

WAGNER AUGUSTO ANDREASI

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS NA
TEMPERATURA INTERNA DE EDIFICAÇÕES NO PASSO DO LONTRA,
PANTANAL DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL.**

Florianópolis

2001

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS NA
TEMPERATURA INTERNA DE EDIFICAÇÕES NO PASSO DO LONTRA,
PANTANAL DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL.**

ANDREASI, Wagner Augusto.

Avaliação do impacto de estratégias bioclimáticas na temperatura interna de edificações no Passo do Lontra, Pantanal do Estado de Mato Grosso do Sul. Florianópolis, UFSC, CTC, ECV, 2001.

1V, 134 p.

Dissertação: Mestrado em Construção Civil - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

1. Desempenho Térmico 2. Eficiência Energética 3. Edificações

I. Universidade Federal de Santa Catarina

II. Título

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

WAGNER AUGUSTO ANDREASI

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS NA
TEMPERATURA INTERNA DE EDIFICAÇÕES NO PASSO DO LONTRA,
PANTANAL DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL.**

Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

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

Florianópolis
2001

WAGNER AUGUSTO ANDREASI

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS NA
TEMPERATURA INTERNA DE EDIFICAÇÕES NO PASSO DO LONTRA,
PANTANAL DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL.**

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

Prof. Jucilei Cordini, Dr.
Coordenador

Banca Examinadora:

Prof. Roberto Lamberts, PhD.
Orientador

Prof. Fernando O. Ruttkay Pereira, PhD.
Membro

Prof. Maurício Roriz, Dr.
Membro

Prof. Saulo Guths, Dr.
Membro

Aos meus pais pelo exemplo de vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, meus pais, minha filha e os que me são caros que da espiritualidade mantiveram-me equilibrado o suficiente para alcançar este objetivo.

A minha esposa Márcia e meus filhos Fábio Augusto, Thiago José e André Luiz que sempre me apoiaram nessa conquista.

Ao Professor Roberto Lamberts pela paciente orientação e incentivo no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Idone Brighenti que, além de desde sua primeira visita a UFMS acreditar em nosso potencial, tudo fez para nos ajudar na concretização deste projeto.

Aos Professores Jorge João Chacha, Amauri de Souza, Wilson Verde Selva Junior, Edson Norberto Cáceres e Professora Neusa Maria Mazzaro Somera, todos na gestão administrativa da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, por não medirem esforços para realização deste programa de pós-graduação.

Ao Professor Humberto Ramos Roman, Coordenador deste Programa de Pós-Graduação na Universidade Federal de Santa Catarina que assumiu profissional, ética e criteriosamente nossos interesses e necessidades.

Ao Professor Amauri de Souza por disponibilizar dados climatológicos de sua pesquisa UFMS/INPE na BEP viabilizando a realização deste trabalho.

A caríssima Ana Lígia Papst de Abreu pela contribuição com sua experiência no desenvolvimento deste trabalho.

Ao acadêmico Ademir A. Peixoto de Azevedo do Curso de Engenharia Civil da UFMS pela ajuda na manipulação dos dados climatológicos.

"Uma teoria não pode ser aceita como verdadeira senão com a cláusula de satisfazer a razão e dar conta de todos os fatos que abrange; se um só fato lhe trazer um desmentido, é que não contém a verdade absoluta."

Allan Kardec

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	.xi
LISTA DE TABELAS.....	.xvi
RESUMO.....	.xvii
ABSTRACT.....	.xviii
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	1
1.2 OBJETIVO.....	1
1.3 A BASE DE ESTUDOS DO PANTANAL - BEP.....	2
1.4 DESENVOLVIMENTO DESTE TRABALHO.....	4
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 O HOMEM E O CONFORTO TÉRMICO	6
2.2 O CONFORTO TÉRMICO	8
2.2.1 Variáveis do conforto Térmico	9
2.2.2 Índices de Conforto Térmico	10
2.3 AS VARIÁVEIS QUE ATUAM NA TEMPERATURA INTERNA DE UMA EDIFICAÇÃO	12
2.3.1 Variáveis ambientais	12
2.3.2 Variáveis arquitetônicas	17
2.4 A BIOCLIMATOLOGIA	25
2.5 AS PROPOSTAS DE SISTEMAS DE RESFRIAMENTO PASSIVO.....	28
2.6 O CLIMA NA BEP	32
2.7 AS ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA CORUMBÁ.....	34
2.8 CONCLUSÃO	38
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA APLICADA	39
3.1 ESTUDO BIOCLIMÁTICO	39
3.2 PESQUISAS DE CAMPO	40

3.2.1	Medições das temperaturas internas	40
3.2.1.1	Equipamentos para medições internas	45
3.2.2	Medições das temperaturas externas	49
3.3	ESTRATÉGIAS DE RESFRIAMENTO PASSIVO PROPOSTAS	50
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS ALCANÇADOS E DISCUSSÃO.....		54
4.1	A BEP E SUAS CARACTERÍSTICAS	54
4.1.1	Tipologia construtiva empregada	54
4.1.2	Avaliação do envelope construído	54
4.2	A BEP E SEU AMBIENTE EXTERNO.....	58
4.3	A BEP E SEU AMBIENTE INTERNO	63
4.3.1	Os ambientes e seus resultados nos períodos monitorados.....	64
4.3.1.1	Ambientes com ocupação normal em <i>situação típica de verão</i>	64
4.3.1.2	Ambientes sem ocupação e permanentemente sem ventilação.....	85
4.3.1.3	Ambientes sem ocupação e com ventilação natural permanente.....	89
4.3.1.4	“Entrada de frente fria” na região e os ambientes com ocupação normal – período entre 14/06 a 04/07/01.....	94
4.3.1.5	“Entrada de frente fria” na região e os ambientes com ocupação normal – período entre 20/07 a 01/08/01.....	99
4.4	CONCLUSÃO DO PRESENTE CAPÍTULO.....	104
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO.....		105
5.1	INTRODUÇÃO	105
5.2	RESULTADOS OBTIDOS	107
5.2.1	Estratégia <i>Isolamento</i> da laje de cobertura	107
5.2.2	Estratégia <i>Sombreamento</i> da janela que recebe incidência de radiação solar direta	112
5.2.3	Interação da <i>Família</i> em busca de Conforto Térmico.....	115

5.2.4	Estratégia acréscimo da inércia térmica das paredes do ambiente com o empilhamento de tijolo maciço em ½ vez.....	117
5.3	PROPOSTA DE ADEQUAÇÃO BIOCLIMÁTICA DA BEP VISANDO TEMPERATURAS INTERNAS MAIS CONFORTÁVEIS.....	119
5.4	PROPOSTAS BIOCLIMÁTICAS PARA FUTUROS PROJETOS DE EDIFICAÇÕES NA REGIÃO DO PANTANAL VISANDO TEMPERATURAS INTERNAS MAIS CONFORTÁVEIS.....	121
5.5	PROPOSTAS PARA FUTUROS PROJETOS DE PESQUISAS.....	122
5.5.1	Influência do envelope construído nas temperaturas dos ambientes internos da BEP frente adoção de estratégias bioclimáticas visando proporcionar conforto térmico.....	122
5.5.2	Determinação do limite superior da "TBS" que define zona bioclimática de conforto térmico no Pantanal de Mato Grosso do Sul.....	123
5.5.3	Avaliação do desempenho térmico de edificação dotada de resfriamento artificial na região do Pantanal de Mato Grosso do Sul.....	124
CAPÍTULO 6 – BIBLIOGRAFIA		125

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista aérea da Base de Estudos do Pantanal	2
Figura 2 - Localização de Campo Grande e Corumbá no Estado de Mato Grosso do Sul	3
Figura 3 - Localização da BEP em relação a Corumbá	4
Figura 4 - Fachada da Base de Estudos do Pantanal	4
Figura 5 - Diagrama Psicrométrico - Fonte: http://alfa.ist.utl.pt/~lroriz/	13
Figura 6 - Carta Bioclimática proposta por OLGAYAY em 1963 Fonte: Givoni (1998).....	14
Figura 7 - Gráfico bioclimático proposto por GIVONI. Fonte: GIVONI (1998).....	16
Figura 8 - Exemplo de ventilação cruzada. Fonte: Givoni (1998).....	19
Figura 9 - Exemplo de utilização da terra como sistema de resfriamento passivo direto - Adaptado de Givoni (1998).....	31
Figura 10 - Exemplo de utilização do solo como sistema de resfriamento passivo - Adaptado de Bower (1995)	32
Figura 11 - Regiões climáticas do Brasil - Fonte IBGE	33
Figura 12 - Pantanal Matogrossense	34
Figura 13 - Normais Climatológicas da cidade de Corumbá Fonte Lamberts et al (1997).....	35
Figura 14 - Planta de Situação da BEP (sem escala)	41
Figura 15 - Planta Baixa do Bloco 1 (sem escala)	42
Figura 16 - Planta Baixa do Bloco 2A (sem escala)	43
Figura 17 - Planta Baixa do Bloco 5 (sem escala)	44
Figura 18 – Sensores eletrônicos	45
Figura 19 - Dispersão das leituras individuais dos equipamentos utilizados.....	46
Figura 20 - Dispersão das leituras no dia 02/09/01 às 18:45'.....	47
Figura 21 - Dispersão das leituras em 03/09/01 às 17:45'	47

Figura 22 - Dispersão das leituras em 04/09/01 às 16:45'	48
Figura 23 - Dispersão das leituras em 05/09/01 às 16:30'	48
Figura 24 - Vista da gaiola de suporte para os sensores	49
Figura 25 - Vista do ambiente com o suporte para os sensores	49
Figura 26 - Estação meteorológica instalada na BEP	50
Figura 27 - Vista do isolamento da laje de cobertura	51
Figura 28 - Vista do sombreamento da janela	51
Figura 29 - Vista dos tijolos empilhados em ½ vez	52
Figura 30 - Corte esquemático nos Blocos 1, 2A, 2B e 3	55
Figura 31 - Corte esquemático da laje de cobertura que compõe o envelope da BEP	56
Figura 32 - Corte esquemático da alvenaria que compõe o envelope construído da BEP	56
Figura 33 - Vista e corte esquemático das esquadrias de ferro da BEP.....	57
Figura 34 - Zonas bioclimáticas para o ano de 1995	58
Figura 35 - Zonas bioclimáticas para o ano de 1996	59
Figura 36 - Zonas bioclimáticas para o ano de 1997	60
Figura 37 - Zonas bioclimáticas para o ano de 1998	61
Figura 38 - Temperaturas monitoradas no ambiente Referência, no período de 09/00 a 08/01	63
Figura 39 - Comparação das temperaturas monitoradas em situação típica de verão, nos ambientes Referência e Isolado em relação à Temperatura Externa na BEP	66
Figura 40 - Comparação das temperaturas monitoradas em situação típica de verão, nos ambientes Referência e Sombreado em relação a Temperatura Externa na BEP.....	67
Figura 41 - Comparação das temperaturas monitoradas em situação típica de verão, nos ambientes Referência e Família em relação a Temperatura Externa	68
Figura 42 - Comparação das temperaturas monitoradas em situação típica de verão, nos ambientes Referência e Tijolo em relação à Temperatura Externa	69
Figura 43 - Amplitudes térmicas observadas no período típico de verão.....	72

Figura 44 - Temperaturas Máximas observadas no período típico de verão.....	72
Figura 45 - Temperaturas Mínimas observadas no período típico de verão.....	73
Figura 46 - Dispersões e " R^2 " entre os dados de Temperatura Externa e os observados no ambiente <i>Referência</i> no período típico de verão.....	74
Figura 47 - Dispersões e " R^2 " entre os dados de Temperatura Externa e os observados no ambiente <i>Isolado</i> no período típico de verão.....	75
Figura 48 - Dispersões e " R^2 " entre os dados de Temperatura Externa e os observados no ambiente <i>Sombreado</i> no período típico de verão.....	76
Figura 49 - Dispersões e " R^2 " entre os dados de Temperatura Externa e os observados no ambiente <i>Família</i> no período típico de verão.....	77
Figura 50 - Dispersões e " R^2 " entre os dados de Temperatura Externa e os observados no ambiente <i>Tijolo</i> no período típico de verão.....	78
Figura 51 - Dispersões e " R^2 " entre os dados de Temperatura Externa e os observados no ambiente <i>Referência</i> no período 22/09/00 a 06/02/01.....	79
Figura 52 - Dispersões e " R^2 " entre os dados de Temperatura Externa e os observados no ambiente <i>Isolado</i> no período 22/09/00 a 06/02/01.....	80
Figura 53 - Dispersões e " R^2 " entre os dados de Temperatura Externa e os observados no ambiente <i>Sombreado</i> no período 22/09/00 a 06/02/01.....	81
Figura 54 - Dispersões e " R^2 " entre os dados de Temperatura Externa e os observados no ambiente <i>Família</i> no período 22/09/00 a 06/02/01.....	82
Figura 55 - Dispersões e " R^2 " entre os dados de Temperatura Externa e os observados no ambiente <i>Tijolo</i> no período 22/09/00 a 06/02/01..	83
Figura 56 - Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Isolado, sem ventilação, no período de 2 a 8/2/01..	85

Figura 57 - Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Sombreado, sem ventilação, no período de 02 a 08/02/01.....	86
Figura 58 - Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Família, sem ventilação, no período de 2 a 8/2/01..	87
Figura 59 - Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Tijolo, sem ventilação, no período de 2 a 8/2/01.....	88
Figura 60 - Amplitudes térmicas observadas nos ambientes quando sem ocupação e sem ventilação.....	88
Figura 61 - Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Isolado, com ventilação, no período de 9 a 15/02/01.....	89
Figura 62 - Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Sombreado, com ventilação, no período de 09 a 15/02/01.....	90
Figura 63 - Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Família, com ventilação, no período de 09 a 15/02/01.....	91
Figura 64 - Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Tijolo, com ventilação, no período de 09 a 15/02/01.....	92
Figura 65 - Amplitudes térmicas observadas nos ambientes quando sem ocupação e com ventilação natural.....	93
Figura 66 - Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Isolado, com a “entrada de frente fria”, no período de 14/06 a 04/07/01	94
Figura 67 - Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Sombreado, com a “entrada de frente fria”, no período de 14/06 a 04/07/01	95
Figura 68 - Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Família, com a “entrada de frente fria”, no período de 14/06 a 04/07/01	96

Figura 69 - Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Tijolo, com a “entrada de frente fria”, no período de 14/06 a 14/06 a 04/07/01	97
Figura 70 - Amplitudes térmicas observadas com a “entrada de frente fria”, no período de 14/06 a 04/07/01.....	98
Figura 71 - Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Isolado, com a “entrada de frente fria”, no período de 20/07 a 01/08/01.....	99
Figura 72 - Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Sombreado, com a “entrada de frente fria”, no período de 20/07 a 01/08/01	100
Figura 73 - Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Família, com a “entrada de frente fria”, no período de 20/07 a 01/08/01.....	101
Figura 74 - Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Tijolo, com a “entrada de frente fria”, no período de 20/07 a 01/08/01.....	102
Figura 75 - Amplitudes térmicas observadas com a “entrada de frente fria”, no período de 20/07 a 01/08/01.....	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Percentual de horas para cada estratégia em Corumbá.....	36
Tabela 2 - Valores de Transmitância Térmica, Atraso Térmico e do Fator de Calor na BEP.....	55
Tabela 3 - Recomendações do texto da proposta de norma para aberturas e sombreamento.....	57
Tabela 4 - <i>Desempenho Térmico</i> da BEP em função do clima externo, em horas/ano.....	61
Tabela 5 - Estratégias visando solucionar o <i>Desconforto por Frio</i> na BEP em função do clima externo, em horas/ano.....	62
Tabela 6 - Estratégias visando solucionar o <i>Desconforto por Calor</i> na BEP em função do clima externo, em horas/ano.....	62
Tabela 7 - Aplicação da estratégia <i>Sombreamento</i> visando solucionar o <i>Desconforto Térmico</i> na BEP em função do clima externo, em dias/ano.....	62
Tabela 8 - Diferenças entre as temperaturas máximas diárias externa e internas.....	70
Tabela 9 - Diferenças entre as temperaturas médias diárias externa e internas.....	71
Tabela 10 - Diferenças entre as temperaturas mínimas diárias externa e internas.....	71
Tabela 11 - Coeficientes de correlação obtidos.....	83
Tabela 12 - Temperaturas médias internas alcançadas na BEP, no ambiente <i>Referência</i>	105
Tabela 13 - Temperaturas máximas alcançadas na BEP no período típico de verão.....	123

RESUMO

A localização da Base de Estudos do Pantanal - BEP a 19° 34' 37" - Latitude Sul e 57° 01' 09" Latitude Oeste, no Passo do Lontra, região caracterizada como "Tropical Brasil Central - Quente Úmido", com altitude de 81 metros implica invariavelmente em prolongados períodos de temperaturas que não raro acusam 38,4°C no ambiente externo e 37,4°C no interno. Aliado ao desconforto térmico gerado por essas ocorrências, a inexistência de publicações que tratem do comportamento térmico de edificações em regiões semelhantes ao Pantanal determinaram a realização deste trabalho.

A partir da verificação de que o projeto arquitetônico executado está climaticamente bem resolvido, monitorou-se as temperaturas internas de três ambientes que respectivamente tiveram *isolamento* da laje de cobertura, *sombreamento* da janela que recebe radiação solar direta ou acréscimo da inércia térmica das paredes que compõem o envelope construído com *tijolo* maciço empilhado. As temperaturas assim observadas foram comparadas às verificadas no ambiente externo e as de dois outros ambientes, o ocupado pela *família* do zelador da BEP por conta de sua interação em busca de temperaturas mais confortáveis e o que foi mantido com suas características construtivas originais.

Apesar de não se haver controlado de forma absolutamente efetiva a taxa de ocupação e sua interação com o ambiente, verificou-se que os períodos com temperaturas mais confortáveis foram alcançados no ambiente com acréscimo de inércia no fechamento lateral e aqueles com provável ocorrência de ventilação natural.

Já para novos projetos aconselham-se alternativas que na BEP não se justificaria pela dificuldade, custo e tempo de execução, fator esse que exigiria interrupção de vários projetos de pesquisas em desenvolvimento.

ABSTRACT

The location of the Base de Estudos do Pantanal - BEP in 19° 34' 37" - South Latitude and 57° 01' 09" Latitude Oeste, in Passo do Lontra, area characterized like "Tropical Brasil Central - Hot Humid", with altitude of 81 meters, that invariably implicates in lingering periods of temperatures that no rare accuse 38,4°C in the external atmosphere and 37,4°C in the intern atmosphere. Allied with the thermal discomfort created by these occurrences, the inexistence of publications that treat of thermal behavior of constructions in areas similar to Pantanal determined the accomplishment of this work.

Considering that the executed architectural project is very well thermal resolved, it was monitored the internal temperatures of three ambients that respectively had isolation of the covering flagstone, shaded window that receives direct solar radiation or increment of the thermal inertia of the walls that compose the envelope built with piled up solid brick. The temperatures observed were compared to the ones verified in the external ambient and also to the other observed in two different ambients - the first one occupied by the caretaker of BEP and his family due to their interaction in searching for more comfortable temperatures and to the other one that had their original constructive characteristics inalterated.

Despite the fact the occupation tax and its interaction with the ambient had not been effectively controlled, it was verified that the periods with more comfortable temperatures were reached in the ambient with inertia increment and those with probable occurrence of natural ventilation.

For new projects, alternatives that in BEP can not be justified by the difficulty on execution, cost and time of execution are advised.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

No Brasil ainda inexistem, entre os profissionais, clientes e usuários, a prática de se avaliar tecnicamente os espaços edificados durante seu uso. Não menos certo é que as etapas de planejamento, programação, projeto e execução estão mais consolidadas entre nós do que as de uso, operação e manutenção. Assim sendo, se não avaliamos o espaço edificado, muito menos o fazemos com os materiais e/ou métodos construtivos que, especificamente em função da incidência das variáveis climáticas, humanas e arquitetônicas, têm maior ou menor ganho de calor a influenciar diretamente as condições de conforto térmico do ambiente.

Nesse particular, a solução normalmente utilizada é o aquecimento ou resfriamento artificial que, permanecendo a oferta atual de energia, fatalmente virá colaborar diretamente com o estrangulamento energético não só do Estado de Mato Grosso do Sul como do Brasil, fato já alertado pelas autoridades do setor.

Nesse contexto, a BEP - Base de Estudos do Pantanal está certamente inserida como mais uma das numerosas edificações contribuintes, não só pela tipologia construtiva como também por sua localização.

1.2 OBJETIVO

Como objetivo específico buscaremos utilizar os conceitos da Arquitetura Bioclimática e dos Sistemas de Resfriamento Passivo, visando à melhor adaptação da Base de Estudos do Pantanal - BEP ao clima local, fornecendo ao ambiente construído conforto térmico com baixo consumo de energia.

Por conseguinte, viabilizar-se-ão aos profissionais envolvidos na elaboração e execução de projetos para a região do Pantanal, parâmetros concretos para a adequação não só das atuais como das futuras edificações em níveis aceitáveis de conforto térmico.

Para isso, apesar de desconsiderarmos diversas variáveis que influenciam na temperatura interna, optamos por monitorar durante 5 meses, em ambientes isolados, sua variação em função do isolamento da laje de cobertura, sombreamento artificial da janela e acréscimo da inércia térmica do fechamento lateral, comparando esses dados, individualmente, com um ambiente referência ou que representa a situação existente.

1.3 A BASE DE ESTUDOS DO PANTANAL - BEP

Concluída em 30 de abril de 1990, a Base de Estudos do Pantanal – BEP encontra-se instalada em área de 21,504 hectares. Fruto da preocupação de alguns professores da então UEMT - Universidade Estadual de Mato Grosso, federalizada em 5 de julho de 1979, para que assumisse seu papel no desenvolvimento regional, a BEP tem como diretriz propiciar apoio às atividades de ensino, pesquisa e extensão. Na Figura 1 observa-se o conjunto de edificações que a compõem.



Figura 1 - Vista aérea da Base de Estudos do Pantanal

Segundo HONDA (1998), a BEP situa-se em local privilegiado, pertencente ao Pantanal do Abobral, sub-região inundada pelas águas dos rios Aquidauana, Miranda e Negro, razão por que exibe dinâmica bastante peculiar nos ciclos sazonais das inundações.

Dista de Campo Grande aproximadamente 315 km, percorridos pela rodovia pavimentada BR262 em direção a Corumbá, mais 9km pela estrada MS184, a partir do trevo do Morro do Azeite ou Buraco das Piranhas.



Figura 2 - Localização de Campo Grande e Corumbá no Estado de Mato Grosso do Sul.

Já de Corumbá, cidade com 60.000 hab., que, segundo dados do IBGE, está a 119 metros de altitude e encontra-se localizada a 19° 00' 33" de Latitude Sul e 57° 39' 12" de Longitude Oeste, dista apenas 125 km.

Inicialmente pensou-se construir a BEP em madeira, optando-se finalmente por estrutura de concreto armado em palafita, com fechamentos laterais de alvenaria, laje pré-fabricada revestida e cobertura de telhas cerâmicas. Dos seus 1.267,06 m² de área construída, 780,52 m² são destinados a alojamentos e 486,54 m² a dar suporte às atividades de pesquisa e extensão.

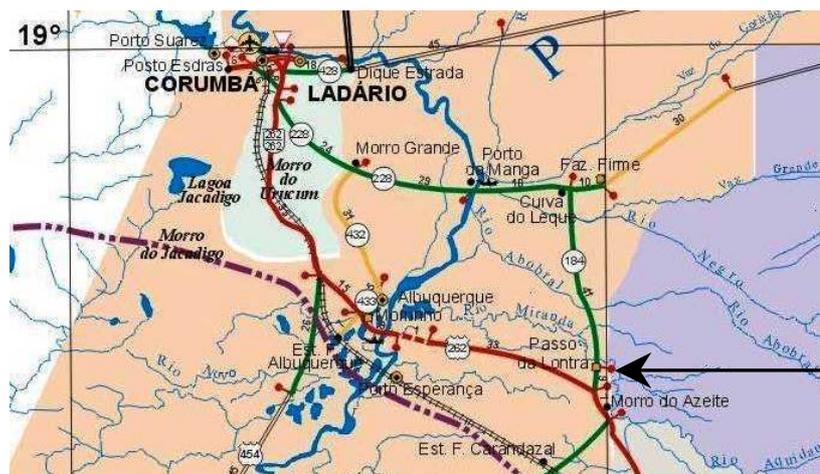


Figura 3 - Localização da BEP em relação a Corumbá.

Apesar de verificar-se que em sua concepção arquitetônica buscou-se propiciar conforto térmico aos usuários, fato demonstrado na Figura 4, com a adoção, no telhado, de abertura voltada à direção predominante do vento, seus ocupantes informam que essa estratégia não logrou pleno êxito nas máximas e mínimas temperaturas.



Figura 4 - Fachada da Base de Estudos do Pantanal

1.4 DESENVOLVIMENTO DESTA TRABALHO

No Capítulo 2, inicia-se a Revisão Bibliográfica com os conceitos de Bioclimatologia e os Sistemas de Resfriamentos Passivos, dando especial

atenção à Inércia Térmica e Ventilação Noturna como estratégias factíveis de utilização.

No Capítulo 3, descreve-se a Metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho, a partir da coleta de dados de campo que visam identificar o desempenho térmico do envelope construído em função de suas características físicas frente às normas existentes, a comparação do desempenho térmico das estratégias de resfriamento passivo propostas em relação a um ambiente *Referência*, bem como o resultado obtido das cartas bioclimáticas dos anos de 1995 a 1998, em função das temperaturas externas.

A seguir, no Capítulo 4, apresentam-se e discutem-se os dados obtidos, com particular referência aos relativos ao desempenho térmico dos ambientes internos monitorados.

No Capítulo 5 - CONCLUSÃO, apresenta-se a proposta, visando a prover a BEP de níveis de conforto satisfatórios.

Finalmente, no CAPÍTULO 6, relacionam-se as Referências Bibliográficas.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O HOMEM E O CONFORTO TÉRMICO

A preocupação de se dotar de conforto o ambiente construído dentro de limites térmicos não é recente. Desde os primórdios da humanidade, o homem deseja conforto em suas edificações, certo de que a manutenção do equilíbrio térmico entre o corpo humano e o ambiente é um dos primeiros requisitos para sua saúde e bem-estar. Entretanto, hoje sabemos que esse tipo de conforto é fruto de vários parâmetros e não apenas da temperatura. Em condições ambientais extremamente diferentes, duas pessoas podem sentir-se termicamente confortáveis em função de suas características individuais, como atividade, aclimatação, roupa, etc.. A par disso, tem-se ainda que considerar fatores ambientais, como radiação solar, umidade relativa e movimento e temperatura do ar.

Nesse sentido, GIVONI (1976) menciona que foi reconhecido há muito tempo que é impossível expressar a resposta humana ao ambiente térmico em função apenas de um simples fator ambiental como temperatura, umidade relativa, velocidade do ar, etc. Assim, pode-se afirmar, dentro de certos limites, que essa satisfação é pessoal e varia de pessoa a pessoa, em função de um sistema extremamente satisfatório, porém muito complexo, que mantém a temperatura do corpo muito próxima dos 37° C, como se necessita.

Estudos realizados por GUYTON (1992) mostram-nos que a sensação de quente ou frio é determinada por sensores localizados respectivamente no hipotálamo para quando a temperatura excede 37° C e na pele para quando cai abaixo de 34° C. Experiências realizadas em áreas diminutas do cérebro, com um pequeno dispositivo semelhante à uma

agulha, chamado *termódio*, revelaram grande número de neurônios sensíveis ao calor e cerca de um terço dessa quantidade sensíveis ao frio, que parecem funcionar como sensores térmicos de controle da temperatura corporal. Por outro lado, citando a pele, por também possuir receptores tanto para o frio como para o calor, as experiências afirmam que nela existem muito mais receptores para o frio que para o calor, chegando os sensíveis ao frio a serem 10 vezes mais numerosos. Assim sendo, conclui-se que a detecção periférica da temperatura está principalmente relacionada à detecção de temperaturas frias e frescas, em lugar das quentes. Tais experiências afirmam ainda que, contrariamente a *temperatura interna*, a *temperatura cutânea* aumenta ou diminui com a temperatura do meio ambiente, sendo essa a temperatura importante quando se refere à capacidade da pele de perder calor para o meio ambiente. Afirmam também que a pele, os tecidos subcutâneos e a gordura ali existente formam o isolador térmico do organismo, onde esta, a gordura, é particularmente importante, pois só conduz um terço do calor conduzido por outros tecidos. Entretanto, centros nervosos do *hipotálamo*, chamados de *termostato hipotalâmico*, controlam a temperatura corporal pela regulação tanto da perda como da produção de calor, sendo que para acréscimo da temperatura corporal acima da *temperatura normal de 37°C* a intensidade da perda de calor fica maior que a intensidade da produção de calor. De modo inverso, com a temperatura abaixo da normal, o *termostato hipotalâmico* reduz a perda de calor e aumenta sua produção.

Deve-se ainda considerar que na produção de calor o *metabolismo corporal* é entendido como expressão da intensidade (ou da velocidade) com que a energia é liberada pela transformação dos nutrientes consumidos. Em condições de estrito repouso, seu valor é de 60 a 70 W/m² e nessa situação é definido como *metabolismo basal*. Entretanto, seu valor pode ser até 20 vezes maior durante a prática acentuada de exercícios.

Tradicionalmente considera-se *metabolismo* medido em Met, em que 1 Met é igual a 58,15 W/m² de superfície corporal. Desta forma, considerando que um adulto tem aproximadamente 1,7 m² de superfície

corporal, se estiver experimentando conforto térmico com nível de atividade de 1 Met, estará perdendo aproximadamente 100W de calor. Assim sendo, o metabolismo humano estará em seu nível mais baixo, ou 0,8 Met, enquanto se dorme e poderá chegar até a 10 Met quando se desenvolve atividade física.

Essas considerações de ordem fisiológica informam não somente a individualização do comportamento térmico do corpo humano, como também a dificuldade de se criarem índices e/ou padrões de conforto térmico. Daí a necessidade de se seguir a interpretação técnica existente que aconselha que se considerem as médias das respostas às sensações térmicas obtidas em um grupo de pessoas para cada região em estudo, considerando-se que cada uma delas em função de seu clima acaba determinando índices e padrões de conforto térmico particulares, que por sua vez são relacionados com a aclimatização, meio de vida e experiências particulares da população. Daí a dificuldade de se traduzir em parâmetros físicos a satisfação térmica.

2.2 O CONFORTO TÉRMICO

Várias são as definições de conforto térmico. A norma ISO 7730, produzida pela International Organization of Standardization, entidade não governamental com sede em Genebra/Suíça, define-o como o *“estado que expressa satisfação com o ambiente térmico”*. Já GIVONI (1976) define-o como *“a ausência de irritação e incômodo devido ao calor ou frio”* e a ASHRAE - American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers, como *“o estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa”*. Para o projeto de norma 02:135.07-001 Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades, Conforto Térmico é *“a satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente”*.

Entretanto, há que se considerar também que o conforto térmico somente é atingido quando a pessoa:

- encontra-se em situação de neutralidade térmica;
- tem a temperatura de sua pele e a taxa de transpiração dentro de limites aceitáveis, função de características fisiológicas particulares e
- não está sujeita a nenhum tipo de desconforto térmico localizado, tais como corrente de ar indesejável, contato com pisos aquecidos ou resfriados, radiação térmica assimétrica e diferenças de temperatura do ar.

Importante enfatizar-se que, a partir do entendimento das necessidades requeridas para se prover conforto térmico ao ser humano, pode-se afirmar que esta satisfação pode ser advinda da utilização de *sistemas passivos de conservação de energia*, opção que certamente diminuirá o consumo de energia da edificação, como se pretende demonstrar.

2.2.1 VARIÁVEIS DO CONFORTO TÉRMICO

As variáveis do conforto térmico são:

- variáveis ambientais (*temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade relativa do ar*);
- variáveis pessoais; *atividade física e vestimenta*. Nesse item XAVIER (1999) inclui o que chamou de "parâmetros subjetivos ligados ao conforto térmico" que são ligados ao estado psicológico das pessoas, ou sejam, as
 - *Sensações térmicas: (Como você está se sentindo nesse momento?)* e as
 - *Preferências térmicas (Como você gostaria de estar se sentindo agora?)*

Sobre as *sensações térmicas: (Como você está se sentindo nesse momento?)*, o autor afirma serem obtidas de escalas sensoriais, descritivas ou de percepção, indicando basicamente o resultado da condição da mente

na percepção da sensação de conforto térmico. Das *preferências térmicas* (*Como você gostaria de estar se sentindo agora?*), resultado da condição do corpo na percepção da sensação térmica, da observação de escalas de preferências que espelham o estado fisiológico das pessoas com relação ao ambiente térmico no momento de seus relatos. Ao citar a escala sensorial existente na ISO 10551, que varia de +3, +2, +1, 0, -1, -2 e -3 ou *Muito Quente, Quente, Levemente Quente, Neutro, Levemente Frio, Frio e Muito Frio* respectivamente, cabe-nos lembrar dos *Índices PMV e PPD* ou, Voto Médio Estimado e Percentual de Pessoas Insatisfeitas que veremos na seqüência.

Essa satisfação com o ambiente térmico é também resultado do nível de atividade física em função desta estar ligada à taxa de produção de energia do corpo humano. Torna-se, assim, imperioso prever-se, na fase de projeto de uma edificação, o nível de atividade que será desenvolvida, visto que a referida taxa pode crescer em até 20 vezes, alterando completamente a sensação térmica no ambiente, podendo até causar desconforto.

Certo é que o valor do isolamento térmico oferecido pelas vestimentas é responsável pela troca de calor entre o corpo humano e o ambiente. Assim, entende-se que quanto maior sua resistência térmica, tanto menor será sua troca de calor com o meio ambiente, onde a unidade normalmente utilizada para mensurar esse isolamento é Clo ($1 \text{ Clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$). Observa-se que a escala dos valores do Clo inicia-se em 0,0 para pessoa nua e chega a 4,0 (roupas para frio, tais como os pólos), passando por 1,0 para o homem com traje "passeio". Tabelas indicativas de valores individuais de Clo por tipo de vestimenta são encontradas em publicações da ASHRAE e da ISO.

2.2.2 ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO

Fanger apud GIVONI (1998) identifica como Índices de Conforto Térmico:

- *PMV (Voto Médio Estimado)*: índice representativo dos votos de um grande grupo de pessoas, anotados em uma escala de sete pontos que indicam sensações térmicas, e
- *PPD (Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas)* : índice de conforto térmico derivado do cálculo do PMV que estima a quantidade de pessoas que não estão satisfeitas com o ambiente térmico.

Entretanto, devemos considerar que, em se tratando de pesquisas de campo, deve-se observar a correta identificação das atividades e das vestimentas (em face de suas características de isolamento) como também as variáveis, ambientais objetivando comparar as sensações colhidas com o *PMV* como também do *PPD* que são valores tabelados após experimentos realizados em laboratórios. Vários trabalhos retratam diferenças encontradas entre os dois tratamentos, campo e laboratório.

Por outro lado, a impossibilidade de se expressar a resposta humana ao ambiente térmico em função de um simples fator ambiental e na certeza de que cada um age influenciado por fatores diversos, vários Índices Térmicos surgiram. Entre eles, GIVONI (1976) cita o *E.T. - Effective Temperature Index*, proposto pela ASHRAE, o *R.T. - Resultant Temperature* proposto pelo francês Missenard, o *P₄.S.R. - Predicted Four Hours Sweat Rate*, proposto pelo Centro de Pesquisa da Marinha Real da Inglaterra durante a II Grande Guerra, o *H.S.I. - Heat Stress Index*, proposto pelos pesquisadores Belding e Hatch, da Universidade de Pittsburgh, e finalmente o *I.T.S. - Index Thermal Stress*. Nessa obra, examinando a conveniência do apresentado pelo pesquisador francês e certo de que o proposto havia sido desenvolvido para condições de trabalho, GIVONI concluiu que, embora a base e a forma dos índices *Temperatura Efetiva* e *Temperatura Resultante* sejam semelhantes, este último está muito mais próximo das respostas fisiológicas observadas.

XAVIER (1999) afirma ainda, sobre o índice *Temperatura operativa de conforto, interna de conforto, neutra ou ótima de conforto*, que, segundo a

ISO 7730 (1994), é aquela que, em combinação com outros parâmetros físicos e pessoais, fornece um *PMV* igual a zero, ou de neutralidade térmica.

Comentando sobre os índices *Temperatura Efetiva* e *Temperatura Resultante*, afirma que, o primeiro, ou o *E.T. - Effective Temperature Index*, por definição da ASHRAE - Standard 55 (1992), seria a mesma temperatura operativa (média ponderada entre a temperatura do ar e temperatura radiante) de um ambiente fechado, com 50% de umidade, onde resultasse a mesma troca de calor sensível e latente relativa entre uma pessoa e o ambiente real, enquanto o segundo, o *R.T. - Resultant Temperature*, desenvolvido por Missenard, na França, foi motivado pela suposição de que a partir do equilíbrio térmico entre o corpo humano e o ambiente poder-se-ia obter o efeito da umidade e do vento.

2.3 AS VARIÁVEIS QUE ATUAM NA TEMPERATURA INTERNA DE UMA EDIFICAÇÃO

2.3.1 VARIÁVEIS AMBIENTAIS

GIVONI (1976), pesquisando o assunto, afirma que, além de o clima em dada região ser determinado pela variação e inter-relação de diversos elementos, os principais fatores climáticos a serem considerados para se dotar o homem e os projetos de edificação de conforto térmico são: radiação solar, radiação de onda longa emitida da Terra para a atmosfera, temperatura do ar, velocidade do ar, umidade relativa e precipitação (chuva, neve, etc), considerando-se que a manutenção do equilíbrio térmico entre o corpo humano e seu ambiente é um dos primários requisitos para a saúde, o bem-estar e o conforto.

Entretanto, GIVONI (1998), além de afirmar que Conforto Térmico pode ser bem definido como o alcance da condição climática considerada confortável no ambiente interno do edifício, implicando abster-se de qualquer sensação térmica quente ou fria de desconforto, reafirma a necessidade de se analisar seu relacionamento com vários fatores climáticos. Nesse sentido,

consigna que, após desenvolver o *ET* ou o *Effective Temperature Index*, a ASHRAE propôs um gráfico delimitando zona de conforto que, traçada sobre um *gráfico psicrométrico*, especifica limites de temperatura do ar e umidade relativa para pessoas sedentárias sob clima interno mecanicamente mantido confortável. Esse gráfico, apesar de haver sido construído principalmente para utilização em edifícios de escritórios, foi também utilizado na avaliação de clima interno de residências.

Conforme visto na Figura 5 abaixo, o *gráfico psicrométrico* relaciona variáveis como a temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa e específica, entalpia, ponto de orvalho, volume específico e pressão de vapor, sendo possível com sua aplicação, melhor selecionar e administrar propostas de sistemas de ventilação em edifícios.

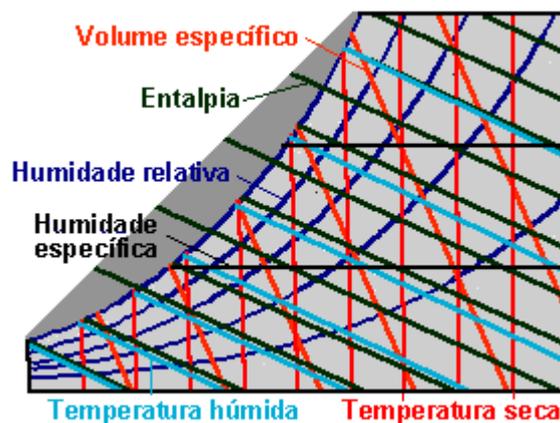


Figura 5 - Diagrama Psicrométrico - Fonte: Site - <http://alfa.ist.utl.pt/~lroriz/>

OLGYAY, em 1963 estudando a influência do clima sobre os critérios construtivos, foi o pioneiro na apresentação de dados climáticos em uma carta bioclimática. Certo de que a avaliação bioclimática é o ponto de partida de qualquer projeto arquitetônico que aspire a proporcionar entorno climático equilibrado, esse pesquisador desenvolveu estudos relacionando os elementos climáticos com o conforto, vindo a causar, com sua proposta, profundo impacto e discussão entre seus pares, pelo que muitos livros e artigos foram e ainda são produzidos. Assim sendo, certo de que os efeitos dos elementos climáticos podem agrupar-se e expressar-se em um único gráfico que indica a zona de conforto ao centro, OLGAYAY apresentou a carta

bioclimática, primeiramente para habitantes de zona temperada dos Estados Unidos. Nela inseriam-se a temperatura de bulbo seco nas ordenadas e a umidade relativa nas abscissas.

Observa-se que, para o autor, qualquer condição climática que seja determinada pela temperatura de bulbo seco e sua umidade relativa pode ser inserida na carta bioclimática proposta, não sendo necessária a aplicação de qualquer medida corretiva nos pontos que estejam dentro da área de conforto. Na Figura 6, visualiza-se a Carta Bioclimática proposta por OLGAYAY em 1963.

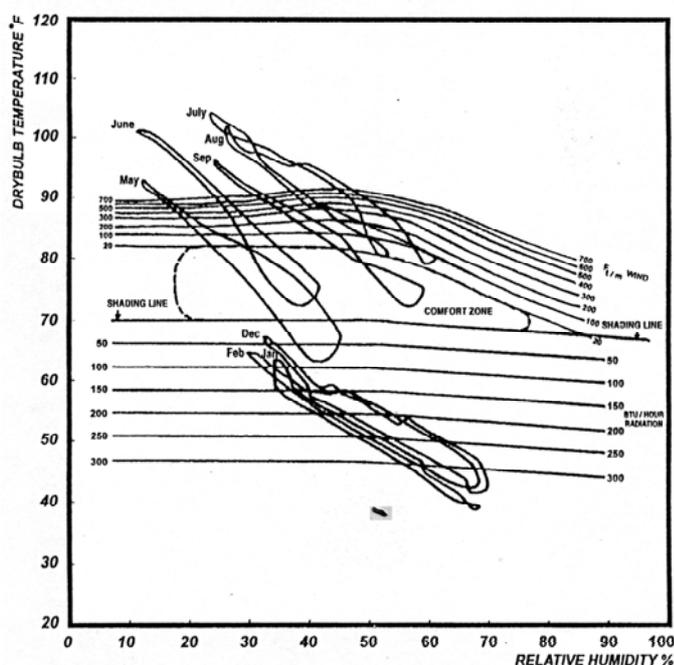


Figura 6. Carta Bioclimática proposta por OLGAYAY em 1963. Fonte: Givoni (1998)

Devemos considerar que a carta proposta por OLGAYAY tem aplicabilidade limitada, pois a análise dos requisitos fisiológicos é baseada no clima externo que, como sabemos, varia de maneira diversa do ambiente interno, que é função das características próprias da edificação. Segundo sua própria afirmação, a carta somente pode ser aplicada diretamente para habitantes de regiões de zona temperada dos Estados Unidos, considerando habitantes com vestimentas normais, vida sedentária e em altitude não muito superior a 305 metros do nível do mar. Para regiões climáticas afastadas da latitude de 40° em direção ao Equador, deve-se elevar a linha do perímetro

de conforto de verão aproximadamente $0,4^{\circ}\text{C}$ para cada 5° de latitude. O perímetro superior pode elevar-se sem, entretanto, superar os $29,4^{\circ}\text{C}$. O autor aconselha também sua aplicação na forma original em regiões úmidas, onde a ventilação é essencial durante o dia e há pequena variação entre as características climáticas internas e externas.

Com a mesma preocupação, GIVONI (1976) propôs o método que utilizando o *I.T.S. - Index Thermal Stress* anteriormente citado para avaliar as necessidades humanas de conforto, a partir das quais as características de projeto das edificações seriam determinadas. Para isso, analisou o clima interno em base horária, nos períodos de condições térmicas extremas, ou seja, os de superaquecimento no verão, excessivo resfriamento no inverno ou excessiva umidade durante as estações de chuva. Assim, plotou em um gráfico psicrométrico as conveniências observadas de ventilação, temperatura do ar, resfriamento evaporativo, etc., que deu origem ao intitulado *Building Bio-Climatic Chart*, ou *BBCC*, que sugere os limites das condições climáticas necessárias para projetos de estratégias de resfriamento passivo com baixo consumo de energia. Essas opções de resfriamento passivo, que serão mais bem discutidas posteriormente, incluem a *ventilação diurna e/ou noturna* e o obtido através do *acréscimo de inércia térmica na composição do fechamento lateral do envelope construído*.

Originariamente os limites do *BBCC* foram definidos em pesquisas desenvolvidas nos Estados Unidos, na Europa e em Israel. Extensão desses limites foram sugeridos por GIVONI (1998) para clima temperado, em países desenvolvidos, e clima quente, em países em desenvolvimento. Especificamente para países em desenvolvimento e de clima quente, é sugerido o acréscimo de 2°C no limite superior e 2 gr/kg de vapor d'água na umidade relativa, levando-se em conta a aclimatação das pessoas. Na Figura 7, apresenta-se o gráfico bioclimático proposto para países desenvolvidos e em desenvolvimento, com a indicação das regiões de conforto provindas da ventilação natural durante o dia, com velocidade do ar de 2 m/s .

Do exposto, resulta que esse trabalho é o mais adequado às condições climáticas brasileiras, pelo que discutir-se-ão Tempo, Clima, Macroclima, Mesoclima e Microclima e as variáveis atuantes.

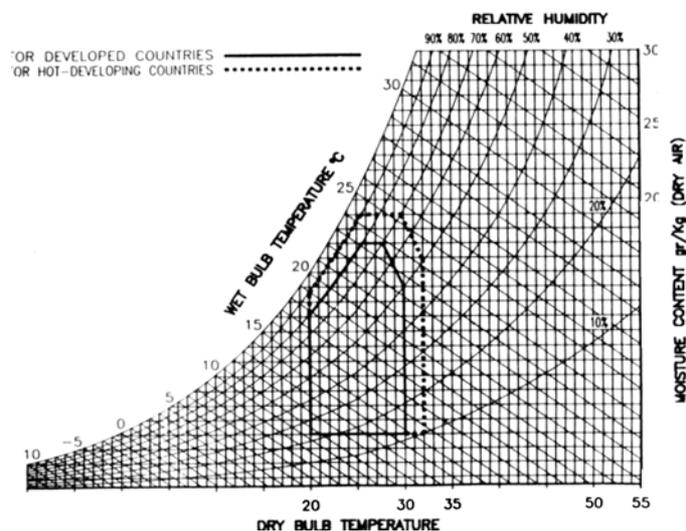


Figura 7. Gráfico bioclimático proposto por GIVONI. Fonte: GIVONI (1998)

Segundo LAMBERTS et al (1997), Tempo é a variação diária das condições atmosféricas e Clima é a condição média do tempo em uma dada região, baseada em medições normalmente verificadas durante trinta anos.

Já pelas afirmações de ROMERO (1988), ou seja, que os fatores globais, ou aqueles que condicionam, determinam e dão origem ao clima nos seus aspectos macro ou mais gerais e os fatores climáticos locais, ou os que condicionam, determinam e dão origem ao microclima ou ao clima que se verifica num ponto restrito, podemos diferenciar Macro, Meso e Microclima. Romero cita ainda, como intervenientes nos fatores globais, a Latitude, a Longitude e a Altitude, sendo a primeira sempre relacionada à linha do Equador, pois em função dessa distância é determinada a quantidade de energia solar que cada ponto da superfície terrestre recebe. Com respeito à Altitude, afirma tratar-se de um dos fatores que exercem maior influência sobre a temperatura, sendo sempre referida ao nível do mar. É certo que ao se aumentar a altura o ar fica menos carregado de partículas sólidas e líquidas, sendo justamente essas partículas que absorvem as radiações solares e as difundem, aumentando a temperatura

do ar. Já em ambiente extremamente seco, o calor da radiação solar incide diretamente na Terra que, por convecção, o transmite para o ambiente. Sobre o Vento, caracteriza-o como interveniente nos fatores globais, afirmando serem fundamentalmente as correntes de convecção na atmosfera que tendem a igualar o aquecimento diferencial das diversas zonas terrestres. Da mesma forma, enfatiza que as massas de água e terra num dado território produzem impacto característico no clima, e que a principal razão para que estes fenômenos se manifestem pode ser atribuída à diferente capacidade de armazenagem de calor das massas de água e de terra.

Nesse sentido, ACIOLI (1994) entende que a diferença entre os calores específicos da água e do solo é uma das causas que determinam a distribuição entre climas marítimos e continentais. Como o calor específico da água é cerca de cinco vezes maior que o do solo, ela se esquentou ou se esfria muito mais lentamente que o solo. Assim, no verão, nas regiões marítimas, a água, tendo se esquentado mais lentamente que a terra, esfria o ar. Por outro lado, no inverno, o oceano estando ainda quente, pois se esfria mais lentamente, acaba fornecendo calor para o ar que, por sua vez, vai amenizar o frio da terra.

Tanto OLGAY (1998) como ROMERO (1988) afirmam que as características naturais do terreno tendem a moderar as temperaturas extremas e a estabilizar as condições climáticas devidas principalmente às qualidades refletoras das diferentes superfícies. Citam que a vegetação que cobre o solo reduz a temperatura, absorvendo parte da insolação, e que as cidades e as superfícies criadas pelos homens tendem a elevar a temperatura, já que a maioria delas são compostas de materiais absorventes de calor.

2.3.2 VARIÁVEIS ARQUITETÔNICAS

OLGAY (1998), voltado ao clima externo, afirma que, em função dos numerosos microclimas existentes em uma região, deve-se dar especial

atenção à implantação de uma edificação, disso resultando maior ou menor ganho de radiação solar e, particularmente nas regiões quentes e úmidas, possibilidade de conforto térmico interno, através da ventilação natural via aproveitamento eficiente da direção predominante do vento.

Entretanto, em que pese poder-se minimizar a incidência da radiação solar através do sombreamento natural ou artificial das superfícies expostas, sejam elas opacas ou transparentes, deve-se considerar que a implantação bem estudada também poderá proporcionar máxima radiação solar durante o inverno e mínima durante o verão, viabilizando ambiente interno confortável, independentemente da estação climática reinante.

Da mesma forma, necessário se faz que se encontre equilíbrio nas definições de projeto com respeito à vegetação circundante. OLGAYAY (1998) afirma que a do tipo rasteiro, além de absorver a radiação direta incidente, esfria o ar do entorno em função de seu processo de evaporação.

Já GIVONI (1998) afirma que são muitas as características, em um projeto de arquitetura, que afetam a edificação, pelo que indica quatro formas de interação da construção em seu meio ambiente:

- 1ª. A *efetiva exposição solar* dos elementos envidraçados ou opacos que pertencem ao envelope (suas paredes e cobertura);
- 2ª. O *efetivo ganho de calor solar* do edifício;
- 3ª. A *taxa de ganho ou perda condutiva e convectiva de calor* para o ar ambiente; e
- 4ª. O *potencial* para ventilação natural e resfriamento passivo do edifício.

Afirma ainda que as principais características que afetam algumas ou todas dessas interações do edifício com o meio ambiente são:

- forma do edifício;
- orientação e condições de sombreamento das janelas;
- orientação e cor das paredes;

- tamanho e localização das janelas sob o aspecto de ventilação; e
- efeito da condição de ventilação da edificação na sua temperatura interna.

Citando a forma da edificação, GIVONI (1994) sinaliza que em regiões de clima quente úmido sua contribuição é de muita importância para se obter a ventilação interna que, por sua vez, deve ser entendida como a maneira mais efetiva de se minimizar o efeito psicológico da alta umidade. Nessas regiões, a pequena variação da temperatura torna necessária a atuação de algum sistema de resfriamento como, por exemplo, a ventilação cruzada (ilustrada na Figura 8 abaixo), em função do tamanho, localização e quantidade de janelas/aberturas existentes.

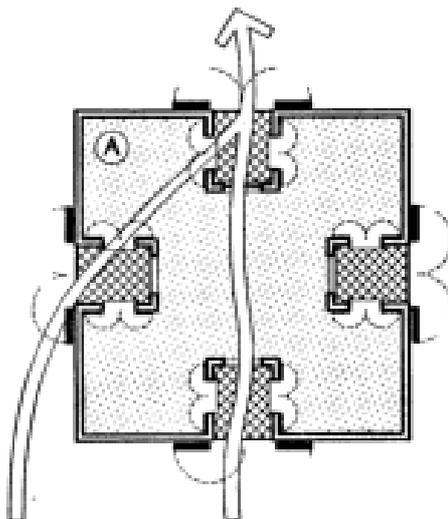


Figura 8. Exemplo de ventilação cruzada. Fonte: Givoni (1998)

Entretanto, MALLICK (1996), em pesquisa realizada na cidade de Dhaka, em Bangladesh, região de clima quente úmido, afirma que a temperatura confortável aumenta com o acréscimo do movimento do ar, mas até certos valores. Para movimento de ar até 0,15 m/s, gerado por ventilador de teto com velocidade lenta, nenhuma mudança apreciável na temperatura de conforto é observada. Para fluxo de ar de 0,3 m/s há elevação nos limites inferior e superior da temperatura obtida anteriormente em 2,4° e 2,2° C, respectivamente. Já para fluxo de ar maior que 0,45 m/s os acréscimos em ambos limites são 3,4° e menos de 3,2° respectivamente.

RAJA et al (2001) afirmam que os controles térmico e de ventilação em edifícios ventilados naturalmente podem ser obtidos através de várias formas: da iluminação artificial, das persianas e de janelas que permitem ou não a passagem de ar. Após pesquisa desenvolvida nas cidades de Oxford e Aberdeen, na Inglaterra, durante os anos de 1996/1997, concluíram que apenas mantendo-se aberta a porta ou a janela não é suficiente para se obter conforto térmico, sendo que, quando abertas, somente as pessoas próximas a elas sentem-se satisfeitas. Com respeito ao uso de ventiladores, a resposta é semelhante, pois somente quem estiver em sua proximidade sente alívio térmico. Outra forma de controle estudada foi a utilização de persianas ou cortinas que resultaram em efeitos menores que os das janelas e ventiladores, sendo seu uso justificado em função de se evitar o excesso de iluminação em vez de calor.

Já FROTA e SHIFFER (1999) afirmam, em relação ao clima quente úmido, que "... a variação da temperatura noturna não é tão significativa, ... , que cause sensação de frio, mas suficiente para provocar alívio térmico", assim, "a ventilação noturna é bastante desejável". Concluem lembrando que "... devem-se proteger as aberturas da radiação solar direta, mas não fazer destas proteções obstáculos aos ventos". Dessa forma, entende-se que devem-se prever aberturas suficientemente grandes para permitir a ventilação nas horas da noite em que a temperatura externa está mais baixa que a interna.

Nessa discussão, deve-se considerar ainda a escolha dos materiais que compõem o envelope, visto que através deles é que acontece o acréscimo ou decréscimo de calor interno, que é função entre outros fatores, como já foi dito, da quantidade de radiação solar incidente na superfície.

LAMBERTS et al (1997), ao analisarem os fechamentos, classificam-nos em transparentes ou opacos, segundo "sua capacidade (transparentes) ou incapacidade (opacos) de transmitir a radiação solar para o ambiente interno". Colocam os fechamentos opacos em função de sua *resistência superficial externa e interna* (R_{se} e R_{si}), da *refletividade* (ρ), *absortividade*

(α), *condutividade térmica* (λ), *espessura do fechamento* (L), *resistência térmica* (R), *emissividade da superfície* (ϵ) e *transmitância térmica* (U) do material.

Quantidade significativa de calor é transferida do ático da cobertura de uma residência para seu interior. MEDINA (2000) comparou dois projetos idênticos, utilizando dois tipos de barreiras radiantes, compostas de lâminas de alumínio aderidas a malha de *fiberglass*, que resultaram 3 diferentes resistências térmicas, 1,94, 3,35 e 5,28 m²K/W. Com a instalação dessas barreiras nos planos horizontal do forro e inclinado inferior da estrutura da cobertura, ocorreram, no verão, percentuais de redução de transferência térmica de 42%, 34% e 25%, respectivamente. Já em simulação feita durante 8 meses observou-se redução menor, 28%, justificada, no seu entendimento, pela diferente quantidade de dias; utilização do TMY - *Typical Meteorological Year* e não de dados exatos do local; possibilidade de o modelo aferir internamente variações de umidade e transferência de massa de ar; que no monitoramento TRB a empena do telhado não estava fechada e, finalmente, possíveis erros instrumentais.

Já TAYLOR et al (2000), preocupados com a demanda elétrica na África do Sul, afirmam que, mesmo sendo conhecidos os resultados de pesquisas anteriores que atestam que o isolamento das coberturas das edificações têm potencial de redução de energia no inverno de mais de 1900MW, resultando em considerável economia para o país, os proprietários ainda não se convenceram da necessidade de instalar isolamento nos tetos de seus imóveis. Assim sendo, quantificaram especificamente o potencial do efeito de tal isolamento, visando ao conforto interno em 8 residências no período de verão, na região de Pretória. Para isso, utilizaram 3 espessuras de fibreglass (50, 75 e 100mm) que foram monitoradas em dias de temperaturas externas similares, no período de janeiro/1996 a janeiro/1998. Após exaustivo desenvolvimento, concluíram que a média de melhoria foi de 3,1°K, chegando a 4,5°K, como melhor resultado. No âmbito nacional, simulação mostrou redução de 3,3°K na temperatura máxima interior.

MALLICK (1996), em sua pesquisa anteriormente citada, para região de clima quente úmido, afirma também que as espessuras das paredes executadas com tijolos maciços produzem diferenças significativas no desempenho térmico de residências, após comparar as espessuras de 125, 250 e 375 mm, concluindo que a maior produz ambiente mais confortável, principalmente nos períodos quentes e secos.

Trabalho desenvolvido por PAPST (1999), na cidade de Florianópolis/SC, objetivando demonstrar a utilização de inércia térmica como *estratégia de aquecimento e resfriamento passivo* no período de frio e calor respectivamente, conclui que a utilização de tijolos maciços só apresenta bons resultados se consorciada com isolamento da cobertura, evitando-se, desta forma, ganho de calor por radiação no período quente e perda de calor interno no frio. Da mesma forma, indica-a para ambientes de ocupação predominantemente diurna, que tenham boa orientação solar e, se combinada com isolamento, que este seja do lado externo da vedação. Finalmente, que o projeto permita, além de ventilação cruzada, gerenciamento desta estratégia em função das diferenças de temperaturas interna e externa, ventilando-se no verão, quando a temperatura externa for inferior à interna, e no inverno, quando a externa for superior à interna.

Entretanto, FROTA e SCHIFFER (1999) afirmam a esse respeito que, em clima quente úmido, o uso de grande inércia térmica deve ser evitado em função da dificuldade imposta à saída do calor do ambiente interno para o externo, quando a temperatura neste é inferior à daquele, o que ocorre principalmente no período noturno.

Já LORENTE et al (1998) buscaram determinar, na França, a resistência térmica de blocos de terracota com furos verticais, para execução de alvenaria. Impondo variações de temperatura de 10 a 55K em 2 modelos de diferentes alturas, 25 e 250 centímetros, e 4 diferentes tamanhos / quantidades colunas de furos por sessão transversal, 3 x 8cm / 5col., 4 x 8cm. / 4col., 8 x 6cm. / 3col. e 8 x 8cm. / 2col. demonstravam que, além de requererem menos material para satisfazer a resistência mecânica imposta

pelas normas de seu país, implicaram sob determinadas condições em transferência térmica por convecção natural muito mais interessante que os blocos convencionais. Segundo o autor, para temperatura correspondente a superaquecimento solar ou de condições climáticas tropicais, os tijolos fabricados com furos verticais e 250 centímetros de altura pareceram fornecer uma resposta térmica mais interessante que os de altura padrão, ou 25 centímetros.

Estudo desenvolvido por ORAL (2000), em Istambul, com fechamentos transparentes em função de sua *transmissividade* (τ), *absortividade* (α) e *refletividade* (ρ), relata, após comparar a perda média diária de calor de hora em hora por unidade de superfície do envelope construído em função da combinação de valores de *coeficiente de transferência de calor global e a relação de transparência ou área da janela sobre a área da fachada* de janelas de diferentes tipos, que a perda de calor por unidade de área de fachada com janelas de caixilhos de plástico é menor que a que ocorre com as janelas de caixilhos de madeira.

CUCUMO et al (1995), interessados na valoração precisa da incidência da radiação solar no ambiente interno, propuseram método de cálculo para o consumo da *redistribuição* da energia solar e da *absortividade efetiva* no ambiente interno de uma edificação, isso a partir da avaliação da energia solar que entra pela janela, ou por um fechamento transparente. A partir de diferentes tamanhos de ambientes, localizados em diferentes latitudes, com janelas de variados tamanhos e distintas orientações, portando vidro claro simples e/ou duplo e com as superfícies internas do envelope, bem como da janela, divididas em aproximadamente 400 pequenas áreas a determinarem com exatidão o local da incidência dos raios do sol, esses pesquisadores concluíram que o valor da *absortividade efetiva* calculada pela fórmula matemática tradicional é em torno de 10% maior que o modelo proposto ou na situação real.

Cabe aqui consideração feita por ROULET (2001) com respeito às janelas com vidro simples e duplos. Conclui o pesquisador que durante o

inverno do hemisfério norte as janelas de vidro simples secam o ar interno por condensação, fazendo surgir película de água na superfície interna do vidro que, dependendo da temperatura, congela ou escorre, sendo esse fenômeno mantido com a constante limpeza dessa película. Já em janelas com vidro duplo dois fatos ocorrem ao mesmo tempo: a taxa de ventilação pode decrescer (função da menor possibilidade de ocorrência de frestas) e a condensação deixa de acontecer na superfície interna do vidro em função da câmara de ar existente. Entretanto, com isso, a umidade do ar interno é elevada e, em paredes precariamente isoladas, aumenta a umidade superficial.

Com respeito à incidência solar direta a que as faces externas das edificações estão expostas, cabe referir-se aos sombreamentos, podendo estes ser totais ou não, com ou sem uso de vegetação, mais conhecidos como brizes.

LAMBERTS et al (1997) entendem que apesar de os protetores solares serem importantes sob o ponto de vista de redução do ganho térmico, deve-se tomar cuidado na sua aplicação para não haver prejuízo da iluminação natural.

OLGYAY (1998), depois de detalhar o tema Controle Solar, afirma que "se deseja-se utilizar um perfil de sombra para o projeto, é necessário em primeiro lugar determinar os períodos, isto é, as horas, estações, direção, orientação e altitude de onde se necessita sombra." Para isso, expõe quatro passos:

- 1º. definição dos períodos em que a sombra é necessária a partir da identificação dos períodos de superaquecimento;
- 2º. definição da sombra em função do diagrama solar, da altitude, da distância angular a partir do horizonte e do azimute;
- 3º. determinação do tipo e da posição do mecanismo de proteção solar. Aqui cabe ressaltar que em FROTA e

SCHIFFER (1999) tal dimensionamento é denominado *traçado das máscaras*;

- 4º. avaliação dos elementos de proteção através diagrama solar com o período de temperaturas quentes, assinalando o perfil de sombra supostamente apropriado.

Com respeito à cor da superfície externa do envelope construído, GIVONI (1998) entende que esta determina o impacto da radiação solar na edificação; que parcela da energia solar incidente é absorvida e influencia no ganho de calor no ambiente interno e quanto dessa energia é refletida sem qualquer efeito no ambiente interno. Já após identificar três propriedades físicas do envelope construído (*absortividade, refletividade e emissividade*), acentua que a quantidade de radiação solar incidente nas diferentes superfícies da edificação varia também grandemente em função de sua orientação. Entretanto, no caso de superfícies brancas, o efeito da orientação é muito pequeno, em contraste com as cores escuras, onde esse efeito é mais intenso. Não somente a orientação como também as cores das superfícies determinam quantitativamente a radiação incidente.

Em que pese a importância do parágrafo anterior, CHAIN et al (2001) alertam para outro aspecto não menos relevante com respeito às cores. Certos de que as cores das superfícies modificam a taxa de percepção humana, alertam que fatores como CCT - *Correlated Colour Temperature* e CRI - *Colour Rendering Index* influenciam nas superfícies coloridas e contribuem para a afabilidade e a satisfação pessoal humana, pois o balanço entre a iluminância e as cores é sempre alterado de acordo com as condições do céu. Dessa forma, uma má especificação de cores pode trazer ao mesmo tempo conforto térmico e desconforto visual às pessoas.

2.4 A BIOCLIMATOLOGIA

Segundo ORNSTEIN (1992), "desempenho é uma propriedade que caracteriza quantitativamente o comportamento de um produto em uso."

Entretanto, na arquitetura, o desempenho pode ser entendido como o resultado obtido na proposta de servir o homem, onde, particularmente com respeito ao conforto térmico, pesquisas são desenvolvidas e aperfeiçoadas.

ROULET (2001) afirma que um edifício bem adaptado tem bom isolamento térmico, apropriado ganho solar passivo e adequado sistema de ventilação, provendo conforto sem outra fonte de energia que a do Sol durante a maior parte do ano. Com isso, a energia adicional necessária tanto para aquecimento como resfriamento é extremamente reduzida.

Para ROMERO (1998), um projeto arquitetônico deve ser condicionado e adaptado às características do meio em que está inserido. Destaca que as construções e traçados urbanos primitivos constituem exemplos de boa arquitetura, não sendo mais do que realizações que evidenciam um profundo conhecimento do lugar da implantação do projeto. Assim, acredita que o estabelecimento de princípios que levem em conta as inter-relações do ambiente com o espaço construído contribuiriam sensivelmente para a construção de edificações ajustadas às atividades do homem, sob o ponto de vista de sua adequação térmica e salubridade ambiental. Aceitando a hipótese de ser de extrema complexidade a relação do homem com os ambientes físicos e social, conclui ser a Bioclimatologia agrupando a biologia, ecologia, climatologia e arquitetura, responsável pelo enfoque bioclimático na arquitetura.

GOULART et al (1998) definem Bioclimatologia como a ciência que estuda a climatologia e sua relação com os seres vivos e Arquitetura Bioclimática, a arte que se baseia na correta aplicação dos elementos arquitetônicos com intuito de fornecer ao ambiente construído um alto grau de conforto higrotérmico com pequeno consumo energético.

OLGYAY (1998) já em 1973 manifestava-se no sentido de que o processo construtivo de uma moradia climaticamente equilibrada deveria dividir-se em quatro etapas, sendo que a última delas seria a expressão arquitetônica. A seqüência proposta seria: análise dos Dados Climáticos (segundo suas características anuais de temperatura, umidade relativa,

radiação e vento), análise das Variáveis Biológicas (sensações humanas transladadas ao gráfico bioclimático), análise das Soluções Tecnológicas possíveis (localização, orientação, sombra, forma, movimento do ar e equilíbrio da temperatura interior) e finalmente a tradução Arquitetônica das conclusões anteriores.

Já o *United State Green Building Council*, em seu *Sustainable Building Technical Manual* (1996), afirma que os projetos de edifícios enfrentam extraordinária fase de evolução nesta década, onde estratégias consideradas descartáveis em passado próximo, como os projetos de utilização de energia solar passiva, os projetos voltados para o meio ambiente e os que enfatizam a qualidade ambiental interna, são agora proeminentemente aceitos e muitos deles economicamente possíveis de implantação. Particularmente, sobre o envelope construído propriamente dito, cita a necessidade de se buscar o equilíbrio entre a ventilação e a iluminação natural voltado para as condições climáticas do ambiente, oportunizando não somente a proteção contra umidade como também o não acréscimo de carga térmica.

Particularizando para regiões de clima quente, GIVONI (1994) entende que a Arquitetura Bioclimática envolve o projeto arquitetônico e também a escolha de materiais que garantam conforto, visando a minimizar a demanda de energia necessária para resfriar o edifício. Por outro lado, defende também que qualquer decréscimo na temperatura média interna abaixo do nível ambiente externo requer a introdução de energia refrescante, que pode ser obtida através de fontes renováveis naturais, ou **Sistemas de Resfriamento Passivo**, assim classificando-os: *Ventilação Confortável* ou *Ventilação Diurna de Conforto*, *Ventilação Noturna*, *Resfriamento Radiante*, *Resfriamento Evaporativo Direto*, *Resfriamento Evaporativo Indireto*, *Resfriamento pelo Uso do Solo* e *Resfriamento dos Espaços Externos*.

2.5 AS PROPOSTAS DE SISTEMAS DE RESFRIAMENTO PASSIVO

Estudos desenvolvidos por GIVONI (1998) comprovam que, para regiões de clima quente úmido, a estratégia mais simples para prover conforto térmico em uma edificação, quando sua temperatura interna se torna elevada, é a *ventilação confortável* ou *ventilação diurna de conforto*. O fluxo de ar externo que atravessa o edifício dá sensação psicológica de resfriamento aos ocupantes, principalmente se a temperatura estiver acima dos 30°C. Nesse sentido, considera que se a velocidade interna do ar estiver entre 1,5 a 2,0 m/s e a temperatura máxima externa do ar entre 28°C e 32°C, não excedendo amplitude de 10°C e dependendo da aclimação e expectativa de conforto da população, a *ventilação diurna de conforto* é viável.

Entretanto, há que se manter certos limites, pois muito próxima dessa *ventilação diurna de conforto* está a *ventilação cruzada* que tende a elevar a temperatura interna ao limite da externa, tornando o ambiente desconfortável. GIVONI (1998) afirma que edifícios construídos com envelope de alta inércia térmica e providos de *ventilação cruzada* durante o dia alcançam temperatura interna de 2°C a 3°C menores que a externa. Já os com baixa inércia térmica, mesmo quando ventilados artificialmente, mantêm a temperatura interna próxima da externa.

Voltado ao estudo da inércia térmica, ASAN (1998), após considerar *atraso térmico* como o tempo de propagação do fluxo da onda de calor da superfície externa em direção à interna e *fator de decremento* como a taxa de decréscimo da amplitude da temperatura durante essa propagação, afirma que paredes com atraso térmico alto e fator de decremento baixo proporcionam temperaturas internas confortáveis sempre que a temperatura externa for muito elevada.

PAPST (1999), discorrendo sobre vários trabalhos voltados para a utilização da inércia térmica como **Sistema de Resfriamento Passivo**, afirma que, além de demonstrarem bons resultados na diminuição dos picos e cargas de energia elétrica gasta no resfriamento artificial de edifícios

comerciais, também podem não somente reduzir a temperatura interna como transferir os picos da carga de resfriamento para horário posterior, quando o ambiente está desocupado. Porém, quando do desenvolvimento de seu trabalho em residências de Florianópolis/SC, concluiu que sua utilização apresenta bons resultados se consorciada com isolamento na face externa do envelope; aplicada em ambientes com utilização predominantemente diurna e em projetos que tenham orientação solar adequada e cobertura isolada.

Apesar da a velocidade do ar durante o dia ser muito superior à da noite, quando esta é quase sempre imperceptível, a estratégia *Ventilação Noturna* assegura o resfriamento por convecção da massa térmica do envelope construído, tornando o ambiente interno durante o dia mais confortável. GIVONI (1998), tratando do assunto, afirma que no período diurno o ambiente tem que estar fechado, sem ventilação, o que impedirá seu aquecimento pelo ar externo mais quente. Conclui afirmando que o resfriamento noturno por ventilação é a estratégia preferível para regiões onde a temperatura diurna no verão é grande o suficiente para possibilitar significativa redução da temperatura do ar interno abaixo da máxima externa. Em outras palavras, regiões em que a temperatura diurna no verão esteja acima do limite superior da zona de conforto (com velocidade do ar em torno de 1,5 m/s), o que ocorre principalmente em regiões onde a temperatura diurna está entre 30 e 36°C e as noturnas abaixo de 20°C. Nestas regiões a *Ventilação Diurna* não é aconselhável, pois certamente provocaria ganho de temperatura interna e, conseqüentemente, da temperatura interna noturna, quando os ventos normalmente diminuem.

GEROS et al (1999), pesquisando em Atenas/Grécia o potencial da *Ventilação Noturna* quando aplicado em edifícios de vários andares, com diferentes projetos, estruturas, características climáticas e de ventilação, afirmam que a eficiência de resfriamento desse sistema é baseada principalmente na taxa do fluxo do ar, na capacidade térmica do edifício e na solução eficiente adotada entre esse fluxo de ar e a massa térmica. Entendem que sua eficiência está fortemente relacionada aos parâmetros:

diferença relativa entre temperatura interior e ao ar livre, principalmente durante o período noturno; a taxa de fluxo de ar útil existente durante o período noturno e a capacidade térmica do edifício. Nesse sentido, constataram que quanto mais baixa a temperatura ao ar livre durante a noite e mais alto o fluxo de ar fresco mais alta é a eficiência da *Ventilação Noturna*. Adicionalmente, corroboram que a existência de grande inércia térmica aumenta importantemente a eficiência da técnica do sistema. Da mesma forma, afirmam ser de muita importância o planejamento do interior do edifício, visando a determinar o “caminho” do fluxo do ar. Finalmente, alertam para outro importante parâmetro climático, a amplitude da temperatura ambiente, pois quando esta é muito alta a *Ventilação Noturna* pode ser muito eficiente, principalmente se a temperatura ambiente mínima é baixa.

A estratégia *Resfriamento Radiante* parte do conceito de que qualquer superfície voltada para o exterior perde calor pela emissão de radiação de onda longa para o céu, podendo ser considerada como um radiador de calor. Entretanto, embora essa perda de calor por radiação ocorra durante o dia e a noite, somente no período noturno o balanço radiante é negativo. GIVONI (1994) cita como exemplo o sistema identificado como Cobertura Maciça com Isolamento Móvel que se demonstrou eficiente mas inviável pela praticidade e custo, concluindo, sobre o sistema de aquecimento solar passivo e *resfriamento radiante* chamado “Skytherm”, desenvolvido por Harold Hay em 1978, que esse sistema, constituído de estrutura de chapas de aço que funcionam como forro, recebe em sua face superior sacos de plástico que são cheios de água e que, através de sistema móvel de placas de isolamento, permitem que a água armazenada seja protegida da incidência da radiação solar direta durante o dia e por conta disso possam resfriar o ambiente interno inferior.

A penúltima proposta de GIVONI (1994), muito utilizada através dos anos em regiões quentes e áridas, é o *Sistema de Resfriamento Evaporativo* que resulta do resfriamento do ar externo pela evaporação da água nele existente, antes de sua introdução mecânica ou passiva no interior do

edifício. Esse sistema pode ser *Direto*, quando o resfriamento da água é feito diretamente através de sua evaporação para depois o ar ser introduzido no edifício, ou *Indireto*, quando se resfria um elemento do edifício, como por exemplo a cobertura ou as paredes, pela evaporação da água existente, onde o elemento, assim resfriado, serve por sua vez para baixar a temperatura e também absorver, através de suas superfícies interiores, o calor existente no interior do edifício.

Já sobre a estratégia *Resfriamento* interno das edificações *pelo Uso do Solo*, GIVONI (1994) parte do princípio de que a terra em cima, ao lado e abaixo do edifício pode servir de forma passiva ou ativa como recurso natural de resfriamento na maioria das regiões climáticas. Isso é possível muito facilmente no verão, em função de a temperatura da terra estar sempre inferior à do ar externo. Na Figura 9 abaixo, ilustra-se a estratégia.

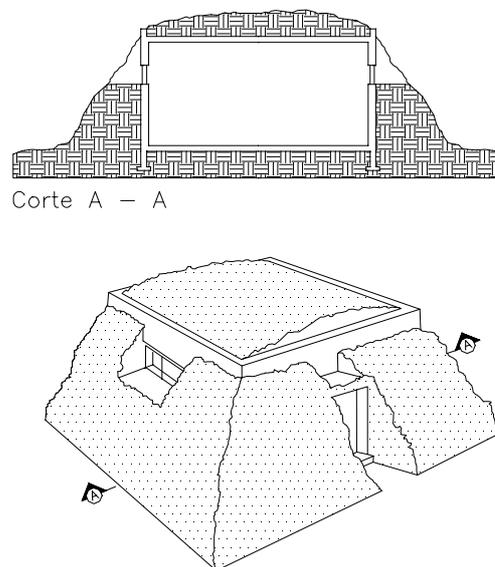


Figura 9 - Exemplo de utilização da terra como sistema de resfriamento passivo direto
Adaptado de Givoni (1998)

Outro exemplo de *Resfriamento pelo Uso do Solo* aponta a instalação de tubos a certa profundidade no solo, permitindo a circulação do ar resfriado no interior da edificação. Vide Figura 10.

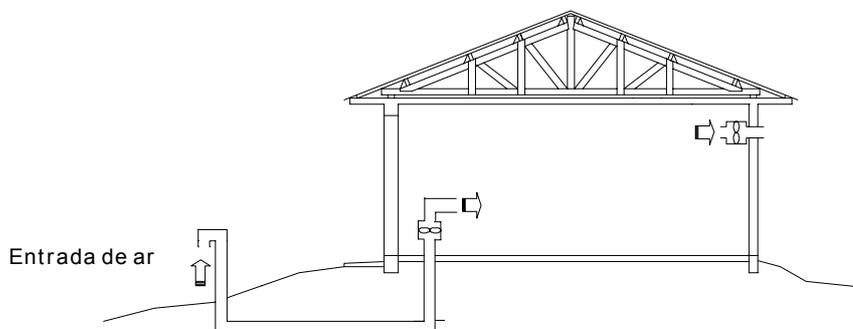


Figura 10 - Exemplo de utilização do solo como sistema de resfriamento passivo. Adaptado de Bower, J. (1995)

2.6 O CLIMA NA BEP

Segundo o projeto de normalização técnica nº. 02:135.07-003 - Desempenho Térmico de Edificações - Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social, em análise na ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, onde o território brasileiro é dividido em 8 diferentes zonas climáticas, podemos considerar que a BEP está inserida na Zona Bioclimática nº. 8, dada a sua proximidade com a cidade de Corumbá, uma das 330 ali relacionadas. Aqui julgamos interessante ressaltar a utilização da referida proposta de norma nas instalações da BEP. Em que pese esta ser voltada para habitações unifamiliares, sua metodologia baseia-se em dados climáticos de campo e colhidos em cidades brasileiras, como no caso deste trabalho específico, Corumbá, no Mato Grosso do Sul.

Isto posto, conforme ilustrado na Figura 11, podemos afirmar que tanto a cidade de Corumbá como a BEP estão inseridas no Pantanal, na região climática caracterizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e

Estatística - IBGE no Diagnóstico Brasil 1990 como "Tropical Brasil Central - Quente Úmido", sendo mais precisamente quente e úmido no verão e frio e seco no inverno. Sua temperatura média máxima de 28°C ocorre em janeiro e a média mínima de 21°C em julho. A maior parte dos solos do Pantanal são arenosos.

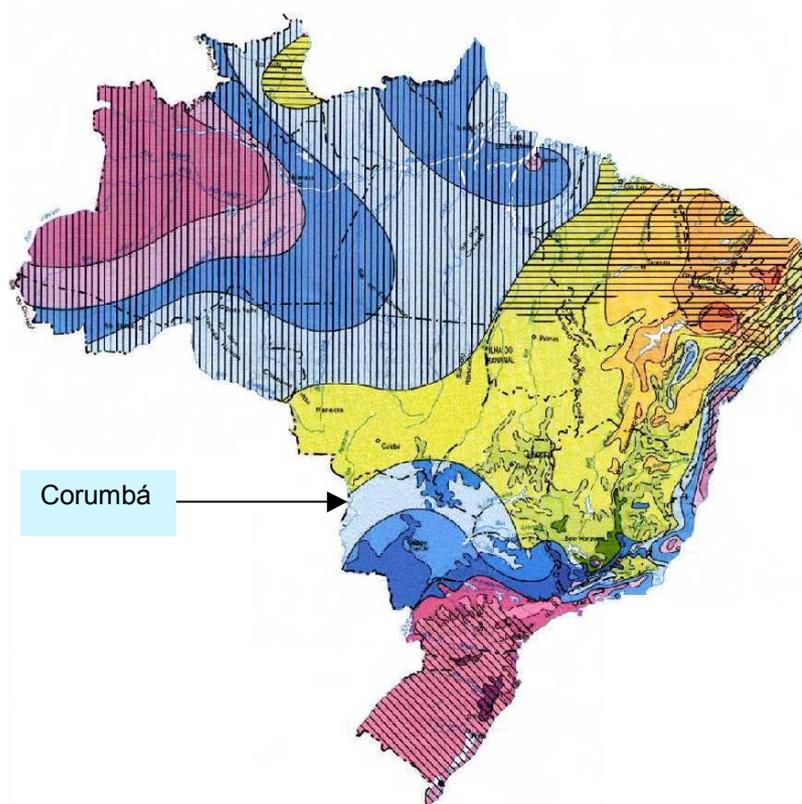


Figura 11 - Regiões climáticas do Brasil - Fonte IBGE

O Pantanal Mato-grossense (Figura 12), é uma das maiores extensões úmidas contínuas do planeta e está localizado no centro da América do Sul, na bacia hidrográfica do Alto Paraguai. Sua área é de 138.183 km², com 65% de seu território no estado de Mato Grosso do Sul e 35% no Mato Grosso. A região é uma planície aluvial influenciada por rios que drenam a bacia do Alto Paraguai, onde se desenvolvem uma fauna e uma flora de rara beleza e abundância, influenciada por quatro grandes biomas: Amazônia, Cerrado, Chaco e Mata Atlântica.

Pelas suas características e importância, esta área foi reconhecida pela UNESCO, no ano 2000, como Reserva da Biosfera, por ser uma das mais exuberantes e diversificadas reservas naturais da Terra.

O rio Paraguai e seus afluentes percorrem o Pantanal, formando extensas áreas inundadas. Devido à baixa declividade desta planície no sentido norte-sul e leste-oeste, a água que cai nas cabeceiras chega a demorar quatro meses ou mais para atravessar todo o Pantanal. Os ecossistemas são caracterizados por cerrados e cerradões sem alagamento periódico, campos inundáveis e ambientes aquáticos como lagoas de água doce ou salobra, rios, vazantes e corixos.

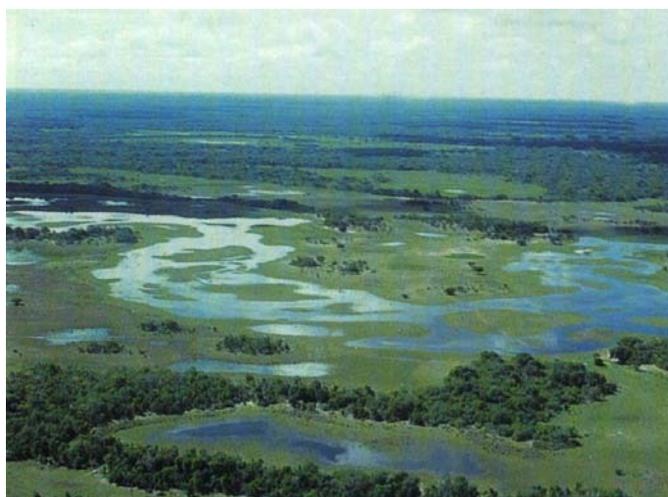


Figura 12 - Pantanal Mato-grossense

2.7 AS ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA CORUMBÁ

Vários programas computacionais foram desenvolvidos para simular o desempenho térmico das edificações utilizando dados climáticos de um ano típico para o cálculo do consumo de energia. Uma das alternativas desenvolvidas para o cálculo de energia térmica em edificações é o Test Reference Year -TRY, baseado na eliminação de anos de dados que contenham temperaturas médias mensais extremas (máximas ou mínimas), até resultar apenas um ano. O Ano Climático de Referência assim determinado, na forma necessária para a simulação desejada, consiste em dados climáticos horários apresentados em uma forma padronizada.

Plotando-se esses dados sobre uma Carta Bioclimática e utilizando-se os conceitos de Arquitetura Bioclimática obtêm-se as estratégias de projeto mais adequadas para melhor adaptar a edificação ao clima do local pretendido. Trabalhos desenvolvidos por GOULART (1993) e ANDRADE (1996), entre outros, tratam do assunto.

O conhecimento das variações climáticas é fator de suma importância no comportamento térmico e consumo de energia das edificações. Buscando principalmente dotar os ambientes construídos de conforto térmico, o LabEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações) do NPC (Núcleo de Pesquisas em Construções) e da UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina) iniciou em 1991, o tratamento dos dados climáticos de 14 cidades brasileiras, obtidos junto ao CTA/IAE (Centro Técnico Aeroespacial/Instituto de Aeronáutica e Espaço).

Já no NPC da UFSC foi desenvolvido o *software Analysis* que permite, a partir da plotagem da temperatura e umidade do TRY sobre a Carta Bioclimática proposta por GIVONI (1992) para países de clima quente e em desenvolvimento, visualizar-se a distribuição dos dados climáticos e calcular-se a percentagem de horas do ano em que cada estratégia bioclimática é mais apropriada. Dessa forma foram geradas as Cartas Bioclimáticas acima referidas e particularmente a da cidade de Corumbá, apresentada na Figura 13.

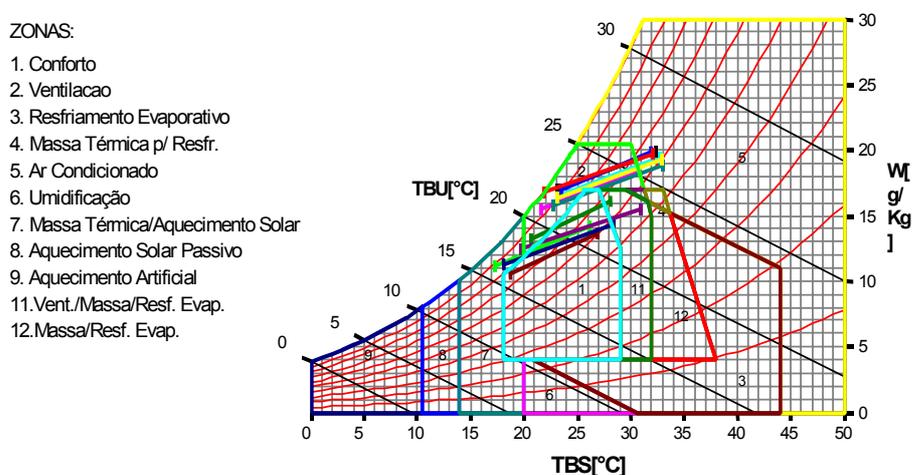


Figura 13 - Normais Climatológicas da cidade de Corumbá - Fonte Lamberts et al (1997)

Da análise da carta bioclimática, obtem-se, como mostra a Tabela 1, o percentual das quantidades de horas do ano em que se obtém o conforto e qual a estratégia (passiva \cong sistema natural ou ativa \cong sistema artificial) mais apropriada para alcançá-lo em Corumbá.

Tabela 1 - Percentual de horas para cada estratégia, na cidade de Corumbá

	MESES											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Ventilação	78,08	78,67	82,28	84,76	24,04	4,08			11,32	83,66	53,39	77,16
Ar Condicionado	21,92	21,33	17,72							16,34	29,18	22,84
Conforto				15,24	67,88	64,81	100	81,73	59,65		17,43	
Ventilação/ Massa/ Resfriamento Evaporativo					8,08			1,63	26,37			
Aquecimento Solar Passivo/ Massa Térmica						31,11		16,64	2,66			
% dias monitorados	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Considerando-se que a BEP está localizada a 19° 34' 37" de Latitude Sul e 57° 01' 09" de Longitude Oeste e Corumbá a 19° 00' 33" de Latitude Sul e 57° 39' 12" de Longitude Oeste e distantes apenas 125 km, podemos admitir que provavelmente tanto a carta bioclimática como as estratégias resultantes de Corumbá deverão se repetir na BEP. Assim sendo, analisando-se a Tabela 1, vê-se que em 124 dias ou 34% do ano alcança-se conforto térmico. Da mesma forma, desconsiderando-se "Ar Condicionado" com 39 ou 10,7% dos dias/ano, temos 3 regiões que representam as estratégias "Ventilação", "Ventilação/Massa/Resfriamento Evaporativo" e "Aquecimento Solar Passivo/Massa Térmica", sendo que a cada uma correspondem respectivamente 175, 11 e 16 dias/ano ou 47,9%, 3% e 4,4% dos dias/ano.

Por fim, recomendam-se as estratégias:

- **Ventilação:**
 - temperatura interna $\geq 29^{\circ}\text{C}$ ou UR $\geq 80\%$
 - velocidade do ar interno $\leq 2\text{ m/s}$ e temperatura externa $\leq 32^{\circ}\text{C}$
 - Em regiões de clima quente e úmido, a ventilação cruzada é a estratégia mais simples a ser adotada
- **Resfriamento Evaporativo**
 - TBU = $24^{\circ}\text{C} \leq \text{temperatura} \leq \text{TBS } 44^{\circ}\text{C}$
 - deve-se permitir boa ventilação no ambiente, impedindo o acúmulo de vapor d'água.
- **Massa térmica para resfriamento**
 - utilização da inércia térmica como forma de diminuir a amplitude da temperatura interna da edificação
- **Massa Térmica para aquecimento**
 - $14^{\circ}\text{C} \leq \text{temperatura} \leq 20^{\circ}\text{C}$
 - Duas alternativas podem ser aplicadas:
 - massa térmica com aquecimento solar passivo e
 - aquecimento solar passivo com isolamento térmico
- **Aquecimento Solar Passivo**
 - $10,5^{\circ}\text{C} \leq \text{temperatura} \leq 14^{\circ}\text{C}$
 - Implica utilização de grande isolamento térmico e que suas principais aberturas sejam voltadas para o sol.

2.8 CONCLUSÃO

A existência de poucos trabalhos científicos resultantes de *pesquisas de campo* a contemplar a pesquisa aqui exposta por si só já justifica sua realização. Entretanto, soma-se a esse fato a originalidade advinda do local de seu desenvolvimento. Localizada em local privilegiado, a BEP situa-se no chamado Pantanal do Abobral, sub-região inundada pelas águas dos rios Aquidauana, Miranda e Negro, a exibir dinâmica bastante peculiar nos ciclos sazonais das inundações. Nestes, de períodos na maioria das vezes bastante longos, situações de extremas dificuldades de locomoção e principalmente de distribuição e manutenção de qualquer forma de energia artificial são enfrentadas pelos pantaneiros. Por outro lado, o clima quente e úmido característico da região mesmo quando em períodos de seca, como o observado no triênio 1999/2001, também fundamentam a proposta de utilização dos **Sistemas de Resfriamento Passivo**. Estudos desses sistemas desenvolvidos em outras localidades, certamente bastante diversas das aqui encontradas, demonstraram concretamente a viabilidade econômica que se buscou comprovar com a minimização da dependência energética artificial da região.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA APLICADA

3.1 ESTUDO BIOCLIMÁTICO

O presente trabalho baseou-se em dados colhidos em campo. Assim sendo, a partir do monitoramento da temperatura de cinco ambientes internos e da temperatura externa, analisou-se o desempenho térmico do envelope construído, em um deles, tal como foi construído, em três outros, frente a três diferentes propostas de *sistemas de resfriamento passivo* e, em outro, pela interação da família do zelador com o ambiente por ela ocupado.

Em função de somente a partir de 1994 terem sido colhidos dados climatológicos na BEP, submeteram-se os anos 1995, 1996, 1997 e 1998, únicos perfeitamente completos, ao *software Analysis Bio*, buscando-se conhecer as *estratégias passivas* resultantes que, confrontadas com o comportamento térmico do ambiente interno sob ação das propostas acima referidas, indicaram a necessidade de se prover de conforto térmico a edificação.

Também analisou-se a BEP a partir das características físicas de seu envelope construído, com respeito à Transmitância Térmica, Atraso Térmico e Fator de Calor Solar. Como será visto, buscou-se não só detalhar seus elementos constituintes, como também considerar fatores intervenientes, caso específico da concepção da estrutura da cobertura que permite alívio da temperatura no ático e possível incidência na laje.

3.2 PESQUISAS DE CAMPO

3.2.1 MEDIÇÕES DAS TEMPERATURAS INTERNAS

Dos diversos ambientes que compõem a BEP, apenas cinco tiveram as temperaturas internas monitoradas. Conforme se pode visualizar nas figuras a seguir, estes ambientes foram escolhidos de tal forma que todos eles tivessem apenas duas de suas paredes voltadas para o exterior, determinando-se, dessa forma, que somente elas pudessem sofrer interferência direta da variação da temperatura externa.

A Figura 14 mostra a planta de situação da BEP, mais precisamente dos Blocos 1, 2A e 5, onde foram instalados os sensores. Três ambientes localizaram-se no Bloco 1, conforme demonstra a Figura 15. Deve-se observar que todos guardam as mesmas dimensões. O mesmo acontece com o *Família*, localizado no Bloco 2A, Figura 16. Por fim o ambiente *Tijolo*, localizado no Bloco 5, representado na Figura 17. As dimensões diferentes das dos demais não implicam diferenças significativas nas temperaturas monitoradas com relação aos outros ambientes.

A partir do monitoramento das temperaturas internas de 22/09 a 07/12/2000 e de 31/01 a 23/08/2001, escolheram-se os períodos mais importantes para o desenvolvimento deste trabalho, ou os que apresentassem maior desconforto por calor. Outros dois foram escolhidos aproveitando-se o período de férias na BEP, sendo que no período de 2/02 a 8/02/01 os ambientes permaneceram evidentemente sem ocupação e completamente fechados, ou sem ventilação natural, e de 09/02 a 16/02 ainda sem ocupação, com ventilação natural total. Finalmente, com a entrada de duas frentes frias, restaram definidos períodos distintos de desconforto por frio.

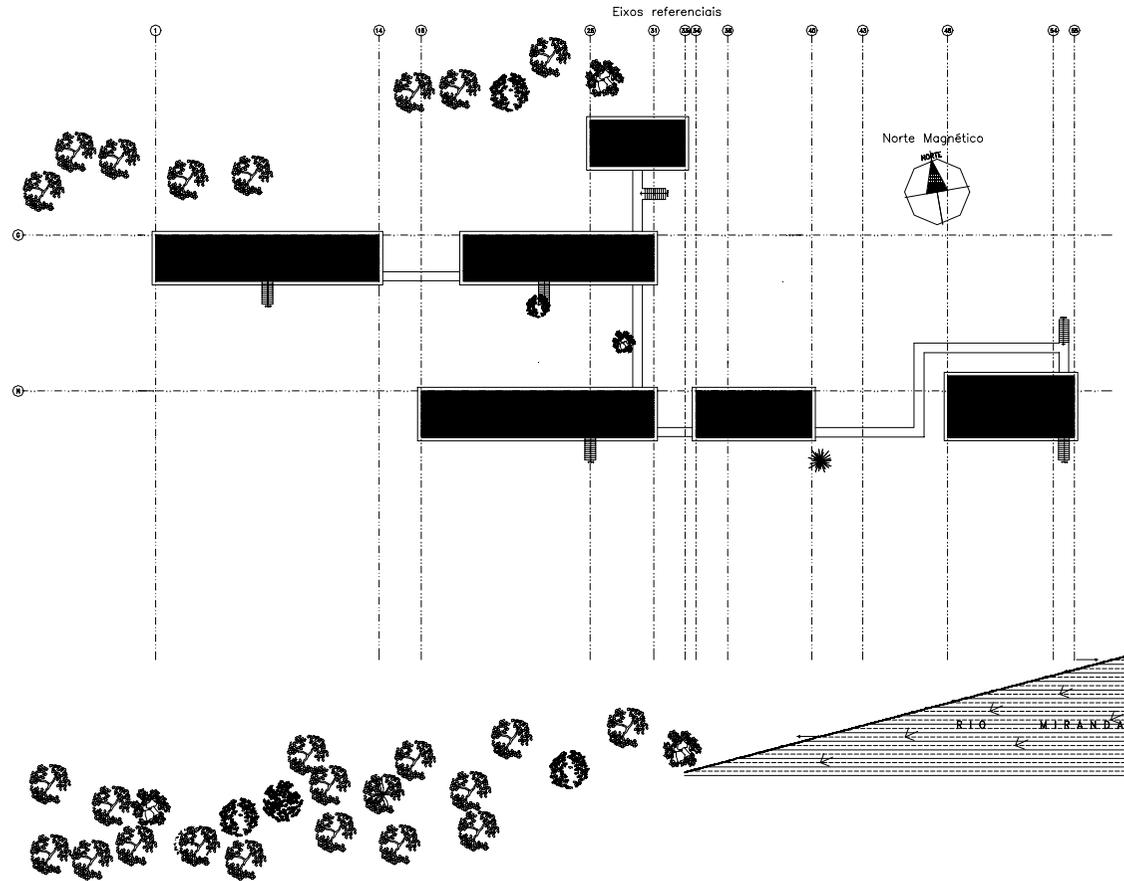


Figura 14 - Planta de Situação da BEP (sem escala).

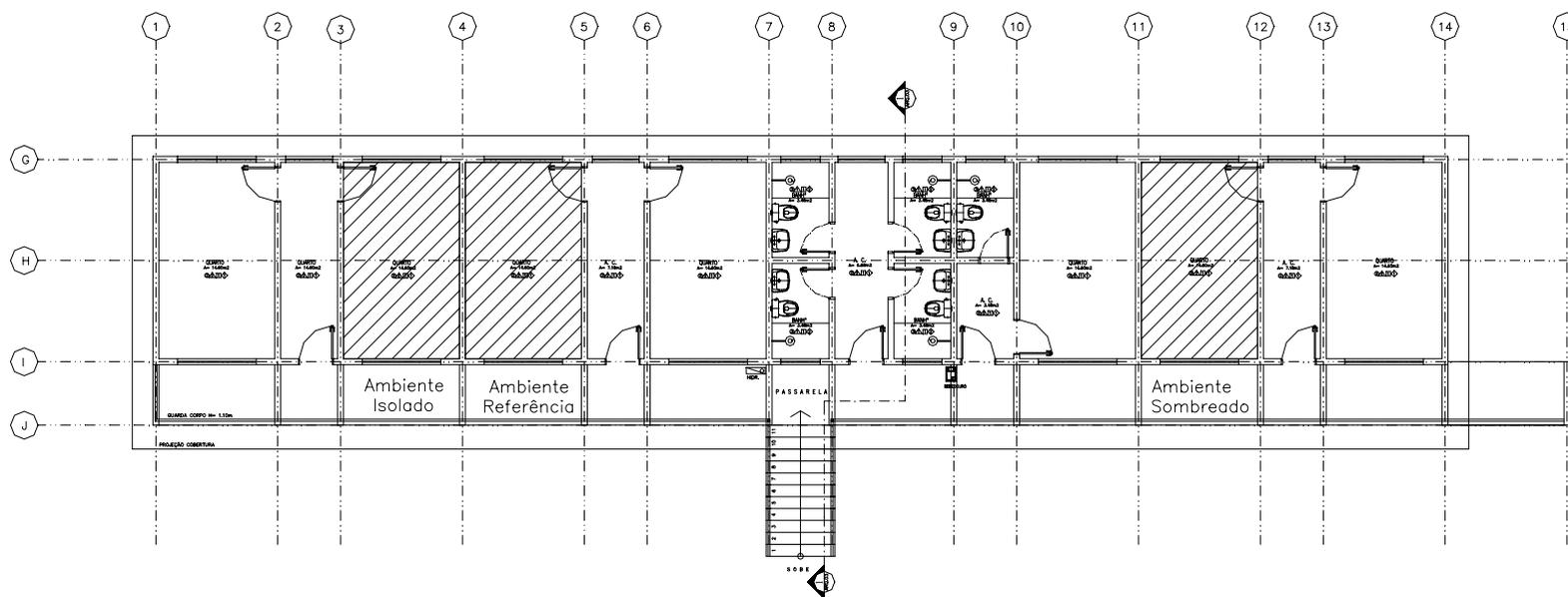


Figura 15 - Planta Baixa do Bloco 1 (sem escala).

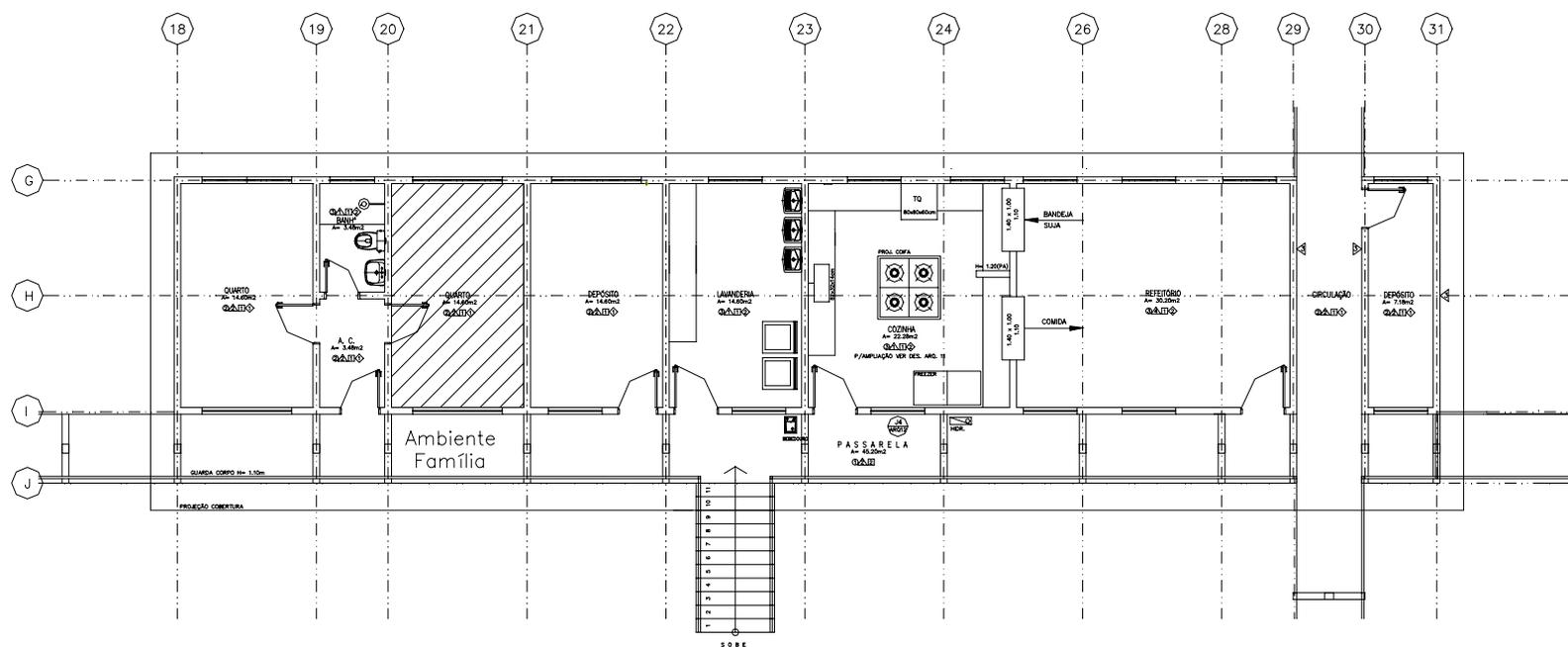


Figura 16 - Planta Baixa do Bloco 2A (sem escala).

3.2.1.1 Equipamentos para medições internas

Todas as medições internas de temperatura (de bulbo seco) foram realizadas com sensores eletrônicos *HOBO® H8 Pro Series*, Figura 18, e processadas pelo programa *BoxCar PRO for Windows 4.0*, da empresa norte americana *OnSet Computer Corporation*, armazenando valores de temperaturas entre -30°C e $+50^{\circ}\text{C}$ com precisão de $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ para $+21^{\circ}\text{C}$ em resolução normal. A resolução está relacionada com a capacidade de armazenamento de dados. Finalmente, tem precisão de ± 1 minuto por semana.

Em que pese, segundo especificação técnica que acompanha o equipamento, ser desnecessária a calibração do sensor de temperatura, mantivemos durante 13 dias consecutivos os equipamentos em recipiente isolado e livre de corrente de ar. Alternando diariamente suas posições, foram obtivemos valores de temperatura que são demonstradas nas figuras a seguir, indicando variações isoladas de 1,37%; 1,35%; 1,36% e 1,41% respectivamente.



Figura 18 - Sensores eletrônicos

A Figura 19 demonstra as curvas resultantes das temperaturas obtidas no período. Especial atenção deve ser dada às leituras das temperaturas máximas dos dias 02, 03, 04 e 05/09/00.

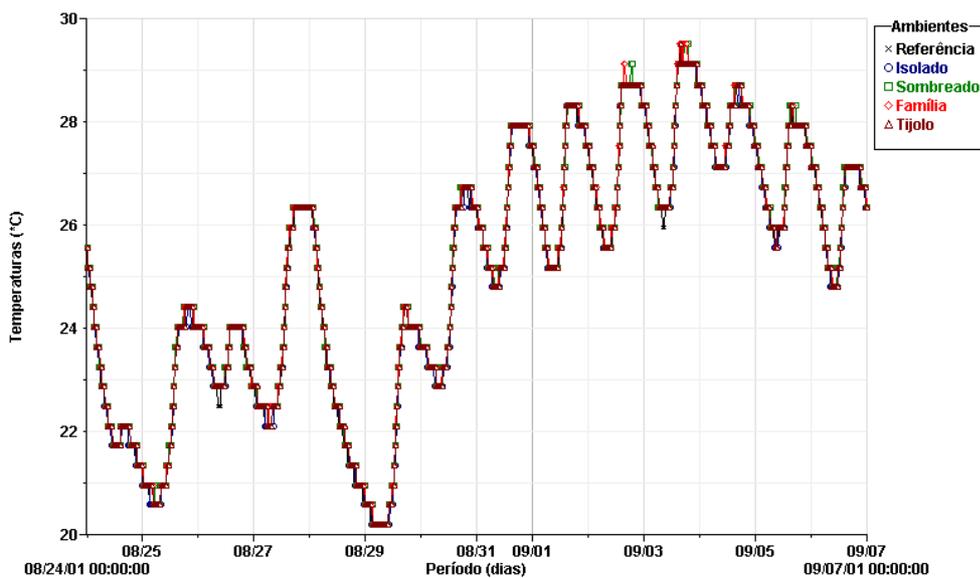


Figura 19 - Dispersão das leituras individuais nos sensores de temperatura, identificados segundo o ambiente de utilização.

Ampliando-se as curvas especialmente no momento referente às 18hs. e 45min. do dia 02, observamos que, apenas o sensor responsável pelas leituras do ambiente *Sombreado* acusou leitura maior 0,4°C ou 1,4% superior à dos demais. Tal situação é tipificada pelo traço vertical visível. Deve-se, da mesma forma, observar que momentos antes o equipamento do ambiente *Família* acusou leitura idêntica.

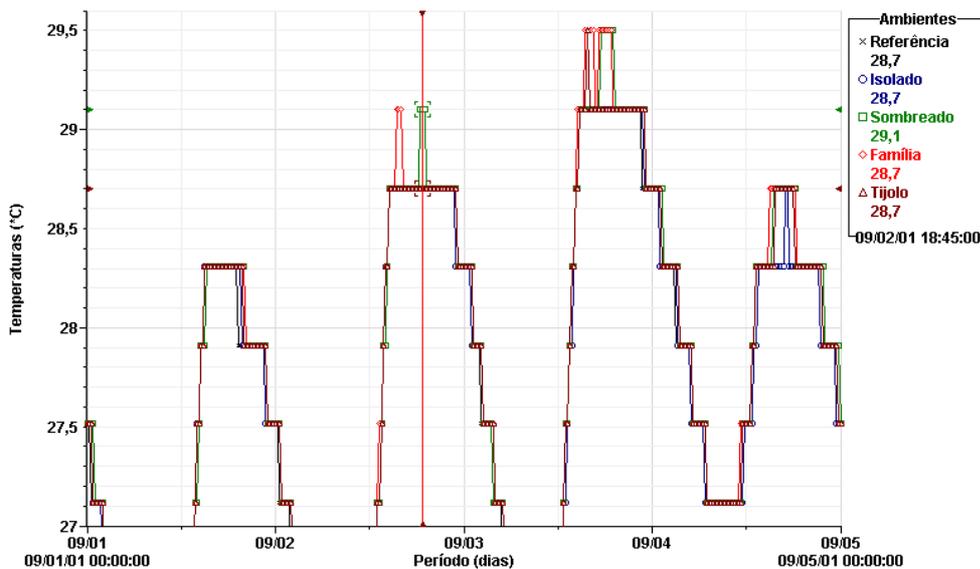
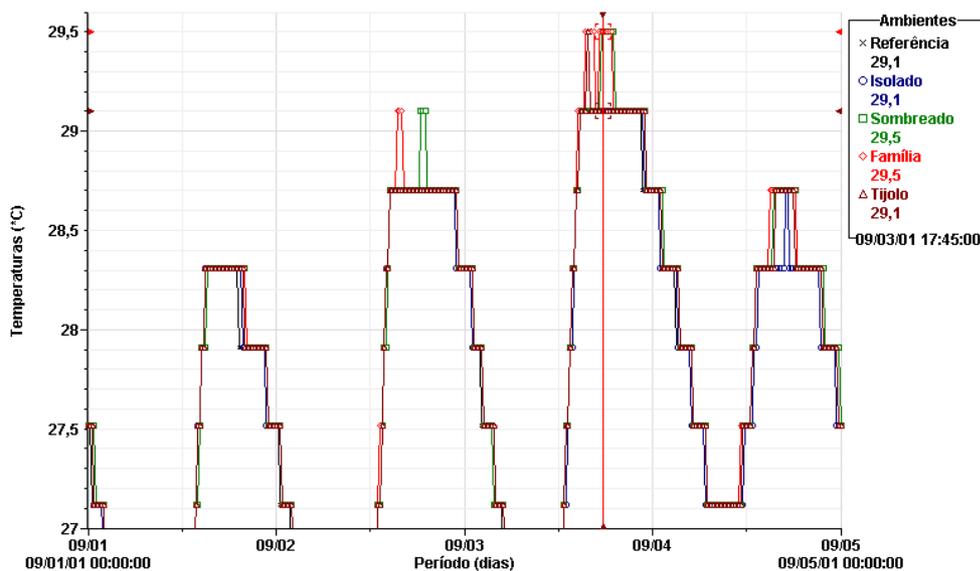


Figura 20 - Dispersão das leituras no dia 02/09/01 às 18:45'.

Visualiza-se, nas Figuras 21 e 22, precisamente nos pontos definidos pelas retas verticais nos horários 17hs. e 45min. do dia 03 e 16hs. e 45min. do dia 04 que novamente os sensores dos ambientes *Sombreado* e *Família* acusaram as mesmas leituras, sendo estas porém diferentes das dos



demais ambientes, acusando 0,4°C ou 1,4% abaixo.

Figura 21 - Dispersão das leituras em 03/09/01 às 17:45'.

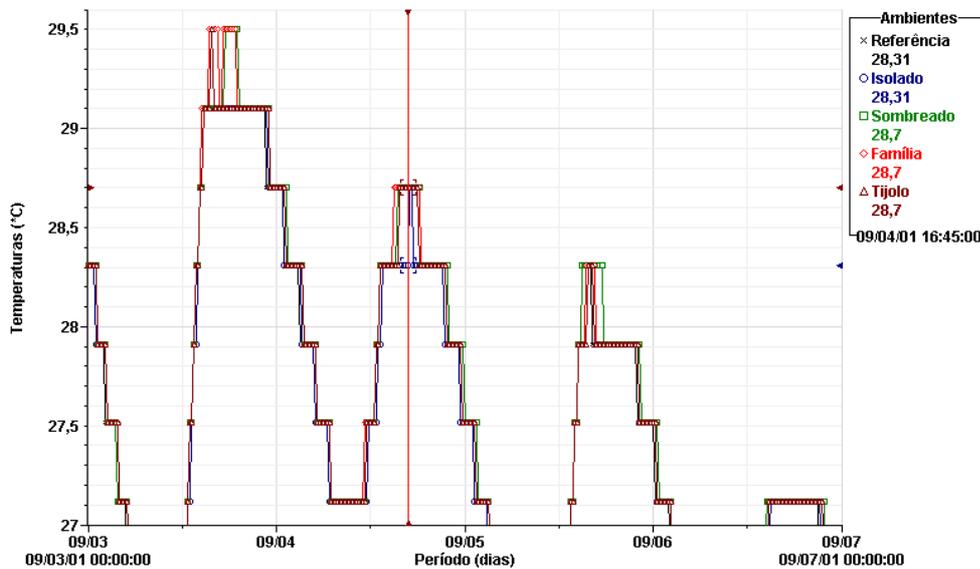


Figura 22 - Dispersão das leituras em 04/09/01 às 16:45'.

Por último, conforme demonstra a Figura 23, nas leituras das 16:30 hs. do dia 05 mantiveram-se as diferenças tanto em °C como em percentual, ou 04°C e 1,4%.

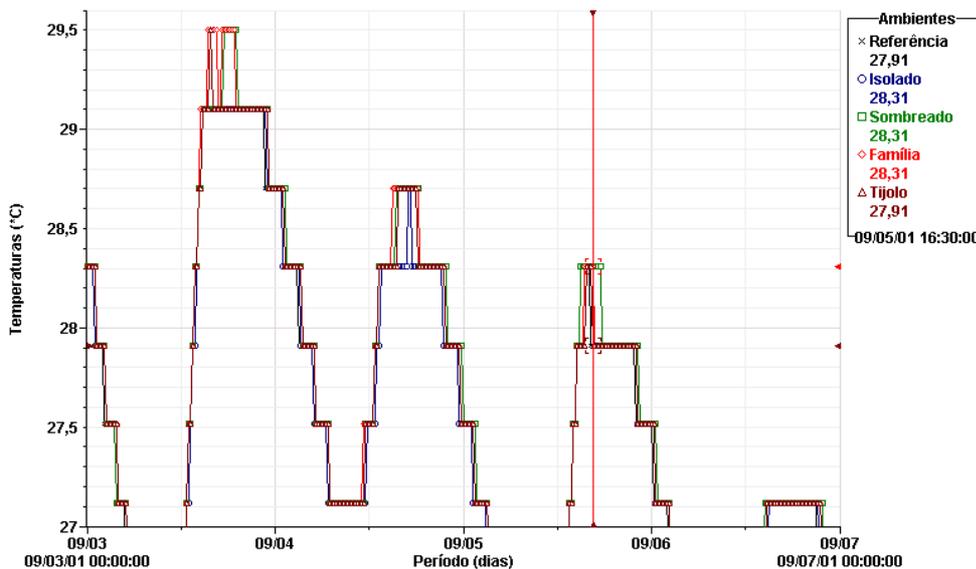


Figura 23 - Dispersão das leituras em 05/09/01 às 16:30'.

A partir da verificação das diferenças nas leituras, os sensores foram instalados no eixo longitudinal dos ambientes, dentro de gaiolas de tela

galvanizada, distantes 1,5 metros do plano vertical das janelas e a 2,1 metros de altura em relação ao piso. Vide Figuras 24 e 25 a seguir.



Figura 24 - Vista da gaiola de suporte para os sensores



Figura 25 - Vista do ambiente com o suporte para os sensores

3.2.2 MEDIÇÕES DAS TEMPERATURAS EXTERNAS

O clima externo na BEP é monitorado desde janeiro de 1994 verificando-se entre outros dados a Temperatura do Ar e do Solo, Radiação Solar Global, Velocidade e Direção do Vento, Precipitação Pluviométrica,

Pressão Atmosférica e Umidade Relativa, através da estação climatológica indicada na Figura 26.



Figura 26 - Estação meteorológica instalada na BEP.

3.3 ESTRATÉGIAS DE RESFRIAMENTO PASSIVO PROPOSTAS

Como ilustrado nas Figuras 27, 28 e 29, dentre as várias estratégias de resfriamento passivo, propusemos avaliar alguns ambientes da BEP com:

- *isolamento* da laje de cobertura;
- *sombreamento* da janela que recebe a incidência de radiação solar direta;
- ventilação diurna e/ou noturna e
- acréscimo da inércia térmica das paredes do envelope construído com empilhamento de *tijolo* maciço em ½ vez.



Figura 27 - Vista do isolamento na laje de cobertura.



Figura 28 - Vista do sombreamento da janela.



Figura 29 - Vista dos tijolos empilhados em $\frac{1}{2}$ vez.

As propostas foram assim construídas:

- Estratégia *Isolamento*: cobrimento total da laje de cobertura com placas de isopor, com e (espessura) = 5 centímetros.
- Estratégia *Sombreamento*: após análise do diagrama solar para a BEP, dimensionou-se, conforme propõem FROTA e SHIFFER (1999) no item 4.2 - determinação gráfica dos dispositivos de proteção solar, toldo de plástico impermeável que não permitisse a entrada de radiação solar direta no interior do ambiente escolhido.
- Estratégia *Ventilação*: consistiu manter os ambientes permanentemente ventilados ou não durante período sem ocupação.
- Estratégia *Tijolo*: certo que há poucos trabalhos de campo que atestem a validade ou não do uso da inércia térmica, foram empilhados tijolos maciços em $\frac{1}{2}$ vez no

perímetro do ambiente, respeitando-se as aberturas existentes.

Os resultados dessas estratégias foram confrontados com os resultados das estratégias utilizadas nos ambientes identificados como *Referência* e *Família*, ambos sem qualquer modificação das características físicas. Este último diferencia-se dos demais pela taxa de ocupação, em função de ser utilizado como moradia da família do zelador da BEP.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS ALCANÇADOS E DISCUSSÃO

4.1 A BEP E SUAS CARACTERÍSTICAS

4.1.1 TIPOLOGIA CONSTRUTIVA EMPREGADA

A BEP foi assim construída:

- Estrutura de concreto armado em palafita ou pilotis;
- Alvenaria de fechamento executada com tijolos de 8 furos em $\frac{1}{2}$ vez, revestida em ambas as faces com reboco tipo paulista com espessura média de 0,02m;
- Piso de granilite (espessura de 0,015m) sobre laje pré-fabricada de concreto armado, revestida com argamassa de regularização com espessura de 0,02m;
- Cobertura de telhas cerâmicas tipo Romana, sobre madeiramento em duas águas e laje pré-fabricada revestida em sua face inferior com reboco tipo paulista com espessura média de 0,02m;
- Janelas em perfis de ferro, de correr, com grandes painéis de vidro translúcido e báscula na parte superior, e
- Pintura interna e externa executada em látex cor branca, sobre o reboco também com espessura média de 0,02m, sem aplicação de massa corrida.

4.1.2 AVALIAÇÃO DO ENVELOPE CONSTRUÍDO

De acordo com o recomendado na proposta do texto-base para norma 02:135.07-003:1998 - Desempenho Térmico de Edificações - Parte 3 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para

Habitações Unifamiliares de Interesse Social - e em função da tipologia construtiva empregada no seu envelope, verificamos que, conforme demonstrado na Tabela 2, ao procedermos o cálculo dos valores para Transmitância Térmica, Atraso Térmico e Fator de Calor Solar apenas o proposto para o Atraso Térmico na cobertura não foi atendido.

Tabela 2 - Valores de Transmitância Térmica, Atraso Térmico e Fator de Calor na BEP.

	Transmitância Térmica U (W/m ² .K)		Atraso Térmico φ (Horas)		Fator de Calor Solar FCS (%)	
	Norma	Na BEP	Norma	Na BEP	Norma	Na BEP
Paredes	≤ 3,60	2,42 OK!	≤ 4,3	4,2 OK!	≤ 4,0	2,4 OK!
Cobertura	≤ 2,30	1,78 OK!	≤ 3,3	4,9 NÃO ATENDE!	≤ 6,5	5,7 OK!

No cálculo da cobertura considerou-se, no fluxo descendente de superfície a superfície, a seguinte composição: cerâmica (telha) + câmara de ar ventilada + laje pré-moldada + reboco. Deve-se consignar que, conforme se visualiza no corte esquemático da Figura 30, a câmara de ar foi considerada na verificação das condições de ventilação proposta pela norma como "muito ventilada", demonstrando sua importância.

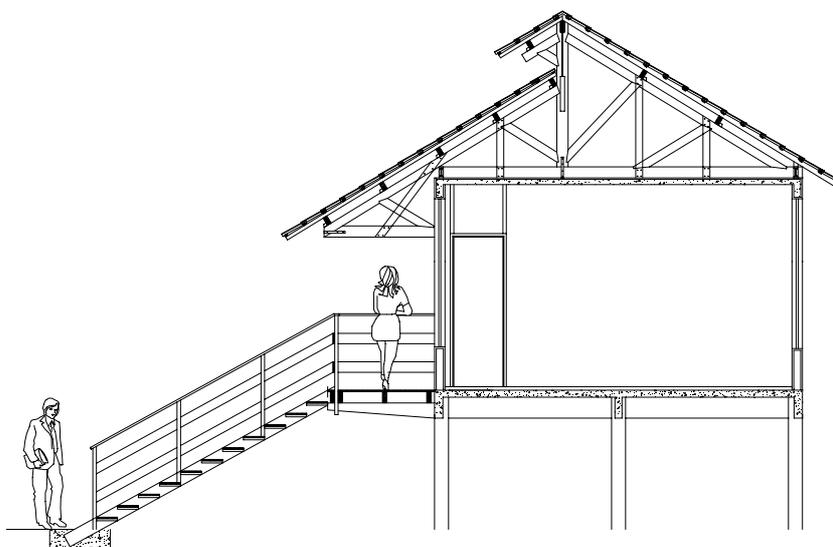


Figura 30 - Corte esquemático nos Blocos 1, 2A, 2B e 3.

Já no cálculo da Capacidade Térmica da laje pré-moldada, que totalizou $174 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$, considerou-se o fluxo de calor incidindo perpendicularmente sobre sua superfície em duas seções: S1 (concreto + reboco) e S2 (concreto + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + reboco).

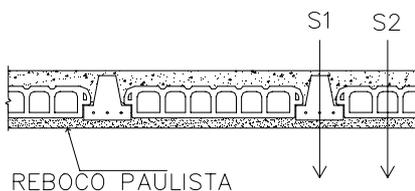


Figura 31 - Corte esquemático da laje que compõe o envelope da BEP.

Para as paredes, calculadas levando-se em conta o fluxo de calor do lado externo para o interno em duas sessões distintas, S1 (reboco paulista + cerâmica do tijolo + câmara de ar + cerâmica do tijolo + reboco paulista) e S2 (reboco paulista + argamassa de assentamento + reboco paulista), o resultado também foi satisfatório.

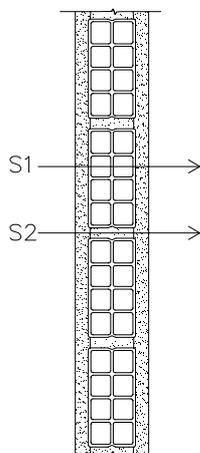


Figura 32 - Corte esquemático da alvenaria que compõe o envelope da BEP.

Sobre as esquadrias há que se fazer algumas considerações. Conforme observa-se nos projetos arquitetônicos, todos os ambientes monitorados têm as suas portas de madeira voltadas para um *hall* intermediário que, por anteceder o ambiente externo, dificulta sua exposição direta à variação da temperatura externa. Por outro lado, em 4 dos 5

ambientes monitorados existem duas esquadrias em perfis de ferro, tipo de correr, com bscula na parte superior, conforme detalhe na Figura 33. Em 4 desses ambientes, uma das esquadrias est localizada na fachada que no recebe incidncia de Radiao Solar direta.

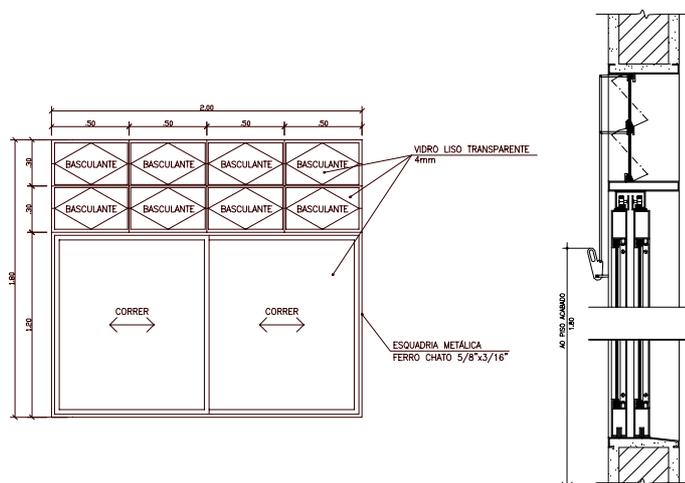


Figura 33 - Vista e corte esquemtico das esquadrias de ferro da BEP.

Com respeito s aberturas para ventilao, constatou-se que as recomendaes existentes no texto-base da proposta de norma no so plenamente atendidas, pois com a utilizao de esquadrias de correr com bsculas na parte superior, resultaram reas de ventilao aproximadamente 50% menores que as de iluminao, ou 3,6m² contra 7,2m². Na Tabela 3 especificam-se os resultados obtidos nas esquadrias.

Tabela 3 - Recomendaes do texto da proposta de norma para aberturas e sombreamento.

Aberturas para Ventilao A (% da rea do piso) = 14,60 m ²		Sombreamento	
Norma	BEP	Norma	BEP
Grandes: A > 40% ou 5,84 m ²	3,60m ² < 5,84 m ² NO ATENDE!	Sombrear aberturas	NO EXISTE SOMBREAMENTO!

Por outro lado, em face da distribuio adotada, alm de uma das esquadrias no possuir sombreamento natural ou artificial suficiente para permitir o aquecimento do ambiente interno pela incidncia de Radiao Solar direta, observou-se que na outra, no lado oposto, visando a dotar o

ambiente de privacidade, instalaram-se cortinas internas que diariamente permanecem fechadas, dificultando a ventilação. Certamente esses dois fatores contribuem para a alteração da temperatura interna dos ambientes.

4.2 A BEP E SEU AMBIENTE EXTERNO

Apesar da existência de estação meteorológica na BEP desde 1994, dados climáticos completos existem apenas de 1995 a 1998. Assim sendo, com o objetivo de conhecer as possíveis estratégias bioclimáticas, aplicamos a esses anos os *softwares Psychros e Analysis 2.0 Bio*, desenvolvidos pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina, e obtivemos as *cartas bioclimáticas* apresentadas nas figuras a seguir.

Para o ano de 1995, Figura 34, obtivemos que apenas 9,5% ou aproximadamente 833 horas estavam restritas a zonas de conforto. O restante, 90,5% ou 7.928 hs. denunciaram desconforto, sendo 16,3% ou 1.428 hs. por frio e 74,2% ou 6.500 hs. por calor.

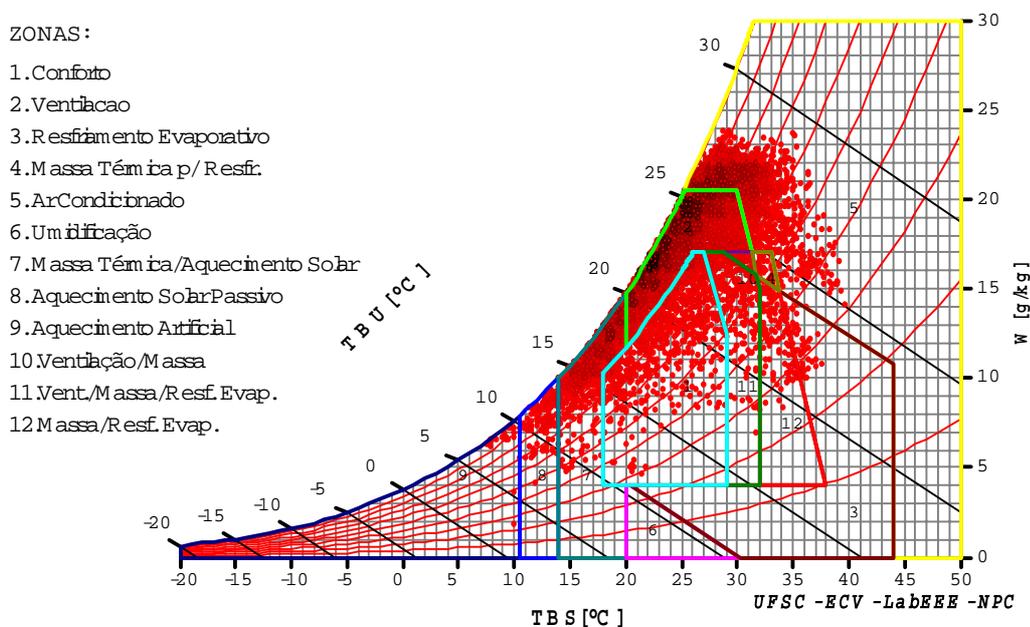


Figura 34 – Zonas bioclimáticas da BEP para o ano de 1995.

Já para o ano de 1996 obtivemos 7,6% ou 666 hs. de conforto e 92,4% ou 8.094 hs. de desconforto, sendo 14,9% ou 1.305 hs. por frio e 77,5% ou 6.789 hs. por calor. A carta bioclimática correspondente está representada na Figura 35.

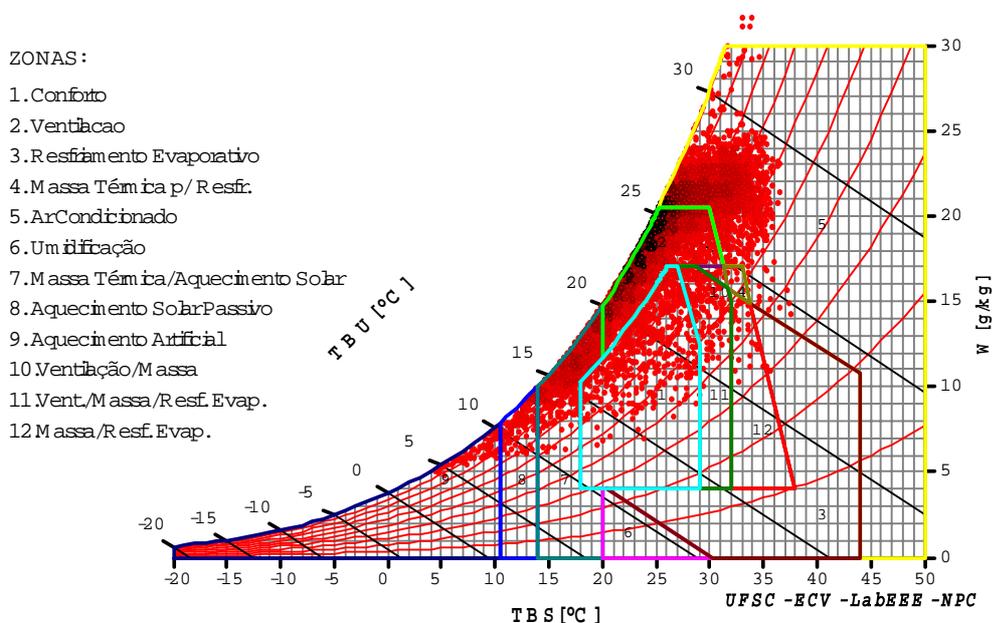


Figura 35 – Zonas bioclimáticas da BEP para o ano de 1996.

Há que se considerar que o período de conforto diminuiu aproximadamente 20%, passando de 9,5% em 1995 para 7,6% em 1996, sendo que o desconforto por calor aumentou 3,8%.

Do período analisado, o ano de 1997 mostrou ser o mais quente, restando apenas 3,4% de suas temperaturas médias horárias localizadas dentro da zona de conforto. Das 8.463 hs de desconforto, as por calor somaram 84,9% ou 7.438 hs. e as em função do frio 11,7% ou 1.025 hs. Tal situação é representada na Figura 36.

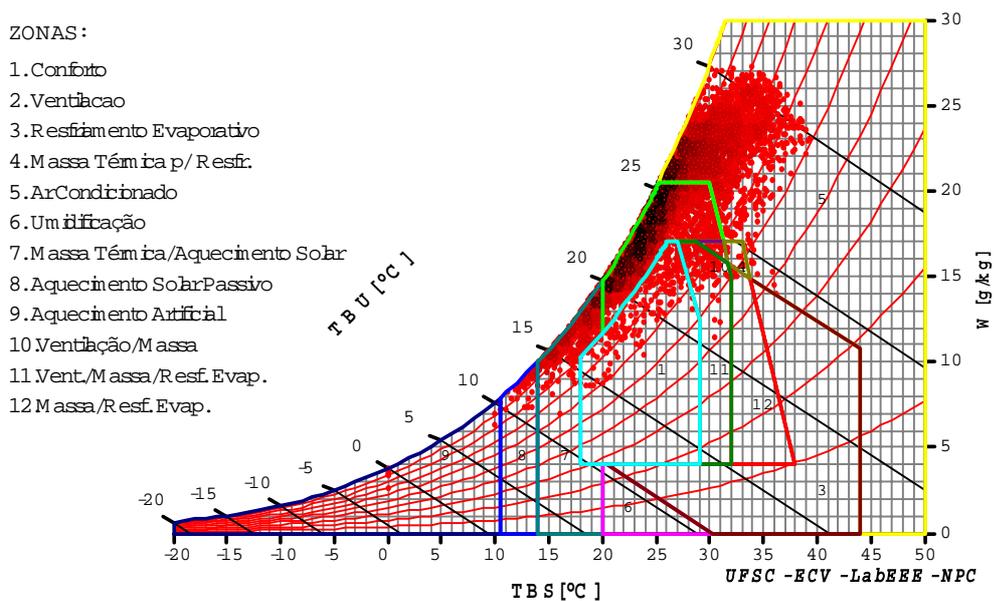


Figura 36 – Zonas bioclimáticas para o ano de 1997.

No ano de 1998 houve pequena melhora de comportamento, pois, em que pese a zona de conforto ter sido diminuída em 32% em relação a 1997, a quantidade das temperaturas médias horárias de desconforto por calor foram praticamente idênticas. Vide Figura 37.

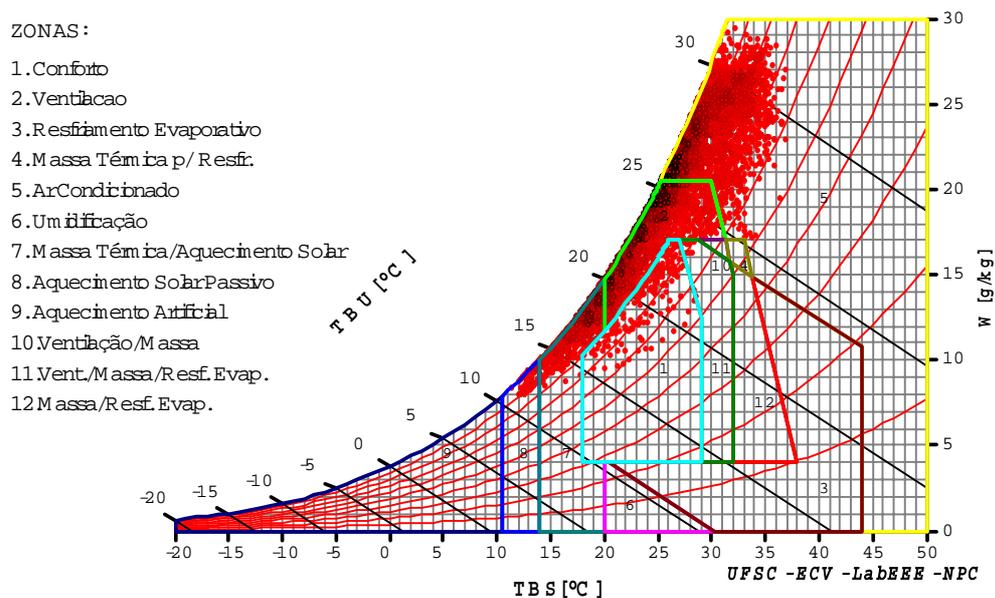


Figura 37 – Zonas bioclimáticas para o ano de 1998.

De outra forma, analisando-se os resultados apresentados nas *cartas bioclimáticas*, obtivemos como demonstrado na Tabela 4 em horas/ano, que a partir de 1995 houve decréscimo de *conforto térmico* na BEP, com acréscimo da temperatura.

Tabela 4 - *Desempenho Térmico* da BEP em função do clima externo, em horas/ano.

SITUAÇÕES TÉRMICAS		HORAS / ANO			
		1995	1996	1997	1998
Conforto		832	666	297	202
Desconforto por	Frio	1.428	1.305	1.025	1.288
	Calor	6.500	6.789	7.438	7.270

A Tabela 5 demonstra a situação de *desconforto por frio*.

Tabela 5 – Estratégias que visam solucionar o *Desconforto por Frio* na BEP em função do clima externo, em horas/ano.

		A N O (horas)			
		1995	1996	1997	1998
Frio	Massa Térmica/Aquecimento Solar	1.244	1.060	946	1.191
	Aquecimento Solar Passivo	157	175	70	97
	Aquecimento Artificial	27	70	9	0

Da mesma forma, a Tabela 6 mostra que, para solucionar o *desconforto por calor*, o *condicionamento artificial* do ar tem parcela significativa no período.

Tabela 6 – Estratégias visando solucionar o *Desconforto por Calor* na BEP em função do clima externo, em horas/ano.

		A N O (horas)			
		1995	1996	1997	1998
Calor	Ventilação	3.880	4.003	4.222	3.653
	Ar Condicionado	1.736	2.365	2.935	3.591
	Massa p/ Resf/ Resf. Evap	884	421	281	26

Percentual significativo de horas por ano com *desconforto por calor* podem ser resolvidos por *ventilação natural*, como observou-se no comportamento dos ambientes *Família, Isolamento, Sombreamento e Tijolo*. Da mesma forma o *sombreamento*, Tabela 7 abaixo, apresenta-se como solução alternativa extremamente válida para 82,6% dos dias de 1995, 84,3% de 1996, 88,2% de 1997 e 85,3% de 1998.

Tabela 7 – Aplicação da estratégia *Sombreamento* visando solucionar o *Desconforto Térmico* na BEP em função do clima externo, em horas/ano.

	A N O (horas)			
	1995	1996	1997	1998
Sombreamento	7.235	7.384	7.726	7.472

4.3 A BEP E SEU AMBIENTE INTERNO

Como já afirmado anteriormente, as condições térmicas na BEP deixam a desejar. Inserida em região predominantemente de clima quente/úmido, com esporádicas entradas de frentes frias, torna-se imperioso propor-se estratégias que atenuem principalmente o desconforto por calor. Para isso, inicialmente, monitorou-se a temperatura interna da BEP nos períodos de 22/09/00 a 7/12/00 e de 31/01/01 a 23/08/01. Vide Figura 38.

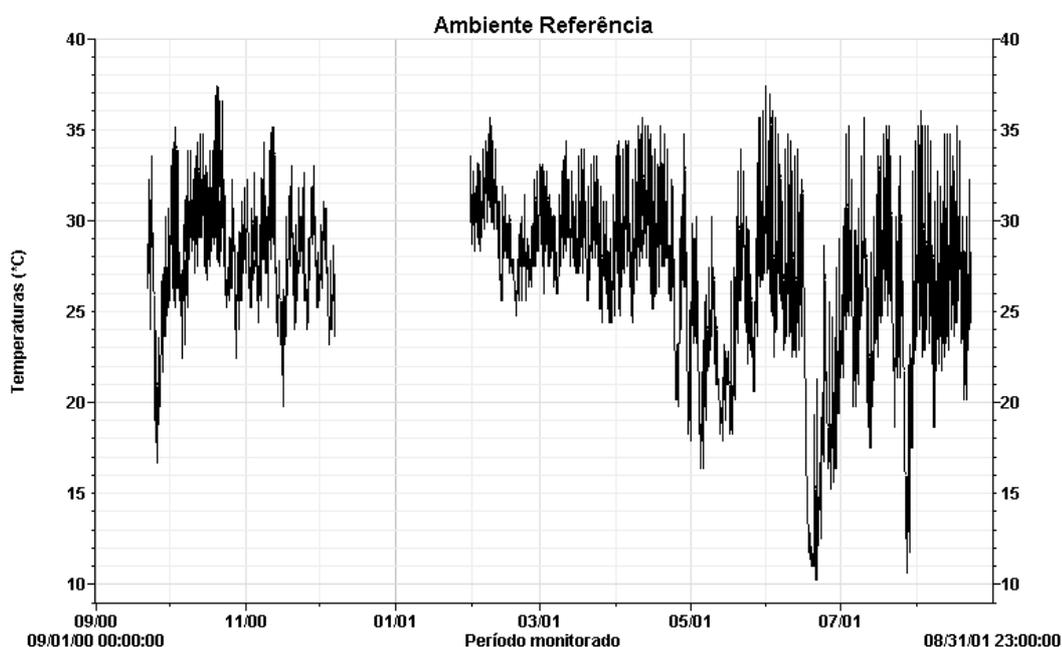


Figura 38 - Temperaturas monitoradas no ambiente Referência, no período de 09/00 a 08/01.

Para melhor análise do comportamento térmico interno frente às propostas de *isolamento* da laje de cobertura, *sombreamento* da janela voltada para a fachada norte e acréscimo da inércia das paredes com empilhamento de *tijolo* maciço em $\frac{1}{2}$ vez, tomamos dentre o período total acima referido os intervalos:

- de 18/10/00 até 26/10/00 → *ambientes com ocupação normal em situação típica de verão;*
- de 02/02/01 a 08/02/2001 → *ambientes sem ocupação e permanentemente sem ventilação;*

- de 09/02/01 a 15/02/01 → *ambientes sem ocupação e com ventilação natural permanente, e*
- de 14/06/01 a 04/07/01 e de 20/07/01 a 01/08/01 → *ambientes com ocupação normal sob condição ambiental típica de “entrada de frente fria”*.

Dos períodos monitorados, o que desperta particular interesse é o de 18/10 a 26/10/00, que retrata **situação típica de verão**, causa principal do desconforto térmico na BEP. Os resultados das temperaturas monitoradas, as correlações existentes nesse período em relação às temperaturas externas bem como o comportamento de cada *estratégia* em relação ao ambiente *Referência* nos demais períodos é apresentado a seguir. Da mesma forma, monitorou-se o ambiente identificado como *Família* em busca da sua interação em prover conforto no ambiente utilizado.

4.3.1 OS AMBIENTES E SEUS RESULTADOS NOS PERÍODOS MONITORADOS

4.3.1.1 Ambientes com ocupação normal em *situação típica de verão*

Nesse período pressupõe-se a existência ou não de ventilação natural pela exigência individual de conforto de cada ocupante ou grupo de ocupantes.

Constatou-se no ambiente *Isolado*, Figura 39, que enquanto as temperaturas externas estiveram acima de 36°C as máximas e mínimas dos ambientes *Isolado* e *Referência* mantiveram-se muito próximas. No total, 56% das temperaturas máximas observadas no ambiente *Isolado* foram superiores às máximas do *Referência* e 77% de suas mínimas foram inferiores que às mínimas do daquele. Logo, com o *isolamento* da laje de cobertura não se obtiveram os resultados esperados ou temperaturas mais confortáveis que as observadas no ambiente *Referência*.

O mesmo se pode afirmar com respeito ao ambiente *Sombreado*, Figura 40, ou quando as temperaturas externas foram superiores a 36°C. No período total, verificou-se que 33% de suas temperaturas máximas

estiveram acima das máximas observadas no *Referência* e apenas 22% de suas mínimas foram menores que as deste. Ainda 45% das máximas e 56% das mínimas observadas no ambiente *Sombreado* mantiveram-se bastante próximas das verificadas no *Referência*.

Diferentemente dos demais ambientes, a atuação da família do zelador é notada na Figura 41, bastando compara-lo aos demais, mesmo com os caracterizados como ocupados, pois estes no período diurno permanecem sem hóspedes pelas atividades de campo desenvolvidas. Vários exemplos dessa interação foram verificados. Das temperaturas máximas, 56% das observadas no ambiente *Referência* foram maiores e 11% permaneceram iguais às do ambiente controlado pelos ocupantes, ou pela *Família*. Na ocorrência das temperaturas mínimas, 33% permaneceram iguais e 67% das verificadas no ambiente *Referência* foram inferiores às do *Família*. Esses resultados além de evidenciarem a atuação dos ocupantes, demonstram a importância do controle das condições ambientais na busca de conforto térmico.

Na Figura 42, visualizam-se os resultados no ambiente *Tijolo*. Com respeito às temperaturas máximas, 44% das monitoradas no ambiente *Referência* estiveram iguais e 33% acima das observadas naquele ambiente. Por outro lado, observou-se maior percentual na ocorrência das temperaturas mínimas, onde 56% das do ambiente *Referência* estiveram abaixo das verificadas no ambiente estudado. Pode-se também observar, na figura citada, que comparando as temperaturas do ambiente *Referência*, entre 28 e 36°C, com a estratégia *Tijolo*, vê-se que esta proporciona mais conforto ao seu ambiente. O mesmo acontece no início do período em que se observaram as temperaturas mínimas. Dos 3 valores de temperaturas mínimas observadas no *Tijolo*, inferiores aos do ambiente *Referência*, 2 foram observadas no início da aplicação da estratégia e o outro depois de prevalecerem aproximadamente 72 horas de baixas temperaturas na BEP. Com respeito às máximas, cabe ainda lembrar que, com o controle da ventilação natural poder-se-ia provavelmente obter resultados mais confortáveis, se aplicado convenientemente.

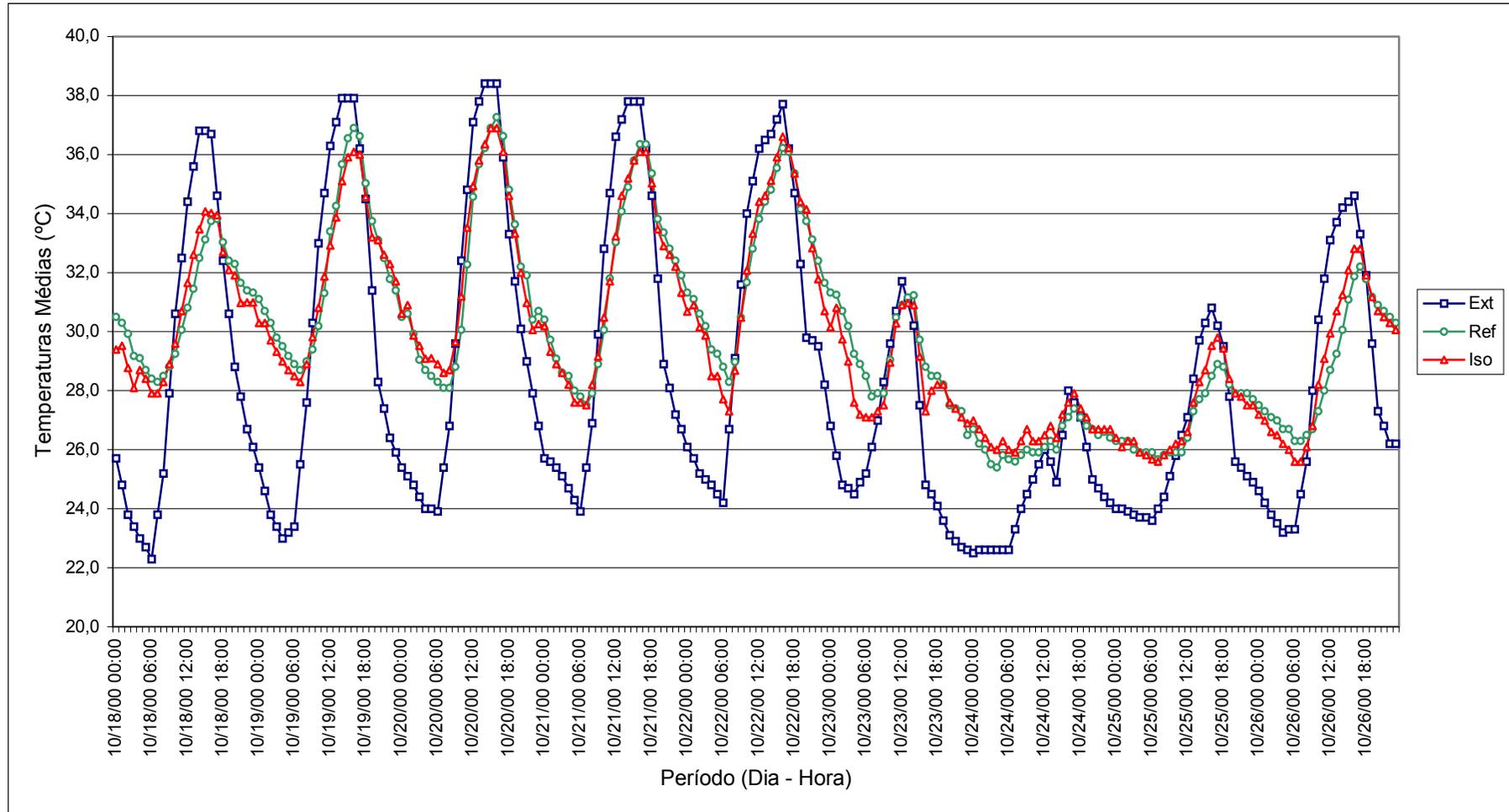


Figura 39 - Comparação das temperaturas monitoradas em situação típica de verão, nos ambientes Referência e Isolado, em relação à Temperatura Externa.

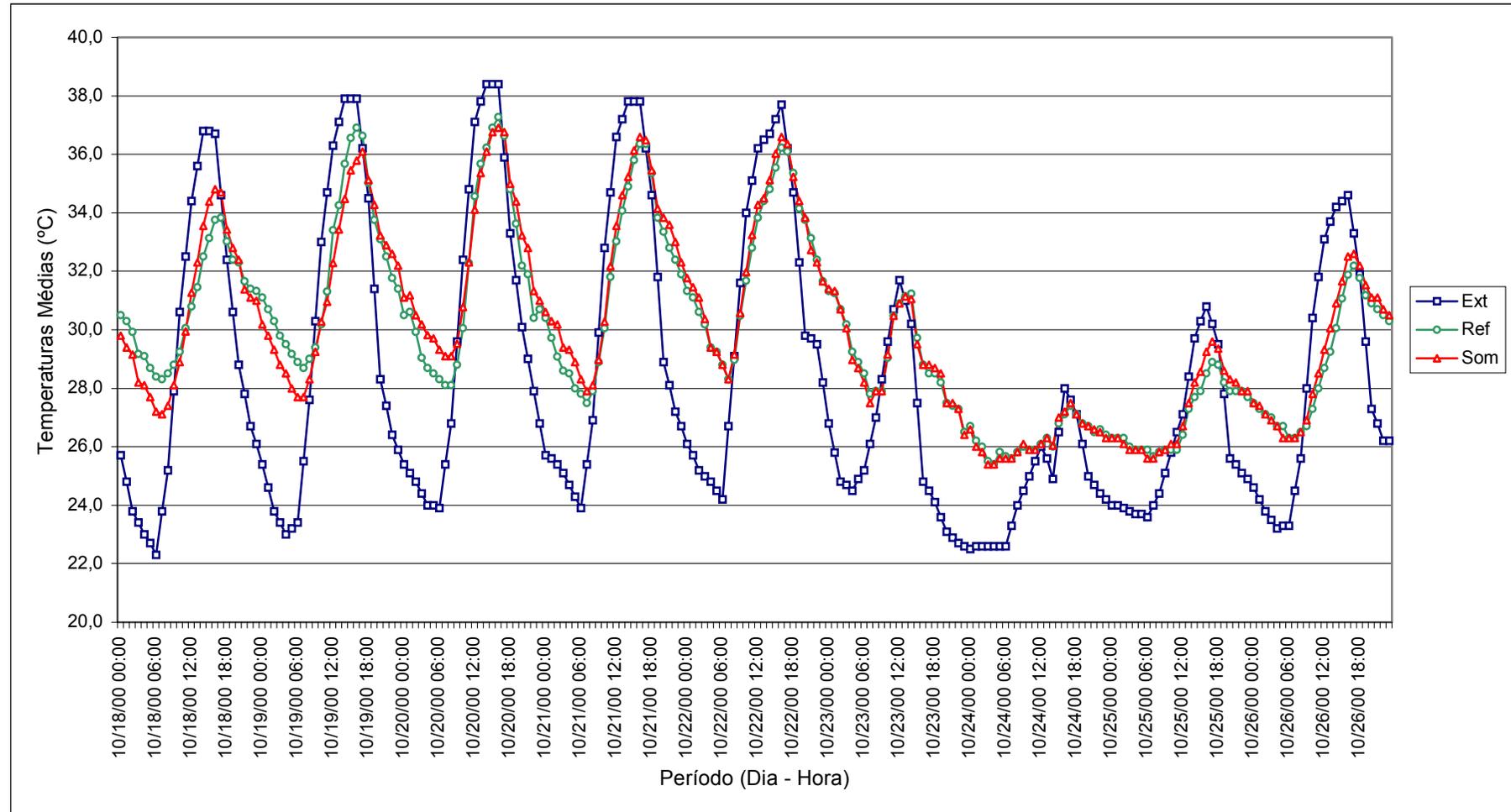


Figura 40 - Comparação das temperaturas monitoradas em situação típica de verão, nos ambientes Referência e Sombreado, em relação à Temperatura Externa.

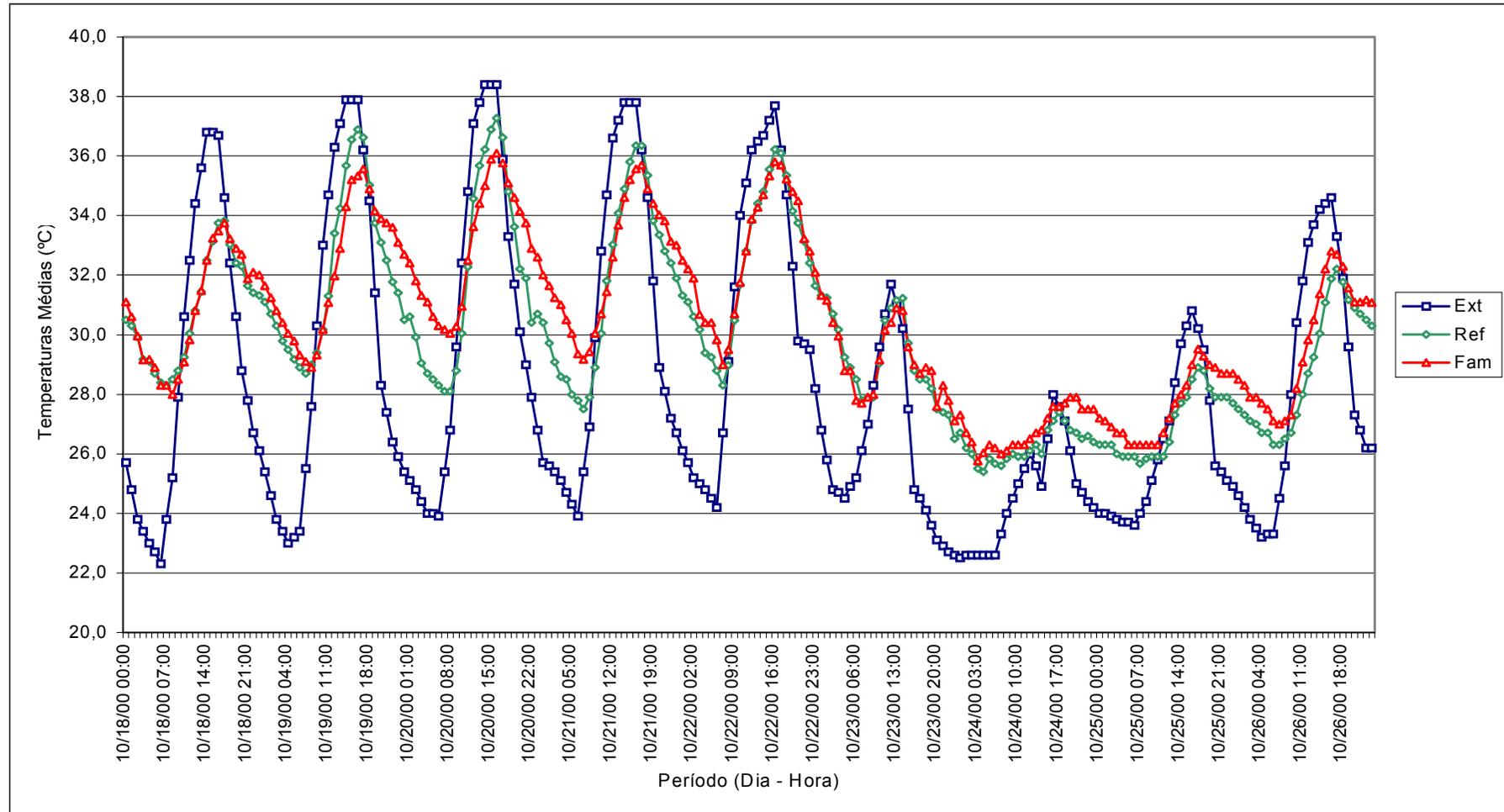


Figura 41 - Comparação das temperaturas monitoradas em situação típica de verão, nos ambientes Referência e Família, em relação à Temperatura Externa.

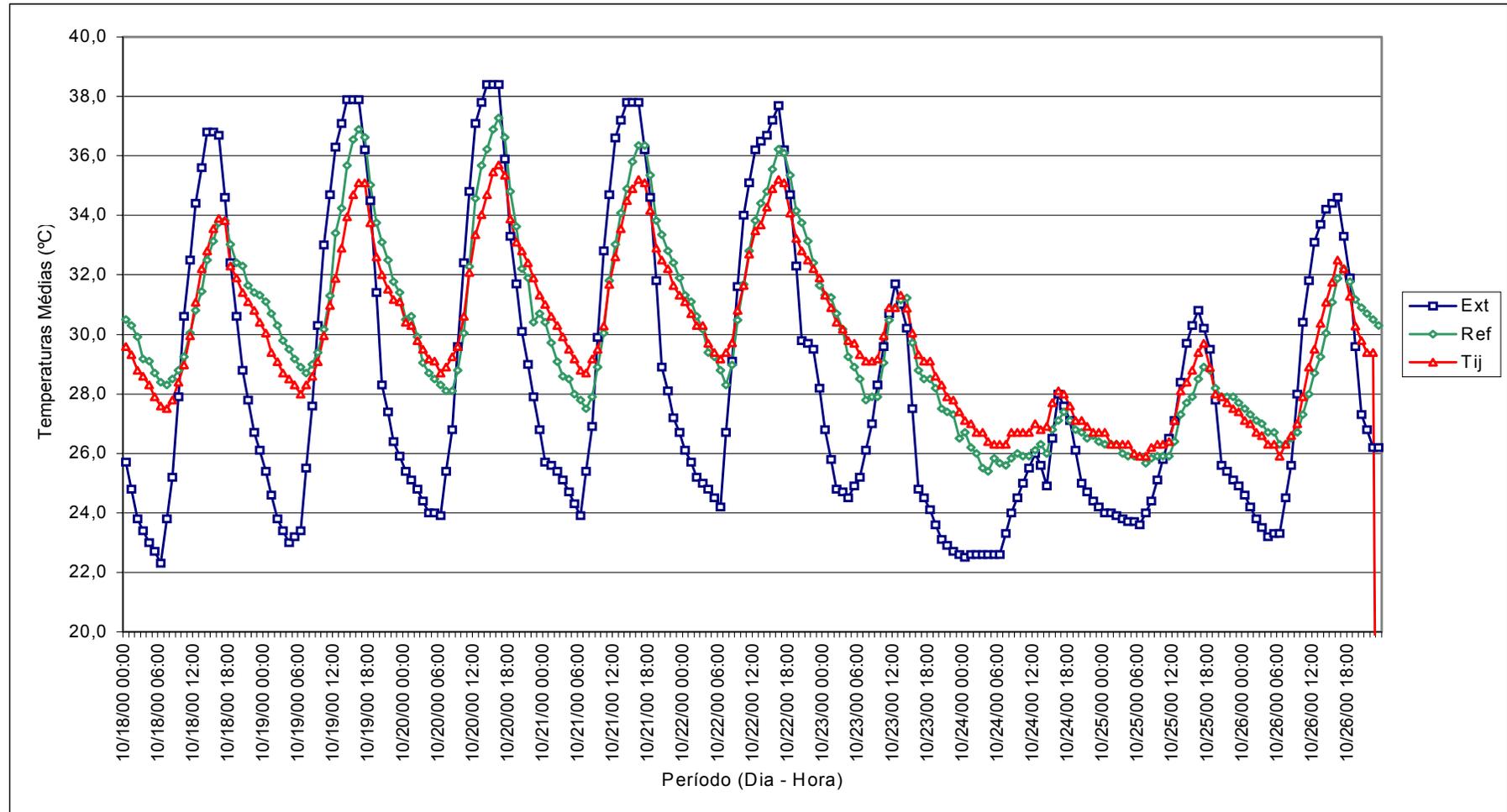


Figura 42 - Comparação das temperaturas monitoradas em situação típica de verão, nos ambientes Referência e Tijolo, em relação à Temperatura Externa.

Pode-se também analisar os comportamentos das *estratégias* pelo cálculo das diferenças entre as Temperaturas Externas diárias máximas, médias e mínimas frente às Temperaturas Internas diárias máximas, médias e mínimas de cada ambiente.

Considerando

$$\Delta T_{\text{Interna}}^{\text{Externa}} = \text{Temp}_{\text{Ext}} - \text{Temp}_{\text{Int}}$$

obtivemos:

Tabela 8 – Diferenças entre as temperaturas máximas diárias externa e internas.

Dia/OUT/2000	Temp _{Ext} - Temp _{Ambiente}				
	Referência	Isolado	Sombreado	Família	Tijolo
18	2,9	2,4	2,0	2,9	2,9
19	1,0	1,8	1,8	2,2	2,7
20	1,0	1,5	1,0	2,3	2,7
21	1,3	1,8	1,3	2,2	2,7
22	1,1	1,1	1,1	1,6	2,5
23	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
24	0,5	- 0,3	0,1	0,1	- 0,3
25	1,7	1,0	1,0	1,0	1,0
26	2,3	1,5	1,9	1,5	1,9

Observa-se, na Tabela 8, que durante o período de 18 a 22/10 a estratégia *Tijolo* foi a que apresentou a melhor performance térmica, acusando valores até 2,9°C menores que os do ambiente externo. É interessante acrescentar que foi justamente nesse período que as temperaturas externas mantiveram-se extremamente altas, permanecendo assim no intervalo entre 38,4°C e 36,8°C. Já no dia 24, quando a temperatura externa experimentou dentre suas máximas o menor valor, o ambiente *Tijolo*, apesar de também chegar ao seu mínimo, o fez 0,3°C acima daquela.

Procedendo-se da mesma forma para as temperaturas médias e mínimas diárias, resultam as Tabelas 9 e 10.

A Tabela 9 representa as diferenças entre as temperaturas médias. Nestas, observando-se os menores valores nominais que revelam níveis mais próximos ao alcançado pela leitura externa, verifica-se que novamente a estratégia *Tijolo* foi a que melhor resultado apresentou.

Tabela 9 – Diferenças entre as temperaturas médias diárias externa e internas.

Dia/OUT/2000	Temp _{Ext} - Temp _{Ambiente}				
	Referência	Isolado	Sombreado	Família	Tijolo
18	- 2,0	-1,9	- 1,8	- 2,1	- 1,5
19	- 2,2	- 2,0	- 1,7	- 2,3	- 1,2
20	- 1,1	- 1,3	- 1,6	- 2,1	- 1,0
21	- 1,4	- 1,3	- 1,9	- 2,2	- 1,4
22	- 1,6	- 1,4	- 1,7	- 2,0	- 1,3
23	- 2,9	- 2,4	- 2,9	- 2,9	- 3,4
24	- 1,7	- 2,1	- 1,6	- 2,2	- 2,3
25	- 0,9	- 1,0	- 1,1	- 1,5	- 1,1
26	- 0,6	- 0,8	- 0,9	- 1,4	- 0,5

Por fim, na Tabela 10 observa-se que apesar das temperaturas mínimas não serem muito baixas, deve-se adotar os valores nominais maiores que representam certamente leituras internas mais afastadas das verificadas no ambiente externo. Assim sendo, verifica-se no período que mais uma vez a estratégia *Tijolo* foi a que teve melhor desempenho.

Tabela 10 – Diferenças entre as temperaturas mínimas diárias externa e internas.

Dia/OUT/2000	Temp _{Ext} - Temp _{Ambiente}				
	Referência	Isolado	Sombreado	Família	Tijolo
18	- 6,0	- 5,2	- 4,8	- 5,6	- 5,2
19	- 5,7	- 5,2	- 4,4	- 5,1	- 4,8
20	- 4,0	- 4,4	- 5,2	- 5,9	- 4,8
21	- 3,6	- 3,2	- 4,0	- 5,2	- 4,8
22	- 4,1	- 2,9	- 4,1	- 4,5	- 4,9
23	- 3,6	- 4,0	- 3,6	- 3,6	- 4,4
24	- 2,7	- 3,4	- 2,7	- 3,1	- 3,8
25	- 2,0	- 2,0	- 2,0	- 2,3	- 2,3
26	- 3,1	- 2,4	- 3,1	- 3,5	- 2,7

Com respeito às amplitudes térmicas, na Figura 43 observamos que os resultados no ambiente *Tijolo* apresentaram-se mais espalhados, característica de curva platicúrtica ou mais achatada em relação ao eixo horizontal, o que vem evidenciar menor amplitude térmica.

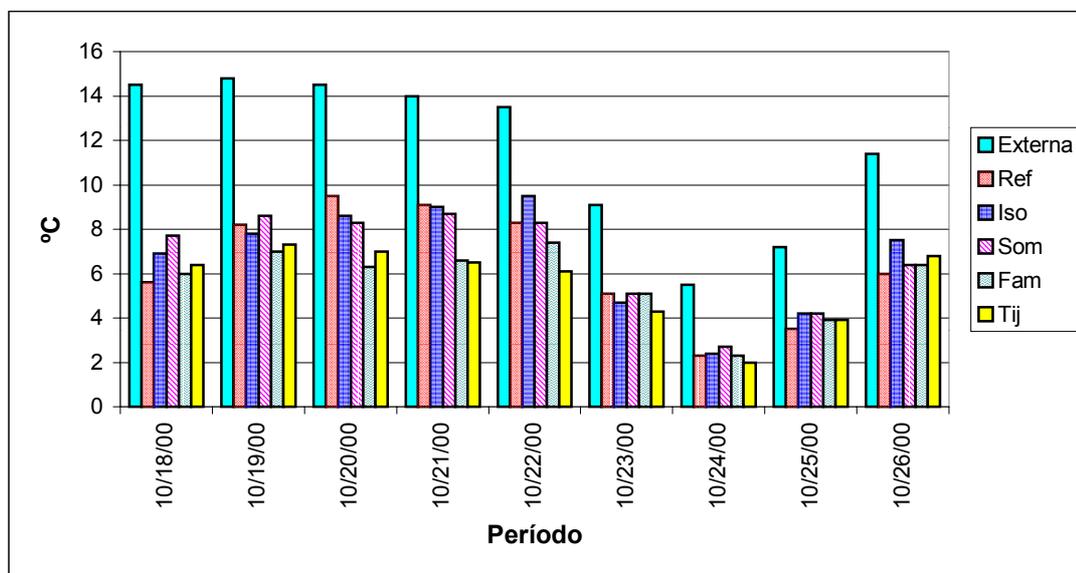


Figura 43 – Amplitudes térmicas observadas no período típico de verão.

Na Figura 44, visualiza-se que, com respeito às temperaturas máximas, principalmente entre os dias 18 e 22/10, mais uma vez o ambiente *Tijolo* apresentou melhores resultados em relação às temperaturas externas máximas.

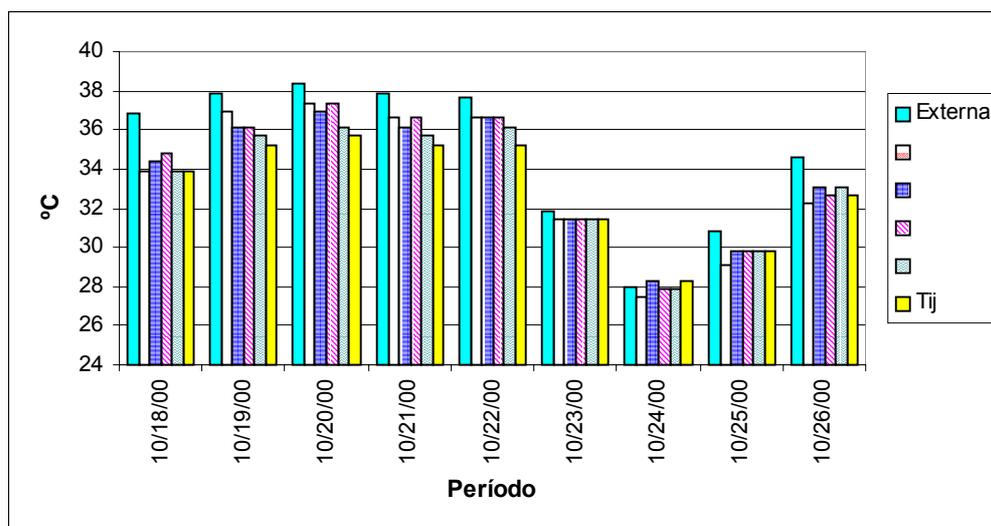


Figura 44 – Temperaturas Máximas observadas no período típico de verão.

A Figura 45 mostra as temperaturas mínimas, quando o ambiente externo alcançou seu menor valor. Novamente o ambiente *Tijolo* foi quem demonstrou melhor performance ou temperatura mais confortável.

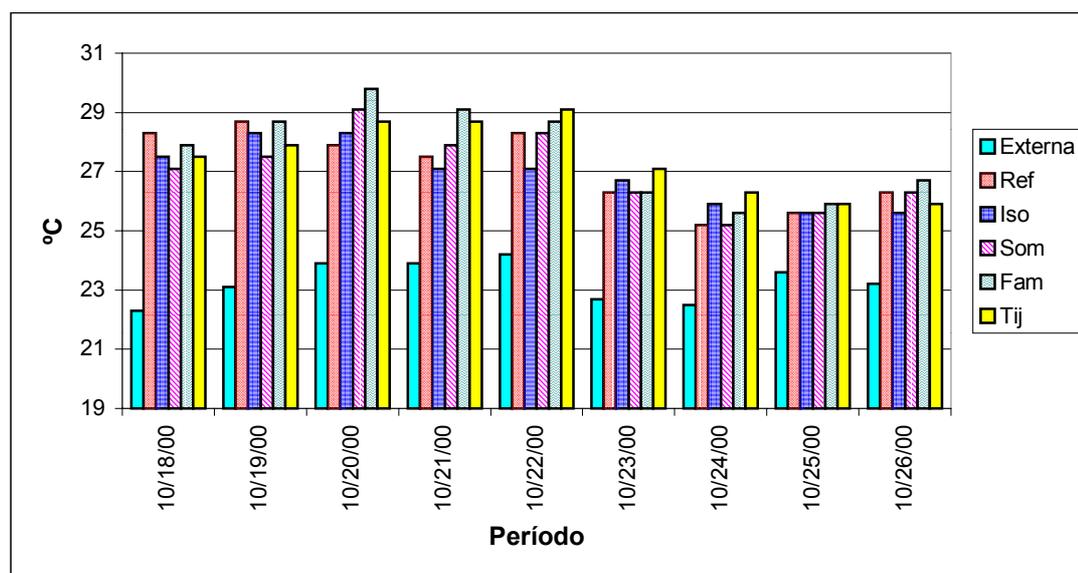


Figura 45 – Temperaturas Mínimas observadas no período típico de verão.

Apresentam-se, a seguir, os gráficos das *dispersões* e os *coeficientes de determinação* ou *explicação* encontrados entre as temperaturas externas e as internas monitoradas no período **típico de verão**. Conforme demonstram as figuras, todas as *correlações* são *lineares* e *positivas*.

O primeiro deles, Figura 46, que representa a dispersão entre a *Temperatura Externa* e a do ambiente *Referência* no período **típico de verão** demonstrou forte correlação entre os dados por conta de o "r" (coeficiente de correlação de Pearson) ser igual a 0,80. Por outro lado, observando a equação da reta " $y = 0,5162x + 15,342$ ", podemos afirmar que para cada unidade de acréscimo na temperatura externa apenas 0,5162 unidades de temperatura no *Referencia* acontecerá. O R^2 ou *coeficiente de determinação* foi igual a 0,64.

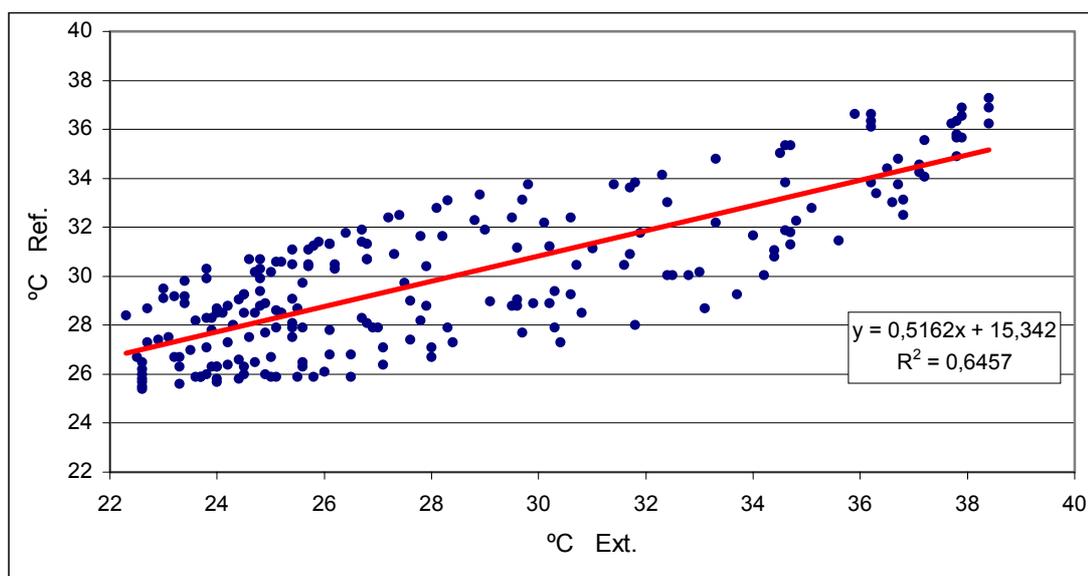


Figura 46 – Dispersões e " R^2 " entre os dados de Temperatura Externa e os observados no ambiente Referência no período típico de verão.

A situação mostrada na figura seguinte não é diferente, apesar de os dados estarem menos dispersos. Isso é caracterizado pelo *coeficiente de correlação* igual a 0,86 ($R^2 = 0,74$) que vem significar que 86% dos dados de temperatura externa e do ambiente *Isolado* guardam relação, ou que guardam forte correlação. Até aqui as duas retas de regressão nos mostram realmente que tanto o ambiente *Referência* como o *Isolado* tiveram comportamentos semelhantes no período *típico de verão*.

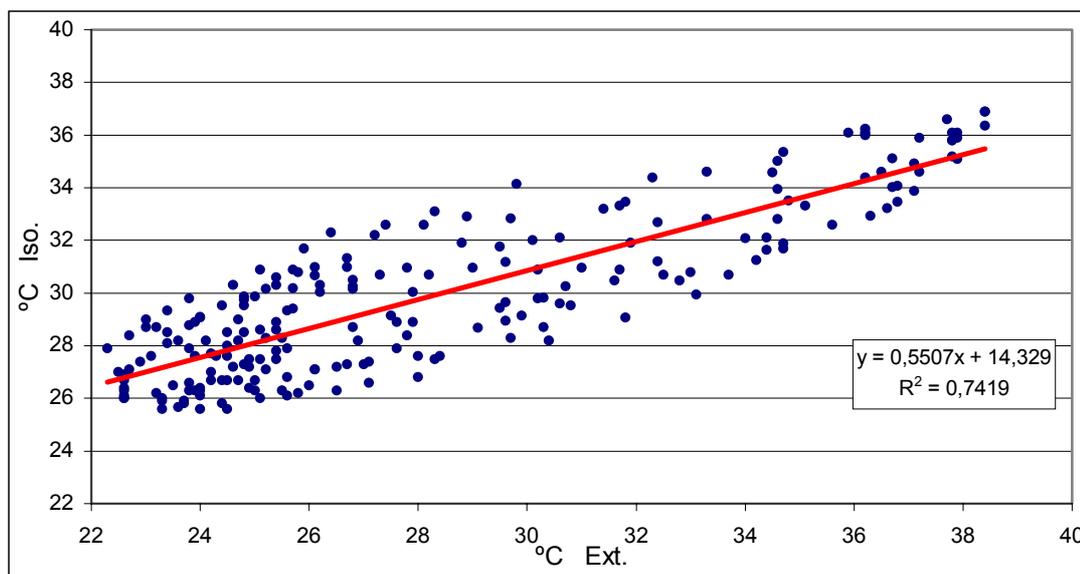


Figura 47 – Dispersões e " R^2 " entre os dados de Temperatura Externa e os observados no ambiente *Isolado* no período típico de verão.

Com intensidade pouco inferior, o *coeficiente de correlação* ($r = 0,72$ com $R^2 = 0,53$), gráfico de dispersão apresentado a seguir, Figura 48, também nos mostra forte correlação entre as variáveis estudadas, ou as temperaturas do ambiente externo e o *Sombreado*. Essa razoável igualdade é também retratada pela inclinação das retas de regressão até aqui expostas.

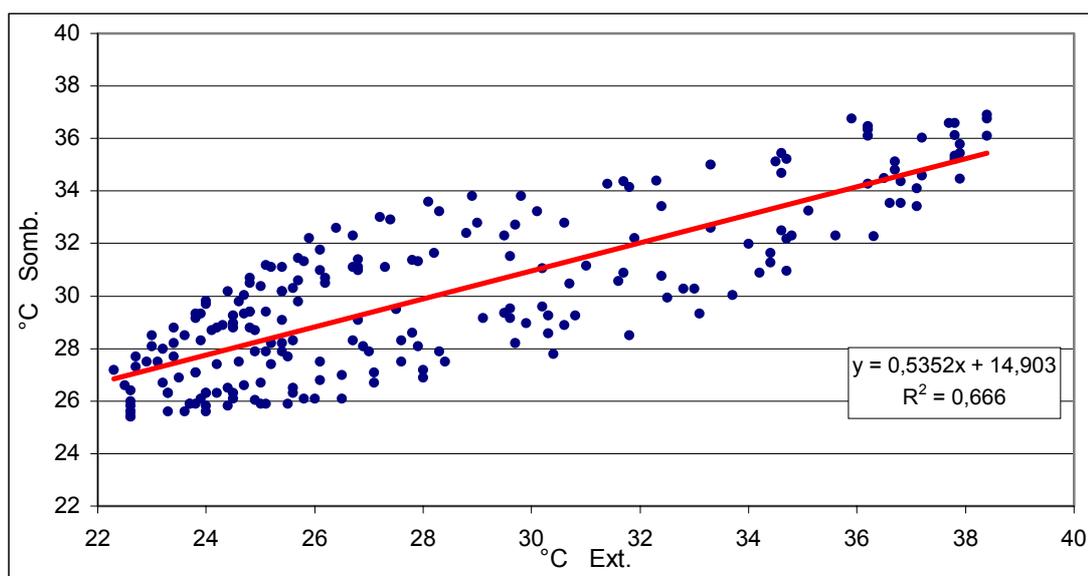


Figura 48 – Dispersões e " R^2 " entre os dados de Temperatura Externa e os observados no ambiente *Sombreado* no período típico de verão.

Visivelmente pode-se observar que a maior dispersão entre os dados de temperatura externa e as do ambiente *Família* ocorreu durante o período *típico de verão*, vide Figura 49, resultando ainda coeficiente angular da reta de regressão menor (0,4267) e *coeficiente de correlação* igual a 0,72 ($R^2 = 0,53$). Ou seja, apenas 72% dos dados entre as temperaturas guardam relação entre si. Em outras palavras, caracteriza-se média correlação.

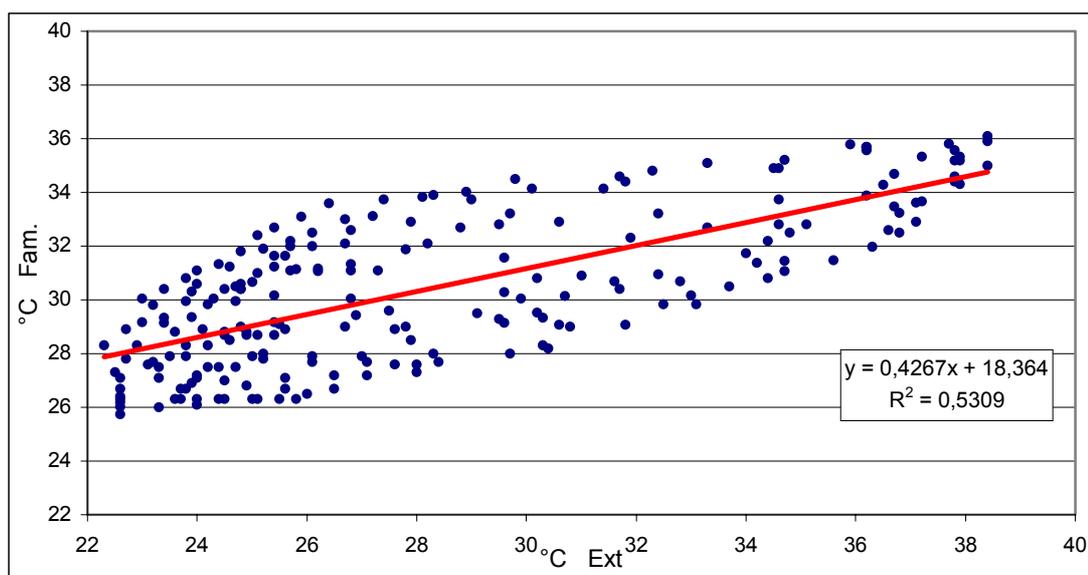


Figura 49 – Dispersões e " R^2 " entre os dados de Temperatura Externa e os observados no ambiente *Família* no período típico de verão.

Mesmo mantendo praticamente a mesma inclinação na reta de regressão, a dispersão dos dados de temperatura externa e do ambiente *Tijolo* resultou em forte correlação em função do *coeficiente de correlação* igual a 0,83 ($R^2 = 0,69$). A equação da reta de regressão indicou desta forma, para cada unidade de temperatura externa, apenas 0,4542 unidades para as do ambiente *Tijolo*.

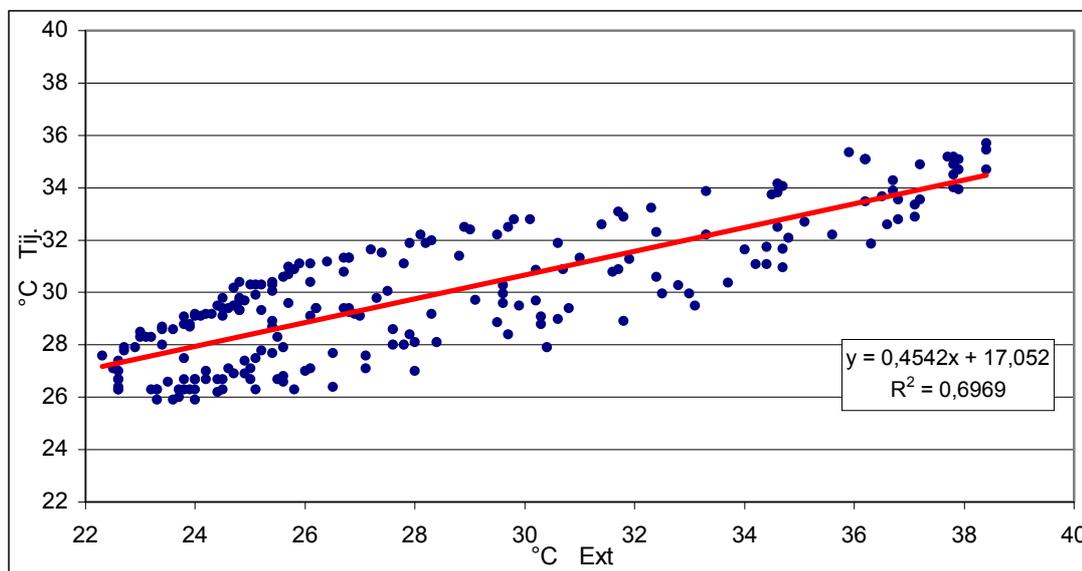


Figura 50 – Dispersões e " R^2 " entre os dados de Temperatura Externa e os observados no ambiente *Tijolo* no período típico de verão.

Segue-se análise das *dispersões*, *retas de regressão* e respectivos *coeficientes de determinação* ou *explicação* para cada ambiente, para o período entre 22/09/00 (início do monitoramento interno) e 06/02/01 (data em que ocorreu pane total na estação meteorológica instalada na BEP e deixou-se de ter dados).

A Figura 51 mostra as *dispersões* e o *coeficiente de determinação* ou *explicação* ($R^2 = 0,71$) existente entre os dados de temperatura obtidos no ambiente externo e no *Referência*, entre os quais podemos afirmar que existe uma forte correlação ($r = 0,84$). Outro aspecto a ser distinguido que vem corroborar esse fato, é a inclinação da reta de regressão inaugurando coeficientes angulares maiores que os anteriores. Neste caso em especial, para cada unidade da temperatura externa corresponde a 0,8032 da do *Referência*

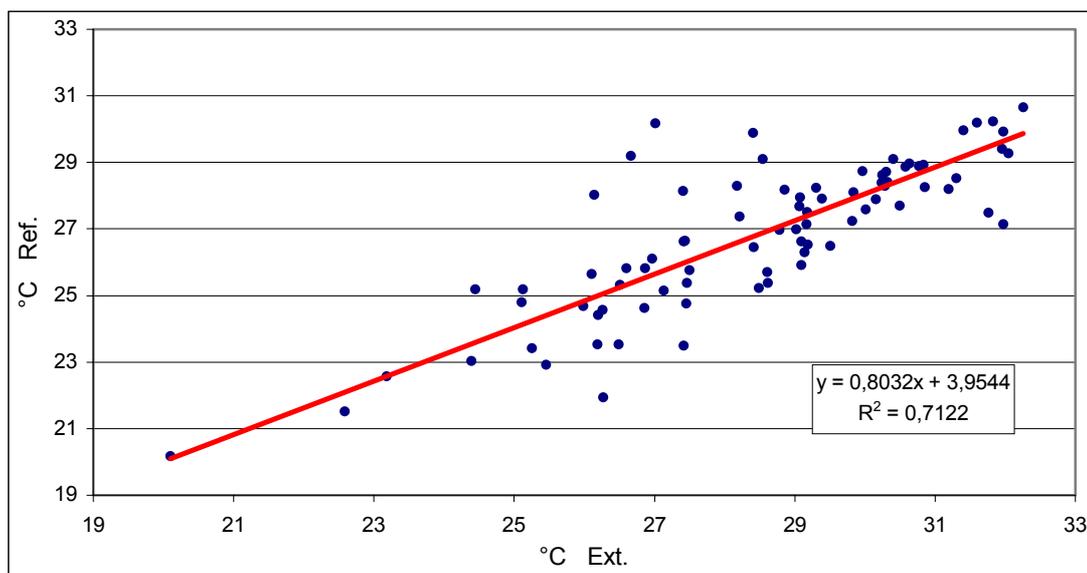


Figura 51 – Dispersões e " R^2 " entre os dados de Temperatura Externa e os observados no ambiente *Referência* no período de 22/09/00 a 06/02/01.

Já a correlação entre os dados de temperatura obtidos no ambiente externo e o *Isolado* é fortíssima ($r = 0,92$), demonstrada pelo gráfico de *dispersões* e o *coeficiente de determinação* ou *explicação* calculado ($R^2 = 0,86$). Vide Figura 52.

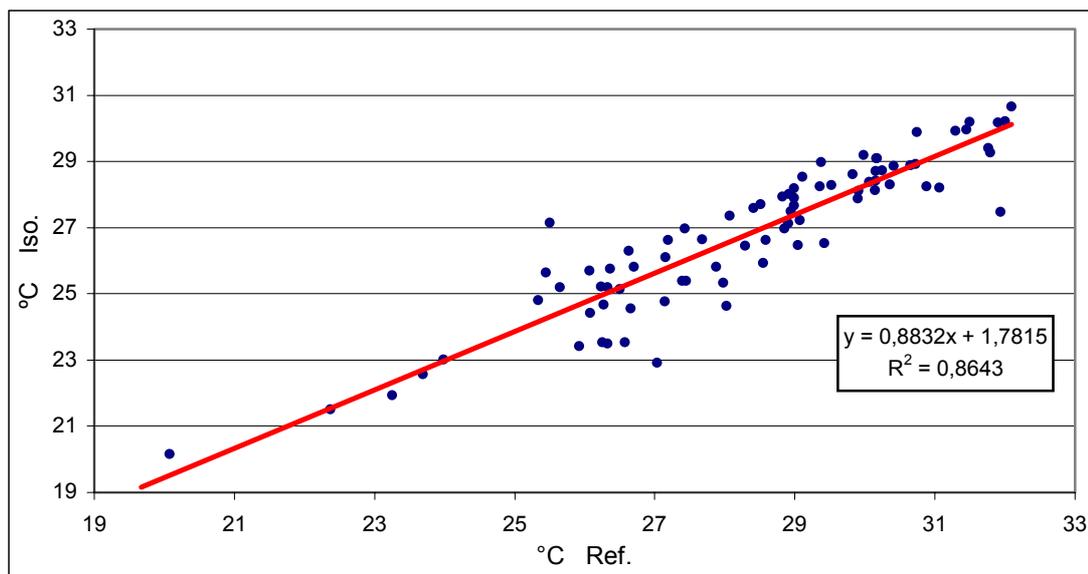


Figura 52 – Dispersões e " R^2 " entre os dados de Temperatura Externa e os observados no ambiente *Isolado* no período de 22/09/00 a 06/02/01.

Mais intenso é ainda o resultado alcançado em relação ao ambiente *Sombreado*. A Figura 53 a seguir demonstra isso. Com *coeficiente de correlação* igual a 0,94 ($R^2 = 0,89$), tem da mesma forma fortíssima correlação entre os dados observados. Referenda esse resultado a inclinação da reta de regressão, que tem coeficiente angular igual a 0,8796.

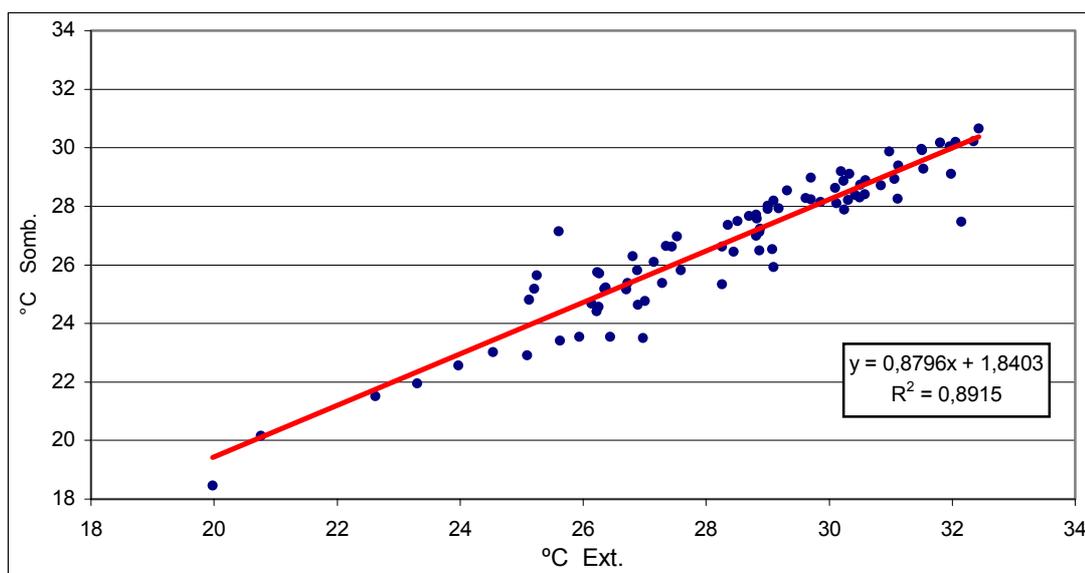


Figura 53 – Dispersões e " R^2 " entre os dados de Temperatura Externa e os observados no ambiente *Sombreado* no período de 22/09/00 a 06/02/01.

Na Figura 54, visualiza-se forte correlação ($r = 0,81$ e $R^2 = 0,66$) entre os dados das temperaturas externas e as do ambiente *Família*, ainda que estes contenham alguns dados distantes dos da reta de regressão. Também a inclinação ou coeficiente angular da reta de regressão é menor neste caso, acusando 0,7631, significando que cada unidade de temperatura externa relaciona-se a 0,7631 da do *Família*.

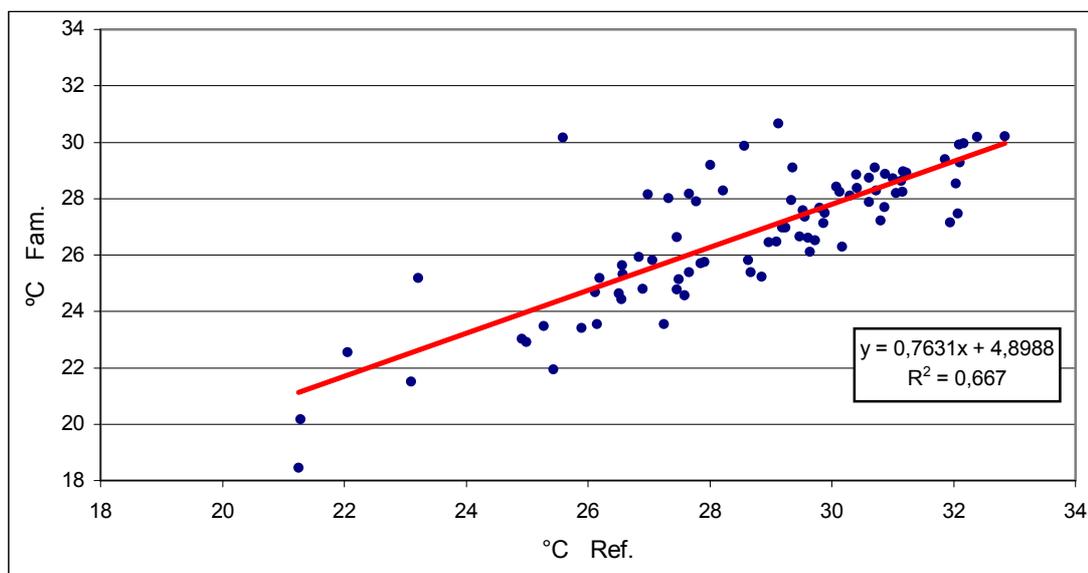


Figura 54 – Dispersões e " R^2 " entre os dados de Temperatura Externa e os observados no ambiente *Família* no período de 22/09/00 a 06/02/01.

Entretanto, no ambiente *Tijolo*, por conta da inércia térmica acrescentada ao envelope, a *dispersão* dos dados e o *coeficiente de determinação* ou *explicação* calculado ($r = 0,63$ e $R^2 = 0,39$) referendam a correlação fraca existente. Também deve-se observar o coeficiente angular da reta de regressão, que passou para 0,3985. Vide Figura 55.

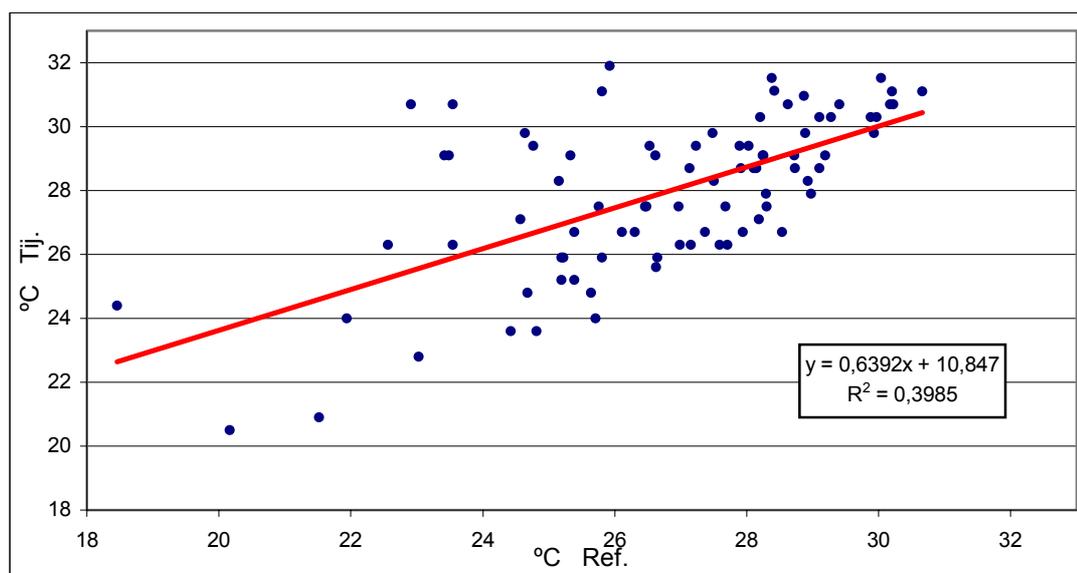


Figura 55 – Dispersões e " R^2 " entre os dados de Temperatura Externa e os observados no ambiente *Tijolo* no período de 22/09/00 a 06/02/01.

Pelo exposto, apresentam-se na Tabela 11 resultados numéricos dos *coeficientes de correlação* obtidos nos 2 períodos, ou seja, no *período típico de verão* e no total de monitoramento, de 22/09/00 a 06/02/01.

Tabela 11 – Coeficientes de correlação obtidos.

Ambientes	Coeficientes de Correlação	
	<i>Verão típico</i>	22/09/00 à 06/02/001
<i>Referência</i>	0,80	0,84
<i>Isolado</i>	0,86	0,92
<i>Sombreado</i>	0,81	0,94
<i>Família</i>	0,72	0,81
<i>Tijolo</i>	0,83	0,63

A teoria estatística considera, no exame das *correlações* a possibilidade de que uma terceira variável esteja causando as alterações nas variáveis de estudo que, no presente caso, poderiam ser, entre outros fatores, os *Índices de Conforto Térmico*. Entretanto, como os *coeficientes de correlação* apresentados originaram-se em dados experimentais de campo, podemos admiti-los como representativos.

Assim sendo, pelos resultados apresentados na tabela a seguir podemos objetivamente afirmar que, em função das variáveis *temperaturas externa e interna*, o Família no primeiro e o Tijolo no segundo período estudado foram os ambientes com melhor comportamento térmico, apresentando temperaturas mais confortáveis. Em outras palavras, já podemos ressaltar a influência da interação humana bem como o aumento da inércia térmica como fatores importantes na avaliação proposta neste trabalho.

4.3.1.2 Ambientes sem ocupação e permanentemente sem ventilação

Observa-se pelas figuras que se seguem que novamente os ambientes *Isolado* e *Sombreado* acompanharam o *Referência*. A Figura 56 mostra que as temperaturas experimentadas nos ambientes *Referência* e *Isolado* nos pontos máximos e mínimos mantiveram-se no mesmo nível, demonstrando talvez que, em função da solução dada à cobertura, tornando-a bem ventilada, o isolamento da laje não acrescentou nenhuma diferença considerável.

Deve-se atentar para que, a partir desta figura, determina-se com um traço horizontal a marca de 29°C que referencia o valor aceito por GIVONI (1998) como limite superior de conforto para países em desenvolvimento.

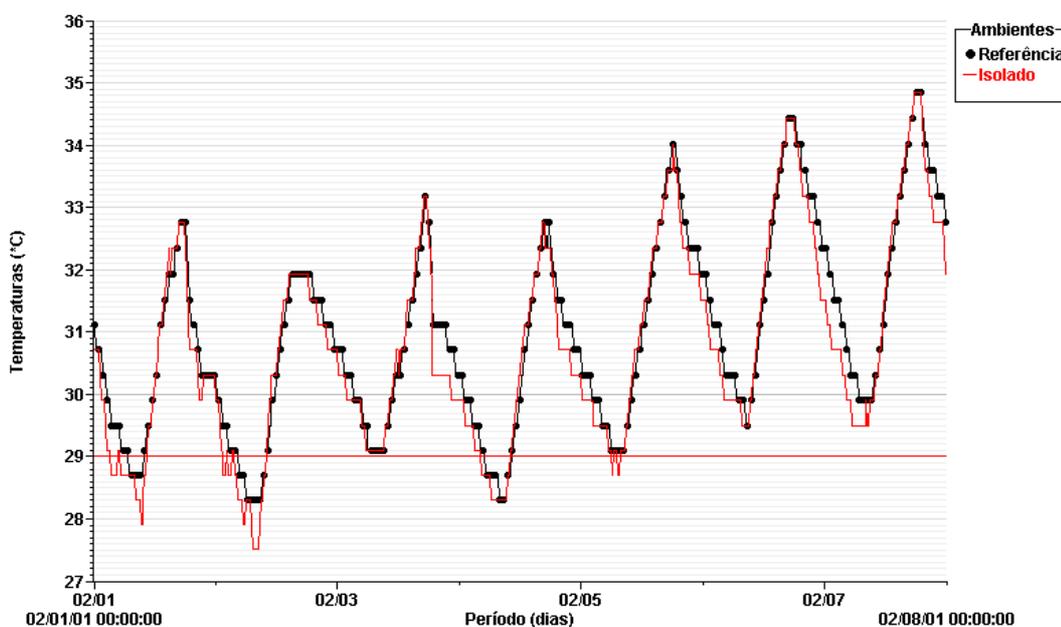


Figura 56 – Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Isolado, sem ventilação, no período de 02 a 08/02/01.

Restou sem justificativa a ocorrência das temperaturas mínimas no ambiente *Isolado* menores que as do *Referência*, uma vez que segundo o zelador da BEP, no período observado, por ser de férias discentes e docentes na UFMS, a BEP ficou sem ocupação e certamente sem ventilação, como esperado.

Com respeito ao ambiente com *Sombreado*, a situação repete-se. Assim, pode-se concluir que, apesar de em seu dimensionamento haver-se adotado o diagrama solar correto, provavelmente a causa principal de troca de calor deve ter ocorrido pela laje de piso, uma vez que a edificação é em pilotis, com altura média de 1,80 metros.

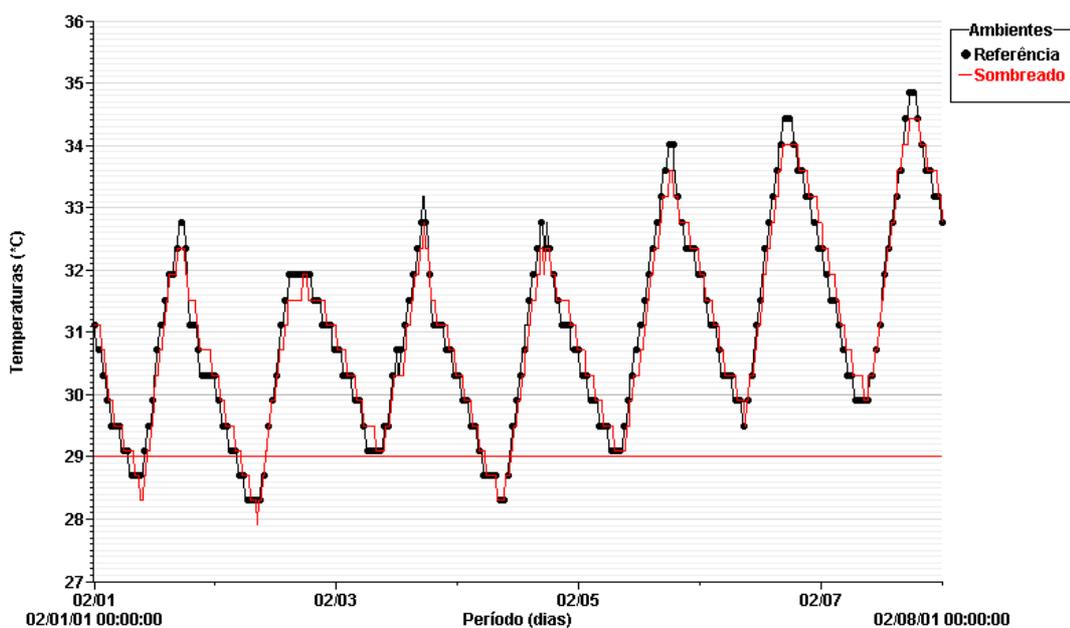


Figura 57 – Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Sombreado, sem ventilação, no período de 02 a 08/02/01.

Antes de entrarmos no mérito do comportamento térmico do ambiente *Família* neste período, em que consideramos os **ambiente sem ocupação**, ressaltamos que a intenção é avaliarmos a importância da atuação humana na busca do conforto térmico.

Assim sendo, observa-se que deve ter ocorrido ventilação natural no ambiente *Família*, o que provocou temperaturas mínimas inferiores às do ambiente *Referência*. Entretanto, em alguns pontos de temperaturas máximas, essa mesma ventilação natural aliada à taxa de ocupação sempre alta no ambiente, veio provocar temperaturas superiores.

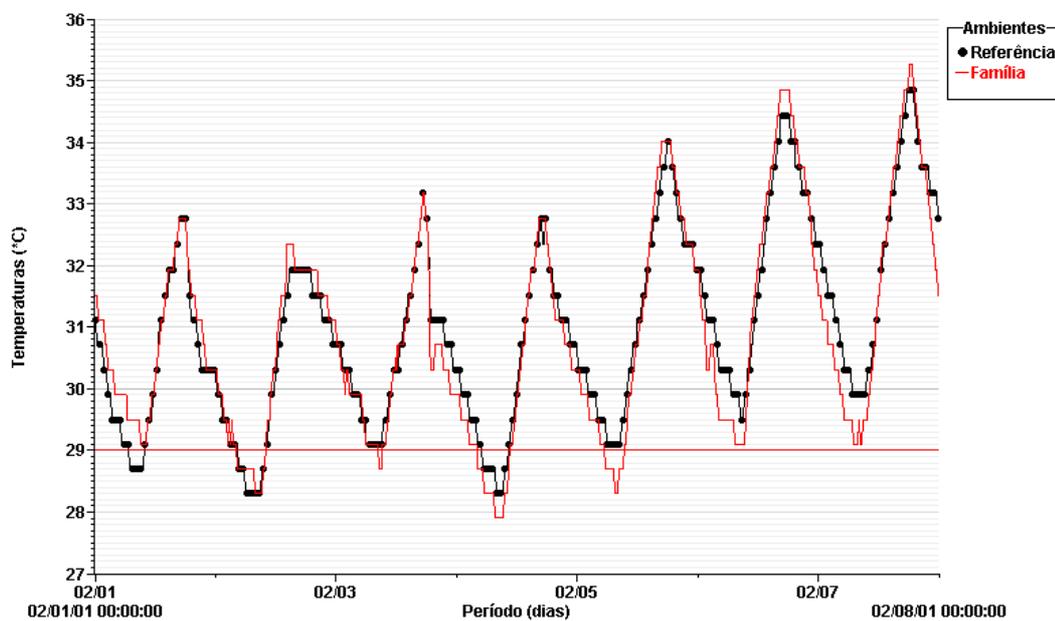


Figura 58 – Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Família, sem ventilação, no período de 02 a 08/02/01.

Finalmente, o resultado obtido no ambiente *Tijolo* foi certamente a melhor opção para a condição *sem ventilação*, pois suas máximas e mínimas foram mais confortáveis.

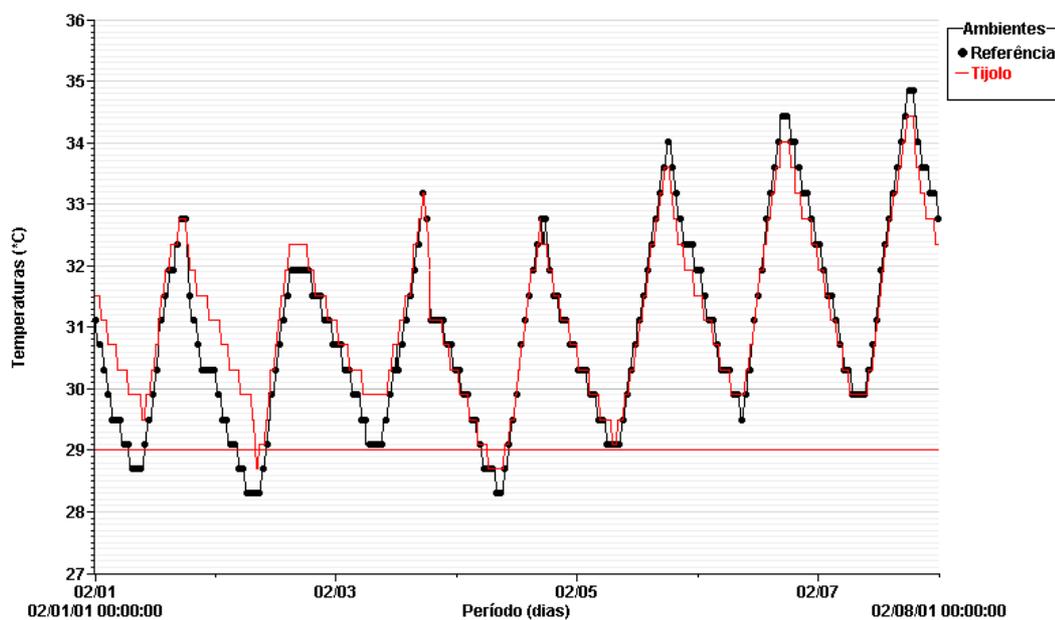


Figura 59 – Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Tijolo, sem ventilação, no período de 02 a 08/02/01.

A Figura 60 mostra as amplitudes verificadas, para ***ambientes sem ocupação e sem ventilação***.

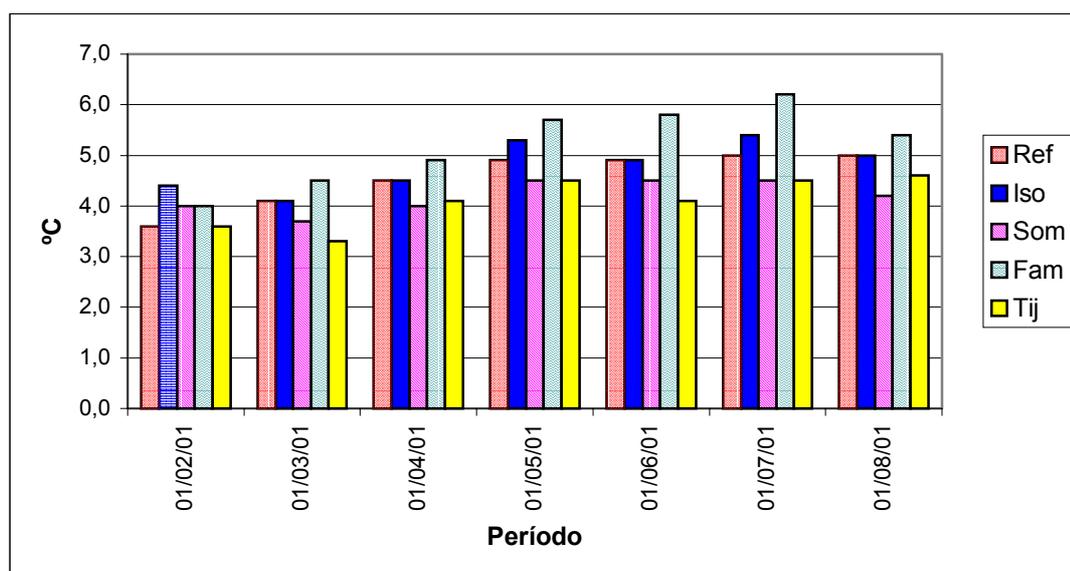


Figura 60 – Amplitudes térmicas observadas nos ambientes quando sem ocupação e sem ventilação.

4.3.1.3 Ambientes sem ocupação e com ventilação natural permanente.

A atuação da ventilação natural permanente, dia e noite, foi constatada no ambiente *Isolado*, Figura 61 a seguir, apesar de em alguns pontos suas máximas serem superiores às do *Referência*. Também chamam a atenção às mínimas ocorridas, determinando as maiores amplitudes térmicas para a condição ***ambiente com ventilação natural permanente***. A esse fato falta-nos justificativa, em função de não havermos permanecido na BEP durante o monitoramento das temperaturas.

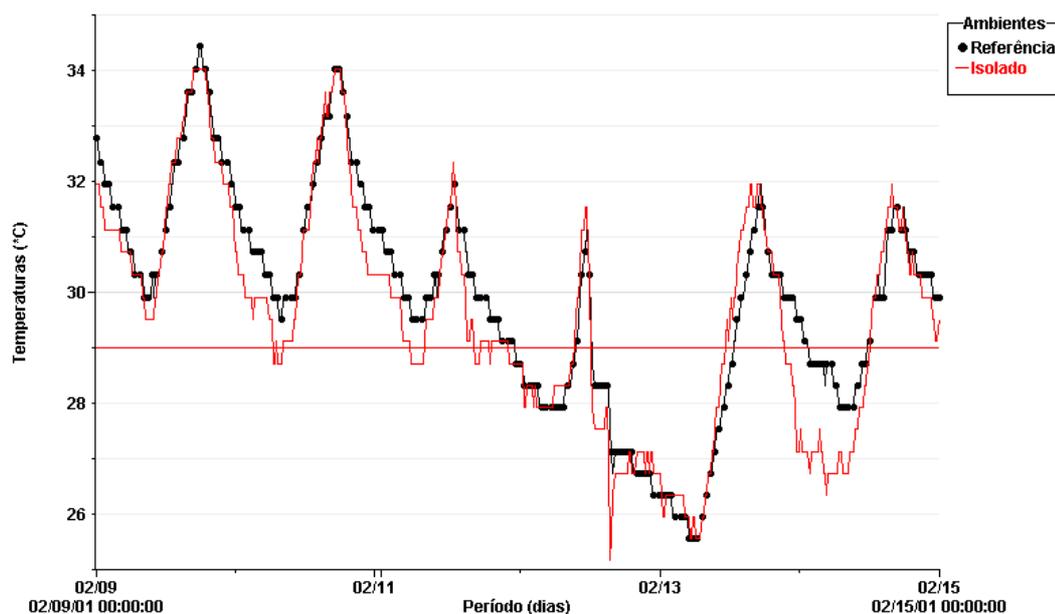


Figura 61 – Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Isolado, com ventilação natural permanente, no período de 09 a 15/02/01.

A mesma situação espelha-se na Figura 63, que traduz a performance do ambiente *Família* quando observamos suas máximas, apesar de que, pela ocupação, há que se considerar o acréscimo da temperatura no ambiente pela troca térmica com o corpo humano.

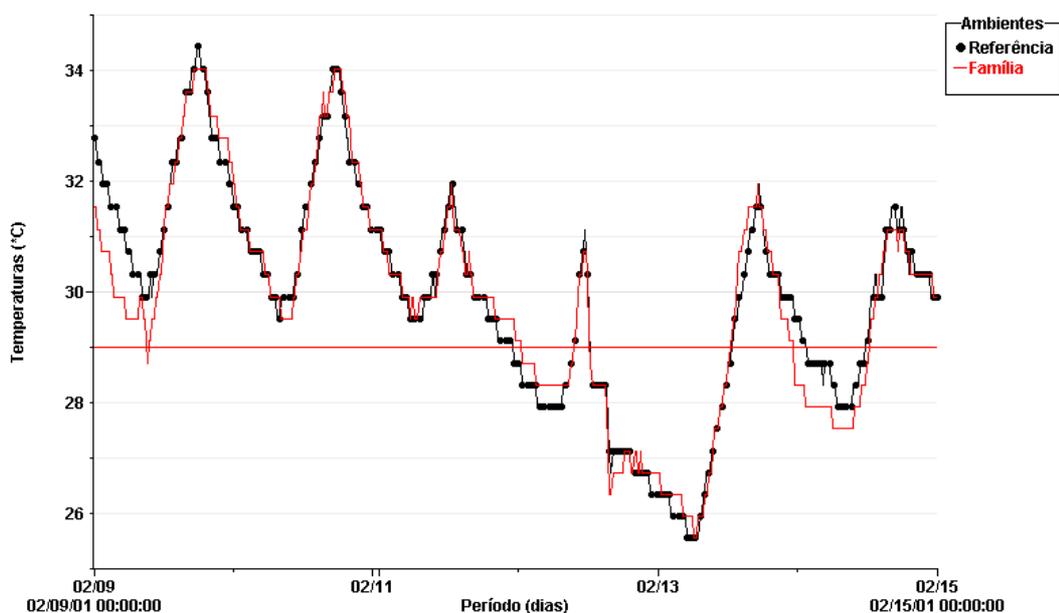


Figura 63 – Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Família, com ventilação natural permanente, no período de 09 a 15/02/01.

A característica do gráfico obtido pelos dados de temperatura no ambiente *Tijolo*, Figura 64, nos mostra certamente as menores amplitudes térmicas. Há que se acrescentar, porém, que com ventilação natural permanente, que é o caso, apenas suas mínimas resultaram razoavelmente mais confortáveis que no ambiente *Referência*. Com respeito à elevação das temperaturas máximas, pode-se suspeitar da troca de calor pela laje de piso, em função da estrutura em pilotis.

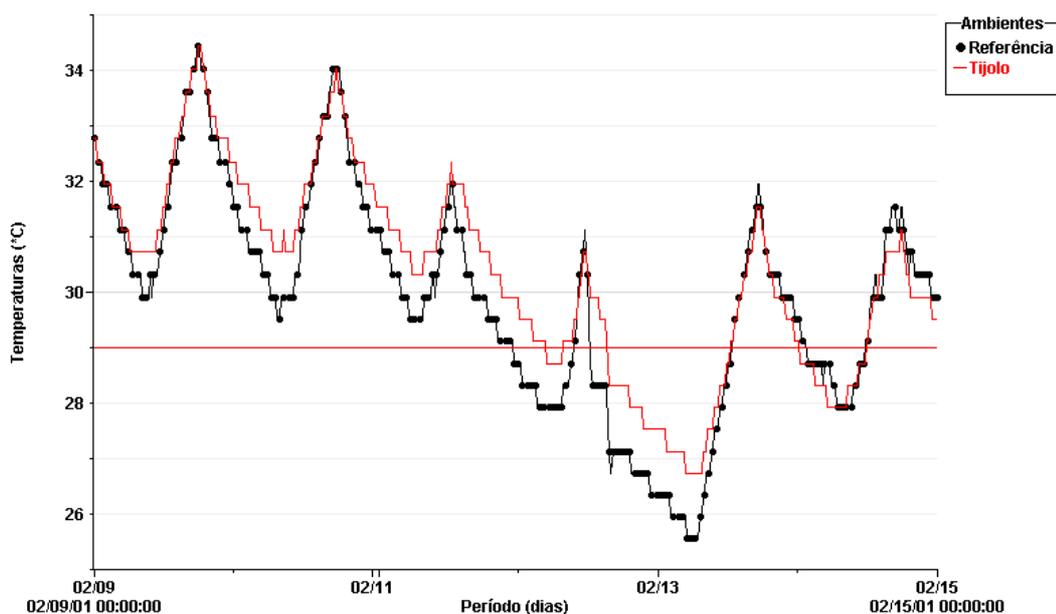


Figura 64 – Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Tijolo, com ventilação natural permanente, no período de 09 a 15/02/01.

Na Figura 65, apresentam-se as amplitudes térmicas em todos os ambientes sendo que as menores foram as observadas no ambiente *Tijolo*, que por sua vez não propiciou o esperado conforto ambiental em função de suas mínimas permanecerem altas, tais com as do *Referência*.

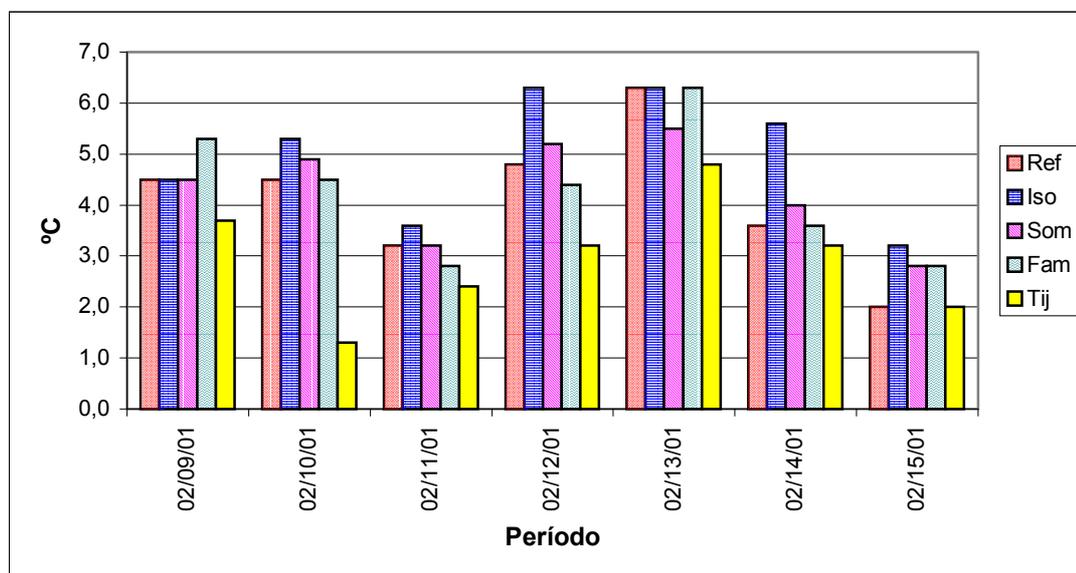


Figura 65 – Amplitudes térmicas observadas nos ambientes quando sem ocupação e com ventilação natural permanente.

4.3.1.4 “Entrada de frente fria” na região e os ambientes com ocupação normal – período entre 14/06 a 04/07/01

As linhas horizontais que indicam 20 e 29°C definem a faixa de conforto térmico adotado por GIVONI (1998) para países em desenvolvimento.

Apesar do demonstrado na Figura 66, o desconforto por frio raramente é reclamado na BEP. Mas sob tal ação observa-se que o ambiente *Isolamento* respondeu de forma negativa ao decréscimo de temperatura ocorrido. Visualiza-se que, no maior decréscimo além de a temperatura do ambiente *Isolado* também decrescer, apresentou valor ainda menor, quando a do ambiente *Referência* voltou a aumentar. A partir daí, todos os seus valores foram menores que os do *Referência*.

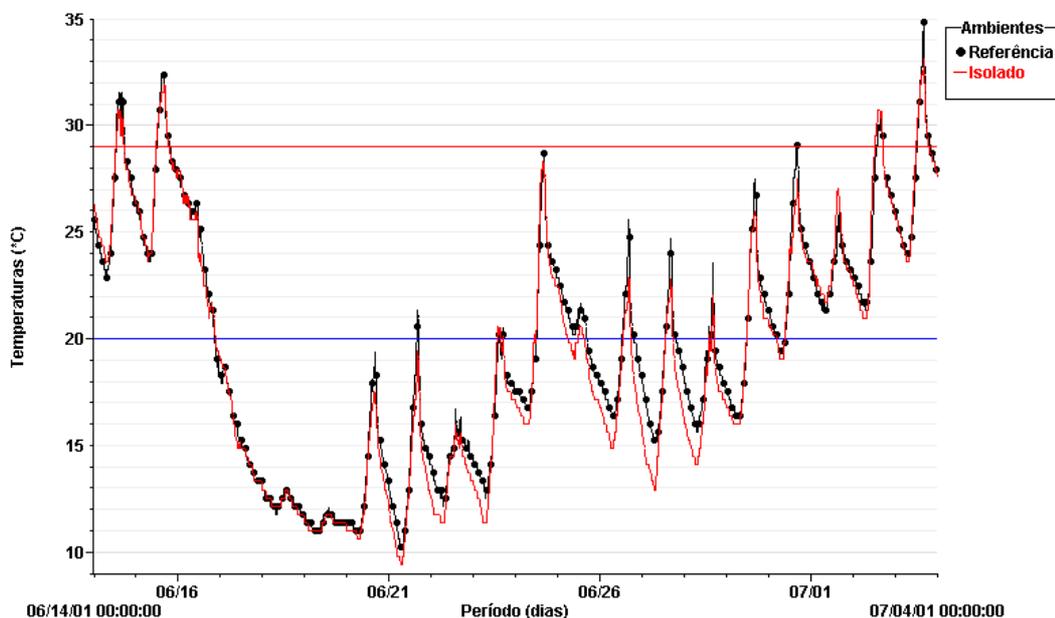


Figura 66 – Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Isolado, com a “entrada de frente fria”, no período de 14/06 a 04/07/01.

Já a expectativa de que ocorressem temperaturas mais baixas no ambiente *Sombreado* em relação ao *Referência* não aconteceu como esperado. Observa-se que as temperaturas dos dois ambientes são praticamente as mesmas.

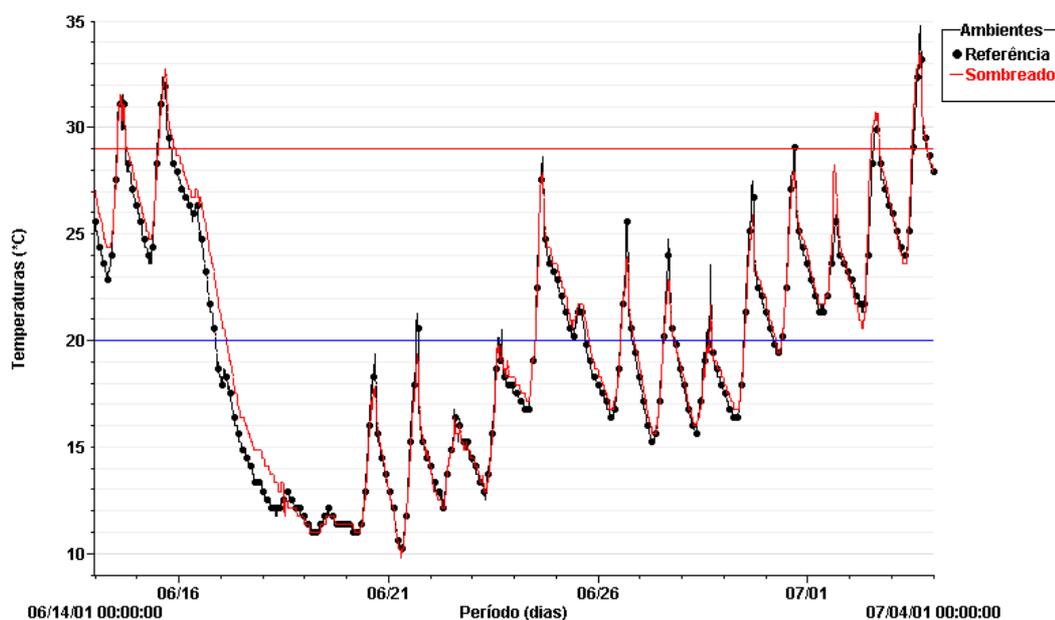


Figura 67 – Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Sombreado, com a “entrada de frente fria”, no período de 14/06 a 04/07/01.

A mesma contradição observou-se no ambiente *Família*, onde esperava-se que a atuação dos ocupantes poderia ter melhorado as condições do ambiente através da ventilação natural praticada nos períodos de temperaturas externas máximas.

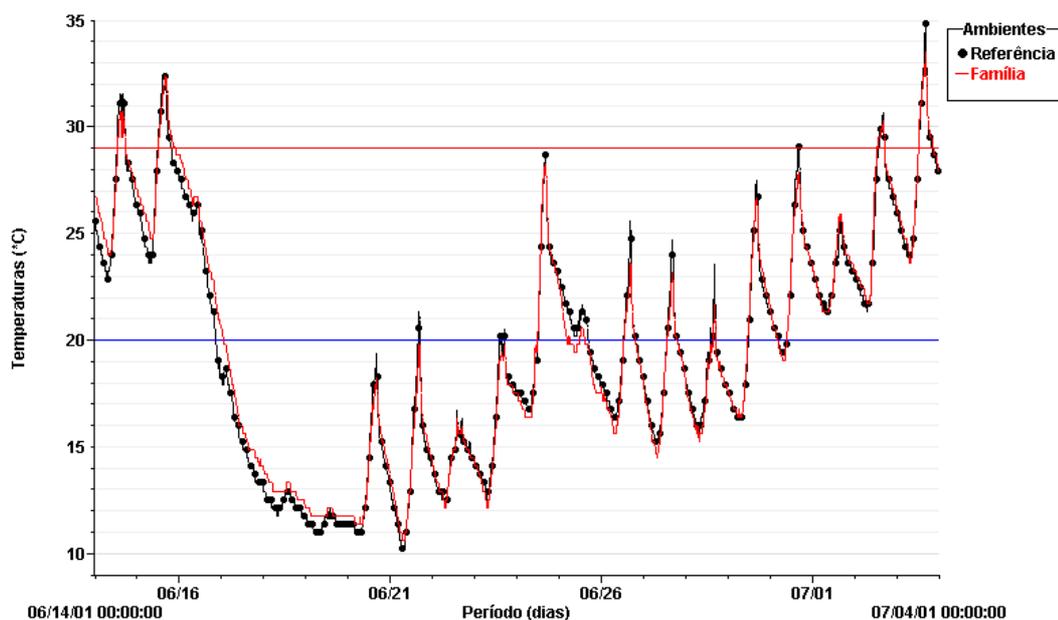


Figura 68 – Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Família, com a “entrada de frente fria”, no período de 14/06 a 04/07/01.

No decréscimo de temperatura ocorrido a partir do dia 16, observa-se que o ambiente *Tijolo*, Figura 69, respondeu bem à situação imposta. Entretanto, após esse fato, em que pese suas máximas serem inferiores às do *Referência*, as mínimas também o foram, o que causou certamente maior desconforto por frio no ambiente *Tijolo* que no de comparação, fato que merece melhor acompanhamento.

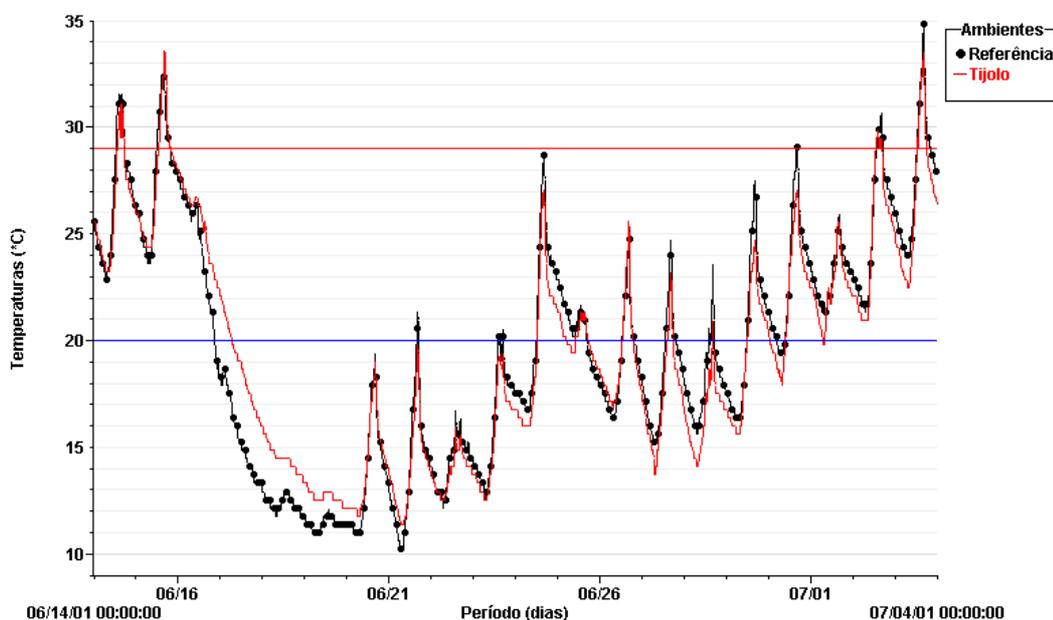


Figura 69 – Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Tijolo, com a “entrada de frente fria”, no período de 14/06 a 14/06 a 04/07/01.

Na Figura 70, representam-se as amplitudes térmicas verificadas nos ambientes sob ação da frente fria ocorrida no período de 14/06 a 04/07/2000.

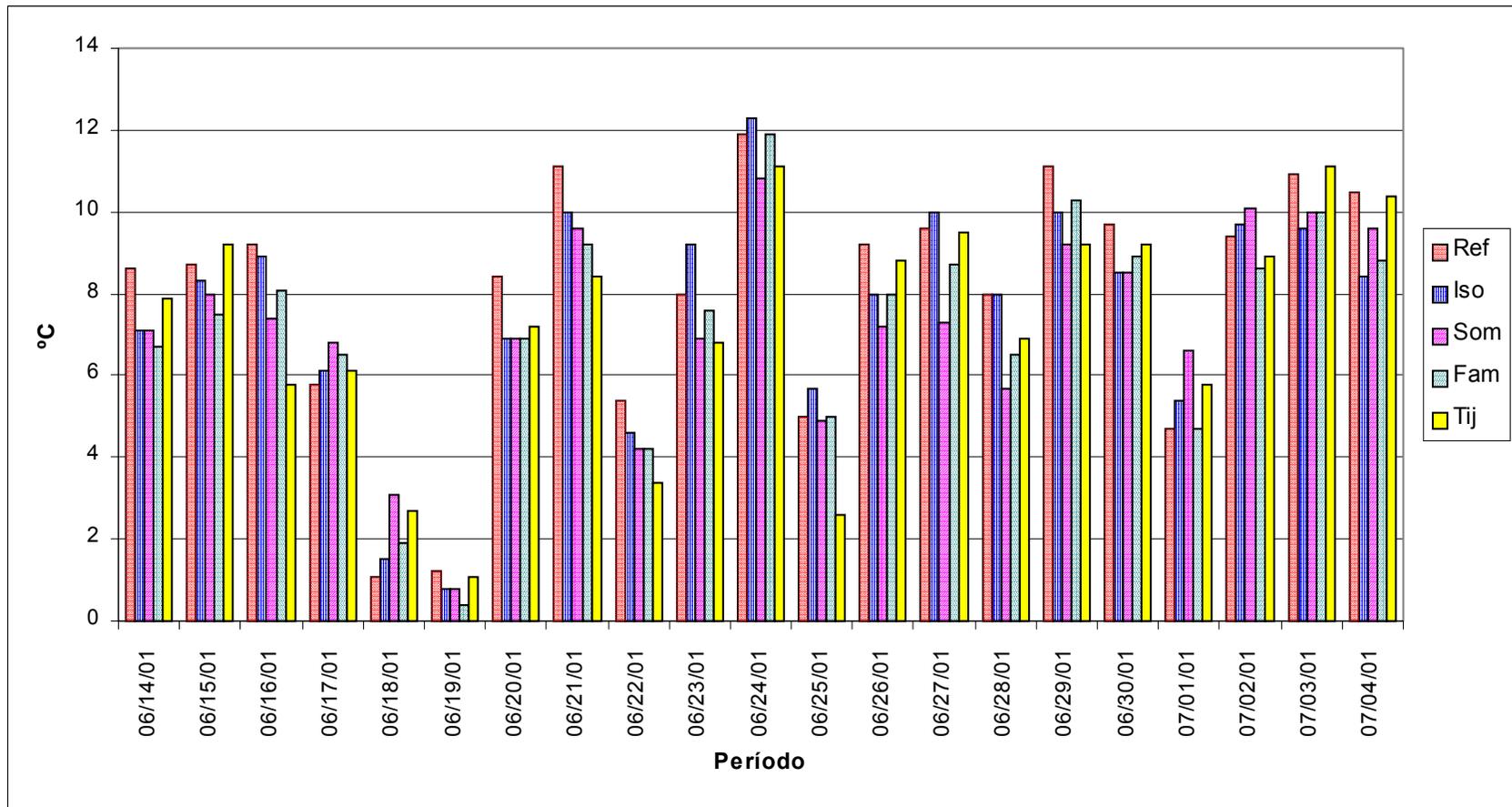


Figura 70 – Amplitudes térmicas observadas com a “entrada de frente fria”, no período de 14/06 a 04/07/01.

4.3.1.5 “Entrada de frente fria” na região e os ambientes com ocupação normal – período entre 20/07 e 01/08/01

Novamente observa-se que o ambiente *Isolado*, Figura 71, não respondeu da forma esperada, acusando em alguns momentos temperaturas mínimas inferiores às mínimas do *Referência*.

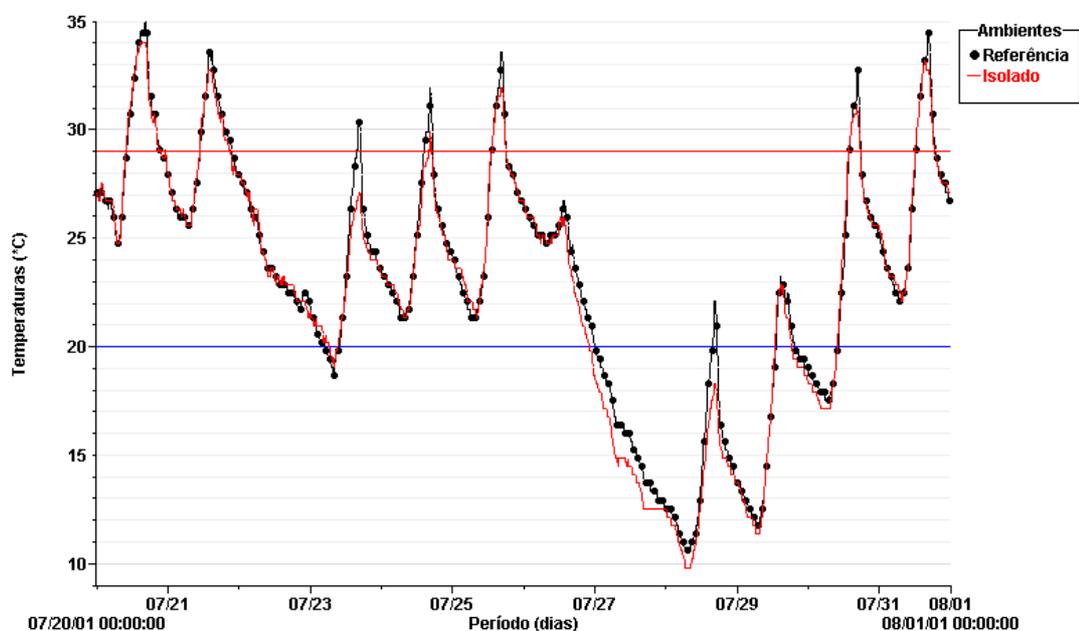


Figura 71 – Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Isolado, com a “entrada de frente fria”, no período de 20/07 a 01/08/01.

Os traços horizontais em 20 e 29°C definem a faixa de conforto proposta por GIVONI (1998) para países em desenvolvimento.

Já o *Sombreado*, Figura 72, na primeira queda importante de temperatura, manteve exatamente o comportamento apresentado pelo ambiente *Referência*, contrariando expectativas iniciais. Após a segunda queda de temperatura, também importante, suas máximas foram menores e as mínimas sempre maiores que as do ambiente *Referência*.

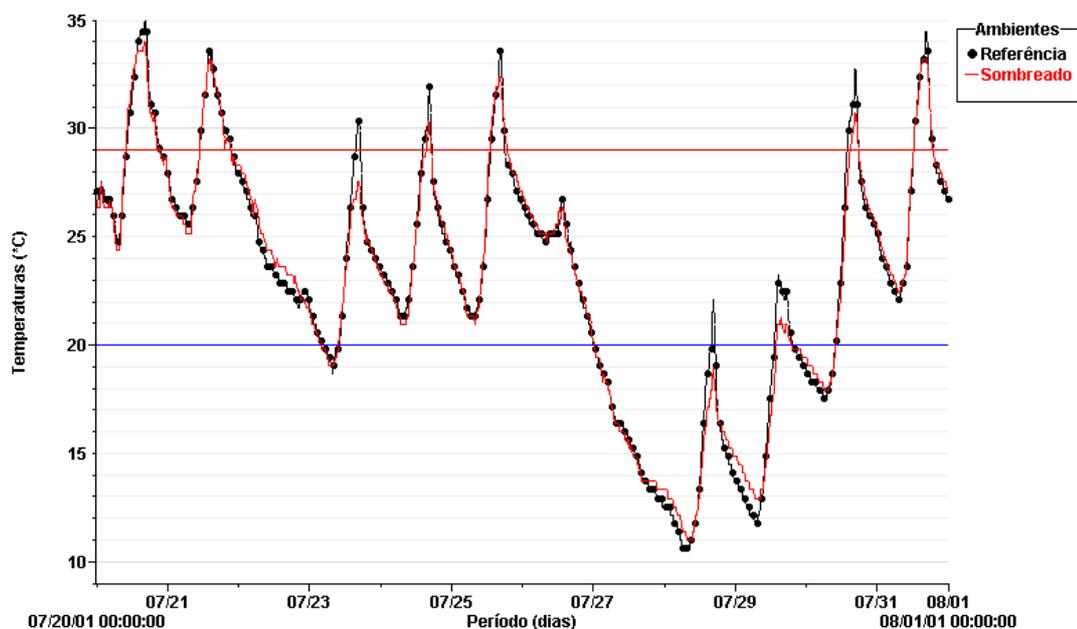


Figura 72 – Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Sombreado, com a “entrada de frente fria”, no período de 20/07 a 01/08/01.

O resultado das temperaturas do ambiente *Família*, Figura 73, demonstra que seus ocupantes interviram na obtenção de temperaturas mínimas como as máximas um pouco mais confortáveis que as do ambiente *Referência*. Esses resultados podem ser justificados de forma isolada ou consorciada pela ventilação natural e taxa de ocupação existente.

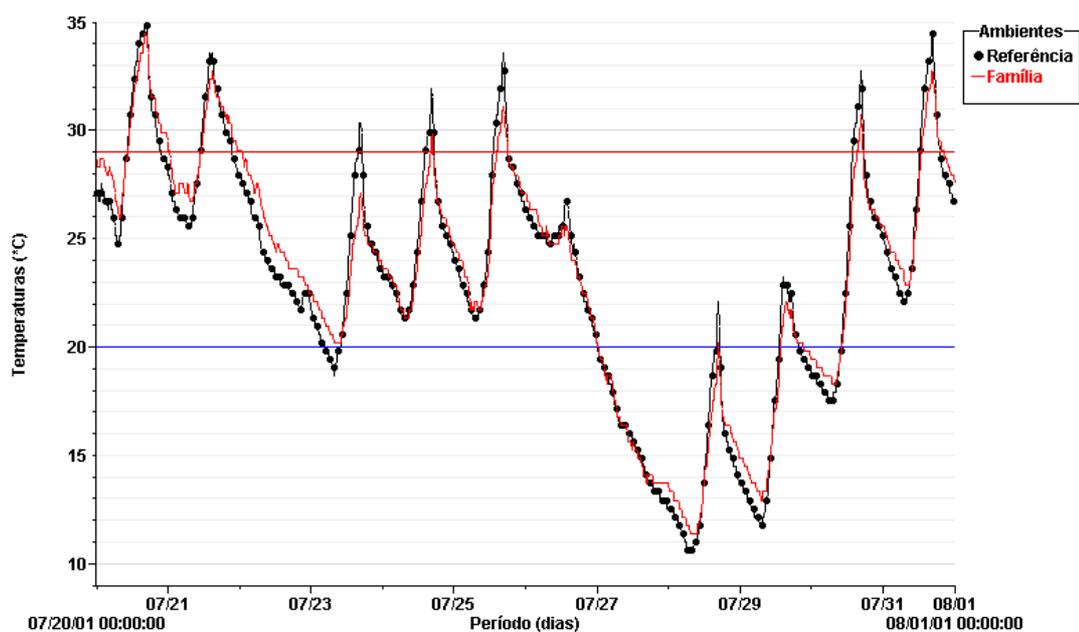


Figura 73 – Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Família, com a "entrada de frente fria", no período de 20/07 a 01/08/01.

Novamente o ambiente *Tijolo* repetiu a performance de quando esteve sob a ação da *frente fria* anterior. O decréscimo acentuado e relativamente prolongado da temperatura externa que aconteceu entre o dia 26 e a manhã de 28/07 fez com que a massa térmica do ambiente interno respondesse de forma lenta ao rápido acréscimo que ocorreu na tarde desse mesmo dia. A partir dessa ocorrência, as temperaturas máximas no ambiente *Tijolo* sempre foram menores que o ambiente *Referência*.

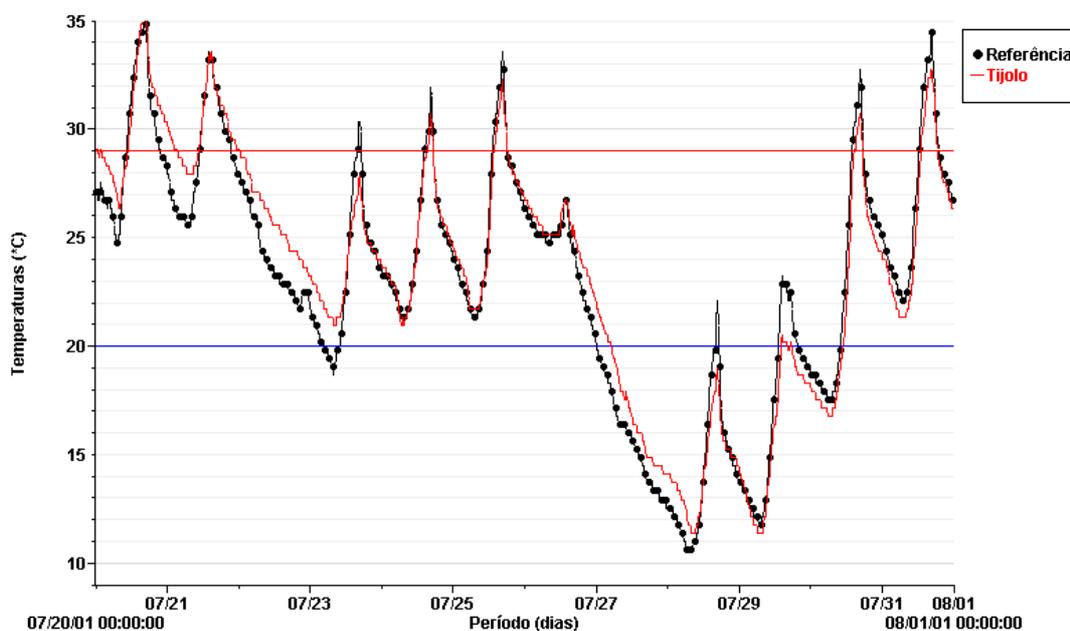


Figura 74 – Comparação das temperaturas monitoradas nos ambientes Referência e Tijolo, com a “entrada de frente fria”, no período de 20/07 a 01/08/01.

A Figura 75 apresenta as amplitudes térmicas obtidas nos diversos ambientes com a entrada da frente fria, no período de 20/07 a 01/08/2001.

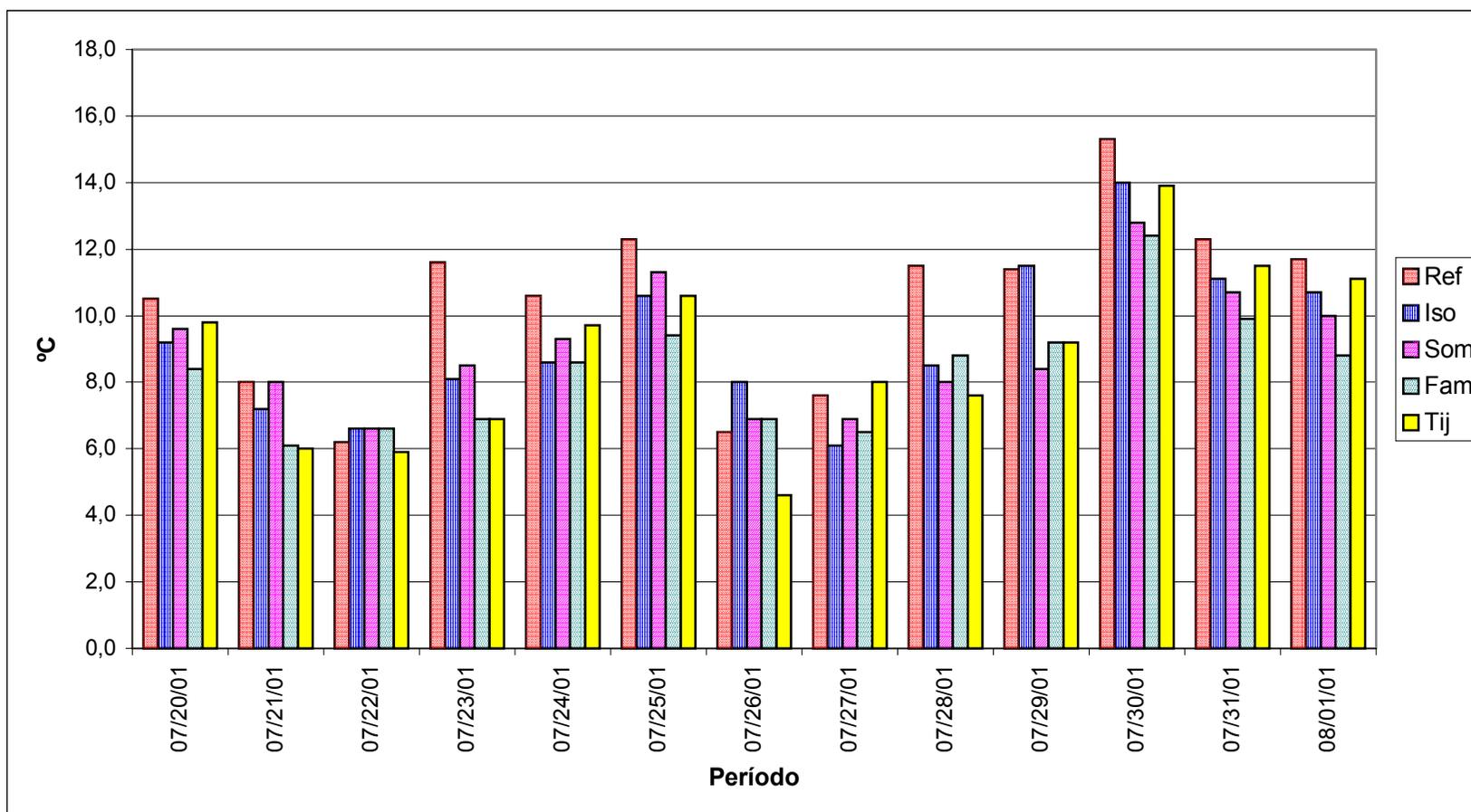


Figura 75 – Amplitudes térmicas observadas com a “entrada de frente fria”, no período de 20/07 a 01/08/01.

4.4 CONCLUSÃO DO PRESENTE CAPÍTULO

Admitiu-se por princípio no presente trabalho que a principal causa de desconforto térmico observado nos ambientes que compõem a Base de Estudos do Pantanal, desconsiderando-se a aclimação humana, provem dos prolongados períodos de temperaturas ditas de verão que, no período monitorado, chegou a alcançar 38,4°C no ambiente externo e 37,4°C no ambiente interno. Assim sendo, o período de ocorrências dessas temperaturas é que foi objeto de maiores considerações.

Entretanto, a falta do efetivo controle da interação do(s) ocupante(s) em prover conforto no ambiente interno aliado ao desconhecimento do desempenho térmico do envelope construído que em função do sistema construtivo em "palafita" adotado e comum na região que é absolutamente quente e úmida, provocou algumas ocorrências no comportamento térmico dos ambientes internos monitorados que justificam futuramente o aprofundamento dos estudos ora realizados.

Por outro lado, as temperaturas internas obtidas em razão das entradas de frentes frias que são fortuitas e de curta duração foram consideradas menos importantes, apesar de em alguns instantes causarem suportável desconforto.

Já as tabelas apresentadas além de confirmarem o exposto possibilitaram apontar desde já algumas *estratégias bioclimáticas* visando minimizar o desconforto por calor.

Sinteticamente os resultados e conclusões por *estratégia bioclimática* em relação aos ambientes *Referência* e *Família* são apresentadas no capítulo seguinte.

CAPÍTULO 5 CONCLUSÃO

5.1 INTRODUÇÃO

A Tabela 12 indica os valores das temperaturas médias observadas no período de 22/09/2000 até 23/08/2001 no ambiente que, por haver-se mantido suas características construtivas originais, foi identificado como *Referência*.

Tabela 12 – Temperaturas médias internas alcançadas na BEP, no ambiente *Referência*.

Períodos (dias)	Temperaturas Médias (°C)		
	Máximas	Médias	Mínimas
22/09/00 a 07/10/00	35,2	26,4	16,7
08/10/00 a 21/10/00	37,4	30,5	25,2
22/10/00 a 04/11/00	36,6	28,3	22,4
05/11/00 a 22/11/00	35,2	27,9	19,8
23/11/00 a 07/12/00	33,1	27,9	23,2
31/01/01 a 17/02/01	35,7	30,4	25,6
17/02/01 a 11/04/01	35,3	28,9	24,4
11/04/01 a 23/08/01	37,4	25,0	10,2

Observa-se que as temperaturas médias máximas apresentadas além de apontarem para a necessidade de se buscar alternativas que proporcionem valores mais confortáveis, vem corroborar com a insatisfação térmica sempre manifestada pelos usuários da BEP. Entretanto, há que se considerar a inexistência de pesquisas que possam confirmar essa constatação fisiológica bem como o desempenho térmico de edificações no Pantanal.

Por outro lado, por sua importância o Pantanal exige que sejam propostas soluções que venham de encontro as suas características naturais.

O presente trabalho avaliou as temperaturas internas de 3 ambientes da BEP sob ação das *estratégias bioclimáticas* identificadas como *isolamento* da laje de cobertura, *sombreamento* da janela que recebe incidência de radiação solar direta e acréscimo da inércia das paredes que compõem o fechamento lateral do envelope construído com o empilhamento de tijolo maciço em $\frac{1}{2}$ vez.

Da mesma forma monitorou-se as temperaturas internas do ambiente ocupado pela família do zelador da BEP por conta de possível interação térmica no ambiente.

As temperaturas internas assim observadas foram comparadas as ocorrências verificadas na temperatura externa a edificação a partir de dados coletados na estação meteorológica existente na BEP, que no decurso dos 280 dias de monitoramento observou-se 5 períodos climáticos diferentes. Destes escolheu-se propositadamente o que retratou *situação típica de verão* para maiores considerações em função dessa ser a ocorrência climática que mais se submete a BEP.

Entretanto, cabe salientar que a falta de controle da possível ocorrência de ventilação nos ambientes internos bem como suas taxas de ocupação contribuíram na formação de alguns pontos controversos.

A análise térmica do conjunto que compõem a cobertura da BEP revelou frente a proposta normativa que sua câmara de ar é *muito ventilada* e que Transmitância Térmica e o Fator de Calor Solar tem valores dentro dos limites normativos aceitos, o que não acontece com o Atraso Térmico.

Na apresentação dos resultados desconsiderou-se em cada período os 2 primeiros dias admitindo-se que os ambientes ainda não estariam termicamente equilibrados a condição imposta.

5.2 RESULTADOS OBTIDOS

5.2.1 ESTRATÉGIA ISOLAMENTO DA LAJE DE COBERTURA

Observou-se que por conta do isolamento executado na laje de cobertura sua Transmitância Térmica resultou $0,54 \text{ W / (m}^2\cdot\text{K)}$ contra $1,78 \text{ W / (m}^2\cdot\text{K)}$ na do ambiente sem isolamento ou com padrão construtivo original que denominamos *Referência*.

Entretanto, esse resultado não foi suficiente para concretizar a expectativa de que a temperatura interna no ambiente com isolamento resultasse mais confortável em relação as verificadas no ambiente de comparação ou sem isolamento, principalmente no **período de temperaturas externas típicas de verão** admitido como mais importante no presente trabalho. Basta para isso observarmos que no instante em que a temperatura externa atingiu o valor máximo de $38,4^\circ\text{C}$ às 14:00 hs. do dia 20/10, verificou-se no ambiente com padrão construtivo original $36,2^\circ\text{C}$ e no com isolamento na laje $36,4^\circ\text{C}$, ou seja, $0,2^\circ\text{C}$ ainda mais alta. Essa situação somente se inverteu na ocorrência das temperaturas máximas onde às 15:00 hs. observou-se no ambiente isolado $36,9^\circ\text{C}$ e às 16:00 hs. no sem isolamento $37,2^\circ\text{C}$.

Ainda no mesmo período de monitoramento, no instante em que a temperatura externa alcançou seu menor valor ou $22,5^\circ\text{C}$ em 24/10, verificou-se apenas $0,3^\circ\text{C}$ de diferença entre os ambientes *Isolado* e o de *Referência*, para 4 horas depois observar-se que apesar do ambiente com isolamento resfriar mais rápido, as temperaturas mínimas internas permaneceram próximas, acusando respectivamente em $26,0^\circ\text{C}$ e $25,4^\circ\text{C}$.

Além das temperaturas máximas e mínimas internas muito próximas, observou-se também a partir da ocorrência da temperatura exterior máxima, semelhança não na amplitude diária, mas na diferença entre as temperaturas máximas e mínimas internas que com 1 hora de atraso térmico em relação as ocorrências externas, mantiveram-se nos 2 ambientes em torno de 10°C .

Podemos explicar esses resultados primeiramente pela falta de controle da efetiva taxa de ocupação dos ambientes, em função de sua influência na temperatura interna. Para isso basta analisarmos os valores de temperatura do ambiente utilizado pela família do zelador da BEP que se compõem de 2 adultos e 3 crianças. Neste ambiente, no dia 21/10 às 7:00 hs. verificou-se 29,2°C contra idênticos 27,5°C nos ambientes com e sem isolamento, nos levando admitir que o *Isolado* e *Referência* permaneceram com praticamente a mesma taxa de ocupação porém menor que o ocupado pela família do zelador.

Por outro lado, além da taxa de ocupação seria necessário se controlar também a interação dos ocupantes em buscar temperaturas internas mais confortáveis. Enfim, a ausência desses controles trouxeram incertezas na análise dos resultados obtidos.

A semelhança de performance do ambiente *Isolado* em relação ao *Referência* no período caracterizado como *situação típica de verão* é também referendada estatisticamente pelo *Coefficiente de Correlação (r)* igual a 0,98 que indica forte correlação entre os dados e que aproximadamente 98% dos valores das temperaturas são explicados pela reta de regressão resultante. O *Coefficiente de Determinação (R²)* verificado foi 0,96.

Além dos resultados semelhantes entre as temperaturas máximas e mínimas observou-se também quando os ***ambientes permaneceram sem ocupação e sem ventilação*** que o ambiente *Isolado* esfriou mais rápido que o tomado como *Referência* evidenciando desta forma neste último atraso térmico. O primeiro atraso térmico verificou-se no dia 03/02 quando as temperaturas internas eram iguais em 33,2°C às 17:30 hs. para às 19:15 hs. marcarem 30,3°C no *Isolado* e 31,1°C no *Referência*. Neste, a temperatura somente atingiu os 30,3°C às 23:45 hs. exatamente 4:30 hs. após o *Isolado*, fato repetido no dia seguinte, onde às 19:30 hs. as temperaturas acusaram 30,7°C no *Isolado* e 31,5°C no *Referência* para

somente às 23:00 hs. igualarem-se em 30,7°C.

Outra amostra de resfriamento mais rápido do ambiente com isolamento ou do atraso térmico do ambiente *Referência* foi dado a partir das 18:00 hs. do dia 06/02 quando as temperaturas internas acusavam 34,4°C. Durante a noite que se seguiu, enquanto a temperatura no ambiente *Isolado* decresceu 4,9°C até atingir seu valor mínimo de 29,5°C às 5:45 hs., a temperatura no ambiente tomado como *Referência* acusou a mínima de 29,9°C somente às 7:15 hs.

O atraso térmico pode ainda ser observado nos dias 03, 07 e 08/02. No dia 03 somente às 23:30 hs. a temperatura no ambiente *Referência* indicou os 30,3°C que no *Isolado* ocorrera às 19:15 hs. No dia 07, quando os sensores marcaram 29,9°C no *Isolado* eram 4:40 hs. e no ambiente *Referência* 7:15 hs. Já no terceiro dia, as temperaturas internas igualaram-se em 31,5°C com atraso térmico de 3:45 hs., ou às 0:45 hs. no *Isolado* e 4:30 hs. no *Referência*.

Observou-se também que as temperaturas internas máximas nos dois ambientes alcançaram nesse período de monitoramento sempre os mesmos valores, apesar da transferência de calor pela cobertura ser bastante menor no *Isolado* conforme apontaram as transmitâncias térmicas verificadas. Esse fato nos revelou que provavelmente o principal fluxo de troca de calor acontece pelo fechamento lateral exposto a incidência de radiação solar direta.

Entretanto, há que se considerar também que por conta da menor transmitância térmica, a laje isolada armazena quantidade de calor inferior a do ambiente *Referência*, implicando no período de decréscimo de temperatura, menor quantidade de calor a oferecer durante a troca térmica a se realizar. Como o intervalo de tempo para essa troca térmica é idêntico nos dois ambientes e a temperatura externa é inferior a interna, a menor quantidade de calor armazenado na laje pode ser também responsável pela menor temperatura mínima ambiental, fato que com frequência foi observado no ambiente *Isolado*.

Ainda nesse período climático observou-se através da estação meteorológica da BEP valores significativos na velocidade do ar. Na primeira média, das 6:00 às 16:00 hs. do dia 06/02 verificou-se a marca de 20,6 m/seg. e na segunda, das 22:00 hs. do dia 06 até às 6:00 do dia seguinte 16,0 m/seg. Somou-se a esse fato o decréscimo ocorrido na temperatura externa que no intervalo das 10:00 hs. do dia 06 até às 6:00 hs. do dia seguinte definiu amplitude térmica de 12,2°C. Certamente esse dois fatores influenciaram as temperaturas internas dos ambientes em questão, mas em especial no com a laje isolada, em função de sua menor quantidade de calor anteriormente armazenada.

A performance do ambiente *Isolado* em relação ao *Referência* nesse período climático determinou estatisticamente o *Coefficiente de Correlação (r)* igual a 0,97 que indica forte correlação entre os dados e que 97% dos valores das temperaturas são explicados pela reta de regressão resultante. O *Coefficiente de Determinação (R²)* verificado foi 0,95.

O resfriamento mais rápido tornou-se muito mais evidente quando os ambientes permaneceram ***sem ocupação e com ventilação natural permanente***, principalmente nas ocorrências das temperaturas externas mínimas durante os dias 11, 12, 14 e 15/02.

Observou-se no período das 12:00 hs. do dia 11/02 até às 6:00 hs. do dia 13/02 que a temperatura externa foi inferior as internas e que sob ação da ventilação natural o ambiente *Isolado* ofereceu menor resistência ao rebaixamento de sua temperatura interna que o *Referência*. Essa ocorrência deve ter sido ocasionada como já firmamos pela menor temperatura acumulada na sua laje de cobertura em função do isolamento proposto. Verificou-se ainda que essa menor resistência implicou em maior amplitude nos valores das temperaturas obtidas no ambiente *Isolado* em relação ao *Referência* ou 3,6°C contra 2,4°C a partir das 5:45 hs. do dia 11/02 e 5,6°C contra 2,8°C a partir das 4:45 hs. do dia 15/02.

Por outro lado, além das temperaturas máximas do ambiente *Isolado* nos dias 11, 12 e 14/02 acusarem valores superiores as observadas no ambiente *Referência*, verificou-se também que nas madrugadas dos dias 12 e 13 as temperaturas mínimas mantiveram-se iguais. As demais no decorrer do período sempre foram no ambiente *Isolado* mais que 1°C menores e realizadas de forma intermitente, ou alternando valores de demonstraram aquecimento e resfriamento. O esfriamento pode ter sido causado por convecção isto é, pela ação de corrente de ar na superfície da laje isolada que, por conta de sua menor Transmitância Térmica, acumulou menor quantidade de calor e conseqüentemente manteve-se mais fria. Já a intermitência deve-se a não regularidade das correntes de ar que eventualmente atuaram nos ambientes.

Infelizmente às 6:00hs. do dia 07/02 a estação meterológica deixou de armazenar dados impossibilitando verificarmos valores de velocidade do ar e temperatura externa que viabilizassem maiores considerações.

Aqui obtivemos *Coefficiente de Correlação (r)* igual a 0,94 que indica forte correlação entre os dados e que aproximadamente 94% dos valores das temperaturas são explicados pela reta de regressão resultante e *Coefficiente de Determinação (R²)* igual a 0,88.

Nas ***entradas de frente fria*** as temperaturas mínimas no ambiente com isolamento na laje igualaram-se ou foram na maioria das vezes menores que as do *Referência*. Entretanto, depois que sua temperatura mínima atingiu seu menor valor, as máximas alcançadas sempre foram inferiores as temperaturas máximas do ambiente de comparação.

Apesar da contrariada a expectativa de que por conta do isolamento da laje as temperaturas mínimas fossem maiores que as temperaturas mínimas observadas no *Referência*, podemos admitir como irrelevante essas ocorrências em função de que esta situação climática é além de esporádica de curta duração.

Novamente os *Coefficiente de Correlação (r)* igual a 0,99 e

Determinação (R^2) 0,99 demonstraram a forte correlação existente entre as temperaturas monitoradas.

5.2.2 ESTRATÉGIA SOMBREAMENTO DA JANELA QUE RECEBE INCIDÊNCIA DE RADIAÇÃO SOLAR DIRETA

Apesar da localização geográfica e latitude da BEP implicar ser desnecessário a utilização de toldo para impedir a incidência de radiação solar direta em seu ambiente interno no **período de temperaturas externas típicas de verão**, buscou-se com sua instalação verificar possível influência na temperatura interna independente da estação climática vivenciada. Para isso, o toldo foi dimensionado permitindo que apenas de maio a agosto ocorresse incidência total de radiação solar direta no ambiente interno. No restante do período monitorado somente o foi permitido até às 9:30 hs e após às 15:30 hs.

Assim sendo, no **período de temperaturas externas típicas de verão** mais precisamente entre os dias 18 a 26/10 observou-se que para a temperatura máxima externa de 38,4°C verificada às 14:00 hs. do dia 20/10, o ambiente tomado como *Referência* acusou 36,9°C e o ambiente com toldo 36,8°C. Já 2 horas depois quando a temperatura do *Sombreado* atingiu seu valor máximo de 36,9°C observou-se que a no ambiente *Referência* foi apenas 0,4°C menor. Na seqüência, às 6:00 hs. do dia 21, quando a temperatura externa acusou 23,9°C no *Sombreado* obtivemos 28,3°C e no *Referência* 27,8°C. Após 1 hora as temperaturas internas acusaram respectivamente seus valores mínimos de 27,9°C e 27,5°C repetindo-se a diferença de apenas 0,4°C entre elas.

A mesma diferença entre as temperaturas internas observou-se quando a temperatura externa atingiu seu menor valor ou 22,5°C às 0:00 hora do dia 24/10. Nesse instante, as temperaturas ainda em declínio nos ambientes *Sombreado* e *Referência* acusaram respectivamente 26,6°C e 26,7°C. Entretanto, após 3 horas ao atingirem seus valores mínimos ou

27,9°C no ambiente com toldo e 27,5°C no ambiente de comparação observou-se novamente apenas 0,4°C de diferença entre elas.

Esses resultados além de confirmarem que toldo não influenciou nos resultados das temperaturas internas sugerem, tal como o *Isolamento* da laje de cobertura, que a solução arquitetônica adotada na BEP é adequada ao **período de temperaturas externas típicas de verão**. Entretanto cabe salientar que, a simples instalação do toldo induziu os hóspedes admitirem que a temperatura interna estaria mais confortável, desencadeando maior procura para ocupação.

A forte correlação entre os valores das temperaturas observadas nos dois ambientes foi referendada pelo *Coefficiente de Correlação* igual a 0,98.

No período em que os ambientes permaneceram **sem ocupação e sem ventilação** o comportamento do ambiente *Sombreado* permaneceu bastante semelhante ao ambiente tomado como *Referência*. Observou-se que as temperaturas máximas no ambiente *Sombreado* permaneceram com atraso térmico próximo de 1 hora e apenas 0,4°C inferiores as do *Referência*. Já as mínimas igualaram-se com atraso térmico próximo de 2 hs. A ausência de ventilação e de radiação solar direta na fachada externa em função do período monitorado foram responsáveis pelos resultados verificados.

Além disso podemos ainda admitir que, durante os períodos em a velocidade do ar externo alcançou médias de 20,6 m/seg. das 10:00 às 16:00 hs. do dia 06/02 e 16,0 m/seg. das 22:00 hs. do dia 06 às 6:00 hs. do dia 07, o toldo também dificultou a troca de calor entre os meios externo e interno por convecção, haja visto que nesse intervalo a temperatura externa decresceu 12,2°C.

Sob essa ação climática obtivemos *Coefficiente de Correlação (r)* igual a 0,98 que indica forte correlação entre os dados e que

aproximadamente 98% dos valores das temperaturas são explicados pela reta de regressão resultante e *Coeficiente de Determinação* (R^2) 0,97.

Já no período ***sem ocupação e com ventilação natural permanente***, observou-se que no ambiente com janela protegida com toldo a temperatura quando em declínio, alternava valores de decréscimo com acréscimo, chegando no dia 14/02 às 6:15 hs. acusar 27,1°C contra 28,3°C no ambiente tomado como *Referência*. Mais significativa ainda foi a diferença apresentada no dia 15/02 onde às 4:15 hs. as temperaturas internas foram respectivamente 27,5°C e 29,1°C.

Mais uma vez o efetivo controle da ventilação natural poderia ajudar na elucidação dessas ocorrências, independentemente das possíveis dificuldades impostas pelo toldo, isso por que nesse período climático os ambientes permaneceram abertos e provavelmente sob ação de corrente de ar com velocidades variáveis como as anotadas pela estação meteorológica até às 6:00 hs. do dia 07, quando esta deixou de armazenar dados.

Novamente repetiu-se a forte correlação entre as temperaturas verificadas pois o *Coeficiente de Correlação* (r) resultou 0,96 e *Coeficiente de Determinação* (R^2) determinado é 0,92.

Nas ***entradas de frentes frias*** apesar dos valores nominais das temperaturas mínimas serem iguais, a temperatura do ambiente *Sombreado* quando em decréscimo o fez com atraso térmico de até 9:00 hs. como o observado das 18:30 hs. às 23:45 hs. do dia 16. Esse atraso térmico que implicou a cada instante na ocorrência de temperaturas mais confortáveis, em média 1,5°C superiores, pode ser explicado pela dificuldade imposta pelo toldo a troca de calor por convecção na fachada externa.

Neste período climático repetiu-se a forte correlação entre as temperaturas. Resultaram: *Coeficiente de Correlação* (r) igual a 0,99 e *Coeficiente de Determinação* (R^2) determinado é 0,98.

5.2.3 INTERAÇÃO DA *FAMÍLIA* EM BUSCA DE CONFORTO TÉRMICO

Algumas situações distintas ocorreram no **período de temperaturas externas típicas de verão**. Nos primeiros dias quando a temperatura externa manteve-se em elevação até às 14:00 hs. do dia 20/10 alcançar 38,4°C , observou-se que as diferenças entre as temperaturas internas aumentaram chegando a temperatura no ambiente ocupado pela *Família* ser 1,2°C menor e por conta disso mais confortável que a do ambiente tomado como *Referência*. Entretanto, na seqüência, ou no período de 20 a 22/10 em que a temperatura externa se manteve praticamente inalterada, as diferenças entre as temperaturas internas que tornavam o ambiente ocupado pela *Família* mais confortável foram diminuindo até acusarem apenas 0,3°C de diferença, aproximando-se do equilíbrio térmico esperado.

Observou-se também que a interação da família deve ter ocorrido somente quando a temperatura externa estava aumentando.

Entretanto, há que se considerar que mesmo sem o efetivo controle da taxa de ocupação do ambiente tomado como *Referência*, a do ambiente *Família* foi bastante diferente, pois naquele além de ser somente noturna, é sempre menor. Deve-se somar a essas incertezas a possibilidade de que os ocupantes do ambiente *Referência* possam ter deixado permanentemente abertas as janelas para que em seu(s) retorno(s) o ambiente estivesse, dentro de seu(s) entendimento(s) termicamente mais confortável.

Estatisticamente o *Coefficiente de Correlação* resultou 0,96 indicando *média correlação* entre as temperaturas obtidas nos dois ambientes.

Quando os ambientes permaneceram **sem ocupação e sem ventilação**, predominou a ocorrência de temperaturas mínimas mais confortáveis no ocupado pela família do zelador, chegando a ser 0,8°C menor que as verificadas no de comparação. Entretanto, o mesmo não aconteceu com as temperaturas máximas que dos 5 dias monitorados, 3 foram iguais e 2 aproximadamente 0,5°C superior. Outro fato observado é

que o ambiente Família sempre esfriou algo em torno de 2 hs. mais rápido que o Referência. Considerando-se que o ambiente Referência esteve concretamente sem ocupação nesse período e que como ficou demonstrado, essas ocorrências sempre foram no período noturno, encontramos justificativa apenas na interação familiar em busca de temperaturas mais confortáveis, viabilizando para isso a ventilação natural.

Mais uma vez verificou-se forte correlação entre as temperaturas monitoras nos dois ambientes. O *Coefficiente de Correlação* (r) restou igual a 0,97 e o *Coefficiente de Determinação* (R^2) 0,95.

Somente das 15:30 hs. do dia 13 até às 14:00 hs. do dia 14/02, no período com os **ambientes sem ocupação e com ventilação** foi possível verificar-se comportamento diferente do ambiente ocupado pela família frente o de comparação. Nesse período observou-se que os ambientes partiram de 31,9°C às 17:30 hs. do dia 13 para chegarem às 6:00 hs. do dia seguinte as temperaturas de 28,3°C no ambiente *Referência* e 27,5°C no *Família*. Há que se considerar que a temperatura de 28,3°C no ambiente *Referência* aconteceu com 6:15 hs. de atraso térmico.

Esses resultados demonstraram novamente a interação da *Família* buscando temperaturas mais confortáveis, contrariamente ao que se observou entre os dias 10 e 13/02 onde com a temperatura em declínio, os ambientes tiveram os mesmos comportamentos.

Calculados os *Coefficientes de Correlação e Determinação* resultaram respectivamente os valores 0,97 que indica forte correlação entre os dados e que 97% dos valores das temperaturas são explicados pela reta de regressão resultante e 0,94.

Já sob ação da **frente fria** que aconteceu entre os dias 14 e 21/06, observou-se que as temperaturas no ambiente *Família* apresentaram em relação a temperatura externa declínio menos acentuado, demonstrando que

provavelmente o ambiente foi mantido fechado, o que possibilitou manter por mais tempo a carga térmica acumulada.

Assim o *Coefficiente de Correlação (r)* resultou 0,99 e o *Coefficiente de Determinação (R²)* 0,99.

5.2.4 ESTRATÉGIA AGRÉSCIMO DA INÉRCIA TÉRMICA DAS PAREDES DO AMBIENTE COM O EMPILHAMENTO DE TIJOLO MACIÇO EM ½ VEZ

Além dos períodos tipicamente estabelecidos e abaixo relacionados, deve-se ainda considerar a fraca correlação ($r = 0,63$) obtida entre seus dados de temperatura interna e os de temperatura externa até a data de 06/02/01 quando a estação climatológica deixou de armazenar dados.

Sob **temperaturas externas típicas de verão** a estratégia *Tijolo* foi a que apresentou o melhor desempenho, acusando temperatura até 2,9°C inferior a máxima e 0,3°C maior que as temperatura mínima obtida no ambiente do *Referência*. Entretanto, após as 7:00 hs. do dia 25, tanto suas temperaturas máximas como as mínimas tornaram-se maiores e menores respectivamente que as do comparação, o que poderia ser resolvido com ventilação natural.

Esse resultado é demonstrado pelo *Coefficiente de Correlação* igual a 0,97 que caracteriza forte correlação entre as mesmas.

No início do período **sem ocupação e sem ventilação** as temperaturas mínimas do ambiente *Tijolo* sempre foram maiores e as máximas sempre superiores as do *Referência* o que também poderia ser resolvido com ventilação. Depois de algumas horas elas se equiparam e finalmente as dessa estratégia resultam mais confortáveis. Entretanto, o *Coefficiente de Correlação (r)* resultou igual a 0,97 indicando forte correlação

entre os dados e que 97% dos valores das temperaturas são explicados pela reta de regressão resultante. O *Coefficiente de Determinação* (R^2) verificado foi 0,94.

No período climático em que os ambientes permaneceram **sem ocupação porém com ventilação natural permanente** visualizou-se claramente que as temperaturas máximas do ambiente *Tijolo* são menores e as mínimas consideravelmente maiores ou mais confortáveis que as do ambiente *Referência*, provando que o correto gerenciamento da ventilação poderá trazer bons resultados.

Foram calculados os valores para *Coefficiente de Correlação* igual a 0,95 e *Determinação* 0,91.

Finalmente na ocorrência de **frente fria** observou-se que no primeiro momento a resposta do ambiente *Tijolo* foi satisfatória. Entretanto, na seqüência suas temperaturas máximas e mínimas estiveram menores que as do *Referência*, causando desconforto por frio o que pelo fato de ser esporádico e de curta duração pode ser desconsiderado.

Os *Coefficientes de Correlação* e *Determinação* calculados foram respectivamente 0,99 e 0,99, indicando forte correlação entre as temperaturas monitoradas.

5.3 PROPOSTA DE ADEQUAÇÃO BIOCLIMÁTICA DA BEP VISANDO TEMPERATURAS INTERNAS MAIS CONFORTÁVEIS

A idéia inicial que o projeto arquitetônico executado na BEP não proporcionava temperaturas confortáveis aos seus ocupantes restou parcialmente prejudicada. Os resultados obtidos demonstraram que a edificação está razoavelmente bem resolvida, devendo apenas em função de determinadas ocorrências climáticas acrescentarem-se modificações físicas substanciais em seu envelope construído como também através de seus ocupantes viabilizar em períodos e horários pré-definidos, ventilação natural em seus ambientes internos.

Dentre as situações monitoradas, a interação da **Família** e *estratégia* acréscimo de inércia nas paredes - **Tijolo** - foram as que apresentaram temperaturas internas mais confortáveis. Se, no período *típico de verão* - 18 a 26/10 - foi a interação da **Família** que apresentou os melhores resultados em relação as temperaturas externas, no outro, mais longo, de 22/09/00 até 06/02/01 foi o acréscimo de inércia nas paredes - **Tijolo** que se sobressaiu. Basta observarmos os resultados estatísticos traduzidos pelos menores *Coefficientes de Correlação* encontrados, 0,72 e 0,63 respectivamente.

Entretanto, cabe salientar que, em ambos os casos, se a ventilação natural tivesse sido gerenciada de forma correta, certamente os resultados alcançados seriam ainda melhores. Essa afirmação provem do decréscimo de até 1,3°C na temperatura interna no ambiente **Família** tornando-o evidentemente mais confortável, o que pode por hipótese ser atribuída a sua ocorrência.

Assim sendo, as *estratégias* com melhores resultados em cada período climático foram:

- temperaturas externas típicas de verão – **Família** e **Tijolo**;
- sem ocupação e sem ventilação – **Família**;
- sem ocupação e com ventilação natural – **Família** e **Tijolo**;
- frente fria – **Família** e **Tijolo**.

Desta forma, pelos resultados obtidos apresenta-se como proposta a ser aplicada na BEP o **acréscimo da inércia térmica das paredes que compõem o envelope construído** com a adoção de **ventilação natural** em períodos e horários pré-definidos. Entretanto, a primeira alternativa além de implicar importante impacto físico com a diminuição da área útil de alguns ambientes é de alto custo financeiro e de difícil aplicação na BEP por conta dentre outros fatores sua localização. Resta a segunda que é de menor custo de implantação e mesmo se for aplicada de forma isolada certamente trará melhoria no conforto térmico dos ambientes. Trata-se de modificar a tipologia das “bandeiras basculantes” das janelas existentes para tipo “máximo ar” que permitirá abertura total em relação a sua altura. Necessariamente esses espaços deverão permanecerem telados, porém sem as cortinas hoje existentes. Estas que sejam fixadas no nível superior das painéis de correr que compõem a referida esquadria.

5.4 PROPOSTAS BIOCLIMÁTICAS PARA FUTUROS PROJETOS DE EDIFICAÇÕES NA REGIÃO DO PANTANAL VISANDO TEMPERATURAS INTERNAS MAIS CONFORTÁVEIS

A partir dos resultados obtidos no presente trabalho verificou-se que a completa adequação da BEP visando proporcionar temperaturas internas mais confortáveis não é de fácil realização. Isso vem confirmar a importância do arquiteto promover forte intercâmbio com profissionais de outras áreas técnicas durante a realização de um projeto arquitetônico, até por que seria impossível exigir-lhe completo conhecimento de todas as variáveis que influenciantes.

Assim sendo, a partir dos resultados verificados neste trabalho podemos recomendar como soluções *bioclimáticas* na elaboração de novos projetos no Pantanal que:

- As fachadas maiores sejam perfeitamente voltadas ao norte geográfico e sombreadas do sol de verão;
- As alvenarias sejam com espessura de 25 cm e executadas em tijolos maciços;
- As aberturas sejam as maiores possíveis, sombreadas e localizadas de forma a permitir fácil ventilação cruzada bem como bom fechamento no inverno;
- Comparada a BEP, que as passarelas cobertas estejam localizadas na fachada norte visando aumentar a área sombreada, e
- A cobertura seja muito bem ventilada e/ou isolada.

5.5 PROPOSTAS PARA FUTUROS DE PROJETOS DE PESQUISAS

5.5.1 INFLUÊNCIA DO ENVELOPE CONSTRUÍDO NAS TEMPERATURAS DOS AMBIENTES INTERNOS DA BEP FRENTE ADOÇÃO DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS VISANDO PROPORCIONAR CONFORTO TÉRMICO

A utilização do pilotis como padrão construtivo não é privilégio da BEP. Tal solução está vinculada à necessidade de se edificar próximo aos cursos d'água, até por que estes ainda são em determinadas épocas e regiões do Pantanal o único meio de transporte. Sedes de propriedades rurais, hotéis, pousadas e habitações de modo geral são assim construídas.

Por outro lado, as edificações assim construídas no Pantanal devem proporcionar ao envelope construído características próprias, ainda desconhecidas, que tornam sua avaliação trabalho singular na área de desempenho térmico de edificações.

5.5.2 DETERMINAÇÃO DO LIMITE SUPERIOR DA "TBS" QUE DEFINE ZONA BIOCLIMÁTICA DE CONFORTO TÉRMICO NO PANTANAL DE MATO GROSSO DO SUL

A análise dos resultados alcançados no presente trabalho nos mostrou que o limite superior da faixa de conforto térmico proposto por GIVONI (1998) de 29°C para países em desenvolvimento merece estudo específico na BEP. Conforme pode ser observado na Tabela 13 abaixo que refere-se ao período *típico de verão*, apenas no dia 27/10 a temperatura máxima na BEP não superou o nível proposto pelo pesquisador, havendo ocorrência de temperatura externa de 38,4° e interna de 37,4°C.

Tabela 13 – Temperaturas máximas alcançadas na BEP no período típico de verão.

Valores em °C						
Data	Externa	Referência	Isolado	Sombreado	Família	Tijolo
10/18/00	36,8	33,9	34,4	34,8	33,9	33,9
10/19/00	37,9	36,9	36,1	36,1	35,7	35,2
10/20/00	38,4	37,4	36,9	37,4	36,1	35,7
10/21/00	37,9	36,6	36,1	36,6	35,7	35,2
10/22/00	37,7	36,6	36,6	36,6	36,1	35,2
10/23/00	31,8	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4
10/24/00	28,0	27,5	28,3	27,9	27,9	28,3
10/25/00	30,8	29,1	29,8	29,8	29,8	29,8
10/26/00	34,6	32,3	33,1	32,7	33,1	32,7

A inexistência de trabalhos que busquem determinar esse limite de temperatura no Pantanal, considerando-se o efeito da aclimação, expectativas e efetivas sensações térmicas experimentadas na busca de conforto térmico justifica a pretensão.

5.5.3 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÃO DOTADA DE RESFRIAMENTO ARTIFICIAL NA REGIÃO DO PANTANAL DE MATO GROSSO DO SUL.

As cartas bioclimáticas da BEP relativas aos anos de 1995 à 1998 que constam no presente trabalho indicam quantidades significativas e crescentes de dias por ano em que o sistema de resfriamento artificial é aconselhável para se combater o desconforto térmico por calor, o que vem de encontro com boa parte das edificações existentes no Pantanal de Mato Grosso do Sul. Considerando que não existem trabalhos que relatem o desempenho térmico dessas edificações, propõem-se avaliar uma edificação dotada de resfriamento artificial na região do Pantanal, sob o ponto de vista bioclimático.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFIA

- ACIOLI, J. de L. 1994 *Física Básica para Arquitetura*. Brasília. Editora UnB., 330 pp.
- ANDRADE, S. F. de; *Estudo de Estratégias Bioclimáticas no clima de Florianópolis*. Florianópolis, 1996. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, SC.
- ASSAN, H. 1998 Effects of wall's insulation thickness and position on time lag and decrement factor. *Energy and Buildings*, vol. 28, pp. 299 - 305.
- BOWER, J. 1995. *Understanding Ventilation: How to design, select, and install residential ventilation systems*. The Healthy House Institute. 428pp.
- CHAIN, C.; DUMORTIER, D.; FONTOYNONT, M. 2001 Consideration of daylight's colour. *Energy and Buildings*, vol. 33, pp. 193 - 198.
- COSTA, E. C. da, 1974 *Física Aplicada à Construção – Conforto Térmico* São Paulo. Editora Edgard Blücher Ltda. 259 pp.
- CUCUMO, M.; KALIAKATSOS, V.; MARINELLI, V. 1995 Estimating effective solar absorptance in rooms. *Energy and Buildings*, vol.23, pp. 117-120.
- FITCH, J. M. 1971 *The environmental forces that shape it*. New York. Schocken Books.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. 1999 *Manual de Conforto Térmico*. 3ª. ed. São Paulo. Studio Nobel, 243pp.
- GEROS, V.; SANTAMOURIS, M.; TSANGRASOULIS, A.; GUARRACINO, G. 1999 Experiemental evaluation of night ventilation phenomena. *Energy and Buildings*, vol.29, pp. 141-154.
- GIVONI, B. 1981 *Man, Climate and Architecture*. London. Applied Science Publishers Ltd.. 483pp.
- GIVONI, B. 1998 *Climate Considerations Buildings an Urban Design*. New York. John Wiley & Sons, Inc. 464pp.

- GIVONI, B. 1994 *Passive and Low Energy Cooling of Buildings*. New York. John Wiley & Sons, Inc. 263pp.
- GOULART, S. V. G.; *Dados Climáticos para Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações em Florianópolis*. Florianópolis, 1993. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, SC.
- GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. 1998 *Dados Climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras*. Florianópolis, PROCEL, 345 pp.
- GUYTON, A. C. 1992 *Tratado de Fisiologia Médica*. Guanabara Koogan, 8ª. Ed., pp. 699-709.
- HONDA, N. 1998 *Educação no Pantanal*. Campo Grande/MS, Ed. UFMS, 124 pp.
- IZARD, J.; GUYOT, A. 1983 *Tecnología y Arquitectura*. México. Ediciones G.Gili S. A., 191pp.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. 1997 *Eficiência Energética na Arquitetura*. São Paulo, PW Editores. 190 pp.
- LORENTE, S.; PETIT, M.; JAVELAS, R. 1998 The effects of temperature conditions on the thermal resistance of walls made with different shapes vertical hollow bricks. *Energy and Buildings*, vol.28, pp. 237-240.
- MASCARÓ, L. R. 1991 *Energia na Edificação*. São Paulo, Projeto Editores Associados Ltda., 213 pp.
- MALLICK, F. H. 1996 Thermal comfort and building design in the tropical climates. *Energy and Buildings*, vol.23, pp. 161-167.
- MEDINA, M. A. 2000 On the performance of radiant barriers in combination with different attic insulation levels. *Energy and Buildings*, vol.33, pp. 31-40.
- OLGYAY, V. 1998 *Arquitectura y Clima*. Barcelona. Editorial Gustavo Gili S.A., 203 pp.
- ORAL, G. K. 2000 Appropriate window type concerning energy consumption for heating. *Energy and Buildings*, vol. 32, pp. 95-100.
- ORNSTEIN, S. 1992 *Avaliação Pós-Ocupação do Ambiente Construído*. São Paulo, Livros Studio Nobel Ltda., 223 pp.
- PAPST, A. L. *Uso da Inércia Térmica no clima subtropical. Estudo de caso em Florianópolis - SC*. Florianópolis, 1999. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, SC.

- RAJA, I. A.; NICOL, J. F.; McCARTNEY, K. J.; HUMPHREYS, M. A. 2001 Thermal comfort: use of controls in naturally ventilated buildings. *Energy and Buildings*, vol. 33, pp. 235-244.
- ROULET, C. 2001 Indoor environment quality in buildings and its impact on outdoor environment. *Energy and Buildings*, vol. 33, pp. 183-191.
- ROMERO, M. A. B. 1988 *Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano*. São Paulo, Projeto Editores Associados Ltda., 123 pp.
- TAYLOR, P. B., MATHEWS, E. H., KLEINGELD, M., TALJAARD, G. W. 2000 The effect of ceiling insulation on indoor comfort. *Energy and Buildings*, vol. 35, pp. 339-346.
- U. S. Green Building Council. 1996 **Sustainable Building Technical Manual**. USA, Public Technology Inc., p. IV.3
- XAVIER, A. A. de P.; *Condições de Conforto Térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis*. Florianópolis, 1999. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, SC.