Universidade Federal
de Campina Grande

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM CONSTRUÇÕES
RURAIS E AMBIÊNCIA

MYRLA LOPES TORRES

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO HIGROTÉRMICO EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL EM CAMPINA GRANDE - PB

CAMPINA GRANDE
MAIO, 2007

MYRLA LOPES TORRES

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO HIGROTÉRMICO EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL EM CAMPINA GRANDE - PB

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande-PB, em cumprimento as exigências para obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Construções Rurais e Ambiência.

Orientadores:
Prof. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento
Prof. Dr. Renilson Targino Dantas

CAMPINA GRANDE
MAIO, 2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

T693a Torres, Myrla Lopes

Avaliação do desempenho higrotérmico em habitações de interesse social em Campina Grande, PB / Myrla Lopes Torres. — Campina Grande, 2007.

75f. : il. color.

Referências

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientadores: José Wallace Barbosa do Nascimento e Renilson Targino Dantas.

1. Habitação Popular-Temperatura (Ambiência) 2. Umidade relativa do Ar-Habitação Popular 3. Material de Construção-Habitação Popular I. Título.

CDU 728.31:551.52

DIGITALIZAÇÃO:

SISTEMOTECA - UFCG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DA MESTRANDA

MYRLA LOPES TORRES

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO HIGROTÉRMICO EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL EM CAMPINA GRANDE, PB

BANCA EXAMINADORA	PARECER
Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento - Orientador	APROVADO
Dr. Renilson Targino Dantas - Orientador	Aprovado
Dr. Raimundo Nonato C. Duarte – Examinador	Aprovado
Dr. Antônio Farias Leal – Examinador	APROVADO

MAIO - 2007

Av. Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó
58109-970 – CAMPINA GRANDE - PB
Fone: (83) 3310. 1055. Fax: (83) 3310.1185
http://www.deag..ufcg.edu.br/copeag

Dedico este trabalho a
Cláudio pelo incentivo e
compreensão

AGRADECIMENTOS

Aos professores Renilson Targino Dantas e José Wallace Barbosa do Nascimento por suas orientações e apoio nesta pesquisa.

À Estação Meteorológica de Campina Grande - 3° Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia – 3° DISME – INMET – pelo auxílio na coleta de dados em condições externas.

Aos Sr. e Sra. Méssias e Vilma Matias e Sr. e Sra. Jocilene e Irenaldo da Silva por autorizarem a realização das leituras no interior de suas residências.

À Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica pelo auxílio na utilização do microdatalloger.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande.

À coordenadora da Pós-graduação em Engenharia Agrícola – COPEAg- Dra. Josevanda Palmeira Gomes.

Aos professores Antônio Farias e Dermeval Furtado da área de Construções Rurais e Ambiência da COPEAG pelas aulas ministradas durante o mestrado.

À secretária da COPEAG, Rivanilda Pereira Diniz.

Aos professores, funcionários e colegas da Pós-graduação em Engenharia Agrícola.

Aos professores e amigos da Unidade Acadêmica de Desenho Industrial - UFCG.

Aos meus pais, Erica e Torres, pelo apoio e compreensão.

Aos meus amigos e irmãos Henrique, Vyrna, Lucicléia e Luiza por estarem sempre ao meu lado.

Aos meus amigos Annamaria, Claristela. Herlúcio, Fábio e Cícero Henrique pelo companheirismo durante o curso.

Ao meu amigo e amado Cláudio.

RESUMO

As habitações unifamiliares de interesse social da Companhia de Habitação Popular do Estado da Paraíba são, normalmente, construídas sem que seja verificado o microclima do local, materiais adequados e sem considerar os costumes dos habitantes, causando desconforto térmico, acústico e lumínico. O problema detectado em habitações de interesse social em Campina Grande está relacionado, principalmente, com o desconforto térmico. O objetivo deste trabalho foi, portanto, avaliar o desempenho higrotérmico no ambiente construído dessas habitações. Para realizá-lo foram selecionadas duas habitações a partir da verificação da análise das unidades habitacionais e dos materiais de construção. As casas possuem *layout* interno e dimensões semelhantes, com áreas totais de cerca de 35m², orientação da fachada principal para o sudeste, com número de habitantes igual a dois. Para a obtenção dos dados, foram realizadas leituras de temperatura e umidade relativa do ar, utilizando o microdatalogger MDL model 202. A coleta de dados foi realizada simultaneamente nos ambientes internos e externos tanto no período de chuvas, como no de estiagem. A análise dos dados demonstrou que os blocos de concreto possuem baixa resistência à passagem de calor e umidade, promovendo altas amplitudes térmicas no ambiente. Demonstrou, ainda, que nesta habitação a incidência da radiação solar direta promove rapidamente o aumento da temperatura interna. A habitação com paredes de tijolos cerâmicos apresenta temperaturas mais estáveis por amortecer a passagem de calor, através de sua inércia térmica. Com relação à sensação de conforto, segundo os parâmetros estabelecidos pela NBR 6401, a habitação com paredes de tijolos cerâmicos mantém a temperatura mais estável e uma quantidade maior de horas de conforto. Conclui-se, ainda que os altos valores de temperaturas registrados no interior das habitações são, também, devido ao acúmulo de calor proporcionado pelo telhado, pela inexistência do forro, pelo tamanho reduzido do pé-direito, pelos beirais curtos e pelo entorno do local.

Palavras-chave: temperatura e umidade relativa do ar; materiais de construção; ambiência.

ABSTRACT

The one-family habitations of social interest of the Paraíba State Popular Habitation Company are generally constructed disconsidering the microclimate of the place, the proper materials, and the customs of the habitants, causing thermal and acoustic discomfort and poor illumination. The problem detected in habitations of social interest in Campina Grande is related mainly with thermal discomfort. The purpose of this work is, thus, to evaluate the external and internal ambient conditions of these habitations. For the accomplishment of this study, two habitations were selected from the verification of the typology and the materials of construction. The houses have similar internal layout and dimensions: a total area of about 35m², main façades oriented to Southeast, and they are both inhabited by two people. For the collecting of the data, air humidity and temperature readings have been done using Mircodatalogger MDL model 202. The collections were made simultaneously in internal and external environments during rain and drought period. The analysis of the information demonstrated that concrete blocks have low resistance to the passage of external heat and humidity, causing temperature to rise inside the building. Direct solar radiation in such habitation modifies the internal temperature quickly. The tests in the ceramic bricks habitation demonstrated that these bricks have steadier temperatures by cushioning heat passage. With regard to comfort sensation established by NBR 6401, the brick wall habitation keeps temperature steadier and with more hours of comfort. Finally, it is concluded that high temperatures and low relative humidity of the air in the interior of the habitations are also due to accumulation of heat caused by the roof, to the absence of lining, to the reduced height of the house, to the short eaves and to the vicinities of the place.

Key-words: temperature and humidity; proper materials; ambient conditions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pressão e Depressão do ar 19
Figura 2: Trocas de calor entre o homem e seu entorno 25
Figura 3: Carta bioclimática 26
Figura 4: Carta bioclimática adotada para o Brasil 27
Figura 5: Zona de Conforto 28
Figura 6: Planta de ventilação cruzada 33
Figura 7: Ventilação pela cobertura 33
Figura 8: Ventilação cruzada por elevação 33
Figura 9: Resfriamento evaporativo direto com microaspersão de ar 34
Figura 10: Resfriamento indireto através de cobertura 34
Figura 11 - Zoneamento bioclimático brasileiro 35
Figura 12 – Zona 8 35
Figura 13: Blocos de concreto vazado 36
Figura 14: Tijolos cerâmicos 36
Figura 15: Fachada Principal da Casa de alvenaria de blocos de concretos 38
Figura 16: Planta baixa da Casa de alvenaria de blocos de concretos 38
Figura 17: Fachada principal da casa de alvenaria de tijolos cerâmicos 39
Figura 18: Planta baixa da casa de alvenaria de tijolos cerâmicos 39
Figura 19: Planta baixa da sala. Local de instalação em vermelho 41
Figura 20: Instalação do Microdatalogger na habitação 41
Figura 21: Planta baixa da sala. Local de instalação em vermelho 41
Figura 22: Instalação do Microdatalogger na casa de tijolos cerâmicos 41
Figura 23: Estação Meteorológica de Campina Grande-PB 42
Figura 24: Médias das temperaturas diárias 44
Figura 25: Média Horária de Temperatura 45
Figura 26: Radiação incidente nas habitações 46
Figura 27: Temperatura no dia 01 de junho de 2006 47
Figura 28: Ventilação no interior da habitação de blocos de concreto 48
Figura 29: Ventilação no interior da habitação de tijolos cerâmicos 48
Figura 30: Temperatura nos horários de leituras do dia 11 de junho de 2006 49

Figura 31: Temperatura nos horários de leituras no dia 12 de julho de 2006 50
Figura 32: Média Diária da Umidade Relativa do ar 51
Figura 33: Média Horária da Umidade Relativa do ar 52
Figura 34: Umidade relativa do ar no dia típico 01 de junho de 2006 53
Figura 35: Umidade relativa do ar no dia típico 11 de junho de 2006 54
Figura 36: Umidade relativa do ar no dia típico 12 de julho de 2006 55
Figura 37: Médias das temperaturas diárias 56
Figura 38: Média Horária da Temperatura 57
Figura 39: Entorno da habitação de blocos de concreto 58
Figura 40: Vegetação no entorno da habitação de tijolos cerâmicos 58
Figura 41: Temperaturas no dia 9 de dezembro de 2006 59
Figura 42: Temperaturas no dia 19 de dezembro de 2006 60
Figura 43: Média Horária da Temperatura no dia 04 de janeiro de 2007 61
Figura 44: Média Diária da Umidade Relativa 62
Figura 45: Média Horária da Umidade Relativa 63
Figura 46: Umidade Relativa do Ar no dia 9 de dezembro de 2006 64
Figura 47: Umidade Relativa do Ar no dia 19 de dezembro de 2006 64
Figura 48: Umidade Relativa do Ar no dia 04 de janeiro de 2007 65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Normais de temperatura de Campina Grande – PB 17
Tabela 2: Médias anuais de temperatura de João Pessoa – PB 17
Tabela 3: Relação entre atividade e metabolismo 24
Tabela 4: Resumo dos limites de temperaturas e umidades 28
Tabela 5: Absortância (α) e emissividade (ε) 30
Tabela 6 - Densidade de massa (ρ), Condutividade (λ) e Calor específico (c) 31
Tabela 07: Características das tipologias estudadas 37
Tabela 08: Análise Estatística da temperatura do ar no período chuvoso 67
Tabela 09: Análise Estatística da umidade relativa do ar no período chuvoso 68
Tabela 10: Análise Estatística da temperatura do ar no período de estiagem 69
Tabela 11: Análise Estatística da umidade relativa do ar no período de estiagem 69
Tabela 12: Análise Estatística da temperatura do ar nos dias característicos 70

UFCG/BIBLIOTECA

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
1.1 Objetivos 14
1.1.1 Geral 14
1.1.2 Específico 14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 15
2.1 Arquitetura bioclimática 15
2.2 Variáveis ambientais 15
2.2.1 Radiação solar 16
2.2.2 Temperatura do ar 17
2.2.3 Umidade relativa do ar 18
2.2.4 Velocidade do ar 19
2.3 Ergonomia e ergonomia do ambiente construído 19
2.4 Conforto ambiental 21
2.5 Condições para conforto térmico 23
2.6 Desempenho térmico da construção 30
2.7 Considerações sobre estratégias bioclimáticas 32
2.8 Norma de Desempenho Térmico de Edificações - NBR 15220-3 35
3 MATERIAIS E MÉTODOS 36
3.1.1 Habitações 36
3.1.2 Equipamento de medição no ambiente construído 40
3.1.3 Equipamento de medição em condições externas 42
3.2 Metodologia para análise dos dados 42
3.3 Análise estatística dos dados 43
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 44
4.1 Análise do período chuvoso 44
4.1.1 Análise da temperatura do ar no período chuvoso 44
4.1.2 Análise da umidade relativa do ar no período chuvoso 51
4.2 Análise da temperatura do ar no período estiagem 56
4.2.1 Análise da temperatura do ar no período de estiagem 56
4.2.2 Análise da umidade relativa do ar no período de estiagem 62
5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS 67
5.1 Análise estatística para o período chuvoso 67
5.2 Análise estatística para o período de estiagem 68
5.3 Análise estatística para os períodos chuvoso e de estiagem 70

6 CONCLUSÕES 71
7 RECOMENDAÇÕES 72
REFERÊNCIAS 73

1 INTRODUÇÃO

Para o homem, o abrigo que o protege de intempéries deve ainda promover segurança e conforto. Desde o início da evolução humana, o homem desenvolveu tecnologias para criar habitações confortáveis. Apesar do grande desenvolvimento da arquitetura e das engenharias, o que se verifica são projetos de edificações que, desde seu planejamento até a execução, não são levados em consideração a posição geográfica e o microclima do local.

Normalmente, as edificações são realizadas sem que seja avaliado o clima, o terreno, a orientação solar, a tipologia adequada e os materiais de construção mais apropriados; todos esses aspectos fazem com que o ambiente construído não seja confortável, não seja ergonômico e não satisfaça, portanto, as necessidades do homem.

Constrói-se um ambiente ergonomicamente confortável a partir da interação entre as necessidades humanas, as características climáticas e as edificações, aplicando os princípios da arquitetura bioclimática e da ergonomia do ambiente construído.

A arquitetura bioclimática é a necessidade de ressaltar os aspectos sobre a posição geográfica, o relevo, a temperatura, a umidade, o ar e a radiação nas edificações, estudando as formas de se efetuar de maneira eficiente a interface entre o clima, a arquitetura e o homem.

Dentro do ambiente construído, os princípios ergonômicos estabelecem conforto satisfatório ao usuário. A ergonomia do ambiente construído é o estudo da relação do homem como o ambiente.

Mesmo com o avanço dos estudos da arquitetura bioclimática e da ergonomia do ambiente construído, o que se verifica é a mínima aplicação desses princípios nas edificações. A aplicação não efetiva desses princípios ocorre, principalmente, em habitações construídas por programas habitacionais do governo.

As habitações unifamiliares de interesse social são edificações construídas pelas Companhias de Habitações Populares dos Estados. Essas habitações, geralmente, são construídas sem que seja verificado o microclima do local, sem usar materiais adequados e sem considerar os costumes dos habitantes.

Nessas habitações verificam-se vários problemas ergonômicos, mas o que mais relatam os moradores é o desconforto em relação ao calor, principalmente nas regiões de climas quentes. Em Campina Grande, assim como nos outros Estados do Nordeste, provavelmente o principal desconforto esteja relacionado com a sensação de ambiente quente, devido às elevadas temperaturas, alta umidade relativa do ar e à radiação solar excessiva.

Assim, o problema detectado em habitações unifamiliares na cidade de Campina Grande está relacionado com o desconforto térmico, em virtude de os projetos das edificações não considerarem os materiais de construções adequados, as diversidades dos fatores bioclimáticos e os costumes dos moradores.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Avaliar o desempenho higrotérmico de habitações de interesse social na cidade de Campina Grande, PB.

1.1.2 Específicos

- registrar temperatura e umidade relativa do ar em habitações unifamiliares e no ambiente externo nos períodos com e sem chuva, na Cidade de Campina Grande-PB;
- comparar os resultados de temperatura e umidade relativa do ar entre os ambientes construídos e em condições externas;
- detectar o desempenho higrotérmico dentro do ambiente construído;
- recomendar estratégias bioclimáticas para projetos arquitetônicos considerando o estudo do desempenho higrotérmico de habitações de interesse social em Campina Grande.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Arquitetura bioclimática

Segundo Krüger (1993), os trabalhos de Vitrúvio, desde do século I a.C foram influenciados pelos elementos do clima e suas recomendações se referem constantemente à necessidade de adequação das construções aos fatores climáticos. Essa seria, então, uma das primeiras preocupações em desenvolver edificações considerando o relevo e o clima. A arquitetura bioclimática se relaciona com os aspectos físicos do homem, isto é, com a sensação de conforto e com os aspectos climáticos.

A arquitetura bioclimática utiliza a tecnologia para aplicar os elementos arquitetônicos adequados, fornecendo ao ambiente construído um satisfatório conforto higrotérmico. Para Givoni (1992), o estudo das variáveis climáticas, os efeitos do clima no ser humano e as soluções tecnológicas são fatores indispensáveis para as edificações, além de serem os princípios da arquitetura bioclimática.

Olgyay (1973) afirma que projetos que aplicam a arquitetura bioclimática buscam utilizar as condições favoráveis do clima com a intenção de satisfazer as exigências de conforto térmico do homem. Embora isto pareça um conceito intrínseco aos projetos arquitetônicos, o que se verifica são edificações com alto consumo energético para a produção do conforto higrotérmico aos usuários ou edificações que não satisfazem termicamente o usuário.

Complementa-se ainda com Givoni (1992), o qual determina que a concepção de uma habitação deva estar baseada nas variáveis climáticas, nos efeitos do clima sobre o homem e na aplicação das tecnologias.

Assim, entende-se que todas as preocupações com o conforto no ambiente construído estão interligadas com os princípios da arquitetura bioclimática.

2.2 Variáveis ambientais

Segundo Krüger (1993), o clima é "o conjunto de fatores físicos que compõem o meio atmosférico de determinada localidade geográfica". Neste sentido Guglielmentti (2002) afirma que:

> Os projetos e a construção de habitações têm no CLIMA, um de seus fatores determinantes, visto que este é formado por fatores estáticos (posição geográfica e relevo) e fatores dinâmicos (temperatura, umidade, movimentação do ar e radiação).

Para Givoni (1992) os principais indicadores climáticos a serem considerados para o conforto humano e o projeto de edificações são: a radiação solar; a temperatura; a umidade do ar e a velocidade dos ventos.

2.2.1 Radiação solar

A radiação solar influi na diferença de temperatura entre o solo e a atmosfera e, indiretamente, na reflexão do terreno e de sua permeabilidade, influenciando as camadas de ar próximas ao solo (KRÜGER, 1993).

Em se tratando dos efeitos da radiação nas edificações, é possível classificar os intercâmbios térmicos que ocorrem com os componentes da edificação em função da origem e da característica da radiação de modo a avaliar a parcela de contribuição para o desempenho térmico ambiental do ambiente construído (LAMBERTS et. al., 1997):

- radiação solar direta, de onda curta;
- radiação solar difusa, de onda curta, proveniente da abóbada celeste;
- radiação de onda curta proveniente refletida pelo solo e superfícies próximas;
- radiação térmica (onda longa) proveniente do solo e dos objetos adjacentes com temperatura superior ao zero absoluto;
- radiação térmica emitida pelas superfícies da edificação.

A radiação solar direta e a difusa dependem das características do clima da região. São as mais intensas e podem condicionar o comportamento do ambiente construído. Segundo Hertz (1998) "a radiação solar incidente é alta, seja como radiação direta em dias ensolarados, seja em forma de radiação difusa durante os dias nublados." Frota e Schiffer (2003) afirmam "que as quantidades de radiação variam em função da época do ano e da latitude". Assim, a radiação de onda curta refletida pelo entorno depende diretamente das superfícies refletores dos materiais da edificação.

2.2.2 Temperatura do ar

A temperatura do ar é a principal variável do conforto térmico (LAMBERTS et. al, 2005). Possui interferências de acordo com a hora do dia, as estações do ano e a posição geográfica. Segundo Gregorczuk e Cena (1967 apud NETO, 2003) os fatores que mais intensamente interferem na temperatura são: latitude, hora do dia, mês, cobertura de nuvens, natureza da superfície do entorno e a radiação absorvida e refletida.

Considerando esses fatores, para o hemisfério sul, a temperatura é normalmente mais elevada nos trópicos do que em latitudes médias; mais elevadas em janeiro do que em julho; mais elevada sob o céu claro do que o nublado. A variação de temperatura reflete intimamente a variação de radiação solar durante o ano, assim nota-se que a insolação e a radiação solar global assumem valores maiores nos meses de janeiro e dezembro. A tabela 1 apresenta as médias anuais de temperatura, umidade relativa e radiação solar global da cidade de Campina Grande.

Tabela 1: Normais de temperatura de Campina Grande – PB Latitude: 07.13° S, longitude: 35.53 ° W, altitude: 552 m. Fonte: INMET Normais Climatológicas (1961-1990).

Dados Meteorológicos	**JAN**	**FEV**	**MAR**	**ABR**	**MAI**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SET**	**OUT**	**NOV**	**DEZ**	**ANO**
T. Média (°C)	23.9	25.0	24.7	24.5	23.3	22.3	20.1	21.7	21.7	23.6	24.2	24.6	23.3
T. Máxima (°C)	29.9	29.8	28.4	28.2	26.7	25.5	24.8	24.1	27.1	28.8	28.3	28.5	27.5
T. Mínima (°C)	20.0	20.0	20.4	20.2	18.5	18.1	17.9	17.8	18.3	18.9	19.5	20.2	19.2
Umidade Relativa Média (%)	79	72	86	86	88	91	90	86	84	79	72	79	82.7
Insolação Total (h)	238.9	203.0	203.0	173.6	175.4	151.1	119.0	150.7	181.9	212.5	217.2	297.7	222.4
Radiação Solar Global Média ($cal.cm^{-1}.dia^{-1}$)	490.0	473.0	580.0	444.0	357.0	330.0	343.0	438.0	458.0	466.0	492.0	449.0	433.0

Na região Nordeste brasileira e na cidade Campina Grande, quando se analisa o ciclo de temperatura diurno, verifica-se que, geralmente, a temperatura é mais baixa ao nascer do sol e se torna mais alta no começo ou meio da tarde. O instante de radiação máxima ocorre ao meio dia solar, tendo assim "a incidência do Sol do meio-dia quase perpendicular à superfície terrestre durante todo o ano" (Hertz, 1998).

A altitude também influencia a temperatura ambiente. Assim, podem haver regiões com latitudes semelhantes, mas, em virtude da altitude, terem diferenças nas temperaturas médias anuais - como é o caso da cidade de Campina Grande e João Pessoa (Tabela 2), na Paraíba, que diferem aproximadamente 3°C na media anual.

Tabela 2: Médias anuais de temperatura de João Pessoa – PB. Latitude: 07.06° N, longitude: 34.52 ° W, altitude: 37 m. Fonte: INMET Normais Climatológicas (1961-1990)

Dados Meteorológicos	**jan**	**fev**	**mar**	**Abr**	**mai**	**jun**	**jul**	**ago**	**set**	**out**	**nov**	**dez**	**ano**
T. Média (°C)	25.8	25.2	28.2	25.5	27.0	26.2	23.7	25.4	27.5	27.7	27.0	24.1	26.1

Assim, a temperatura do ar será conseqüência de um balanço energético em que há interferências de fatores como: a radiação solar incidente e o coeficiente de absorção da superfície receptora; a condutividade e a capacidade térmica do solo que determinam a transmissão de calor por condução e as perdas por evaporação, convecção e radiação (LAMBERTS et. al, 2005).

2.2.3 Umidade relativa do ar

A umidade do ar é caracterizada pela quantidade de vapor de água contida no ar. Sabe-se que, "a **umidade absoluta** representa o peso de vapor d'água contido em uma unidade de massa de ar (g/kg) e a **umidade relativa**, a relação entre a umidade absoluta do ar e a umidade absoluta do ar saturado para a mesma temperatura" (LAMBERTS et. al., 2005).

> A umidade absoluta, que é a medida da massa do vapor total num volume fixo de ar em uma dada temperatura; e a umidade relativa, que é a relação entre o vapor existente e o limite da saturação total do ar na mesma temperatura. Enquanto a umidade absoluta permanece fixa sem subtrair nem introduzir vapor, a relativa pode variar com as mudanças da temperatura, devido à expansão e à contração do ar.

A umidade é influenciada pela amplitude térmica, caracterizada pela diferença entre a temperatura máxima e a mínima num intervalo de 1 dia ou 24 horas. Assim, segundo Lamberts e outros (2005) "quanto maior a temperatura, menor a quantidade de vapor de água por metro cúbico de ar". A umidade do ar também pode ser influenciada pela vegetação, pela topografia e pela ocupação urbana. Para Frota e Schiffer (2003):

> A grande diferenciação que o grau de umidade relativa do ar acarreta nas condições climáticas de um local é quanto à amplitude da temperatura diária. Isto equivale a dizer que quanto mais seco for o clima, mais acentuadas serão suas temperaturas extremas mínimas e máximas.

2.2.4 Velocidade do ar

"Uma das principais causas da distribuição dos ventos no globo é o desequilíbrio de radiação entre as latitudes baixas e altas" (LAMBERTS et. al, 2005). Os ventos superficiais trocam massa e energia com as superfícies sob sua influência e, assim, suas características são alteradas pela descontinuidade do tipo de superfície e pelas alterações na topografia do local. A descontinuidade do tipo de superfície modifica o perfil de velocidades, de trocas de calor e

FAUEC/G/BIBLIOTECA

de teor de vapor d'água. Cada elemento topográfico ou elemento construído altera o fluxo do ar (NETO, 2003). Portanto, regiões de topografia acidentada desviam o vento, podem alterar sua direção e sua velocidade (LAMBERTS et. al., 2005).

Quando se trata do comportamento do ar, verifica-se que à medida que o ar se aquece e fica leve, ascende e liberando espaço para outra massa de ar mais frio. "O ar quente que sobe cria uma área que chamamos de depressão e o ar frio que desce gera uma força de pressão sobre a terra." (BARROSO-KRAUSE et. al., 2005) (Figura 01). Em ambiente interno a velocidade do vento costuma ser abaixo de 1m/s sem que haja, necessariamente, a ação direta do vento, bastando, apenas, haver o deslocamento pela diferença na temperatura do ambiente (LAMBERTs et. al., 2005).

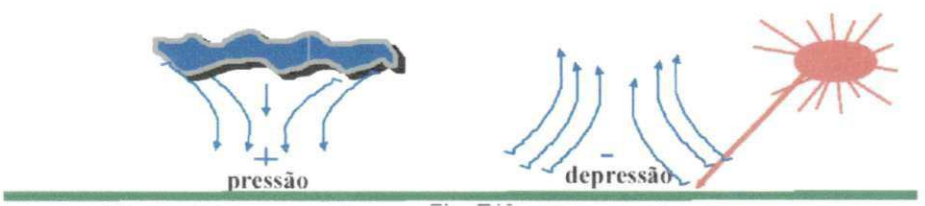


Figura 1: Pressão e Depressão do ar (Barroso-Krause, 2005).

2.3 Ergonomia e ergonomia do ambiente construído

A ergonomia, na lição de Itiro Iida (1990), é um estudo aprofundado sobre a relação de trabalho do homem:

> A Ergonomia é o estudo da adaptação do trabalho ao homem. O trabalho aqui tem uma acepção bastante ampla, abrangendo não apenas aquelas máquinas e equipamentos utilizados para transformar os materiais, mas também toda a situação em que ocorre o relacionamento entre o homem e seu trabalho. Isto envolve não somente o ambiente físico, mas também os aspectos organizacionais de como esse trabalho é programado e controlado para produzir os resultados desejados. (IIDA, 1990).

Para Karwowski (1996, apud MORAES E MONT'ALVÃO, 2003):

> A ergonomia, também conhecida como *humans factors*, é uma disciplina científica que trata da interação entre homens e a tecnologia. A ergonomia integra o conhecimento proveniente das ciências humanas para adaptar tarefas, sistemas, produtos e ambientes às habilidades e limitações físicas e mentais das pessoas.

Conforme Weerdmeester (1993), a ergonomia possui um caráter interdisciplinar, apoiando-se em diversas áreas do conhecimento humano para estabelecer parâmetros para a

adaptação dos ambientes às características e necessidade do usuário, diminuindo as condições de insegurança, insalubridade, desconforto e ineficiência.

Em se tratando especificamente da ergonomia do ambiente construído, afirma Villarouco (2002) que é *um braço mais recente da prática ergonômica* e para sua análise deve ser considerado o conforto e a percepção ambiental, os materiais de revestimentos e acabamentos, o *layout* e o mobiliário. O estudo do conforto ambiental objetiva proporcionar conforto ao homem, proporcionando níveis adequados de iluminação, temperatura, umidade e ruído.

O estudo ergonômico é minucioso, demanda tempo para observação e aprofundamento dos riscos na atividade e identificação dos problemas. Para a realização de uma análise e de uma intervenção ergonômica, é necessário focalizar o problema e analisar os elementos e circunstâncias que o compõem separadamente, verificando todas as atividades realizadas, as posturas assumidas, tempo de execução das tarefas, organização do trabalho e outros itens.

Segundo Martins (2003), a ergonomia tem seu foco principal nas situações de trabalho, mas os conceitos ergonômicos se ampliaram e a ergonomia possui especificidades e diferentes atuações:

- Ergonomia de Interação: aborda as questões da comunicação entre o homem e os computadores através de interfaces informatizadas.
- Ergonomia Informacional: destacam-se as questões perceptuais.
- Ergonomia do Produto: refere-se às interfaces dos bens de consumo, ferramentas e estações de trabalho.
- Ergonomia de sistemas: são os sistemas complexos e dinâmicos de controle de indústrias de processos e de transporte.
- Ergonomia da Produção: são trabalhadas as variáveis do processo produtivo.
- Ergonomia do Ambiente Construído: refere-se às questões do uso do espaço e de sua adequação.

A ergonomia tem, enfim, o papel de subsidiar o planejamento, o projeto, a avaliação de produtos, os postos de trabalho, os sistemas de informação e ambientes tornando-os compatíveis às necessidades, habilidades e limitações dos indivíduos (MORAES E MONT'ALVÃO, 2003).

Na esfera do ambiente construído, a ergonomia passa a incorporar o conhecimento de disciplinas relacionadas aos indivíduos e ao próprio ambiente para um alcance global das interações e adequações ao ser humano. Por exemplo: o uso do espaço exterior ou interior com base nos conceitos de espaço público ou privado, as barreiras arquitetônicas, a apreensão

do espaço, a navegação e a circulação no espaço arquitetural, os sistemas de informação e comunicação, a acessibilidade e o design universal, relacionando-os às atividades de trabalho, de serviços e de lazer (MARTINS, 2003).

Neste sentido, a ergonomia do ambiente construído pretende promover ambientes de trabalho que sejam locais de troca e de convívio humano, evidenciando o conforto térmico, acústico e lumínico.

2.4 Conforto ambiental

O conforto ambiental objetiva proporcionar adequados níveis de iluminação, temperatura, umidade e ruído para atingir a satisfação do homem. Segundo Vitrúvio, citado Lamberts et. al (1997) "a arquitetura deveria ser entendida como um espaço habitável que equilibraria os aspectos estruturais, funcionais e formais concomitantemente". Nesse sentido, pode-se compreender o estudo do conforto ambiental como sendo a satisfação do homem dentro do ambiente construído, já que quanto maior for o esforço de adaptação do indivíduo, maior será sua sensação de desconforto (VIANNA e GONÇALVES, 2001).

Problemas com o excesso de calor, pouca iluminação, ruídos e vibrações representam situações desconfortáveis, que podem provocar danos à saúde e aumentar os riscos de acidentes. Também provocam maior esforço de adaptação, principalmente quando se trata de condições ambientais de trabalho, pois causam tensão e diminuem a produtividade (IIDA, 1993). De acordo com Gonçalves (2005), pesquisas desenvolvidas demonstram que o controle da climatização, iluminação e de som nos ambientes de trabalho promovem eficiência nas tarefas realizadas, em virtude da sensação de conforto dentro do ambiente construído.

Grandjean (1998) afirma que perturbações no conforto podem causar alterações funcionais, atingindo todo o corpo, por isso, é importante manter a qualidade do ambiente em termos lumínicos, térmicos e acústicos.

O conforto lumínico está relacionado com o sistema de iluminação do ambiente construído. Conforme Iida (1990), a iluminação está diretamente ligada ao mecanismo fisiológico da visão e da musculatura que comanda o movimento dos olhos. Assim, a sensação luminosa recebida pelo olho depende da luz emitida pela superfície em questão e, concomitantemente, da luz emitida pelo contexto formado por todas as superfícies contidas no campo visual. A sensação luminosa, que é a claridade, está diretamente ligada à distribuição de luz dentro do ambiente. O sistema de iluminação dentro do ambiente construído é

influenciado pela luz solar e pela artificial – fatores que devem promover satisfação para cada atividade executada pelo homem.

Algumas variáveis climáticas e humanas podem interferir na quantidade de luz adequada. Com relação às variáveis climáticas, podem ser citadas: a radiação solar, a umidade e a nebulosidade, influindo consideravelmente nas radiações luminosas. Com relação as variáveis humanas, considera-se à idade dos usuários e o órgão receptor da visão, o olho, que apresenta as seguintes características, denominadas de: acomodação, adaptação, campo de visão, acuidade, persistência visual e, finalmente, visão de cores.

O estudo do conforto acústico é também importante e necessário para que se estabeleça tranqüilidade dentro do ambiente construído. Os níveis de ruídos produzidos, se elevados, podem vir a provocar lesões auditivas, que não são recuperáveis.

O ruído, conforme Fernandes (1999) é um fenômeno físico, um som de grande complexidade, resultante da superposição desarmônica de sons provenientes de várias fontes. Para Iida (1990), o ruído é mistura complexa de diversas vibrações ou ainda um estímulo auditivo que não contém informações úteis para o homem. Os ruídos, se forem significativos, interferem nas tarefas mentais complexas, mas podem atenuar os efeitos da monotonia em tarefas simples. A presença de ruídos no ambiente de trabalho pode provocar danos ao aparelho auditivo e até mesmo a surdez (LAVILLE apud TOMAZ et al, 2000).

O conforto térmico está relacionado com a sensação de calor. A *American Society Of Heating, Refrigerating And Air Conditioning* (ASHRAE), citado por Lamberts e outros (1997), define conforto térmico como:

> [...] um estado mental que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente o conforto térmico.

Para Xavier (1999), o conforto térmico é uma sensação complexa, influenciada por fatores físicos, fisiológicos e psicológicos.

As condições de conforto, como já foi dito, dependem das reações de ordem fisiológicas e psicológicas do indivíduo e dos estímulos proporcionados pelo ambiente construído. Em se tratando das condições de conforto ambiental, a ISO[1] 6241:1984 destaca as exigências que interferem mais diretamente na sensação de conforto, tais como:

- exigências de conforto higrotérmico, que especifica às condições de temperatura e umidade do ar;

[1] ISO – International Organization for Standardization.

- exigência de conforto visual, especificando os aspectos relacionados à iluminação, aparência dos ambientes, envoltória e abertura para o exterior;
- exigências do conforto acústico, especificando os níveis de ruído ao isolamento acústico reflexão das superfícies;
- exigências de conforto tátil, especificando as condições de eletricidade estática, rugosidade, umidade e temperatura das superfícies.

As exigências especificadas pela ISO 6241:1984 são relevantes para a manutenção do conforto ambiental do usuário. Xavier (2000) destaca o conforto térmico como predominante na manifestação da satisfação, já que isto pode modificar as formas de percepção das demais condições ambientais.

2.5 Condições para conforto térmico

O homem se encontra em conforto térmico quando a condição térmica satisfatória é a que lhe permite ter a temperatura do corpo constante sem que seja necessário lançar de artifícios fisiológicos para se defender do calor ou do frio.

Segundo Frota e Schiffer (2003), o homem deve manter a temperatura corpórea interna constante em torno de 37 °C, tendo como limite inferior para sobrevivência 32 °C e superior 42 °C.

A sensação de conforto térmico está vinculada à temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do ar (FANGER, 1970). É também influenciada pela aclimatização do meio ambiente, pelos hábitos alimentares, altura, peso, idade e sexo do indivíduo, pelas atividades executadas e pelo tipo de vestimentas utilizado.

A percepção da temperatura ambiente pelo corpo humano muda com as condições atmosféricas e as razões para essas mudanças estão relacionadas com as trocas de calor com o meio. O conforto térmico pode ser considerado como uma questão determinante para o desempenho de certas atividades, ainda mais em se tratando de regiões de clima tropical, quente.

Considerando os fatores citados anteriormente, pode-se avaliar a sensação de frio, que é produzida a partir de uma perda de calor do corpo em maior quantidade do que está sendo produzido pelo organismo e, assim, o ambiente é percebido como frio. Neste caso, o organismo reage por meio de seus mecanismos automáticos. Já quando a perda de calor é considerada em menor quantidade do que o calor produzida pelo corpo, então o ambiente é considerado quente. O estabelecimento do conforto térmico é adquirido quando há dissipação

do calor na mesma proporção da produção. No Tabela 3, abaixo, relaciona-se a produção de calor do indivíduo quando realiza atividades:

Tabela 3: Relação entre atividade e metabolismo (KOENIGSBERGER citado KRÜGER, 1993).

ATIVIDADE	METABOLISMO
Dormindo	Min 70 J
Sentado com movimento moderado	130 – 160 J
De pé, trabalho leve	160 – 190 J
Sentado com movimento de braços e pernas	190 – 230 J
De pé, trabalho moderado andando	240 – 290 J
Andando, levantamento moderado ou empurrando	290 – 410 J
Trabalhando pesado constante	580 – 700 J
Máximo trabalho pesado em 30 min de duração	Máx 1100 J

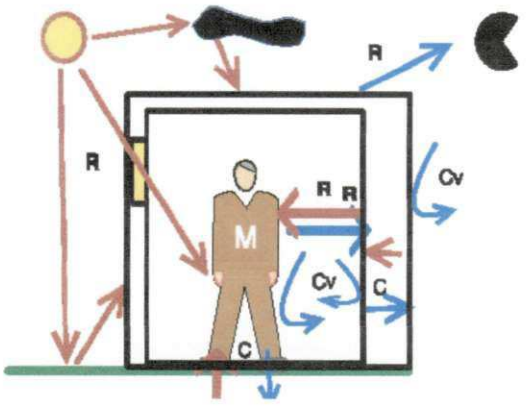
A relação entre a atividade e o metabolismo demonstra o gasto de energia quando se está executando alguma atividade e, por isso, o ambiente deve proporcionar conforto para que o equilíbrio térmico seja permanente e para evitar risco de danos a órgãos vitais.

Quando o indivíduo tem dificuldade de dissipar a energia, ocorre o desgaste do organismo, sendo necessário utilizar o sistema termorregulador. De acordo com Gonçalves (2005), este é o sistema que produz o controle involuntário da temperatura interna do corpo, podendo o ser humano se adaptar às condições climáticas extremamente divergentes, desde as mais frias passando pelas neutras até as extremamente quentes. Assim, podem-se considerar três zonas térmicas: de resfriamento, neutra e de aquecimento.

Na zona de resfriamento, ocorre a vasoconstrição, isto é, redução do fluxo sanguíneo no sentido interior-exterior, impedindo as perdas excessivas de calor, tentando produzir o equilíbrio térmico. Na zona neutra, o corpo está em equilíbrio, sem realização de esforço físico e o centro termorregulador mantém-se constante, significando conforto. Na zona de aquecimento, promove-se a vasodilatação, isto é, aumenta o fluxo sanguíneo no sentido interior-exterior, liberando assim maior quantidade de calor que deve ser dissipado por convecção na superfície da pele. A importância de se produzir o conforto térmico pode causar conseqüências fisiológicas (GONÇALVES, 2005).

Neste sentido, Barroso-Krause (2005) afirma que "o conforto higrotérmico é obtido sempre que consegue manter, através das trocas higrotérmicas (Figura 2), um equilíbrio entre seu corpo (que está em torno de 36,7°C) e o entorno".

A troca de calor ocorre quando dois corpos estão em temperaturas diferentes e a transmissão é processada por condução, convecção e ou radiação térmica (FROTA e SCHIFFER, 2003).



Principais trocas higrotérmicas entre o homem e a construção:
R – Trocas por radiação: entre o sol e a construção, entre o corpo e as paredes, entre as paredes.
C – trocas por condução, contato entre o corpo e toda superfície em que ele toca, através das paredes.
Cv – trocas por convecção. Entre o corpo e o ar que está em seu contato direto, entre o ar e as paredes (externa e internamente).

Figura 2: Trocas de calor entre o homem e seu entorno (BARROSO-KRAUSE, 2005)

A condução ocorre a partir do contato entre moléculas dos corpos. O calor é propagado para todas as direções e a transmissão do calor ocorre entre dois corpos em contato molecular com temperaturas diferentes. Para esta situação, a propriedade fundamental é a condutividade térmica, que depende de três fatores que são: área transversal, espessura do material e a diferença de temperatura entre os dois pontos; é necessário, também, considerar a resistência térmica do material.

A convecção é a forma de transferência de calor de uma superfície de um sólido para um fluido. Depende de três fatores: da área de contato, da diferença de temperatura e do coeficiente de troca por convecção.

Por último, há a radiação térmica, que ocorre quando dois corpos sem contato entre si trocam calor através de ondas eletromagnéticas, dependendo da diferença entre as temperaturas dos corpos, da capacidade de emissão e da absorção das superfícies.

Além das trocas térmicas citadas acima, há a evaporação e a condensação. Segundo Rivero (1986), essas são relevantes para o comportamento térmico de espaços construídos. A evaporação, que é a mudança do estado líquido para o gasoso, e a condensação, que é a mudança do estado gasoso para o líquido, são chamadas de *trocas úmidas*.

Dentro do interior de uma edificação as trocas de calor ocorrem a partir de ganhos internos com a presença de pessoas, iluminação artificial, pelas vedações, por equipamentos e outros. Neste sentido, deve-se verificar as características termofísicas dos materiais das vedações, pois eles podem retardar ou não a passagem do calor do exterior para o ambiente interno.

Assim, a produção do conforto térmico é influenciada por vários fatores que devem ser devidamente estudados e avaliados de acordo com as características bioclimáticas da região.

O estudo das características termofísicas dos materiais, das características bioclimáticas da região e dos aspectos fisiológicos do homem, convergem para a busca de uma zona de conforto, em que a maioria dos indivíduos possa estar em condição de conforto. Essa condição é estabelecida a partir de critérios e valores de referência que avaliam o desempenho do ambiente considerando o homem e o clima.

Observando a relação entre ambiente construído, homem e clima foram concebidas cartas e diagramas bioclimáticos. No início, Olgyay (1963) propôs a definição da chamada Zona de Conforto, como sendo as condições climáticas gerais em que o organismo humano consome a menor quantidade de energia para adaptar-se ao seu entorno. A carta bioclimática de Olgyay (1963) demonstra os limites de conforto térmico para condições externas variáveis (Figura 3).

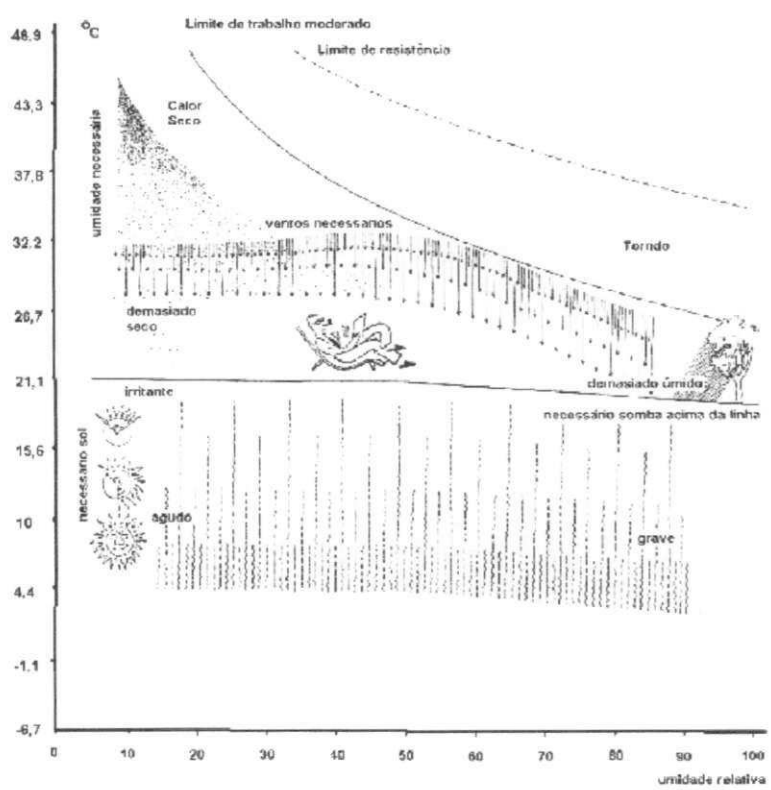


Figura 3: Carta bioclimática (Olgyay, 1963)

A carta bioclimática é realizada com base no diagrama psicrométrico, em que se representa a temperatura do ar e da umidade relativa do ar. Realiza-se a plotagem sobre a carta e se encontra nove zonas bioclimáticas: 1) zona de conforto, 2) zona de ventilação; 3) zona de resfriamento evaporativo; 4) zona de massa térmica para resfriamento; 5) zona de ar-condicionado; 6) zona de umidificação; 7) zona de massa térmica para aquecimento; 8) zona de aquecimento solar passivo; 9) zona de aquecimento artificial (Figura 04).

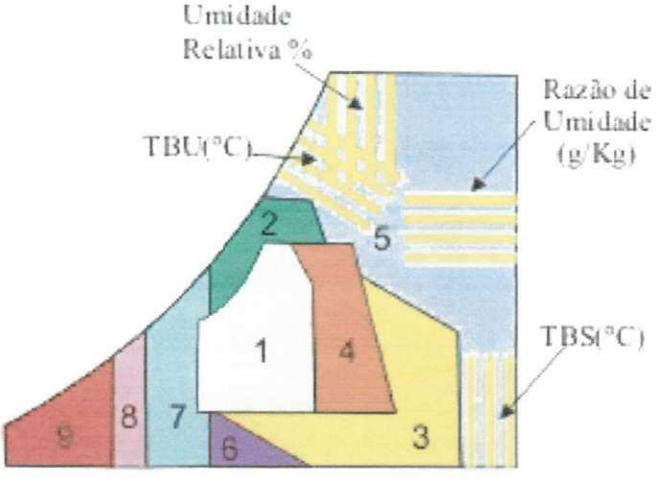


Figura 4: Carta bioclimática adotada para o Brasil (Olgyay apud Lamberts, 1997)

Dentro da carta bioclimática e do diagrama psicrométrico, tem-se a zona de conforto que é o objetivo de projetos de conforto térmico, isto é, estabelecer a zona de conforto para o homem. Porém, essa zona de conforto é apenas uma estimativa, já que, de acordo com Krüger (1993), o conforto térmico do indivíduo é influenciado também por fatores culturais e psicológicos. Pode-se, então, verificar que a sensação de conforto é subjetiva e por isso duas pessoas submetidas às mesmas condições climáticas podem obter sensações diferenciadas.

Já Givoni, citado por Lamberts et. al (1997), consegue conceber uma carta bioclimática baseada em temperaturas internas dos edifícios com estratégias para adequação ao clima. Para aplicação no Brasil, utiliza-se uma versão revisada, concebida em 1992 para países em desenvolvimento (LAMBERTS, 1997).

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

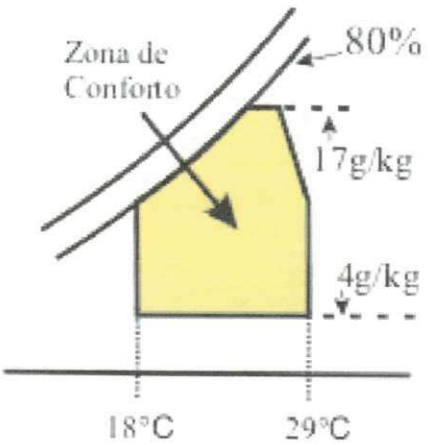


Figura 5: Zona de Conforto (LAMBERTS, 1997)

Lamberts et. al (1997) afirma que estas condições de temperatura do ar e umidade relativa do ar existem com uma probabilidade de grande parte de as pessoas conseguirem adquirir a sensação de conforto com uma umidade relativa do ar entre 20% e 80% e uma temperatura entre 18 e 29° C (Figura 05).

Szokolay (1995) define a sua zona de conforto em função da temperatura média dos meses mais quentes e mais frios de uma dada região, dentro dos limites para temperatura internas de 18,5°C a 28,5°C.

Na norma da American Society of Heating Refrigeranting Air Conditioning Engineers (ASHRAE, 1992), a zona de conforto considera que o limite máximo de temperatura cai linearmente para as altas umidades e cresce com o aumento da velocidade do ar. O limite máximo aceitável para ASHRAE no verão é de 23°C a 27°C, e para o inverno 20°C a 23.5°C.

Em Goulart et al (1994), se apresenta um resumo dos limites de temperaturas aceitáveis para o interior de ambientes construídos de algumas metodologias (Tabela 4).

Tabela 4: Resumo dos limites de temperaturas e umidades. Fonte: Goulart et al. (1994)

Metodologia	**Temperatura**		**Umidade**		**Observação**
	limite mínimo	**limite máximo**	**limite mínimo**	**limite máximo**	
LAMBERTS 97	18 °C	29 °C	20 %	80 %	-
GIOVONI 92 Países em desenvolvimento	> 20 °C < 18 °C	< 27 °C < 25 °C	-	< 80 %	verão inverno
ASHRAE 55-92	>23 °C >20 °C	< 27°C <23°C	-	< 80%	baixa umidade alta umidade
SZOKOLAY	> 18	< 25	-	-	inverno

UFCG/BIBLIOTECA

Em se tratando de avaliação de conforto térmico, o Brasil não possui normas especificas. Porém, a NBR 6401:1980 estabelece parâmetros para o projeto de instalações de ar condicionado e especifica intervalos de temperatura e umidade que proporcionam sensação de conforto para pessoas em atividade sedentária. Neste caso, indicam para o verão a temperatura entre 23°C e 26°C e para o inverno de 20°C a 24°C e o intervalo para umidade relativa entre 30 e 70 %.

2.6 Desempenho térmico da construção

O desempenho térmico de um ambiente construído pode ser compreendido a partir de medições da temperatura, da umidade relativa do ar, da ventilação e da absorção de radiação solar. Porém, para a percepção do conforto térmico são necessários os fatores subjetivos do indivíduo que está no interior desse ambiente. Para Costa (1982):

> [...] a temperatura, juntamente com a umidade, é responsável pelas trocas de calor com o exterior efetuadas pelo corpo humano e determinada, para o ambiente, as características de conforto térmico. A sensação de bem-estar causada por um determinado ambiente pode ser caracterizada, no que diz respeito a sua temperatura e umidade.

Em se tratando de ambiente construído, a sensação de conforto está relacionada com as dimensões do espaço físico, com a disposição dos elementos dentro do ambiente com os materiais das coberturas, das paredes, do piso, das portas e das janelas e com as atividades que estão sendo executadas dentro desses ambientes.

> Dada a relação entre Arquitetura e o desempenho térmico de edificações é importante ressaltar as trocas de calor no interior de uma edificação, que podem ocorrer por meio de ganhos provenientes de fontes de calor internas, como a presença de pessoas, iluminação artificial e outros equipamentos; e por meio de trocas térmicas pelas janelas, portas e outras vedações deste ambiente (MICHALOSKI, 2002).

Para compreender o comportamento térmico dos materiais, é necessário falar no princípio da transmissão de calor. De acordo com Lamberts e outros (2005) "a condição essencial para transmissão de calor é que os corpos tenham temperaturas diferentes", assim, um corpo qualquer, cedendo parte de sua energia térmica, estará reduzindo sua temperatura ao mesmo tempo em que outro corpo estará assimilando esta energia e aumentando sua temperatura.

A transferência de calor por radiação pode ocorrer a partir das propriedades da superfície receptora, representada pela emissividade e pela absortividade. A emissividade deve ser considerada quando se trata de baixa temperatura – ondas longas – e a absortividade quando a superfície está exposta à fonte de alta temperatura – ondas curtas (LAMBERTS et. al., 2005).

Segundo a NBR 15220-3, da ABNT, absortância a radiação solar é o "quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície". Absortância em ondas longas é o "quociente da taxa de radiação de ondas longas que é absorvida por uma superfície pela taxa de radiação de ondas longas incidente sobre essa superfície" e a emissividade é o "quociente da taxa da radiação emitida por superfície pela taxa de radiação emitida por corpo negro, à mesma temperatura". O Tabela 5 relaciona os valores de emissividade e de absortividade para alguns materiais utilizados na construção:

Tabela 5: Absortância (α) para radiação por ondas curtas e emissividade (ε) para radiação a por ondas longas. (ABNT NBR 15220-2:2005)

Tipo de superfície	**α**	**ε**
Chapa de alumínio brilhante	0,05	0,05
Chapa de alumínio oxidado	0,15	0,12
Chapa de aço galvanizado	0,25	0,25
Concreto aparente	0,65/0,80	0,85/0,95
Telha de barro	0,75/0,80	0,85/0,95
Tijolo aparente	0,65/0,80	0,85/0,95
Reboco claro	0,30/0,50	0,85/0,95
Vidro comum da janela	Transparente	0,90/0,95
Pintura		
Branca	0,20	0,90
verde-clara	0,40	0,90
preta	0,97	0,90

A NBR 15220-2 também se refere à densidade de massa aparente, à condutividade térmica e ao calor específico de materiais (Tabela 6) como fatores que influenciam no comportamento térmico das edificações. A condutividade térmica é uma propriedade física de um material homogêneo e isótropo, no qual se verifica um fluxo de calor de 1 Watt por m^2 quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin. A densidade de massa aparente é obtida pelo quociente entre a massa e volume aparente de um corpo e o calor específico é o quociente da capacidade térmica pela massa.

Tabela 6 - Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais (NBR 15220-2, 2005)

Material	ρ (kg/m³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Cerâmica			
Tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
Cimento-amianto			
Placas de fibro-cimento	1800-2200	0,95	0,84
	1400-1800	0,65	0,84
Concreto			
Concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
Isolantes térmicos			
Lã de rocha	20-200	0,045	0,75
Lã de vidro	10-100	0,045	0,70
Poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42

A radiação incidente em um corpo opaco pode ser absorvida ou refletida e, assim, "a energia radiante absorvida se transforma em energia térmica ou calor; a refletida não sofre modificação alguma" (LAMBERTS et.al., 2005).

Em se tratando de superfícies transparentes ou translúcidas, a transmissão de calor pode ocorrer por condução, convecção e radiação. Para Rivero (1986), os fechamentos transparentes ou translúcidos são os que mais causam desajustes no desempenho térmico do ambiente construído em virtude da elevada transmissão da radiação por onda curta.

A transmissão de calor é influenciada pela inércia térmica do material dos elementos construtivos das edificações.

> A inércia térmica é responsável pelo retardamento de transferência de calor externo para dentro da edificação (e vice-versa), pois utiliza grande parte deste calor para aquecimento da própria massa de sua envoltória, mantendo o ambiente interno com a temperatura mais baixa durante o dia. (NETO, 2005).

A inércia térmica deve ser utilizada em regiões onde há grandes variações de temperatura externa, radiação solar e ganhos de calor, pois, desta forma, aumenta o atraso na transmissão de calor e diminui os picos de calor. "Uma parede apresenta maior ou menor inércia segundo seu peso e sua espessura" (FROTA E SCHIFFER, 2003). O atraso térmico é entendido como o tempo que a diferença térmica de um dos meios leva a se manifestar na superfície oposta (RIVERO, 1986).

> O fato de armazenar calor, faz com que a estrutura de uma edificação, principalmente paredes e lajes, funcione com um dissipador de calor, neste

> sentido a inércia térmica é identificada como a capacidade que uma edificação tem de armazenar claro. (NETO, 2005).

De acordo com Rivero (1986), a resistência térmica de um fechamento, outro princípio relevante no desempenho térmico de edificações, deve ser analisada de acordo com a capacidade de amortecimento e com o retardo térmico, ambos os fenômenos associados à inércia.

> A resistência térmica superficial varia de acordo com vários fatores tais como: emissividade, velocidade do ar sobre a superficie e temperaturas da superficie, do ar e superficies próximas. (ABNT 15220-2)

Entende-se por resistência térmica de fechamentos a capacidade térmica do material. É necessário uma grande quantidade de energia para elevar sua temperatura. Pelo fato de armazenarem maior quantidade de energia, paredes com grande capacidade térmica retardam o processo de transferência de calor; são chamadas de paredes de grande retardo (MICHALOSKI, 2002). O amortecimeto é a capacidade de elementos construtivos diminuírem a amplitude das variações térmicas de um ambiente. Frota e Schiffer (2003) afirmam que:

> O atraso e o amortecimento, juntos, compõem a inércia térmica, a qual é função da densidade, da condutibilidade e da capacidade calorífica da parede. A capacidade calorífica da parede é expressa através do fator denominado calor específico, que se mede pela quantidade de calor necessária para fazer elevar de uma unidade de temperatura, a cada unidade de massa.

2.7 Considerações sobre estratégias bioclimáticas

Buscando otimizar o desempenho higrotérmico das habitações, pode-se utilizar estratégias de construção para planejar residências que se adequem ao clima e ao homem.

> A ventilação de uma habitação que tem condições de manter, nos períodos quentes, temperaturas internas inferiores às externas e, nos períodos frios, temperatura internas superiores às externas, é sempre um ônus para o condicionamento térmico ambiental. (HERTZ, 1998).

A ventilação é uma "estratégia de resfriamento natural do ambiente construído através da substituição do ar interno (mais quente) pelo externo (mais frio)" (LAMBERTS et.al, 2005). Conforme Barroso-Krause (2004), quando se promove a entrada e a saída do vento ocorre o equilíbrio das temperaturas externa e interna. Necessário lembrar que o beiral curto desvia a ventilação para o alto, conforme afirma Montenegro (1984).

As soluções arquitetônicas que podem ser utilizadas são: ventilação cruzada, ventilação da cobertura e ventilação do piso sob a edificação (WATSON E LABS, 1983).

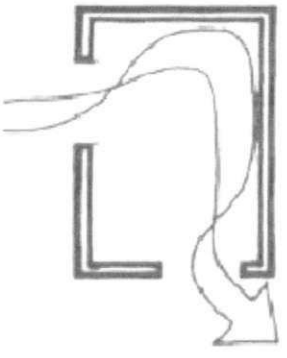


Figura 6: Planta de ventilação cruzada

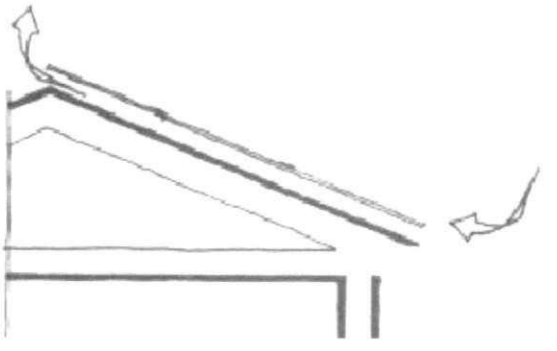


Figura 7: Ventilação pela cobertura

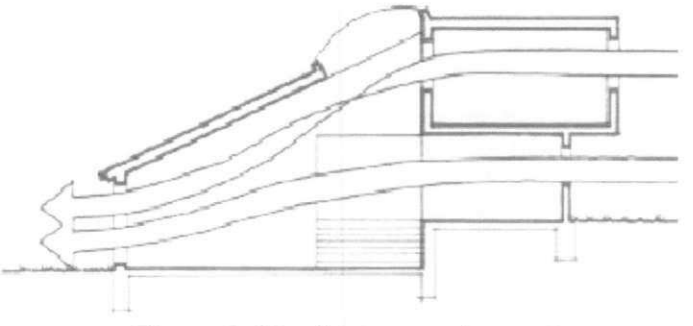


Figura 8: Ventilação cruzada por elevação

Os muros e as esquadrias são responsáveis pela ventilação dentro da residência. Segundo Barroso-Krause (2005), a correta escolha do tipo e da posição é o que determinar o melhor aproveitamento dos ventos incidentes, principalmente quando se trata de clima tropical úmido, mesmo em situação de chuvas, pois, para o conforto térmico neste tipo de clima é essencial a ventilação cruzada.

Para aumentar a umidade relativa do ar e diminuir sua temperatura pode-se recorrer ao resfriamento evaporativo.

> O resfriamento evaporativo pode ser obtido de forma direta ou indireta. O uso de vegetação, de fontes d'água ou de outros recursos que resultem na evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar constituem-se em formas diretas de resfriamento evaporativo. Uma forma indireta pode ser obtida através de tanques d'água sombreados executados sobre a laje de cobertura.(LAMBERTS,2005)

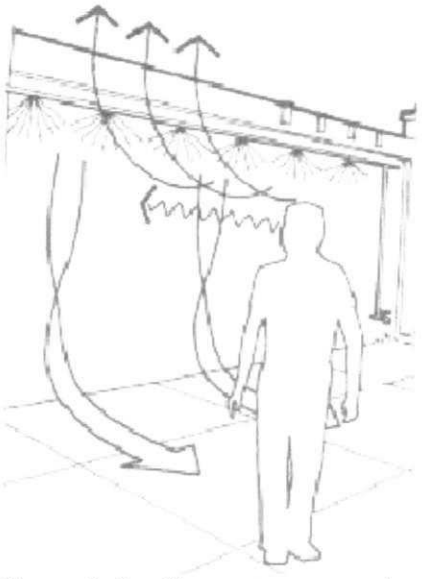


Figura 9: Resfriamento evaporativo direto com microaspersão de ar (LAMBERTS et.al .2005)

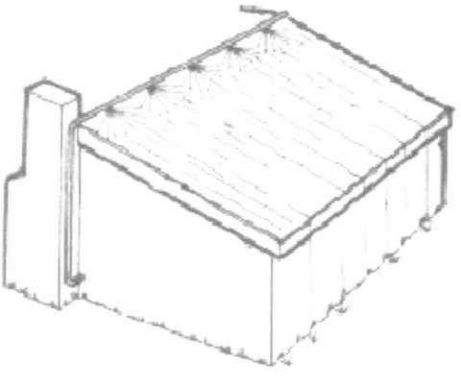


Figura 10: Resfriamento indireto através de cobertura (LAMBERTS et. al. 2005)

Para que a amplitude térmica seja menor que a externa é necessário utilizar elementos construtivos que possuam alta inércia térmica. Com isso, os picos de temperatura verificados externamente não serão percebidos internamente.

> Componentes construtivos com elevada capacidade térmica são indicados para climas quente e seco onde a temperatura atinge valores muito altos durante o dia e extremamente baixos durante a noite. Nestes casos, a capacidade térmica do componente permite o atraso da onda de calor fazendo com que este calor incida no ambiente interno apenas no período da noite, quando existe a necessidade de aquecimento. (LAMBERTS, 2005)

Também é necessário lembrar, assim como afirmam Frota e Shiffer (1997), que "o desempenho térmico satisfatório da arquitetura, com a utilização apenas de recursos naturais, pode não ser possível em condições climáticas muito rígidas".

2.8 Norma de Desempenho Térmico de Edificações - NBR 15220-3.

O zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social que constituem a norma NBR 15220-3 traz em seu bojo a divisão do território brasileiro em oito zonas homogêneas quanto ao clima e, para cada uma das zonas, recomendações sobre a otimização do desempenho térmico a partir do sistema construtivo adequado às condições climáticas.

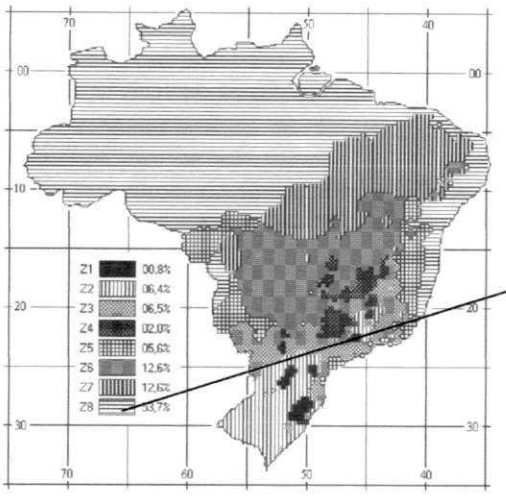


Figura 11 - Zoneamento bioclimático brasileiro

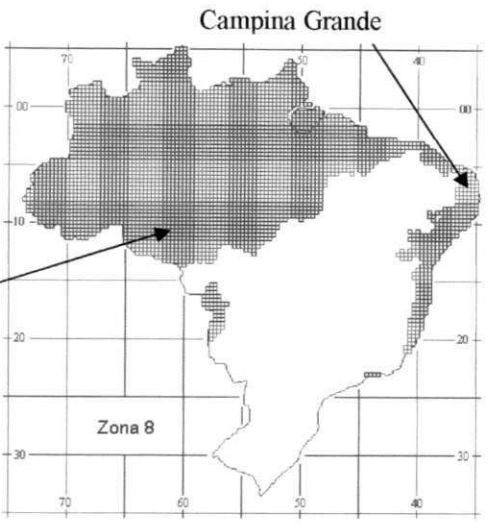


Figura 12 – Zona 8

A norma formula diretrizes construtivas para as oito zonas considerando: tamanho das aberturas para ventilação; proteção das aberturas; vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura); estratégias de condicionamento térmico passivo. Aqui serão expostas apenas as diretrizes referentes à Zona Bioclimática 8 (Figura 11), onde está localizada a cidade de Campina Grande, PB, objeto de estudo do presente trabalho.

A indicação para a Zona 8 (Figura 12) é de que as construções possuam grandes aberturas para ventilação e grandes áreas de sombreamento. As paredes devem ser leves e refletoras e com coberturas leves, que não acumulem calor. As coberturas podem ser de telhas de barro, pintadas ou esmaltadas, sem forro. Para efeito de sombreamento, são necessários largos beirais em toda a extensão da casa e, para o bom condicionamento térmico, é necessário o planejamento de uma boa ventilação cruzada.

A norma também dispõe de detalhamento das estratégias de condicionamento térmico indicando as estratégias a serem seguidas para algumas cidades do Brasil. Para Campina Grande, as estratégias são:

- "As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes." (NBR 15220-3).
- "A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois este pode alterar significativamente a direção dos ventos." (NBR 15220-3).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo comparativo das condições climáticas internas e externas ao ambiente construído de duas habitações unifamiliares de interesse social, foi selecionada a cidade de Campina Grande, na Paraíba.

Campina Grande está situada a 7° 13' 11'' de latitude Sul e 35 ° 52' 31'' de longitude Oeste de Greenwich, a uma altitude de aproximadamente 550 metros, na região do Planalto da Borborema. A condição climática da região apresenta o tipo climático As' - quente e úmido com chuvas de outono/inverno segundo Köpper. O período chuvoso inicia-se em março prolongando-se até agosto. O período de estiagem estende-se de 5 a 6 meses, as temperaturas variam entre 15 e 27° C. A umidade relativa do ar está em torno de 70%.

3.1.1 Habitações

As habitações selecionadas estão situadas nos Conjuntos Mariz II e Mariz III, no bairro de Bodocongó. As unidades apresentam tipologias, orientação e dimensões semelhantes, diferindo em aspectos da disposição dos ambientes na planta baixa e no material aplicado nas paredes:

Sistema alvenaria de blocos de concretos (BC) (Figura 15)

Sistema de alvenaria de tijolos cerâmicos (TC) (Figura 17)

As duas unidades possuem as áreas totais de cerca de 35m² (Figuras 16 e 18), com a orientação da fachada principal para o sul-sudeste, com número de habitantes igual a dois, pé direito de 2,60 m, cumeeira com 3,20 m de altura. As cobertas são de telha cerâmica e do tipo duas águas com o beiral de cerca de 0,50 m e não há forro. As paredes da primeira casa foram construídas com blocos de concreto (Figura 13) e a da segunda, com tijolos cerâmicos (Figura 14). Ambas são cercadas com muros, o *layout* interno e as dimensões são semelhantes (Tabela 07).



Figura 13: Blocos de concreto vazado



Figura 14: Tijolos cerâmicos

Tabela 07: Características de forma, dimensões e materiais adotados nas tipologias estudadas

DIMENSÕES	**Casa 1 –BC Alvenaria de blocos de concretos**	**Casa 2 –TC Alvenaria de tijolos cerâmicos**
sala	3,25 m x 2,45 m	2,70 m x 2,86 m
Área Total	5,00 m x 7,00 m	5,40 m x 6,50 m
COBERTURA		
telha	cerâmica vermelha	cerâmica vermelha
espessura	0.01 m	0.01 m
beiral	0.50 m	0.50 m
inclinação	duas águas	duas águas
forro	-	-
estrutura	madeira	madeira
ESQUADRIAS		
porta externa	portão/ metal	portão/ metal
porta interna	madeira compensada	madeira compensada
janela interna	madeira compensada (0,70 x 0,90)	madeira compensada (0,80 x 1,00)
PAREDES		
material	blocos de concreto vazado	tijolos de 8 furos
espessura	0,10 m	0,09 m
revestimento externo	-	Reboco
espessura	-	0,02 m
revestimento interno	-	Reboco
espessura	-	0,02 m
acabamento externo	pintura pigmento de rosa claro	pintura branca
acabamento interno	pintura pigmento de rosa claro	pintura branca
espessura total	0,10 m	0,13 m
PISO		
Material	cimentado	cimentado

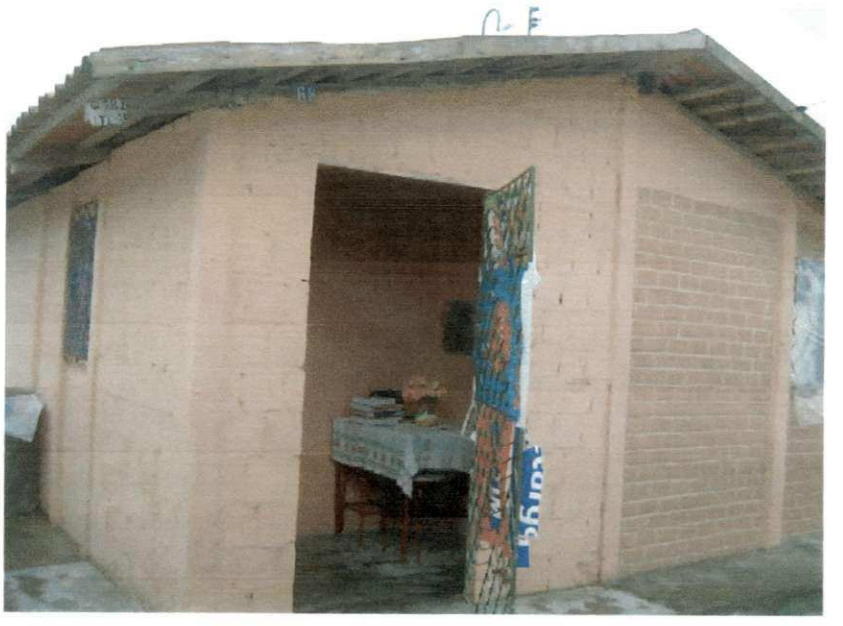


Figura 15: Fachada Principal da Casa de alvenaria de blocos de concretos

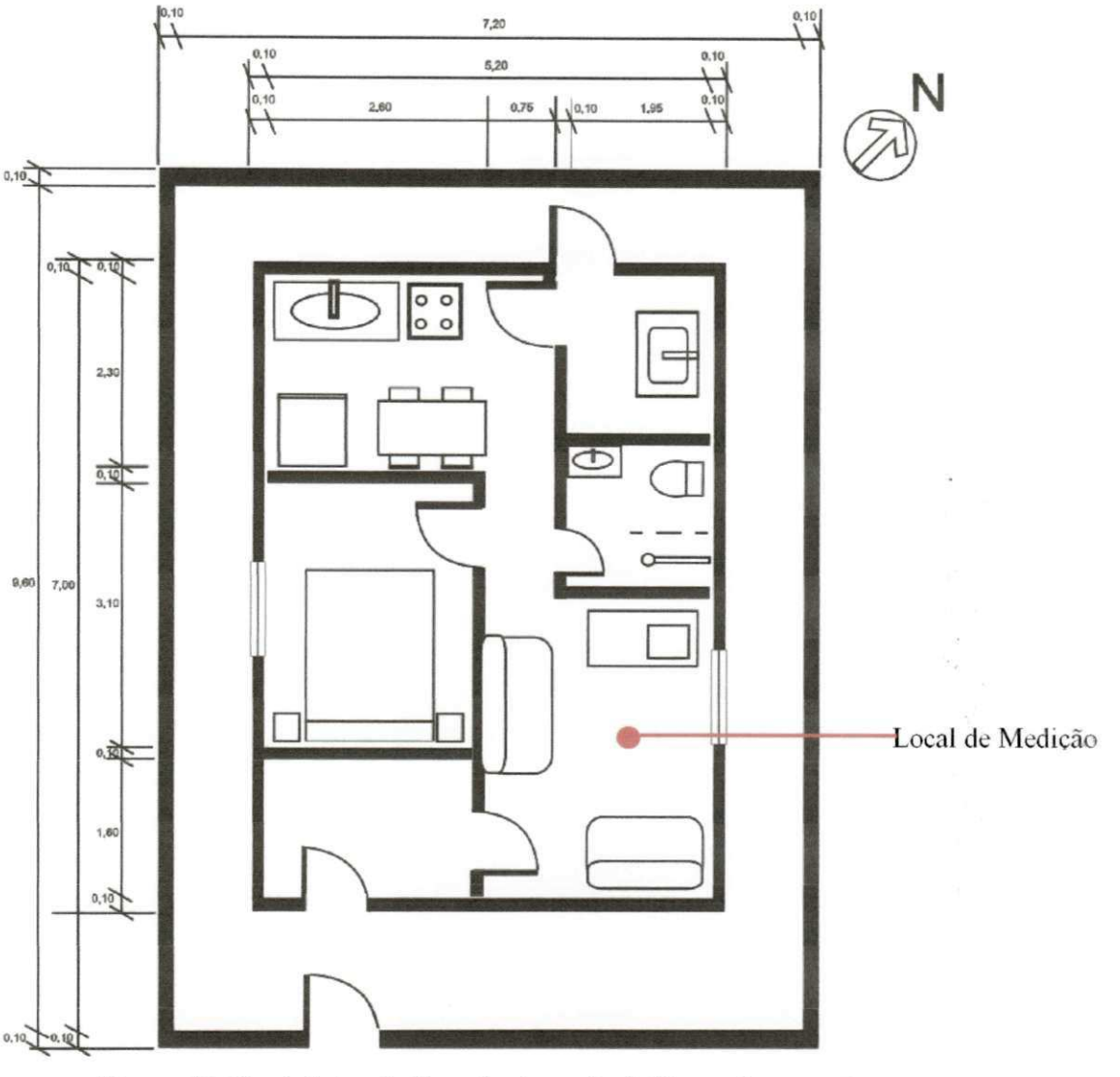


Figura 16: Planta baixa da Casa de alvenaria de blocos de concretos



Figura 17: Fachada principal da casa de alvenaria de tijolos cerâmicos

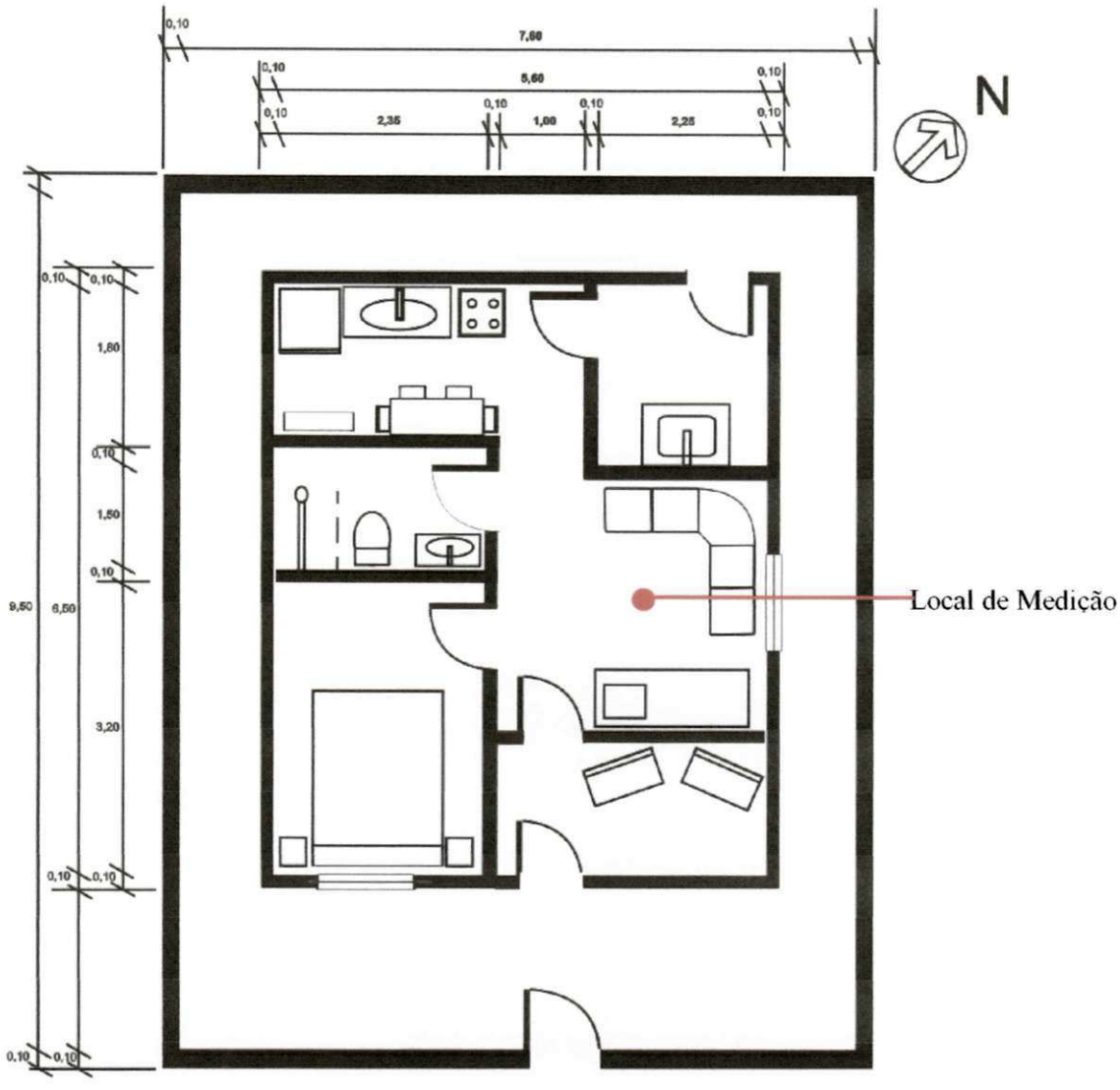


Figura 18: Planta baixa da casa de alvenaria de tijolos cerâmicos

Para a seleção das unidades habitacionais, contactou-se a Companhia de Habitação Popular da Paraíba, que identificou as duas tipologias: sistema em alvenaria em blocos de concreto e o sistema em alvenaria em tijolos cerâmicos.

O experimento foi conduzido no bairro de Bodocongó e na Estação Meteorológica da EMBRAPA-ALGODÃO (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), permitindo a comparação dos dados.

3.1.2 Equipamento de medição no ambiente construído

Para a obtenção dos dados, realizaram-se leituras de temperatura e umidade relativa do ar utilizando o Microdatalogger MDL model 202. As medições de temperatura foram feitas a partir do termostato (TEMP- 02- T 5 mm OD x 152mm) e a umidade relativa do ar, através do sensor de Umidade (RH 25-1 15 mm OD x 203mm). A coleta de dados foi realizada simultaneamente nos ambientes internos e externos no período de chuvas, de 31 de maio a 16 de julho de 2006, e no período de estiagem, de 30 de novembro a 17 de janeiro. Estes períodos foram selecionados por serem considerados os mais frios e os mais quentes do ano.

O datalogger MDL model 202 foi programado para realizar as leituras de temperatura e umidade relativa do ar a cada três horas, já que é o período em que podem ocorrer mudanças expressivas no tempo, segundo a Organização Meteorológica Mundial.

No ambiente interno das casas o equipamento foi instalado no centro da sala (Figuras 19 e 21), a uma altura de 1,60m do piso (Figuras 20 e 22). A sala foi selecionada por ser o ambiente mais utilizado pelos moradores para conversar, assistir televisão e descansar.

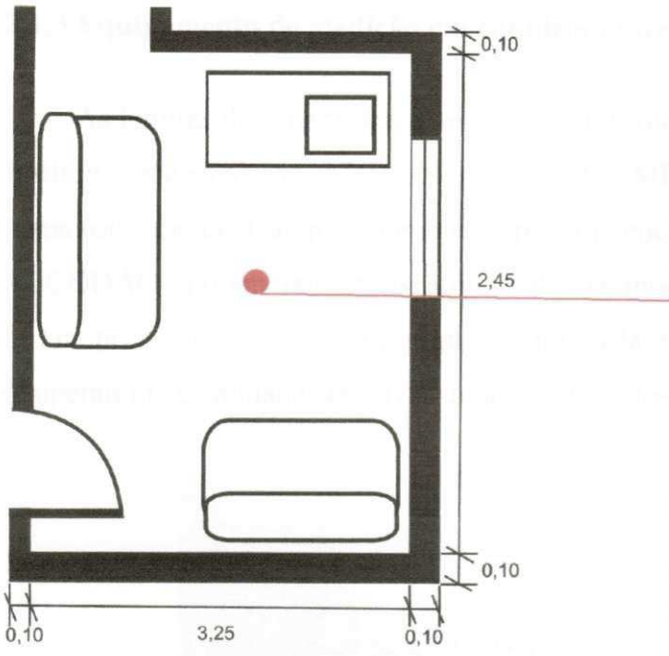


Figura 19: Planta baixa da sala. Local de instalação em vermelho

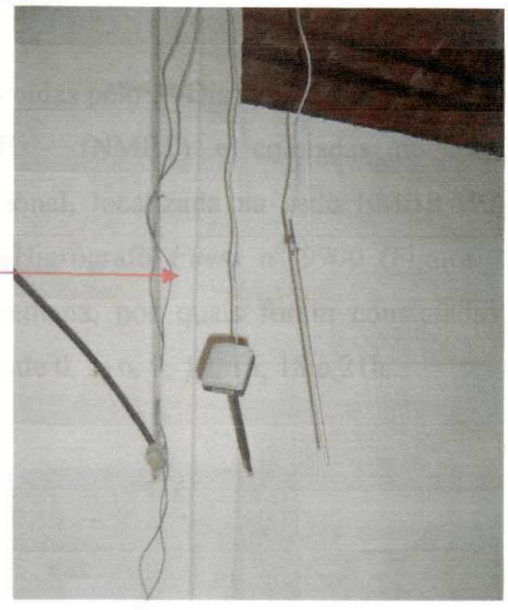


Figura 20: Instalação do Microdatalogger na habitação de sistema em alvenaria em blocos de concreto, a uma altura de 1,60m do piso

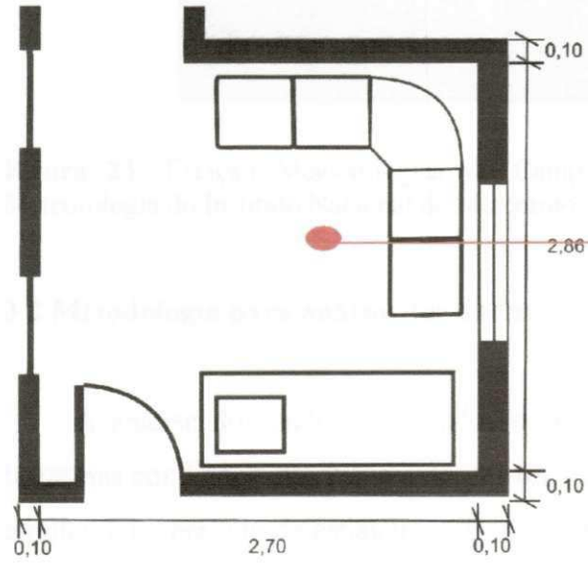


Figura 21: Planta baixa da sala. Local de instalação em vermelho

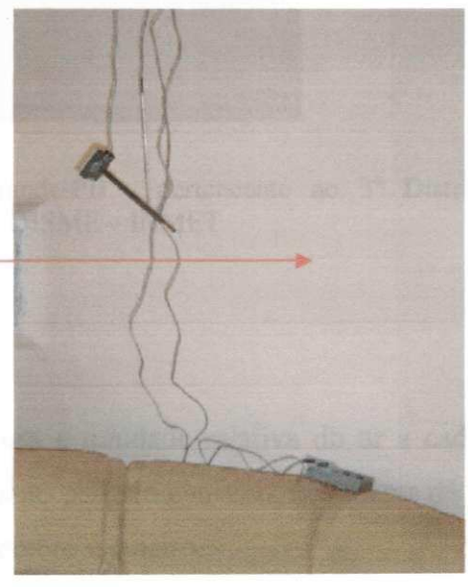


Figura 22: Instalação do Microdatalogger na sala da residência de sistema em alvenaria em tijolos cerâmicos.

o dia 11 de junho de 2006 como característico de céu parcialmente nublado, sem chuvas e com radiação solar direta e difusa; e, 12 de julho de 2006, como dia nublado com pouca incidência de radiação solar direta. Para análise do período de estiagem, os dias típicos selecionados foram: 9 de dezembro de 2006 – dia com sol; 19 de dezembro de 2006 – dia com sol e pancadas de chuva; 04 de janeiro de 2007 – dia com sol parcialmente nublado sem chuva.

Verificou-se, também, se os dados registrados proporcionaram sensação de conforto aos indivíduos, segundo a NBR 6401:1980, nas três condições de análise: ambiente interno da casa de alvenaria em blocos de concreto, ambiente interno na casa de alvenaria em tijolos cerâmicos e nas condições externas.

3.3 Análise estatística dos dados

A análise estatística dos dados foi realizada a partir do programa estatístico ASSISTAT Versão 7.4 beta (SILVA, 2006), em esquema fatorial: 3 condições de ambiente x 47 dias de leituras para a temperatura do ar. Este mesmo procedimento foi realizado com a umidade relativa do ar no período chuvoso e, em seguida, com temperatura do ar e umidade relativa do ar no período de estiagem.

Com o objetivo de comparação dos dados nos períodos chuvoso e de estiagem, foram utilizados os dados de temperatura dos dias característicos em cada período e realizado um esquema fatorial com 3 fatores: 6 condições do ambiente x 6 dias de leituras x 2 períodos. Em seguida, realizou-se o mesmo experimento com os dados de umidade relativa do ar dos dias característicos.

UFCG/BIBLIOTECA

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise do período chuvoso

Inicia-se o estudo com a análise dos dados de temperatura e umidade relativa do ar referente ao período chuvoso, de 31 de maio a 16 de julho de 2006.

4.1.1 Análise da temperatura do ar no período chuvoso

A Figura 24 apresenta o comportamento das temperaturas médias diárias durante os dias analisados no período chuvoso. Constata-se que as tipologias analisadas não produzem, em alguns dias, significativas variações nas médias das temperaturas durante o dia.

Observa-se que o sistema de alvenaria em blocos de concreto assume, em geral, médias de temperaturas menos elevadas do que o sistema de alvenaria de tijolos cerâmicos. Isso poderia indicar que, para essa região, a casa de paredes de blocos de concreto seria mais confortável termicamente. Contudo, ao se observar a Figura 25 da média horária das temperaturas dos horários de leituras, nota-se que, as temperaturas da BC[2] têm seus valores com amplitudes maiores que a TC[3], conseguindo, assim, que seus valores diários de temperatura sejam menores. Porém, o desconforto em algumas horas do dia na BC é mais evidente do que na TC. Considerando o ambiente externo, nota-se que no período analisado os valores de temperatura do ar são menores do que os valores constatados no interior das duas residências.

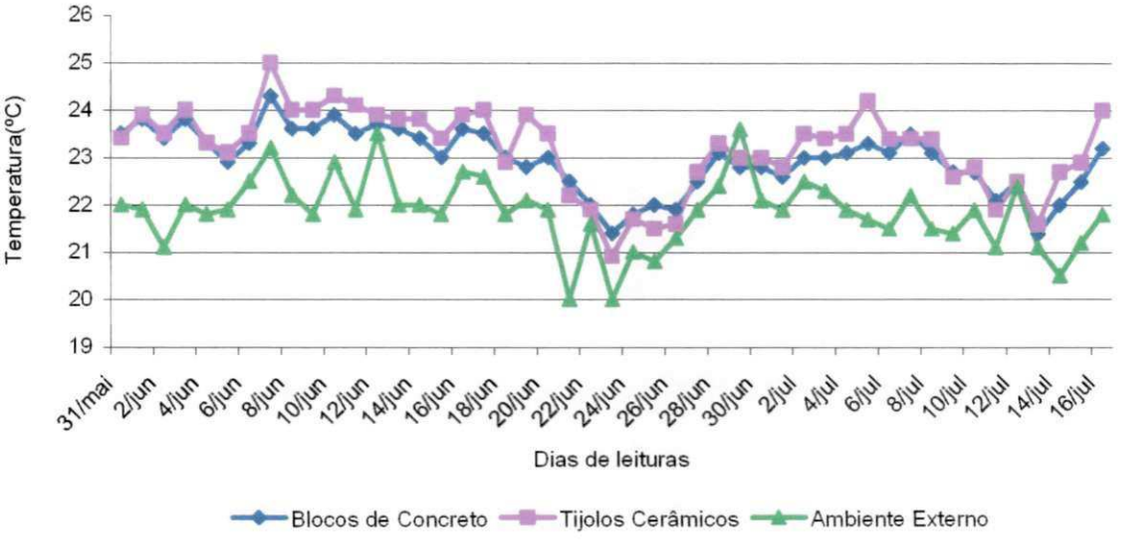


Figura 24: Médias das temperaturas diárias entre os dias 31 de maio a 16 de julho

[2] BC – referente à casa com paredes de blocos de concreto
[3] CT – referente à casa com paredes de tijolos cerâmicos

Na Figura 25 são apresentadas as curvas da temperatura média do ar nos horários de coleta, durante o período analisado nas duas casas e em condições externas. Observa-se que os horários de menores temperaturas registraram-se durante a noite, chegando as mais baixas entre 3:00h e 6:00h e as mais altas entre 12:00h e 15:00h.

Considerando o sistema de alvenaria em blocos de concreto e o sistema de alvenaria de tijolos cerâmicos, verificam-se significativas diferenças de temperaturas dentro do ambiente construído, principalmente quando há maior incidência de radiação solar direta. Assim, observa-se, que a curva apresentada pela BC apresenta uma média de temperatura para o horário de 15:00h de 26,3°C e a TC apresenta uma média de temperatura para o mesmo horário em torno de 25°C. Essa diferença de mais de 1°C ocorre, possivelmente, devido aos tijolos cerâmicos conduzirem de forma mais lenta o calor externo para o ambiente. Esse fato pode ser verificado através dos valores de condutividade da NBR 15220-2:2005, em que a condutividade do tijolo cerâmico ocorre entre 0,70 W/(m.K) e 1,05 W/(m.K) e o concreto ocorre em 1,75 W/(m.K).

Observa-se, também, que, por volta das 6:00h, na TC foi registrada a média de temperatura maior que na BC; em contrapartida, às 12:00h, a temperatura na BC registra média de 26,1°C e na TC se verifica uma média horária de 24,8°C. Pode-se constatar, novamente, que na TC há menor amplitude térmica, menor condução de calor e maior resistência à passagem do calor, demonstrando, assim, o que afirma Hertz (1998): "com maior resistência, haverá menor transferência de calor para o interior e menor ganho de calor".

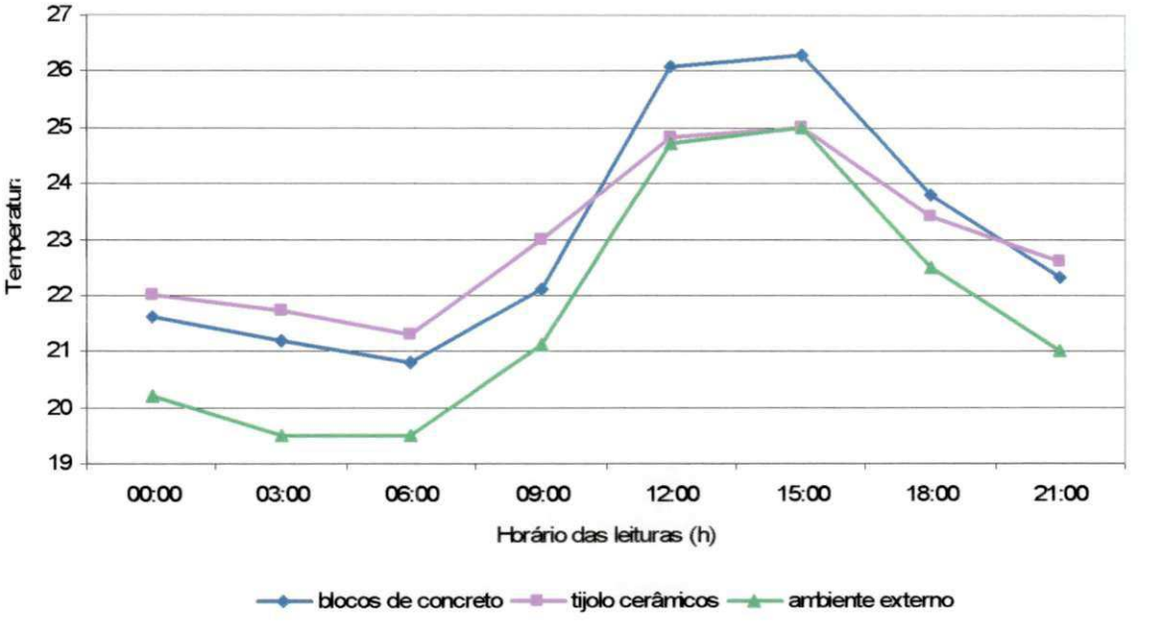


Figura 25: Média Horária de Temperatura entre os dias 31/05/2006 a 16/06/2006

As temperaturas verificadas nas casas de blocos de concreto e de tijolos cerâmicos averiguados nesta pesquisa foram similar aos dados de Barbosa (1997), constatando, assim, que:

> [...] na casa de blocos de concreto, as temperaturas internas se apresentaram numa curva com amplitude maior que as temperaturas externas. Correlacionando com a evolução das temperaturas externas, que se apresentam em elevação, confirma-se uma baixa resistência à passagem de calor do sistema construtivo e a conservação do calor no interior. Nota-se, também, que o atraso é menor que na casa de tijolos cerâmicos.

Comparando as temperaturas internas das casas com as condições externas, observa-se que, quando o ambiente externo tem o menor valor de temperatura, dentro da BC as temperaturas também estão mais baixas, e quando o ambiente externo possui maiores valores de temperaturas, a temperaturas da BC são mais altas. Assim, as temperaturas da BC acompanham as mudanças externas de temperatura com maior facilidade, demonstrando pouca resistência à passagem do calor. Esse fato também é influenciado pela incidência de radiação direta ocorrer com mais intensidade na BC devido à ausência de árvores no entorno da unidade habitacional.

Os altos valores de temperaturas do ar registrados no interior das habitações, mesmo no período chuvoso, são influenciados tanto pelas propriedades dos materiais de construção das paredes, como pelo acúmulo de calor proporcionado pelo telhado, que é a maior área de exposição ao sol, sendo agravado pela inexistência do forro. Assim, como não há anteparos, o calor é diretamente transmitido, ao interior do ambiente e é pouco dissipado devido ao reduzido do pé-direito (Figura 26).

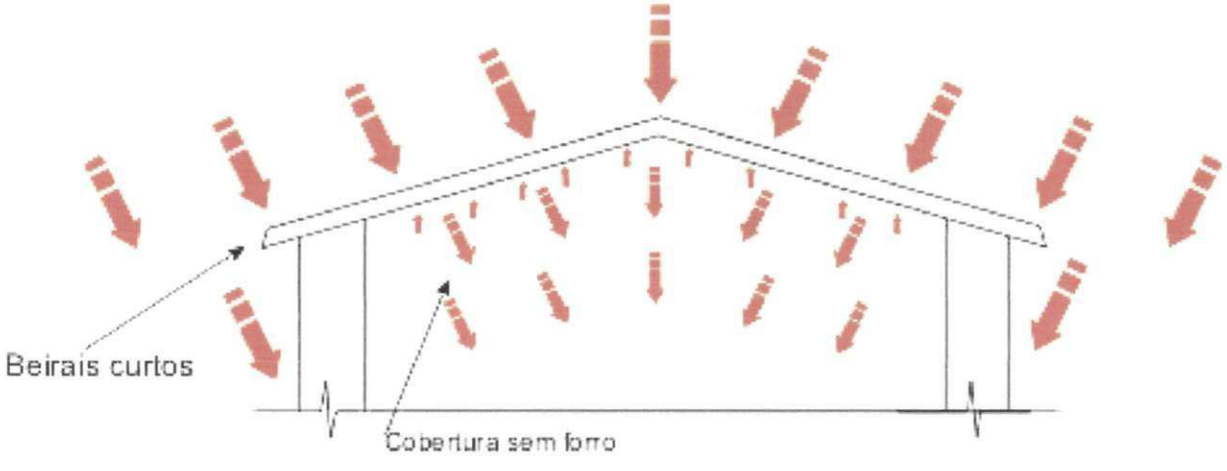


Figura 26: Radiação incidente em habitações com beirais curtos e sem forro

Em se tratando de sensação de conforto, foi estabelecido para o inverno o parâmetro da NBR 6401:1980, que estabelece temperaturas do ar entre 20°C e 24°C para o inverno. Esse limite foi superado tanto na BC como na TC. Na BC as médias dos horários de 12:00h às 15:00h registradas foram, respectivamente, 26,1°C e 26,3°C e na TC foi registrada a média horária de 25°C às 12:00h. Em contrapartida, considerando a avaliação dos usuários moradores da BC, eles afirmaram que, nessa época, o incômodo maior é com relação ao frio durante a madrugada. Esse fato é agravado pelas janelas venezianas, que deixam passar ventilação e umidade, mesmo quando fechadas.

Na Figura 27 são apresentadas as curvas de temperatura do ar do dia 01 de junho de 2006 – dia chuvoso. Observa-se que na BC a temperatura chegou a um valor mínimo de 19,7°C às 6:00h e ao valor máximo de 28,8°C às 12:00h. Comparando com a TC, verifica-se diferenças significativas de quase 1°C, assim o valor mínimo na TC foi de 20,8°C também as 6:00h e o valor máximo 27,1°C também as 12:00h, demonstrando novamente, que o concreto é melhor condutor de calor em relação à cerâmica.

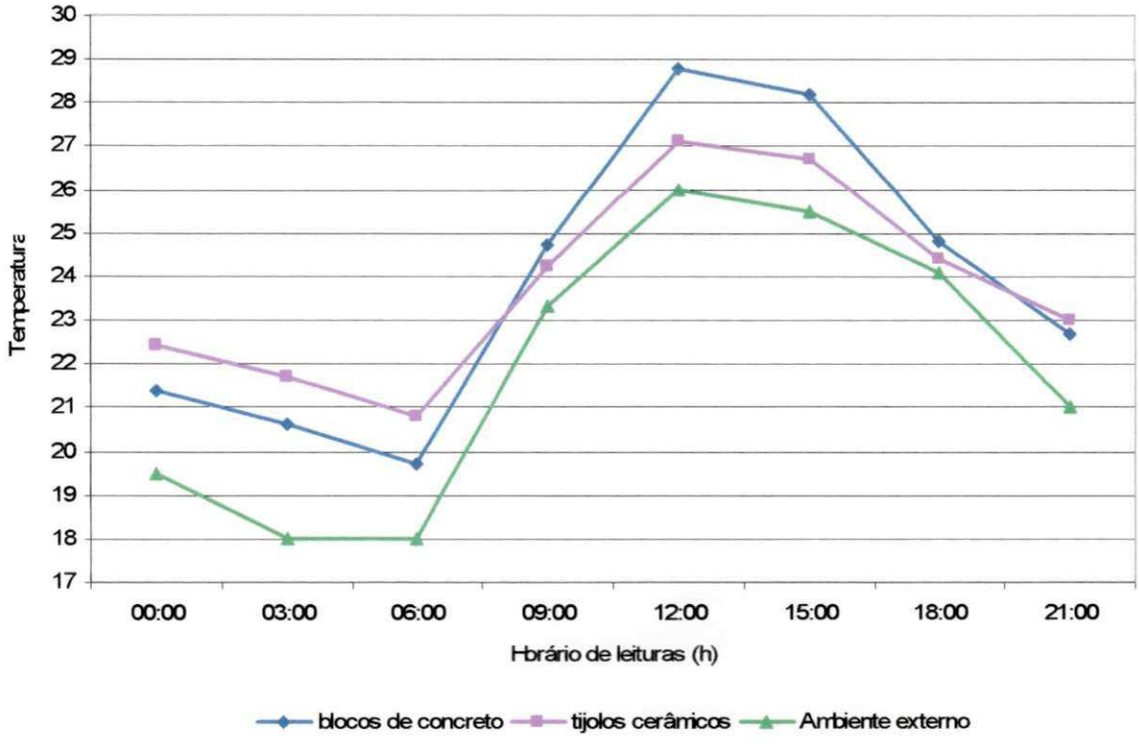


Figura 27: Temperatura no dia 01 de junho de 2006

O acúmulo de calor verificada no interior da casa de blocos de concreto pode ser influenciado pela pouca ventilação cruzada produzida através das portas e janelas das casas. Assim, quando se observa a planta-baixa da BC (Figura 28) nota-se que há uma janela na sala, mas a ventilação na TC, produzida através da disposição da porta frontal e da janela lateral (Figura 29), é mais eficiente, portanto consegue amenizar os valores de temperaturas internos. Já que, segundo Hertz (1998) "a ventilação cruzada pode produzir uma redução aparente na temperatura do ar de 2,5°C".

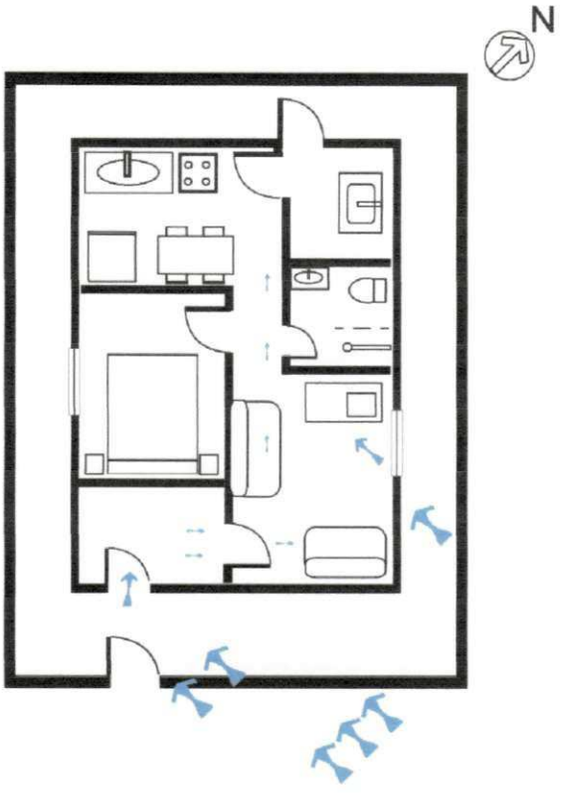


Figura 28: Ventilação no interior da habitação de blocos de concreto

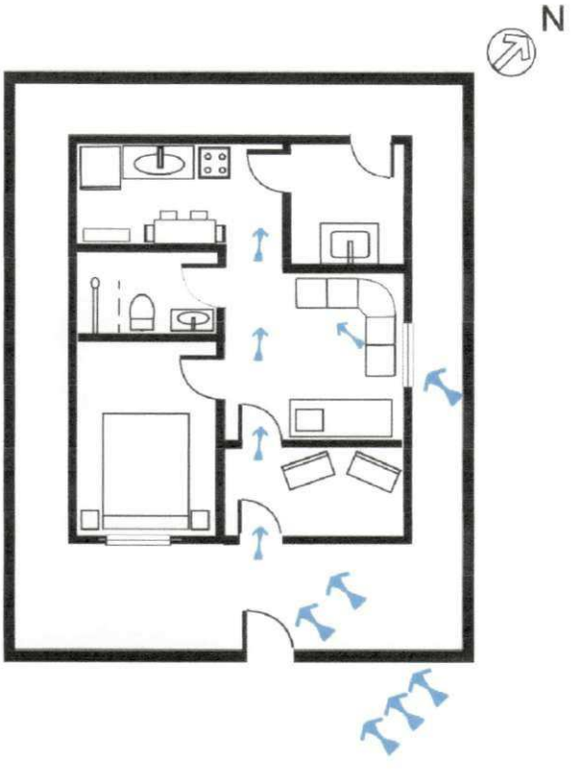


Figura 29: Ventilação no interior da habitação de tijolos cerâmicos

Nota-se, também, que na casa de blocos de concreto a temperatura mínima foi menor e a temperatura máxima constatada foi superiora casa de TC, fazendo com que o ambiente aqueça e esfrie com maior intensidade. Esse fato demonstra, novamente, que mesmo em dia de chuva, havendo incidência de radiação solar direta, a BC terá maiores amplitudes de temperaturas do ar do que na TC.

Em se tratando de sensação de conforto estabelecido pela NBR 6401, foi verificado que no ambiente interno das duas habitações houve horários que ultrapassaram o limite estabelecido, tendo sido constatado com os usuários das duas residências que neste dia, mesmo no período chuvoso, houve incomodo pela sensação de calor.

Na Figura 30, apresenta-se a curva da temperatura do ar entre 0:00h e 24:00h do dia 11 de junho de 2006 – parcialmente nublado com radiação solar direta. Pode-se constatar que às 12:00h a temperatura constatada na casa de blocos de concreto foi de 30,3 °C e na casa de tijolos cerâmicos a temperatura constatada foi de 25,9 °C.

Verificou-se que em dia com radiação solar intensa, a temperatura da BC normalmente apresenta-se mais elevada nos horários entre 7:00h e 17:00h, ocorrendo diferenças na temperatura entre as casas de cerca 4 °C, no horário de maior incidência solar. Conforme constatou Costa (1982), a insolação durante todo o dia contribui com uma parcela substancial do calor absorvida na habitação. Portanto, em regiões com estas características predominantes, os tijolos cerâmicos mantêm a temperatura mais estável, sendo mais recomendado que o bloco de concreto.

Para otimização do conforto térmico nessa região, além da utilização dos tijolos, recomenda-se um pé direito maior, a utilização de árvores no entorno da edificação principalmente no lado oeste para reduzir a incidência de radiação solar direta e a produção de uma ventilação cruzada eficiente.

A incidência de radiação solar direta e a condução do calor pelos blocos de concreto, juntamente com fatores como a pouca renovação do ar, a existência de apenas uma janela no ambiente, o armazenamento do calor através do telhado e do pé direito baixo, contribuíram para amplitudes das temperaturas do ar constatadas principalmente na casa de blocos de concreto.

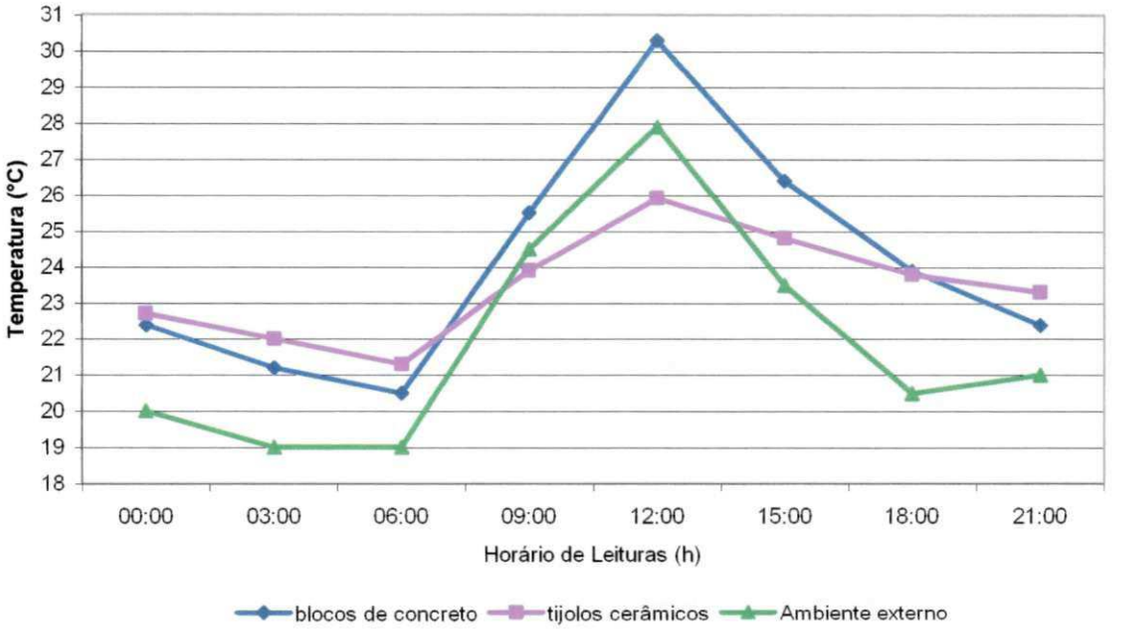


Figura 30: Temperatura nos horários de leituras do dia 11 de junho de 2006

A Figura 31 apresenta as curvas das temperaturas no dia 12 de julho – dia nublado. Verificou-se que estão próximas, com a variação máxima de 0,7°C às 15:00h. Esse fato ocorreu, possivelmente, em virtude de o dia ter sido nublado. Praticamente não se observou radiação solar direta e, assim, nas duas casas as temperaturas constatadas foram similares. Diferentemente do dia 11 de junho de 2006 (Figura 26), notando-se que a BC demonstra maiores amplitudes de temperaturas quando há intensa radiação solar, portanto a radiação solar, os beirais curtos, a inexistência de árvores no entorno e a circulação de ar precária são fatores que contribuem para a diferenciação das temperaturas constatada nas casas analisadas.

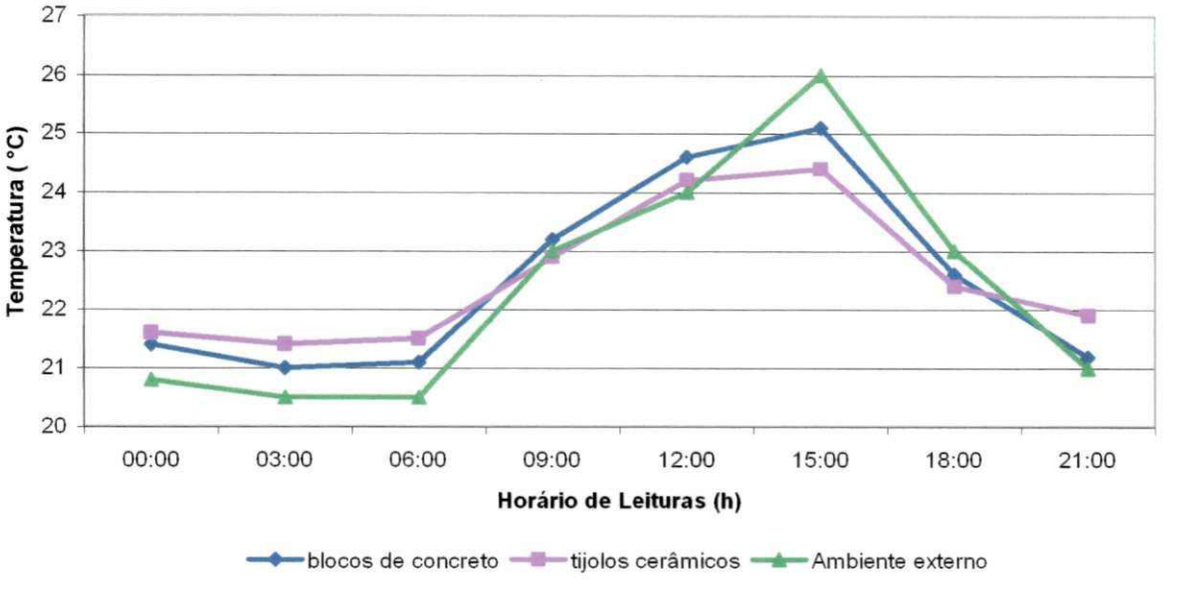


Figura 31: Temperatura nos horários de leituras no dia 12 de julho de 2006

Observa-se pelas Figuras 27, 30 e 31, que a casa de blocos de concreto apresentou maior amplitude térmica e registrou o picos de temperatura entre as 12:00h e 15:00h. Observa-se ainda que entre 11:00h e 15:00h, a temperatura no interior da BC se intensifica; fato também observado por Barbosa (1997): "o sistema não apresenta boa resistência à passagem de calor e permite a intensificação no interior".

Com relação às paredes em tijolos cerâmicos, pode-se observar um atraso na passagem de calor para o interior da residência. Barbosa (1997) afirma que "o tijolo cerâmico apresenta resistência em acompanhar as variações das temperaturas externas".

4.1.2 Análise da umidade relativa do ar no período chuvoso

Nos dias dos meses de junho e julho de 2006 quando a pesquisa ocorreu, observou-se a ocorrência de chuvas em Campina Grande. Em conseqüências, maiores umidades relativas foram medidas neste período como podem ser visualizadas na Figura 32.

O comportamento da umidade relativa do ar é, normalmente, inverso à temperatura, assim, quanto maior a temperatura, mais baixa será à umidade. "A umidade relativa do ar diminui com o aumento de temperatura, visto que, para o ar quente, o ponto de saturação é mais alto" (Romero, 2000).

Em Campina Grande, nos meses de junho e julho de 2006, verificou-se, nos dias de análise, um aumento na concentração de vapor d'água em virtude das chuvas que ocorreram nesses meses, havendo, portanto aumento na umidade relativa do ar.

Na Figura 32, são apresentadas as curvas da média diária de umidade relativa do ar. Observa-se que na casa de blocos de concreto a umidade relativa do ar é menor do que na casa de tijolos cerâmicos e das condições externas; nota-se que na BC há menor permanência de vapor d'água no interior do ambiente, demonstrando que ocorre a passagem do calor e, em função disto, ocorre a diminuição da a umidade relativa do ar.

Com relação ao comportamento da umidade relativa do ar em condições externas, pode-se verificar que entre os dias 21 e 28 de junho e entre 10 e 12 de junho houve picos de umidade relativa em virtude de pancadas de chuvas. Este fato, provavelmente, refletiu na sensação de conforto no interior das casas, pois as alterações que ocorrem no exterior são repassadas para no interior.

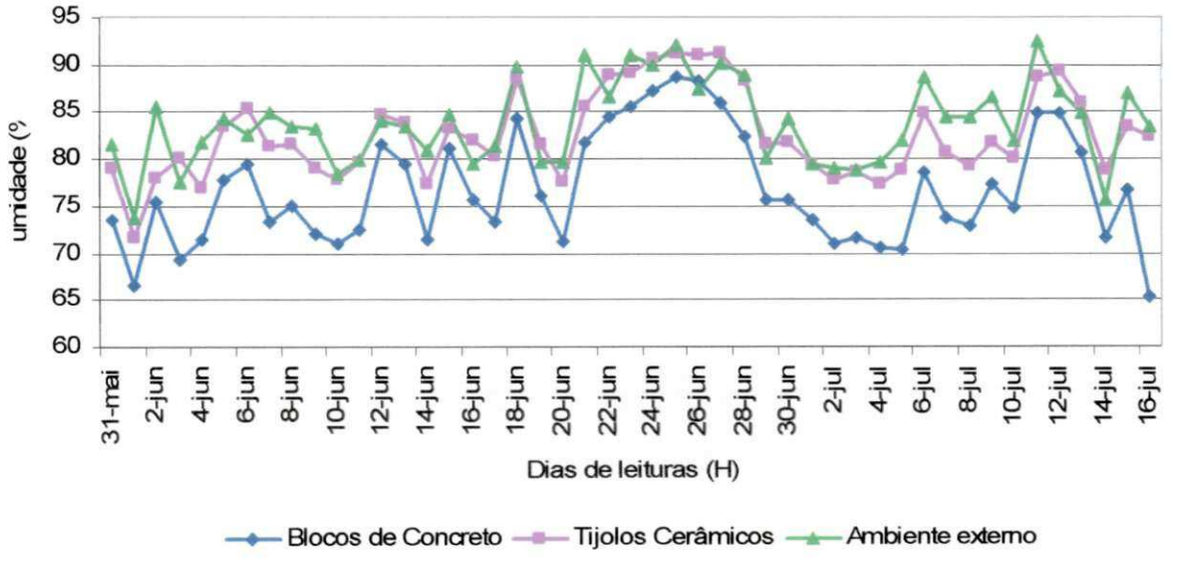


Figura 32: Média Diária da Umidade Relativa entre os dias 31 de maio e 17 de julho

Observa-se na Figura 33 que a média horária da umidade relativa do ar registrada se manteve acima dos 70%, exceto entre 12:00h e 15:00h. Pela NBR 6401:1980, que estabelece para umidade relativa do ar o intervalo entre 30 e 70%, pode-se verificar a sensação de desconforto hídrico provocada pelo acúmulo de umidade no ambiente. Esse comportamento foi também verificado por Lima (2006), ao afirmar que em Campina Grande no mês de julho "a média dos horários está acima da zona adotada como confortável em relação à umidade relativa do ar."

Observando as tipologias das casas, verifica-se que os portões de grades abertas, a cobertura sem forro e as janelas venezianas são elementos que contribuem de forma acentuada para que os elevados valores de umidade relativa do ar encontrados no ambiente externo sejam reproduzidos para interior das residências, principalmente durante a noite e a madrugada.

Obtiveram-se os menores valores de umidade relativa do ar na casa de blocos de concreto, comparando-se com os valores da casa de tijolos cerâmicos, tanto que em torno das 12:00h às 17:00h horas a umidade está dentro do limite estabelecido pela NBR 6401:1980. Nota-se, portanto, o mesmo diagnóstico da temperatura, observando que o bloco de concreto transmite o vapor d'água mais rapidamente, fazendo com que o ambiente seja rapidamente aquecido e assim diminuindo a umidade relativa do ar encontrada no ambiente construído.

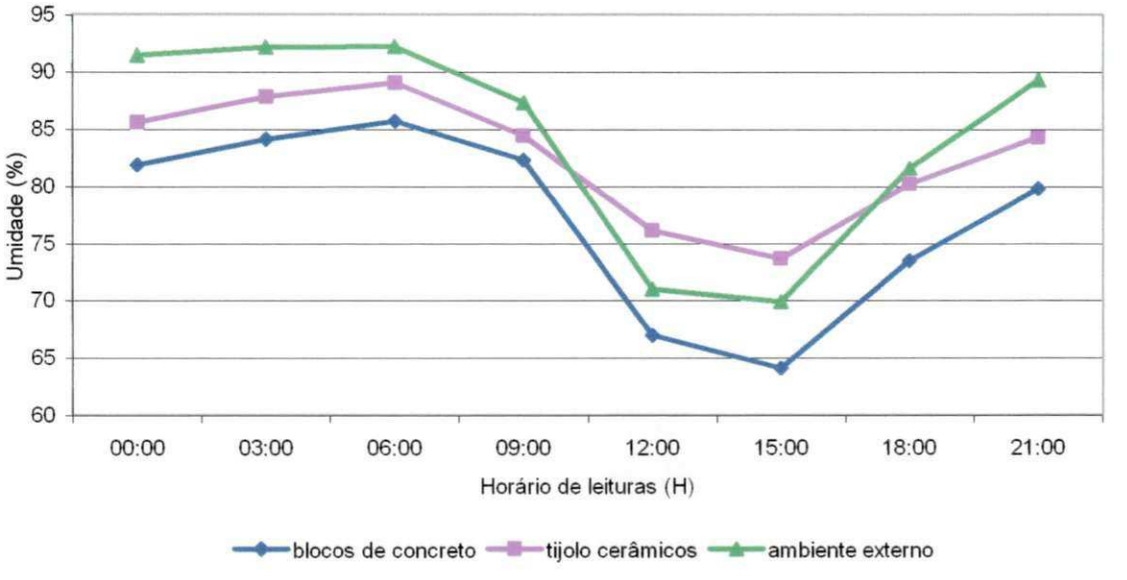


Figura 33: Média Horária da Umidade Relativa do ar entre os dias 31 de maio e 17 de julho

Para análise dos dias característicos, assim como foi realizado com a temperatura, também foram considerados os dias 01 de junho de 2006 – dia chuvoso; 11 de junho de 2006 – dia parcialmente nublado e sem chuva e 12 de julho de 2006 – dia nublado sem chuva.

Na Figura 34 são representadas as curvas de umidade relativa do ar no dia característico 01 de junho de 2006 – dia chuvoso. Pode-se verificar que na BC são demonstradas variações nos valores de umidade relativa do ar, chegando a registrar cerca de 80% UR por volta das 3:00h e cerca 50% UR às 12:00h. Portanto, a BC tem facilidade de perder o vapor d'água do interior tão rapidamente quanto o aumento dos valores de sua temperatura do ar. Este fato, possivelmente, está relacionado com a intensidade de radiação solar absorvida e conduzida através das paredes de blocos de concreto, da cobertura sem forro e das janelas e portas. Na casa de paredes de tijolos cerâmicos, os picos de umidade relativa do ar são menores. Constatou-se, também, que há uma queda brusca por volta das 12:00h, mas os valores registrados ainda são inferiores ao da BC.

Neste dia, a sensação de conforto higrotérmico estabelecido entre 30 e 70 % pela NBR 6401:1980, foi verificado entre os horários de 7:00h às 21:00h. Constata-se, também, que a umidade relativa do ar externa chega a 92% UR, assim como uma diminuição brusca para 50%UR às 12:00h, possivelmente provocando sensação de desconforto devido a oscilação.

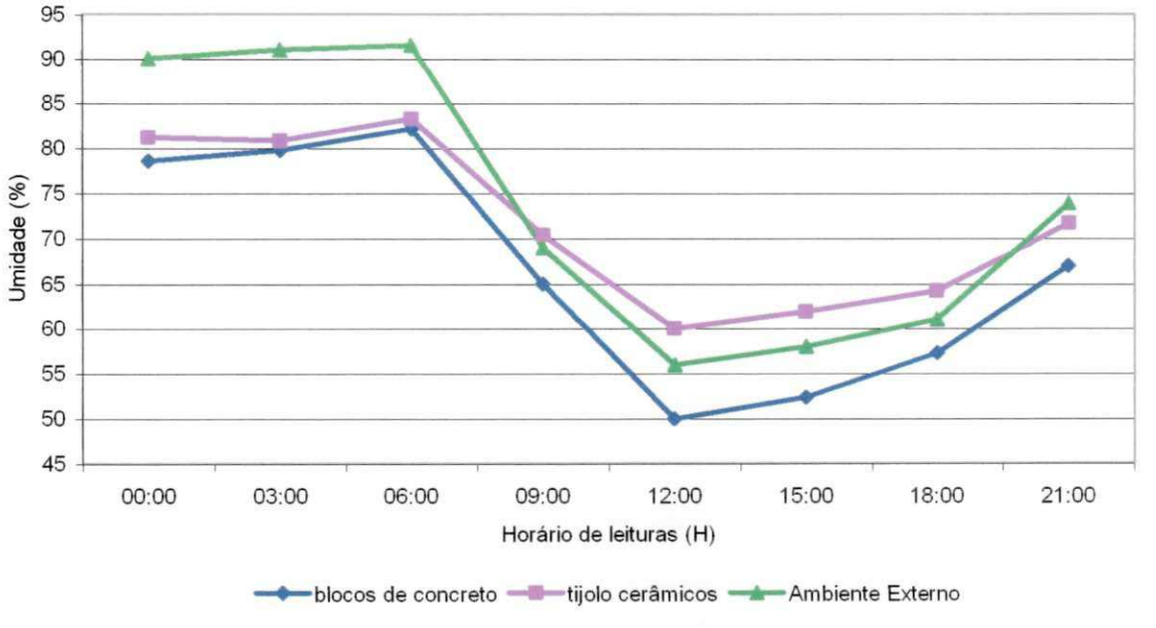


Figura 34: Umidade relativa do ar no dia típico 01 de junho de 2006 - dia chuvoso

Abaixo, na Figura 35, o dia típico 11 de junho – parcialmente nublado, possui momentos com sol, momentos nublados sem ocorrência de chuva. Pode-se observar, devido a diferença de umidade relativa do ar por volta das 12:00h, que possivelmente se obteve alta incidência de radiação solar. Desse modo, verificou-se que a casa de blocos de concreto obteve seu menor valor de umidade relativa do ar no período chuvoso analisado, em torno de 49% UR e que, no mesmo momento, a casa de tijolos estava com cerca de 66% UR, em função, principalmente, de maiores valores de temperatura do ar no ambiente interno da BC, demonstrando, assim, a relação inversa entre a temperatura do ar e umidade relativa do ar, portanto quando há o aquecimento no interior das residências, sendo registrado altos valores de temperatura, há o registro de baixos valores de umidade relativa do ar. Verificou-se, portanto, que a possibilidade de a umidade relativa do ar assumir valores inferiores na BC é maior, devido ao calor externo ser conduzido mais facilmente através das paredes de blocos de concreto, da cobertura sem forro e da disposição de portas e janelas. A sensação dos moradores nesta condição resulta, possivelmente, em desconforto, pois perdem água do corpo para o ambiente.

Com relação ao comportamento da umidade relativa do ar na casa de tijolos cerâmicos, pode-se perceber uma menor amplitude de valores de umidade relativa do ar, estando das 7:00h às 21:00h dentro da faixa de limite estabelecida pela NBR 6401:1980.

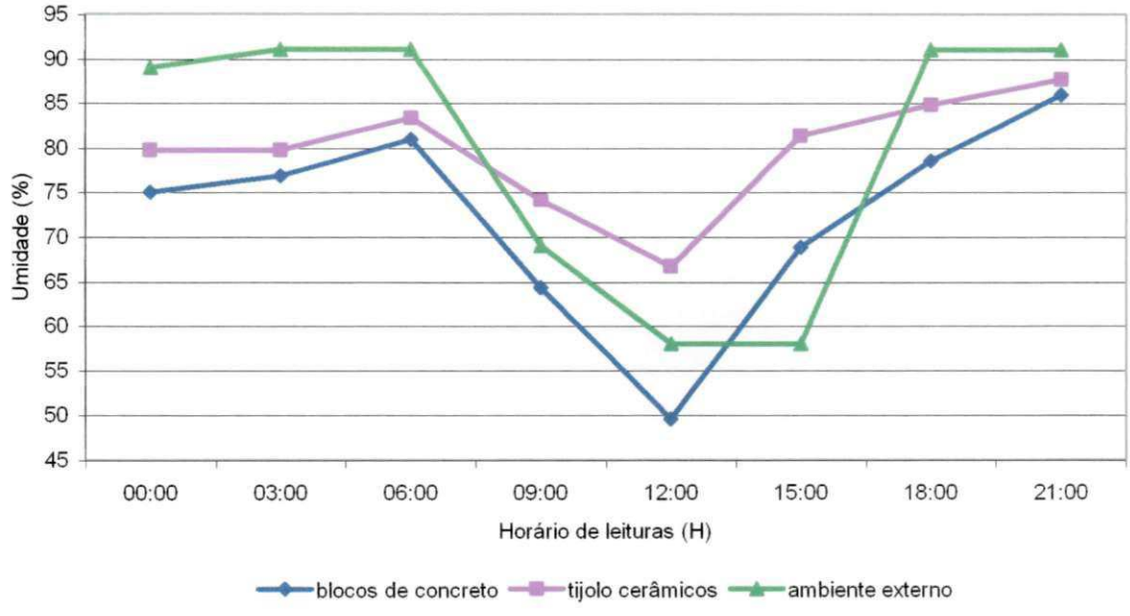


Figura 35: Umidade relativa do ar no dia típico 11 de junho de 2006 – dia parcialmente nublado

Na figura 36 está representado o dia característicos 12 de julho de 2006 – dia nublado, em que não se obteve momentos de intensa radiação solar. Assim, verificam-se altos valores das médias horárias de umidade relativa do ar durante o dia, contudo a maior umidade relativa do ar foi obtida dentro da casa de tijolos cerâmicos.

Neste dia obtiveram-se valores de umidade relativa do ar mais próximos nas três condições de ambientes analisados. Na casa de BC, mesmo com pouca incidência de radiação solar direta, em virtude do dia nublado, verifica-se uma maior amplitude na umidade relativa do ar, chegando a 73% UR, por volta das 15:00h.

Com relação às condições externas, observam-se curvas similares com a TC entre 0:00h e 10:00h e, depois, uma diminuição brusca entre 11:00h e 19:00h. Possivelmente, em dia de radiação solar direta, a curva da BC estaria assumindo valores inferiores por volta das 15:00h, como se vê na Figura 36.

Os altos valores de umidade do ar também são influenciados pelo fato de ter sido um dia em que as janelas e portas se mantiveram fechadas, não tendo contribuído para a renovação do ar dentro do ambiente.

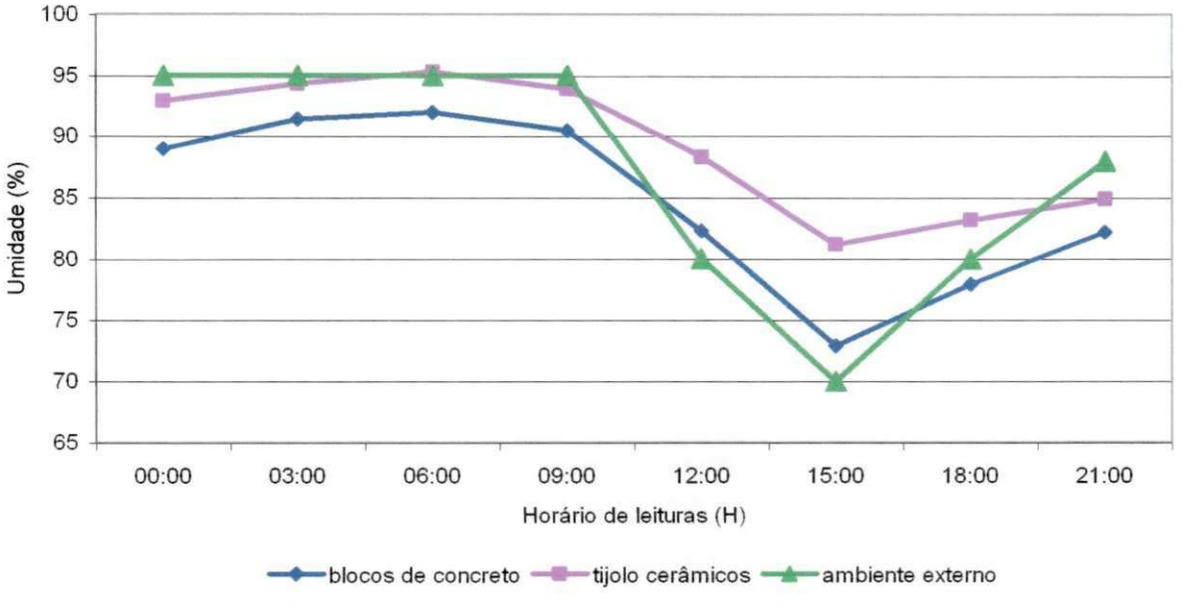


Figura 36: Umidade relativa do ar no dia típico 12 de julho de 2006 – dia nublado

4.2 Análise do período de estiagem

No período de estiagem também foi realizada a avaliação das condições ambientais externas e internas e dos valores de temperatura e umidade relativa do ar.

4.2.1 Análise da Temperatura do ar no Período Estiagem

Apresenta-se na Figura 37, as médias diárias de temperatura do ar entre os dias 31/11/2006 e 15/01/2007. As médias diárias de temperatura do ar constatadas na BC obteve valores maiores ou iguais à TC, refletindo assim, o que foi averiguado no item 4.1, onde se observa que, mesmo no período chuvoso, quando as temperaturas são menos elevadas, a BC assume valores de temperaturas do ar maiores quando há incidência de radiação solar direta. Portanto, o material bloco de concreto realiza a transmissão de calor mais rapidamente do que os tijolos cerâmicos, causando o aquecimento interno. Contudo, a média de temperatura do ar constatada na TC e na BC é semelhante, em virtude da amplitude térmica constatada na BC, assim, quando há maior incidência de radiação solar direta, as temperaturas internas na BC estão superiores à temperatura interna na TC. A casa de blocos de concreto consegue aquecer e esfriar mais rapidamente do que a casa de tijolos cerâmicos, esse fato auxilia na sensação de desconforto, conforme Michaloski (2002): "quanto menor a transmitância menor o desconforto por frio ou por calor". Observa-se, também, que os tijolos cerâmicos possuem uma resistência térmica maior e mantêm a amplitude térmica menor, devido ao amortecimento do calor.

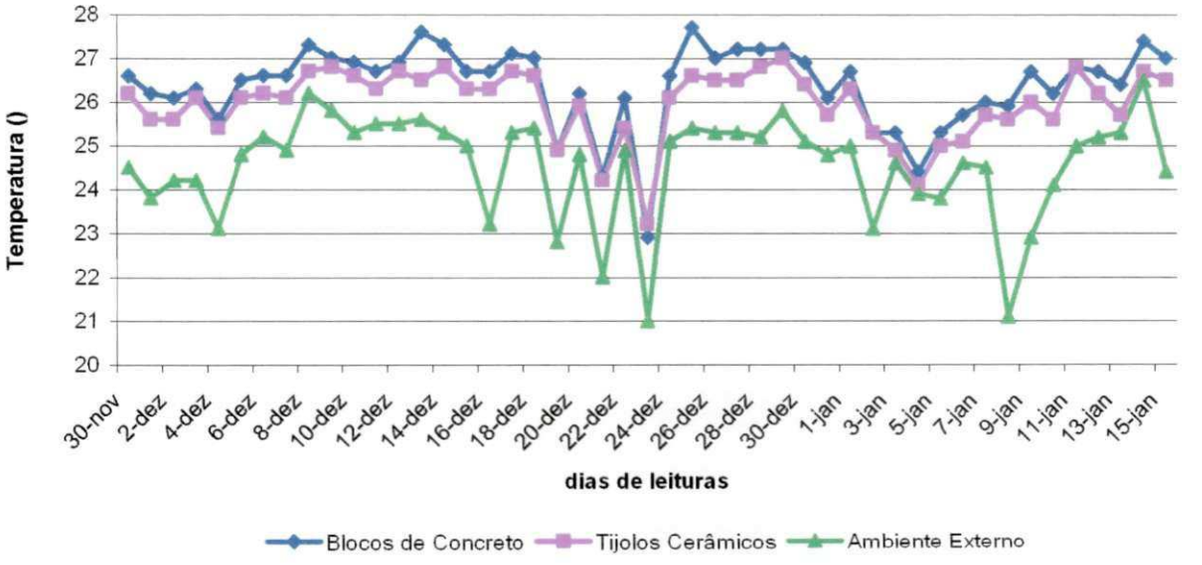


Figura 37: Médias das temperaturas diárias entre os dias 30/11/2006 e 15/01/2007

A Figura 38 demonstra a média horária das leituras do período de estiagem. Observa-se, assim, que entre, os horários 0:00h às 9:00h e 19:00h às 21:00h, as médias de temperaturas constatadas são muito semelhantes, havendo uma diferença de cerca 0,6°C nesses horários entre as duas casas. Já entre 10:00h e 18:00h, a BC tem sua temperatura intensificada, demonstrando diferenças principalmente em torno das 15:00h, assim como observado por Carvalho (2001) e Lima (2006).

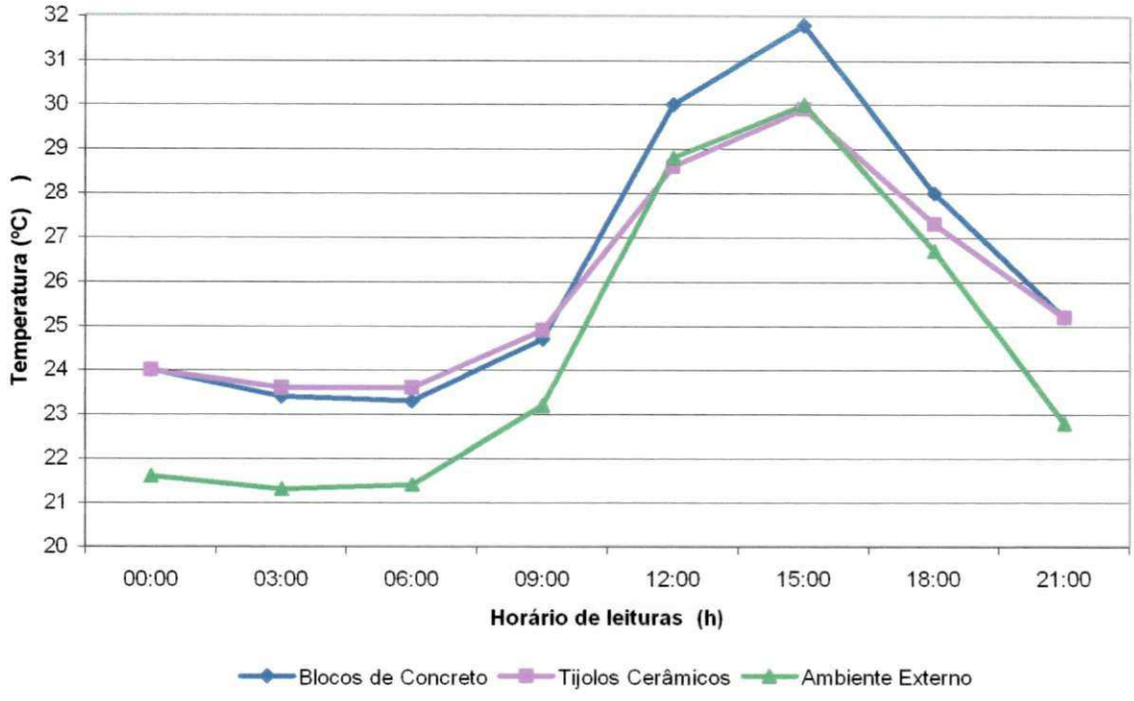


Figura 38: Média Horária da Temperatura entre os dias 30/11/2006 a 15/01/2007

Esse mesmo comportamento foi averiguado com o registro das temperaturas no período chuvoso, tendo assim, novamente se verificado que a BC aquece mais rapidamente, possivelmente devido à radiação solar direta do que a TC. Neste sentido, confirma-se que os tijolos cerâmicos conduzem menos calor para o ambiente e produzem menor amplitude térmica. Barbosa (1997) afirma que no período mais quente a casa de tijolos cerâmicos também apresentou resistência em acompanhar as variações das temperaturas externas. Com relação à casa de blocos de concreto, assim como no período chuvoso, ocorreu que "as temperaturas internas inicialmente coincidem com as temperaturas externas e vão crescendo no interior mais que no exterior" (BARBOSA, 1997).

Os altos valores de temperatura observados no período de estiagem foram influenciados, também, pela incidência de radiação solar direta principalmente na casa de blocos de concreto, devido à inexistência de vegetação em seu entorno (Figura 39). Constatando amplitudes térmicas menores na casa de tijolos cerâmicos, observa-se que em seu entorno há duas árvores de porte médio na face oeste, dificultando a incidência de radiação solar direta nessas paredes durante a tarde que é o horário de maior transmissão de calor (Figura 40).

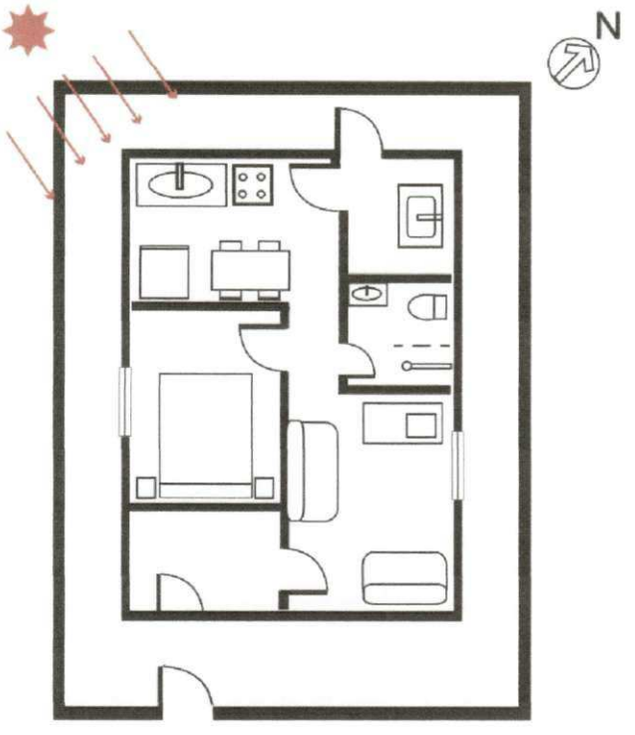


Figura 39: Inexistência de vegetação no entorno da habitação de blocos de concreto facilita a incidência de radiação solar

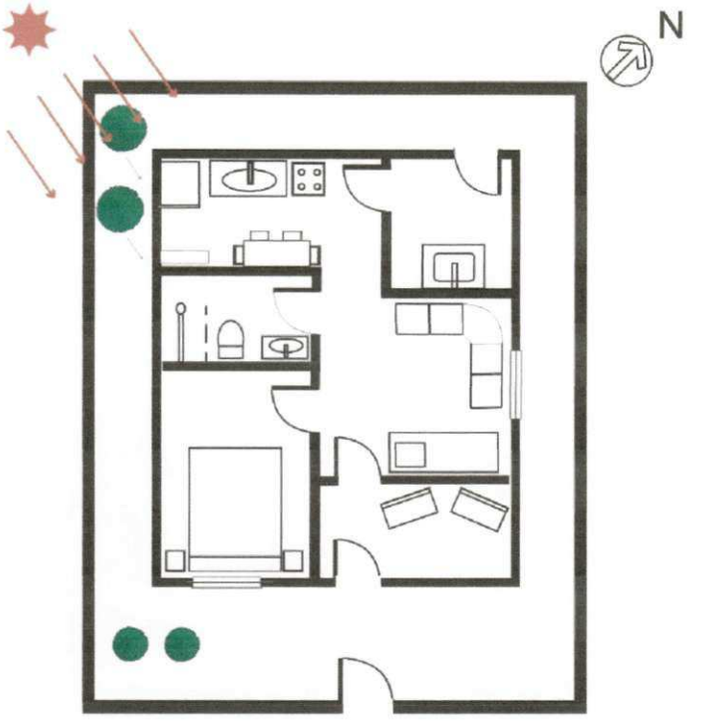


Figura 40: Vegetação no entorno da habitação de tijolos cerâmicos, dificulta a radiação solar direta nas paredes

Pode-se observar, também, que durante a madrugada e a noite, os usuários das residências costumam manter as portas e janelas fechadas e que entre 8:00h e 18:00h as portas e janelas se mantêm abertas. Desta forma, observa-se novamente que a planta-baixa da casa de tijolos cerâmicos proporciona a ventilação cruzada de forma mais natural, sendo mais eficaz na renovação do ar e possivelmente fazendo a circulação do ar quente, não provocando o aumento na temperatura.

Para análise dos dias característicos, foram selecionados os dias: 9 de dezembro de 2006 – dia com sol; 19 de dezembro de 2006 – dia com sol e pancadas de chuva; 04 de janeiro de 2007 – dia com sol, parcialmente nublado, sem chuva.

A Figura 41 demonstra o comportamento da temperatura no dia 09/12/2006 – dia com sol. Nesse dia, a temperatura do ar na casa em blocos de concreto, constatada às 15:00h, foi de 33°C; quando comparada com a leitura realizada na casa de tijolos, constatada em 30,7°C, se verifica um aumento de 2,3°C. Este comportamento demonstra novamente que as temperaturas dentro das duas habitações coincidem inicialmente durante a madrugada e, quando a incidência de radiação solar direta se intensifica, os tijolos cerâmicos conseguem manter temperaturas inferiores, enquanto na BC a temperatura chega ao valor mais alto do dia. Podendo-se, então, verificar com mais nitidez que tijolos cerâmicos amortecem os picos de temperatura, enquanto os blocos de concreto acompanham a temperaturas externas possuindo, assim, uma amplitude térmica maior no interior do ambiente construído.

A NBR 6401:1980 estabelece como sensação de conforto térmico, temperaturas entre 23°C e 26°C para o verão. Durante o período de estiagem, este limite foi ultrapassado neste dia nas duas residências, entre 7:00h e 19:00h. Os altos valores de temperaturas do ar constatados nas duas habitações, principalmente na BC é, também, influenciado pelo formato do telhado, pelo reduzido tamanho da habitação, pelo pé direito baixo e pelas atividades produzidas pelos moradores.

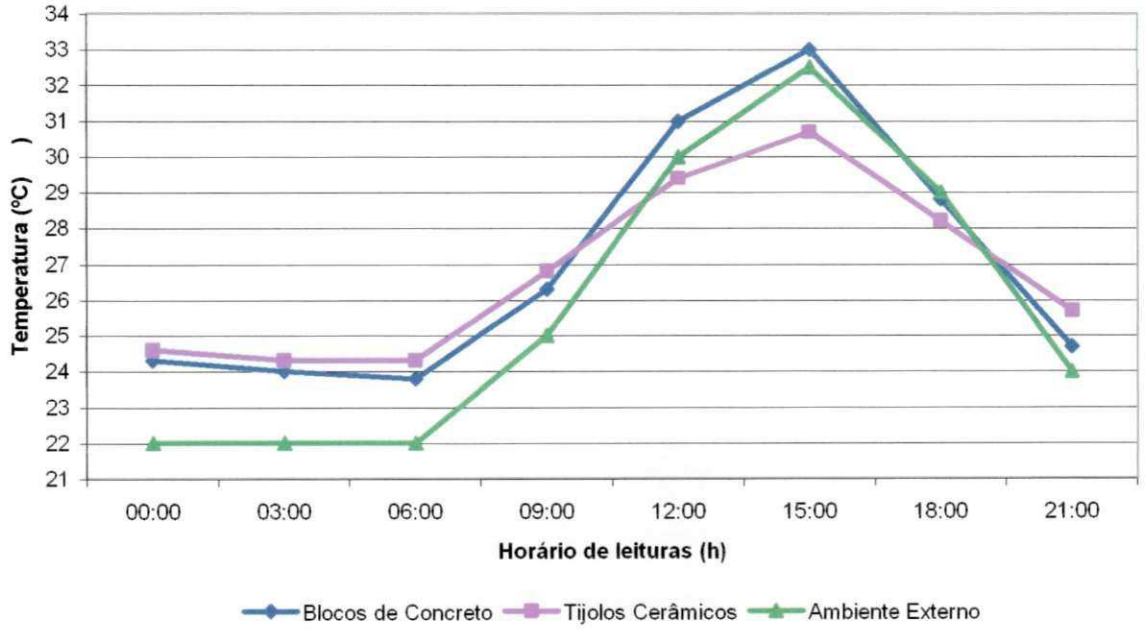


Figura 41: Temperaturas no dia 9 de dezembro de 2006 - dia com sol

A Figura 42 demonstra o dia 19/12/2006, dia com sol e com pancadas de chuva. Neste dia se observa que a temperatura externa constatada às 6:00h foi de 21°C, enquanto no interior das casas a temperatura medida foi de 23,3°C na BC e de 23,5°C na TC. Entretanto, quando a radiação solar direta se intensificou, a BC assumiu a temperatura de 29,3°C, às 12:00h e depois às 15:00h, diminuindo para 25°C. Simultaneamente, na TC, de novo a amplitude foi menor, partindo de 23,3°C às 6:00h, chegando a 28,4°C às 12:00h e, em seguida, às 15:00h chegou a 25,2°C.

Para este dia, o limite entre 23°C e 26°C estabelecido pela NBR 6401:1980 foi ultrapassado entre 10:00h e 14:00h. Esses números estão relacionados com o aumento de intensidade da radiação solar nos horários analisados.

Com relação às temperaturas constatadas nas condições externas, pode-se observar que dentro das residências acompanham a curva da temperatura externa, mas não coincidem. Sendo assim verificado que dentro das habitações as temperaturas assumem valores maiores, devido à manutenção do ar quente existente dentro do ambiente construído ser proporcionado pelo telhado, pelas paredes e por portas e janelas fechadas.

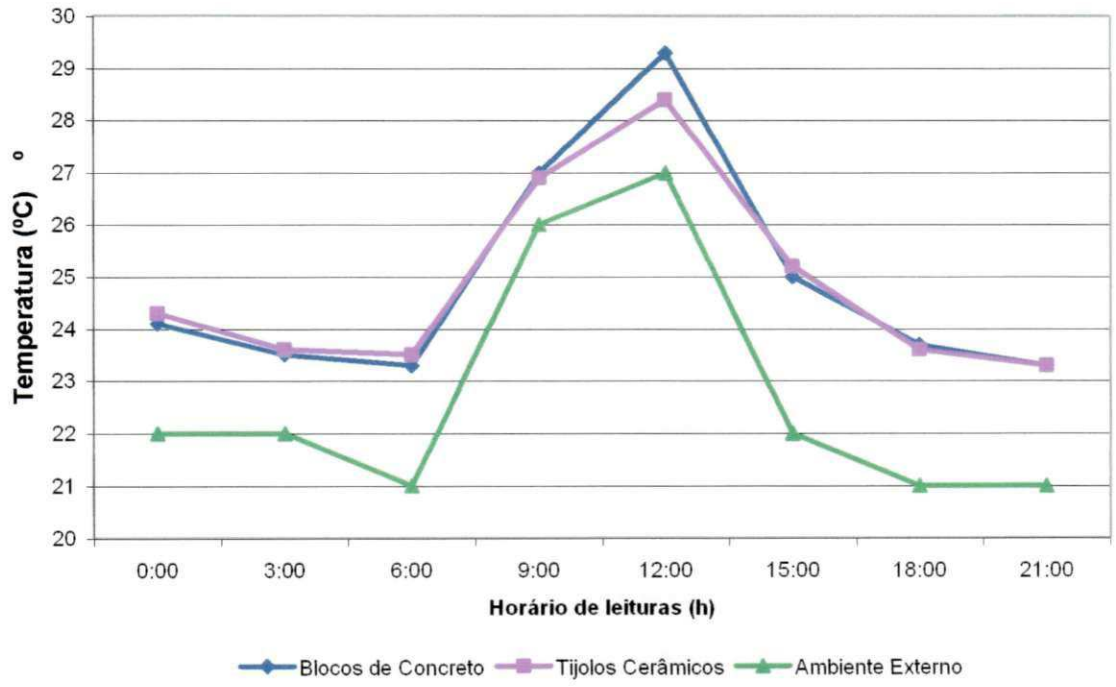


Figura 42: Temperaturas no dia 19 de dezembro de 2006 dia com sol e bancadas de chuva

Abaixo, na Figura 43, são apresentadas as curvas das temperaturas do ar horárias, no dia 04 de janeiro de 2007, dia com sol e parcialmente nublado sem chuva. O dia foi caracterizado por uma amplitude menor quando comparado com os outros dias analisados do período de estiagem, possivelmente em virtude da radiação solar difusa.

Na BC, a temperatura constatada às 6:00h foi de 22,8ºC e, às 15:00h, de 27,4ºC, uma diferença de 4,6ºC. Já na TC, a temperatura constatada às 6:00h foi de 22,8 °C e, às 15h, de 26,6 °C; a diferença foi de 3,8 °C. Mesmo assim, a curva de temperatura constatada nas duas casas se mantém muito próxima na maioria dos horários desse dia, confirmando o fato de que os blocos de concreto possuem uma maior capacidade de transmitir calor para dentro do ambiente quando recebe a radiação solar direta. Portanto, nesse dia, as curvas estão similares em virtude da incidência de radiação solar difusa durante a maior parte do o dia, exceto por volta das 15:00h, com a radiação solar direta.

Dos dias analisados, este foi o que teve a maioria dos horários dentro da faixa de conforto estabelecida pela NBR 6401:1980, mas, ainda assim, produziu picos de temperatura que podem incomodar o conforto térmico dos moradores.

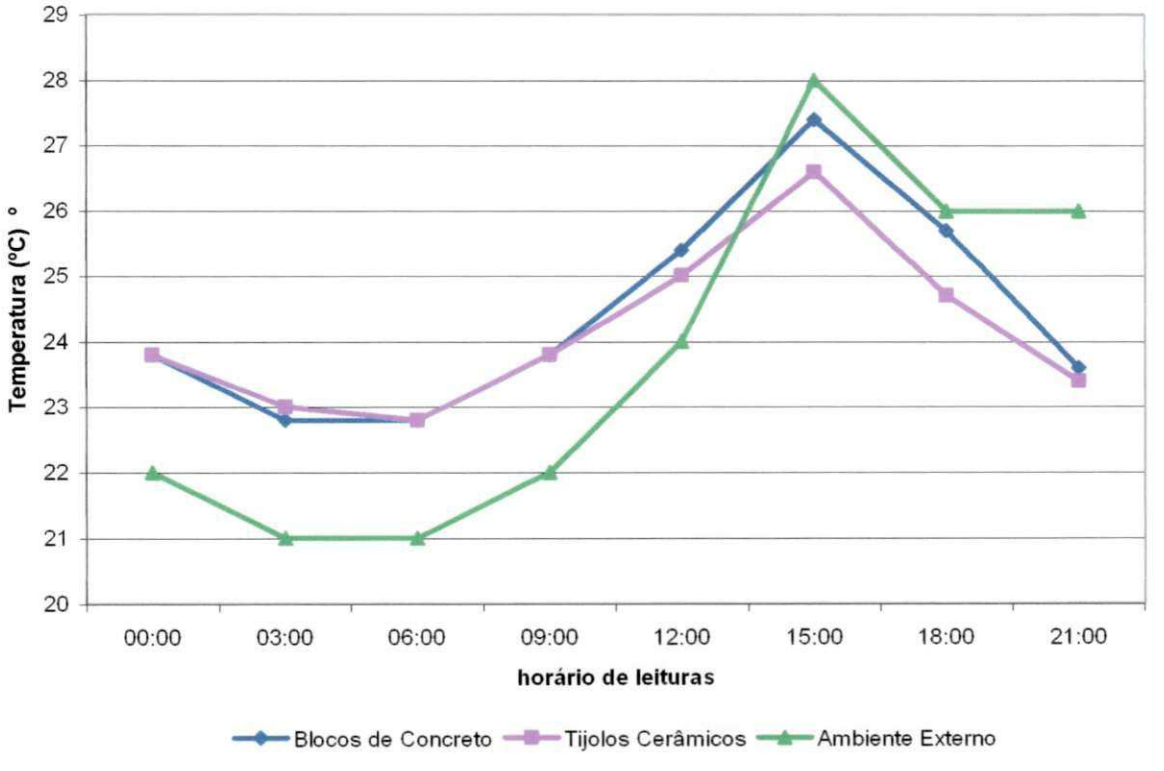


Figura 43: Média Horária da Temperatura no dia 04 de janeiro de 2007 dia com sol parcialmente nublado sem chuva

4.2.2 Análise da umidade do ar no período de estiagem

Na Figura 44 verifica-se a média diária da umidade relativa do ar no período entre 30/11/2006 e 15/01/2007. Nota-se que a umidade relativa do ar externa obteve valores de média maiores do que no interior das casas que, no entanto, são apresentadas com valores muito similares, demonstrando apenas alguns picos na BC, como no dia 6 de dezembro, em que foi constatada a umidade em 58,2%. Com a análise do comportamento da curva, verifica-se que a umidade relativa do ar obteve diminuição nos valores no período de estiagem. A casa de parede de blocos de concreto, no período chuvoso, consegue promover a diminuição do vapor d'água dentro do ambiente mais rapidamente do que a casa de paredes de tijolos.

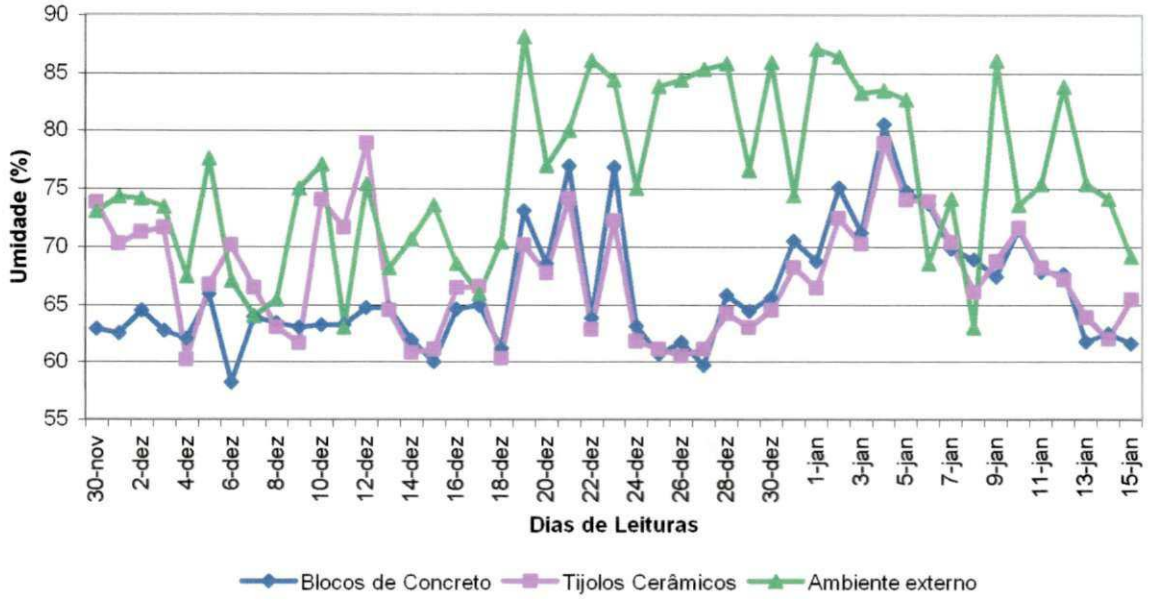


Figura 44: Média Diária da Umidade Relativa entre os dias 30/11/2007 e 15/01/2007

A Figura 45 (página seguinte) apresenta as curvas da média horária da umidade relativa do ar. Observa-se que 43,4% UR foi o menor valor de umidade relativa do ar constatado na BC às 15:00h. Constata-se que a curva da umidade relativa do ar na BC se mantém bem próxima à umidade relativa do ar na TC, mas, entre 11:00h e 16:00h ocorre brusca diminuição nos valores registrados da umidade relativa do ar na BC, possivelmente em virtude de intensa incidência de radiação solar direta. Portanto, dentro da casa de paredes em blocos de concreto há maiores valores de temperatura e menores de umidade relativa do ar nesses horários, que são os de maior desconforto térmico.

Pela norma NBR 6401:1980, o limite para a sensação de conforto estabelecido está entre 30% UR e 70% UR. Verifica-se que na média horária registrada as umidades relativas do ar encontram-se no limite estabelecido entre 8:00h e 21:00h. Diferentemente do que foi registrado no período chuvoso, apesar de a sensação de conforto higrotérmico estar associada aos níveis de temperaturas.

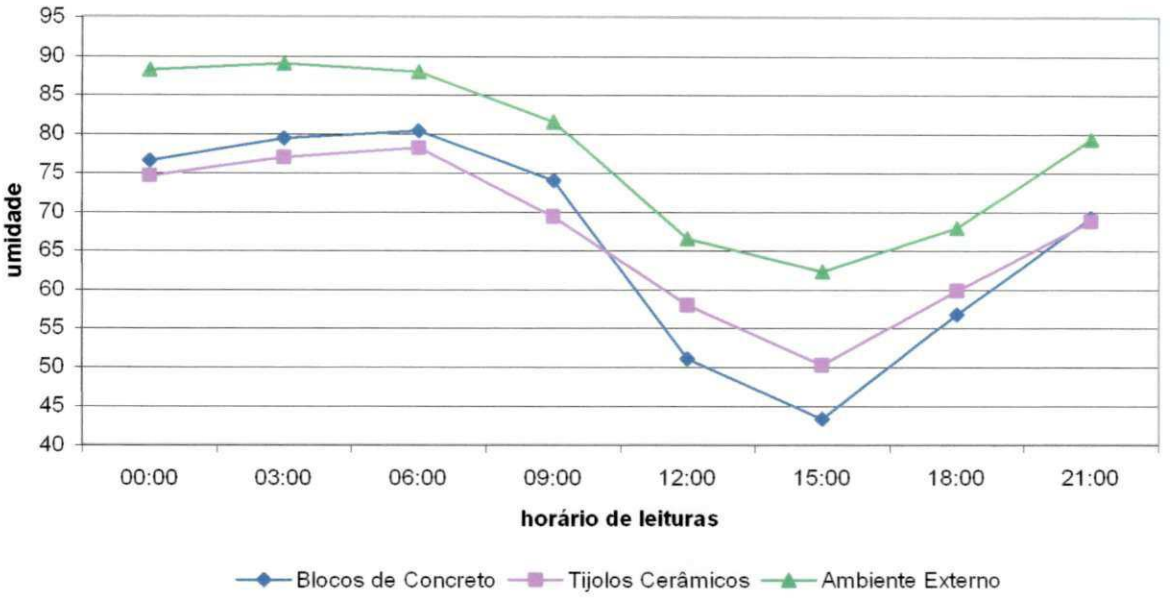


Figura 45: Média Horária da Umidade Relativa do ar entre os dias 30/11/2007 e 15/01/2007

Pela Figura 46 (página seguinte) verifica-se que o dia 9 de dezembro de 2006 – dia ensolarado – foi um dos dias analisados com os menores valores de umidade relativa do ar e com picos no, interior da BC, assumindo os valores de 74,4% às 00:00h, diminuindo bruscamente para 37,2% às 15:00h.

Considerando a NBR 6401:1980, a umidade relativa do ar está dentro dos parâmetros de conforto estabelecido, mas relacionando a umidade relativa do ar com os valores de temperatura do ar registrado neste dia, constata-se que o dia promoveu alta amplitude térmica, chegando a registrar 33ºC na BC e 30,7ºC na TC. Associado estes valores aos baixos valores de umidade relativas do ar, pode-se compreender os motivos de reclamações proferidas pelos morados neste dia, em virtude do desconforto pelo calor.

UFCG/BIBLIOTECA

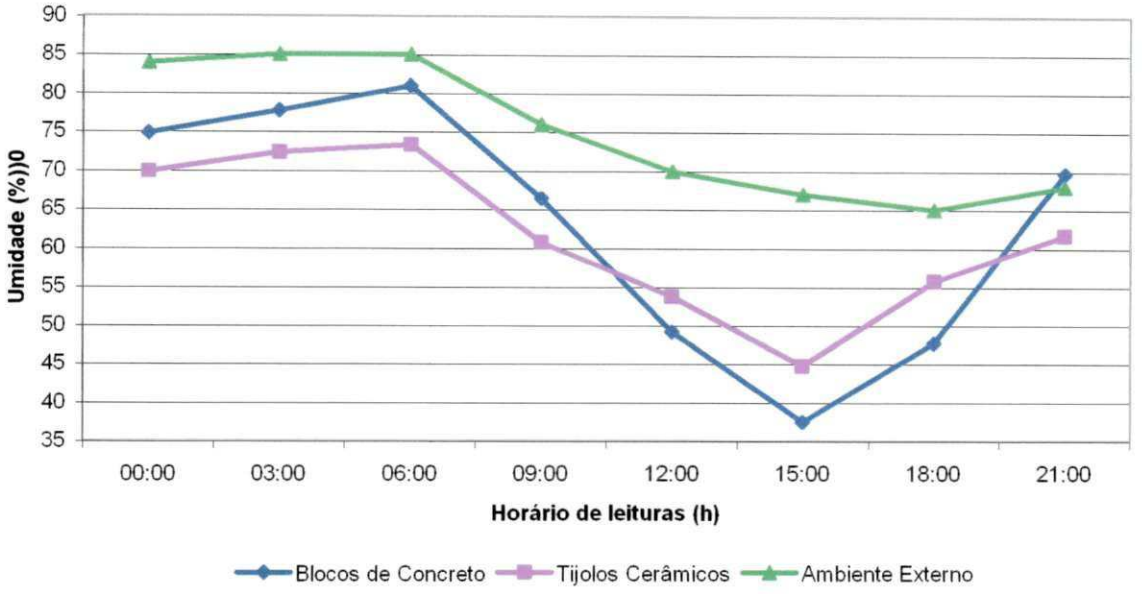


Figura 46: Umidade Relativa do Ar no dia 9 de dezembro de 2006 - dia com sol

Na Figura 47 (abaixo) são apresentadas as curvas da umidade relativa do ar no dia 19 de dezembro de 2006, em que se constata, novamente, que a umidade relativa do ar no exterior assume valores maiores do que no interior das casas. Verifica-se que no interior da BC os valores menores de umidade são entre 0:00h e 9:00h e 15:00h e 21:00 h; ultrapassa o valor de 57,7% registrado na TC no horário do meio-dia, tendo uma diferença pequena de 55,9% . A curva registrada neste dia foi diferente da registrada no dia 9/12/2006, em função de momentos de chuvas e de céu nublado, caracterizando condições ambientais confortáveis, tanto na BC como na TC.

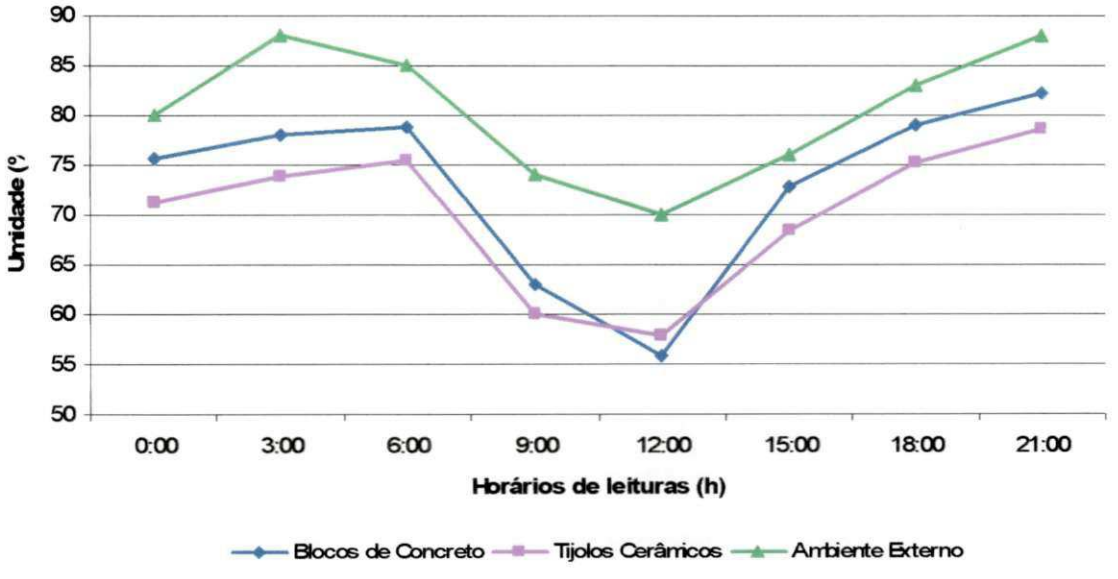


Figura 47: Umidade Relativa do Ar no dia 19 de dezembro de 2006 dia com sol e bancadas de chuva

Abaixo, na Figura 48, são apresentadas as curvas da umidade relativa do ar no dia 04 de janeiro de 2007. Foi constatado que na BC os valores de umidade relativa do ar são maiores do que na TC até às 12:00h durante o dia. Não se verificou umidade relativa do ar menor do que 70%. Obteve-se esse comportamento provavelmente em virtude das pancadas de chuvas e da radiação solar difusa, promovendo pouca condutibilidade de calor para o interior do ambiente.

Com relação ao conforto higrotérmico, nota-se que, neste dia, a umidade relativa do ar assumiu valores acima dos 70% estabelecidos pela NBR 6401:1980. Deste modo, acredita-se que os usuários da casa se sentiam desconfortável em virtude do calor de 27,4°C e 73% no interior da casa de blocos de concreto.

A análise da umidade relativa do ar nos dias de estiagem fez com que pudesse ser verificar que temperaturas muito altas com umidades muito baixas intensificam a sensação de desconforto, conforme afirma Frota e Shiffer (2003):

> A grande diferenciação que o grau de umidade relativa do ar acarreta nas condições climáticas de um local é quanto a amplitude da temperatura diária. Isto equivale a dizer que quanto mais seco for o clima, mais acentuada serão as temperatura extremas.

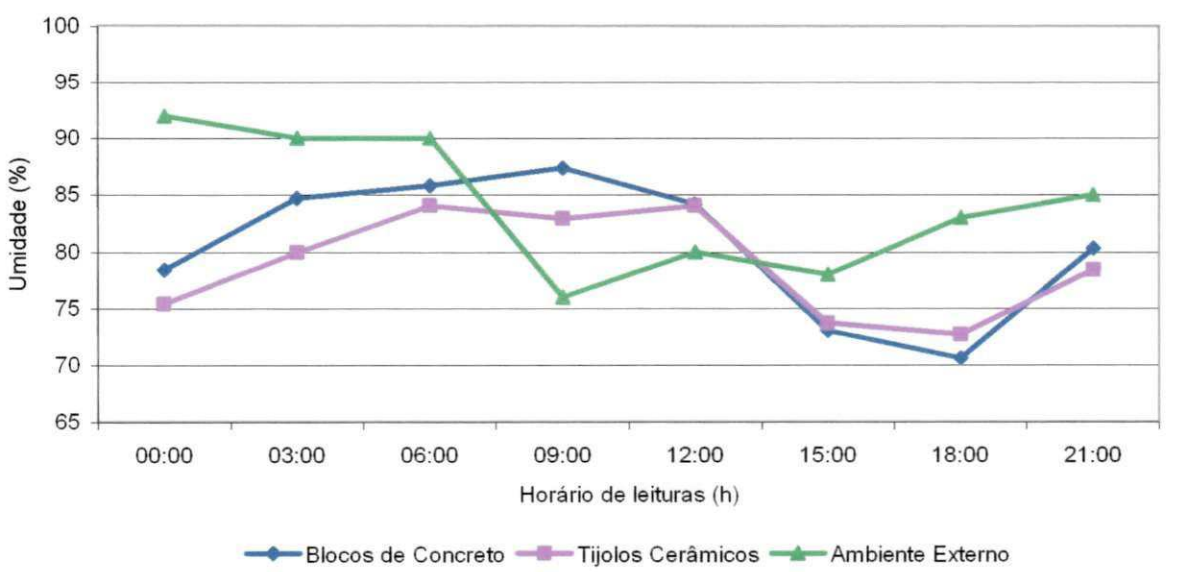


Figura 48: Umidade Relativa do Ar no dia 04 de janeiro de 2007 dia parcialmente nublado sem chuva

Analisando as Figuras 37 a 48, pode-se constatar que as temperaturas externas registradas são menores do que no interior das casas. E com relação aos dados de umidade relativa do ar, nota-se que, normalmente, em condições externas o vapor d'água é maior, por isso as umidades registradas são maiores. Esse fato ocorre, conforme Corbella e Yannas (2003), porque em "ambiente construído, quando ocupado, terá maior temperatura e umidade relativa dor ar que no exterior das edificações, devido à perda de calor e umidade das pessoas, plantas, animais, da cocção de alimentos, da iluminação e dos aparelhos em funcionamento".

A análise no período de estiagem confirma o comportamento dos blocos de concreto averiguados no período chuvoso, isto é, ressalta que a temperatura interna aumenta mais rapidamente na BC quando há incidência de radiação solar direta, sendo melhor percebido no período mais quente. Neste sentido, Michaloski (2002) afirma que:

> A casa de tijolos é a que apresenta valores menores para transmitância de paredes e cobertura. Também quanto ao amortecimento da onda térmica a casa de tijolos volta a apresentar os menores valores para cobertura e paredes.

Desta forma, os dados analisados demonstram que os blocos de concreto transmitem mais rapidamente a radiação solar recebida para o interior do que os tijolos cerâmicos, evidenciando que os usuários das casas de blocos de concreto sofrem mais com o desconforto higrotérmico devido aos picos de temperatura e à diminuição da umidade em alguns horários. Pode-se, também, constatar desconforto térmico com o frio nas madrugadas, devido ao bloco de concreto amortecer pouco as temperaturas e as umidades relativas do ar geradas no exterior da habitação. Assim, mesmo em períodos quentes, num dia que ocorra chuvas a diminuição da temperatura e o aumento da umidade relativa do ar podem provocar desconforto – como ocorreu no dia 04 de janeiro de 2006, em que a temperatura, durante a madrugada, atingiu 22,8°C e umidade relativa do ar de 85,8%. Esses valores, não só ultrapassam a faixa recomenda pela NBR 6401:1980, como aumentam o consumo de energia elétrica para amenizar a sensação de calor.

5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

A análise estatística realizada tere como objetivo avaliar os resultados alcançados quanto ao comportamento da temperatura e umidade relativa do ar no período chuvoso e de estiagem considerando os oito horários de leituras. Inicialmente, realizou-se uma análise estatística com os dados em cada período de análise, utilizando dois fatores: 3 condições de ambiente x 1 período. E, em seguida, realizou-se a interações entre os três fatores: 3 condições de ambientes x 6 dias de análise X 2 períodos.

5.1 Análise estatística para o período chuvoso

A análise estatística dos 47 dias de leituras de temperatura do ar no período chuvoso (Tabela 08) demonstra que houve diferenças significativas a nível de 1% de probabilidade tanto com relação às condições dos ambientes interno e externo, como com relação aos dias em que foi feita a análise. Através de teste estatístico, o material utilizado nas construções avaliadas faz diferença do ponto de vista do aquecimento, podendo trazer conseqüências do ponto de vista de conforto térmico e do consumo de energia. Por outro lado, também, verifica-se que, neste período, os dias com relação ao período de análise demonstram características diferentes, pois a disponibilidade de energia proveniente da radiação solar difere ao longo dos dias e com suas condições, principalmente no que se refere à nebulosidade. Entretanto não houve diferenças significativas na interação entre as condições de ambientes e os dias.

Tabela 08: Análise Estatística da temperatura do ar no período chuvoso

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1(F1)	2	357.22076	178.61038	38.6861 **
Fator2(F2)	46	451.65986	9.81869	2.1267 **
Int. F1xF2	92	99.80674	1.08486	0.2350 ns
Resíduo	987	4556.89250	4.61691	
Total	1127	5465.57986		

Fator 1 = condições de ambiente: casa com paredes em blocos de concreto, casa com paredes de tijolos cerâmicos, ambiente externo. Fator 2 = dias: 31 de maio 2006 a 16 de julho de 2006.
** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p-valor < .01). * significativo ao nível de 5% de probabilidade (p-valor < .05). ns não significativo (p-valor >= .05)

Com as leituras da umidade relativa do ar registrada durante 47 dias (Tabela 09), observou-se que há diferenças estatísticas entre os dados a nível de 1 % de probabilidade tanto entre as umidades relativas do ar no interior dos ambientes e em condições externas, como com relação aos dias de leituras. Porém, não houve diferenças significativas entre os ambientes de coletas e os dias de leituras. Diferenças significativas ocorreram em relação à umidade relativa do ar, evidenciando que estes ambientes podem condicionar o conforto higrotérmico diferentes em ambos os casos.

Tabela 09: Análise Estatística da umidade relativa do ar no período chuvoso

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1(F1)	2	10061.92090	5030.96045	55.8421 **
Fator2(F2)	46	25925.12578	563.58969	6.2557 **
Int. F1xF2	92	2106.02576	22.89158	0.2541 ns
Resíduo	987	88921.44875	90.09265	
Total	1127	127014.52120		

Fator 1 = condições de ambiente: casa com paredes em blocos de concreto, casa com paredes de tijolos cerâmicos, ambiente externo. Fator 2 = dias: 31 de maio 2006 a 16 de julho de 2006.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p-valor < .01). * significativo ao nível de 5% de probabilidade (p-valor < .05). ns não significativo (p-valor >= .05)

5.2 Análise estatística para o período de estiagem

Os dados de temperatura do ar analisados estaticamente durante os 47 dias no período de estiagem (Tabela 10), demonstram que há diferenças estatísticas observadas a nível de 1% de probabilidade entre as temperaturas coletadas no interior das habitações e em condições externas. Porém, com relação aos dias de leituras realizados e na interação das condições do ambiente com os dias, não foram observadas diferenças significativas.

Neste caso, verificou-se que, neste nível de probabilidade, as diferenças estatísticas ocorreram apenas entre os ambientes. Considera-se, portanto, que, por se tratar da época mais quente em Campina Grande, a nebulosidade e as chuvas não influenciaram tanto como na época menos quente e chuvosa.

Tabela 10: Análise Estatística da temperatura do ar no período de estiagem

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1 (F1)	2	655.70502	327.85251	31.3787 **
Fator2 (F2)	46	562.31222	12.22418	1.1700 ns
Int. F1xF2	92	144.91082	1.57512	0.1508 ns
Resíduo	987	10312.42500	10.44825	
Total	1127	11675.35305		

Fator 1 = condições de ambiente: casa com paredes em blocos de concreto, casa com paredes de tijolos cerâmicos, ambiente externo. Fator 2 = dias: 31 de novembro 2006 a 15 de janeiro de 2007
** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p-valor < .01). * significativo ao nível de 5% de probabilidade (p-valor < .05). ns = não significativo (p-valor >= .05)

A análise estatística dos dados da umidade relativa do ar (Tabela 11) demonstra diferenças estatísticas a nível de 1% de probabilidade entre os ambientes de coletas e entre os dias de leituras. Entre as condições de ambiente e os dias de leituras ocorreram diferenças estatísticas a nível de 5% de probabilidade no período de estiagem, diferentemente do que ocorreu com a análise da umidade do período chuvoso. Não foram observadas diferenças estatísticas entre esses fatores. Neste caso, verificou-se, do ponto de vista da umidade relativa do ar, bastante diferença entre os ambientes, assim como pequenas diferenças na temperatura do ar, nesta época, acarretaram efeitos significativos da umidade relativa do ar, embora pequenas alterações nas quantidades de vapor d'água possam contribuir. Por outro lado, verificou-se que a interação ambiente *versus* tempo pode também diferir no que se refere ao campo da umidade.

Tabela 11: Análise Estatística da umidade relativa do ar no período de estiagem

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1(F1)	2	29372.18447	14686.09223	84.2206 **
Fator2(F2)	46	18183.42436	395.29183	2.2669 **
Int. F1xF2	92	21877.14303	237.79503	1.3637 *
Resíduo	987	172109.55125	174.37645	
Total	1127	241542.30311		

Fator 1 = condições de ambiente: casa com paredes em blocos de concreto, casa com paredes de tijolos cerâmicos, ambiente externo. Fator 2 = dias: 31 de novembro 2006 a 15 de janeiro de 2007
** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p-valor < .01).* significativo ao nível de 5% de probabilidade (p-valor < .05). ns não significativo (p-valor >= .05)

5.3 Análise estatística para os períodos chuvoso e de estiagem

Para averiguar as diferenças estatísticas entre os períodos, realizou-se um experimento fatorial com os dias característicos anteriormente selecionados. A análise estatística (Tabela 12) demonstrou que houve diferenças significativas a nível de 5 % de probabilidade entre as condições de ambientes, este fato demonstra, novamente, que o comportamento dos materiais das paredes responde de formas diferentes às condições externas. Também, foi verificado que entre os dias de análise dos períodos mais frios e mais quentes há diferenças estatísticas a nível de 1 % de probabilidade. Porém, com relação à interação entre as condições do ambiente, os dias de leituras e períodos de análise, não se observaram diferenças significativas.

Neste aspecto a Tabela 12 (abaixo) confirma a existência de diferenças, que justifica este estudo entre os dias selecionados, ou seja, condições ambientais distintas, e caracterização dos extremos: períodos chuvosos e de estiagem, que poderá justificar neste sentido até o uso de materiais protetores para cada época do ano.

Tabela 12: Análise Estatística da temperatura do ar nos dias característicos dos períodos

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Fator1(F1)	2	52.78625	26.39312	4.0124 *
Fator2(F2)	2	64.42625	32.21312	4.8972 **
Fator3(F3)	1	142.40444	142.40444	21.6491 **
Int. F1xF2	4	15.06250	3.76563	0.5725 ns
Int. F1xF3	2	0.05097	0.02549	0.0039 ns
Int. F2xF3	2	34.41514	17.20757	2.6160 ns
Int.F1x2x3	4	3.22444	0.80611	0.1225 ns
Resíduo	126	828.81000	6.57786	
Total	143	1141.18000		

Fator 1 = condições de ambiente: casa com paredes em blocos de concreto, casa com paredes de tijolos cerâmicos, ambiente externo. Fator 2 = dias: 01/06/2006, 11/06/2006, 12/07/2006, 09/12/2006, 19/12/2006, 04/01/2007. Fator 3: períodos: chuvoso e de estiagem. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p-valor < .01) * significativo ao nível de 5% de probabilidade (p-valor < .05) ns não significativo (p-valor >= .05)

6 CONCLUSÕES

Da análise das condições internas e externas das habitações de interesse social, conclui-se que os altos valores de temperatura do ar no interior das habitações, no período chuvoso e no de estiagem, são influenciados pelos materiais de construção, pela reduzida altura do pé direito, pela disposição dos cômodos em relação à radiação solar, pela eficácia da ventilação cruzada, pela orientação, pela inexistência do forro, pelos beirais curtos e pelo entorno do local.

Ficou constatado que, na habitação com paredes em blocos de concreto, ocorre com maior facilidade à passagem de calor e com isso se verifica amplitudes térmicas superiores à casa de paredes de tijolos. Verificou-se, também, que a casa de paredes em blocos de concreto acompanha as temperaturas e as umidade relativa do ar externas mais rapidamente, assim aquecendo e esfriando mais intensamente.

As altas temperaturas do ar registradas no interior da habitação de blocos de concreto, possivelmente, são também influenciadas pela disposição da sala na planta-baixa, pois a ventilação cruzada não é eficaz e há inexistência de árvores no entorno da habitação. Com relação aos limites de temperatura e umidade relativa do ar estabelecidos pela NBR 6401:1980, esta habitação promoveu maiores horas de desconforto do que a habitação com paredes de tijolos cerâmicos.

Para cada projeto de habitação deve ser realizado um estudo do microclima, levando em consideração a orientação solar, os materiais de construção a serem utilizado e os costumes dos moradores.

7 RECOMENDAÇÕES

Com os dados registrados de temperatura e umidade relativa do ar, verificou-se que as casas promovem um maior desconforto em virtude do calor. Portanto, recomenda-se que:

- a orientação para residência deve ser aquela que resguarde os cômodos principais da casa das faces leste e oeste, em que há maior incidência de radiação solar direta, evitando o maior ganho de calor;
- seja evitado a radiação solar direta nas faces leste e oeste devem-se inserir elementos que promovam a sombra. Considerando este fato, pode-se utilizar, como estratégia de sombreamento, árvores no entorno da habitação, brises, combogós ou qualquer anteparo que evite os raios solares diretamente;
- o telhado deve possuir beirais longos evitando a incidência de radiação solar direta;
- as coberturas e paredes externas e internas devem ser pintadas em cores claras, de forma a proporcionar a maior refletividade;
- com relação à ventilação, deve-se verificar sempre de onde provém o maior fluxo de vento (neste caso, sul-sudeste) e gerar dentro dos cômodos a ventilação cruzada para que o ar no interior do ambiente seja renovado;
- a iluminação natural seja utilizada, contanto a luz solar penetre no interior do ambiente a partir de múltiplas reflexão.
- o pé-direto não seja inferior a 2,60m, para que o ar quente tenha condição de dissipar.
- a utilização de tijolos cerâmicos nas paredes das habitações,para que promova uma maior inércia térmica.

As recomendações, aqui apresentadas são apenas as estratégias iniciais para futuros projetos de habitações de interesse social na cidade de Campina Grande, sendo necessário um estudo detalhado do local, do clima, do solo, vegetação e dos costumes dos habitantes, portanto, estas sugestões não são isoladas e desassociadas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6401/80:** Instalações centrais de ar condicionado para conforto – parâmetros básicos de projeto. Rio de Janeiro, 1980.

_____. **NBR 15220-2:** Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15220-3:** Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ANSI/ASHRAE. **American Society Of Heating, Refrigerating And Air Conditioning, 55/92**. Thermal environmental conditions for human occupancy, Atlanta, ASHRAE Standrts 55-1992, 1992.

BARBOSA, M. J. (1997). **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares**. Tese de Doutorado - Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Florianópolis-SC, 1997.

BARROSO-KRAUSE, C. SANTOS; M.J. NIEMEYER, M.L.; PORTO, M.M. **Bioclimatismo no projeto de arquitetura**: dicas de projeto. PROARQ, FAU, Universidade do Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: www.fau.ufrj.br/apostilas/conforto/apostilacbk20051.pdf .

CARVALHO, H. J. M. **Parâmetros climatológicos para o estudo do balanço termo-energético de edificações da cidade de João Pessoa–PB**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2001.

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

COSTA, Ennio Cruz da. **Arquitetura Ecológica:** condicionamento térmico natural. São Paulo: Edgard Blucher, 1982.

FANGER, P.O. **Thermal Confort**.Anlysis and Application in Enviromental Engineering. New York: McGraw-Hill Book Company, 1970.

FERNANDES, J.C. **Acústica e ruídos**. Apostila da Disciplina Acústica e Ruídos. Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho. Faculdade de Engenharia, Unesp. Bauru: 1999.

FROTA, Anésia. SCHIFFER, Suelli. **Manual de conforto térmico.** 7.ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

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

GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of buildings**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

GONÇALVES, Francisco. **Ergonomia e Ambientes físicos**. Apostila. Programa de Pós-Graduação em Ergonomia. Universidade Federal de Pernambuco, 2005.

GOULART, S. et.al. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico**. Florianópolis, UFSC/ NPCC, relatório 02/94, 1994.

GRANDJEAN, E. **Manual de ergonomia – adaptando o trabalho ao homem**. Tradução João Pedro Stein. 4 ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

GUGLIELMETTI, Ana Helena. **A legislação energética como ferramenta de redução do consumo de energia em edifícios:** os impactos para a cidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado – Pós-Graduação em Eletrotécnica e Energia - Programa de Interunidades de Pós-graduação em Energia, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo: 2002.

HERTZ, J.B. **Ecotécnicas em Arquitetura:** como projetar nos trópicos úmidos do Brasil. São Paulo: Pioneira, 1998.

IIDA, I. **Ergonomia – produção e projeto**. São Paulo: Edgard Blücher, 1990.

INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION, **ISO 7730:** Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the condutions for thermal confort. Genebre, s.ed. **1994**.

_____. **ISO 6241:** Guidance on the preparation of standarts inbuilding: Draft proposal – ISSO/DP. London, s.ed, **1984.**

KRUGER, E. L. **Ventilação de áticos como instrumentos de conservação de energia em edificações:** análise comparativa de respostas de programas de simulação térmica de ambientes. Dissertação de Mestrado - Programa de pós-graduação em Engenharia – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1993.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PAPST, A.; CARLO, J. **Desempenho térmico de edificações**. 3ed. Apostila. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/conforto/index.html. Acesso em 20 de maio de 2006.

LAMBERTS, R. DUTRA, L. PEREIRA, F. O. R., **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997.

LIMA, Luciano J. C. **Avaliação de elementos climáticos para fins de edificações em Campina Grande – PB**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2006.

MARTINS, Laura. **Ergonomia do ambiente construído**. Apostila. Programa de Pós-Graduação em Ergonomia. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2003.

MICHALOSKI, Ariel Orlei. **Avaliação do desempenho térmico por meio de simulação computacional de habitações populares implantadas na vila tecnológica de Curitiba**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Programa de Pós-graduação em Tecnologia, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2002.

MORAES, Anamaria de; MONT' ALVÃO, Claudia. **Ergonomia:** conceitos e aplicações. Rio de Janeiro, 2003.

MONTENEGRO, Gildo. A. **Ventilação e Cobertas**: estudo teórico, histórico e descontraído. São Paulo: Edgard Blucher, 1984.

NETO, A. **Regulamentação de desempenho térmico e energético de edificações**. Dissertação de Mestrado - Pós-Graduação em Eletrotécnica e Energia - Programa de Interunidades de Pós-graduação em Energia, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2003.

OLGYAY, V. **Design with climate - bioclimatic approach to architectural regionalism**. New Jersey: Princenton University Gili, 1963.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima:** acondicionamento térmico natural. 2ed. Porto Alegre Luzzato,1986.

ROMERO, M.A.B. **Princípios bioclimáticos para desenho urbano.** São Paulo: Projeto Editores Associados Ltda, 2000.

SILVA, Francisco de Assis S. ASSISTAT VERSÃO 7.4 beta. **Programa estatístico**. Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2006.

SZOKOLAY, Steven V. **The CPZ (Control Potencial Zone) method and its use to develope climate zones.** Queensland: University of Queensland, Harari Africa ISES, 1995.

TOMAZ, A.F.; RODRIGUES, C.L.P.; MÁSCULO, F.S. **Avaliação das condições ambientais e organização do trabalho do sub-setor de lanternagem de uma empresa de transporte urbano na cidade de João Pessoa**. Revista Principia, N° 8, Ano 4, 2000.

SANTOS, N.; FIALHO, F.A.P. **Manual de análise ergonômica do trabalho.** 2.ed. São Paulo: Gênesis, 1997.

VIANNA, Nelson Solano. GONÇALVES, Joana Carla Soares. **Iluminação e Arquitetura.** São Paulo: Virtus, 2001.

VILLAROUCO, V. Avaliação Ergonômica do Projeto Arquitetônico. In: Congresso Latino Americano de Ergonomia, 6., 2002. Congresso Brasileiro de Ergonomia, 12., **Anais...** Recife: ABERGO, 2002.

VITRUVIUS, M. L. **Los diez libros de arquitectura.** Barcelona: Ibéria, 1982.

WATSON, D. LABS, K. **Climatic Building Design**: Enrgu- Efficient Building/ Principles and Pratice. New York: Mc Graw-Hill, 1983.

WEERDMEESTER, J. DUL E B. **Ergonomia Prática.** São Paulo: Edgar Blucher, 1993.

XAVIER, A.A.d.P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2° grau na região de Florianópolis**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.