autores concluíram de forma sumarizada que apenas as propriedades do conjunto edificado não são

determinantes para assegurar um bom desempenho térmico (SAKAMOTO *et al.*, 2001). Por outro lado, notou-se que a coerência quanto à necessidade de ventilação, proporcionou as melhores condições internas para os limites estabelecidos por Givoni (1992).

2.4 – Referenciais de monitoramentos de habitações de baixo custo

Em Cachoeirinha (RS), entre 28 de março e 2 de junho do ano de 1990, Becker (1993) também avaliou o desempenho térmico de uma edificação unifamiliar térrea (60m²). Esta dispunha de telhas em fibrocimento estruturadas em madeira e com forro de pinus, onde todas as suas paredes de cor branca eram de tijolos maciços rebocados, a exceção da face nordeste que não recebera acabamento. Já suas aberturas de esquadrias metálicas, apesar de não conterem nenhuma proteção ao sol, acabaram por ficar vedadas durante as análises para evitar infiltrações do ar externo. Desta maneira, a autora objetivou avaliar o desempenho térmico da habitação comparando os seus resultados com os critérios de conforto da norma ASHRAE 55 (1981), que define especificações salobras de ambientes a execução de tarefas e uma faixa de temperatura tida como confortável entre 18°C e 28°C. Para a execução prática da pesquisa, foram distribuídos equipamentos calibrados de precisões pré-indicadas, estes foram devidamente posicionados para se realizar uma coleta dos dados adequada.

Dentre os dados coletados estiveram: à temperatura do ar e de globo de alguns ambientes, as temperaturas superficiais de alguns elementos construtivos como da cobertura, do forro, do piso e das paredes, bem como a temperatura externa. Como principais resultados, Becker (1993) evidenciou que a temperatura do ático esteve sempre acima da externa, que a temperatura superficial mais elevada sempre incidiu na cobertura e que a temperatura radiante média variou com a orientação do ambiente. Frente à análise de desempenho térmico, observou-se que apenas 30% do tempo a edificação esteve em desconforto e sempre para o frio. Também se pode notar que a variação interna da temperatura do ar foi cerca de 40% da externa, o que indicou que a inércia do envelope construtivo amorteceu em 60% a variação térmica interna (BECKER, 1993).

De forma complementar, cita-se duas observações da autora: a primeira é sobre a temperatura de orvalho que, ao se igualar ou não atingir a temperatura superficial, pode levar a ocorrência de condensação nas superfícies; fato este indesejado pelas suas conseqüências negativas. Em segundo lugar, há o comentário sobre a temperatura do piso que estava diretamente apoiado no solo, fator este que ajudou no amortecimento das temperaturas internas.

Pelas conclusões de Becker (1993), o conjunto edificado foi enquadrado como aceitável pelo seu desempenho térmico, porém, há a citação de alguns aspectos que geram questionamentos, como: a extensão do período de medições para a estação de inverno, pois se trata de uma latitude elevada; a importância da coleta da umidade relativa do ar para uma efetiva constatação do conforto atingido no interior dos cômodos; e a constatação de efeito estufa como resultado das áreas envidraçadas, já que grande parte da possibilidade de troca de ar foi eliminada.

Para citar outro exemplo, relatasse-se outro trabalho que também fez verificações *in situ* do comportamento térmico de uma edificação de interesse social. Situado em Porto Alegre (RS), este caso constitui-se de fechamentos verticais em tijolo maciço a vista, cobertura em telhas cerâmicas, forro em madeira, além de aberturas e sombreamentos estrategicamente posicionados. Suas medições internas ocorreram em intervalos horários de 23 de junho a 22 de setembro de 2003 (inverno), sempre com o auxílio do BABUC/ A (vulgo *confortímetro*); instrumento este que coleta a temperatura radiante média, a temperatura de bulbo seco, a temperatura de bulbo úmido (com e sem ventilação forçada), a temperatura de orvalho, a assimetria radiante e a umidade relativa do ar. Paralelamente, houve um acompanhamento de dados climáticos externos, via o Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Com o objetivo de ter uma análise por meio de uma carta bioclimática, todos os dados foram plotados no programa computacional Analysis BIO (LABEEE, 2004). Por conseguinte, pode-se observar que os dados externos estiveram amplamente distribuídos sobre a carta e que os relatórios gerados apontaram 26,22% das horas abaixo de 10,5°C, o que corresponde a uma necessidade de aquecimento artificial. Já o destaque da análise interna esteve no fato dos pontos da carta terem se concentrado em uma faixa relativamente estreita entre 60 e 80% da umidade relativa do ar (MORELLO; SATTLER, 2004).

Das horas internas monitoradas, a temperatura esteve abaixo dos 18°C em 71,8% das vezes, mas em 16,9% deste percentual a temperatura esteve acima dos 17°C, ou seja, muito próxima da zona de conforto ao se considerar a aclimação da população local (MORELLO; SATTTLER, 2004). Observou-se ainda que 40,8% das horas de desconforto ocorreram entre 22h e 6h, período do qual os autores consideram que o usuário estaria provavelmente dormindo e com um nível de vestimenta de 2clo (devido ao pijama longo, às cobertas e ao colchão). Isto os fez acreditar, assim como Becker (1993) o fez, que se poderiam diminuir ainda mais as horas de desconforto.

Ainda ao questionar o desconforto térmico, Morello e Sattler (2004) fazem uma analogia ao trabalho de Barbosa (1997), que vincula os 30% de horas de desconforto decorrentes de Londrina (PR) às mil horas de desconforto aceitáveis no interior de uma edificação desta mesma cidade. Opinião esta que, segundo os autores, deveria ser vinculada apenas ao meio externo e não às aceitações pertinentes ao interior do abrigo. Porque, a exemplo de Porto Alegre (RS), esta quantidade teria proporções inversas, já que a cidade encontra-se em 77,5% das horas em desconforto (MORELLO; SATTTLER, 2004). Por fim, eles concluem que mesmo com uma elevada quantidade de horas internas em desconforto, ao se adotar somente os limites de Givoni (1992), teve-se a edificação exercendo uma redução considerável em relação ao frio externo que esteve três vezes maior que o interno.

2.5 – Diferentes formas de análises do desempenho térmico de edificações

2.5.1 – Métodos com base nas relações de temperaturas internas e externas

Seguindo uma linha de acompanhamento de dados horários de temperatura, tem-se Papst e Lamberts (2000) que comparam duas formas de análises da temperatura interna de três edificações residenciais (Florianópolis, SC). Para isso, foram medidos durante um ano dados horários internos e externos da temperatura de bulbo seco. Todas se encontravam em uso, mas diferiam em tamanho, características construtivas (apesar de todas serem em tijolos e telhas cerâmicos), inércia térmica, localização e ocupação. Como resultados, apresentaram-se as

temperaturas internas através das médias horárias mensais e médias diárias de três diferentes meses (janeiro, julho e outubro).

Ao se comparar as residências pela temperatura média horária mensal, demonstraram-se: as diferenças de temperatura hora a hora entre os ambientes e seu exterior, bem como a variação da temperatura diária de cada ambiente e em quais horas do dia as mesmas foram superiores às externas. Portanto, foi possível observar a distinção entre os comportamentos dos ambientes selecionados que se encontravam em orientações opostas e com ocupações distintas. Para as amostras de médias diárias de temperatura, observou-se que os números internos foram superiores aos externos, mas foi clara a variação interna indicada pelas entradas de frentes frias decorrentes do período (PAPST; LAMBERTS, 2000). No entanto, destacam-se dois itens ao se comparar essas conclusões: que as médias horárias mensais apresentam pouca variação durante o dia e que as médias diárias demonstram as mudanças de temperatura, quando ocorrem as variações climáticas (PAPST; LAMBERTS, 2000).

Os autores também concluem que os gráficos de médias horárias mensais são úteis para as análises comparativas entre ambientes nas diversas horas do dia. Por outro lado, os gráficos de temperaturas médias diárias demonstraram a influência da variação térmica externa na variação interna em períodos de tempo superiores a um dia.

Por fim, a análise que se mostrou bem sucedida para o objetivo do trabalho foi a de médias horárias, que permitiu a visualização do aumento da temperatura de um ambiente em função da orientação e de suas aberturas (PAPST; LAMBERTS, 2000). Em vista disso, os autores concluem que: breves acompanhamentos (dois a cinco dias) das temperaturas médias horárias podem ser mais representativos do que os cálculos baseados em dias típicos da região. Neste mesmo artigo, Papst e Lamberts (2000) também salientam que os gráficos de médias diárias de temperatura não são representativos para o desempenho térmico de ambientes durante o dia, indicando como opção o uso combinado de gráficos de temperaturas médias com os de amplitudes térmicas. Assim, cria-se uma possibilidade real de análise de como se comporta a temperatura interna frente às condições climáticas externas.

A relação da temperatura interna com a temperatura externa de um conjunto edificação, por sua vez, também foi a base para o início do desenvolvimento da

teoria das chamadas *equações preditivas*. Método este desenvolvido por Givoni (1999) com os estudos em Pala, Califórnia (EUA). Dados climáticos externos e temperaturas internas foram mensurados continuamente e coletados de hora em hora, isto com o objetivo de definir o mínimo de informações climáticas necessárias para a predição das temperaturas internas de uma edificação. Assim, duas edificações-testes foram acompanhadas, ambas de mesma área e mesma densidade de massa, mas cada qual com uma massa edificada diferente (GIVONI, 1999). As informações destas edificações foram monitoradas e analisadas para sete⁵ configurações distintas: janelas não sombreadas e fechadas; fechadas e sombreadas; sombreadas e fechadas durante o período de sol, mas abertas durante a noite e com ventiladores em alta velocidade (aproximadamente cinco trocas de ar por hora). Dos dados experimentais, um grupo de equações foi elaborado para estimar as temperaturas máximas e mínimas internas com base em valores das temperaturas máximas ou mínimas externas.

Dentre as observações proporcionadas pelo estudo, vê-se que a elevação numérica do parâmetro do estado de *constante climática* – onde a temperatura máxima interna estará acima das médias externas – expressará o que pode ser definido como uma *constante de ganho solar* (GIVONI, 1999). Segundo o autor, uma configuração específica de sombra das janelas e da absorvância permitida pela cor externa do envelope construtivo, definirá este fluxo entre o meio externo e o interno. Tal *constante de ganho solar* também será afetada pela massa do componente e pelo padrão de ventilação. Isto é de particular interesse, para se notar que mesmo uma *constante* permite predizer a temperatura máxima interna de certas edificações durante diferentes estações e que também que tal diferença de massa e ventilação gera amplas mudanças na quantia de radiação solar absorvida e na temperatura do ambiente. Já para o declínio de tal *constante*, espera-se mais resistência térmica e, assim, a elevação da densidade da edificação (GIVONI, 1999). No trabalho, nota-se que o mesmo parâmetro trouxe, com cores claras e altas taxas de ventilação noturna, diferentes valores nas fórmulas com a consideração da radiação solar, ou mesmo sem ela.

⁵ são citadas quatro configurações, porém, para uma segunda leva de dados as edificações foram pintadas de branco ($\alpha=0,3$) refazendo-se a coleta a exceção dos moldes de aberturas sem sombreamento.

Por fim, Givoni (1999) conclui que pelo fato destas fórmulas serem baseadas em parâmetros climáticos gerais e pelo fato do clima local dos testes ser muito variado durante a manhã (radiação solar, temperatura média e variação da temperatura), tais fórmulas se tornaram aplicáveis para uma ampla faixa de condições climáticas. Daí em diante, segundo o autor, o objetivo da pesquisa passou a ser a extensão deste modelo para que o mesmo pudesse incluir a capacidade e a resistência térmica em forma de funções das fórmulas preditivas. Por conseguinte, generalizar-se-ia o método também em termos do desenvolvimento arquitetônico da edificação (GIVONI, 1999).

No Brasil, informações obtidas seguindo esta mesma linha demonstraram, no caso de Descalvado (GIVONI; VECCHIA, 2001; VECCHIA *et al.*, 2001), estado de São Paulo, e de Curitiba (KRÜGER; GIVONI, 2004), estado do Paraná, que também é possível prever a temperatura interna mesmo em edificações habitadas. E, por mais que as informações climáticas sejam escassas (temperaturas externas máximas, médias e mínimas diárias), notou-se que a precisão das mesmas perdurou. Givoni e Vecchia (2001), por exemplo, também apontaram a possibilidade de aperfeiçoamento destas equações provendo-se de dados da condição de nebulosidade e, novamente, das propriedades térmicas do envelope construtivo.

Em 2004, Papst também apresentou este método de estimar-se a temperatura interna em residências, verificando se as mesmas atendiam ao desempenho previsto pela, até então, proposta de normatização do desempenho térmico da ABNT (2005). Para o desenvolvimento das fórmulas, foram usadas temperaturas medidas em oito ambientes de três habitações de Florianópolis (SC), isto, durante o período de abril de 1998 a março de 1999. O método proposto serviu tanto para estimar-se a temperatura interna horária e as temperaturas médias, máximas e mínimas diárias, como também para confirmar que dois meses (um de inverno e outro de verão) são suficientes para se coletar dados confiáveis às equações preditivas.

Papst (2004) explica algumas diferenças da averiguação empírica, pois as equações são *assinaturas térmicas* do ambiente, ou seja, elas representam individualmente cada espaço frente ao clima externo, suas características construtivas e ocupacionais. A autora destaca que o método é mais indicado a ambientes com pequena amplitude térmica e lembra que erros são inerentes a

qualquer método estimado, onde o intervalo de incertezas aceitáveis dependerá da finalidade e do objetivo de aplicação da estimativa.

Como conclusão, as equações preditivas das temperaturas internas horárias apresentadas no trabalho de Papst (2004) utilizam a média da temperatura externa de um período de horas superiores a um dia, o que é mais representativo, especialmente durante o período de frio. Já para o período quente, a ventilação do ambiente faz com que a temperatura interna seja influenciada pela temperatura externa mais próxima à hora da estimativa. Por conseguinte, as equações preditivas da temperatura interna, que são determinadas pela média da temperatura externa de um período de horas anteriores, terão sua quantidade de horas anteriores definidas em relação à característica climática externa, ou seja, um período quente ou frio.

2.5.2 – Análises por referências em graus-hora

Em Pereira *et al.* (1999) tem-se a apresentação de uma avaliação de habitações de baixo custo da região de Florianópolis (SC). Os casos foram estudados através de uma aquisição periódica, de dez em dez minutos, da temperatura de bulbo seco e da umidade relativa do ar. Esta coleta realizou-se em uma unidade térrea independente e em um apartamento localizado num bloco multifamiliar, onde nenhum dos casos correspondeu às necessidades do clima local (PEREIRA *et al.*, 1999). De forma a verificar a eficiência e compatibilidade destas moradias, monitoraram-nas durante o inverno e o verão de 1998. Destacou-se que os materiais construtivos e as construções foram indicados como similares em todos os exemplares, portanto, assegurou-se que as diferenças obtidas no estudo foram, principalmente, devido ao desenvolvimento arquitetônico (PEREIRA *et al.*, 1999).

Outras observações feitas às unidades relataram uma dificuldade em dissipar calor para o exterior, pois as temperaturas internas sempre estiveram acima das externas durante as horas noturnas de verão (PEREIRA *et al.*, 1999). Outro aspecto que teria contribuído foi o quesito segurança, já que as janelas mantiveram-se fechadas durante o período noturno.

Já quanto à intensidade de desconforto, medida durante todo o período de coleta (verão e inverno), em graus-hora com temperatura base de 27°C, encontraram-se as casas (300 até 450 graus-hora) com valores menores que os

apartamentos (470 até 700 graus-hora); porém, pouco elevadas em relação ao seu exterior (300 graus-hora).

Graus-hora é um conceito de análise climática que pode ser definido como o somatório das diferenças de temperatura, quando esta se encontra abaixo ou acima da temperatura base, muito utilizado para se estimar a energia requerida para refrigeração de um ambiente (SZOKOLAY, 2004).

Por sua vez, os apartamentos mostraram uma acentuada diferença na distribuição da temperatura interna nos dois períodos (verão e inverno), onde a maior diferença para um dado instante foi de uma disparidade de 4°C. Já a média da amplitude térmica permaneceu abaixo de 2°C, confirmando que a configuração do edifício de quatro pavimentos tem mais inércia térmica do que as casas térreas (PEREIRA *et al.*, 1999). Considerou-se ainda, que o calor internamente produzido pelo metabolismo dos usuários, pelos equipamentos e pela iluminação artificial se distribuiu em um pequeno volume (menos de 120m³), contribuindo ainda mais para o acúmulo do calor no interior do ambiente.

A dificuldade para conclusões mais precisas de uma análise de graus-horas conduziu Papst e Lamberts (2002) a testarem um complemento a este método. Foram tomados como referencial analítico três ambientes de uma mesma residência não térrea, de alvenaria comum (tijolos cerâmicos de seis furos assentados e rebocados por argamassa) e cobertura em telhas cerâmicas (complementadas por uma camada interna refletora em alumínio e um forro de madeira), conduziu-se durante nove meses (de abril a dezembro de 1998) um monitoramento de temperaturas internas e externas em Florianópolis (SC).

Sua proposta de metodologia consistiu em dois pontos peculiares: o fato de adotarem duas temperaturas bases distintas para o calor (25 e 27° C) e para o frio (17 e 19° C) e, paralelamente, o emprego do conceito de *grau médio*. Tal grau médio foi o valor médio de quantos graus a temperatura do ambiente excedeu a temperatura base a cada hora deste ocorrido. Segundo os autores, esta combinação serviu para confirmar que apenas o número de horas não demonstra quanto, em média, as temperaturas estariam acima (ou abaixo) do limite sugerido; algo que o grau médio permite, junto à avaliação de horas em desconforto e de graus-hora (PAPST; LAMBERTS, 2002).

Resumidamente, dentre os resultados dos ambientes, os autores puderam perceber através da técnica que durante o calor as temperaturas internas foram

mais influenciadas pelas externas do que no inverno; pois os ápices de frio foram atingidos durante os horários em que a edificação esteve fechada. Destacaram também que, o meio do qual as faces externas dos cômodos dispõe, bem como sua ocupação, podem influenciar em muito o seu comportamento térmico.

Visando uma análise térmica complementar, no trabalho já comentado (item 2.4) de Morello e Sattler (2004), também se calcularam os graus-hora tanto no exterior como no interior do protótipo. Os autores notaram que, por este método, as condições de desconforto diminuíram pela metade no interior da edificação. Conseqüentemente, as horas de conforto foram ampliadas de 9,96% para 24,14%, algo significativo mesmo com um grande valor de desconforto (MORELLO; SATTLER, 2004). Assim, os valores medidos internamente apontaram um número de horas de conforto quase três vezes maior que aquele constatado no exterior. No artigo, os autores também observam que o inverno de 2003 (ano do estudo) foi mais frio que a média de outros anos, e que a edificação se encontrava sem ocupantes e sem equipamentos, sugerindo ainda uma possível diminuição destas horas de desconforto.

2.5.3 – Análises por diagramas bioclimáticos

Cada vez mais, são realizadas pesquisas que se embasam na arquitetura bioclimática⁶ para melhorar a eficiência das edificações, seja com o objetivo de reduzir consumos energéticos (BRUNETTI *et al.*, 2003; MATHEWS; VAN WYK, 1996; BASTIDE *et al.*, 2006), ou no intuito de aumentar o uso racional dos recursos naturais, as ditas energias renováveis (LÔBO; BITTENCOURT, 2003; RUNSHENG TANG *et al.*, 2006; DO-KYOUNG KIM, 2006). Sua importância é tamanha, que hoje em dia o diagrama já foi adaptado também à realidade brasileira (RORIZ *et al.*, 1999), e faz parte da normatização de Desempenho Térmico de Edificações, a NBR 15220 (ABNT, 2005).

Já foram citados exemplos da aplicação metodológica desta prática que visa uma verificação adequada do clima de uma edificação, em trabalhos como os de Pereira *et al.* (1999), Morello e Sattler (2004) e, agora, de Batista e Lamberts (2006). Neste último trabalho, que tinha por objetivo avaliar o potencial de uso de estratégias bioclimáticas em Santana do Ipanema (AL), entre 29 de janeiro a 3 de março de

⁶ maiores detalhes sobre o conceito de arquitetura bioclimática, ler item 3.4.5 do capt. 3.

2005, monitoraram-se três edificações habitacionais distintas. Uma de características de um loteamento popular, outra em um bairro de classe média e a última denominada *casa em fita*. Apesar desta última tipologia se apresentar com as condições mais inadequadas, devido ao pequeno pé-direito, alta transmitância térmica da cobertura e uma possibilidade muito reduzida de ventilação; todas eram desprovidas de sombreamento nas aberturas, algo tido como fundamental a climas quentes (BATISTA; LAMBERTS, 2006).

Através de critérios da análise bioclimática com os limites estabelecidos por Givoni (1992), verificaram-se a aplicabilidade das principais estratégias bioclimáticas de combate ao calor, como ventilação, resfriamento evaporativo e uso da inércia térmica. Assim, os autores puderam constatar que as diferenças psicrométricas entre as temperaturas de bulbo seco e a de bulbo úmido indicaram que o resfriamento evaporativo favoreceria a obtenção de temperaturas confortáveis durante períodos superiores a cinco horas. O que comprovou que os resultados indicam o potencial das estratégias passivas compatíveis com o padrão reduzido de renda da maioria da população local, com a possibilidade de favorecer o desempenho térmico satisfatório das edificações, mesmo sob as rigorosas condições do clima do sertão alagoano (BATISTA; LAMBERTS, 2006).

Kolokotroni *et al.* (1998) estudaram a efetividade dos resultados da utilização do resfriamento de massa em módulos de escritórios típicos da década de 1950 (Inglaterra), também através da análise bioclimática. Desta forma, houve uma consideração mais abrangente voltada, principalmente, para o ganho de energia térmica externa ou interna (W/m^2). Inicialmente, houve uma verificação quanto às recomendações bioclimáticas de três cidades inglesas (Londres, Manchester e Plymouth), para as quais, mesmo sendo consideradas de climas moderados, foram indicadas a ventilação e o uso de massa térmica para resfriamento (junho a setembro de 1995, verão europeu). O estudo confirmou que o resfriamento de massa noturno foi efetivo ao longo do período da manhã. Esta afirmação dos autores embasou-se em simulações, nas quais ao se analisar a distinção entre as curvas geradas pelas diferentes intensidades da taxa de ventilação, pode-se verificar a eficácia do uso desta estratégia. Kolokotroni *et al.* (1998) também enfatizaram que a consideração de envelopes mais pesados melhorou o desempenho da técnica em até 4°C em relação aos testes de envelopes mais leves. Como conclusão, os autores afirmam que mesmo formas simples de análises são suficientes para a

visualização da efetividade da adoção da técnica utilizada, onde até a economia energética pode ser estimada.

No trabalho de Mendonça e Bragança (2007), os quais também se utilizaram do diagrama bioclimático para suas análises finais, houve um estudo do consórcio de materiais e suas potencialidades. Mas, neste caso, de diferentes composições de fechamentos verticais que variavam em seis tipos: paredes pesadas homogêneas ou compostas com isolamento interno, ou externo; paredes pesada de camadas duplas ou triplas; paredes de pesos variados com espaçamentos de ar ou com isolamento; e paredes leves de camadas simples ou múltiplas. Na prática, o estudo teve uma grande abrangência de focos – térmico, luminoso e acústico - mas, para esta revisão, apenas as questões térmicas serão comentadas.

Segundo os autores, a proposta de uso de diferentes composições de paredes teve por objetivo a diminuição de custo e otimização no uso de recursos em relação ao hábito construtivo local (Portugal). A estratégia sugerida foi testada em células construídas em conjunto para este fim, onde havia um compartimento mais pesado – destinado a ambientes de repouso – e outro mais leve – destinado a ambientes de atividade. O manejo dos recursos de aquecimento solar passivo baseou-se na composição de diferentes inércias higrotérmicas, criando-se assim, diferentes zonas no interior da edificação. Desta forma, houve como examinar as diferentes soluções de fechamentos e a tipologia arquitetônica sugerida frente ao hábito local.

Os autores concluíram que as áreas com fechamentos pesados tiveram a menor flutuação térmica, a qual foi ainda mais reduzida ao se isolar o contato dessas áreas com as demais de fechamentos mais complexos (fechamento de portas). No mais, discute-se que apesar da crescente evolução de materiais mais leves, sua durabilidade e estabilidade ainda têm o que evoluir (MENDONÇA; BRAGANÇA, 2007). Os autores enfatizam, então, o uso de elementos e materiais compostos, como os adotados em edificações ditas bioclimáticas, mesmo em regiões de clima mais ameno do que o local dos testes.

2.5.4 – Análises com o uso do Coeficiente de Determinação (R^2)

O trabalho apresentado por Papst e Lamberts (2001) relaciona a temperatura horária interna com a temperatura externa, com o objetivo de apresentar a precisão das equações de predição da temperatura interna de quatro ambientes residenciais

em uso e naturalmente ventilados, através do coeficiente de determinação. Com dados de um ano de monitoramento (abril de 1998 a março de 1999), criaram-se cinco parâmetros com os mesmos: período anual, dados com temperaturas externas superiores a 18°C, todos os dados separados em períodos do dia, períodos trimestrais, e separação em períodos do dia nos dados trimestrais. Como resultado verificou-se que as equações que apresentaram menor diferença média entre a temperatura estimada e a temperatura medida, foram as equações resultantes da análise de regressão com dados trimestrais separados em períodos do dia, apesar destas equações terem apresentado coeficientes mais fracos do que os das equações anuais (PAPST; LAMBERTS, 2001). Para os autores, isto demonstra que equações feitas a partir de um menor número de dados, mas com dados mais representativos do período (que caracterizam o uso diferenciado devido às distinções climáticas), possibilitam uma melhor predição da temperatura interna a partir da temperatura externa. No mais, foi observado que ambientes com menor inércia térmica, por terem uma maior relação com o clima externo, possibilitam um tempo de medição mais curto para avaliação do desempenho térmico, do que ambientes com maior inércia térmica.

Nos trabalhos de Givoni e Vecchia (2001), Krüger e Givoni (2004) e Fernandes e Krüger (2004) usou-se o mesmo procedimento quanto à utilização do coeficiente de determinação. Porém, segundo Papst (2004), este método estatístico adotado não é o ideal para se verificar a qualidade dos valores preditos, pois ele retrata a proporção da variância da temperatura estimada, que pode ser atribuída à variância da temperatura medida e não a acuidade com a qual a equação proposta estima a temperatura interna. Neste mesmo trabalho, a autora adota este método estatístico, o coeficiente de determinação, para avaliar qual temperatura externa, de certa quantidade de horas anteriores, teria a melhor correlação com a temperatura interna do cômodo analisado. O estudo encontrou correlações significativas de até 72 horas anteriores, sendo que o parâmetro de influência térmica de cada cômodo foi o clima de característica quente ou fria. Desta forma, concluiu-se que o frio acarretou em espaços mais fechados, logo, em elevadas horas anteriores, e o calor, em espaços mais ventilados e com energia radiante mais elevada, diminuindo-se então, a quantidade de horas anteriores (PAPST, 2004).

Ogoli (2003) também analisou diferentes parâmetros de influência, como: a temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, a temperatura radiante

média e umidade relativa do ar; estes dados foram coletados de dez em dez minutos para dois protótipos (fechamentos verticais em pedra e madeira), cada qual testado com quatro configurações de cobertura (sem forro, com forro paralelo ao telhado, com dois terços do vão do ático e com forro paralelo ao piso). Os dados foram colhidos no período quente (de janeiro a março de 1997) em modelos de janelas sempre fechadas, mas com meia troca de ar por hora; ambos localizados em Nairóbi (Quênia). Seu objetivo foi avaliar o efeito da massa térmica na redução das temperaturas internas máximas diurnas. No entanto, em suas análises de regressão, o parâmetro de melhor correlação foi a temperatura radiante média. Mas, como resultado, observou-se que a edificação teste de parede de pedra e sem forro, sempre se encontrou dentro da zona de conforto, apresentando um amortecimento de 7°C, e de 2°C a 3°C para a de madeira. Já a presença do forro, no caso da casa de madeira, trouxe um atraso térmico de cinco horas e, com isso, uma estabilização da temperatura interna também dentro da zona de conforto. Como conclusão, o autor comprovou que materiais de elevada massa térmica têm um elevado atraso térmico e proporcionam uma moderada variação da temperatura interna.

Ghisi e Massignani (2007), também utilizaram o método do coeficiente de determinação, aplicando-o a fatores de influência térmica, para comparar o desempenho de oito ambientes de uma edificação residencial multifamiliar de Florianópolis (SC). Foram obtidas as absorptâncias das cores das superfícies externas, as propriedades térmicas (atraso térmico, transmitância térmica e capacidade térmica) das paredes e janelas, e o mascaramento das aberturas. Tais parâmetros foram necessários para se correlacionar a diferença das temperaturas internas com as temperaturas externas, frente às propriedades térmicas citadas e alguns produtos das mesmas (dados coletados de dez em dez minutos). Os autores concluíram que o produto da transmitância térmica com a área de fachada foi o maior influente da temperatura interna máxima, onde a redução destes parâmetros proporcionaria um melhor desempenho térmico. Já a capacidade térmica e o atraso térmico apresentaram a melhor correlação frente à temperatura interna mínima, onde o seu aumento proporcionaria um melhor desempenho durante os momentos mais frios.

2.6 – Considerações finais

Esta revisão bibliográfica introduz a importância das análises de desempenho térmico de edificações, alguns de seus métodos mais conhecidos, bem como a relevância destes. Segue-se com um sucinto histórico do crescimento da preocupação deste tipo de análise, desde Vitruvius até os dias de hoje, onde o desenvolvimento de normatizações se tornou necessário.

Trabalhos pioneiros como os decorrentes no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo), já destacavam a importância da identificação de exigências humanas, das condições típicas do clima local, das características das edificações, suas ocupações e comportamentos térmicos; toda esta investigação realizada com o objetivo de se diagnosticar o desempenho térmico. Com o tempo, trabalhos mais práticos e até mais realistas das condições brasileiras, como os de Barbosa (1997) e Sakamoto *et al.* (2001), com o auxílio de simulações térmicas ou até formas expeditas, elucidaram alguns dos parâmetros de influência térmica mais importantes, como: a transmitância térmica, a absorvância, as condições de sombreamento de aberturas e a proporção de ventilação em relação à área do piso.

Dentre as referências de monitoramentos de habitações citadas, por exemplo, como a de Becker (1993), notou-se a importância da utilização de equipamentos de precisões e condições adequadas à coleta dos dados (aferição, posicionamento e devidas proteções). Também se observou que a proximidade para com a prática proporcionou não apenas uma visão *in situ* do ocorrido, como também uma assimilação do comportamento interno de uma edificação. O desenvolvimento de edificações destinadas aos estudos e verificações de práticas adequadas, como os realizados por Morello e Sattler, demonstraram, nitidamente, a necessidade de mais respostas à conclusão do desempenho térmico de uma edificação.

Desta forma, houve uma grande evolução e aprimoramento de diferentes formas de análises térmicas destinadas ao mesmo objetivo, ou seja, a avaliação do desempenho térmico de edificações, que foi capaz de trazer conseqüências ainda maiores do que os próprios resultados. Como exemplo, pode-se citar as equações preditivas (GIVONI, 1999), a procura de estratégias de aclimatação mais condizentes (BATISTA; LAMBERTS, 2006), ou mesmo a elaboração de componentes construtivos de materiais consorciados (MENDONÇA; BRAGANÇA,

2007). Nota-se também que algumas metodologias mostraram-se mais completas ao incorporarem resultados de outras metodologias às suas conclusões, bem como Papst e Lamberts (2000 e 2001), Pereira *et al.* (1999) e Ogoli (2003).

3.1 – Introdução

A metodologia de pesquisa aqui exposta foi fundamentada na revisão bibliográfica. Desta forma, iniciou-se com a caracterização dos casos estudados e do clima onde os mesmos se encontram, para assim se iniciar algumas formas de avaliação do desempenho térmico. A necessidade do uso de equipamentos e ferramentas como auxílio às buscas de interesse, mostraram-se de suma importância, principalmente, quanto ao seu manuseio e implementação.

Para o aprofundamento das compreensões aqui visadas, utilizou-se de métodos normativos de avaliação do desempenho térmico de edificações e algumas análises de respostas quanto às proporções de conforto e desconforto. Os cruzamentos dos dados encontrados, mostraram-se pertinentes à avaliação de coerência destas respostas. Portanto, diferentes métodos foram especificados e confrontados no intuito de trazer uma maior elucidação dos diagnósticos encontrados.

3.2 – Seleção das residências para uma análise comparativa

As diretrizes para se selecionar as residências que fossem mais pertinentes a uma análise comparativa de desempenho térmico, dentro dos objetivos aqui esperados, resumiram-se a quatro pontos: serem exemplares construtivos comuns à zona rural do município de Imbituba (SC); estarem todos sob o mesmo entorno, para que assim, os casos sofram a mesma influência de intempéries; serem acessíveis, ou seja, edificações que possibilitem uma intervenção à investigação e; que as edificações sejam de diferentes técnicas e envelopes construtivos. Desta forma, houve uma extensa procura por estes exemplares pertinentes, onde por fim se selecionou seis residências térreas unifamiliares.

3.2.1 – Localização e entorno imediato das residências

Para uma melhor comparação entre os desempenhos térmicos destes seis exemplares, visaram-se casas próximas umas das outras (Figura 1), onde todas se encontraram na região da Ibiraquera (Imbituba, SC). Assim, haveria uma maior segurança das residências estarem sob as mesmas condições de temperatura externa, umidade relativa do ar, intensidade da radiação solar e ventilação.

O entorno imediato de cada caso também foi levado em conta, pois as influências externas de sombreamento também deveriam ser as mesmas. Neste mesmo sentido de equivalência de suas condições, procuraram-se edificações de volumes, arranjos e formas correspondentes, tentando-se prover certa equanimidade de alguns parâmetros de influência da própria edificação. Assim, ao se tentar fixar as variáveis climáticas e funcionais destas edificações, espera-se que qualquer outra reação se vincule às variáveis arquitetônicas, o que possibilitaria uma análise comparativa mais pontual de cada fator de influência.

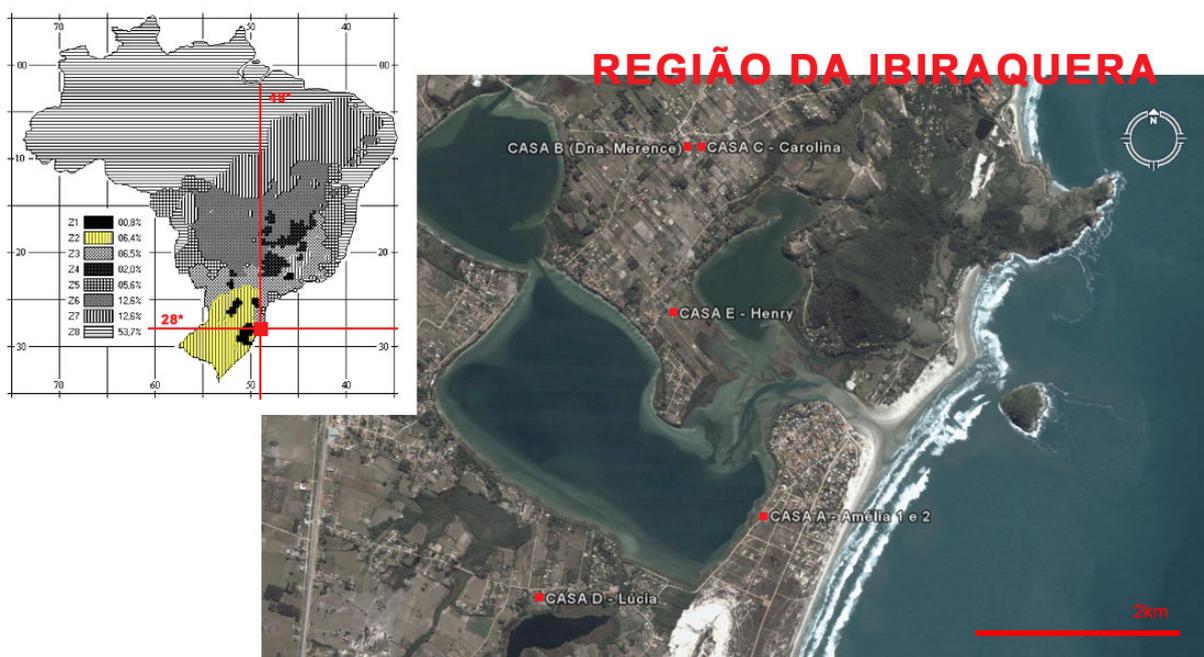


Figura 1 – Mapa do zoneamento bioclimático brasileiro e imagem de satélite com a localização dos casos selecionados (fonte: ABNT, 2005; GOOGLE EARTH, 2007).

3.2.2 – O processo de seleção das habitações de interesse social e de diferentes envelopes construtivos

A preocupação em relação às edificações serem de interesse social, diferentes técnicas construtivas e poderem ter o seu desempenho térmico comparável, obrigaram o estudo a ter por definição prática, casas de técnicas populares e naturalmente ventiladas.

Para isto, localizaram-se as técnicas construtivas mais comuns da região e casas de acabamentos condizentes, ou seja, que não estivessem fora dos padrões de um abrigo de caráter seguro. Dentre as opções encontradas, optou-se por fechamentos verticais de tijolos maciços aparente, alvenaria comum de tijolos cerâmicos assentados, emboçados e rebocados com argamassa, e também só madeira. Para esta última opção, destaca-se que o banheiro não acompanha o mesmo tipo de fechamento, pois este perfil de edificação sempre detém um banheiro em alvenaria para facilitar o acabamento do sistema hidráulico. Quanto à cobertura, todas se igualaram em composição, pois tinham telhas cerâmicas apoiadas em uma estrutura de madeira e a presença, em seu interior, de um forro também em madeira. Já as janelas, nem sempre foram iguais, apesar de todas serem de caixilhos em madeira, onde nem sempre houve a presença de dispositivos de sombra.

Frente a estas referências, visaram-se dois exemplares de cada tipo, no entanto, a particularidade de cada proprietário, em alguns casos, impossibilitou a continuidade da coleta de dados, ou até, a correta aplicação de armazenamento das informações. Por fim, as seis edificações monitoradas se resumiram a três exemplares em tijolo maciço aparente, dois exemplares de alvenaria de tijolos cerâmicos assentados, emboçados e rebocados com argamassa e um exemplar de madeira⁷. Destes, as opções de alvenaria foram monitoradas apenas em uma das estações cada, sendo que uma delas, a utilizada no inverno, teve seus registros compreendidos apenas no final da estação.

⁷ uma segunda opção de madeira foi monitorada no período de verão, no entanto, seus registros colocaram-se em dúvida quanto ao verdadeiro posicionamento em que os coletores foram dispostos inicialmente; o que acarretou no descarte destes dados.

3.3 – Parâmetros relevantes às análises de desempenho térmico

Vêm-se como as principais referências de uma análise de desempenho térmico as características do envelope construtivo, a variação térmica no interior e exterior da edificação e a função exercida dentro da mesma (perfil da ocupação). De forma a abranger os parâmetros mínimos a estas referências, utilizaram-se de equipamentos coletores de dados, levantamentos *in situ* das condições da edificação, ferramentas computacionais e entrevistas informais com os moradores ou proprietários das edificações.

3.3.1 – Dados referentes às variações térmicas das residências

Os coletores de dados do tipo HOBO RH-TEMP da Onset[®] (Figura 2a) serviram para a coleta simultânea da temperatura de bulbo seco e da umidade relativa do ar, tanto interior quanto exterior, de todos os cômodos dos seis casos estudados durante o verão e o inverno. Tais coletores foram selecionados por terem a capacidade de armazenar 7944 leituras, com intervalos de meio segundo até nove horas, isso na faixa de operação entre -20°C e +70°C de temperatura e de 0 a 95% de umidade relativa. Ambos os tipos registro a uma precisão de, aproximadamente, 0,7°C e de 0,5% de umidade, ambos a uma temperatura de 21°C (ONSET, 1999).

Para sua utilização, após a aferição dos mesmos (Apêndice A), foram determinados os seus devidos posicionamentos e proteções, sempre visando uma garantia da melhor forma de se coletar a informação de interesse. Portanto, os equipamentos internos foram posicionados conforme as indicações da norma para Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos - Desempenho (ABNT, 2008a) e o protetor do coletor externo resguardado conforme às indicações de Barbosa *et al.* (2007). Desta forma, os equipamentos internos foram distribuídos no centro geométrico dos ambientes e sempre a uma altura de 1,2m do piso. E o equipamento externo foi posicionado na varanda da Edificação B de forma a ficar protegido da insolação direta. Complementando-o, utilizou-se de uma barreira de radiação direta bem ventilada, esta desenvolvida com o fundo de uma garrafa plástica do tipo *pet* e revestida de papel alumínio internamente (Figura 2b).



(a)



(b)

Figura 2 – Coletor de dados modelo HOBO RH-TEMP da Onset® (a) e o mesmo com sua proteção para o monitoramento externo das edificações (b).

A programação dos registros destes coletores de dados foi feita com o auxílio do programa computacional Boxcar Pro 4 – Onset, onde seus intervalos seguiram da ordem de 15 minutos, algo que para a autonomia do equipamento equivale a 41 dias de monitoramento.

3.3.2 – Dados referentes à ocupação e aos elementos construtivos

Através de entrevistas informais com os proprietários e moradores das residências, verificou-se qual o hábito de ocupação das habitações e quais as composições efetivas dos componentes construtivos. Assim, identificou-se se a habitação era ou não ocupada e em qual horário que a mesma ocorria. Da mesma forma, certificou-se qual o tipo de tijolo cerâmico fora usado nos fechamentos verticais, bem como qual o tipo de madeira fora utilizada em cada um dos elementos construtivos. Como atividade prática *in situ*, localizou-se o norte geográfico e verificou-se a absorvância dos componentes construtivos (paredes, coberturas e sistemas de aberturas). Finalmente, com o auxílio de todo este levantamento, calculou-se as propriedades térmicas dos componentes construtivos das edificações.

3.3.3 – Norte geográfico em relação às residências

Devido à ausência dos dados da declinação magnética a partir do ano de 2004, frente à Sociedade Internacional (ON, 2007), para a identificação do norte geográfico, utilizou-se um método não convencional como o de cálculo. Para isto, foram necessários uma corda de três metros, uma estaca de meio metro e um transferidor. Então, ao meio dia do horário local (GMT -3:00), durante o período de inverno, se posicionou a estaca a aproximadamente dois metros da edificação, criando-se uma espécie de alinhamento entre sol, estaca e a fachada de maior incidência solar. Com o barbante preso a ponta da estaca, prolongou-se este horizontalmente em direção à parede citada de forma ao barbante ficar verticalmente alinhado com sua própria sombra (Figura 3). O ângulo formado entre o barbante alinhado e a fachada citada, foi observado com a ajuda do transferidor, que se posicionou com sua lateral-base encostadas à edificação. Desta forma, obteve-se o ângulo proporcionado pela sombra do meio dia entre barbante alinhado e a face externa da parede em questão, resultado este, que indicou a inclinação do caso frente ao norte verdadeiro.



Figura 3 – Ilustração do método utilizado para identificar o norte geográfico.

3.3.4 – Absortância dos componentes construtivos

Para obtenção da absortância (α) dos componentes construtivos de interesse, seguiu-se o *método do papel branco* citado em Ghisi e Massignani (2007), que com o auxílio de um luxímetro e um papel branco (Figura 4) proveu a iluminância refletida (E_c) por paredes, portas, venezianas e coberturas, todas expostas no Apêndice B.

Assim, com as Equações 1 e 2, definiram-se as refletâncias do espectro visível (ρ) dos elementos construtivos, para posteriormente se calcular as informações de relevância das propriedades térmicas dos componentes de interesse.



Figura 4 – Luxímetro utilizado para verificar a iluminância refletida pelas superfícies externas das edificações.

$$\alpha = 100 - \rho \quad [1]$$

onde:

α - é a absorptância da superfície à radiação solar, expressa em %;

ρ - é a refletância da superfície à radiação solar, expressa em %.

$$\rho = \frac{E_c \cdot 90}{E_p} \quad [2]$$

onde:

ρ - é a refletância da superfície à radiação solar, expressa em %;

E_c - é a iluminância refletida pela superfície, expressa em lux;

E_p - é a iluminância refletida pela folha de papel, expressa em lux;

90 - é a refletância correspondente ao valor adotado para o papel branco (%).

3.3.5 – Cálculos das propriedades térmicas dos componentes construtivos

As propriedades térmicas dos componentes construtivos foram calculadas de acordo com os procedimentos encontrados na segunda parte da NBR 15220 (ABNT, 2005b). Esta norma especifica como se obter o fator de ganho solar de elementos opacos (FS_i), a resistência térmica (R), a transmitância térmica (U), a capacidade térmica (C_T) e o atraso térmico (φ). Além da absorptância já citada, outros dados complementares também foram necessários (densidade de massa aparentes, condutividade térmica e calor específico), no entanto, estes foram encontrados em tabelas anexas à própria norma.

3.4 – Tratamentos dos dados referentes às avaliações de desempenho térmico

3.4.1 – Classificação das temperaturas e umidades relativas

Para a classificação dos dados externos e internos de temperatura e umidade relativa do ar, calcularam-se as médias horárias, para em seguida, localizar-se as máximas, médias e mínimas diárias destes mesmos dados. Assim, possibilita-se uma visão do comportamento térmico do clima local e dos cômodos das habitações durante os períodos de monitoramento.

Além disso, para uma análise condizente do desempenho térmico dos casos estudados, houve a necessidade de se identificar um Dia Típico, tanto de verão como de inverno. Como para a definição de tal Dia Típico se utiliza de dados coletados durante um longo período, no caso dez anos, não foi possível a adoção do método mais indicado devido ao tempo disponível à pesquisa. Portanto, seguindo a linha de outras metodologias já existentes (GOULART, 1993), fez-se a média de temperatura diária de cada um dos dias de cada período (verão e inverno), e assim se calculou qual a média encontrada por período através destas médias diárias. O dia que obteve a média diária mais próxima a esta média do período, foi considerado a equivalência ao Dia Típico de cada estação, aqui denominado de Dia de Referência.

Maiores detalhes podem ser encontrados no Apêndice C.

3.4.2 – Verificação da adequação das residências ao clima local

A norma de Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2005c) vincula ao diagnóstico de uma avaliação de desempenho térmico o preenchimento de alguns requisitos, como a adoção de limites adequados de propriedades termo-físicas dos elementos construtivos. Os valores destinados a tais propriedades variam conforme o clima de cada caso, onde a divisão dos diferentes climas tem origem na organização do território nacional em oito zonas bioclimáticas distintas (Figura 1). Frente às exigências de cada região estabelecida, há: a indicação de proporção de área destinada às aberturas; um padrão de sombreamento também destas aberturas; a definição das características das vedações externas (paredes e coberturas) e; a indicação de estratégias de condicionamento térmico passivo. O que para Zona Bioclimática 2 (Z2), onde se encontra a cidade de Imbituba (SC), pode ser vista na Tabela 1.

Tabela 1 – Recomendações das propriedades dos componentes construtivos para Zona Bioclimática 2, segundo a norma de Desempenho Térmico de Edificações

(fonte: ABNT, 2005c).

COMPONENTE		CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES		
Paredes	leve	$U \leq 3,0W/(m^2K)$	$\varphi \leq 4,3h$	$F_{s_0} \leq 5,0\%$
Coberturas	leve isolada	$U \leq 2,0W/(m^2K)$	$\varphi \leq 3,3h$	$F_{s_0} \leq 6,5\%$
Aberturas	médias	15% < A < 25% da área de piso		
		permitir sol durante o inverno		
Estratégias	verão	ventilação cruzada		
	inverno	aquecimento solar da edificação		
		vedações internas pesadas (inércia térmica)		

3.4.3 – Classificação do desempenho térmico dos cômodos analisados

Para a classificação do desempenho térmico de todos os cômodos analisados nesta pesquisa, utilizou-se da norma de Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho (ABNT, 2008). De acordo com a referência, há duas formas de se obter tal classificação: por simulação, ou por medição; onde a primeira é destinada a projetos em desenvolvimento e a segunda em edificações já executadas.

Neste caso, que adotou a forma de classificação por medição, inicia-se por uma verificação de limites adotados nas propriedades térmicas referenciadas na norma citada para o zoneamento bioclimático dos casos aqui estudados (Tabela 2). Vale lembrar que esta norma cita a necessidade de se aderir também às recomendações de propriedades térmicas da NBR 15220-3 (ABNT, 2005c), onde atender a estes limites já vale como preenchimento obrigatório para uma classificação mínima de desempenho térmico (Tabela 1).

A NBR 15575-1 (ABNT, 2008a) também especifica um valor mínimo de proporção de aberturas destinadas às trocas de ar com o exterior e também esclarece que sua aplicação destina-se a ambientes de longa permanência, como dormitórios, salas e cozinhas.

Por fim, chegam-se às exigências classificatórias de desempenho térmico que seguem três diferentes níveis: MÍNIMO, INTERMEDIÁRIO OU SUPERIOR; onde ao não se atender tais exigências, considera-se o desempenho térmico INSATISFATÓRIO. Na Tabela 3, vê-se o enquadramento das exigências de cada um dos níveis adotados para os ambientes internos que preencham os pré-requisitos de cada período, seja de verão, ou de inverno.

Tabela 2 – Recomendações das propriedades dos componentes construtivos para Zona Bioclimática 2, segundo a norma de Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho (fonte: ABNT, 2008).

COMPONENTE		CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES (Z2)	
Paredes	$U \leq 2,5W/(m^2K)$	$C_T \leq 130kJ/(m^2K)$	+ NBR 15220
Coberturas	$U \leq 2,3W/(m^2K)$	$C_T \leq 150kJ/(m^2K)$	
Aberturas	A > 8% da área de piso		
Requisitos	VERÃO		
	apresentar condições térmicas internas melhores ou iguais às do ambiente externo à sombra, para o Dia Típico de verão		
	INVERNO		
apresentar condições térmicas no internas melhores que as externas, para o Dia Típico de inverno			

Tabela 3 – Classificação do desempenho térmico de edificações, segundo a norma de Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho (fonte: ABNT, 2008a).

CLASSIFICAÇÃO		LIMITES
VERÃO	MÍNIMA	$T_{INT} \leq T_{EXT.MÁX}$
	INTERMEDIÁRIA	$T_{INT} \leq T_{EXT.MÁX} - 2^{\circ}C$
	SUPERIOR	$T_{INT} \leq T_{EXT.MÁX} - 4^{\circ}C$
INVERNO	MÍNIMA	$T_{INT} \geq T_{EXT.MÁX} + 3^{\circ}C$
	INTERMEDIÁRIA	$T_{INT} \geq T_{EXT.MÁX} + 5^{\circ}C$
	SUPERIOR	$T_{INT} \geq T_{EXT.MÁX} + 7^{\circ}C$

Conforme observado nas requisições desta norma, nota-se que há uma referência de amortecimento da temperatura externa em relação a interna para o mesmo instante, onde conforme um maior amortecimento melhor a sua classificação. Por este motivo, de forma complementar, expõe-se a porcentagem do amortecimento da temperatura interna esperada para cada um dos três diferentes limites de classificação à uma mesma temperatura externa. Desta forma, é possível notar quão distante cada amortecimento encontrado em cada um dos cômodos está em relação a cada um dos níveis de classificação.

3.4.4 – Avaliação de desempenho térmico por graus-hora e grau médio

Visando uma informação complementar à classificação obtida pela NBR 15575-1 (ABNT, 2008a), avaliaram-se os dados do comportamento térmico dos cômodos analisados através do método de graus-hora junto ao conceito de grau médio (PAPST; LAMBERTS, 2002).

A metodologia aplicada pelo conceito de graus-hora se define pela somatória de graus que ultrapassem uma temperatura base estipulada, que neste caso se usou as sugeridas por Givoni (1992). Desta forma, em uma análise de desconforto para o calor, serão os valores que excedem a temperatura base de calor ($T_b = 29^{\circ}C$); e em uma análise de desconforto para o frio, os valores que estejam abaixo da temperatura base de frio ($T_b = 18^{\circ}C$). Em consequência desta análise, não só se descobre esta somatória, como também, pode-se definir a quantidade de horas em

que estas temperaturas estiveram acima ou abaixo do valor base estipulado. Através do total destas horas de desconforto, estabelece-se a quantidade de graus-hora que o ambiente esteve fora da faixa considerada de conforto.

No mais, definida a quantidade de horas em desconforto e com o total de horas monitoradas, pode-se estabelecer a porcentagem de horas confortáveis ou desconfortáveis. Com esta referência de horas em desconforto, também se pode calcular o grau médio de cada ambiente, onde para isto, dividi-se o somatório de graus-horas pela quantidade de horas em desconforto. O valor obtido, denominado de grau médio, estima a média em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) em que cada hora variou em média para o ambiente em questão.

3.4.5 – Aplicação do programa computacional Analysis BIO

Devido aos métodos anteriores não considerarem diretamente a umidade relativa do ar em suas avaliações, adota-se a análise bioclimática para mais um tipo de verificação dos dados colhidos. Assim, com a aplicação desta outra forma de avaliação, há a possibilidade de se comparar novamente os resultados anteriores das classificações de desempenho térmico. Tal procedimento bioclimático, além de contar com a umidade relativa do ar para seus diagnósticos, também indica estratégias de condicionamento térmico às suas avaliações. Com este processo, distingue-se o desempenho térmico de cada ambiente frente à zona tida como confortável, e também, percebe-se quão distantes de tal zona o grupo de dados avaliado esteve. Em outras palavras, pode-se dizer que há como se distinguir os momentos confortáveis e desconfortáveis, e ainda, notar qual requisição é indicada para uma tentativa de se aproximar a situação de desconforto indesejada a um estado de conforto.

Para isto, utiliza-se das médias horárias de temperatura e umidade relativa do ar para através do programa computacional Analysis BIO (LABEEE, 2004) se plotar a associação destes dois dados em um diagrama bioclimático. Observa-se que para esta metodologia a zona de conforto também se equivale aos parâmetros adotados por Givoni (1992) para países quentes em desenvolvimento, que além de lidar com o intervalo de temperatura de 18°C a 29°C já citados, também especifica a mesma condição de conforto ao intervalo de 20% a 80% de umidade relativa do ar.

Assim como nas demais avaliações, este processo também será aplicado a todos os ambientes analisados.

3.5 – Comparações entre as análises de desempenho térmico

A partir do tratamento de dados, foram comparadas as respostas encontradas em cada uma das avaliações realizadas na pesquisa. Portanto, as recomendações da NBR 15220-3 (ABNT, 2005c) foram comentadas em relação às da NBR 15575 (ABNT, 2008) e às respostas da análise bioclimática. Como na norma há recomendações de propriedades térmicas e de ventilação, separaram-se cada uma destas categorias. Portanto, as recomendações de propriedades termo-físicas serão comparadas entre si e com as porcentagens de desconforto do inverno. Já as indicações de proporções de área de ventilação serão também comparadas entre si e com as porcentagens de desconforto da análise bioclimática de verão.

Depois, a classificação de desempenho térmico resultante do método da NBR 15575-1 (2008a) será comparada com as porcentagens de conforto e desconforto tanto da análise de graus-hora como das respostas geradas pelo Analysis BIO (LABEEE, 2004).

Com este confronto de respostas, espera-se ser possível a visualização não somente da coerência de resposta entre as metodologias, como também, das potencialidades e dificuldades de cada uma delas. Devido à aplicação dos métodos de avaliação serem feitas por cômodos, algumas características dos mesmos, como orientação, volume ou área de fachada externa, poderão servir de auxílio ao esclarecimento de demais dúvidas destas comparações.

4.1 – Introdução

A seleção dos casos estudados focou a priorização de habitações com sistemas construtivos populares e de baixo custo, comuns a população da zona rural do município de Imbituba (SC). Já a coleta dos dados de interesse manteve seus principais focos: o clima – através das temperaturas e umidades relativas – e a edificação – através de suas propriedades, dimensões e orientações.

Para isto, o acompanhamento do verão ocorreu no período de 1 de fevereiro a 21 de abril de 2007, e o de inverno, no período de 7 de junho a 12 de setembro de 2007. Com estas bases de dados, identificaram-se: as variações climáticas locais; a adequação ao clima dos envelopes construtivos; as classificações do desempenho térmico e; a porcentagem de horas de conforto e desconforto por meio das análises de graus-hora e bioclimática dos cômodos dos casos selecionados.

Com o auxílio destas informações citadas, encontraram-se referências do comportamento térmico dos exemplares construtivos frente ao clima do período de verão e inverno dos quais foram expostos. Já o cruzamento destes dados ampliou a visão quanto às análises e expôs algumas potencialidades e dificuldades das edificações aqui expostas.

4.2 – Estudo de casos da zona rural do município de Imbituba (SC)

Dentre as habitações selecionadas, identificaram-se as diferenças de sistemas construtivos, as disposições e as quantificações de seus ambientes, bem como os usos e orientações de seus cômodos. A seguir, expõe-se o estudo de casos diferenciando-o pela sua principal característica de composição de fechamentos verticais, para por fim, haver um comparativo dentre os perfis existentes. Utilizou-se este critério de diferenciação entre estas edificações, devido à mesma ser a mais marcante; pois por outro lado, também há algumas situações em comum entre elas, como por exemplo: as coberturas em telhas cerâmicas apoiadas

em estruturas de madeira e a existência de forro de madeira do tipo pinus em todos os seus interiores.

4.2.1 – Apresentação e identificação do estudo de casos

4.2.1.1 – Estudo de casos compostos por fechamentos verticais de tijolo maciço aparente

Três edificações caracterizadas por sua composição de paredes em tijolos maciços aparentes foram monitoradas nesta pesquisa. As duas primeiras foram denominadas de Edificação A1 e A2 (Figura 5) e a segunda de Edificação B (Figura 6).

No primeiro conjunto edificado, nota-se que há duas habitações (A1 e A2), que por mais que durante o monitoramento nenhuma delas tenha sido habitada, cada qual apresenta a sua individualidade de uso (45,2m² e 34,7m²). Já as suas diferenças ocorrem na quantidade e orientação de seus dormitórios, como também na disposição de seus banheiros. Nestas edificações vale destacar o posicionamento de apenas um dormitório com intensa insolação direta (A2) e um banheiro de maior quantidade de vedações internas, separando assim suas funções de lavabo, vaso sanitário e ducha (A1). Suas aberturas também valem destaque, pois todas as janelas, em sua forma aberta, permitiam cinquenta por cento de vão livre (duas lâminas de fluxo horizontal) e no caso dos banheiros um terço do vão livre (sistema basculante). Este primeiro modelo de janelas conta com um tipo de dispositivo de sombra, neste caso a veneziana. Alguns ambientes como a sala da Edificação A2 e o dormitório sul 2 da Edificação A1 contaram com portas-janelas, logo, vãos mais amplos que os demais.

A Edificação B (51,1m²) diferenciou-se por três fatores: primeiro devido a ser a única habitada constantemente (dia e noite), no caso por duas pessoas - uma senhora e uma moça -; segundo por ter sido a única com um coletor de dados externo (que servira de referência às demais); e terceiro por nenhuma de suas janelas contarem com algum dispositivo de sombra a não ser as próprias saliências da edificação. Esta primeira condição voltou à atenção para determinados cômodos em determinados horários, como a sala e a cozinha nos horários das refeições e os dormitórios em períodos noturnos. Frente as suas aberturas, pode-se comentar que também eram de duas lâminas de movimentos horizontais que permitam cinquenta

por cento de vão. Só mesmo o banheiro é que novamente conta com uma janela basculante de trinta por cento de vão.



Figura 5 – Fotos, planta baixa e a posição dos coletores de dados dos ambientes monitorados, sendo cinco da Edificação A1 (esq.) e quatro da Edificação A2 (dir.).



Figura 6 – Fotos, planta baixa e a posição dos coletores de dados dos cinco ambientes monitorados da Edificação B, mais o coletor de dados das variações climáticas externas.

4.2.1.2 – Estudo de casos compostos por fechamentos verticais de alvenaria de tijolos cerâmicos de seis furos

Outras duas edificações foram utilizadas, a Edificação C (Figura 7) e a Edificação D (Figura 8), mas estas são predominantemente feitas em alvenaria comum; no caso, com tijolos de seis furos assentados na menor dimensão e assentados, emboçados e rebocados com argamassa. A rotina de uso de ambas também coincidiu, porque as duas foram habitadas apenas por uma moça e somente durante o período noturno, retornando a atenção aos dormitórios em momentos específicos (período noturno).

Já suas aberturas se diferiram na questão da existência de venezianas, pois a Edificação C contava com elas e a Edificação D não, e na existência de vidros, que não existiam nas janelas da Edificação C. Desta forma, esta última edificação contava com vãos de cem por cento de suas aberturas e a Edificação D apenas com cinquenta por cento. As janelas dos banheiros, novamente basculantes, só contam com trinta por cento de vão e de novo nenhum dispositivo de sombra.

As dimensões da Edificação C são as mais compactas de todos os casos (32,2m²), mas também se observa que todos os seus ambientes têm uma boa

quantidade de horas de sol em algum período do dia. No caso da Edificação D (40,7m²), observaram-se proporções dentro das médias dos demais casos e sua disposição também vale comentário, pois novamente todos os ambientes da casa dispõem de pelo menos uma face com uma boa quantidade de horas de sol ao longo do dia.



VISTA NOROESTE



VISTA SUDESTE

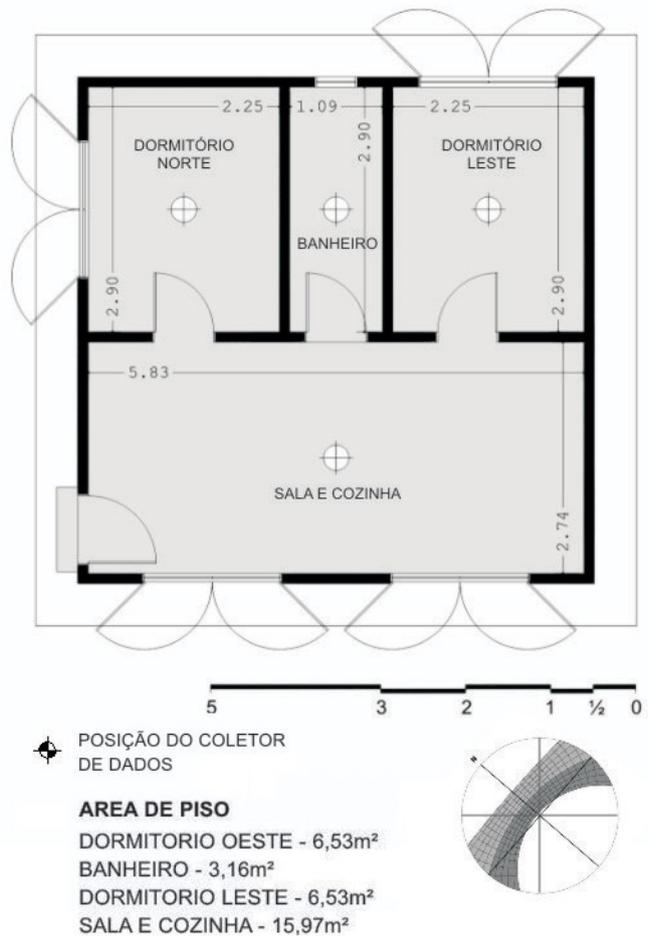


Figura 7 – Fotos, planta baixa e a posição dos coletores de dados dos quatro ambientes monitorados da Edificação C.



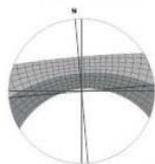
VISTA NORDESTE



VISTA SUDOESTE

AREA DE PISO

- AREA DE SERVIÇO - 3,80m²
- DORMITÓRIO NOROESTE - 8,06m²
- BANHEIRO - 3,71m²
- DORMITÓRIO SUDOESTE - 6,00m²
- SALA E COZINHA - 19,10m²



POSIÇÃO DO COLETOR DE DADOS



Figura 8 – Fotos, planta baixa e a posição dos coletores de dados dos cinco ambientes monitorados da Edificação D.

4.2.1.3 – Estudos de caso composto por fechamentos verticais de madeira

Por fim, tem-se a única representante de fechamentos verticais de madeira, a Edificação E (38,13m²), que também não se encontrou em uso rotineiro durante os períodos acompanhados. Assim, como praticamente todas as edificações deste mesmo sistema construtivo, seu banheiro tem fechamentos verticais em alvenaria comum de tijolos cerâmicos; reincidindo serem tijolos de seis furos, rebocados e assentados com argamassa. Destaca-se o dormitório a leste que se posicionou de forma resguardada pelo banheiro, como também, o dormitório a sul que se encontra sombreado pelo prolongamento da cobertura na porta de entrada (Figura 9). Suas janelas também contam com venezianas e a mesmas proporção



VISTA SUL



VISTA LESTE

AREA DE PISO

- DORMITÓRIO NORDESTE - 8,66m²
- BANHEIRO - 3,03m²
- DORMITÓRIO SUDESTE - 9,30m²
- SALA E COZINHA - 17,14m²

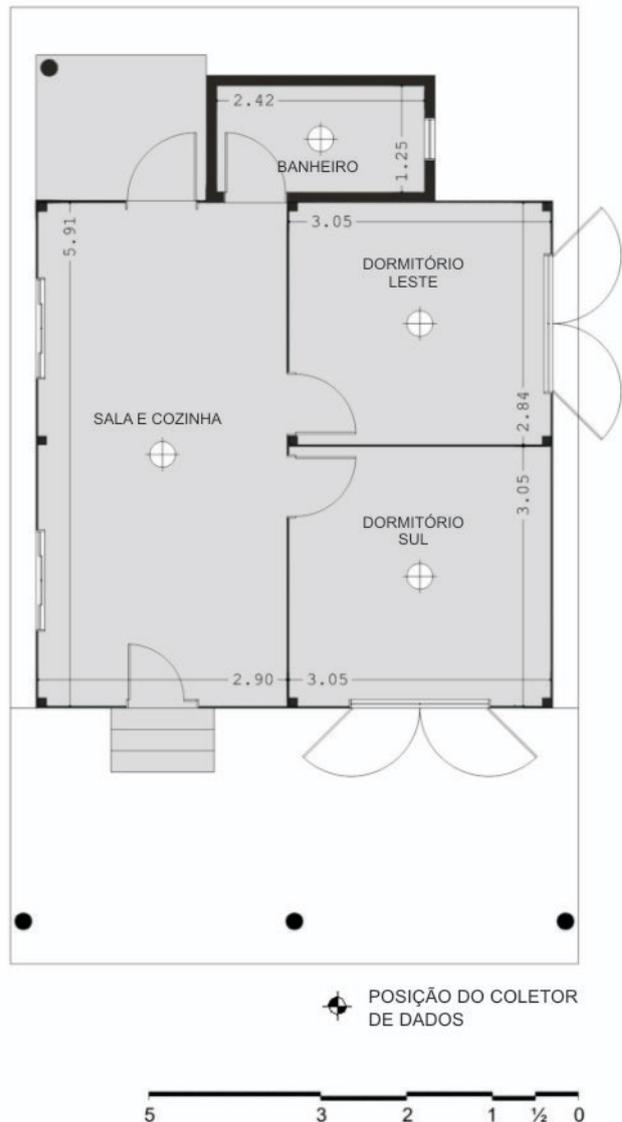
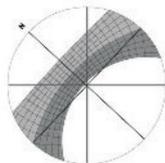


Figura 9 – Fotos, planta baixa e a posição dos coletores de dados dos quatro ambientes monitorados da Edificação E.

4.2.2 – Caracterização dos casos estudados

Frente aos hábitos construtivos locais, identificou-se que a sala sempre divide o mesmo espaço que a cozinha, onde tal cômodo também sempre será o maior e principal acesso à habitação (média de 17,9m²). Já os dormitórios não demonstraram priorização de orientação padrão, seja frente à posição da rua, ou frente a uma maior ou menor insolação direta (média de 8,4m²). No entanto, os banheiros foram posicionados ao lado dos quartos, embora nem sempre entre eles (média de 2,6m²).

4.2.2.1 – Perfil de ocupação e disposição dos casos estudados

Na Tabela 4, destacam-se algumas das diferenças encontradas entre as habitações, dentre elas seus períodos de ocupação. Durante o monitoramento, as Edificações C e D tiveram a presença de seus usuários somente durante o período noturno e a Edificação B foi a única habitada ao longo de todo o dia. A quantidade de ambientes também variou entre quatro e cinco cômodos, mas apenas a Edificação A1 se diferenciou pela presença de mais um ambiente de longa permanência (dormitório). Os demais exemplares de cinco cômodos se acresceram de um ambiente de curta permanência (áreas de serviço). Como última observação, indica-se o percentual de paredes externas por cômodo, porque se espera que os ambientes que apresentam uma elevação desta porcentagem tendam a uma maior variação da temperatura interna em relação à externa.

Tabela 4 – Comparação entre os ambientes do estudo de casos, como sua ocupação, funcionalidades, dimensões e orientações.

Edificação		Ocupação		Cômodos						
Identif.	Planta baixa	Período		Permanência	Ambientes	Orientação	Área (m ²)	Quant.	Total (m ²)	Fachada (%)
		DIA	NOITE							
A1		NÃO	NÃO	LONGA	sala e cozinha	N	19,76	5	45,24	62,96
				LONGA	dormitório sudoeste	SO	7,66			19,79
				CURTA	banheiro	NE	1,22			10,98
				LONGA	dormitório sul 1	S	9,58			50,00
				LONGA	dormitório sul 2	S	7,02			41,04
A2		NÃO	NÃO	LONGA	sala e cozinha	NE	15,98	4	34,70	67,16
				LONGA	dormitório sul	S	7,14			79,41
				CURTA	banheiro	SO	1,61			24,21
				LONGA	dormitório norte	N	9,96			37,22
B		SIM	SIM	CURTA	área de serviço	O	6,63	5	51,11	58,39
				LONGA	dormitório leste	L	10,62			50,00
				LONGA	dormitório sul	S	11,65			50,00
				LONGA	sala e cozinha	N	19,36			50,00
				CURTA	banheiro	SE	2,85			17,90
C		NÃO	SIM	LONGA	dormitório norte	N	6,53	4	32,19	50,00
				LONGA	sala e cozinha	SO	15,97			65,99
				CURTA	banheiro	NE	3,16			13,66
				LONGA	dormitório leste	L	6,53			50,00
D		NÃO	SIM	CURTA	área de serviço	N	3,80	5	40,66	83,29
				LONGA	dormitório oeste	O	8,06			25,79
				CURTA	banheiro	O	3,71			16,46
				LONGA	dormitório sudoeste	SO	6,00			50,00
				LONGA	sala e cozinha	L	19,10			65,28
E		NÃO	NÃO	CURTA	banheiro (alv)	NE	3,03	4	38,13	67,03
				LONGA	sala e cozinha	NO	17,14			61,24
				LONGA	dormitório leste	L	8,66			35,74
				LONGA	dormitório sul	S	9,30			50,00

4.2.2.2 – Propriedade dos componentes dos casos estudados

Na Tabela 5 e 6, pode-se verificar algumas das principais propriedades do estudo de casos, dentre elas a absorvância (α), o fator de ganho de calor solar de elementos opacos (FS_o), a resistência térmica (R), a transmitância térmica (U), a capacidade térmica (C_T) e o atraso térmico (φ). Além disso, tenta-se definir a cor dos componentes construtivos, onde por vezes há observações de suas aparências afim de diferenciar os resultados de suas absorvâncias.

Tabela 5 – Comparação entre os casos, como sua tipologia construtiva, cores e aparências

Edificação	Fechamento vertical		Cobertura			Aberturas externas			
	Identif.	Tipologia	Cor	Absortância	Aparência	Tom da cerâmica	Absortância	Cor	Absortância
				a (%)					a (%)
A1	tijolo maciço	natural (mesclado)	48	gasta	mesclado (limpo)	55	verde	78	
A2	tijolo maciço	natural (mesclado)	48	gasta	mesclado (limpo)	55	verde	78	
B	tijolo maciço	natural (mesclado)	33	conservada	mesclado (limpo)	47	madeira	66	
C	alvenaria comum	cinza (reboco)	47	suja	empregado	83	madeira (envelhecida)	77	
D	alvenaria comum	vermelho escuro	73	nova	avermelhado	67	branco	16	
E	madeira/alvenaria comum	marrom escuro/vermelho	87/ 58	envelhecida	mesclado (sujo)	52	madeira	76	

Tabela 6 – Comparação entre as propriedades termo-físicas dos casos.

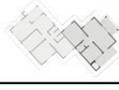
Propriedades termo-físicas							
Identif.	Componentes construtivos	Fator de ganho de calor solar de elementos opacos	Resistência Térmica	Transmitância Térmica	Capacidade Térmica	Atraso Térmico	
		F _{so} (%)	R [(m ² .K)/W]	U [W/(m ² .K)]	CT [kJ/(m ² .K)]	w (horas)	
A1	fechamento vertical	7,10	0,27	3,70	149	2,4	
	cobertura	4,40	verão	0,50	2,00	32	1,3
			inverno	0,27	2,00		
portas e venezianas	19,53	0,17	5,88	4,15	0,06		
A2	fechamento vertical	7,10	0,27	3,70	149	2,4	
	cobertura	4,40	verão	0,50	2,00	32	1,3
			inverno	0,27	2,00		
portas e venezianas	19,53	0,17	5,88	4,15	0,06		
B	fechamento vertical	4,93	0,27	3,70	149	2,4	
	cobertura	3,79	verão	0,50	2,00	32	1,3
			inverno	0,27	3,75		
portas e caixilhos	19,53	0,17	5,88	4,15	0,06		
C	fechamento vertical	4,70	0,40	2,48	159	3,3	
	cobertura	6,68	verão	0,50	2,00	32	1,3
			inverno	0,27	3,75		
portas e venezianas	19,19	0,17	5,88	4,15	0,06		
D	fechamento vertical	6,66	0,44	2,28	168	3,7	
	cobertura	12,18	verão	0,22	4,55	18	0,3
			inverno	0,33	3,06		
portas e caixilhos	19,19	0,17	5,88	4,15	0,06		
E	fechamentos verticais	13,58/ 5,75	0,26/ 0,40	3,89/ 2,48	20,1/ 159	0,83/ 3,3	
	cobertura	4,88	verão	0,43	2,34	21,57	1,3
			inverno	0,27	3,75		
portas e venezianas	19,19	0,17	5,88	4,15	0,06		

No Apêndice D é possível verificar os métodos e valores dos cálculos realizados para obtenção destes resultados aqui apresentados.

4.2.2.3 – Condições de ventilação dos casos estudados

Para finalizar com a caracterização dos casos, tem-se a Tabela 7 que indica a quantidade de janelas e portas que cada cômodo tem com o exterior, a existência ou ausência de venezianas e as porcentagens de área de ventilação em relação à área de piso. De forma complementar, há a área de ventilação somando-se portas e janelas, isso porque este é um hábito local, usar portas também como mecanismos de ventilação.

Tabela 7 – Comparação entre as condições de ventilação dos ambientes do estudo de casos.

Edificação		Cômodos					
Identif.	Planta baixa	Ambientes	Janelas	Veneziana	(% em relação a área do piso)	Porta externa	(% em relação a área do piso)
					só janelas		portas e janelas
A1		sala e cozinha	4	SIM	18,37	1	27,93
		dormitório sudoeste	1		11,85		11,85
		banheiro	1		6,78		6,78
		dormitório sul 1	0		13,71		13,71
		dormitório sul 2	1		12,93		12,93
A2		sala e cozinha	1	SIM	16,52	2	28,34
		dormitório sul	1		12,71		12,71
		banheiro	1		5,12		5,12
		dormitório norte	1		9,11		9,11
B		área de serviço	1	NÃO	4,98	1	30,31
		dormitório leste	1		3,11		3,11
		dormitório sul	1		2,83		2,83
		sala e cozinha	2		3,41		13,17
		banheiro	1		2,90		2,90
C		dormitório norte	1	SIM	13,82	1	13,82
		sala e cozinha	2		11,27		21,79
		banheiro	1		2,37		2,37
		dormitório leste	1		13,82		13,82
D		área de serviço	1	NÃO	1,76	1	46,03
		dormitório oeste	1		3,75		3,75
		banheiro	1		1,80		1,80
		dormitório sudoeste	1		5,05		5,05
		sala e cozinha	2		3,17		24,06
E		banheiro (alv)	1	SIM	2,73	2	2,73
		sala e cozinha	2		3,85		23,46
		dormitório leste	1		5,24		5,24
		dormitório sul	1		4,88		4,88

4.3 – Variação das temperaturas e umidades relativas externas

Através dos dados externos do monitoramento, obteve-se a variação da temperatura e da umidade relativa do ar da região da Ibiraquera (Imbituba, SC), região onde se encontram as habitações selecionadas. Desta forma, colheram-se dados referentes à estação de verão, que correspondeu ao período do dia 1 de fevereiro a 21 de abril de 2007, e a estação de inverno, que correspondeu ao período do dia 7 de junho a 12 de setembro de 2007. Devido a alguma falha do equipamento, dois momentos de dados externos foram perdidos, um no verão e outro no inverno. Portanto, entre os dias 22 e 24 de fevereiro de 2007 e entre os dias 17 e 28 de setembro de 2007, não houve este referencial. Por meio das Figuras 10 e 12, observam-se as temperaturas externas máximas, médias e mínimas do verão e do inverno, respectivamente. Assim, como nas Figuras 11 e 13 também se observam as umidades relativas do ar externo com suas máximas, médias e mínimas, cada qual de um período.

Com a avaliação dos dados, definiram-se as temperaturas mais elevadas e mais baixas das duas estações, como também foi possível calcular as temperaturas médias destes períodos. Em seqüência a estas informações pertinentes do clima local, identificaram-se os Dias de Referência do verão e do inverno através da média das médias diárias, o que indicou os dias 12 de março e 31 de julho de 2007 (Apêndice C). Frente às demais características dos períodos, aponta-se a temperatura máxima de verão a 39,22°C, ocorrida no dia 31 de março de 2007, e a temperatura mínima de inverno a 4,15°C, ocorrida no dia 27 de julho de 2007. Como um referencial simples, nota-se que a temperatura média do verão (25,07°C) apresentou um valor dentro da faixa de conforto estabelecida por Givoni (1992) para países quentes em desenvolvimento (entre 18°C e 29°C), algo que não ocorreu com a média do inverno (16,07°C). Assim, percebe-se que as condições de inverno estiveram mais tempo fora da faixa térmica considerada confortável do que as de verão, o que se faz acreditar que houve menos condições de conforto térmico durante esta estação fria em relação à quente.

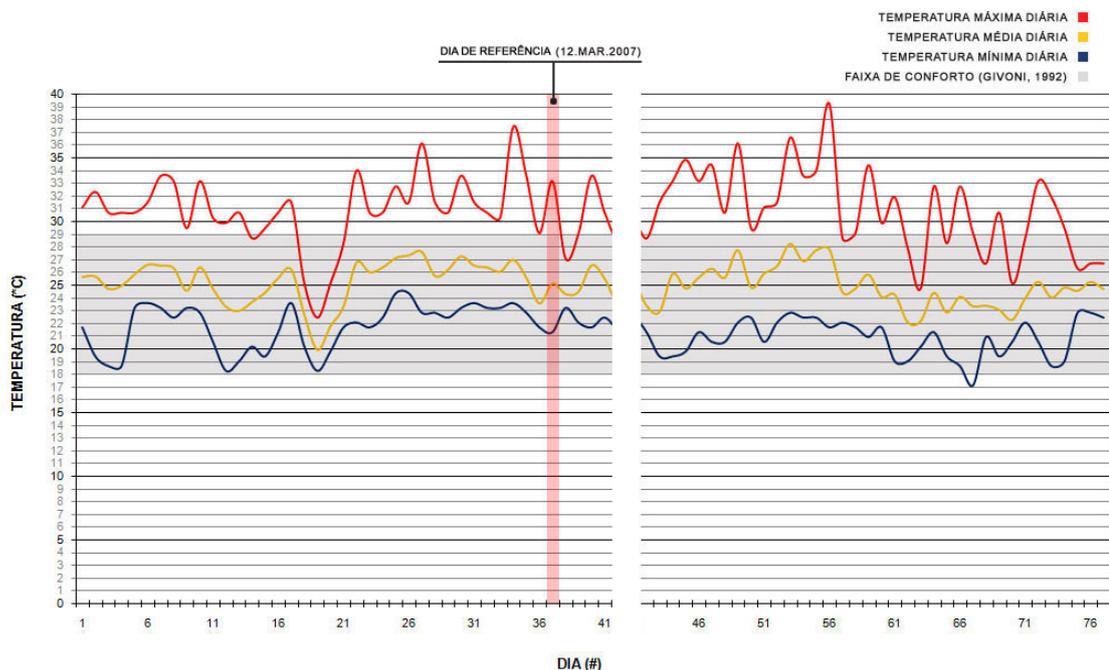


Figura 10 – Variação da temperatura externa durante o verão, frente ao referencial dos limites de temperatura de conforto para países quentes em desenvolvimento, segundo GIVONI (1992).

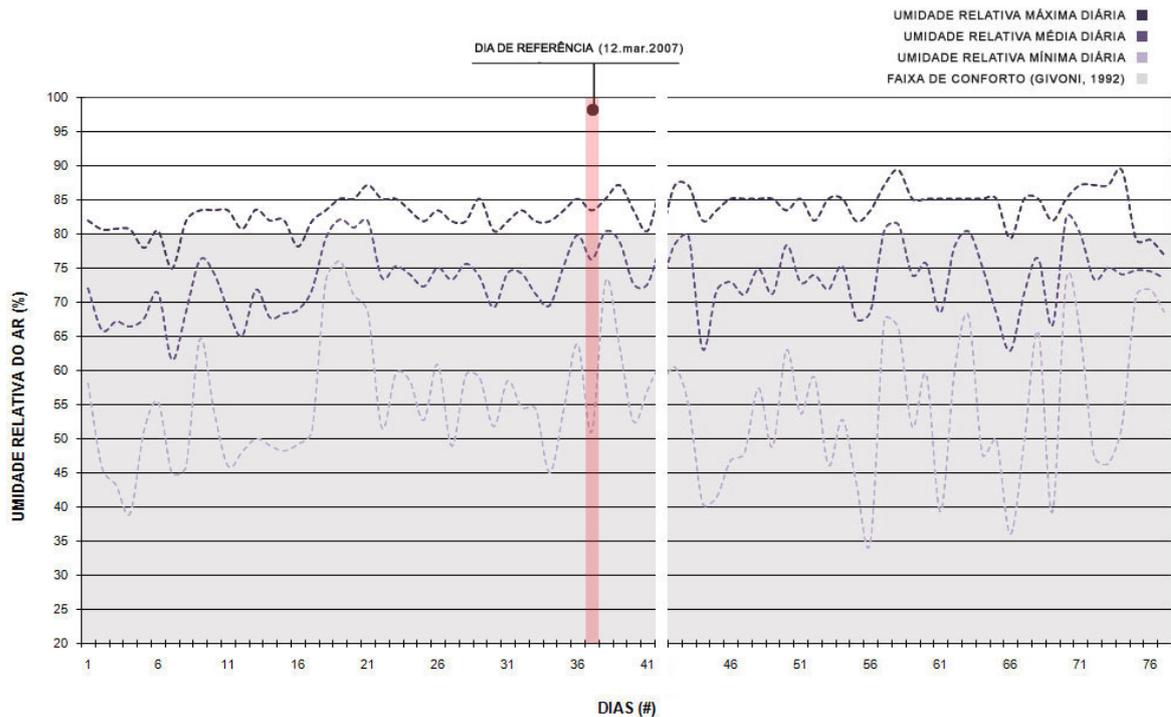


Figura 11 – Variação da umidade relativa do ar externo durante o verão, frente aos limites de referência de conforto para países quentes em desenvolvimento, segundo GIVONI (1992).

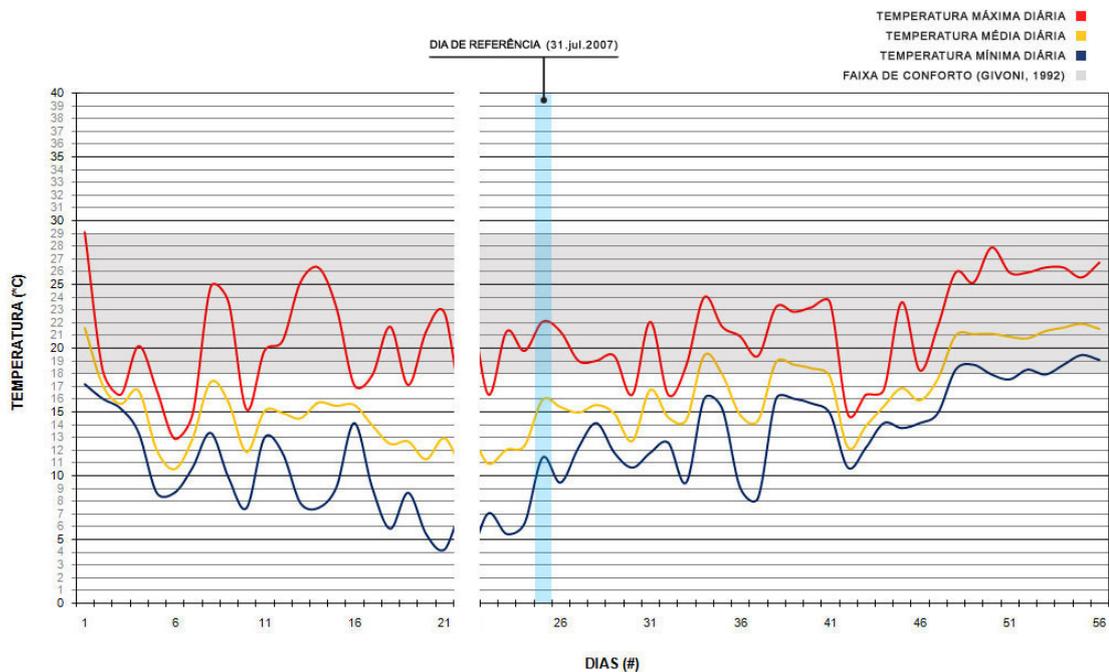


Figura 12 – Variação da temperatura externa durante o inverno, frente ao referencial dos limites de temperatura de conforto para países quentes em desenvolvimento, segundo GIVONI (1992).

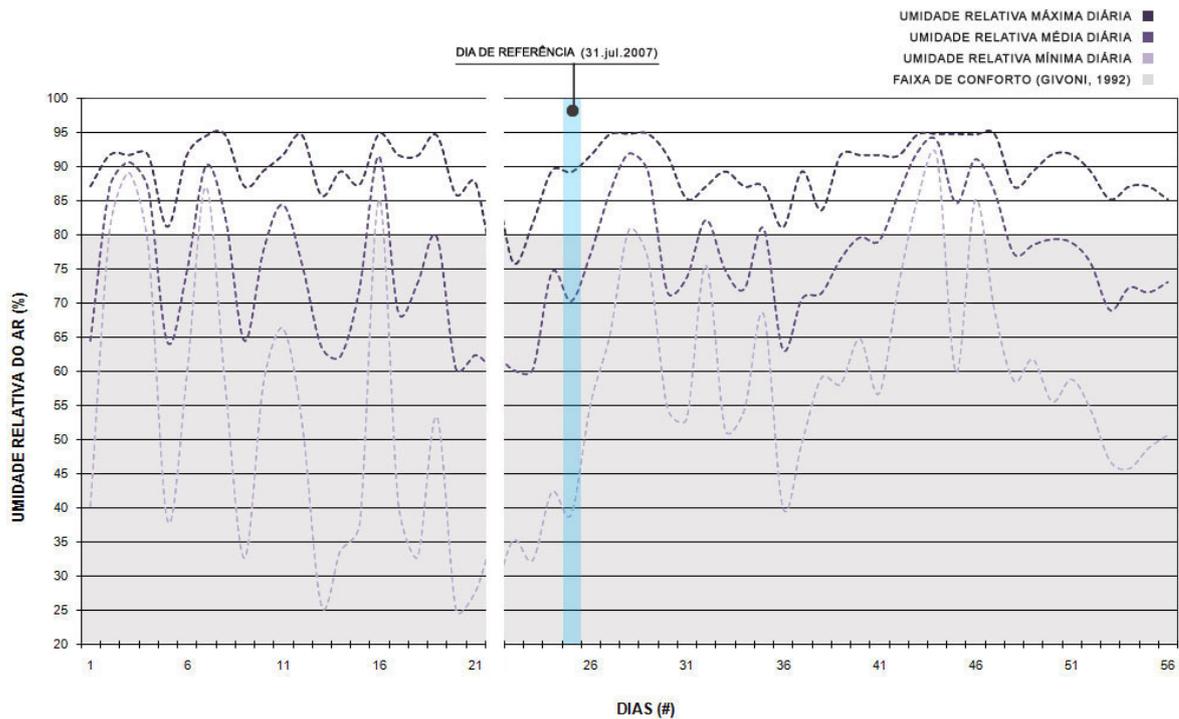


Figura 13 – Variação da umidade relativa do ar externo durante o inverno, frente aos limites de referência de conforto para países quentes em desenvolvimento, segundo GIVONI (1992).

A variação térmica interna dos cômodos analisados em relação à variação térmica externa pode ser vista por completo no Apêndice E, porém, aqui se expõe as ocorrências da Edificação A1 de forma a exemplificar um caso.

Na Figura 14, que se refere ao período de verão, nota-se que na maior parte do tempo todos os ambientes estiveram não apenas dentro da faixa de conforto estimulada por Givoni (1992), como também com uma amplitude térmica inferior a amplitude externa. A sala e cozinha desta edificação deram coerência à lógica de ser dos ambientes mais quentes do caso, devido a sua posição privilegiada quanto ao sol. Em contra partida há o dormitório sul 2, que é o de insolação direta menos privilegiada.

Já na Figura 15, onde se trata do mesmo caso, no entanto, durante o período de inverno, observa-se uma situação inversa quanto às temperaturas e o clima decorrente, pois a maior parte do tempo o clima esteve fora da zona tida como confortável. Ao mesmo tempo, que as orientações favoráveis e desfavoráveis dos cômodos continuam visíveis.

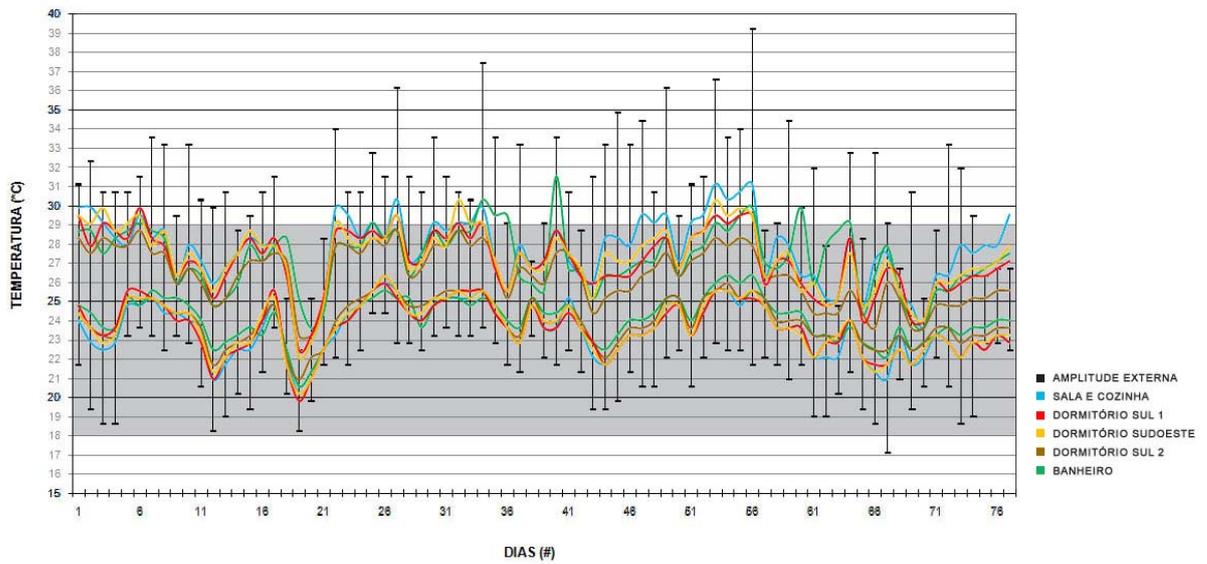


Figura 14 – Variação das temperaturas internas da Edificação A1 em relação à amplitude térmica externa (verão).

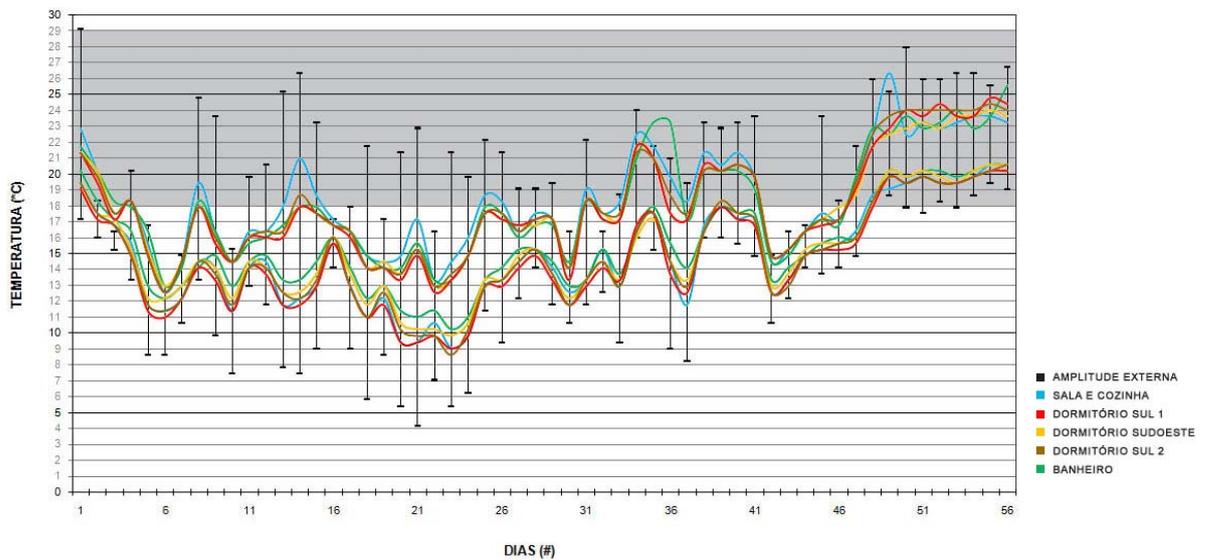


Figura 15 – Variação das temperaturas internas da Edificação A1 em relação à amplitude térmica externa (inverno).

4.4 – Exposição das diferentes formas de avaliação do desempenho térmico

Após estes relatos das caracterizações das edificações e do clima, apresentam-se quatro análises diferentes feitas com base nestes dados coletados: uma verificação quanto à adequação ao clima frente à NBR 15220-3 (ABNT, 2005c),

uma de classificação do desempenho térmico dos ambientes frente à NBR 15575-1 (ABNT, 2008a), outra de ponderações em graus-hora e grau médio, e por fim, uma análise de arquitetura bioclimática por meio do programa computacional Analysis BIO (LABEEE, 2004); todas para ambos os períodos de monitoramento.

4.4.1 – Verificação da adequação ao clima do estudo de casos

Neste item, apresentam-se novamente os valores das propriedades dos elementos construtivos e as condições de ventilação dos ambientes, mas desta vez, verificando-se se estas conferem às recomendações da NBR 15220-3 (ABNT, 2005c). As propriedades destacadas pelas cores verdes e vermelhas são as que têm limites definidos pela norma citada, onde o verde indica valores que atendem as recomendações, e o vermelho, os valores que não atendem as recomendações da norma.

Assim, na Tabela 8 é possível reparar que nenhuma edificação esteve totalmente dentro das recomendações e que grande parte dos valores do fator de ganho de calor solar de elementos opacos (FS_o) que estão fora do limite aceitável correspondem à valores de absorvância (α) maiores que 50%. Já a transmitância térmica (U) - que é o inverso da resistência térmica total (R_T) – esteve muitas vezes fora das recomendações também. No entanto, relembra-se que a cobertura é o componente que recebe a maior incidência de calor em uma edificação e, justamente, são estas as propriedades que mais se distanciaram do valor sugerido.

Por fim, comentam-se os atrasos térmicos (φ) que sempre estiveram fora dos valores indicados. Como para este cálculo são necessárias três propriedades diferentes da composição do componente construtivo (condutividade, calor específico e densidade), qualquer observação pode se tornar relativa. Tal incerteza, também pode ser reforçada por parte da base deste cálculo vir de levantamentos *in situ* e parte de tabelas anexadas às normas já citadas.

Tabela 8 – Propriedades termo-físicas dos componentes construtivos frente às suas recomendações da NBR 15220-3 (ABNT 2005c).

Edificação		Propriedades						
Identif.	Componentes construtivos	Absortância	Fator de ganho de calor solar de elementos opacos	Resistência Térmica		Transmitância Térmica	Capacidade Térmica	Atraso Térmico
		α (%)	F _{so} (%)	R [(m².K)/W]		U [W/(m².K)]	CT [kJ/(m².K)]	φ (horas)
A1	fechamento vertical	48	7,10		0,27	3,70	149	2,4
	cobertura	55	4,40	verão	0,50	2,00	32	1,3
				inverno	0,27	2,00		
	portas e venezianas	78	19,53		0,17	5,88	4,15	0,06
A2	fechamento vertical	48	7,10		0,27	3,70	149	2,4
	cobertura	55	4,40	verão	0,50	2,00	32	1,3
				inverno	0,27	2,00		
	portas e venezianas	78	19,53		0,17	5,88	4,15	0,06
B	fechamento vertical	33	4,93		0,27	3,70	149	2,4
	cobertura	47	3,79	verão	0,50	2,00	32	1,3
				inverno	0,27	3,75		
	portas e caixilhos	66	19,53		0,17	5,88	4,15	0,06
C	fechamento vertical	47	4,70		0,40	2,48	159	3,3
	cobertura	83	6,68	verão	0,50	2,00	32	1,3
				inverno	0,27	3,75		
	portas e venezianas	77	19,19		0,17	5,88	4,15	0,06
D	fechamento vertical	73	6,66		0,44	2,28	168	3,7
	cobertura	67	12,18	verão	0,22	4,55	18	0,3
				inverno	0,33	3,06		
	portas e caixilhos	16	19,19		0,17	5,88	4,15	0,06
E	fechamentos verticais	87/58	13,58/ 5,75		0,26/ 0,40	3,89/ 2,48	20,1/ 159	0,83/ 3,3
	cobertura	52	4,88	verão	0,43	2,34	21,57	1,3
				inverno	0,27	3,75		
	portas e venezianas	76	19,19		0,17	5,88	4,15	0,06
NBR 15220	parede (leve)		F _{So} ≤ 5,0%			U ≤ 3,0W/(m².K)		φ ≥ 4,3horas
	cobertura (leve isolada)		F _{So} ≤ 6,5%			U ≤ 2,0W/(m².K)		φ ≥ 3,3horas

Na Tabela 9, nota-se que a maioria dos cômodos se encontra fora das recomendações da norma para uma proporção adequada da área de abertura. Comenta-se também, que com o auxílio das portas externas para a possibilidade de maior ventilação, alguns dos ambientes chegaram a atingir e até a ultrapassar a porcentagem indicada. Algo que deve ser levado em consideração, já que se sabe que este recurso é habitualmente usado pela população local. Dentre os exemplares, o que mais chama atenção é que nenhum dormitório atingiu a recomendação, apenas salas conjuntas às cozinhas e mesmo assim com a soma da área das portas externas.

Tabela 9 – Relações de ventilação das edificações e suas recomendações, segundo a NBR 15220-3 (ABNT 2005c).

Edificação	Cômodos				Aberturas externas										
					Identif.	Ambientes	Orientação	Área (m²)	Quant.	Total (m²)	Janelas	Veneziana	(% em relação a área do piso)	Porta externa	(% em relação a área do piso)
													só janelas		portas e janelas
A1	sala e cozinha	N	19,76	5	45,24	4	SIM	18,37	1	27,93 *					
	dormitório sudoeste	SO	7,66			1		11,85							
	banheiro	NE	1,22			1		6,78							
	dormitório sul 1	S	9,58			0		13,71							
	dormitório sul 2	S	7,02			1		12,93							
A2	sala e cozinha	NE	15,98	4	34,70	1	SIM	16,52	2	28,34 *					
	dormitório sul	S	7,14			1		12,71							
	banheiro	SO	1,61			1		5,72							
	dormitório norte	N	9,96			1		9,11							
B	área de serviço	O	6,63	5	51,11	1	NÃO	4,98	1	30,31 *					
	dormitório leste	L	10,62			1		3,11							
	dormitório sul	S	11,65			1		2,83							
	sala e cozinha	N	19,36			2		3,41							
	banheiro	SE	2,85			1		2,90							
C	dormitório norte	N	6,53	4	32,19	1	SIM	13,82	1	13,82					
	sala e cozinha	SO	15,97			2		11,27							
	banheiro	NE	3,16			1		2,37							
	dormitório leste	L	6,53			1		13,82							
D	área de serviço	N	3,80	5	40,66	1	NÃO	1,76	1	46,03 *					
	dormitório oeste	O	8,06			1		3,75							
	banheiro	O	3,71			1		1,80							
	dormitório sudoeste	SO	6,00			1		5,05							
	sala e cozinha	L	19,10			2		3,17							
E	banheiro (alv)	NE	3,03	4	38,13	1	SIM	2,73	2	2,73					
	sala e cozinha	NO	17,14			2		3,85							
	dormitório leste	L	8,66			1		5,24							
	dormitório sul	S	9,30			1		4,88							
								obrigatório	(15% < A < 25%)						
ambiente de curta permanência								NBR 15575	NBR 15220						

* acima de 25%

De forma geral, pode-se comentar que esta forma expedita de verificação do desempenho térmico indicou uma pequena probabilidade de adequação ao clima de uma zona bioclimática 2 (Z2). No entanto, conforme visto na revisão bibliográfica (SAKAMOTO *et al.*, 2001), sabe-se que a composição dos elementos construtivos não assegura uma condição de desempenho térmico adequado. O que leva o trabalho a continuar a investigação, visando agora o comportamento térmico interno dos cômodos destas edificações.

4.4.2 – Classificação do desempenho térmico dos cômodos

Conforme visto, a norma de Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos – Desempenho (ABNT, 2008) não apenas define limites de temperatura para uma classificação de desempenho térmico, como também, requer o preenchimento de recomendações das propriedades do envelope construtivo. Assim, expõem-se novamente algumas das propriedades dos casos analisados. Desta vez, destacando-se os valores encontrados frente aos limites da norma citada, mas ainda

se utilizando da cor verde e vermelha para representar os valores adequados e inadequados aos limites da norma.

Vale destacar duas diferenças importantes da NBR 15575 (ABNT, 2008) em relação à NBR 15220 (ABNT, 2005), pois a primeira cita a necessidade de algum dispositivo de sombreamento aos dormitórios, independente da zona climática em que a edificação se encontre. O segundo item é que se desconsideraram as portas de acesso ao exterior da edificação como uma área de ventilação. Esta determinação não confere ao hábito local, que por vezes apresenta janelas sem dispositivos de sombreamento, como também, por muitas vezes se utilizam das portas de acesso externo para aumentar a ventilação interna dos ambientes.

Na Tabela 10, onde dentre as mudanças se vê a de 15% a 25% da área de piso como possibilidade de ventilação para *acima de 8%* como aceitável, percebe-se um significativo aumento da quantidade de cômodos dentro deste novo limite. Algo, que chegou a superar a quantidade de ambientes condizentes aos limites estabelecidos pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005c) já com o acréscimo da área das portas externas à ventilação. Nota-se também, que o novo limite de resistência térmica das paredes foi respeitado por todas as edificações. No caso da NBR 15575-5 (ABNT, 2008c) ter um aumento do limite de transmitância térmica (U) para a cobertura em $0,3W/(m^2.K)$, enquadrou apenas mais um componente aos limites aceitáveis, a cobertura da Edificação E. Por fim, há a recomendação para capacidade térmica (C_T), propriedade da qual não havia recebido diretamente valores estipulados na NBR 15220-3 (ABNT, 2005c), mas que aqui teve quase todas as paredes dentro do limite, porém, nenhuma cobertura.

Tabela 10 – Propriedades termo-físicas dos componentes construtivos e suas recomendações, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a).

Edificação	Cômodos	Aberturas externas	Ventilação		Propriedades termo-físicas		
			(% em relação a área do piso)	Componentes construtivos*	Resistência Térmica	Transmitância Térmica	Capacidade Térmica
Identif.	Ambientes	Dispositivo de sombra	só janleas		R [(m².K)/W]	U [W/(m².K)]	CT [kJ/(m².K)]
A1	sala e cozinha	SIM	18,37	fechamento vertical	0,27	3,70	149,00
	dormitório sudoeste		11,85	cobertura	verão 0,50	2,00	32,00
	banheiro		6,78		inverno 0,27	2,00	
	dormitório sul 1		13,71	portas e venezianas	0,17	5,88	4,15
	dormitório sul 2		12,93				
A2	sala e cozinha	SIM	16,52	fechamento vertical	0,27	3,70	149,00
	dormitório sul		12,71	cobertura	verão 0,50	2,00	32,00
	banheiro		5,12		inverno 0,27	2,00	
	dormitório norte		9,11	portas e venezianas	0,17	5,88	4,15
			4,98	fechamento vertical	0,27	3,70	149,00
B	área de serviço	NÃO	3,11	cobertura	verão 0,50	2,00	32,00
	dormitório leste		2,83		inverno 0,27	3,75	
	dormitório sul		3,41	portas e caixilhos	0,17	5,88	4,15
	sala e cozinha		2,90				
	banheiro						
C	dormitório norte	SIM	13,82	fechamento vertical	0,40	2,48	159,00
	sala e cozinha		11,27	cobertura	verão 0,50	2,00	32,00
	banheiro		2,37		inverno 0,27	3,75	
	dormitório leste		13,82	portas e venezianas	0,17	5,88	4,15
			1,76	fechamento vertical	0,44	2,28	168,00
D	área de serviço	NÃO	3,75	cobertura	verão 0,22	4,55	18,00
	dormitório oeste		1,80		inverno 0,33	3,06	
	banheiro		5,05	portas e caixilhos	0,17	5,88	4,15
	dormitório sudoeste		3,17				
	sala e cozinha						
E	banheiro (alv)	SIM	2,73	fechamentos verticais	0,26/ 0,40	3,89/ 2,48	20,1/ 159
	sala e cozinha		3,85	cobertura	verão 0,43	2,34	21,57
	dormitório leste		5,24		inverno 0,27	3,75	
	dormitório sul		4,88	portas e venezianas	0,17	5,88	4,15
				obrigatório	A=8% do piso	parede	R < 0,5(m²K)/W
	ambiente de curta permanência	NBR 15575	(sem portas)	cobertura		U ≤ 2,3W/(m²K)	C _T ≥ 150kJ/m²K*

Agora, para se definir a classificação dos ambientes aqui discutidos, utiliza-se dos limites de temperatura estabelecidos ainda pela NBR 15575-1 (ABNT, 2008a). Conforme o procedimento de classificação de verão, que deve se utilizar apenas do Dia Típico da estação à avaliação de desempenho térmico, tem-se aqui o Dia de Referência (12 de março de 2007) definido assim devido à particularidade da quantidade de dados disponíveis. Devido aos limites de classificação variarem conforme a temperatura externa, houve uma retratação de quanto tal temperatura foi amortecida para o interior dos ambientes. Assim, com a Tabela 11, pode-se observar o amortecimento encontrado, bem como as diferenças dos amortecimentos esperados para cada uma das classificações existentes, e os mesmos, em relação ao amortecimento encontrado. Nota-se que muitos dos cômodos foram tidos como de desempenho térmico SUPERIOR, classificação esta que não ocorreu com o dormitório norte da Edificação C, e com todos os ambientes da Edificação E. No entanto, dois destes ambientes tidos como de desempenho térmico INTERMEDIÁRIO, quase se classificaram como SUPERIOR (dormitório norte/ Edificação C e dormitório

sul/ Edificação E). Ainda quanto a Edificação E, observa-se que dois ambientes (sala e dormitório leste) classificaram-se com desempenho térmico MÍNIMO.

Através da Tabela 12, que retrata a classificação decorrente do inverno, nota-se que todos os ambientes estiveram com um amortecimento INSATISFATÓRIO para as ponderações da NBR 15575-1 (ABNT, 2008a). Destaca-se a Edificação D, que por ter sido monitorada em um período diferente, foi analisada para um Dia de Referência diferente (8 de setembro de 2007), pois com seus dados tal dia foi definido para uma data díspare aos demais casos (período mais curto). As elevadas diferenças encontradas frente ao amortecimento ocorrido e o esperado indicam que estes ambientes não apenas tiveram o seu desempenho térmico insatisfatório, mas que também ficaram longe dos padrões esperados pela norma. Uma dificuldade que já despontava na avaliação do clima local encontrado para a estação de inverno.

Seguindo a mesma linha de apresentação complementar das condições internas dos cômodos analisados, só que neste caso frente aos parâmetros de classificação de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2008a), observa-se no Apêndice F o ocorrido ao longo de todos os períodos.

Tabela 11 – Classificação do desempenho térmico de verão do estudo de casos, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a).

Edificação		Cômodos				Classificação do desempenho térmico						Classificação	
		Ambientes	Dia Monit.	Data	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Amortecimento (%)	Amortecimento encontrado em relação ao esperado (%)				
Identif.			#	dia	mês	MÁX. EXT (°C)	MÁX. INT (°C)	ENCONTRADO	MÍNIMO	INTERMEDIÁRIO	SUPERIOR		
A1	sala e cozinha	37	12	mar	33,17	27,91	15,86	15,86	15,86	9,83	3,80	SUPERIOR	
	dormitório sudoeste					27,52	17,03	17,03	17,03	11,00	4,97	SUPERIOR	
	banheiro					26,34	20,59	20,59	20,59	14,56	8,53	SUPERIOR	
	dormitório sul 1					27,52	17,03	17,03	17,03	11,00	4,97	SUPERIOR	
A2	dormitório sul 2					26,73	19,42	19,42	19,42	13,39	7,36	SUPERIOR	
	sala e cozinha					27,12	18,24	18,24	18,24	12,21	6,18	SUPERIOR	
	dormitório sul					27,91	15,86	15,86	15,86	9,83	3,80	SUPERIOR	
	banheiro					26,73	19,42	19,42	19,42	13,39	7,36	SUPERIOR	
B	dormitório norte					27,52	17,03	17,03	17,03	11,00	4,97	SUPERIOR	
	área de serviço					28,70	13,48	13,48	13,48	7,45	1,42	SUPERIOR	
	dormitório leste					27,91	15,86	15,86	15,86	9,83	3,80	SUPERIOR	
	dormitório sul					26,73	19,42	19,42	19,42	13,39	7,36	SUPERIOR	
	sala e cozinha					27,91	15,86	15,86	15,86	9,83	3,80	SUPERIOR	
	banheiro					26,34	20,59	20,59	20,59	14,56	8,53	SUPERIOR	
C	dormitório norte					29,50	11,06	11,06	11,06	5,03	-0,99	INTERMEDIÁRIO	
	sala e cozinha					28,31	14,65	14,65	14,65	8,62	2,59	SUPERIOR	
	banheiro					26,73	19,42	19,42	19,42	13,39	7,36	SUPERIOR	
	dormitório leste					27,52	17,03	17,03	17,03	11,00	4,97	SUPERIOR	
E	banheiro (alv)					29,90	9,86	9,86	9,86	3,83	-2,20	INTERMEDIÁRIO	
	sala e cozinha					31,52	4,97	4,97	4,97	-1,06	-7,08	MINIMO	
	dormitório leste					31,52	4,97	4,97	4,97	-1,06	-7,08	MINIMO	
	dormitório sul					29,50	11,06	11,06	11,06	5,03	-0,99	INTERMEDIÁRIO	
						NBR 15575							
ambiente de curta permanência		CONDICÃO				$T_{INT,MAX} \leq T_{EXT,MAX}$	$T_{INT,MAX} \leq T_{EXT,MAX} - 2^{\circ}C$	$T_{INT,MAX} \leq T_{EXT,MAX} - 4^{\circ}C$					
		TEMP. INT ESPERADA				33,17	31,17	29,17					
		AMORT. ESPERADO (%)				0	6,03	12,06					
		VERÃO											

Tabela 12 – Classificação do desempenho térmico de inverno do estudo de casos, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a).

Edificação		Cômodos										Classificação do desempenho térmico										
Identif.	Ambientes	Dia	Data	Temperatura		Temperatura	Amortecimento (%)	Amortecimento encontrado em relação ao esperado (%)			Classificação											
				MÁX. EXT (°C)	MÁX. INT (°C)			MÍNIMO	INTERMEDIÁRIO	SUPERIOR												
A1	sala e cozinha	#	25	31	jul	11,38	13,62	12,93	13,62	30,32	47,89	INSATISFATORIO										
	dormitório sudoeste																					
	banheiro																					
	dormitório sul 1																					
	dormitório sul 2																					
	sala e cozinha																					
A2	dormitório sul	#	25	31	jul	11,38	13,62	12,93	13,62	30,32	47,89	INSATISFATORIO										
	banheiro																					
	dormitório norte																					
	área de serviço																					
	dormitório leste																					
	dormitório sul																					
B	sala e cozinha	#	52	8	set	18,28	13,62	12,93	13,62	30,32	47,89	INSATISFATORIO										
	banheiro																					
	área de serviço																					
	dormitório oeste																					
	dormitório sudoeste																					
	sala e cozinha																					
D	sala e cozinha	#	25	31	jul	11,38	10,45	18,66	2,08	25,27	36,21	INSATISFATORIO										
	banheiro																					
	área de serviço																					
	dormitório oeste																					
	dormitório sudoeste																					
	sala e cozinha																					
E	banheiro (alv)	#	25	31	jul	11,38	3,43	11,77	3,43	40,51	58,08	INSATISFATORIO										
	sala e cozinha																					
	dormitório leste																					
	dormitório sul																					
	NBR 15575																					
	ambiente de curta permanência												INVERNO		31	jul	14,38	CONDICÃO		14,38	16,38	18,38
TEMP. INT ESPERADA																						
AMORT. ESPERADO (%)																						
		INVERNO		8	set	21,28	CONDICÃO		21,28	23,28	25,28											
							TEMP. INT ESPERADA															
							AMORT. ESPERADO (%)															
							CONDICÃO															
							CONDICÃO															
							CONDICÃO															

4.4.3 – Análise de graus-hora e grau médio

No intuito de ampliar a visão da classificação do desempenho térmico das habitações aqui analisadas, utilizou-se da avaliação de graus-hora associada ao grau médio. Desta forma, expõem-se a quantidade de graus que ultrapassaram as temperaturas bases ($T_b = 29^{\circ}\text{C}$ e 18°C ; referentes aos limites de GIVONI, 1992), a porcentagem e quantidade de horas em conforto e desconforto e o grau médio para ambas as temperaturas bases. A Tabela 13 apresenta estes dados para o período de verão, onde nota-se que Edificação E seguida da Edificação C foram as com maior acúmulo de calor e a Edificação A1 seguida da Edificação A2 as de menor acúmulo de calor.

Com a Figura 16 há como se complementar as informações da tabela anterior, pois aqui nota-se quanto, em média, a temperatura interna se elevou em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) para cada hora em desconforto. Assim, ao visar os ambientes que se destacaram por esta análise, cita-se o dormitório Sul 2 (Edificação A1), que esteve 100% dentro da faixa de conforto de referência (GIVONI, 1992); e a sala e a cozinha da mesma edificação, que não chegaram a atingir este mesmo percentual (96,54%). Já a Edificação E, a de pior desempenho térmico para esta análise, apesar de ainda ter grande parte do seu tempo em momentos de conforto, apresentou o seu banheiro com 18,0% das horas em desconforto, este seguido da sala e da cozinha com 17,13% de desconforto. No entanto, através da Figura 16 se percebe que para as duas edificações, os ambientes que tiveram o maior grau médio foram os de orientação favorável a maior quantidade de radiação direta (grau médio de 0,67 e de 2,38). Algo que se repete nas devidas proporções a todos os outros cômodos das habitações analisadas.

Tabela 13 – Classificação de conforto e desconforto segundo a análise de graus-hora (verão).

	EXTERNO				EDIF_A1				EDIF_A2				EDIF_B				EDIF_C				EDIF_E							
	IBIRAQUERA	SALA E COZINHA	BANHEIRO	DORM. S 2	DORM. S 1	DORM. S 0	SALA E COZINHA	DORM. S	BANHEIRO	DORM. N	SALA E COZINHA	DORM. L	BANHEIRO	DORM. L	SALA E COZINHA	AR. DE SERV.	DORM. S	DORM. S	DORM. N	SALA E COZINHA	BANHEIRO	DORM. L	SALA E COZINHA	BANHEIRO	DORM. L	BANHEIRO	DORM. L	DORM. S
(T _b = 29°C)	520	43	4	0	8	15	35	7	7	32	113	214	26	60	216	245	357	103	123	748	529	646	434					
(T _b = 18°C)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL DE HORAS MONIT.	1848	1848	1848	1848	1848	1848	1826	1825	1848	1848	1848	1848	1848	1848	1848	1848	1848	1848	1848	1848	1848	1848	1833	1833	1833	1833	1833	1833
CONFORTO (%)	85,34	96,54	99,19	100,00	98,76	98,05	97,43	99,18	99,24	97,89	94,10	90,04	97,51	95,45	89,83	88,37	87,28	93,34	92,53	82,87	82,00	84,07	86,20					
DESCONFORTO (%)	14,66	3,46	0,81	0,00	1,24	1,95	2,57	0,82	0,76	2,11	5,90	9,96	2,49	4,55	10,17	11,63	12,72	6,66	7,47	17,13	18,00	15,93	13,80					
HORAS EM DESCONF. (T _b = 29°C)	270	64	15	0	23	36	47	15	14	39	109	184	46	84	188	215	235	123	138	314	330	292	253					
HORAS EM DESCONF. (T _b = 18°C)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GRAU-MÉDIO (T _b = 29°C)	1,92	0,67	0,26	0,00	0,36	0,40	0,75	0,49	0,49	0,82	1,04	1,16	0,57	0,72	1,15	1,14	1,52	0,84	0,89	2,38	1,60	2,21	1,71					
GRAU-MÉDIO (T _b = 18°C)	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

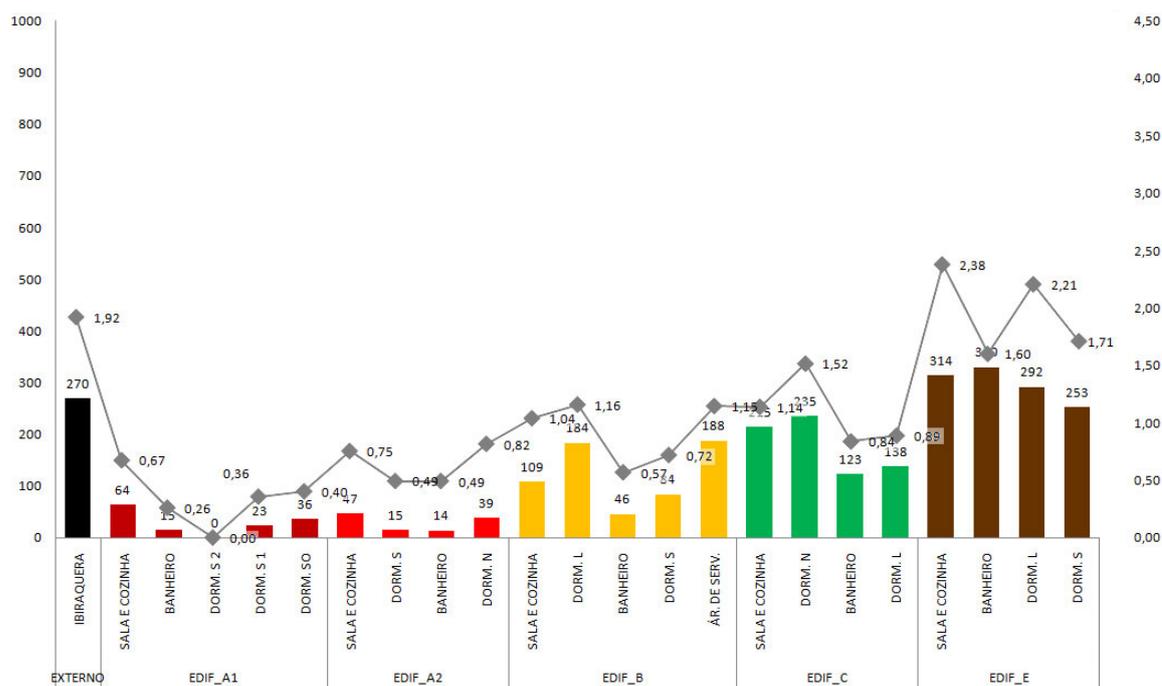


Figura 16 – Relação de grau médio com a quantidade de horas em desconforto para o calor.

Quanto aos dados colhidos durante o inverno (Tabela 14), revela-se o mesmo comportamento das edificações, onde a Edificação E foi a que mais perdeu calor, seguida das Edificações B, A2 e A1. Vale lembrar que os dados da Edificação D foram colhidos em um período diferente dos demais, o que torna a avaliação algo individual à mesma para seu período. Porém, ainda com a mesma lógica de se beneficiar os ambientes de maior possibilidade de horas de sol.

A Figura 17 volta a destacar essa indicação quanto à importância da insolação, pois para todas as edificações se notou o como os ambientes de menor possibilidade de radiação direta atingiram os maiores valores de grau médio. Isto indica que a possibilidade de radiação direta se tornou mais relevante do que a própria composição do envelope construtivo, no objetivo de se atingir as condições adequadas de conforto térmico.

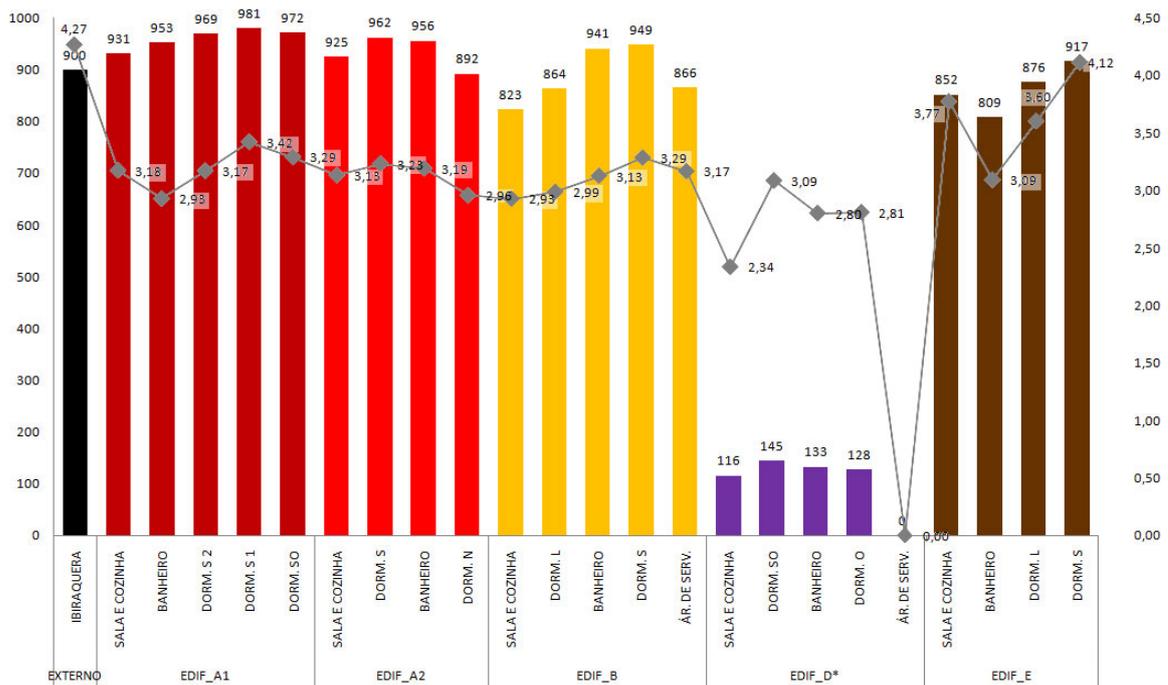
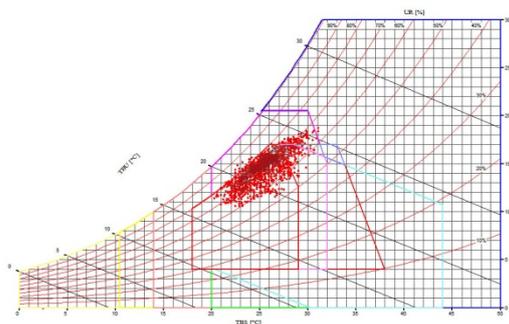


Figura 17 – Relação de grau médio com a quantidade de horas em desconforto para o frio.

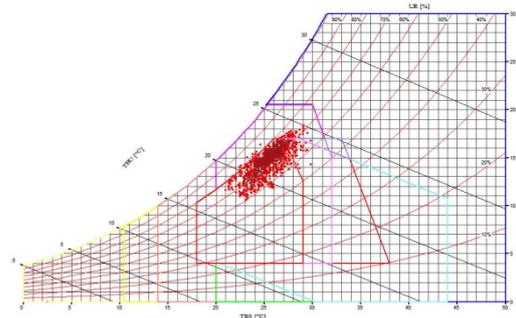
4.4.4 – Análises por meio do Analysis BIO

Como última forma de avaliação do desempenho térmico das residências selecionadas, tem-se a aplicação do programa computacional Analysis BIO (LABEEE, 2004), que dá as porcentagens de horas em que cada ambiente esteve dentro de cada uma das zonas bioclimáticas. No objetivo de facilitar não só a comparação entre os métodos, mas também de identificar as sugestões da análise bioclimática, separou-se os resultados obtidos frente a cada uma das estratégias sugeridas. Assim, acredita-se ser possível a avaliação de conforto e desconforto, bem como a identificação de algumas deficiências encontradas no desempenho térmico de cada cômodo.

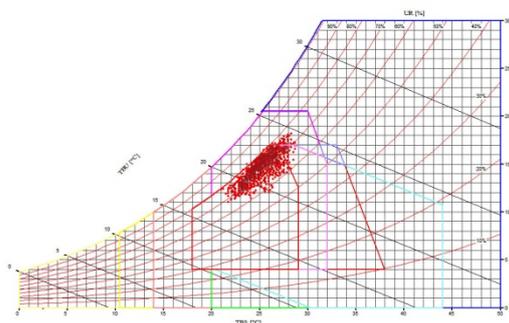
De forma a exemplificar os resultados obtidos através do programa computacional, expõe-se aqui as cartas bioclimáticas com os dados plotados da Edificação A1 para o verão. Assim, na Figura 18 se nota pouca diferença entre os ambientes, mas que em grande parte do tempo as condições foram de conforto. Dos momentos em desconforto, vê-se que praticamente sempre a ventilação foi necessária e que de forma complementar, porém na menor parte do tempo, a elevação da massa térmico para aquecimento e o resfriamento evaporativo também foram requisitados.



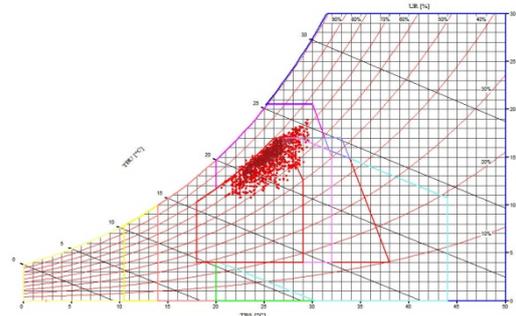
(a)



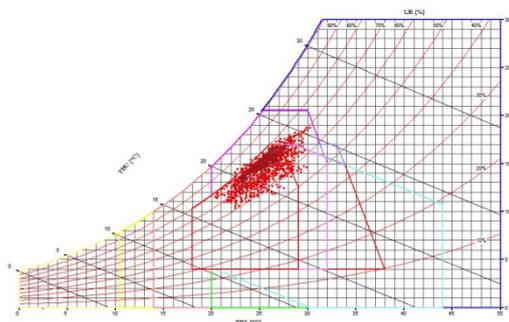
(b)



(c)



(d)



b(e)

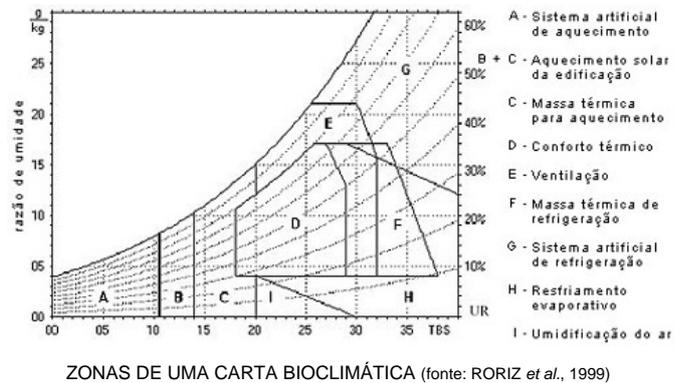


Figura 18 – Diagramas bioclimáticos com os dados internos da Edificação A1 (a – sala e cozinha; b – banheiro; c – dormitório Sul 2; de- dormitório Sul 1; e – dormitório SO).

Com o auxílio da Tabela 15, esta provida das porcentagens apresentadas pelo programa computacional, torna-se possível a verificação de que a Edificação A1 obteve as melhores condições de verão em relação as demais. A mesma, seguiu-se da Edificação A2, B, C e E, ou seja, por fim a edificação de madeira foi a de pior desempenho térmico entre todas, novamente. Nota-se também, que para a maioria dos casos, grande parte do desconforto por calor seria resolvida com o auxílio da ventilação. Por outro lado, sabe-se que a Edificação E dispõe de uma inércia térmica menor que as demais, mas também se sabe que ela apresentou uma

absortância mais elevada que os outros casos em grande parte de suas faces externas. Uma segunda observação que vale destaque é a lembrança de que a Edificação B foi a única ocupada constantemente; algo que poderia proporcionar uma melhor condição de ventilação, como um maior uso de equipamentos domésticos. Desta forma, ao se comparar a Edificação B com as demais de tijolo maciço (A1 e A2), percebe-se que esta primeira teve mais desvantagens por ter sido mecanicamente manipulada através de suas aberturas em relação às demais.

Tabela 15 – Porcentagem de horas encontradas com o Analysis BIO (verão).

Edificação		Analysis BIO (VERÃO)					
Identif.	Ambientes	CONFORTO (%)	DESCONFORTO (%)	VENTILAÇÃO (%)	ALTA INÉRCIA TÉRM. P/RESFR. (%)	RESFR. EVAPORATIVO (%)	AR CONDICIONADO (%)
			CALOR				
A1	sala e cozinha	82,30	17,70	17,70	10,30	9,90	0,16
	dormitório sudoeste	85,50	14,50	14,50	8,39	8,17	0,00
	<i>banheiro</i>	89,40	10,60	10,60	5,57	5,52	0,00
	dormitório sul 1	87,10	12,90	12,90	6,28	6,06	0,00
	dormitório sul 2	92,20	7,85	7,85	3,73	3,73	0,00
A2	sala e cozinha	88,20	11,80	11,80	9,31	8,82	0,00
	dormitório sul	90,00	10,00	10,00	5,59	5,53	0,00
	<i>banheiro</i>	80,80	19,20	19,20	3,73	3,73	0,00
	dormitório norte	88,00	12,00	11,90	7,36	7,09	0,00
B	<i>área de serviço</i>	71,80	28,20	26,90	12,50	11,00	0,81
	dormitório leste	75,30	24,70	23,30	14,20	11,90	1,14
	dormitório sul	81,20	18,80	18,70	10,80	10,10	0,00
	sala e cozinha	81,00	19,00	18,50	15,90	14,60	0,27
	<i>banheiro</i>	71,20	28,80	28,70	6,06	5,79	0,11
E	<i>banheiro (alv)</i>	60,30	39,70	31,90	17,70	16,00	7,39
	sala e cozinha	66,90	32,90	23,90	17,40	14,90	7,93
	dormitório leste	67,70	32,30	24,50	17,20	14,80	7,46
	dormitório sul	60,30	38,60	32,60	14,10	12,90	5,24
EXTERNO	IBIRAQUERA	44,40	53,00	49,00	15,10	12,60	2,60

ambiente de curta permanência

Na Tabela 16, apresentaram-se os dados referentes ao inverno, havendo uma nítida diferença quanto às novas porcentagens de conforto para as condições de frio. Assim, como na classificação de desempenho térmico segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a), indicou-se uma piora no desempenho térmico destas edificações para esta estação.

Voltando a questão da absorvância da Edificação E, observa-se na Tabela 16 na coluna de inércia térmica para aquecimento, que esta edificação de madeira – a mais leve – acabou por apresentar porcentagens menores que as Edificações A1, A2 e B – no caso, as mais pesadas. Logo, nota-se que novamente, ao se considerar uma avaliação de desempenho térmico, não há como visar apenas a variação

térmica interna, ou mesmo, apenas as propriedades dos componentes construtivos; pois sempre todo o conjunto edificado estará trabalhando junto para a geração resultante dos reflexos internos frente ao meio externo.

Tabela 16 – Porcentagem de horas encontradas com o Analysis BIO (inverno).

Edificação	Cômodos	Analysis BIO (INVERNO)						
		Identif.	Ambientes	CONFORTO (%)	DESCONFORTO (%)	VENTILAÇÃO (%)	DESCONFORTO (%)	ALTA INÉRC. TÉRM. P/AQ. E AQ. SOLAR (%)
CALOR	FRIO							
A1	sala e cozinha	27,70	0,60	0,60	71,70	49,90	19,90	2,01
	dormitório sudoeste	22,90	1,93	1,93	75,10	49,80	23,60	1,79
	<i>banheiro</i>	26,40	0,89	0,89	73,60	55,50	16,80	0,37
	dormitório sul 1	22,40	2,31	2,31	75,30	48,80	23,90	2,60
	dormitório sul 2	22,90	3,05	3,05	74,00	52,10	20,90	1,04
A2	sala e cozinha	29,00	0,30	0,30	70,70	50,50	18,50	1,71
	dormitório sul	25,80	0,82	0,82	73,40	50,10	21,30	1,93
	<i>banheiro</i>	22,80	2,75	2,75	74,50	52,40	21,10	1,04
	dormitório norte	30,70	0,97	0,97	68,40	51,40	16,20	0,74
B	<i>área de serviço</i>	27,70	2,46	2,46	69,90	50,70	16,10	3,05
	dormitório leste	29,60	2,23	2,23	68,20	50,50	15,20	2,46
	dormitório sul	23,90	1,71	1,71	74,40	51,60	19,80	3,05
	sala e cozinha	34,50	0,97	0,97	64,50	48,40	13,90	2,23
	<i>banheiro</i>	18,20	6,25	6,25	75,50	54,70	18,90	1,93
D	<i>área de serviço</i>	89,20	3,61	3,61	7,23	7,23	0,00	0,00
	dormitório oeste	47,50	8,06	8,06	44,40	36,70	7,78	0,00
	<i>banheiro</i>	31,90	25,30	25,30	42,80	33,10	9,72	0,00
	dormitório sudoeste	49,20	2,50	2,50	48,30	38,90	9,44	0,00
E	sala e cozinha	47,20	7,50	7,50	45,30	38,10	7,22	0,00
	<i>banheiro (alv)</i>	36,40	1,49	1,49	62,10	44,90	14,20	3,05
	sala e cozinha	31,80	1,79	1,79	66,40	42,10	17,20	7,07
	dormitório leste	30,00	1,26	1,26	68,80	44,50	18,30	5,95
EXTERNO	dormitório sul	27,40	0,97	0,97	71,70	43,00	19,60	9,08
	IBIRAQUERA	24,80	1,71	1,71	73,50	44,60	19,30	9,60

ambiente de curta permanência

No Apêndice G.1, é possível verificar as manchas decorrentes das demais plotagens dos dados de temperatura e umidade relativa do ar de todas as análises bioclimáticas expostas aqui neste item.

4.5 – Comparações entre as diferentes análises de desempenho térmico

Frente a estas análises, encaminha-se para uma comparação mais objetiva das diferenças entre os diagnósticos de desempenhos térmicos aqui expostos. Por conseguinte, os principais pontos de relevância serão discutidos e confrontados de forma a se expandir a visão de cada aspecto. Destes, expõem-se a ventilação, as propriedades termo-físicas e as condições internas de conforto e desconforto de cada cômodo.

4.5.1 – Aspectos ligados à ventilação natural

Tanto a NBR 15220 (ABNT, 2005) quanto a NBR 15575 (ABNT, 2008) adotam recomendações frente à área destinada às aberturas, assim como a análise bioclimática também expõe os momentos em que a ventilação foi a estratégia mais requisitada à condição climática decorrente. Desta forma, através da Tabela 17, observam-se as diferentes requisições de área de ventilação e a porcentagem de horas em que esta foi requisitada, segundo o Analysis BIO (LABEEE, 2004).

Conforme visto, a grande redução do limite aceitável da área de ventilação indicada pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005c), fez da NBR 15575-1 (ABNT, 2008a) uma exigência mais branda à questão. No entanto, ao se considerar as menores porcentagens de requisição de ventilação frente à avaliação bioclimática, vê-se que em sua maioria elas se associam às maiores proporções de área de ventilação (sala e cozinha/ Edificação E, por exemplo). As exceções se encontram na sala e cozinha da Edificação A1, que apesar da grande possibilidade de ventilação esteve fechada e com um volume capaz de armazenar mais calor.

Considerando-se que esta estratégia é um recurso requisitado em momentos de calor úmido e que apenas a Edificação B foi habitada nos momentos mais quentes, observa-se que a sala e a cozinha deste caso – ambiente com a segunda maior condição de ventilação – obtiveram uma das menores porcentagens de requisição de ventilação. A mesma observação não deve ser possível à área de serviço do mesmo caso, provavelmente, pela presença de um equipamento doméstico, como a máquina de lavar roupa. Também é de se esperar que ambientes que recebam uma menor quantidade de radiação solar necessitem de menor quantidade de trocas de ar, como foi o caso do dormitório sul da Edificação A2.

Por fim, pode-se notar que os resultados obtidos pela análise bioclimática foram mais claros frente às suas interpretações em relação às informações decorrentes da análise da NBR 15575-1 (ABNT, 2008a). Isto se deve, porque a classificação frente aos valores de área de ventilação quase não variou, e quando isso ocorreu, nem sempre ficou claro qual ponderação foi prejudicial ao ambiente analisado.

Tabela 17 – Comparativo entre métodos frente às análises de ventilação.

Edifício	Cômodos		Aberturas externas		Classificação do desempenho			Analysis BIO (VERÃO)	
	Ambientes	Dispositivo de sombra	Porta externa	(% em relação a área do piso)		Classificação	CONFORTO (%)	DESCONFORTO (%)	
				só janelas	portas e janelas			CALOR	VENTILAÇÃO (%)
A1	sala e cozinha		1	18,37	27,93	SUPERIOR	82,30	17,70	17,70
	dormitório sudoeste	SIM		11,85	11,85	SUPERIOR	85,50	14,50	14,50
	banheiro			6,78	6,78	SUPERIOR	89,40	10,60	10,60
	dormitório sul 1		1	13,71	13,71	SUPERIOR	87,10	12,90	12,90
A2	dormitório sul 2			12,93	12,93	SUPERIOR	92,20	7,85	7,85
	sala e cozinha		2	16,52	28,34	SUPERIOR	88,20	11,80	11,80
	dormitório sul	SIM		12,71	12,71	SUPERIOR	90,00	10,00	10,00
	banheiro			5,12	5,12	SUPERIOR	80,80	19,20	19,20
B	dormitório norte			9,11	9,11	SUPERIOR	88,00	12,00	11,90
	área de serviço		1	4,98	30,31	SUPERIOR	71,80	28,20	26,90
	dormitório leste			3,11	3,11	SUPERIOR	75,30	24,70	23,30
	dormitório sul	NÃO		2,83	2,83	SUPERIOR	81,20	18,80	18,70
C	sala e cozinha		1	3,41	13,17	SUPERIOR	81,00	19,00	18,50
	banheiro			2,90	2,90	SUPERIOR	71,20	28,80	28,70
	dormitório norte			13,82	13,82	INTERMEDIÁRIO	71,90	28,10	24,10
	sala e cozinha	SIM	1	11,27	21,79	SUPERIOR	71,10	28,90	26,60
E	banheiro			2,37	2,37	SUPERIOR	60,40	39,60	38,60
	dormitório leste			13,82	13,82	SUPERIOR	79,20	20,80	20,10
	banheiro (atv)			2,73	2,73	INTERMEDIÁRIO	60,30	39,70	31,90
	sala e cozinha	SIM	2	3,85	23,46	MÍNIMO	66,90	32,90	23,90
EXTERNO	dormitório leste			5,24	5,24	MÍNIMO	67,70	32,30	24,50
	dormitório sul			4,88	4,88	INTERMEDIÁRIO	60,30	38,60	32,60
IBIRAQUERA							44,40	53,00	49,00
ambiente de curta permanência		obrigatório	(15% < A < 25%)						
		NBR 15575	NBR 15220						

acima de 25% inclusos a recomendação

4.5.2 – Aspectos ligados às propriedades termo-físicas

Conforme visto ao longo deste trabalho, as propriedades térmicas dos componentes não asseguram o conforto no interior de uma edificação. Mas, tanto a norma de Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2005), quanto a norma para Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho (ABNT, 2008) especificam recomendações às propriedades dos componentes construtivos. Ambas, além do referencial numérico, cita também as características que os componentes devem ter.

Diferente do ocorrido com a ventilação, não parece que a norma de Edificações de até cinco pavimentos (ABNT, 2008) dê limites tão brandos das especificações citadas. Pelo menos frente à propriedade de transmitância térmica, que é a única que é determinada em ambas as normas. Por outro lado, elas parecem se complementarem, pois as principais referências das propriedades termo-físicas, como o fator de ganho de calor solar para elementos opacos, a resistência térmica, a capacidade térmica e o atraso térmico são especificados por pelo menos alguma delas. Daí, até as mesmas estarem coerentes uma com a outra para o mesmo zoneamento bioclimático há certo questionamento, apesar da NBR 15575 (ABNT, 2008) referenciar os requisitos da NBR 15220 (ABNT, 2005) como pré-requisitos.

No intuito de abranger esta discussão, acresce-se dos dados de inverno do Analysis BIO (LABEEE, 2004) por este citar a elevação da inércia térmica e o aquecimento solar passivo em suas sugestões de condicionamento de ambiente. Desta forma, com o auxílio da Tabela 18, nota-se que a quantidade de recomendações adequadas não pareceu vincular-se a uma maior ou menor porcentagem da análise bioclimática. Por outro lado, a orientação favorável a radiação do sol e a absorvância mais elevada da Edificação E indicaram serem questões relevantes. Inclusive, a Edificação B, que mostra muitas características similares às Edificações A1 e A2, mesmo com a oportunidade de interação por parte de seus usuários, também não demonstrou tanta relevância quanto à sua ocupação frente ao desempenho térmico encontrado.

Tabela 18 – Comparativo entre métodos frente às propriedades termo-físicas.

Edificação	Cômodos	Propriedades termo-físicas						Propriedades termo-físicas						Analysis BIC (VERÃO)															
		Componentes construtivos	Fator de ganho de calor solar de elementos opacos F _{so} (%)	Transmitância Térmica U [W/(m².K)]	Atraso Térmico w (horas)	Resistência Térmica R [(m².K)/W]	Transmitância Térmica U [W/(m².K)]	Capacidade Térmica CT [kJ/(m².K)]	CONFORTO (%)	DESCONFORTO (%)	VENTILAÇÃO (%)	ALTA INÉRCIA TÉRM. PRESFR. (%)	RESFR. EVAPORATIVO (%)	AR CONDICIONADO (%)	Componentes construtivos	F _{So} ≤ 5,0%	U ≥ 3,0W/(m².K)	R < 0,5(m²K)/W	U ≤ 2,5W/(m²K)	C _T ≥ 130kJ/m²K	CONFORTO (%)	DESCONFORTO (%)	VENTILAÇÃO (%)	ALTA INÉRCIA TÉRM. PRESFR. (%)	RESFR. EVAPORATIVO (%)	AR CONDICIONADO (%)			
A1	sala e cozinha	fechamento vertical	7,10	3,70	2,4	0,27	3,70	149,00	82,30	17,70	17,70	10,30	9,90	0,16															
	dormitório sudoeste																												
	banheiro	cobertura	4,40	2,00	1,3	0,50	2,00	32,00	85,50	14,50	14,50	8,39	8,17	0,00															
	dormitório sul 1	S																											
A2	dormitório sul 2	S	19,53	5,88	0,06	0,17	5,88	4,15	92,20	7,85	7,85	3,73	3,73	0,00															
	sala e cozinha	fechamento vertical	7,10	3,70	2,4	0,27	3,70	149,00	88,20	11,80	11,80	9,31	8,82	0,00															
	dormitório sul	SO																											
	banheiro	cobertura	4,40	2,00	1,3	0,50	2,00	32,00	90,00	10,00	10,00	5,59	5,53	0,00															
B	dormitório norte	N	19,53	5,88	0,06	0,17	5,88	4,15	88,00	12,00	12,00	7,36	7,09	0,00															
	área de serviço	O	4,93	3,70	2,4	0,27	3,70	149,00	71,80	26,20	26,20	12,50	11,00	0,81															
	dormitório leste	L																											
	dormitório sul	S	3,79	2,00	1,3	0,50	2,00	32,00	75,30	24,70	24,70	14,20	11,90	1,14															
C	sala e cozinha	portas e caixilhos	19,53	5,88	0,06	0,17	5,88	4,15	81,20	18,80	19,00	15,90	14,60	0,27															
	banheiro	SE																											
	dormitório norte	N	4,70	2,48	3,3	0,40	2,48	159,00	71,90	28,10	28,10	16,10	14,00	1,91															
	sala e cozinha	SO																											
E	banheiro	NE	6,68	3,75	1,3	0,27	3,75	32,00	60,40	39,60	7,30	6,70	0,93																
	dormitório leste	L	19,19	5,68	0,06	0,17	5,68	4,15	79,20	20,80	20,10	13,70	12,40	0,71															
	banheiro (alv)	NE	13,58/5,75	3,89/2,48	0,83/3,3	0,28/	3,89/2,48	20,11/159	60,30	39,70	31,90	17,70	16,00	7,39															
	sala e cozinha	NO	4,88	2,34	1,3	0,43	2,34	21,87	66,90	32,90	23,90	17,40	14,90	7,93															
EXTERNO	dormitório leste	L							67,70	32,30	17,20	14,80	7,46																
	dormitório sul	S	19,19	5,68	0,06	0,17	5,68	4,15	60,30	38,60	14,10	12,90	5,24																
	IBIRACUERA								44,40	53,00	49,00	15,10	2,60																
	ambiente de curta permanência	parede (leve)	F _{So} ≤ 5,0%	U ≥ 3,0W/(m².K)	φ ≥ 4,3horas	R < 0,5(m²K)/W	U ≤ 2,5W/(m²K)	C _T ≥ 130kJ/m²K																					
		cobertura (leve)	F _{So} ≤ 6,5%	U ≥ 2,0W/(m².K)	φ ≥ 3,3horas	R < 0,5(m²K)/W	U ≤ 2,3W/(m²K)	C _T ≥ 150kJ/m²K																					

Complementam-se estas informações, relembra-se que a Edificação D teve os seus dados colhidos em um período mais curto que as demais, no entanto, o seu tom mais escuro parece também ter contribuído no resultado de seu desempenho térmico.

4.5.3 – Coerência entre a classificação de desempenho térmico e a análise de graus-hora

Neste item, averigua-se a coerência entre as informações da classificação de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2008a) e a análise de graus-hora. Isto porque, ambas lidam apenas com a temperatura, ou seja, os dados da umidade relativa do ar não entram diretamente na computação desta avaliação. No entanto, destaca-se que este método da norma apresenta uma faixa de conforto térmico dinâmica, pois seus limites seguem a variação das temperaturas máximas ou mínimas externas, conforme observado no Apêndice F. Já a análise de graus-hora lida com a temperatura base (T_b) que é fixa, onde neste caso, adotaram-se os limites já citados de 18°C e 29°C (GIVONI, 1992).

Apesar desta diferença, ambos os conceitos aparentaram seguir a mesma lógica para o período de verão (Tabela 19), onde a classificação tida como SUPERIOR equivaliu às porcentagens mais elevadas de conforto (entre 100% e 88%) e a INTERMEDIÁRIA (87% a 85%) e MÍNIMA (abaixo de 84%) as porcentagens mais baixas.

Ao se anexar a relação de grau médio, análise usada como complemento das informações de graus-hora, nota-se que os cômodos com maior quantia de horas de sol tiveram os valores mais elevados de grau médio. Tal informação poderia também ser vinculada com mais ênfase a quantidade de propriedades térmicas fora das recomendações da norma, caso a amostragem fosse mais representativa; pois se sabe que quanto menor a adequação dos componentes, maior a chance destes terem um pior rendimento frente à manutenção do conforto térmico, a exemplo da Edificação E.

No caso do monitoramento de inverno, não foi possível chegar a maiores conclusões, pois todos os exemplares foram classificados como insatisfatórios, logo, não houve base suficiente para qualquer referência entre os métodos (Tabela 20). O comentário descarta a Edificação D, pois conforme visto anteriormente, seu período de monitoramento não equivaliu exatamente ao mesmo período que os demais casos.

Tabela 19 – Comparativo entre métodos frente às análises de desempenho térmico (NBR 15575-1 versus graus-hora/ verão).

Edificação		Classificação do desempenho térmico										GRAUS-HORA E GRAU MÉDIO					
Identif.	Ambientes	Dia Montl #	Data dia mês ano	Temperatura		Temperatura MAX_INT (°C)	Temperatura MAX_EXT (°C)	Amortecimento (%)	Amortecimento encontrado em relação ao esperado (%)			Classificação	VERÃO (T _b = 29°C)	DESCONFORTO (%)	CONFORTO (%)	HORAS EM DESCONF. (T _b = 29°C)	GRAU MÉDIO (T _b = 29°C)
				ENCONTRADO	MINÍMO				INTERMEDIÁRIO	SUPERIOR							
A1	sala e cozinha	37	12 mar	27,91	33,17	27,91	15,86	15,86	9,83	3,80	SUPERIOR	43	3	97	64	0,67	
	dormitório sudoeste			27,52	17,03	17,03	17,03	11,00	4,97	SUPERIOR	15	2	98	36	0,40		
	banheiro			26,34	20,59	20,59	14,56	8,53	6,53	SUPERIOR	4	1	99	15	0,26		
	dormitório sul 1			27,52	17,03	17,03	11,00	4,97	4,97	SUPERIOR	8	1	99	23	0,36		
A2	dormitório sul 2			26,73	19,42	19,42	13,39	7,36	6,18	SUPERIOR	0	0	100	0	0,00		
	sala e cozinha			27,12	18,24	18,24	12,21	6,18	3,80	SUPERIOR	35	3	97	47	0,75		
	dormitório sul			27,91	15,86	15,86	9,83	3,80	7,36	SUPERIOR	7	1	99	15	0,49		
	banheiro			26,73	19,42	19,42	13,39	7,36	4,97	SUPERIOR	7	1	99	14	0,49		
B	dormitório norte			27,52	17,03	17,03	11,00	4,97	4,97	SUPERIOR	32	2	98	39	0,82		
	área de serviço			28,70	13,48	13,48	7,45	1,42	1,42	SUPERIOR	216	10	90	188	1,15		
	dormitório leste			27,91	15,86	15,86	9,83	3,80	3,80	SUPERIOR	214	10	90	184	1,16		
	dormitório sul			26,73	19,42	19,42	13,39	7,36	7,36	SUPERIOR	60	5	95	84	0,72		
	sala e cozinha			27,91	15,86	15,86	9,83	3,80	3,80	SUPERIOR	113	6	94	109	1,04		
	banheiro			26,34	20,59	20,59	14,56	8,53	8,53	SUPERIOR	26	2	98	46	0,57		
C	dormitório norte			29,50	11,06	11,06	5,03	-0,99	-0,99	INTERMEDIÁRIO	356,54	12,72	87	235	1,52		
	sala e cozinha			28,31	14,65	14,65	8,62	2,59	2,59	SUPERIOR	245,21	11,63	88	215	1,14		
	banheiro			26,73	19,42	19,42	13,39	7,36	7,36	SUPERIOR	103,08	6,66	93	123	0,84		
	dormitório leste			27,52	17,03	17,03	11,00	4,97	4,97	SUPERIOR	122,80	7,47	93	138	0,89		
E	banheiro (alv)			29,90	9,86	9,86	3,83	-2,20	-2,20	INTERMEDIÁRIO	529	18	82	330	1,60		
	sala e cozinha			31,52	4,97	4,97	-1,06	-7,08	-7,08	MINÍMO	748	17	83	314	2,38		
	dormitório leste			31,52	4,97	4,97	-1,06	-7,08	-7,08	MINÍMO	646	16	84	292	2,21		
	dormitório sul			29,50	11,06	11,06	5,03	-0,99	-0,99	INTERMEDIÁRIO	434	14	86	253	1,71		
EXTERNO	IBRAQUERA										519,63	14,66	85	270	1,92		
		NER 15575															
		CONDICÃO		TEMP_INT ESPERADA			TEMP_INT ESPERADA			CONDICÃO							
		AMORT. ESPERADA (%)		AMORT. ESPERADA (%)			AMORT. ESPERADA (%)			AMORT. ESPERADA (%)							
		ambiente de cura		ambiente de cura			ambiente de cura			ambiente de cura							
		permanência		permanência			permanência			permanência							
		VERÃO		VERÃO			VERÃO			VERÃO							
		33,17		33,17			33,17			33,17							
		0		0			0			0							
		29,17		29,17			29,17			29,17							
		12,06		12,06			12,06			12,06							

Tabela 20 – Comparativo entre métodos frente às análises de desempenho térmico (NBR 15575-1 versus graus-hora/ inverno).

Edificação		Classificação do desempenho térmico										GRAUS-HORA E GRAU MÉDIO				
Identif.	Ambientes	Temperatura		Amortecimento (%)		Amortecimento encontrado em relação ao esperado (%)			Classificação	INVERNO (T _b = 18°C)	DESCONFORTO (%)	CONFORTO (%)	HORAS EM DESCONF. (T _b = 18°C)	GRAU MÉDIO (T _b = 18°C)		
		MÍN. INT. (°C)	ENCONTRADO	MÍNIMO	INTERMEDIÁRIO	SUPERIOR										
A1	sala e cozinha	12,93	13,62	12,74	30,32	47,89	INSA TISFA TORIO	2956	69	31	931	3,18				
	dormitório sudeste	12,93	13,62	12,74	30,32	47,89	INSA TISFA TORIO	3198	72	28	972	3,29				
	banheiro	13,32	17,05	9,31	26,89	44,46	INSA TISFA TORIO	2792	71	29	953	2,93				
	dormitório sul 1	12,93	13,62	12,74	30,32	47,89	INSA TISFA TORIO	3355	73	27	981	3,42				
	dormitório sul 2	13,32	17,05	9,31	26,89	44,46	INSA TISFA TORIO	3071	72	28	969	3,17				
A2	sala e cozinha	12,93	13,62	12,74	30,32	47,89	INSA TISFA TORIO	2897	69	31	925	3,13				
	dormitório sul	12,93	13,62	12,74	30,32	47,89	INSA TISFA TORIO	3110	72	28	962	3,23				
	banheiro	13,32	17,05	9,31	26,89	44,46	INSA TISFA TORIO	3051	71	29	956	3,19				
	dormitório norte	13,32	17,05	9,31	26,89	44,46	INSA TISFA TORIO	2638	66	34	892	2,96				
	área de serviço	12,93	13,62	12,74	30,32	47,89	INSA TISFA TORIO	2742	64	36	866	3,17				
B	dormitório leste	13,32	17,05	9,31	26,89	44,46	INSA TISFA TORIO	2581	64	36	864	2,99				
	dormitório sul	13,32	17,05	9,31	26,89	44,46	INSA TISFA TORIO	3118	71	29	949	3,29				
	sala e cozinha	12,93	13,62	12,74	30,32	47,89	INSA TISFA TORIO	2409	61	39	823	2,93				
	banheiro	13,32	17,05	9,31	26,89	44,46	INSA TISFA TORIO	2943	70	30	941	3,13				
	área de serviço	19,04	4,16	12,25	23,19	34,14	INSA TISFA TORIO	0	0	100	0	0,00				
D	dormitório oeste	19,42	6,24	10,18	21,12	32,06	INSA TISFA TORIO	360	36	64	128	2,81				
	banheiro	20,19	10,45	5,96	16,90	27,84	INSA TISFA TORIO	373	37	63	133	2,80				
	dormitório sudeste	18,66	2,08	14,33	25,27	36,21	INSA TISFA TORIO	447	40	60	145	3,09				
	sala e cozinha	18,66	2,08	14,33	25,27	36,21	INSA TISFA TORIO	271	32	68	116	2,34				
	banheiro (atv)	13,32	17,05	9,31	26,89	44,46	INSA TISFA TORIO	2503	60	40	809	3,09				
E	sala e cozinha	12,55	10,28	16,08	33,66	51,23	INSA TISFA TORIO	3215	64	36	852	3,77				
	dormitório leste	12,55	10,28	16,08	33,66	51,23	INSA TISFA TORIO	3158	65	35	876	3,60				
	dormitório sul	11,77	3,43	22,93	40,51	58,08	INSA TISFA TORIO	3774	68	32	917	4,12				
EXTERNO	IBIRAQUERA											3840/90	66,96	33	900/00	4,27
ambiente de curta permanência	NBR 15575	CONDIÇÃO		T _{INT.MÍN.} ≥ T _{EMIN.} +3°C	T _{INT.MÍN.} ≥ T _{EMIN.} +5°C	T _{INT.MÍN.} ≥ T _{EMIN.} +7°C										
		TEMP. INT. ESPERADA	14,38	16,38	18,38											
		AMORT. ESPERADA (%)	26,36	43,94	61,51											
		TEMP. INT. ESPERADA	21,28	23,28	25,28											
set	AMORT. ESPERADA (%)	16,41	27,35	38,29												

4.5.4 – Coerência entre a classificação de desempenho térmico e a análise bioclimática

A adição da umidade relativa do ar na análise bioclimática para a verificação do conforto térmico trouxe muita diferença em relação à comparação anterior, pois as porcentagens de conforto deste método não demonstraram uma similaridade em relação à classificação de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2008a). Na Tabela 21, nota-se que os maiores amortecimentos encontrados, da ordem de 18,24% a 19,42% da temperatura máxima externa, como foi o caso do dormitório sul 2 da Edificação A1, da sala e da cozinha da Edificação A2, ou mesmo do dormitório sul da Edificação B, mostraram-se com uma porcentagem de conforto muito variada para a análise bioclimática. E isto, sem considerar alguns ambientes de curta permanência que com os mesmos valores de amortecimento chegaram a porcentagens de conforto ainda mais reduzidas (banheiro da Edificação C). Por conseguinte, novamente se observou que o aprimoramento da avaliação por conta da consideração da umidade relativa do ar aperfeiçoa a análise de desempenho térmico.

Ainda com a mesma situação, a análise decorrente do inverno impossibilitou maiores compreensões frente à verificação da relação entre os dois métodos. No entanto, não há como ignorar que as baixas porcentagens da análise bioclimática para o período de inverno não sejam classificadas como insatisfatórias, assim como o método da norma os fez (Tabela 22). Tal afirmação se dá com base no fato de nenhum ambiente de longa permanência ter excedido um terço do tempo do monitoramento em conforto térmico.

Tabela 21 – Comparativo entre métodos frente às análises de desempenho térmico (NBR 15575-1 versus Analysis BIO/ verão).

Edificação		Cômodos		Classificação do desempenho térmico										Analysis BIO (VERÃO)					
Identif.	Ambientes	Temperatura		Amortecimento (%)		Amortecimento encontrado em relação ao esperado (%)				Classificação	COMFORTO (%)	DESCONFORTO (%)		VENTILAÇÃO (%)	ALTA INÉRCIA TÉRM. P/RESFR. (%)	RESFR. EVAPORATIVO (%)	AR CONDICIONADO (%)		
		MÁX. INT. (°C)	ENCONTRADO	MÍNIMO	INTERMEDIÁRIO	SUPERIOR	CALOR												
A1	sala e cozinha	27,91	15,86	15,86	9,83	3,80	82,30	17,70	17,70	10,30	9,90	0,16	SUPERIOR	85,50	14,50	8,39	8,17	0,00	
	dormitório sudoeste	27,52	17,03	17,03	11,00	4,97	89,40	10,60	10,60	5,57	5,52	0,00		89,40	10,60	5,57	5,52	0,00	
	banheiro	26,34	20,59	20,59	14,56	8,53	87,10	12,90	12,90	6,28	6,06	0,00		92,20	7,85	7,36	3,73	0,00	
	dormitório sul 1	27,52	17,03	17,03	11,00	4,97	88,20	11,80	11,80	9,31	8,82	0,00		90,00	10,00	5,59	5,53	0,00	
A2	dormitório sul 2	27,12	18,24	18,24	12,21	6,18	80,80	19,20	19,20	3,73	3,73	0,00	88,00	12,00	7,36	7,09	0,00		
	sala e cozinha	27,91	15,86	15,86	9,83	3,80	71,80	28,20	28,20	12,50	11,00	0,81	75,30	24,70	14,20	11,90	1,14		
B	dormitório sul	26,73	19,42	19,42	13,39	7,36	81,20	18,80	18,80	10,80	10,10	0,00	81,00	19,00	15,90	14,60	0,27		
	dormitório norte	27,52	17,03	17,03	11,00	4,97	71,20	28,80	28,80	6,06	5,79	0,11	71,20	28,80	7,10	24,10	14,50	13,40	3,87
	área de serviço	28,70	13,48	13,48	7,45	1,42	71,90	28,10	24,10	14,50	13,40	3,87	71,90	28,10	16,10	14,00	1,91		
	dormitório leste	27,91	15,86	15,86	9,83	3,80	60,40	39,60	39,60	7,30	6,70	0,93	60,40	39,60	38,60	7,30	6,70	0,93	
C	dormitório sul	26,73	19,42	19,42	13,39	7,36	79,20	20,80	20,80	13,70	12,40	0,71	79,20	20,80	17,70	16,00	7,39		
	sala e cozinha	27,91	15,86	15,86	9,83	3,80	66,90	32,90	32,90	17,40	14,90	7,93	66,90	32,90	17,20	14,80	7,46		
	banheiro	26,34	20,59	20,59	14,56	8,53	60,30	39,70	39,70	17,70	16,00	7,39	60,30	39,70	17,20	14,80	7,46		
	dormitório norte	29,50	11,06	11,06	5,03	-0,99	60,30	39,70	39,70	17,70	16,00	7,39	60,30	39,70	17,20	14,80	7,46		
E	sala e cozinha	31,52	4,97	4,97	-1,06	-7,08	66,90	32,90	32,90	17,40	14,90	7,93	66,90	32,90	17,20	14,80	7,46		
	dormitório leste	31,52	4,97	4,97	-1,06	-7,08	67,70	32,30	32,30	24,50	14,80	7,46	67,70	32,30	17,20	14,80	7,46		
	dormitório sul	29,50	11,06	11,06	5,03	-0,99	60,30	39,70	39,70	17,70	16,00	7,39	60,30	39,70	17,20	14,80	7,46		
	IBIRAQUERA	29,50	11,06	11,06	5,03	-0,99	44,40	53,00	53,00	15,10	12,60	2,60	44,40	53,00	49,00	15,10	12,60	2,60	
EXTERNO	ambiente de curta permanência	CONDICÃO		T _{INT.MÁX.} ≤ T _{EXT.MÁX.} - 2°C				T _{INT.MÁX.} ≤ T _{EXT.MÁX.} - 4°C											
		TEMP. AMT. ESPERADA	33,17	0	31,17	6,03	12,06												
VERÃO		CONDICÃO		T _{INT.MÁX.} ≤ T _{EXT.MÁX.} - 2°C				T _{INT.MÁX.} ≤ T _{EXT.MÁX.} - 4°C											
VERÃO		CONDICÃO		T _{INT.MÁX.} ≤ T _{EXT.MÁX.} - 2°C				T _{INT.MÁX.} ≤ T _{EXT.MÁX.} - 4°C											
VERÃO		CONDICÃO		T _{INT.MÁX.} ≤ T _{EXT.MÁX.} - 2°C				T _{INT.MÁX.} ≤ T _{EXT.MÁX.} - 4°C											

Tabela 22 – Comparativo entre métodos frente às análises de desempenho térmico (NBR 15575-1 versus Analysis BIO/ inverno).

Edificação	Cômodos	Classificação do desempenho térmico										Analysis BIO (INVERNO)																	
		Temperatura MÍN. int (°C)	Amortecimento (%) ENCONTRADO	Amortecimento (%) MÍNIMO	Amortecimento encontrado em relação ao esperado (%) INTERMEDIÁRIO	SUPERIOR	Classificação	CONFORTO (%)	DESCONFORTO (%) CALOR	VENTILAÇÃO (%)	DESCONFORTO (%) FRIO	ALTA INERC. TERM. P/AQ. E AQ. SOLAR (%)	AQ. SOLAR PASSIVO (%)	AQ. ARTIFICIAL (%)															
A1	sala e cozinha	12,93	13,62	12,74	30,32	47,89	INSATISFATORIO	27,70	0,60	0,60	71,70	49,90	19,90	2,01															
	dormitório sudoeste	12,93	13,62	12,74	30,32	47,89	INSATISFATORIO	22,90	1,93	1,93	75,10	49,80	23,60	1,79															
	banheiro	13,32	17,05	9,31	26,89	44,46	INSATISFATORIO	26,40	0,89	0,89	73,60	55,50	16,80	0,37															
	dormitório sul 1	12,93	13,62	12,74	30,32	47,89	INSATISFATORIO	22,40	2,31	2,31	75,30	48,80	23,90	2,60															
A2	dormitório sul 2	13,32	17,05	9,31	26,89	44,46	INSATISFATORIO	22,90	3,05	3,05	74,00	52,10	20,90	1,04															
	sala e cozinha	12,93	13,62	12,74	30,32	47,89	INSATISFATORIO	29,00	0,30	0,30	70,70	50,50	18,50	1,71															
	dormitório sul	12,93	13,62	12,74	30,32	47,89	INSATISFATORIO	25,80	0,82	0,82	73,40	50,10	21,30	1,93															
	banheiro	13,32	17,05	9,31	26,89	44,46	INSATISFATORIO	22,80	2,75	2,75	74,50	52,40	21,10	1,04															
B	dormitório norte	12,93	13,62	12,74	30,32	47,89	INSATISFATORIO	30,70	0,97	0,97	68,40	51,40	16,20	0,74															
	área de serviço	12,93	13,62	12,74	30,32	47,89	INSATISFATORIO	27,70	2,46	2,46	69,90	50,70	16,10	3,05															
	dormitório leste	13,32	17,05	9,31	26,89	44,46	INSATISFATORIO	29,60	2,23	2,23	68,20	50,50	15,20	2,46															
	dormitório sul	13,32	17,05	9,31	26,89	44,46	INSATISFATORIO	23,90	1,71	1,71	74,40	51,60	19,60	3,05															
D	sala e cozinha	12,93	13,62	12,74	30,32	47,89	INSATISFATORIO	34,50	0,97	0,97	64,50	48,40	13,90	2,23															
	banheiro	13,32	17,05	9,31	26,89	44,46	INSATISFATORIO	18,20	6,25	6,25	75,50	54,70	18,90	1,83															
	área de serviço	19,04	4,16	12,25	23,19	34,14	INSATISFATORIO	89,20	3,61	3,61	7,23	7,23	0,00	0,00															
	dormitório oeste	19,42	6,24	10,18	21,12	32,05	INSATISFATORIO	47,50	8,06	8,06	44,40	36,70	7,78	0,00															
E	banheiro	20,19	10,45	5,96	16,90	27,84	INSATISFATORIO	31,90	25,30	25,30	42,80	38,10	9,72	0,00															
	dormitório sudoeste	18,66	2,08	14,33	25,27	36,21	INSATISFATORIO	49,20	2,50	2,50	48,30	38,90	9,44	0,00															
	sala e cozinha	18,66	2,08	14,33	25,27	36,21	INSATISFATORIO	47,20	7,50	7,50	45,30	38,10	7,22	0,00															
	banheiro (lav)	13,32	17,05	9,31	26,89	44,46	INSATISFATORIO	36,40	1,49	1,49	62,10	44,90	14,20	3,05															
EXTERNO	sala e cozinha	12,55	10,28	16,08	33,66	51,23	INSATISFATORIO	31,80	1,79	1,79	66,40	42,10	17,20	7,07															
	dormitório leste	12,55	10,28	16,08	33,66	51,23	INSATISFATORIO	30,00	1,26	1,26	68,00	44,50	18,30	5,96															
dormitório sul		11,77	3,43	22,93	40,51	58,08	INSATISFATORIO	27,40	0,97	0,97	71,70	43,00	19,60	9,08															
IBRAQUERA												24,80	1,71	1,71	73,50	44,80	19,30	9,60											
ambiente de curta permanência		CONDICÃO										TEMP. int Esperada +3°C						TEMP. int Esperada +5°C						TEMP. int Esperada +7°C					
jul		TEMP. int ESPERADA										14,38						16,38						18,38					
set		AMORT. ESPERADO (%)										26,36						43,94						61,51					
		TEMP. int ESPERADA										21,28						23,28						25,28					
		AMORT. ESPERADO (%)										16,41						27,35						38,29					

4.6 – Considerações finais

Frente à base de dados avaliada, observaram-se informações pertinentes ao clima e às edificações selecionadas. Para a variação térmica externa às edificações, identificou-se um verão menos rígido que o inverno, efeito este que se propagou às respostas das análises de desempenho térmico. Frente à variação térmica interna, identificou-se a classificação de desempenho térmico que foi acompanhada pelas respostas da análise de graus-hora. No entanto, viu-se que pela forma de consideração da análise bioclimática, onde se adota a umidade relativa do ar de forma direta ao diagnóstico, notou-se uma importante diferença às respostas de conforto e desconforto encontradas inicialmente.

A inadequação de muitos componentes construtivos ao clima local pode ter favorecido a insatisfação quanto ao desempenho térmico ao longo das estações de monitoramento, justamente por uma maior dificuldade de manutenção do calor interno ou mesmo de sua perda. No entanto, acredita-se que para afirmações mais precisas haveria a necessidade de uma maior quantidade de dados, fosse um tempo maior de acompanhamento interno e externo das edificações, fosse um maior número de casos estudados.

O cruzamento das diferentes formas de análise de desempenho térmico mostrou certa coerência entre os métodos. Porém, análises mais completas às relevâncias de uma sensação de conforto térmico, como a presença da umidade relativa do ar que fora citada, colocaram em dúvida algumas respostas das análises referenciadas apenas pelo uso das temperaturas.

5.1 – Conclusões gerais

Este capítulo se refere às conclusões que são extraídas de toda experiência resultante desta pesquisa, onde se verifica o êxito quanto aos objetivos iniciais. Comentam-se os resultados expostos no capítulo anterior, citam-se as limitações encontradas ao longo da experiência, e ainda, sugerem-se continuidades desta prática para pesquisas futuras.

No trabalho se promoveu uma prática da compreensão do comportamento térmico de alguns exemplares, cujo principal objetivo foi avaliar o desempenho térmico de habitações populares localizadas em uma zona rural do município de Imbituba (SC). De forma geral, conclui-se que o objetivo foi atingido não apenas pelas avaliações e classificações, como por seus complementos a um diagnóstico mais amplo dos resultados aqui encontrados.

Frente à caracterização dos parâmetros mais relevantes dos componentes construtivos, observa-se que as normas indicam caminhos precisos para as quantificações necessárias, além de exporem as propriedades de maior relevância ao que irá influenciar nos resultados interno aos casos. Porém, notou-se que algumas propriedades têm maior representação que outras, como por exemplo: a área de ventilação e a absorvância das faces externas. No entanto, individualmente cada uma delas não teria grande significado, pois se conclui que só a visão do envelope construtivo como um todo é que pode trazer reais compreensões do desempenho térmico resultante.

Dentre os parâmetros de relevância, vale se destacar que a tentativa de igualar alguns pontos, como o perfil de uso, o mesmo tipo de cobertura e a mesma envoltória da edificação permitiram melhor assimilação dos fatores de influência que se diferiam entre os casos. Algo perceptível ao se comparar os dados obtidos nas diversas análises feitas ao longo da metodologia aplicada.

Outra questão de suma importância foi a utilização de períodos significativos das condições de calor e frio, no caso, as estações de verão e inverno. Tal afirmação decorre de nos dois casos haver uma continuidade da intensidade de seus fatores negativos. Em outras palavras, pode-se dizer que no verão o calor

persiste por grande parte do tempo, ao contrário do inverno, que com noites mais longas e temperaturas mais baixas criem sua particularidade. Este perfil climático salientou as potencialidades e dificuldades de cada edificação, tornando mais salientes ponderações necessárias à real interpretação do desempenho térmico encontrado no estudo de casos. Apesar da rigidez de cada um dos períodos ter sido diferentes entre si frente à zona tida como confortável de Givoni (1992), ambas se mostraram condizentes às estações que representaram.

Com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005c) foi possível uma ponderação da adequação ao clima de cada um dos casos estudados. No entanto, seus valores de referência – as propriedades termo-físicas recomendadas a cada zoneamento bioclimático – não definiram de forma plena ambientes com melhor ou pior desempenho térmico. Mas, serviram sim como uma forma de se ponderar quais os valores encontrados estavam em quantias altas ou baixas para determinado componente construtivo. Devido a isso, gerou-se uma melhor interpretação do que foi encontrado nas edificações selecionadas. Por mais que para uma mesma zona bioclimática a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a) e a NBR 15220-3 (ABNT, 2005c) possam ter recomendado diferentes valores à transmitância térmica (U), pode-se diferir qual a mais branda, logo, seu efeito.

Especificamente quanto a classificação de desempenho térmico gerada a partir da NBR 15575-1 (ABNT, 2008a), afirma-se que esta não é tão precisa, pois o mesmo nível classificatório foi encontrado para edificações de diferentes quantidades de horas em conforto e desconforto. Com o auxílio comparativo de outras análises de mesmo objetivo foi possível de se notar algumas diferenças. Como primeiro exemplo, cita-se a comparação entre a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a) com a análise bioclimática. Por mais que uma dê uma classificação e a outra uma porcentagem como respostas, observou-se que a norma não deu uma ponderação tão clara quando a avaliação decorrente do programa computacional Analysis BIO (LABEEE, 2004). Há a hipótese da quantidade de dados de monitoramento não terem sido suficientes a uma precisa definição do que o clima externo estaria ali representando, pois a recomendação de se utilizar um Dia Típico e não um Dia de Referência, como foi o caso deste trabalho, pode ter gerado tal inconveniência. Por outro lado, sabe-se que nem sempre há a disponibilidade de se obter dados tão precisos e representativos de diferentes regiões geográficas do Brasil. Isso ganha ainda mais relevância ao se considerar o mesmo perfil de análise, pois aqui não

houve uma simulação computacional de uma edificação a ser construída, mas sim uma busca pela interpretação do desempenho térmico de edificações já executadas. Tal diferença, segundo a própria norma, induz a um trabalho de coleta *in situ*, logo, não há como imaginar que se terá um tempo tão condizente a um extenso tempo de monitoramento das condições locais. Ao se relevar as opções que este acompanhamento possa ter em diferenças como casas habitadas ou desabitadas a questão pode ser ainda mais discutível.

Ainda no relato das conclusões frente aos objetivos específicos, cita-se o grande valor que os demais diagnósticos paralelos à classificação do desempenho térmico trouxeram à pesquisa. Isto se refere não apenas a análise bioclimática já abordada, como também à análise de graus-hora junta a de grau médio. Apesar de este segundo método ter se aproximado mais da simplicidade de resposta da NBR 15575-1 (ABNT, 2008a), também teve sua importância ao confirmar a importância de aspectos como área de fachada, tempo de radiação direta e capacidade de armazenagem de calor. Tais informações não só esmiuçaram estes fatores de importância, mas também confirmaram tendências importantes às conclusões de diagnóstico do desempenho térmico dos casos selecionados.

Por fim, confirmou-se que cada uma das formas de avaliação do desempenho térmico tem suas vantagens e desvantagens, ao mesmo tempo em que ficou claro que por terem o mesmo intuito todas as respostas encontradas se complementaram. Pode-se afirmar também que por mais branda que qualquer uma das avaliações possa ter sido, nenhuma pareceu ser incoerente, pois de toda forma o que se pode observar seguia a mesma tendência.

5.2 – Limitações do trabalho

A primeira observação quanto à limitação deste trabalho é a respeito de sua amostragem. Sua ampliação não só elucidaria muitas das informações encontradas, como também traria mais convicção às informações aqui expostas. Da mesma forma, que a ampliação do período de monitoramento, também poderia trazer mais benefícios dessa mesma ordem de convicção das afirmações.

O fato de se lidar com uma grande diversidade de interesses, como as dos próprios moradores e pesquisadores, também foi um ponto de grande dificuldade, algo que ainda foi agravado conforme mais pessoas se envolviam aos casos. Claro que não se direciona a questão a um intuito de má fé por qualquer uma das partes, mas que pela diversidade de diferentes pontos de vista e referências, todo o trabalho acabou por não receber o mesmo valor dessa bipolaridade dos envolvidos.

A definição dos aspectos encontrados dos componentes das edificações também poderia ser mais elaborada. Primeiro pelo seu diagnóstico se originar por mais de uma fonte, e segundo, pelos resultados terem visado mais o resultado térmico interno em relação às condições externas. Talvez uma ampliação dos parâmetros observados como temperatura radiante ou até de superfícies poderiam ser alguns dos caminhos, mas com certeza um melhor detalhamento e diagnóstico dos elementos construtivos poderiam trazer maiores elucidaciones destes casos.

Cita-se também a diversidade de forma, ocupação e orientação dos casos, algo que por um lado expõe a diversidade encontrada na realidade construtiva e ao mesmo tempo dificulta maiores comparações e afirmações. Mas, conforme comentado já na revisão bibliográfica, a compreensão de bons exemplares existentes, por vezes, pode já ser um excelente aprendizado ao aprimoramento de futuras construções.

5.3 – Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestões para trabalhos futuros acerca do tema da avaliação do desempenho térmico de edificações de interesse social, pode-se investigar:

- Uma maior quantidade de exemplares, a fim de se encontrar não apenas uma maior quantidade de referências às análises, como às situações comuns aos casos;
- A ampliação da diversidade de técnicas construtivas que se mostra como algo de interesse, principalmente, se entre estas técnicas encontrarem-se edificações consideradas de baixo impacto ou de poucos agregados industrializados;

- Habitações que não estejam apenas habitadas, mas que também exerçam a mesma rotina de ocupação e;
- Edificações de outras funções que não a residencial, que não estejam em meios rurais e sim em áreas suburbanas ou mesmo em áreas urbanas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades.** Rio de Janeiro, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro, 2005b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro, 2005c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro, 2008a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas.** Rio de Janeiro, 2008b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas.** Rio de Janeiro, 2008c.

AKUTSU, M.; VITTORINO, F. Critérios para a definição de níveis de desempenho térmico de edificações. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENCAC), 2, Florianópolis, 1993. **Anais.** CD-ROM.

AKUTSU, M.; VITTORINO, F.; YOSHIMOTO, M. Método expedito para avaliação do desempenho térmico de habitações. In: ENCAC, 3, Gramado, 1995. **Anais**. CD-ROM.

AL-SANEA, S. A. Thermal performance of building roof elements. **Building and Environment**, v.37, nº 7, p. 665 – 675, 2002.

BARBOSA, Miriam Jerônimo. **Uma Metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares**. Florianópolis, 1997. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

BARBOSA, M. J.; WEILLER, G. C. B.; LAMBERTS, R. Disposição dos equipamentos para medição da temperatura do ar em edificações. **Ambiente Construído**, v. 7, nº 3, p. 89 – 108, 2007.

BATISTA, J.; LAMBERTS, R. Potencial de uso de estratégias bioclimáticas no sertão alagoano: estudos de caso em Santana do Ipanema. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC), Florianópolis, 2006. **Anais**. CD-ROM. São Paulo: Associação Nacional de tecnologia no Ambiente Construído (ANTAC), p.85 – 94, 2006.

BASTIDE, A.; LAURET, P.; GARDE, F.; BOYER, H. Building energy efficiency and thermal comfort in tropical climates. Presentation of a numerical approach for predicting the percentage of well-ventilated living spaces in buildings using natural ventilation. **Energy and Buildings**, v. 38, nº 9, p. 1093 – 1103, 2006.

BECKER, Maria de Fátima M. Análise e desempenho térmico de uma habitação unifamiliar térrea. In: ENTAC, São Paulo, 1993. **Anais**. CD-ROM. São Paulo: ANTAC, p.825 – 834, 1993.

BRUNETTI, L.; FUCCI, F.; LA FIANZA, G.; LIBERTONE, G. Renewable and integrative sources of energy aspects and technological applications: evaluation of the contribution to the energetic needs provided by the passive solar system. **Energy and Buildings**, v. 35, nº 8, p. 763 – 774, 2003.

CASTRO, A. P. A. S.; LABAKI, L. C.; CARAM, R. M.; BASSO, A; FERNANDES, M. R. Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral. **Ambiente Construído**, v. 3, nº 2, p. 69 – 76, 2003.

CHENG, V.; NG, E.; GIVONI, B. Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. **Solar Energy**, v. 78, nº 4, p. 528 – 534, 2005.

CRAWFORD, C; MANFIELD, P.; McROBIE, A. Assesing the thermal performance of an emergency shelter system. **Energy and Buildings**, v. 37, nº 5, p. 471 – 483, 2005.

DORNELLES, K.; RORIZ, M. A ilusão das cores na identificação da absorptância solar de superfícies opacas. In: ENCAC,9, Ouro Preto, 2007. **Anais**. CD-ROM. São Paulo: ANTAC, 2007.

DO-KYOUNG KIM. The natural environment control system of Korean traditional architecture: Comparison with Korean contemporary architecture. **Building and Environment**, v. 41, nº 12, p. 1905 – 1912, 2006.

DUMKE, Eliane M. S. **Avaliação do desempenho térmico em sistemas construtivos da Vila tecnológica de Curitiba como subsídio para a escolha de tecnologias apropriadas em habitação de interesse social**. Curitiba, 2002. Dissertação de Mestrado – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná (CEFET/ PR).

FANGER, P. O. **Thermal Comfort: Analysis and applications in environmental engineering**. 1 ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1970.

FARAH, M. F. S. Formas de racionalização no Processo de Produção na Indústria da Construção. **Construção**, v. 1, nº 307, p. 27 - 30, 1992.

FERNANDES, L.; KRÜGER, E. Equações preditivas para avaliação de desempenho térmico em habitações de interesse social. In: ENTAC,10, São Paulo, 2004. **Anais**. CD-ROM. São Paulo: ANTAC, 2004.

GHISI, E.; MASSIGNANI, R. F. Thermal performance of bedrooms in a multi-storey residential building in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 42, nº 2, p. 730 – 742, 2007.

GHRAB-MORCOS, N. CHEOPS: a simplified tool for thermal assessment of Mediterranean residential buildings in hot and cold seasons. **Energy and Buildings**, v. 37, nº 6, p. 651 – 662, 2005.

GIVONI, Baruch. Comfort climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, nº 1, p. 11 – 23, 1992.

GIVONI, Baruch. **Passive and low energy cooling of buildings**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1994.

GIVONI, Baruch. Minimum climatic information needed to predict performance of passive buildings in hot climates. In: Passive and Low Energy Architecture (PLEA), Brisbane, 1999. **Anais**. Brisbane: PLEA International, 1999, p. 197 – 202.

GIVONI, B.; VECCHIA, F. Predicting thermal performance of occupied houses. In: PLEA, Florianópolis, 2001. **Anais**. p. 701 – 705. **Anais**. CD-ROM.

GOULART, Solange. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis**. Florianópolis, 1993. Tese de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

KOLOKOTRONI, M.; WEBB, B.; HAYES, S. Summer cooling with night ventilation for office building in moderate climates. **Energy and Buildings**, v. 27, no 3, 231 – 237, 1998.

KRÜGER, E.; ADRIAZOLA, M. K. O.; TAKEDA, N. I. Avaliação do desempenho térmico em escolas emergenciais da região de Curitiba. In: ENTAC, 10, São Paulo, 2004. **Anais**. CD-ROM. São Paulo: ANTAC, 2004.

KRÜGER; E.; FERNANDES, L. C. Equações preditivas para avaliação de desempenho térmico em habitações de interesse social. In: ENTAC, 10, São Paulo, 2004. **Anais**. CD-ROM. São Paulo: ANTAC, 2004.

KRÜGER, E.; GIVONI, B. Predicting thermal performance in occupied dwellings. **Energy and Buildings**, v. 36, nº 3, p. 301 – 307, 2004.

KRÜGER, E.; LAMBERTS, R. Evaluation of the thermal performance of low-cost houses under tropical climatic conditions. In: PLEA, Brisbane, 1999. **Anais**. Brisbane: PLEA Internacional, 1999, p. 319 – 324.

KRÜGER, E.; RODRIGUES, E. L.; KOBAY, G. F.; CERRI, A.; NAKAMURA, M. O uso de protótipos experimentais de baixo custo para avaliação de materiais de vedação quanto ao seu desempenho térmico. In: ENTAC, São Paulo, 2004. **Anais**. CD-ROM. São Paulo: ANTAC, 2004.

LÔBO, D.; BITTENCOURT, L. A influência dos captadores de vento na ventilação natural de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos. **Ambiente Construído**, v. 3, nº 2, p. 57 – 67, 2003.

MACIEL, A.; FORD, B.; LAMBERTS, R. Main influences on the design philosophy and knowledge basis to bioclimatic integration into architectural design – The sample of best practices. **Building and Environment**, v. 42, nº 10, p. 3762 – 3773, 2007.

MATHEWS, E., VAN WYK, S. Energy efficiency of formal low-cost housing in South Africa's Gauteng region. **Energy and Buildings**, v. 24, nº 2, p. 117 – 123, 1996.

MENDONÇA, P.; BRAGANÇA, L. Sustainable housing with mixedweight strategy – A case study. **Building and Environment**, v. 42, nº 9, p. 3432 – 3443, 2007.

MORELLO, A.; SATTLER, M. Avaliação do desempenho térmico de um protótipo habitacional construído na cidade de Porto Alegre – Período de inverno 2003. In: ENTAC, 4, São Paulo, 2004. **Anais**. CD-ROM. São Paulo: ANTAC, 2004.

OGOLI, David Mwale. Predicting indoor temperatures in closed buildings with high thermal mass. **Energy and Buildings**, v. 35, nº 9, p. 851 – 862, 2003.

ON, **OBSERVATÓRIO NACIONAL** (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA). Disponível em: <http://www.on.br/pergunte_astro/indice_resposta.php?id_tema=54>. Acesso em: Jul. 2007.

ONSET COMPUTER CORPORATION. **Manual HOBO Datalogger RH-Temp**. ONSET, 1999.

ORESZCZYN, T.; HONG, S. H.; WILKINSON, P.; The Warm Front Study Group. Determinants of winter indoor temperatures in low income households in England. **Energy and Buildings**, v. 38, nº 3, p. 245 – 252, 2006.

PAPST, Ana Lúcia. **Método Estimado da Temperatura Interna de Edificações Residenciais em Uso**. Florianópolis, 2004. Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Civil - UFSC.

PAPST, A. L.; LAMBERTS, R. Comparação de duas formas de análise da temperatura interna de edificações residências. In: NÚCLEO DE PESQUISA EM TECNOLOGIA DA ARQUITETURA E URBANISMO (NUTAU), 3, São Paulo, 2000. **Anais**. CD-ROM. p. 1226 – 1235.

PAPST, A. L.; LAMBERTS, R. Relacionamento da temperatura interna e externa em edificações residenciais naturalmente ventiladas. In: ENCAC, 6, São Pedro, 2001. **Anais**. CD-ROM.

PAPST, A. L.; LAMBERTS, R. Comparação do desempenho térmico de três ambientes residenciais naturalmente ventilados em Florianópolis, sul do Brasil. In: ENTAC, 9, Foz do Iguaçu, 2002. **Anais**. CD-ROM. p. 105 – 114.

PEREIRA, F. O. R.; KREMER, A.; KUCHENBECKER, L. An Experiment on the climatic suitability of low-cost housing. In: PLEA, 17, Brisbane, 1999. **Anais**. Brisbane: PLEA International, 1999, p. 301 - 306.

PFÄFFEROTT, J.; HERKEL, S.; WAPLER, J. Thermal building behavior in summer: long-term data evaluation using simplified models. **Energy and Buildings**, v. 37, nº 8, p. 844 – 852, 2005.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Uma proposta de norma técnica sobre o desempenho térmico de habitações populares. In: ENCAC, 5, Fortaleza, 1999. **Anais**. CD-ROM.

RUNSHENG TANG; MEIR, I.; TONG WO. Thermal performance of non air-conditioned buildings with vaulted roof in comparison with flat roof. **Building and Environment**, v. 41, nº 3, p. 268 – 276, 2006.

SAKAMOTO, J.; BARBOSA, M. J.; ADACHI, A. Z.; MOURA, J. D. M. Experiment with construction systems applied to low cost buildings for the improvement of methods of evaluation of thermal performance. In: PLEA, 18, Florianópolis, 2001. **Anais**. CD-ROM. p. 889 - 892.

SOUZA, R. V. G.; PEREIRA, F. O. R. Módulo didático para avaliação de desempenho térmico de sistemas construtivos. In: ENTAC, 10, São Paulo, 2004. **Anais**. CD-ROM.

SZOKOLAY, S. V. **Introduction to architectural science: the basis of sustainable design**. Oxford: Elsevier Science, 2004.

VECCHIA, F.; GIVONI, B.; SILVA, A. C. Analyzing thermal performance of occupied houses in Descalvado, Brazil. In: PLEA, 18, Florianópolis, 2001. Anais. p. 1055 - 1060. **Anais**. CD-ROM.

Apêndice A – Aferição dos coletores de dados

A aferição dos dezoito coletores de dados seguiu a mesma metodologia tanto para as informações de temperatura, como para as de umidade relativa do ar. Durante um período de 132 horas (cinco dias e meio), armazenou-se de forma equivalente todos os aparelhos que seriam utilizados no monitoramento dentro de uma mesma caixa de poliestireno expandido fechada. Tais equipamentos foram programados a coletar os dados internos à caixa a cada seis horas, o que se acredita ser de interesse pelo fato de se ampliar a faixa de registro que o coletor se submeteria a armazenar; já que ali dentro haveria uma baixa variação térmica e de umidade.

Desta forma, obtiveram-se para um mesmo instante dezoito valores, tanto de temperatura como de umidade relativa do ar. Com a média destes registros definiu-se uma referência de ambos os parâmetros analisados, o que proporcionou se observar a diferença entre essa média e o dado indicado por cada HOBO. Ao longo destas 132 horas, cada aparelho gerou inúmeras diferenças entre a referência (média de todos por instante) e o seu dado armazenado (a cada instante). Assim, a média de tais diferenças durante todo o período de aferição, definiu dois coeficientes de acerto do registro para cada aparelho; sendo, um para os registros de temperatura, outro para os registros de umidade relativa do ar.

Tabela 23 – Processo de aferição dos coletores de dados para a coleta de temperatura.

Temperatura		812236	812656	812656	812657	812658	812661	812667	812669	812670	812671	812674	812687	812688	812689	
Data	Tempo	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
03/25/05	00:00:00	25.17	24.40	25.17	24.40	24.79	24.79	24.40	24.79	24.40	24.79	24.40	24.01	24.79	24.40	24.79
	06:00:00	22.86	23.63	24.40	24.79	25.17	23.63	24.01	24.40	23.24	23.63	23.24	24.01	23.24	24.79	24.79
	12:00:00	24.79	24.79	24.40	24.79	24.79	24.79	24.79	24.79	24.79	24.79	24.79	24.79	24.79	24.79	24.40
	18:00:00	25.95	25.95	25.56	25.95	25.95	25.95	25.95	25.95	25.95	25.95	25.95	25.95	25.56	25.56	25.56
03/26/05	00:00:00	25.17	24.79	24.79	24.79	24.79	25.17	24.79	24.79	24.79	24.79	24.79	24.79	25.17	24.40	24.40
	06:00:00	23.24	23.24	22.48	23.24	23.63	23.24	23.24	23.24	22.48	23.24	23.24	22.86	22.48	22.86	22.86
	12:00:00	24.40	24.40	25.17	24.40	24.79	24.40	23.63	24.01	25.17	24.40	24.40	24.01	25.17	24.79	24.79
	18:00:00	26.73	26.34	26.34	26.34	26.34	26.73	26.34	26.73	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	25.95	26.34
03/27/05	00:00:00	24.79	25.17	24.40	25.17	24.79	25.17	24.79	25.17	24.79	25.17	24.79	25.17	24.79	24.01	24.79
	06:00:00	23.63	24.40	23.63	24.40	23.63	24.01	23.63	24.40	24.01	24.01	24.01	23.63	23.24	23.63	
	12:00:00	24.79	24.40	24.79	24.79	24.79	24.79	24.79	24.40	24.79	24.79	24.79	24.79	24.79	25.17	24.79
	18:00:00	25.95	25.95	25.95	25.95	25.95	25.95	25.95	25.95	25.95	25.95	25.95	25.95	25.95	25.56	25.95
03/28/05	00:00:00	24.79	25.17	24.79	25.17	24.79	25.17	24.79	25.17	24.79	25.17	24.79	25.17	24.79	24.40	24.79
	06:00:00	23.24	23.63	23.24	24.01	23.24	24.01	23.24	24.01	23.63	23.63	23.63	23.24	22.86	23.24	
	12:00:00	25.17	24.40	25.17	24.79	25.17	24.79	25.17	24.40	24.79	24.79	24.79	24.79	25.56	26.34	25.17
	18:00:00	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	27.12	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.34	26.73
03/29/05	00:00:00	25.56	25.56	25.56	25.95	25.56	25.95	25.56	25.95	25.56	25.95	25.56	25.56	25.56	25.56	25.56
	06:00:00	24.40	24.79	24.40	24.79	24.40	24.79	24.40	24.79	24.40	24.79	24.79	24.40	24.40	24.40	
	12:00:00	27.12	26.34	27.12	26.34	26.73	25.95	26.73	25.95	26.34	26.73	26.34	27.12	27.91	26.73	
	18:00:00	30.31	29.10	28.70	27.12	28.31	28.31	27.12	27.12	31.52	27.52	29.90	28.31	28.31	29.10	
03/30/05	00:00:00	27.12	26.73	26.73	27.12	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73
	06:00:00	25.56	25.95	25.95	26.34	25.56	26.34	25.56	25.95	25.95	25.95	25.95	25.56	25.56	25.56	
	12:00:00	29.90	28.70	28.31	29.50	28.31	28.70	27.91	27.12	29.90	27.52	29.10	29.10	29.90	29.50	
média		25.34	25.27	25.25	25.34	25.30	25.35	25.11	25.23	25.34	25.23	25.27	25.21	25.11	25.25	
coeficiente		-0.08	-0.01	0.01	-0.08	-0.04	-0.10	0.15	0.03	-0.09	0.03	-0.01	0.04	0.15	0.01	

média geral	25.25
coeficiente	0.00

Tabela 24 – Processo de aferição dos coletores de dados para a coleta de umidade relativa.

Umidade Relativa		812235	812555	812556	812557	812558	812561	812567	812569	812570	812571	812574	812587	812588	812589
Data	Tempo	UR	UR	UR	UR	UR	UR	UR	UR	UR	UR	UR	UR	UR	UR
03/25/05	00:00:00.0	59,40	62,20	60,70	62,20	62,90	62,20	62,20	61,50	59,80	61,90	63,90	61,40	60,90	60,40
	06:00:00.0	61,20	63,50	60,50	61,40	64,00	62,80	62,70	61,90	61,10	62,80	64,80	60,00	61,10	60,10
	12:00:00.0	60,80	62,20	62,60	62,20	63,30	62,20	62,90	61,40	61,10	62,90	64,50	62,50	61,80	61,50
	18:00:00.0	61,20	62,30	62,80	62,30	63,90	62,70	63,10	62,30	61,90	63,10	64,80	63,20	62,40	62,00
03/26/05	00:00:00.0	61,40	62,90	62,90	63,30	64,50	62,80	63,30	62,50	62,90	63,30	64,50	64,90	63,00	62,20
	06:00:00.0	62,10	63,60	64,60	63,20	66,10	64,40	64,40	63,60	64,20	63,20	65,70	64,50	63,40	63,70
	12:00:00.0	63,00	65,10	64,50	64,60	65,40	66,00	66,60	65,10	64,00	64,60	67,00	66,50	64,00	63,70
	18:00:00.0	62,90	64,30	64,30	65,20	66,10	65,10	65,20	64,60	64,70	65,20	66,10	64,70	63,50	63,80
03/27/05	00:00:00.0	63,30	64,50	65,50	64,90	66,90	65,40	65,90	64,90	65,00	64,90	66,30	65,40	64,70	64,50
	06:00:00.0	64,30	65,10	66,10	65,10	67,10	66,00	66,60	65,10	65,60	65,10	67,00	66,60	66,20	65,60
	12:00:00.0	65,40	66,00	67,40	65,90	67,90	66,90	67,40	66,50	67,90	65,40	67,40	67,40	66,30	66,90
	18:00:00.0	65,20	66,20	66,70	66,20	68,30	66,70	67,20	66,20	67,80	66,20	67,80	66,70	66,30	66,20
03/28/05	00:00:00.0	65,40	66,30	66,90	66,30	68,50	67,30	67,40	66,30	68,50	66,30	68,50	67,40	66,50	66,40
	06:00:00.0	65,70	66,60	67,70	66,50	69,30	67,50	68,20	67,00	69,90	67,10	68,70	68,20	67,70	67,70
	12:00:00.0	66,80	67,50	68,50	66,90	69,70	67,90	68,50	68,00	70,30	66,40	69,10	68,40	67,20	67,90
	18:00:00.0	65,60	66,60	67,10	67,10	68,80	67,60	67,70	67,10	67,70	67,10	68,20	67,10	66,60	66,60
03/29/05	00:00:00.0	65,80	66,80	67,30	67,20	69,00	67,20	67,80	67,20	68,40	67,30	68,40	68,40	66,80	66,80
	06:00:00.0	66,00	66,90	67,50	66,90	69,20	67,40	68,00	67,40	68,60	66,90	68,50	68,60	67,50	67,00
	12:00:00.0	65,50	67,20	66,50	66,10	68,80	67,80	67,10	67,80	66,10	66,10	68,30	66,50	65,90	66,60
	18:00:00.0	64,00	65,20	64,80	65,00	66,30	66,90	65,00	66,50	59,00	64,50	65,60	65,80	63,50	60,20
03/30/05	00:00:00.0	63,70	65,10	64,20	65,00	65,60	64,60	65,10	65,10	63,30	65,10	66,10	65,10	64,20	63,80
	06:00:00.0	63,60	65,20	64,30	64,70	65,80	64,70	65,30	65,20	63,90	64,80	66,30	65,30	64,40	63,90
	12:00:00.0	63,20	64,30	64,80	62,80	64,80	66,30	64,40	65,50	65,60	65,00	64,70	64,70	61,50	60,50
média	63,74	65,06	65,15	64,92	66,70	65,55	65,80	65,15	65,08	65,01	66,70	65,66	64,72	64,43	
coeficiente	1,52	0,20	0,11	0,34	-1,44	-0,29	-0,54	0,12	0,19	0,25	-1,44	-0,40	0,54	0,83	

média geral
65,26
0,00

Apêndice B – Coleta dos dados do luxímetro

Conforme citado anteriormente, utilizou-se do *método do papel branco* (GHISI; MASSIGNANI, 2007) para se descobrir a absorvância dos componentes das edificações. O mesmo consiste em uma operação matemática, também já citada, onde a partir de um referencial conhecido, descobrir-se o de interesse. Desta forma, utilizou o do papel branco, referência adotada como de refletância conhecida (90%) e o componente construtivo em questão. Assim, através da Tabela 25, vêem-se os valores adquiridos com um luxímetro para o elemento de interesse, os definidos ao papel branco, sua refletância esperada e a absorvância do elemento. Por fim, especificou-se a coloração observada no objetivo de trazer mais referências ao valor obtido.

Tabela 25 – Refletância dos componentes construtivos do estudo de casos.

Tipologia	Edificação	Componente	Propriedades					
			Refletância				Absortância	Coloração
			Cor (lux)	Branco (lux)	Branco (%)	Cor (%)	Cor (%)	Cor (tom)
Tijolo maciço	A1 (Amélia 1)	parede	725	1255	90	52	48	<i>mesclada (bege claro)</i>
		cobertura	688	1376	90	45	55	<i>mesclada (cerâmica clara)</i>
		portas e venezianas	280	1145	90	22	78	<i>verde (escuro)</i>
	A2 (Amélia 2)	parede	725	1255	90	52	48	<i>mesclada (bege claro)</i>
		cobertura	688	1376	90	45	55	<i>mesclada (cerâmica clara)</i>
		portas e venezianas	280	1145	90	22	78	<i>verde (escuro)</i>
Tijolo maciço	B (Merence)	parede	730	985	90	67	33	<i>mesclada (bege claro)</i>
		cobertura	515	880	90	53	47	<i>mesclada (cerâmica clara)</i>
		portas e caixilhos	49	130	90	34	66	<i>pinus (natural)</i>
Alvenaria comum	C (Carolina)	parede	365	624	90	53	47	<i>cinza (reboco claro)</i>
		cobertura	274	1494	90	17	83	<i>cerâmica suja (escuro)</i>
		portas e venezianas	196	761	90	23	77	<i>pinus envelhecido (escuro)</i>
Alvenaria comum	D (Lúcia)	parede	750	2500	90	27	73	<i>vermelho (escuro)</i>
		cobertura	2500	6800	90	33	67	<i>cerâmica (escura)</i>
		portas e caixilhos	5110	5480	90	84	16	<i>branco (novo)</i>
Madeira	E (Henry)	parede (madeira)	140	990	90	13	87	<i>angelin (escuro)</i>
		parede (alvenaria)	280	600	90	42	58	<i>vermelho (escuro)</i>
		cobertura	920	1730	90	48	52	<i>mesclada (cerâmica clara)</i>
		portas e venezianas	330	1240	90	24	76	<i>pinus envelhecido (escuro)</i>

Apêndice C – Classificação do Dia de Referência de verão e de inverno

O Dia de Referência veio no intuito de substituir o Dia Típico, referência esta que é citada pela NBR 15575-1 (ABNT, 2008a) para a classificação do desempenho térmico. Então, tem-se a média da temperatura diária para todos os dias de cada período, verão (Tabela 26) e inverno (Tabela 27), onde se ordenou essas médias e se calculou a média destas médias (verão: 28,04°C; e inverno:13,03°C). As médias diárias que mais se aproximaram da média das médias de cada período foram os dias considerados de referência à avaliação do do estudo de casos.

Tabela 26 – Classificação do Dia de Referência de verão.

CLASSIFICAÇÃO DO DIA DE REFERÊNCIA DE VERÃO			
DIA	DATA	TEMP (°C)	UR (%)
19	19/02/2007	19,93	82,13
20	20/02/2007	21,77	80,94
62	06/04/2007	22,08	78,10
63	07/04/2007	22,19	80,41
70	14/04/2007	22,28	82,38
18	18/02/2007	22,67	79,41
65	09/04/2007	22,85	68,40
43	18/03/2007	22,91	79,64
13	13/02/2007	22,98	71,84
69	13/04/2007	23,06	66,56
12	12/02/2007	23,31	65,00
21	21/02/2007	23,32	81,91
67	11/04/2007	23,34	71,32
42	17/03/2007	23,39	78,45
68	12/04/2007	23,39	76,40
36	11/03/2007	23,57	79,85
14	14/02/2007	23,68	67,76
71	15/04/2007	23,96	80,06
73	17/04/2007	24,02	75,09
66	10/04/2007	24,08	62,87
60	04/04/2007	24,08	75,64
61	05/04/2007	24,25	68,44
38	13/03/2007	24,30	80,39
64	08/04/2007	24,39	75,17
15	15/02/2007	24,42	68,33
57	01/04/2007	24,44	80,62
39	14/03/2007	24,49	78,89
75	19/04/2007	24,55	74,68
9	09/02/2007	24,56	76,19
77	21/04/2007	24,69	73,49
3	03/02/2007	24,71	67,16
11	11/02/2007	24,71	68,91
58	02/04/2007	24,73	81,40
45	20/03/2007	24,74	71,65
74	18/04/2007	24,80	74,06
50	25/03/2007	24,81	78,35
4	04/02/2007	24,95	66,38
37	12/03/2007	25,11	76,26
76	20/04/2007	25,25	74,53
72	16/04/2007	25,26	73,36
41	16/03/2007	25,50	72,64

Tabela 27 – Classificação do Dia de Referência de inverno.

CLASSIFICAÇÃO DO DIA DE REFERÊNCIA DE VERÃO			
DIA	DATA	TEMP (°C)	UR (%)
16	16/02/2007	25,55	68,87
35	10/03/2007	25,57	75,29
48	23/03/2007	25,58	74,87
46	21/03/2007	25,59	72,95
1	01/02/2007	25,64	72,03
2	02/02/2007	25,67	65,87
28	03/03/2007	25,71	75,62
59	03/04/2007	25,82	73,96
5	05/02/2007	25,84	67,59
44	19/03/2007	25,88	63,11
51	26/03/2007	25,90	72,90
23	26/02/2007	26,00	75,25
33	08/03/2007	26,05	71,18
29	04/03/2007	26,20	73,68
17	17/02/2007	26,23	71,74
47	22/03/2007	26,28	71,10
8	08/02/2007	26,32	68,55
24	27/02/2007	26,38	74,06
32	07/03/2007	26,38	74,20
10	10/02/2007	26,39	74,24
52	27/03/2007	26,49	73,98
7	07/02/2007	26,51	61,52
31	06/03/2007	26,53	74,27
40	15/03/2007	26,55	72,67
6	06/02/2007	26,59	71,36
22	25/02/2007	26,76	73,62
54	29/03/2007	26,87	75,29
34	09/03/2007	26,98	69,50
25	28/02/2007	27,12	72,28
30	05/03/2007	27,25	69,18
26	01/03/2007	27,32	75,05
27	02/03/2007	27,60	73,28
49	24/03/2007	27,72	71,19
55	30/03/2007	27,73	67,50
56	31/03/2007	27,80	68,59
53	28/03/2007	28,23	71,86

DIA DE REFERÊNCIA DE VERÃO

CLASSIFICAÇÃO DO DIA DE REFERÊNCIA DE INVERNO			
DIA	DATA	TEMP (°C)	UR (%)
6	12/07/2007	10,50	74,46
22	28/07/2007	10,91	60,17
20	26/07/2007	11,27	60,32
10	16/07/2007	11,85	77,79
5	11/07/2007	12,02	64,28
23	29/07/2007	12,03	60,21
42	29/08/2007	12,21	85,96
24	30/07/2007	12,33	74,51
18	24/07/2007	12,48	72,93
19	25/07/2007	12,68	79,71
30	05/08/2007	12,70	71,64
7	13/07/2007	12,90	90,12
21	27/07/2007	12,95	62,38
43	30/08/2007	13,89	92,15
17	23/07/2007	13,95	68,65
37	12/08/2007	14,33	70,66
33	08/08/2007	14,36	74,86
13	19/07/2007	14,50	63,59
32	07/08/2007	14,57	82,19
36	11/08/2007	14,78	63,17
29	04/08/2007	14,87	89,21
12	18/07/2007	14,91	75,66
27	02/08/2007	14,94	86,17
11	17/07/2007	15,05	84,42
26	01/08/2007	15,39	77,16
44	31/08/2007	15,45	93,83
15	21/07/2007	15,47	72,36
28	03/08/2007	15,54	91,93
16	22/07/2007	15,54	91,51
3	09/07/2007	15,63	90,68
14	20/07/2007	15,72	62,21
9	15/07/2007	15,75	64,48
46	02/09/2007	15,91	91,07
25	31/07/2007	15,94	70,27
4	10/07/2007	16,66	86,72
31	06/08/2007	16,73	73,71
45	01/09/2007	16,87	84,65
2	08/07/2007	17,09	86,98
8	14/07/2007	17,34	82,68
47	03/09/2007	17,57	86,33
41	16/08/2007	17,78	79,11
35	10/08/2007	17,96	80,93
40	15/08/2007	18,42	79,63
39	14/08/2007	18,71	76,45
38	13/08/2007	18,91	71,43
34	09/08/2007	19,44	72,09
52	08/09/2007	20,79	75,85
51	07/09/2007	20,91	78,88
48	04/09/2007	21,02	77,24
49	05/09/2007	21,12	78,52
50	06/09/2007	21,15	79,35
53	09/09/2007	21,36	68,96
56	12/09/2007	21,53	73,07
1	07/07/2007	21,61	64,45
54	10/09/2007	21,63	72,26
55	11/09/2007	21,94	71,56

DIA DE REFERÊNCIA DE INVERNO

Apêndice D – Memorial de cálculos das propriedades térmicas

		Resistência térmica (R)					
dimensão do tijolo		tijolo	seção 1 Rt _{tij1}	espessura (m)	condutividade (W/(m.K) - tabela B.		
comprimento	18,5 cm			0,09	0,9	0,10 (m².K)/W	
largura	13,5 cm			altura (m)	largura (m)		
profundidade	9 cm			A1	0,01	0,185	0,0019 m²
furos	6 unid.			altura (m)	largura (m)		
fluxo	horizontal	seção 2 Rt _{tij2}	0,03	0,185	0,0056 m²		
dimensão da argamassa					0,35 (m².K)/W		
reboco externo	1,5 cm	total			0,20 (m².K)/W		
reboco interno	1,5 cm						
emboço	1,5 cm						
assentamento	1,5 cm						
propriedades térmicas da cerâmica		argamassa	seção 1 Aa		0,0050 m²		
ρ	densidade de massa aparente		Ra		0,81 (m².K)/W		
λ	condutividade térmica		seção 12 Ab		0,0250 m²		
c	calor específico		Rb		0,22 (m².K)/W		
propriedades térmicas da argamassa							
ρ	densidade de massa aparente	2000 kg/ m³					
λ	condutividade térmica	1,15 W/(m.K)					
c	calor específico	1 kJ/(kg.K)					
câmara de ar		parede	Rt		0,26 (m².K)/W		
comprimento	3 cm			R _{si}			
largura	3 cm			R _{se}			
profundidade	18,5 cm			RT	0,13	0,04	
quantidade	6 unid.					0,43 (m².K)/W	
fluxo	horizontal						
madeira (angelim)		ar	R _{ar}	tabela B.1		0,16 (m².K)/W	
ρ	densidade de massa aparente						
λ	condutividade térmica	0,23 W/(m.K)					
c	calor específico	1,34 kJ/(kg.K)					
telhado (alv)							
comprimento	754,5 cm						
abertura	3 cm						
altura estimada	58,5 cm						
telha							
ρ	densidade de massa aparente	1600 kg/ m³	seção A Aa		0,0050 m²		
λ	condutividade térmica	0,9 W/(m.K)		Cta		240 kJ/(m².K)	
c	calor específico	0,92 kJ/(kg.K)	seção B Ab		0,0028 m²		
e	emissividade	0,85		Ctb		192,48 kJ/(m².K)	
espessura	1,3 cm		seção C Ac		0,0056 m²		
				Ctc		104,16 kJ/(m².K)	
forro de pinus							
ρ	densidade de massa aparente	500 kg/ m³					
λ	condutividade térmica	0,15 W/(m.K)					
c	calor específico	1,34 kJ/(kg.K)					
espessura	1 cm						
telhado (mad)							
comprimento	718,5 cm						
abertura	3 cm						
altura estimada	67,39 cm						
telha							
ρ	densidade de massa aparente	1600 kg/ m³					
λ	condutividade térmica	0,9 W/(m.K)					
c	calor específico	0,92 kJ/(kg.K)					
ε	emissividade	0,95					
espessura	1,3 cm						
forro de pinus							
ρ	densidade de massa aparente	500 kg/ m³					
λ	condutividade térmica	0,15 W/(m.K)					
c	calor específico	1,34 kJ/(kg.K)					
espessura	1 cm						
caixilharia de angelim							
ρ	densidade de massa aparente	750 kg/ m³					
λ	condutividade térmica	0,23 W/(m.K)					
c	calor específico	1,34 kJ/(kg.K)					
ε	emissividade	0,9					
espessura	3 cm						
vidro da janela							
ρ	densidade de massa aparente	2500 kg/ m³					
λ	condutividade térmica	1 W/(m.K)					
c	calor específico	0,84 kJ/(kg.K)					
ε	emissividade	0,84					
espessura	0,2 cm						

		Transmitância térmica (U)		
		U	2,35 W/(m².K)	

		Capacidade térmica da parede (C)		
		CT	137,45 kJ/(m².K)	

		Atraso Térmico (φ)		
		B0	107,45	
		B1	95,02	
		B2	-20,68	
		φ	3,44 horas	

		Fator Solar (FS _o)		
		FS _o	4,42 %	

Resistência térmica (R)	
madeira	Rt 0,09 (m².K)/W
	RT 0,26 (m².K)/W

Transmitância térmica (U)	
	U 3,89 W/(m².K)

Capacidade térmica da parede (C)	
	CT 20,1 kJ/(m².K)

Atraso Térmico (φ)	
B0	0
B1	0
B2	47,39
φ	0,83 horas

Fator Solar (FSo)	
cor	marrom escuro
α	0,87
FSo	13,54 %

Ventilação da câmara de ar			
	ALV		MAD
telhado/ alv	S	1131,75 cm²	4311 cm²
	A	48,59 m²	46,27 m²
	S/ A	23,29 cm²/ m²	93,17 muito ventilada

verão	
Rar	tabela B.1 0,15 (m².K)/W

Resistência térmica (R)	
	Rt 0,23 (m².K)/W
	RT 0,44 (m².K)/W

Transmitância térmica (U)	
	U 2,27 W/(m².K)

inverno	
	RT 0,33 (m².K)/W

Transmitância térmica (U)	
	U 3,06 W/(m².K)

Capacidade térmica da parede (C)	
	CT 25,84 kJ/(m².K)

Atraso Térmico (φ) para o verão	
B0	6,70
B1	6,55
B2	-3,65
φ	0,82 horas

Fator Solar (FSo) para o verão	
FSo	10,31 %
α	0,84

Ventilação da câmara de ar			
telhado/ mad	S	1077,75 cm²	
	A	43,51 m²	
	S/ A	24,77 cm²/ m²	pouco ventilada

verão	
Rar	tabela B.1 0,15 (m².K)/W

Resistência térmica (R)	
	Rt 0,17 (m².K)/W
	RT 0,38 (m².K)/W

Transmitância térmica (U)	
	U 2,62 W/(m².K)

inverno	
	RT 0,33 (m².K)/W

Transmitância térmica (U)	
	U 3,06 W/(m².K)

Capacidade térmica da parede (C)	
	CT 25,84 kJ/(m².K)

Atraso Térmico (φ) para o verão	
B0	6,7
B1	8,81
B2	-3,56
φ	0,71 horas

Fator Solar (FSo) para o verão	
FSo	10,31 %
α	0,84

Resistência térmica (R)	
caixilharia	Rt 0,13 (m².K)/W
	RT 0,30 (m².K)/W

Transmitância térmica (U)	
	U 3,33 W/(m².K)

Capacidade térmica da parede (C)	
	CT 30,15 kJ/(m².K)

Atraso Térmico (φ)	
B0	0
B1	0
B2	47,39
φ	1,24 horas

Fator Solar (FSo)	
cor	verde escuro
α	0,87
FSo	11,59 %

Resistência térmica (R)

vidro	Rt	0,0020 (m ² .K)/W
	RT	0,17 (m ² .K)/W

Transmitância térmica (U)

U	5,81 W/(m ² .K)
---	----------------------------

Capacidade térmica da parede (C)

CT	4,2 kJ/(m ² .K)
----	----------------------------

Atraso Térmico (φ)

B0	0
B1	0
B2	430,50
φ	0,06 horas

Fator Solar (FSo)

cor	incolor
α	0,83
FSo	19,19 %

Apêndice E – Variação das temperaturas internas dos cômodos em relação à externa

De forma geral, da Figura 19 à Figura 22, vê-se que o verão teve temperaturas dentro da faixa de conforto de Givoni (1992) na maior parte do tempo. Os casos também demonstraram que cômodos de orientações mais favoráveis a radiação direta são os que apresentam temperaturas internas mais elevadas pelas curvas de temperaturas máximas e mínimas de cada ambiente. Em uma comparação direta, também é de se notar que dificilmente as temperaturas internas ultrapassaram as amplitudes externas, o que evidenciou a presença do envelope construtivo. Destaca-se também a Figura 22, referente a Edificação E, que indica a ausência dos dados internos durante os últimos quinze dias de período monitoramento.

Da Figura 23 à Figura 26, estas que representam a coleta de dados do inverno, demonstram uma situação inversa ao comentário anterior, pois se vê que na maior parte do tempo as temperaturas estiveram fora da zona de conforto de Givoni (1992). Algo também acompanhado pelas temperaturas internas dos ambientes dos casos monitorados. Para este período, na Figura 25, observa-se que a Edificação D teve seu interior com registros de temperatura apenas ao final do inverno, que foi uma forma de criar alguma referência quanto a um exemplar de alvenaria.

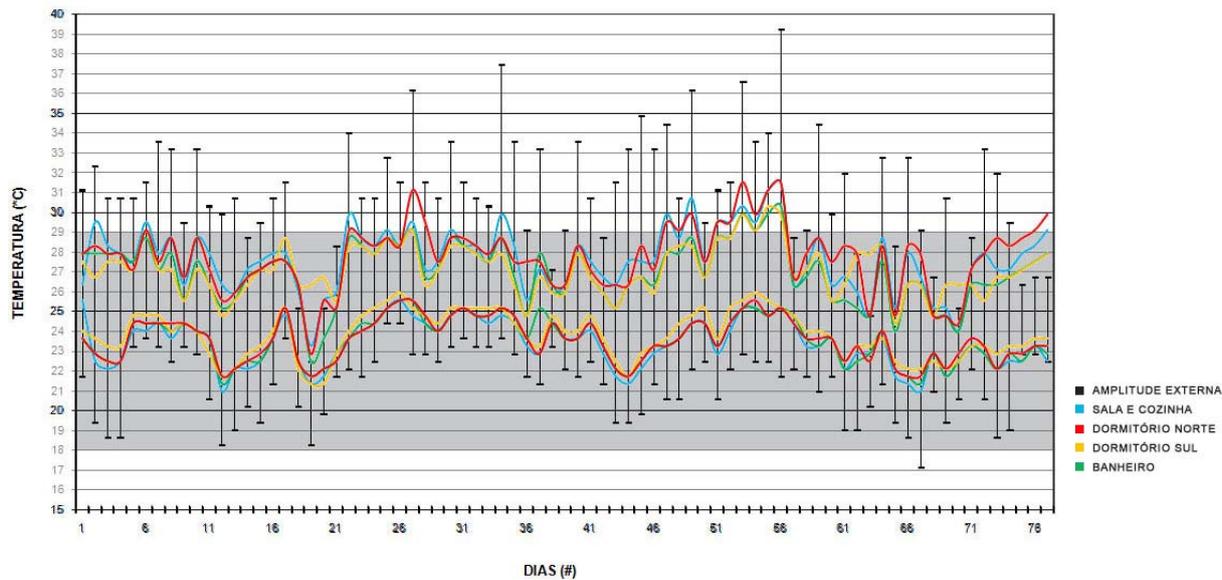


Figura 19 – Variação das temperaturas internas da Edificação A2 em relação à amplitude térmica externa (verão).

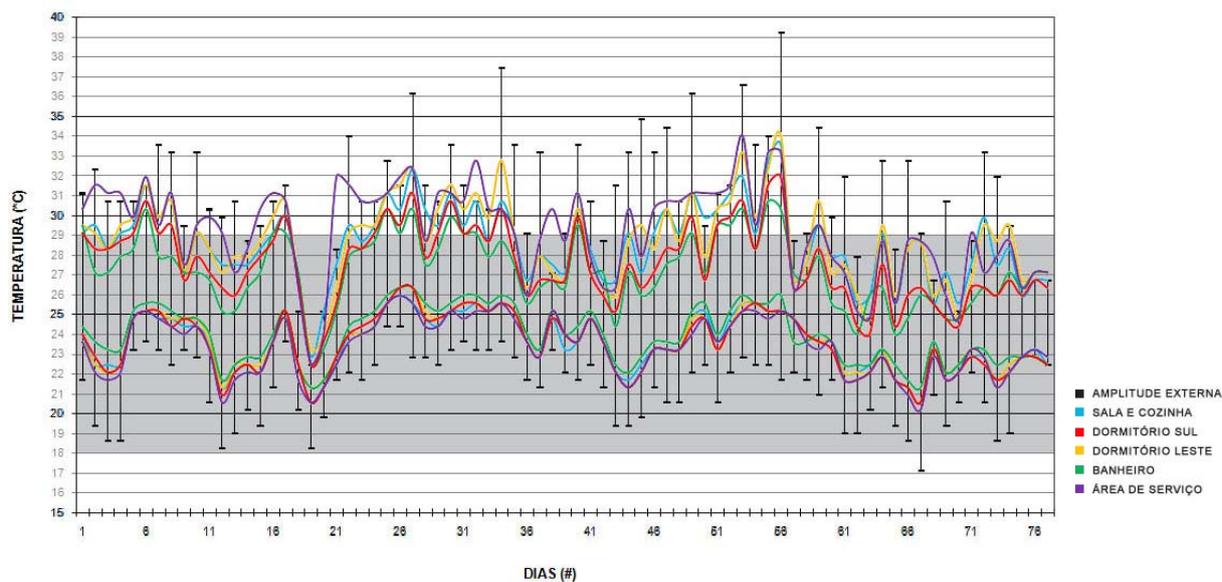


Figura 20 – Variação das temperaturas internas da Edificação B em relação à amplitude térmica externa (verão).

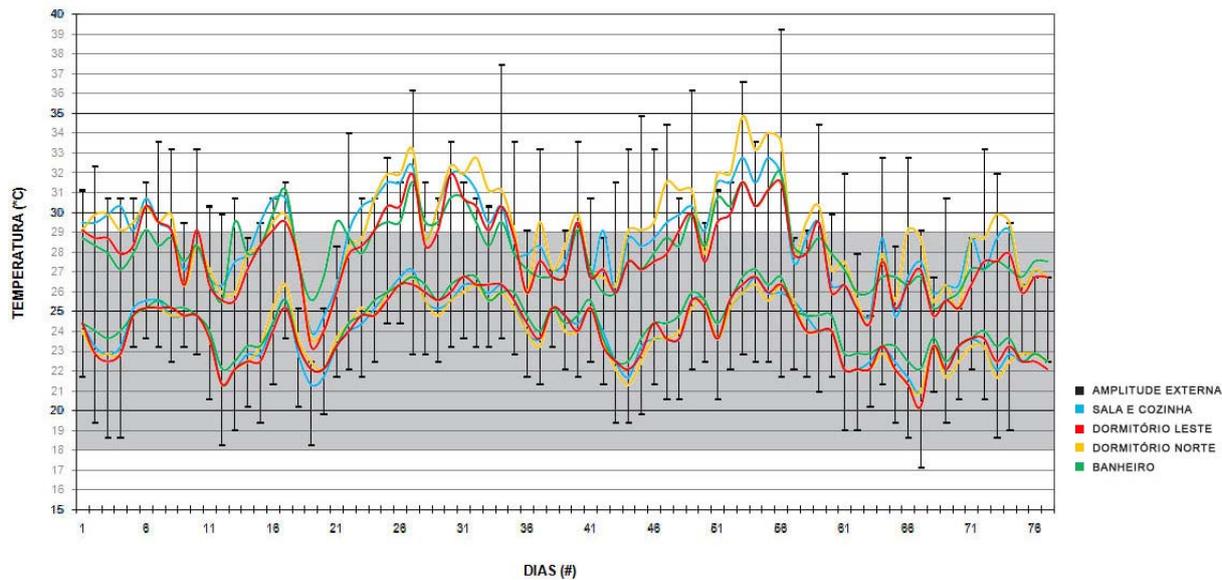


Figura 21 – Variação das temperaturas internas da Edificação C em relação à amplitude térmica externa (verão).

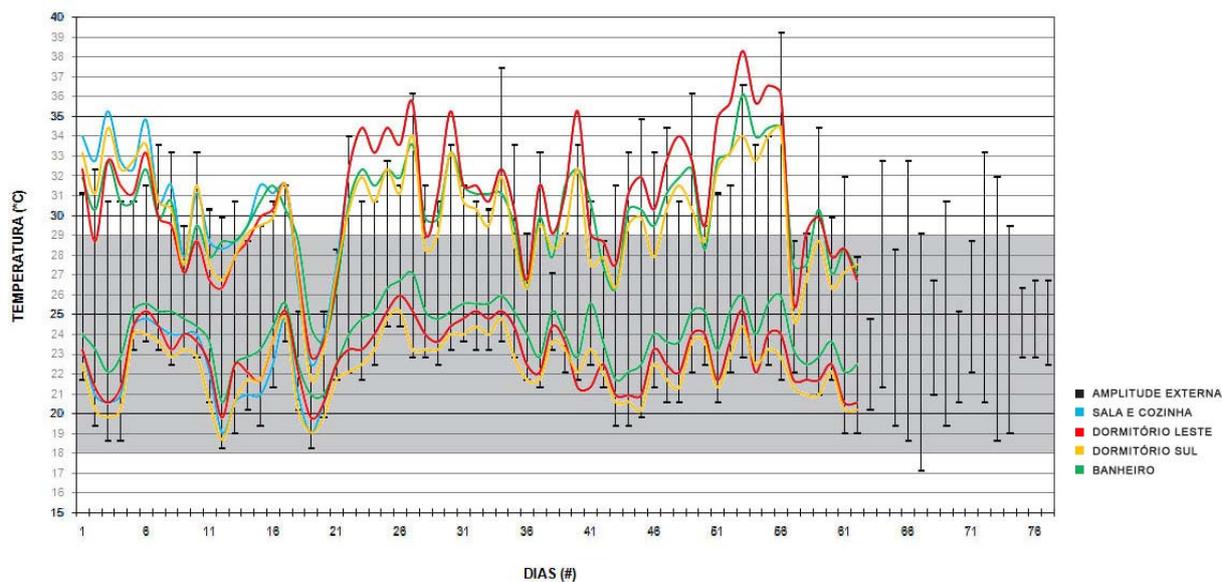


Figura 22 – Variação das temperaturas internas da Edificação E em relação à amplitude térmica externa (verão).

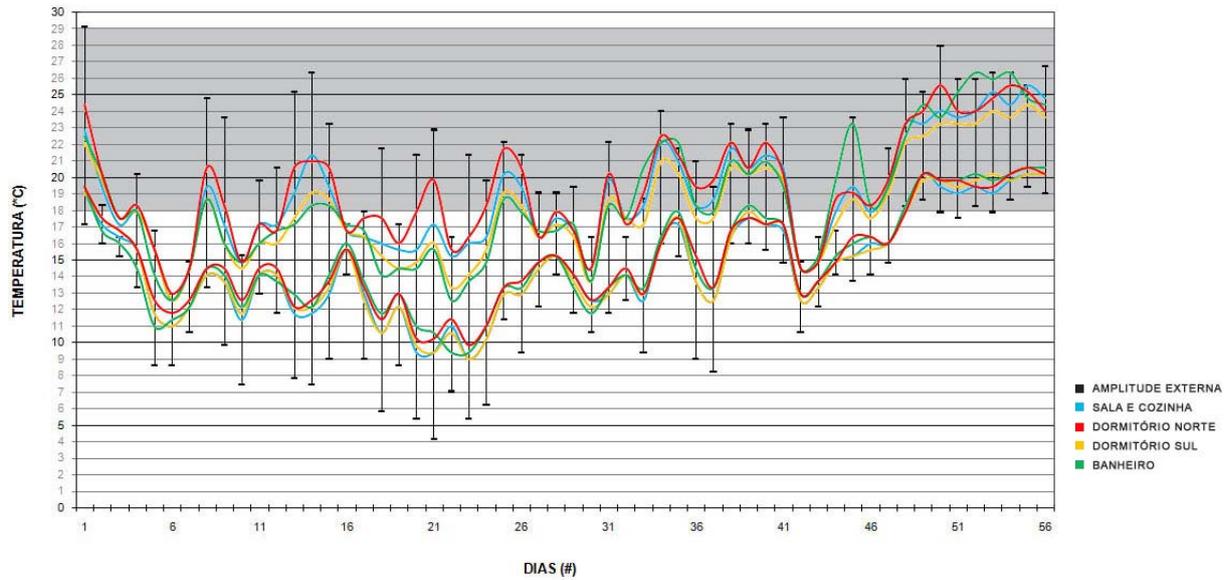


Figura 23 – Variação das temperaturas internas da Edificação A2 em relação à amplitude térmica externa (inverno).

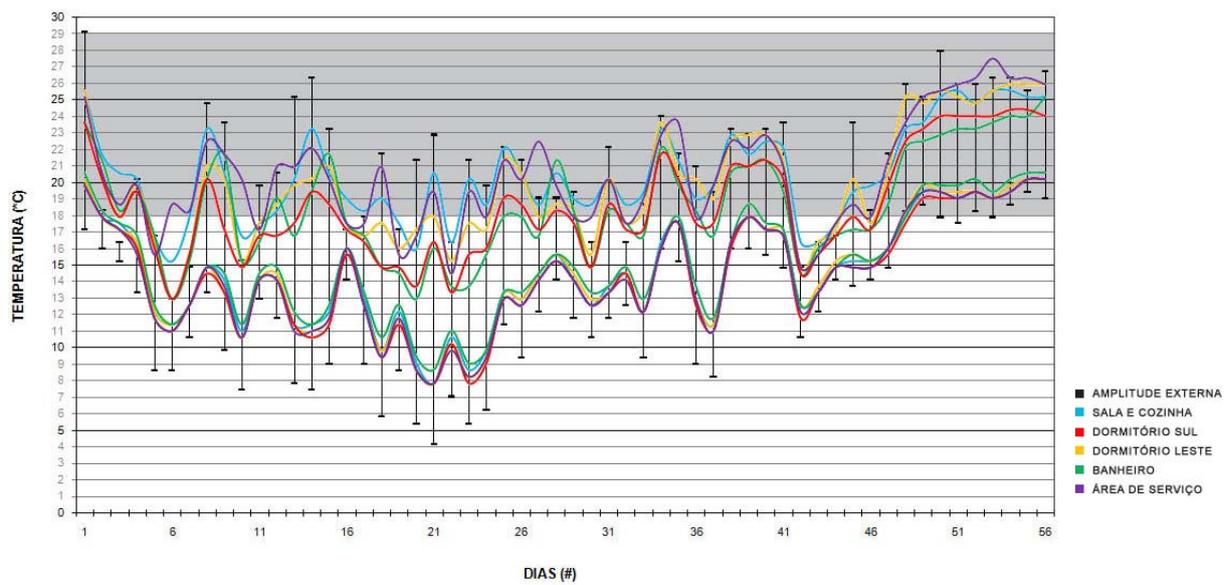


Figura 24 – Variação das temperaturas internas da Edificação B em relação à amplitude térmica externa (inverno).

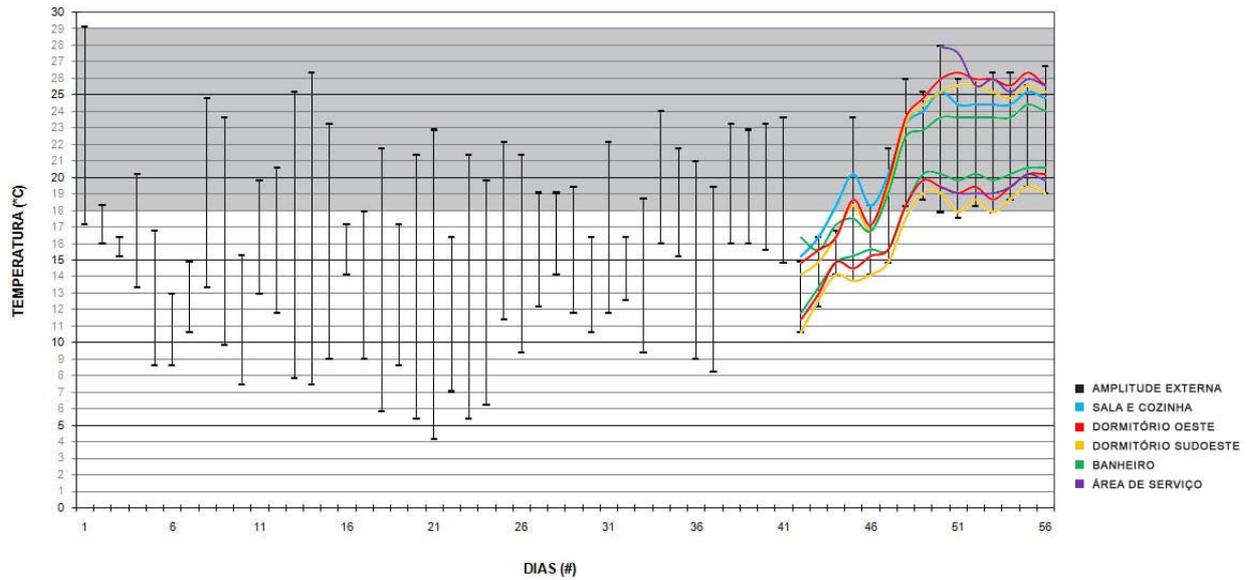


Figura 25 – Variação das temperaturas internas da Edificação D em relação à amplitude térmica externa (inverno).

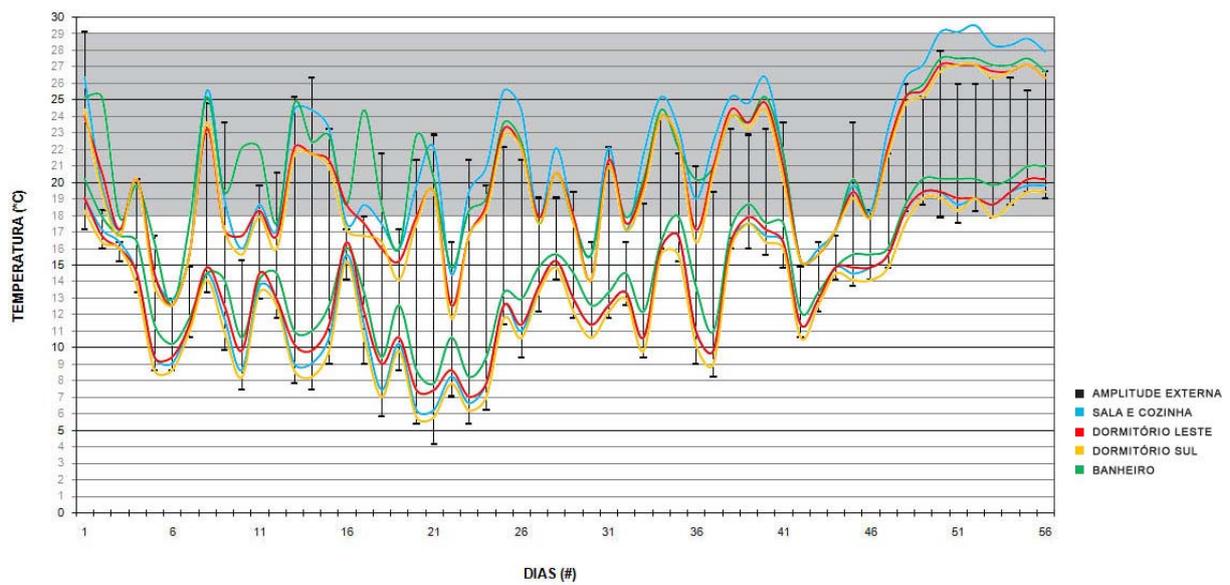


Figura 26 – Variação das temperaturas internas da Edificação E em relação à amplitude térmica externa (inverno).

Apêndice F – Variação das temperaturas internas dos cômodos em relação aos parâmetros de classificação do desempenho térmico

Nestas figuras complementares a classificação de desempenho térmico, nota-se duas distinções as situações de verão e de inverno. A primeira é que a forma de classificação para o período quente é mais branda que a forma do período frio. Já a segunda está na diferença de quantidade de horas de sol de cada estação, pois no verão, onde há mais horas radiação direta fica mais fácil de utilizar tal recurso para manutenção de um estado dito de conforto. Algo que inverso as condições de inverno, onde há um longo momento da ausência do recurso mais indicado ao aquecimento da edificação. Ou seja, a noite do verão é mais curta e insuficiente para tirar todo o tempo de calor armazenado durante o dia para este período, já o tempo de sol do inverno, quando este se faz adequadamente presente, é curto em relação ao longo período de baixas temperaturas decorrentes da noite.

Isto, frente às curvas de temperaturas máximas e mínimas expostas nas figuras seguintes (Figura 27 à Figura 36) representa uma facilidade de se estabilizar dentro de uma classificação tida como SUPERIOR durante o verão e uma grande dificuldade de se estabelecer até em uma condição MÍNIMA de classificação do desempenho térmico.

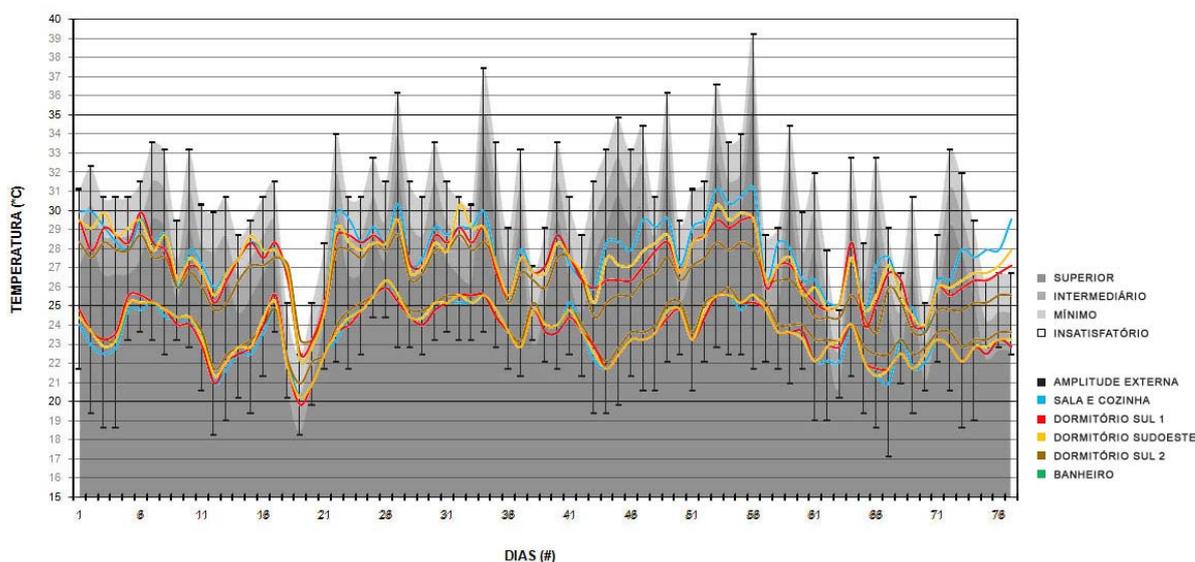


Figura 27 – Variação das temperaturas internas da Edificação A1 em relação aos níveis de classificação do desempenho térmico para o verão, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a).

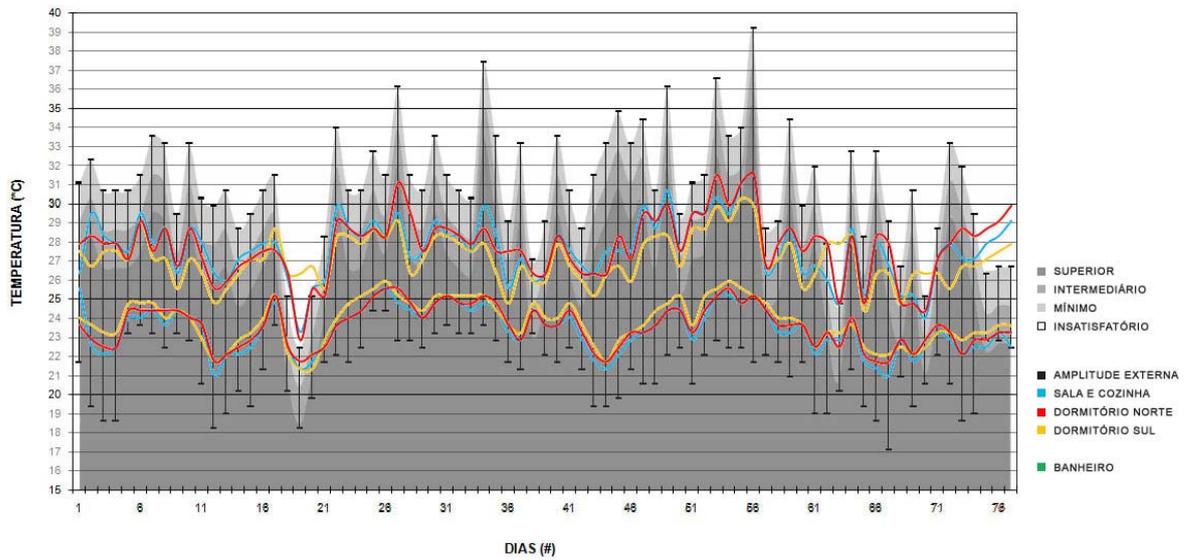


Figura 28 – Variação das temperaturas internas da Edificação A2 em relação aos níveis de classificação do desempenho térmico para o verão, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a).

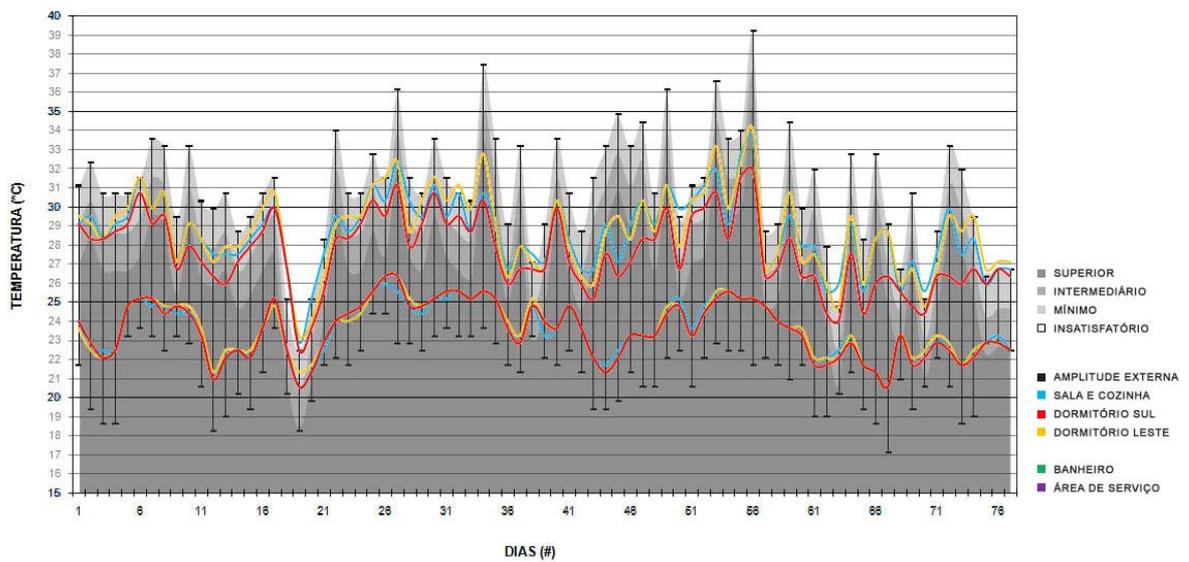


Figura 29 – Variação das temperaturas internas da Edificação B em relação aos níveis de classificação do desempenho térmico para o verão, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a).

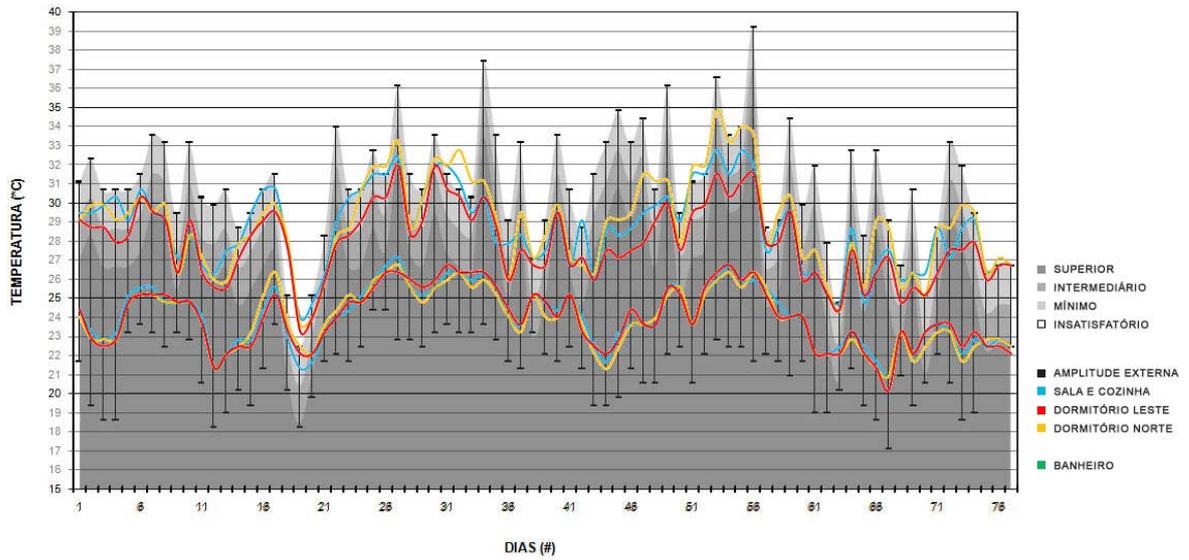


Figura 30 – Variação das temperaturas internas da Edificação C em relação aos níveis de classificação do desempenho térmico para o verão, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a).

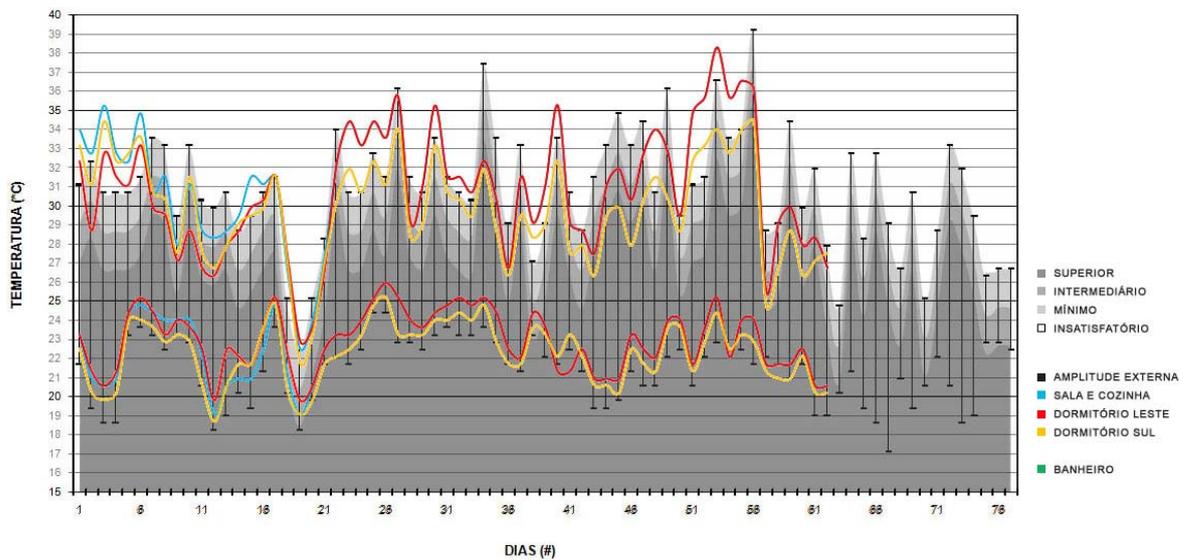


Figura 31 – Variação das temperaturas internas da Edificação E em relação aos níveis de classificação do desempenho térmico para o verão, segundo a NBR 15575-1 (fonte: ABNT, 2008a).

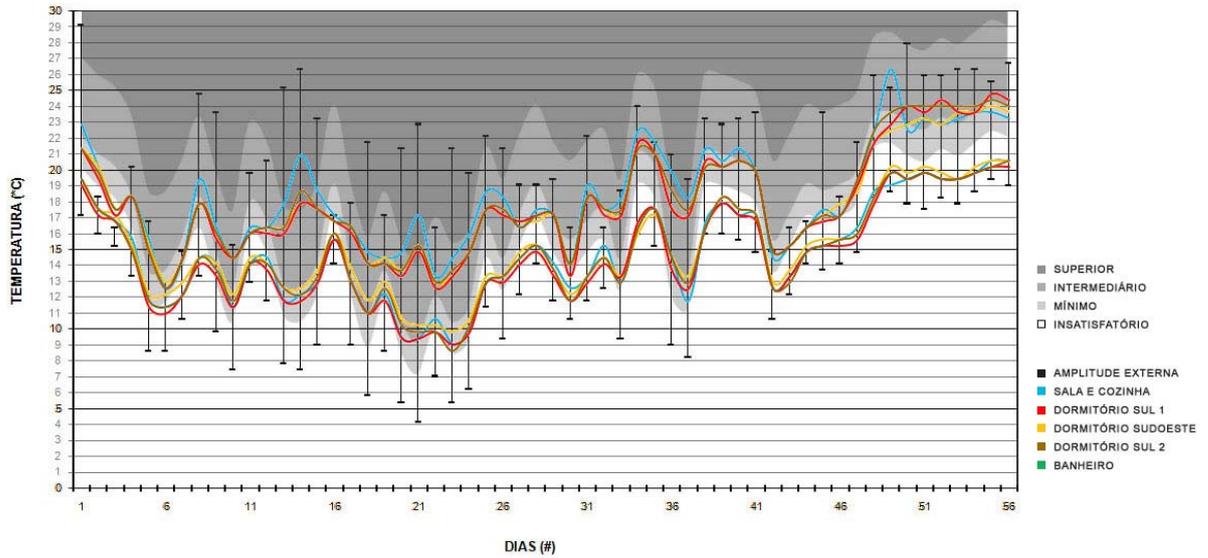


Figura 32 – Variação das temperaturas internas da Edificação A1 em relação aos níveis de classificação do desempenho térmico para o inverno, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a).

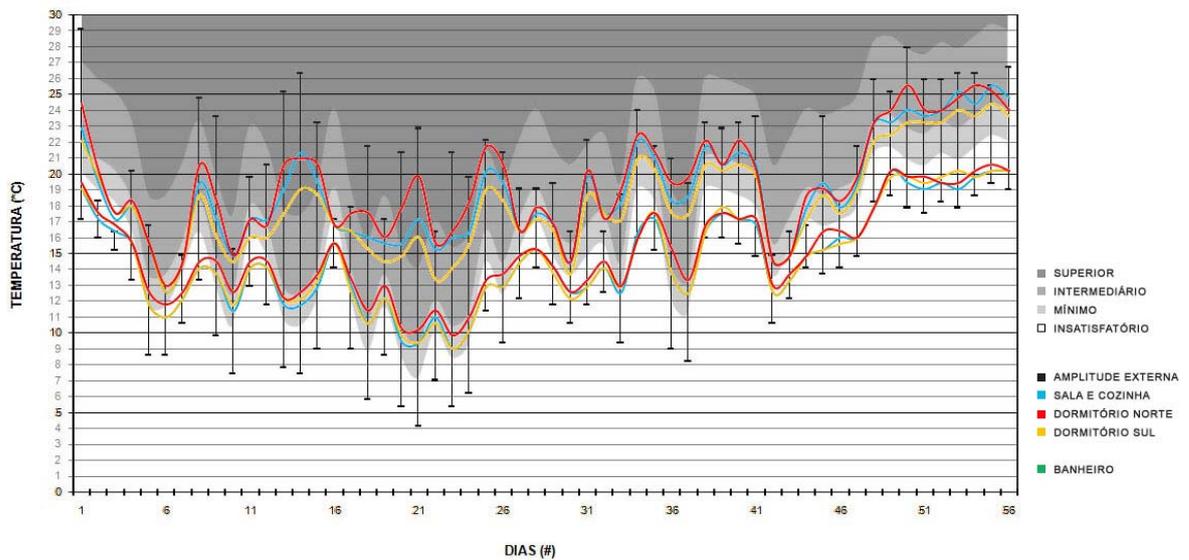


Figura 33 – Variação das temperaturas internas da Edificação A2 em relação aos níveis de classificação do desempenho térmico para o inverno, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a).

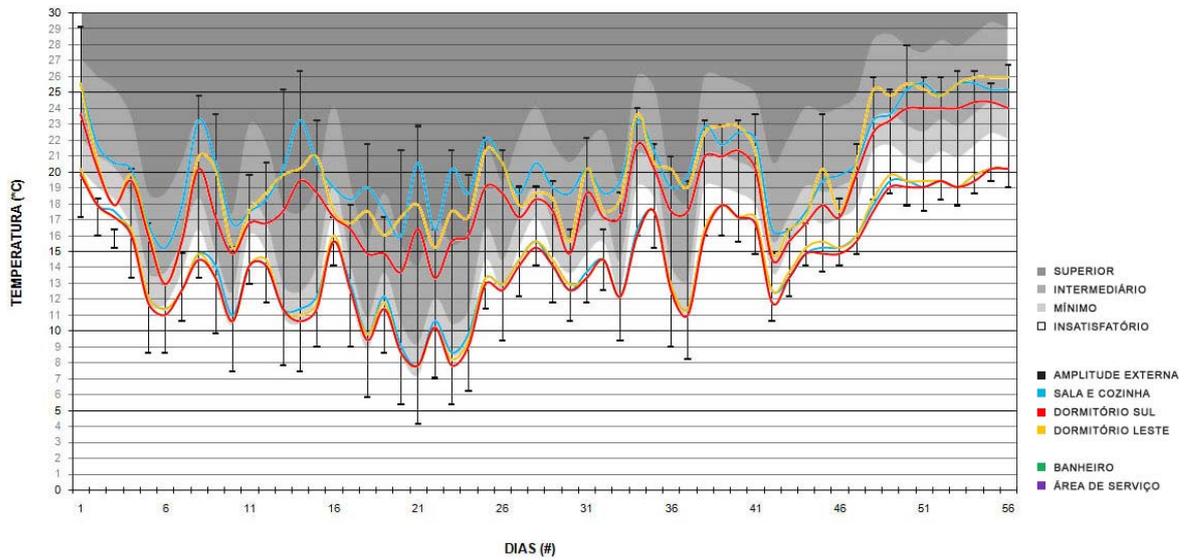


Figura 34 – Variação das temperaturas internas da Edificação B em relação aos níveis de classificação do desempenho térmico para o inverno, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a).

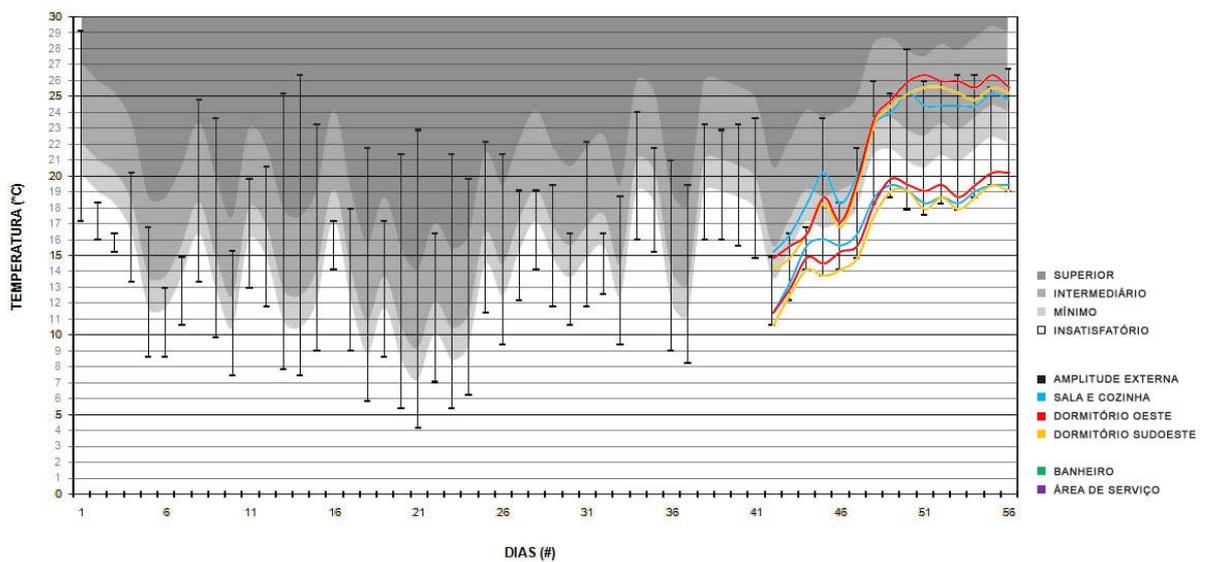


Figura 35 – Variação das temperaturas internas da Edificação D em relação aos níveis de classificação do desempenho térmico para o inverno, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a).

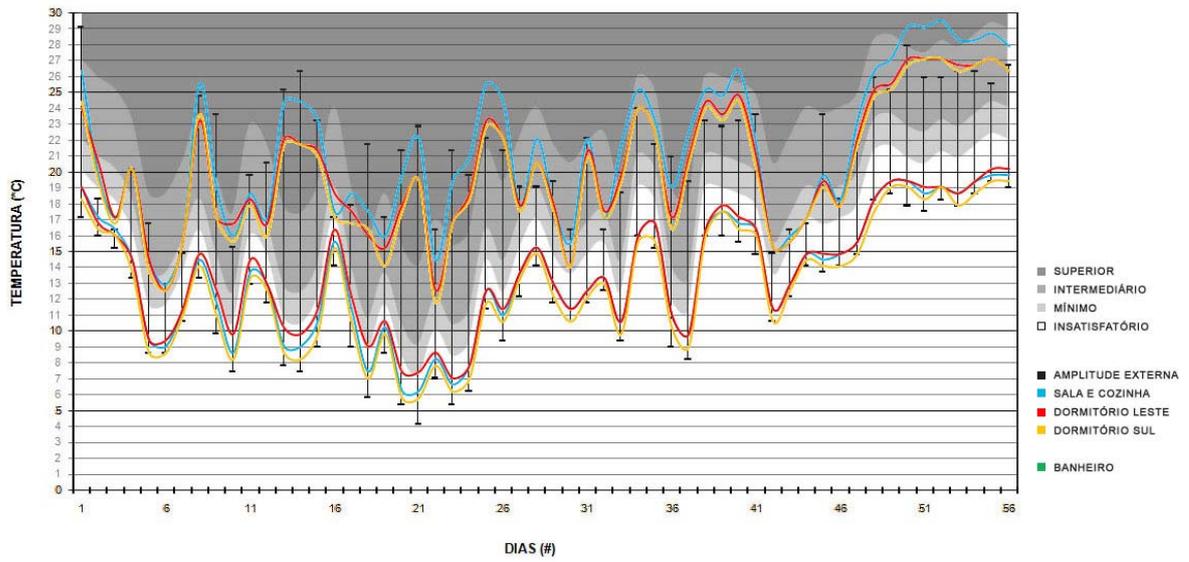


Figura 36 – Variação das temperaturas internas da Edificação E em relação aos níveis de classificação do desempenho térmico para o inverno, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2008a).

Apêndice G.1 – Diagramas bioclimáticos com a plotagem dos dados monitorados

G.1.1 – Diagramas do monitoramento de verão

Para apresentar os resultados obtidos através do programa computacional, expõem-se aqui as plotagens do programa computacional para o meio externo (Figura 37), das Edificações A2 (Figura 38), B (Figura 39), C (Figura 40) e E (Figura 41), todos referentes ao verão.

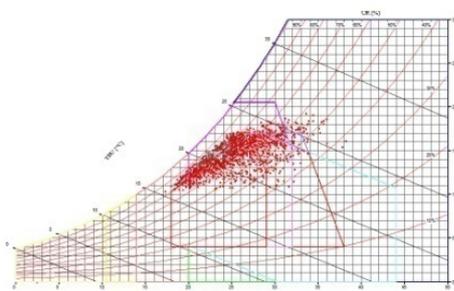


Figura 37 – Diagrama bioclimático com os dados externos das edificações (Ibiracera, verão).

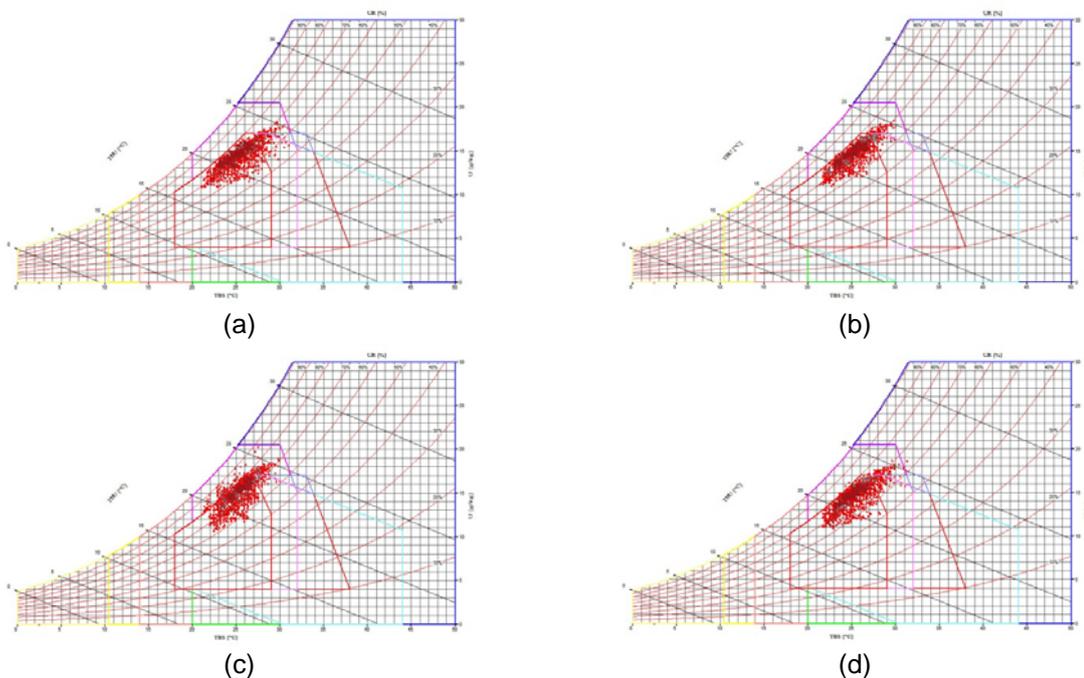


Figura 38 – Diagrama bioclimático com os dados internos da Edificação A2 (a – sala e cozinha, b – dormitório S, c – banheiro e, d - dormitório N).

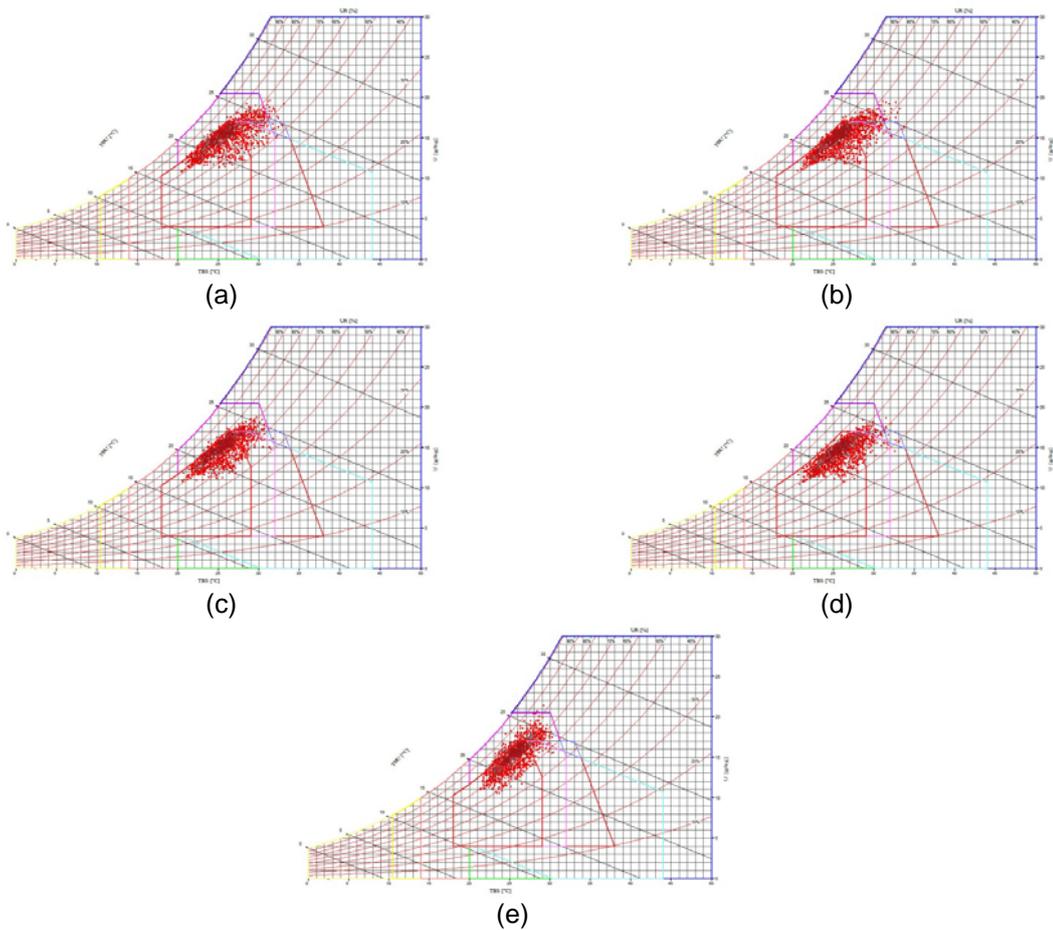


Figura 39 – Diagrama bioclimático com os dados internos da Edificação B (a – área de serviço, b – dormitório L, c – dormitório S, d – sala e cozinha e, e – banheiro).

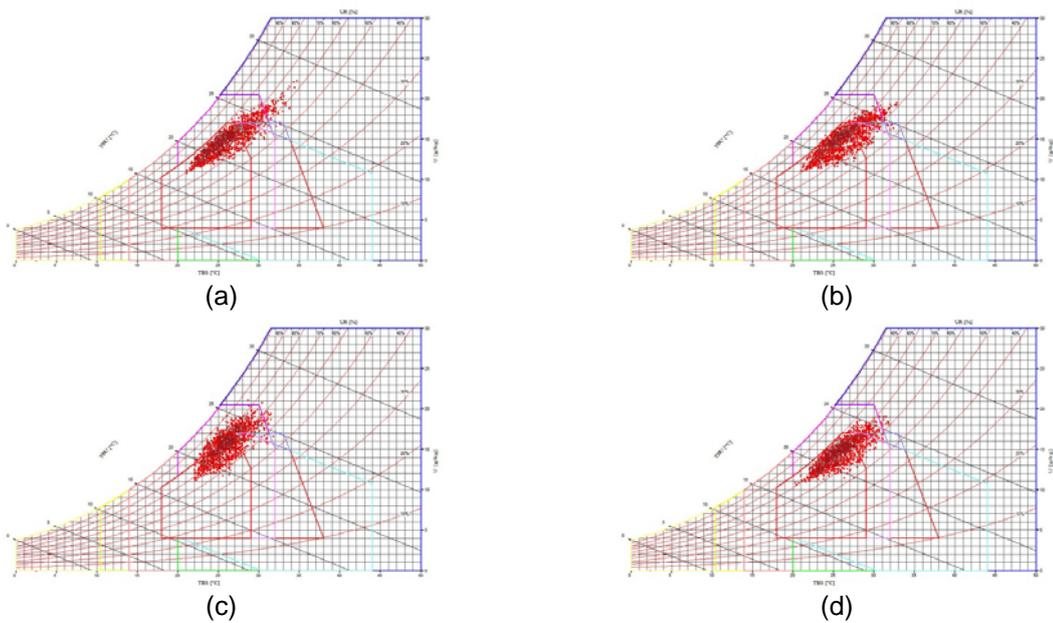
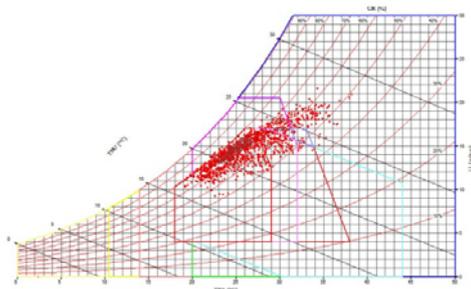
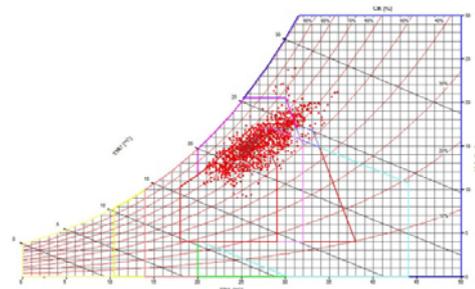


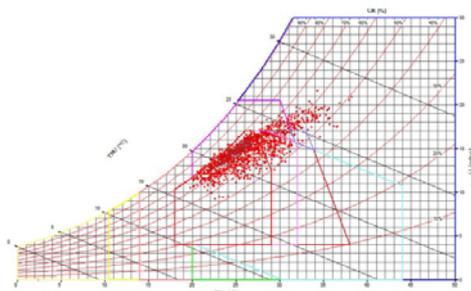
Figura 40 – Diagrama bioclimático com os dados internos da Edificação C (a – dormitório N, b – sala e cozinha, c – banheiro e, d – dormitório L).



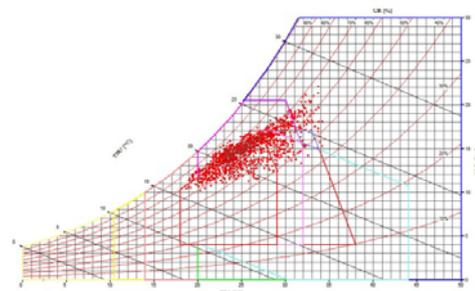
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 41 – Diagrama bioclimático com os dados internos da Edificação E (a – sala e cozinha, b – banheiro, c – dormitório L e, d – dormitório S).

G.1.2 – Diagramas do monitoramento de inverno

Para apresentar também os resultados obtidos pelo programa computacional, no entanto para o inverno, expõem-se as plotagens do meio externo (Figura 42), das Edificações A1 (Figura 43), A2 (Figura 44), B (Figura 45), D (Figura 46) e E (Figura 46).

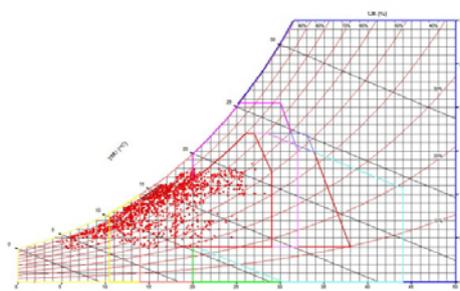


Figura 42 – Diagrama bioclimático com os dados externos das edificações (Ibiráquera, inverno).

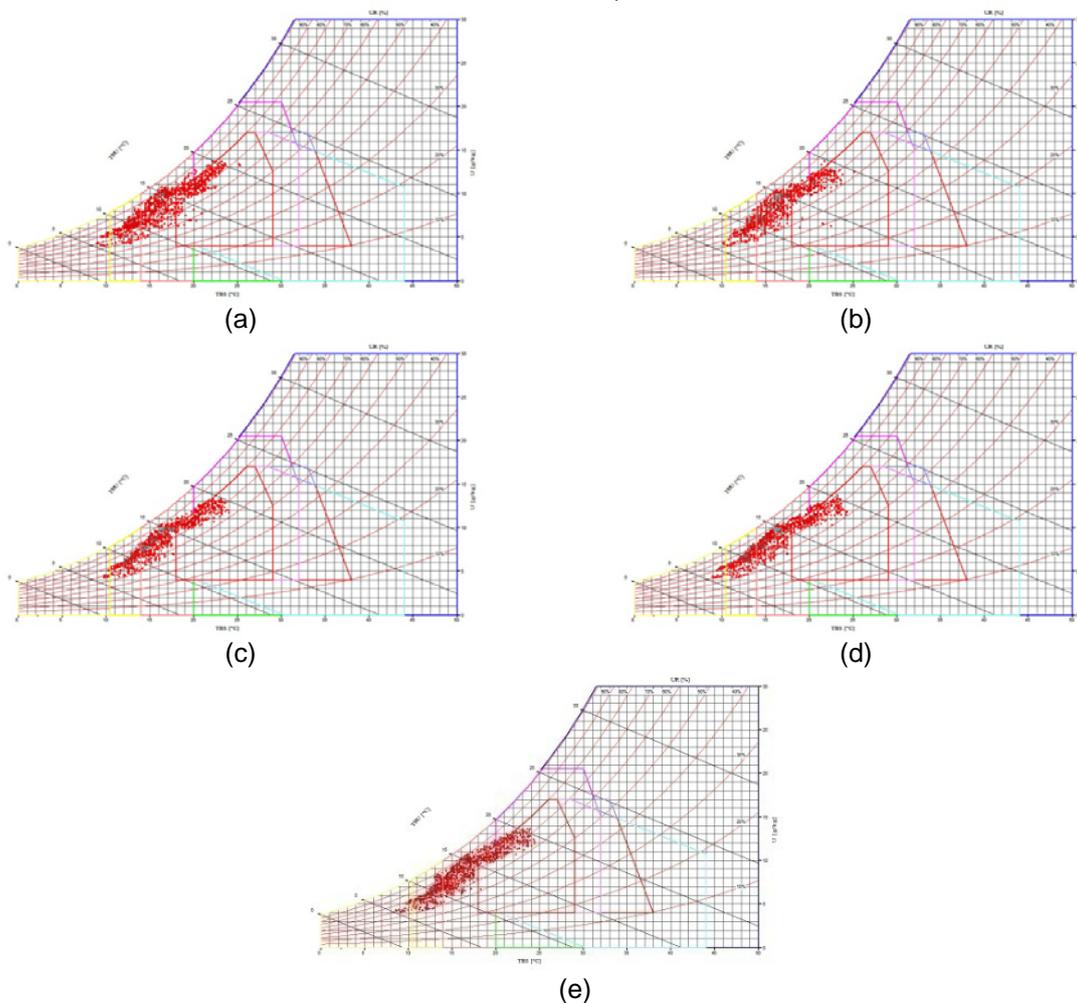


Figura 43 – Diagrama bioclimático com os dados internos da Edificação A1 (a – sala e cozinha, b – banheiro, c – dormitório S2, d - dormitório S1 e, e – dormitório SO).

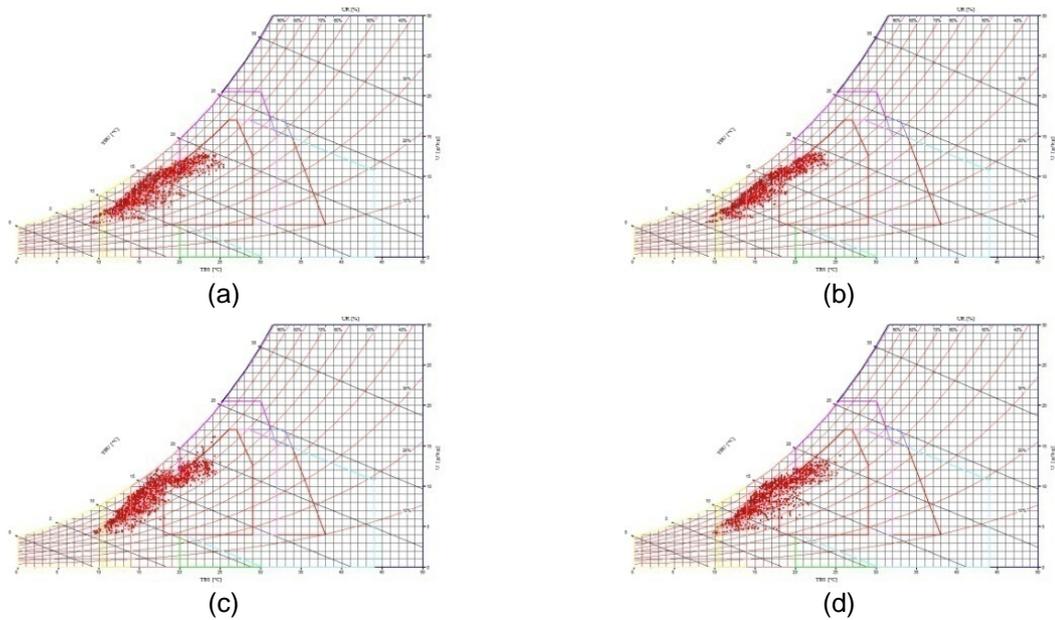


Figura 44 – Diagrama bioclimático com os dados internos da Edificação A2 (a – sala e cozinha, b – dormitório S, c – banheiro e, d - dormitório N).

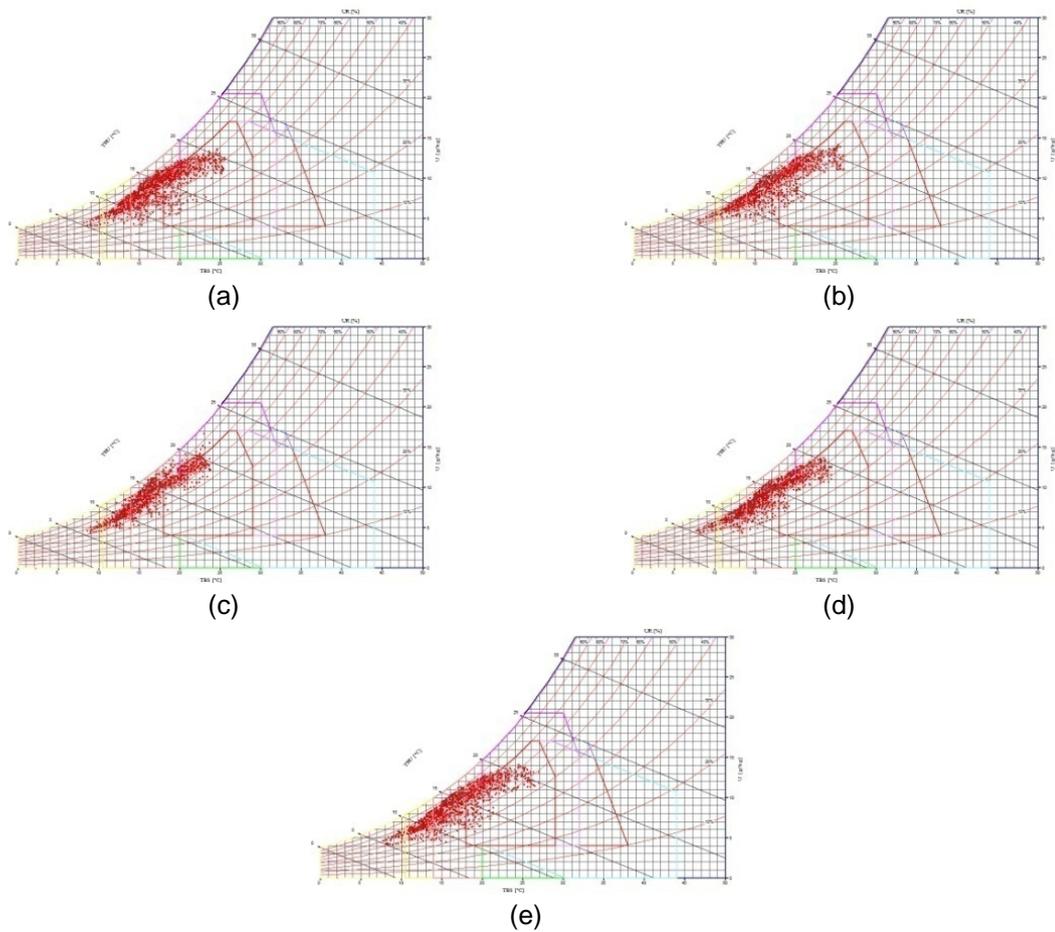


Figura 45 – Diagrama bioclimático com os dados internos da Edificação B (a – área de serviço, b – dormitório L, c – dormitório S, d – sala e cozinha e, e – banheiro).

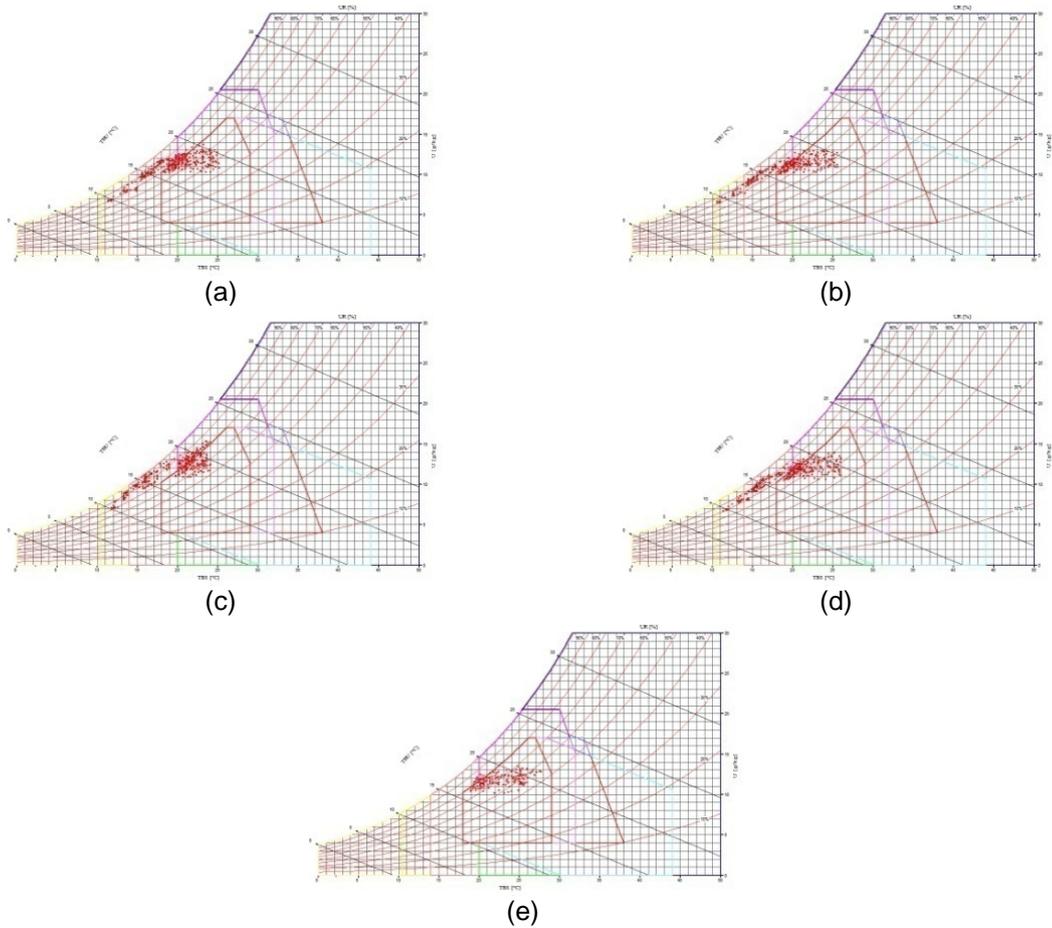


Figura 46 – Diagrama bioclimático com os dados internos da Edificação D (a – sala e cozinha, b – dormitório SO, c – banheiro, d – dormitório O e, e – área de serviço).

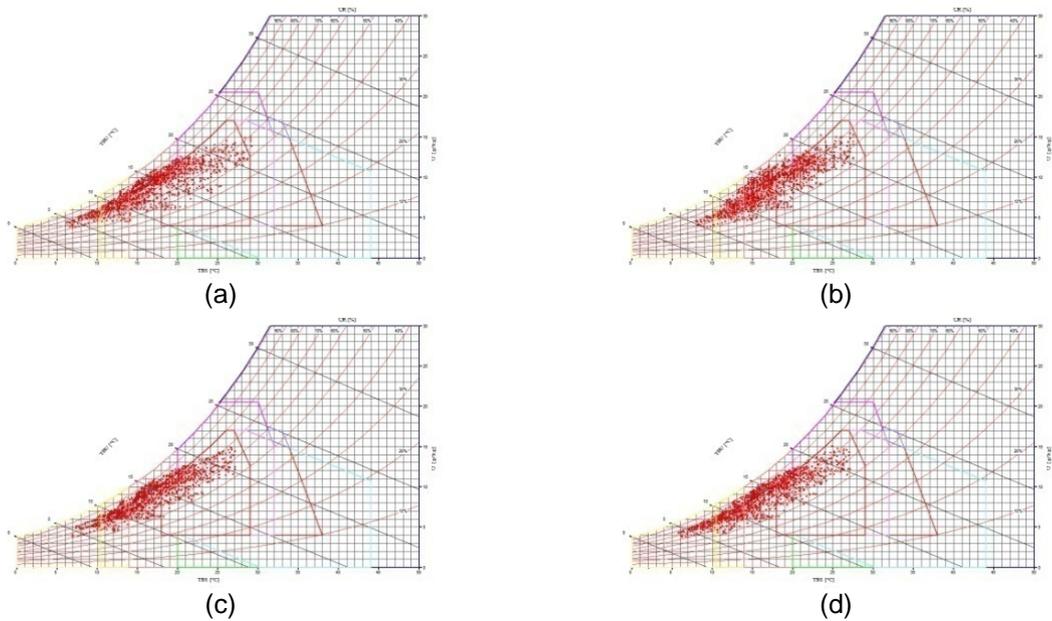


Figura 47 – Diagrama bioclimático com os dados internos da Edificação E (a – sala e cozinha, b – banheiro, c – dormitório L e, d – dormitório S).