

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS
LINHA DE PESQUISA: CLIMATOLOGIA URBANA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PLACAS DE
ARGAMASSA ARMADA COM CASCA DE ARROZ E
TIJOLO CERÂMICO DE OITO FUROS PARA
MELHORIA DO DESEMPENHO TÉRMICO NAS
HABITAÇÕES DE CLIMA TROPICAL
CONTINENTAL**

ANDRÉ CALVOSO DE CARVALHO

*Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Física e Meio
Ambiente da Universidade Federal de
Mato Grosso, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Mestre em
Física e Meio Ambiente.*

Prof^a Dr^a Marta Cristina de J. A. Nogueira
Orientadora

Cuiabá, MT, julho de 2004

Aos meus pais, Mauro e Célia, pela
educação e exemplo, compartilhados
com amor nesta jornada.

Às minhas irmãs, Andressa e Paola, pelo
companheirismo e incentivo, fundamentais
para mais esta conquista .

AGRADECIMENTOS

- A Deus pelas oportunidades obtidas de conquistas e aprendizagens, com serenidade e plenitude;
- À Prof^ª Dr^ª. Marta C. J. A. Nogueira, por acreditar nesta pesquisa, ensinar e incentivar o caminho do aprender;
- À Prof^ª. Dr^ª Gilda Maitelli que colaborou para os resultados deste trabalho, em seu saber e generosidade;
- A todos os Professores do Curso, os quais, com cada parcela individual de dedicação, tornaram este, um exemplo de vida;
- Ao Prof^º Rubens Martinez, pelo apoio e ensinamento, fundamentais para a concretização desta pesquisa;
- Aos colegas multidisciplinares do programa de pós-graduação pela convivência e troca de experiências, diferencial de grande importância para os resultados atingidos pelo grupo;
- Aos colegas, Gleibia Estulano, Graziella Toledo e Wilson Salvador, pelo companheirismo e cumplicidade nesta jornada;
- A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|---|-----|
| | LISTA DE FIGURAS | i |
| | LISTA DE TABELAS | iii |
| | RESUMO | iv |
| | ABSTRACT | v |
| 1. | INTRODUÇÃO | 01 |
| 1.1 | PROBLEMÁTICA | 01 |
| 1.2 | JUSTIFICATIVA | 02 |
| 2. | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 04 |
| 2.1 | CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS | 04 |
| 2.1.1 | Classificação Climática | 05 |
| 2.1.2 | Clima e Arquitetura | 06 |
| 2.1.2.1 | Clima Quente-Úmido..... | 07 |
| 2.1.2.2 | Clima Quente-Seco..... | 07 |
| 2.1.2.3 | Clima Temperado..... | 08 |
| 2.1.2.4 | Clima Frio..... | 09 |
| 2.1.3 | Temperatura de Mato Grosso | 09 |
| 2.1.4 | Clima Urbano | 10 |
| 2.2 | CONFORTO AMBIENTAL | 13 |
| 2.2.1 | Conforto Térmico | 14 |
| 2.2.1.1 | Definições das Exigências Humanas..... | 16 |
| 2.2.1.2 | Fatores Relacionados à Sensação de Conforto Térmico..... | 19 |
| 2.2.2 | Transmissão de Calor nas Edificações | 20 |
| 2.2.2.1 | Regime de Transmissão de Calor..... | 21 |
| 2.2.2.2 | Transmissão de Calor por Convecção..... | 22 |
| 2.2.2.3 | Transmissão de Calor por Radiação..... | 23 |
| 2.2.2.4 | Transmissão de Calor por Condução..... | 24 |
| 2.3 | ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO | 25 |
| 2.3.1 | Temperatura Efetiva | 25 |
| 2.3.2 | Carta Bioclimática | 27 |
| 2.3.3 | Voto Médio Previsto e Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas - Fanger | 28 |
| 2.4 | NORMALIZAÇÃO VIGENTE | 30 |
| 2.4.1 | ISO 7730 – Voto Médio Estimado e Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas | 30 |
| 2.4.2 | ISO 7726/96 – Ambientes Térmicos; Instrumentos e Métodos para a Medição dos Parâmetros Físicos | 32 |
| 2.4.3 | ISO 8996/90 – Ergonomia – Determinação da | |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| | Produção do Calor Metabólico..... | 32 |
| 2.4.4 | <i>ISO 10551/95 – Ergonomia de Ambientes Térmicos – Verificação da Influência do Ambiente Térmico Usando Escalas Subletivas de Julgamento.....</i> | 33 |
| 2.4.5 | <i>ISO 9920/95 – Ergonomia de Ambientes Térmicos – Estimativa do Isolamento Térmico e Resistência Evaporativa de um Traje de Roupas.....</i> | 33 |
| 2.4.6 | <i>ASHRAE Standard 55-92 Ambientes Térmicos – Condições para Ocupação Humana.....</i> | 33 |
| 2.5 | CARACTERÍSTICAS DAS TIPOLOGIAS DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS..... | 34 |
| 2.5.1 | Materiais Convencionais..... | 34 |
| 2.5.1.1 | Tijolos..... | 35 |
| 2.5.2 | Materiais Orgânicos Naturais | 37 |
| 2.5.2.1 | Pó de Serra..... | 37 |
| 2.5.2.2 | Casca de Arroz..... | 39 |
| 2.6 | COMENTÁRIO..... | 43 |
| 3. | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 44 |
| 3.1 | MATERIAIS..... | 44 |
| 3.1.1 | Placas de Argamassa Armada com Casca de Arroz..... | 44 |
| 3.1.1.1 | Cimento Portland..... | 45 |
| 3.1.1.2 | Casca de Arroz..... | 46 |
| 3.1.1.3 | Cal Hidratada..... | 46 |
| 3.1.1.4 | Areia Lavada..... | 47 |
| 3.1.1.5 | Água de Amassamento..... | 47 |
| 3.1.1.6 | Tela de Estuque..... | 48 |
| 3.1.2 | Tijolo Cerâmico de Oito Furos..... | 48 |
| 3.2 | MÉTODOS..... | 49 |
| 3.2.1 | Escolha das Edificações..... | 49 |
| 3.2.2 | Períodos de Coleta..... | 51 |
| 3.2.3 | Equipamentos Utilizados..... | 52 |
| 3.2.4 | Avaliação do Índice de Conforto..... | 53 |
| 3.2.5 | Análise Estatística dos Dados..... | 55 |
| 3.2.5.1 | Teste de Kruskal Wallis..... | 55 |
| 3.2.5.2 | SPSS – Statical Package for Social Sciences / PC..... | 58 |
| 4. | APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS..... | 59 |
| 4.1 | 1ª MEDIÇÃO (13 a 17 de abril de 2004)..... | 61 |
| 4.2 | 2ª MEDIÇÃO (21 a 25 de junho de 2004)..... | 63 |
| 4.3 | DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE CONFORTO..... | 66 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 4.4 | ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS..... | 68 |
| 5. | CONCLUSÕES..... | 75 |
| 6. | BIBLIOGRAFIA..... | 76 |
| 6.1 | BIBLIOGRAFIA CITADA..... | 76 |
| 6.2 | BIBLIOGRAFIA CONSULTADA..... | 79 |
| | ANEXO A..... | 86 |
| | ANEXO B..... | 88 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 01 - Transmissão de calor em uma parede modificada..... | 21 |
| Figura 02 - Gradiente de temperatura e camada limites..... | 23 |
| Figura 03 - Índice de temperatura efetiva..... | 26 |
| Figura 04 - Carta bioclimática de Olgyay adaptada por Koenigsberger..... | 28 |
| Figura 05 - Voto médio estimado e porcentagem de pessoas insatisfeitas..... | 29 |
| Figura 06 - Tijolos cerâmicos para vedação..... | 36 |
| Figura 07 - Blocos cerâmicos para vedação e estrutural..... | 37 |
| Figura 08 - Sistema construtivo empregando as placas com argamassa especial..... | 42 |
| Figura 09 - Painel de fechamento vertical com placas de argamassa especial..... | 42 |
| Figura 10 - Painel de placa de argamassa armada com casca de arroz..... | 45 |
| Figura 11 - Tela de estuque..... | 48 |
| Figura 12 - Localização da área de estudo..... | 50 |
| Figura 13 - Edificação de tijolo cerâmico de oito furos..... | 51 |
| Figura 14 - Edificação de placa de argamassa armada..... | 51 |
| Figura 15 - Radiômetro..... | 52 |
| Figura 16 - Termômetro de globo..... | 52 |
| Figura 17 - Corte esquemático dos ambientes estudados..... | 59 |
| Figura 18 - Levantamento da área com indicação dos ambientes estudados e suas cotas de amarração..... | 60 |
| Figura 19 - Valores médios das temperaturas para as paredes na posição norte – 1ª Medição (13 a 17/04/2004)..... | 61 |
| Figura 20 - Valores médios das temperaturas para as paredes na posição sul – 1ª Medição (13 a 17/04/2004)..... | 62 |
| Figura 21 - Valores médios das temperaturas do teto – 1ª Medição (13 a 17/04/2004)..... | 62 |
| Figura 22 - Valores médios das temperaturas do piso – 1ª Medição (13 a 17/04/2004)..... | 63 |

| | |
|--|----|
| Figura 23 - Valores médios das temperaturas para as paredes na posição norte – 2ª Medição (21 a 25/06/2004)..... | 64 |
| Figura 24 - Valores médios das temperaturas para as paredes na posição sul – 2ª Medição (21 a 25/06/2004)..... | 64 |
| Figura 25 - Valores médios das temperaturas do teto – 2ª Medição (21 a 25/06/2004)..... | 65 |
| Figura 26 - Valores médios das temperaturas do piso – 2ª Medição (21 a 25/06/2004)..... | 65 |
| Figura 27 - Índice de conforto (1ª Medição – 13 a 17/04/2004)..... | 67 |
| Figura 28 - Índice de conforto (2ª Medição – 21 a 25/06/2004)..... | 68 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 01 - Propriedades do concreto de pó de serra..... | 38 |
| Tabela 02 - Composição química do resíduo de casca de arroz (excluído 12% de C) obtido por absorção atômica (% em peso)..... | 40 |
| Tabela 03 - Composição química da casca de arroz..... | 40 |
| Tabela 04 - Aditivos retardadores de pega e seus efeitos sobre a resistência mecânica..... | 41 |
| Tabela 05 - Propriedades do concreto utilizado..... | 46 |
| Tabela 06 - Análise de todos os períodos e todos os horários..... | 69 |
| Tabela 07 - Análise do período 01 em todos os horários..... | 69 |
| Tabela 08 - Análise do período 02 em todos os horários..... | 70 |
| Tabela 09 - Análise das 8:00 horas nos dois períodos..... | 70 |
| Tabela 10 - Análise das 11:00 horas nos dois períodos..... | 71 |
| Tabela 11 - Análise das 14:00 horas nos dois períodos..... | 71 |
| Tabela 12 - Análise das 17:00 horas nos dois períodos..... | 71 |
| Tabela 13 - Análise das 20:00 horas nos dois períodos..... | 72 |
| Tabela 14 - Período 01 (13 a 17 de abril de 2004) às 8:00 horas..... | 72 |
| Tabela 15 - Período 01 (13 a 17 de abril de 2004) às 11:00 horas..... | 72 |
| Tabela 16 - Período 01 (13 a 17 de abril de 2004) às 14:00 horas..... | 72 |
| Tabela 17 - Período 01 (13 a 17 de abril de 2004) às 17:00 horas..... | 73 |
| Tabela 18 - Período 01 (13 a 17 de abril de 2004) às 20:00 horas..... | 73 |
| Tabela 19 - Período 02 (21 a 25 de junho de 2004) às 8:00 horas..... | 73 |
| Tabela 20- Período 02 (21 a 25 de junho de 2004) às 11:00 horas..... | 73 |
| Tabela 21- Período 02 (21 a 25 de junho de 2004) às 14:00 horas..... | 74 |
| Tabela 22- Período 02 (21 a 25 de junho de 2004) às 17:00 horas..... | 74 |
| Tabela 23 - Período 02 (21 a 25 de junho de 2004) às 20:00 horas..... | 74 |

RESUMO

CARVALHO, A. C. **Estudo comparativo entre placas de argamassa armada com casca de arroz e tijolo cerâmico de oito furos para melhoria do desempenho térmico nas habitações de clima tropical continental.** Cuiabá, 2004. 92p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso.

Visando o aproveitamento de um material alternativo e subutilizado, esta pesquisa enfoca a análise do desempenho térmico de placas pré-moldadas de argamassa armada com a casca de arroz, em comparação ao material convencionalmente utilizado na construção civil, o tijolo cerâmico de oito furos. Tendo sido alvo de pesquisas tecnológicas, a casca de arroz, material com grande disponibilidade na região, por ser o Estado de Mato Grosso um dos maiores produtores de grãos do país, constatou-se que seu emprego na construção civil, além de acarretar uma redução de cerca de 30% no custo final da habitação, soluciona problemas de enfoques ambientais, por ser um material de degradação ambiental demorada e poluente atmosférico quando utilizado para queima em fornos e caldeiras. Assim, este trabalho tem por objetivo um estudo de comportamento térmico do material alternativo (casca de arroz), em uma análise comparativa ao material convencional (tijolo de oito furos), além da análise dos índices de conforto dos ambientes estudados, complementando pesquisas já realizadas sobre as propriedades físicas e mecânicas do material, chegando por fim a resultados esperados que propiciem melhorias a problemas ambientais, tecnológicos e sociais, onde o índice de conforto calculado para os ambientes estudados e a análise estatística dos dados coletados comprovaram a otimização térmica do material alternativo, estabelecendo assim o ambiente deste novo produto como mais propício à moradia dentro das condições climáticas de nossa região - clima tropical continental.

Palavras-chave: Impacto ambiental, inovação tecnológica, conforto térmico, casca de arroz.

ABSTRACT

CARVALHO, A. C. **Comparative study among mortar plates armed with peel of rice and ceramic brick of eight holes for improvement of the thermal acting in the houses of continental tropical climate.** Cuiabá, 2004. 92p. Dissertation (Master's degree) - Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso.

Seeking the use of an alternative and badly taken advantage material, this research focuses the analysis of the thermal acting of premolded plates of mortar armed with the rind of rice, in comparison with the material conventionally used in the building site, the ceramic brick of eight holes. Having been objective of technological researches, the rind of rice, material with great readiness in the area, for being the State of Mato Grosso a two larger producing of grains of the country, was verified that its job in the building site, besides carting a reduction of about 30% in the final cost of the house, solves problems of environmental focuses, for being an atmospheric material of slow and pollutant environmental degradation when used for it burns in ovens and kettles. Like this, this work has for objective a study of thermal behavior of the alternative material (rind of rice), in a comparative analysis to the conventional material (brick of eight holes), besides the analysis of the indexes of comfort of the studied atmospheres, complementing researches already accomplished on the physical and mechanical properties of the material, arriving finally to resulted expected that propitiate improvements to environmental, technological and social problems, where the comfort index made calculations for the studied spaces and the statistical analysis of the collected data proved the thermal optimization of the alternative material, establishing like this the space of this new product as more favorable to the home inside of the climatic conditions of our area - continental tropical climate.

Key-Words: Environmental impact, technological innovation, thermal comfort, rind of rice.

1. INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA

É de grande importância o estudo de soluções práticas que visam reduzir o problema do déficit habitacional no Brasil, assim como propor novas alternativas que garantam condições de moradia digna a populações de baixa renda, geralmente excluídas de seus direitos pela baixa oferta e alta demanda de pessoas necessitadas de locais adequados para se viver.

Existe ainda uma resistência natural para a aplicação de novas técnicas construtivas na construção civil em geral, em especial àquelas que possam atender as populações de baixa renda. Esta resistência se deve em parte, a falta de divulgação de tecnologias geradas no meio acadêmico bem como a falta de projetos que atendam as necessidades desta população.

Uma das alternativas que podem chegar a uma transformação econômica, social e tecnológica, é o emprego de matérias-primas disponíveis em abundância em determinada região, as quais geralmente são subaproveitadas, associadas a novas técnicas construtivas, práticas e simples, que garantam melhorias efetivas, tanto no custo final da habitação, como no bem estar desta população desfavorecida.

Pesquisas que envolvam o estudo de materiais à base de concreto acrescidos de materiais alternativos vêm crescendo bruscamente, diversos vêm crescendo bruscamente, acompanhando a necessidade de se ter materiais cada vez mais esbeltos (leves), com bom desempenho físico, mecânico, isolamento termo-acústico, além da indispensável viabilidade econômica.

As condições climáticas de Cuiabá são rigorosas, com duas estações bem definidas: uma seca, no período de inverno, e outra chuvosa, no período de verão. Ocorrem em média, apenas dezessete dias por ano com temperatura médias inferiores a 20° C e tão somente oito dias por ano com temperatura média inferior a

18° C, e em nenhum mês do ano têm-se médias inferiores a 20° C. Além disso, a localização geográfica cercada por chapadas confere ao local característica de depressão, com ventilação fraca – em torno de 1m/s, no período noturno, e chegando a 2,6m/s, no início da estação chuvosa, no início da tarde.

O rigor climático intrínseco à sua localização geográfica é acentuado pelo intenso processo de urbanização, responsável pelo fenômeno das ilhas de calor, que confere ao ambiente urbano um superaquecimento como consequência do aumento das áreas impermeáveis e diminuição das áreas verdes.

A variedade de materiais e processos construtivos, somados à lacuna na normalização brasileira para a restrição de sua utilização e exigência do conhecimento das suas propriedades térmicas, acarreta, muitas vezes, o emprego inadequado nos aspectos referentes às condições de conforto térmico.

Visando a solução deste problema, cada vez mais se torna necessário o conhecimento das propriedades e do desempenho térmico dos materiais construtivos, a fim de se fazer indicações mais precisas dos mesmos, possibilitando novas técnicas construtivas que garantam a qualidade de uma habitação digna e tragam melhorias de conforto e custo.

1.2 JUSTIFICATIVA

Nos últimos anos, pôde-se notar um tímido movimento tentando adaptar os diversos materiais de construção ao clima de Cuiabá. Essa tentativa se aplica com o intuito de suprir uma inadaptação que se deve a vários fatores, dentre os quais podem ser citados: a grande variedade de materiais provenientes de recursos naturais, técnicas construtivas novas e práticas, para a adaptação destes materiais às condições de uso na construção civil, colocados à disposição através do desenvolvimento tecnológico e que ainda assim não são de conhecimento da maioria, ficando relegados ao meio acadêmico em projetos não executáveis; o fato de ser o estudo de conforto ambiental relativamente recente em Cuiabá, como no Brasil, não existindo análises mais concisas dos materiais e técnicas adaptadas às características regionais, como por exemplo, a durabilidade, resistência, aplicabilidade e viabilidade da exploração dos materiais típicos de nossa região; as pesquisas, muitas vezes, têm que

ser baseadas em informações reduzidas e modestas, tanto pela exigência de investimentos significativos e pessoais especializado, como a deficiente bibliografia específica a essa realidade climática local, pois predominam pesquisas para o clima temperado.

Para tal, faz-se necessário o desenvolvimento de um trabalho que possa abordar e propor soluções práticas para problemas como: impacto ambiental, inovação tecnológica e conforto térmico.

Na questão ambiental, no aproveitamento de um material – casca de arroz – geralmente desperdiçado e que causa impacto ambiental por ser de demorada degradação ambiental e poluente atmosférico quando queimado para aquecimento de fornos e caldeiras. Na questão tecnológica, por desenvolver nova técnica construtiva, prática e simples, com matéria prima regional disponível a baixo custo, visando ainda atender ao déficit habitacional em uma questão social.

Sendo assim, o objetivo geral deste trabalho é fazer um estudo comparativo entre dois produtos para construção dos painéis de fechamento vertical - tijolo cerâmico de oito furos e placas pré-moldadas de argamassa armada com a casca de arroz, na busca de um resultado que favoreça uma nova técnica construtiva. Serão definidos alguns objetivos específicos tais como, verificar o desempenho térmico dos ambientes construídos com material alternativo e convencional, determinar os índices de conforto térmico dos ambientes estudados, aproveitar melhor a casca de arroz que é um material regional em abundância no estado de Mato Grosso, propor o emprego desses materiais nas construções de núcleos habitacionais de Cuiabá para população carente.

Dessa forma será possível indicar uma solução para o déficit habitacional local adequado ao clima de Cuiabá, com proposta de melhores condições de moradias para essas populações carentes da nossa região.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são enfocados estudos desenvolvidos por outros autores sobre clima, conforto ambiental, conforto térmico, transferência de calor, índice de conforto térmico, métodos que determinam a medição do conforto térmico, painéis de fechamento vertical com material convencional e material alternativo. Demonstrando as possíveis condições de melhoria para os ambientes construídos.

2.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

O globo terrestre apresenta variações climáticas decorrentes de interações entre a atmosfera e a superfície influenciadas pela latitude e altitude, coordenadas que determinam a posição geográfica de cada região, estado ou município, permitindo assim definir a insolação diária incidente de cada local.

Essas interações são em grande parte ocorridas em cada época do ano e pode-se verificar uma variação das características climáticas, devidas à quantidade de energia solar, que chega à terra em diferentes comprimentos de onda e do ângulo de incidência dos raios solares (MASCARÓ, 1991).

Para GEIGER (1980) apud SOUZA (1990), a atmosfera terrestre reflete, dispersa e absorve uma parte da radiação emitida pelo sol. E ao receber as radiações direta, difusa e refletida, a terra ganha calor durante o dia, estabelecendo diferentes temperaturas, e perde este calor, durante a noite, sob forma de radiação de ondas longas. O ar adjacente assume um gradiente de temperatura, a qual diminui, normalmente, com o aumento da altitude (KOENNIGSBERGER, 1977 apud SOUZA, 1990). Neste caso, quando ocorrer a perda de calor pode-se observar uma

queda na temperatura do solo, maior do que do ar, originando o fenômeno da inversão térmica.

A característica climática das zonas equatoriais é de apresentar maior umidade e ir diminuindo à medida que aproxima dos pólos, em consequência disso a capacidade do ar conter vapor d'água aumenta com aumento da sua temperatura (GIVONI, 1981 apud SOUZA, 1990).

Outra característica do clima está relacionada com a umidade relativa (UR), pois ocorre quando a proporção entre o vapor d'água em um certo volume de ar e a quantidade de água deste volume, contenha o máximo de vapor possível. Quando a umidade relativa for igual a 100%, pode-se dizer que o ar está saturado. Caso a proporção de vapor de d'água seja maior do que a capacidade de retenção do ar, o ponto de saturação é rapidamente atingido e a saturação quando acompanha da queda de temperatura, provoca a condensação, pois o ar passa a ter menor capacidade de retenção de vapor d'água, acarretando a formação de nuvens e a produção de orvalho sobre superfícies mais frias (SOUZA, 1990).

Esse vapor d'água está distribuído na atmosfera segundo o movimento do ar e este diretamente ligado pelo aquecimento diferenciado da superfície nas diferentes zonas de pressão atmosférica e a circulação tem características regionais específicas, que podem predominar conforme a inter-relação dos componentes climáticos locais (SOUZA, 1990).

O vento se movimenta da região de maior pressão para a de menor pressão e o ar quente é menos denso que o ar frio conseqüentemente a pressão é menor quando a temperatura do ar é maior (KOEPPEN, 1948).

Já a radiação, temperatura, umidade e o próprio movimento do ar são elementos climáticos capazes de interferir no comportamento térmico das edificações.

2.1.1 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA

Para SOUZA (1990), segundo o conforto ambiental, a classificação climática pode ser dividida em duas partes sendo uma baseada em dados meteorológicos e outra relacionada com o crescimento dos vegetais.

Quando ocorre uma classificação através dos vegetais, o clima é classificado através de índices hídricos, de aridez e de umidade obtidos com o acompanhamento anual da evapotranspiração, da precipitação, do armazenamento de água no solo e de suas alterações. São definidos assim, nove tipos climáticos (super-úmido, muito úmido, úmido, sub-úmido, sub-úmido e seco, seco, semi-árido e árido), que estão sujeitos a variações consideros sub-tipos climáticos (OMETTO,1981).

Segundo KOEPPEN (1948) apud SOUZA (1990) são estabelecidas cinco zonas fundamentais de clima sendo: tropical, chuvosa, seca, temperada chuvosa, boreal e polar, conforme a latitude, podendo ainda apresentar variedades quanto à precipitação e a temperatura.

As soluções mais típicas de cada região climática respondem às tensões ambientais com diversas formas de agrupamento, orientação, localização, morfologia geométrica e tipos de materiais construtivos utilizados na habitação. Entretanto a aplicação das classificações climáticas na avaliação térmica de edificações é limitada, pois permitem apenas relacionar aspectos gerais requeridos pelo projeto, uma vez que para a precisão de projetos são necessárias informações mais detalhadas sobre o clima local, que não podem ser obtidas em uma classificação genérica, segundo (VAN STRAATEN, 1967 apud SOUZA,1990).

2.1.2 CLIMA E ARQUITETURA

Cada região climática apresenta soluções físicas diferentes para habitação e sofrem a influência cultural, sócio-econômica e política de cada grupo humano – que habita cada lugar da superfície terrestre.

Levando-se em conta a caracterização geral das condições ambientais predominantes, os requisitos físicos da habitação para regular a influência das condicionantes externas e os materiais construtivos, comumente utilizados na arquitetura habitacional, de acordo com SOBENIS (1982) apud SOUZA (1990) a síntese relacionada a cada região climática é a seguinte:

2.1.2.1 Clima Quente-Úmido

Características Gerais:

- a) Altas temperaturas: 24°C a 32°C;
- b) Pequena variação diária e sazonal: 3°C a 6°C;
- c) Radiação solar intensa;
- d) Céu claro e brilhante ou nebuloso;
- e) Ventos regulares ou fortes, durante chuvas intensas;
- f) Alta precipitação anual (maior de 2000 mm).

Requisitos físicos da habitação:

- a) Aproveitamento máximo da sombra;
- b) Proteção do sol e da chuva (beirais, brises, corredores e galerias);
- c) Facilitação da ventilação com aberturas, janelas, pisos elevados e espaços abertos;
- d) Construção leve ou de baixa capacidade térmica e alta transmitância, evitando aquecimento excessivo;
- e) Utilização de cores claras para baixa absorção de calor.

Os materiais construtivos mais comuns no clima quente-úmido são: palha e vegetação, madeira e adobe, alumínio, concreto (esses últimos empregados sob certas condições).

2.1.2.2 Clima Quente-Seco

Características Gerais:

- a) Altas temperaturas diurnas: maior que 38°C;
- b) Baixas temperaturas noturnas: 10°C a 19°C;
- c) Grande variação diária e sazonal: 11°C a 17°C;
- d) Baixa umidade relativa: 10% a 55%;
- e) Céu brilhante ou empoeirado;
- f) Ventos diurnos quentes;
- g) Baixa precipitação anual.

Requisitos físicos da habitação:

- a) Aproveitamento máximo dos espaços internos (pátio interno com água e vegetação);
- b) Proteção da radiação solar direta e ventos (aberturas mínimas e altas);
- c) Espaços internos fechados e cores claras nas superfícies externas;
- d) Agrupamento físico volumétrico e fechado;
- e) Paredes com alta capacidade térmica, com a finalidade de atrasar o fluxo térmico do exterior para o interior e vice-versa;
- f) Cobertura plana simples e com isolamento térmico.

Os materiais construtivos mais comuns são: pedra, terra, adobe, concreto pesado.

2.1.2.3 Clima Temperado

Características Gerais:

- a) Temperatura sazonal variável, inverno frio: 3°C, verão moderadamente quente: 20°C a 25°C;
- b) Umidade relativa variável: 30% a 80%;
- c) Ventos estáveis e regulares, no verão: 16 km/h e no inverno: 19 km/h;
- d) Baixa precipitação anual.

Requisitos físicos da habitação:

- a) Condições prioritárias de aquecimento no inverno;
- b) Sombreamento necessário no verão;
- c) Ventilação cruzada desejável no período quente;
- d) Aberturas de tamanho médio com superfícies envidraçadas e placas protetoras;
- e) Coberturas compostas de material isolante térmico;
- f) Paredes com alta capacidade térmica, constituindo-se nas principais componentes da habitação.

Entre os materiais construtivos mais comuns estão: pedra, madeira, tijolos, cerâmica, vidro e concreto pesado, (SOBENIS, 1982).

2.1.2.4 Clima Frio

Características Gerais:

- a) Temperatura média no verão: $<20^{\circ}\text{C}$;
- b) Inverno muito frio: -10°C ;
- c) Baixa umidade relativa;
- d) Radiação solar escassa.

Requisitos físicos da habitação:

- a) Prioridade de aquecimento no ano;
- b) Proteção dos ventos e precipitações;
- c) Aproveitamento máximo da radiação solar;
- d) Utilização de aberturas envidraçadas para obter máxima iluminação natural interior;
- e) Paredes de alta resistência térmicas e compostas, consideradas como a principal componente habitacional.

Entre os materiais construtivos mais comuns estão: pedra, tijolos de argila e vidro, madeira pesada, concreto pesado, vidro, materiais isolantes, (SOBENIS, 1982).

Entretanto estas relações necessitam de informações do clima da cidade, uma vez que as variações são significativas devido às diferenças de uso do solo urbano.

2.1.3 TEMPERATURA DE MATO GROSSO

Segundo FABRIS (2001), a temperatura do Estado do Mato Grosso é resultante dos seguintes fatores geográficos:

1. **Continentalidade** – a distância da costa brasileira impede a influência moderadora do oceano, ocasionando a ocorrência de altas temperaturas, bem como das fortes amplitudes térmicas anuais.
2. **Relevo** – a elevação da altitude, associada ao aumento da latitude, é responsável pelo decréscimo da temperatura nos trechos mais elevados das chapadas. A temperatura anual do Estado varia de 27°C ao norte, 20°C , nos morros isolados e mais elevados ao Sul.
3. **Circulação Atmosférica** – as massas de ar que dominam a região nas diferentes épocas do ano definem a circulação típica de inverno. No verão, com o avanço da Massa Equatorial Continental e o recuo da Massa

Polar Atlântica, registra-se uma alta temperatura. No inverno o Estado de Mato Grosso sofre a atuação da Frente Polar Atlântica, que penetra no Planalto Central atingindo o sul da Amazônia, produzindo diferenciados graus de resfriamentos. Atinge Mato Grosso em junho, aproximadamente, e permanece até agosto.

2.1.4 CLIMA URBANO

No processo de urbanização a poluição do ar afeta a transferência de radiação e acrescenta núcleos de condensação no ar, aumentando a precipitação. A densidade e a geometria das edificações criam uma superfície rugosa que influencia na circulação do ar e no transporte de calor e vapor d'água. Os materiais de construção e o asfaltamento das ruas aumentam o estoque de calor, a impermeabilização do solo aumenta a possibilidade de enchentes. Esses fatores, associados a outros, contribuem para a formação de um microclima local, denominado clima urbano (OKE, 1987; ARYA, 1988; citados por MAITELLI, 1994; apud DOURADO, 2000).

O microclima recebe influências de fatores climáticos locais como a topografia, a vegetação e a superfície do solo natural ou construído.

Um bom exemplo de construção que influi na temperatura de determinado local são os muros. Estes estreitam os espaços das ruas, contribuem para barrar a ventilação ao nível do usuário aumentando a temperatura do ar do recinto quando são construídos com materiais que armazenam e, logo, irradiam calor (MASCARÓ, 2002).

As superfícies de pedra, asfalto e concreto da cidade absorvem e armazenam muito mais calor que a vegetação e a terra. Durante o dia, essas superfícies absorvem a radiação solar e, à noite, esfriam-se lentamente.

Em cidades tanto de grande porte como de pequeno porte, a intensidade de calor está relacionada com o crescimento acelerado das áreas centrais.

O efeito de ilha de calor corresponde a um dos mais significativos exemplos das modificações climáticas já documentadas e caracteriza-se pelo fato de o ar da área central urbana ser geralmente mais aquecido do que o ar das áreas circundantes (OKE, 1978).

A ilha de calor nas regiões tropicais causa inúmeras conseqüências, envolvendo implicações biológicas, econômicas e meteorológicas. As implicações biológicas do fenômeno ilha de calor estão relacionadas ao conforto térmico, pois o excesso de calor associado à qualidade do ar na cidade pode prejudicar a saúde do homem, causando-lhe distúrbios de coração, de circulação e respiração (ERIKSEN, 1978; citado por LOMBARDO, 1985; apud DOURADO, 2000).

Quanto às implicações meteorológicas a ilha de calor pode modificar as correntes de vento na cidade, aumentando a possibilidade de concentração de poluentes, que por sua vez pode causar um aumento das precipitações nas áreas urbanas (LOMBARDO, 1985; apud DOURADO 2000).

Segundo OKE (1978), os principais fatores que contribuem para a elevação da temperatura do centro da cidade são:

1. aumento da entrada de ondas longas devido a absorção das ondas longas que saem e sua reemissão pelos poluentes atmosféricos;
2. diminuição das perdas da radiação de ondas longas nos “canyons” devido a redução do “sky view factor” pelas construções;
3. maior absorção da radiação de ondas curtas devido o efeito da geometria dos prédios no albedo;
4. maior armazenamento de calor durante o dia devido as propriedades térmicas dos materiais urbanos e liberação deste a noite;
5. adição de calor antropogénico (pela utilização de aquecedores, refrigeradores, transportes e operações industriais), e
6. diminuição da evapotranspiração, devido a remoção da vegetação e das superfícies líquidas das cidades, o que diminui o fluxo de calor latente e aumenta o fluxo de calor sensível.

É possível perceber que as maiores temperaturas serão notadas em lugares com baixa quantidade de vegetação, enquanto que as temperaturas mais amenas serão notadas nas áreas verdes e nas proximidades de superfícies líquidas.

A vegetação urbana é aquela que permite que o espaço construído se integre com o jardim e o parque, principalmente das regiões de climas tropicais e subtropicais úmidos, para constituir a paisagem da cidade (MASCARÓ, 2002).

Segundo MASCARÓ (2002), a vegetação atua nos microclimas urbanos contribuindo para melhorar a ambiência urbana sob diversos aspectos:

1. ameniza a radiação solar na estação quente e modifica a temperatura e a umidade relativa do ar do recinto através do sombreamento que ameniza o rigor térmico da estação quente no clima subtropical e durante o ano na região tropical. Além disso, diminui as temperaturas superficiais dos pavimentos e fachadas das edificações, assim como a sensação de calor dos usuários;
2. modifica a velocidade e a direção dos ventos;
3. atua como barreira acústica;
4. quando em grandes quantidades, interfere na frequência das chuvas;
5. através da fotossíntese e da respiração, reduz a poluição do ar.

Além disso, através da transpiração, reduz a temperatura do ar e aumenta a umidade relativa.

O desempenho térmico do recinto urbano também está influenciado pelas propriedades termo-físicas dos materiais das fachadas e pela geometria dos edifícios que o delimitam (perfil regular, saliências e reentrâncias).

Os valores de temperatura podem ser maior ou menor dependendo da densidade de ocupação do solo, da disponibilidade de ventilação e da quantidade de vegetação presente, conforme foi comprovado em Novo Hamburgo-RS (MASCARÓ, 2002).

As árvores, principalmente as de grande porte, acrescentam ao recinto urbano tanto mais capacidade térmica, quanto mais massa se inclui, aumentando sua inércia e provocando queda diurna das variações de temperatura (MASCARÓ, 2002). As árvores em geral provocam um aumento da umidade relativa do ar em todos os recintos. Verifica-se que recintos dotados de arborização são mais favoráveis a uma ambiência agradável e que, portanto, a vegetação funciona como termoregulador microclimático.

Com relação à velocidade do vento, esta está diretamente relacionada com os valores de umidade relativa do ar, podendo amenizá-la quando atingir valores superiores a 1,5m/s, acelerando as trocas térmicas no recinto urbano (MASCARÓ, 2002).

Segundo MASCARÓ (2002), dentre os fatores que determinam o desempenho da vegetação com relação à ventilação, destacam-se as características do local:

1. permeabilidade e perfil do recinto;
2. orientação com relação aos ventos predominantes;
3. densidade da ocupação e gabarito das edificações;
4. o porte, a forma, a permeabilidade, o período de desfolhamento e a idade das espécies arbóreas.

Segundo ROBINETE (1972), apud MASCARÓ (2002), são quatro os efeitos básicos da vegetação em relação ao vento:

1. **Canalização do Vento:** melhora o condicionamento térmico de edificações e espaços abertos, porém pode ser incômodo se o vento atingir velocidades superiores a 3,5 m/s (12,6 km/h);
2. **Deflexão do Vento:** a vegetação pode funcionar como defletora do vento, alterando sua direção e sua velocidade, melhorando o conforto térmico do espaço urbano;
3. **Obstrução:** serve para bloquear a passagem do vento, reduzindo sua velocidade e atenuando seus efeitos na diminuição de temperatura do ar;
4. **Filtragem:** barreiras de vegetação têm a capacidade de reduzir a velocidade do vento e de barrar os resíduos por ele transportados.

2.2 CONFORTO AMBIENTAL

Para MASCARÓ (1991) um edifício projetado para o clima local se tornará confortável e poupará energia. A solução para resolução dos problemas de conforto tanto para a condição de verão quanto para a condição de inverno, está na adequação do projeto envolvente do edifício (paredes, coberturas e aberturas).

Segundo DURANTE (2000), o tema conforto ambiental das edificações é, por definição, interdisciplinar, envolvendo em suas determinações um grande número de especialidades profissionais, todas convergindo para o objetivo comum de proporcionar ao homem que utiliza o ambiente a realização de suas tarefas com o

mínimo de esforço e um máximo de satisfação física e mental. Entendido como um conjunto de variáveis do ambiente construído, a determinação das condições de conforto utiliza técnicas que lidam ora com elementos quantificáveis típicos da física aplicada à fisiologia – termologia, acústica, fotometria e outros – ora com parâmetros essencialmente de ordem psicológica e cultural.

Atualmente, o conceito de conforto ambiental consiste na visão integrada de um conjunto de problemas ambientais, antes tratados de forma individualizada por especialistas, que pouco se relacionavam entre si. Esse conceito global e de visão macro é resultado de movimentos de consciência e de novos conceitos sobre organização dos processos produtivos, surgidos a partir dos anos 70, e que ainda hoje estão em processo de amadurecimento e implantação (movimento ecologista, qualidade total, direito do consumidor, entre outros). Concepções modernas para organização e produção, geradas pela globalização, trouxeram novas preocupações, que se transformaram em novos temas de estudo relacionados ao conforto ambiental, como eficiência energética, saúde ocupacional e produtividade (DURANTE apud LAMBERTS et al., 1997).

As preocupações com o conforto ambiental, na sociedade moderna, aliam-se a diversos campos de interesse, tendo como premissa a satisfação dos indivíduos no que se refere ao conforto dos ambientes ocupados, com o objetivo de aumentar a produtividade e eficiência na realização das atividades que se desenvolvem no interior desses edifícios.

Muitas formas de isolar o calor e o frio também desempenham a função de isolamento acústico. Janelas e portas de vedação perfeita impedem a passagem do ar e dos ruídos, (MASCARÓ, 1991).

2.2.1 CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico tem grande parcela de contribuição no conforto ambiental. A temperatura sob a qual é submetido um ocupante de uma edificação pode exercer grande influência sobre seu comportamento, reações estados físicos e psíquicos, (CERF, 1998 apud DURANTE, 2001).

Para FROTA & SCHIFFER (1995), diversos estudos vêm sendo desenvolvidos para entender os mecanismos de interação entre o homem e conforto térmico, com diferentes abordagens. Alguns, voltados para o homem como trabalhador, com abordagens sobre as reações fisiológicas de trabalhadores expostos a altas temperaturas, além do conceito de sobrecarga térmica nos ambientes de trabalho; outros relacionam o conforto com a edificação em si, com abordagens sobre o clima e a arquitetura, tratando do questionamento das interações que as edificações estabelecem com o meio.

Todos esses estudos buscam definir as interações entre o homem e o meio ambiente térmico, estabelecendo os limites aos quais se pode suportar calor ou frio, ou seja, as exigências humanas.

Para FROTA & SCHIFFER (1995), os primeiros estudos relacionados com as condições de conforto térmico se deram nos anos de 1916, nos Estados Unidos. Estes tiveram como objetivo principal determinar influência das condições termo-higrométricas no rendimento do trabalho, e foi detectado que para o trabalho físico quando a temperatura ambiente apresentava 20° C e variava para 24° C o rendimento do trabalhador caía em 15%; quando a temperatura atingia 30° C e umidade relativa do ar em 80% o rendimento baixava mais ainda para 28%.

Dessa observação foi possível verificar a variação das interações entre o ser humano com a temperatura e umidade do ambiente de acordo com os tipos de atividades e das vestimentas e relacionar com as variáveis do ambiente assim dando origem aos índices de conforto térmico. FROTA & SCHIFFER (1995) dizem que esses índices baseiam-se em diferentes aspectos de conforto sendo citados a seguir:

a) **Índices biofísicos:**

Baseiam-se nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, correlacionados os elementos do conforto com as trocas de calor que dão origem a esses elementos;

b) **Índices fisiológicos:**

Baseiam-se nas reações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura seca do ar, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar;

c) **Índices subjetivos:**

Baseiam-se nas sensações subjetivas de conforto experimentadas em condições em que os elementos de conforto térmico variam.

LAMBERTS et al. (2000) consideram que a escolha do conforto deve estar relacionada com as condições ambientais e com as atividades desenvolvidas pelo indivíduo. FROTA & SCHIFFER (1995) dizem que existem aproximadamente trinta índices de conforto térmico. Porém para fins de aplicação às condições ambientais brasileira nas habitações, escolas, escritórios entre outras edificações, a bibliografia destaca quatro, sendo abaixo relacionados:

- a) Carta bioclimática, de Olgay;
- b) Temperatura efetiva, de Yaglou e Houghthen ou temperatura efetiva corrigida, de Vernon e Werner;
- c) Índices de conforto equatorial ou índice de Cingapura de webb;
- d) Método de Fanger.

Desta forma, fez-se necessário abordar as definições das exigências humanas para a montagem de um panorama mais completo sobre o tema.

2.2.1.1 Definição das Exigências Humanas

O ser humano apresenta, em seu organismo, temperatura com valor médio de 37° C com variações entre 36,1° C a 37,2° C, e dessa forma produz uma energia através dos fenômenos térmicos. Essa energia térmica produzida pelo organismo humano é oriunda das reações químicas internas vindas das combinações do carbono com oxigênio extraído do ar através da respiração, (FROTA & SCHIFFER, 1995).

Dessa forma o organismo humano irá sofrer transformações da energia e 20% é empregada para o trabalho e 80% é transformada em calor e é dissipada para a manutenção do próprio organismo. Só que o calor produzido e o calor dissipado irão depender das atividades desenvolvidas pelo indivíduo, porque quando ele estiver em repouso absoluto (metabolismo basal) o calor que será dissipado pelo seu organismo será na faixa de 75 W, (LAMBERTS, 2000).

À medida que o calor vai se tornando mais intenso, isto é, à medida que se atingem temperaturas mais elevadas, o conforto e a eficiência dos ocupantes do ambiente são gradativamente afetados. LAMBERTS (2000) afirma que, o organismo humano reage ao calor e ao frio mediante uma série de respostas fisiológicas de adaptação chamadas aclimatação, necessárias para que o organismo atinja o equilíbrio térmico – o equilíbrio necessário entre organismo e o meio ambiente, para que o indivíduo não sinta nem frio, nem calor.

Em conseqüências dessa característica do corpo humano se faz necessário a termorregulação, que é a manutenção da temperatura interna do organismo e que comanda a redução dos ganhos ou das perdas de calor através de alguns mecanismos de controle, e só vai sentir sensação de conforto térmico quando perder para o ambiente sem necessitar do mecanismo de termorregulação, (LAMBERTS, 2000).

LAMBERTS et al. apud DURANTE (2000), complementam que:

“Conforto térmico é definido como um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa”.

Para FROTA & SCHIFFER (1995), a redução de trocas térmicas entre o indivíduo e o ambiente se faz através do aumento da resistência térmica da pele por meio da vasoconstrição e o incremento das perdas de calor para o ambiente ocorre por meio da vasodilatação e da exsudação.

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 conforto térmico. Essa afirmação, contudo, é delicada, pois essa sensação é muito subjetiva, extremamente dependente da pessoa. Assim, um determinado ambiente que propicie absoluta neutralidade térmica à uma pessoa pode causar desconforto – sensação de frio ou calor – à outra..

Segundo JABARDO (1984) apud DURANTE (2000):

“Um estudo de conforto térmico deve, portanto, ter como objetivo a obtenção de condições ambientais que propiciem sensação de conforto a um número maior de pessoas possível que estejam realizando determinado tipo de atividade”

Segundo COSTA (2002), o calor liberado pelo corpo é dissipado através das trocas térmicas entre o corpo e o ambiente, envolvendo as chamadas trocas secas e estão descritas a seguir:

a) Condução:

É a passagem da energia calor entre elementos de um sistema ou de sistemas em contato, devido a um gradiente de temperatura, porém sem variação apreciável da posição relativa dos elementos do sistema ou dos sistemas. Resumidamente, a condução é a forma de transmissão de calor sem transporte de massa;

b) Convecção:

É a passagem da energia calor com variação da posição relativa dos elementos do sistema ou de sistemas. Assim, a convecção é a forma de transmissão de calor pela mistura de elementos que possuem maior energia térmica com os de menor energia térmica. Esta mistura é a causadora das chamadas correntes de convecção que aparecem no interior do sistema ou sistemas. Resumidamente, a convecção é a forma de transmissão de calor com transporte de massa. Quando este trabalho é ocasionado unicamente por uma diferença de temperatura, temos a convecção natural. Quando ele ocorre com auxílio de meios externos, temos a convecção forçada.

c) Radiação:

É a passagem da energia calor através de ondas eletromagnéticas. Podemos também dizer que é a forma de transmissão de calor com transporte de energia. Convém alertar desde já que a radiação eletromagnética não é forma de energia calor em um sentido amplo, apesar de ser assim denominada em um intervalo conveniente de frequência. O efeito da radiação eletromagnética neste intervalo somente aparece quando é cruzada a fronteira de um sistema material absorvente. Quando isto ocorre há absorção de energia sendo esta energia a causa do aumento da energia interna do sistema.

Essas trocas secas são denominadas de calor sensível. E o calor perdido para o ambiente através das trocas úmidas é denominado calor latente e envolve mudanças de estado de agregação: o suor líquido passa para o estado gasoso, de vapor, através da evaporação. Para FROTA & SCHIFFER (1995) o adulto submetido a uma temperatura ambiente de 20° C retira as seguintes quantidades de vapor d'água fornecidas pelo próprio ambiente, sendo:

- a) Em repouso = 45 g/h;
- b) Em trabalho leve = 110 g/h.

2.2.1.2 Fatores Relacionados à Sensação de Conforto Térmico

Devem-se levar em consideração todos os parâmetros que influenciam na sensação de conforto para a avaliação da exposição ocupacional ao calor. Segundo PAULA (s/d) apud DURANTE (2000), sensação de conforto térmico é toda sensação de frio ou calor que o indivíduo sente em determinadas condições ambientais, decorrentes dos fatores climáticos, dos fatores das possíveis fontes de calor – calor radiante – e dos fatores de ordem pessoal.

AKUTSU et al. (1987) explicam que a temperatura do ar é proporcional ao ganho de calor do organismo por condução-convecção, ou seja, as trocas de calor entre o corpo humano e o meio que o envolvem – ar. A umidade do ar influencia diretamente na taxa de evaporação do suor: quanto maior a umidade do ar, mais difícil será a eliminação de calor através de suor, uma vez que o ar se encontra mais saturado. A velocidade do ar define as trocas das camadas de ar próximas ao corpo, aumentando o fluxo de calor entre este e o ar: quanto maior a ventilação, mais trocas se realizam.

Os fatores relacionados às fontes emissoras de calor são decorrentes da existência de fontes de radiação infravermelhas, o que acarreta ganhos de calor ao organismo por radiação. Não havendo fontes de calor, dependendo das condições, o organismo perderá calor por radiação (MASCARÓ, 1991).

Como fatores de ordem pessoal, têm-se a idade, sexo, peso, a cor da pele, o tipo de alimentação, fatores de ordem genética e vestimenta. A atividade desenvolvida pelo indivíduo é independente do ambiente, promovendo acréscimos de

calor decorrentes do metabolismo. A vestimenta também é importante, pois funciona como isolante térmico, mantendo junto ao corpo uma camada de ar, conforme seu ajuste ao corpo, material e porção do corpo que cobre (FROTA & SCHIFFER, 1995 apud DURANTE, 2000).

O limite de tolerância representa as condições as quais se acredita que a grande maioria das pessoas possa ficar continuamente exposta aos agentes presentes no ambiente sem que haja risco ou dano à sua saúde.

2.2.2 TRANSMISSÃO DE CALOR NAS EDIFICAÇÕES

As trocas de calor em uma edificação estão ocorrendo, a cada instante, entre os diversos materiais componentes da edificação, entre estes e os meios externo e interno, entre os ocupantes e o meio, etc. Todas estas trocas envolvem transferência de energia de uma região para outra, resultante de uma diferença de temperatura entre elas, calor sensível, ou ainda envolvendo mudança de fase da água contida em uma das regiões, calor latente. Por exemplo, durante a evaporação do suor de uma pessoa, esta perde o calor necessário para a mudança de fase da água, (UCHÔA, 1989).

O conceito de temperatura corresponde indiretamente ao do valor médio da energia cinética das partículas de um corpo.

Nas aplicações praticas ou técnicas, são estabelecidas regras através de formulas, permitindo avaliar as condições mediante as quais a energia térmica se desloca de um corpo para outro ou de uma região para outra do mesmo corpo.

Os mecanismos de transmissão de calor sensível podem ser classificados, de modo geral, em: condução, convecção e radiação. Apesar de serem mecanismos distintos, podem ocorrer mais de um simultaneamente, (UCHÔA, 1989).

2.2.2.1 Regime de Transmissão de Calor

Considerando uma parede de faces planas e paralelas, inicialmente a temperatura T_i , ao se elevar a temperatura de uma das faces para T_q , começa a ocorrer transferência de calor da face quente para a face fria, como pode ser demonstrado na figura 01.

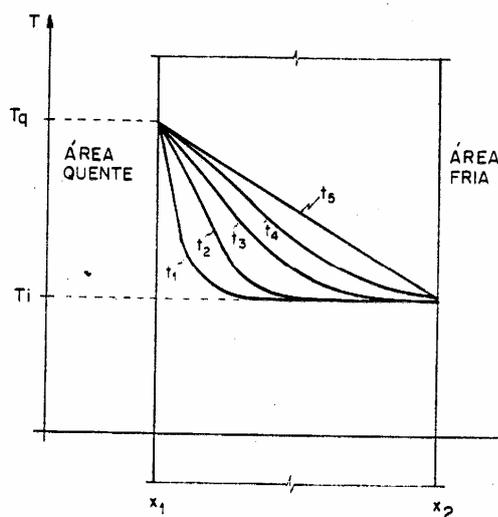


FIGURA 01 - Transmissão de calor em uma parede modificada

FONTE: ARAÚJO (1982)

Mantendo as temperaturas T_i e T_q , para cada instante t haverá uma curva $T = t(x)$, isto é, um mesmo ponto no interior da parede tem diferentes temperaturas no decorrer do tempo, até se estabelecer uma situação de constância nas temperaturas.

Enquanto há variação de temperaturas diz-se que a parede se encontra em Regime Transitório ou Transiente. Segundo UCHÔA (1989), a partir do momento em que a temperatura de um mesmo ponto se mantém constante, chama-se regime permanente ou estacionário.

Em estudos de desempenho térmico de edificações torna-se frequentemente necessária à avaliação em regime transitório, pois as temperaturas variam ao longo de 24 horas, quase periodicamente. Neste caso o regime transitório também é chamado regime periódico.

Utiliza-se também o regime permanente no estudo dos fluxos máximos de calor ou ainda em algumas condições de condicionamento artificial, nas quais as temperaturas são mantidas praticamente inalteradas, (COSTA, 1982).

2.2.2.2 Transmissão de Calor por Convecção

Este processo ocorre quando um dos corpos envolvidos no processo é um fluido. Se as partículas dos fluidos entram em contato com uma superfície aquecida, elas se dilatam, tornando-se menos densas, afastando-se da superfície quente e dando lugar a outras partículas. Cria-se um fluxo de partículas, constituindo a convecção natural.

UCHÔA (1989), diz que considerando o caso de uma parede e o ar circundante, a convecção envolve a transferência de calor por condução da superfície para o ar, a transferência de massa do ar em movimento em movimento e a transferência de energia resultante.

O ar em contato com a superfície pode ganhar ou perder calor, dependendo da diferença de temperatura entre estes, e conseqüentemente, se mover para cima ao ser aquecido ou para baixo, ao perder calor.

SOUZA (1990) diz que há um deslocamento sucessivo das novas camadas de ar, podendo ser estabelecido um fluxo contínuo de ar e um fluxo térmico entre o ar e a superfície. Quando este fenômeno de deslocamento é intensificado pelo vento passa-se a chamar de convecção forçada. Mesmo quando o movimentar do fluído, ou do ar, é turbulento, existe uma região laminar junto à parede, chamada de camada limite.

O calor transmitido por convecção pode ser expresso pela Lei de Newton:

$$q = hA(T_p - T_f) \quad \text{Equação 01}$$

Onde:

h = coeficiente de transferência de calor por convecção ($\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$);

T_p = temperatura da superfície ($^\circ\text{C}$);

T_f = temperatura do fluído ($^\circ\text{C}$).

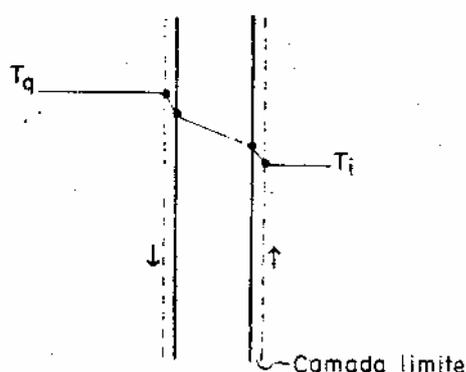


FIGURA 02 - Gradiente de temperatura e camadas limites

FONTE: UCHÔA (1989)

2.2.2.3 Transmissão de Calor por Radiação

A transmissão de calor por radiação se dá entre dois corpos sem que haja necessidade de contato entre eles. Os corpos emitem radiação térmica em consequência de sua temperatura. Esta energia transmite-se em formas de ondas eletromagnéticas de determinadas faixas de frequência, com velocidade igual a da luz, através do vácuo e de substâncias a elas transparentes, (UCHÔA, 1989).

Quando estas radiações incidem sobre um corpo opaco, isto é, não transparente a esta radiação, parcelas da mesma podem ser absorvidas, transmitidas e refletidas, dependendo da temperatura absoluta e das propriedades físicas da substância.

Para equacionar as trocas de calor por radiação, alguns fatores devem ser considerados: cada corpo possui seu fator de emissividade e nem toda a radiação emitida por um corpo chega ao outro, (SOUZA, 1990).

$$q = F_e F_g \beta A (T_1^4 - T_2^4) \quad \text{Equação 02}$$

Onde:

F_e = função emissividade, que leva em conta dimensões e emissividade das superfícies;

F_g = fator forma, que relaciona uma superfície com a outra;

β = constante de Stefan-Boltzmann, que vale $5,669 \times 10^{-8}$ (W/m²K⁴);

T_1 e T_2 = temperaturas em K.

2.2.2.4 Transmissão de Calor por Condução

Para UCHÔA (1989) este mecanismo depende inteiramente das trocas de energia molecular ou do fluxo de elétrons de valência em um meio condutor, ocorrendo devido ao aumento de energia cinética, proporcionando por uma excitação térmica, em uma região de um corpo. Os elétrons, possuindo maior energia, tornam-se mais velozes e suas órbitas mais amplas, chocando-se com elétrons vizinhos. O elétron que recebe o choque também ganha energia térmica, passando a proceder de forma semelhante ao primeiro, e assim sucessivamente, sendo o calor conduzido através do sistema assim estabelecido, (UCHÔA, 1989). A condução se dá também através do choque entre as moléculas, as quais oscilam em torno de um ponto de equilíbrio.

Não ocorre grande movimento de massa da região de maior temperatura na direção da região de menor temperatura, quando a transferência de energia ocorre de acordo com o segundo princípio da termodinâmica, (UCHÔA, 1989).

Os materiais sólidos, mais coesos que os líquidos e gases, têm menor espaço interatômico e permitem mais facilmente a condução do calor.

Como a taxa de transferência de calor é proporcional ao gradiente de temperatura, a transmissão de calor por condução pode ser equacionada pela Lei de Fourier:

$$q = - \frac{kA\partial T}{\partial x} \qquad \text{Equação 03}$$

Onde:

q = taxa de transferência de calor (W);

k = condutividade térmica característica de cada material (W/m °C);

A = área da superfície considerada (m²);

$\frac{\partial T}{\partial x}$ = gradiente de temperatura na direção do fluxo (°C/ m).

O sinal negativo da equação é uma indicação do fluxo de calor no sentido da maior temperatura para a menor temperatura.

SOUZA (1990) explica que essa equação só deve ser considerada para um sistema unidirecional, em que o regime seja permanente (a temperatura não muda com o decorrer do tempo). Essa não é no entanto, a situação real a que está sujeito o homem, pois a temperatura do ambiente está sempre variando com o tempo, conforme as condições climáticas, estabelecendo um regime transitório. Além disso, podem existir fontes de calor nos corpos. Para este caso, alguns outros aspectos devem ser considerados e a equação seria:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Energia conduzida} & + & \text{calor gerado} & = & \text{variação energia} & + & \text{energia emitida} \\ \text{Para o interior} & & \text{no interior} & & \text{interna} & & \text{para fora} \end{array}$$

2.3 ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO

De acordo com OLIVEIRA e RIBAS (1995), a obtenção de conforto térmico se processa quando o organismo, sem recorrer a nenhum mecanismo de termo-regulação, perde para o ambiente calor produzido compatível com sua atividade. Várias metodologias foram desenvolvidas para conjugar as variáveis climáticas (temperaturas, umidade, radiação e ventilação) que influenciam diretamente no balanço térmico do homem com a noção de conforto. Vários índices de conforto (biofísicos, fisiológicos e subjetivos) foram produzidos para fins de aplicação. A maioria dos índices, contudo, têm limitações em sua aplicação prática, as dificuldades de aplicabilidade surgem do fato desses experimentos terem sido realizados em condições climáticas muito variáveis. Como consequência, cada índice é válido e útil para uma margem limitada de condicionantes que não podem ser empregadas universalmente.

2.3.1 TEMPERATURA EFETIVA

Os primeiros estudos com real objetivo de se determinar parâmetros para o conforto térmico se deu entre 1913 e 1923, sendo esta última a data em que Houghthen & Yaglou publicaram seus trabalhos que estabelecia “linhas de igual

conforto”, e determinava as zonas de conforto, nascendo o Índice de Temperatura Efetiva.

Os experimentos tomaram lugar em duas câmaras climatizadas ligadas entre si por uma porta, uma câmara era mantida a temperatura constante e a umidade em 100%, na outra ia se variando a temperatura do bulbo seco e úmido enquanto as pessoas iam de uma câmara para outra e reportava qual estava mais quente. O objetivo era o de determinar as combinações de temperatura de bulbo seco e úmido que causavam as mesmas sensações térmicas. Daí originaram-se as linhas de igual conforto, que foram plotadas em uma carta psicrométrica e chamadas de temperatura efetiva (figura 03).

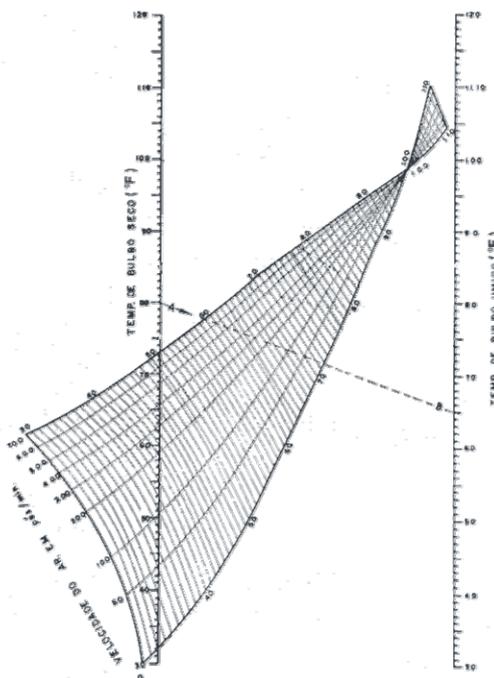


FIGURA 03 – Índice de temperatura efetiva

FONTE: Web site da AreaSeg

Nos anos subseqüentes experiências adicionais tomaram lugar, em 1924 os próprios Houghten & Yaglou estudaram os efeitos da velocidade do ar, em 1925 Yaglou & Miller os das vestimentas. Em 1929 novas experiências foram feitas para determinar o efeito do verão no intervalo de conforto (YAGLOU & DRINKER, 1929).

Conforme RUAS (2002), a escala de temperatura efetiva foi usada sem restrições para avaliar o conforto térmico até 1947, quando surgiram evidências que essa escala superestimava o efeito da umidade nas baixas temperaturas e subestimava o efeito da umidade nas altas temperaturas, (YAGLOU, 1947 e ROWLEY, JORDAN & SNYDER, 1947).

2.3.2 CARTA BIOCLIMÁTICA

Desenvolvida por Olgyay, é determinada através da temperatura de bulbo seco e da umidade relativa do ar. Foi desenvolvida para regiões de clima quente, em trabalho leve, e com vestimenta de 1 clo.

Segundo ANDRADE (1996), em seus estudos OLGAYAY (1963) buscou, dentro de uma seqüência de variáveis interdependentes (clima / biologia / tecnologia / arquitetura), encontrar o método que compreende, inicialmente, uma análise de dados climáticos, acompanhada de uma avaliação psico-biológica. Resultou na elaboração da primeira carta bioclimática apropriada para ambiente externo, apresentando-se como uma tentativa de associar os dados climáticos com a sensação de conforto. O uso da carta é apropriado a regiões com menos de 300 m de altura em relação ao nível do mar, e latitude de aproximadamente 40 graus, em zonas de clima moderado. O autor utilizou a temperatura efetiva, como parâmetro para definir a zona de conforto, considerando a atividade como sedentária e o índice de vestimenta de 1 clo. A carta resultante apresenta uma extensão da zona de conforto, com a associação de outras variáveis que definem zonas de ventilação, irradiação solar, sombreamento e esfriamento evaporativo (figura 04).

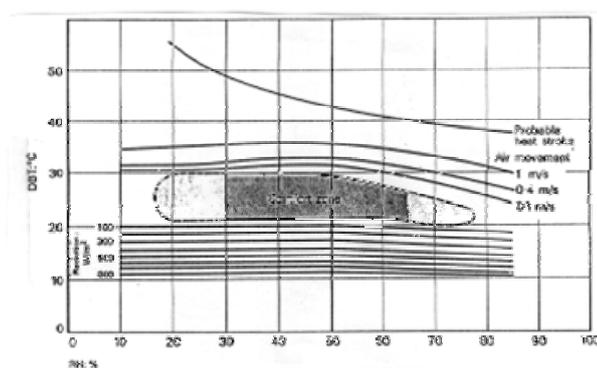


Fig. 4

FIGURA 04 – Carta Bioclimática de Olgay adaptada por Koenigsberger
FONTE: Apostila - Desempenho Térmico, UFSC (2000)

Olgay desenvolveu uma metodologia que indica que com a plotagem de dados climáticos, temperaturas médias mensais horárias, sobre a carta bioclimática, obtêm-se estratégias mais recomendáveis em cada hora, de determinada região. Posteriormente, é feita a transferência destas estratégias para a Carta de Necessidades, que passa a retratar um panorama anual, das necessidades bioclimáticas horárias. Esta carta, por linhas e manchas, limita e define mais claramente, a cada hora, as necessidades dominantes de maior sombreamento, irradiação, ventilação ou proteção dos mesmos.

2.3.3 VOTO MÉDIO PREVISTO E PORCENTAGEM DE PESSOAS INSATISFEITAS - FANGER

A pesquisa sobre o conforto térmico teve um grande avanço a partir da publicação do trabalho desenvolvido pelo Dinamarquês Ole Fanger, em sua passagem pelo laboratório da ASHRAE, Associação Americana dos Engenheiros de Refrigeração, Ar condicionado e Aquecimento, no período de outubro de 1966 a abril de 1967.

Fanger elaborou uma equação de conforto que permitia calcular todas as combinações das variáveis ambientais (temperatura radiante média, umidade relativa, velocidade relativa e temperatura do ar) que produzem o conforto térmico, para uma determinada combinação das variáveis pessoais (tipo de atividade física e vestimenta).

Fanger definiu um critério para avaliar o grau de desconforto experimentado pelas pessoas em ambientes que tivessem condições diferentes daquelas de conforto térmico, relacionando as variáveis que influenciam no conforto térmico com uma escala de sensação térmica definida por ele. Esse critério ele chamou de Predicted Mean Vote-PMV (Voto Médio Estimado-VME).

Este método é considerado o mais completo dos índices de conforto pois analisa a sensação de conforto em função das 6 variáveis. Faz uma relação entre o voto médio predito e a porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD – *Predicted Percentage of Dissatisfied*). A escala de sensação térmica definida por Fanger tem os seguintes níveis:

- 3 - muito frio
- 2 - frio
- 1 - leve sensação de frio
- 0 - neutralidade térmica
- + 1 - leve sensação de calor
- + 2 - calor
- + 3 - muito calor

Fanger também relacionou o voto médio estimado com a porcentagem estimada de insatisfeitos. Essa relação é representada pela curva da figura 05.

Devido às diferenças individuais é difícil especificar um ambiente térmico que satisfaça a todos, sempre haverá uma porcentagem de insatisfeitos. Segundo a ISO 7730, um ambiente é considerado termicamente aceitável quando $PPD < 10\%$, ou seja, $-0,5 < PMV < +0,5$.

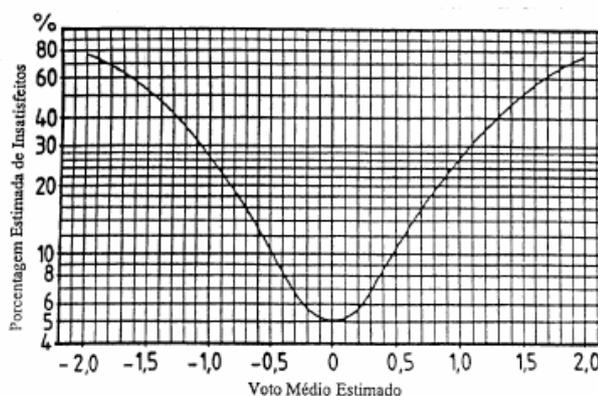


FIGURA 05 – Voto Médio Estimado e Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas
FONTE: Apostila - Desempenho Térmico, UFSC (2000).

2.4 NORMALIZAÇÃO VIGENTE

O Brasil, quanto à normalização, não dispõe de especificação de método para avaliar a sensação térmica das pessoas e, uma das normas relacionadas ao assunto é a NBR 6401 (1980), que estabelece parâmetros para o projeto de instalações de ar condicionado para conforto. Nela estão especificados intervalos de temperatura do ambiente e umidade relativa para o conforto térmico de pessoas em atividade sedentária. Embora a norma não faça referência quanto à influência da temperatura radiante média, da velocidade do ar, da vestimenta e da atividade física no conforto, os intervalos recomendados para atividades sedentárias não estão em desacordo com a ISO 7730 (1994).

As principais normas referentes aos estudos de conforto térmico foram elaboradas pela ISO (International Organization for Standardization) e pela ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.) sendo que as duas possuem em comum o fato de serem baseadas em estudos realizados em câmaras climatizadas, principalmente os de FANGER (1970).

2.4.1 ISO 7730 – VOTO MÉDIO ESTIMADO E PORCENTAGEM DE PESSOAS INSATISFEITAS

A norma internacional ISO 7730 (1984), tomou como base os modelos de Fanger, e aplica-se a indivíduos sadios, tendo como objetivo apresentar um método para prognosticar a sensação térmica e a proporção de pessoas insatisfeitas quando expostas a ambientes térmicos moderados, aqueles nos quais a combinação das variáveis ambientais e pessoais de conforto resultam num PMV dentro do intervalo de -2 a +2 . Ela é indicada para o projeto de ambientes novos, como também na avaliação dos já existentes.

O conforto térmico é definido pela ISO 7730 (1984) como o estado de espírito que exprime satisfação com o ambiente térmico e considera que a insatisfação pode ocorrer em razão do aquecimento ou resfriamento do corpo como

um todo ou de partes determinadas, o que recebe a designação de desconforto localizado.

O desconforto localizado pode ser causado por altas velocidades do ar, por grandes diferenças entre as temperaturas nas alturas da cabeça e do tornozelo, por grande assimetria de temperatura radiante ou pelo contato com superfícies frias ou quentes.

Os limites de conforto especificados nessa norma foram baseados na premissa que um ambiente só é confortável se pelo menos 80% dos ocupantes estão satisfeitos. TANABE & KIMURA (1994) *apud* RUAS (2002) apresentaram uma revisão dos efeitos da temperatura do ar, da umidade e da velocidade do ar no conforto térmico em climas quentes e úmidos. O trabalho concluiu que o PMV superestima a sensação térmica quando a velocidade do ar é superior a 0,5m/s e que o PMV não expressa adequadamente a sensação de conforto em condições de umidade alta porque a porcentagem de insatisfeitos é significativamente maior quando a umidade é 80% do que a 40% e 60%.

Em 1994, a ISO 7730 sofreu uma atualização. Ela cita que devido às diferenças individuais, é impossível estabelecer condições de conforto térmico que satisfaçam a todos num grande grupo. A nova versão especifica que um ambiente é aceitável no que se refere ao conforto térmico se a porcentagem de pessoas insatisfeitas devido ao desconforto no corpo for menor que dez por cento ($PPD < 10\%$), e os insatisfeitos devido a desconforto localizado causado pelo ar em velocidade e/ou temperatura inadequadas, forem menos que 15 %.

Há uma equação que permite calcular a porcentagem de insatisfeitos devido ao desconforto localizado em função das variáveis: velocidade relativa, temperatura e intensidade de turbulência do ar. Essa equação é aplicável a pessoas em atividade leve, principalmente sedentária, com sensação térmica, no corpo como um todo, próxima da neutralidade. Ela incluiu ainda a limitação da umidade relativa ao intervalo entre 30 e 70% e modificou as recomendações para a velocidade média do ar em atividades sedentárias que passaram a ser dadas por um gráfico que relaciona, para 15% de insatisfeitos, a velocidade relativa, temperatura e turbulência do ar.

2.4.2 ISO 7726/96 -AMBIENTES TÉRMICOS; INSTRUMENTOS E MÉTODOS PARA A MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS

Essa Norma internacional encontra-se atualmente em discussão, por tratar-se de atualização de norma pré-existente, ISO 7726 (1985), sendo que seu objetivo principal é a definição dos parâmetros e orientação com relação às medições dos parâmetros físicos de ambientes térmicos, tanto ambientes moderados, para análise de conforto térmico, como ambientes extremos, para análise de estresse térmico. Especifica as características mínimas dos equipamentos e métodos de medição das variáveis físicas. Objetiva apenas a padronização do processo de registro de informações sobre as variáveis, que levem à obtenção do índice global de conforto térmico. Deve ser utilizada como referência quando se deseja fornecer especificações a fabricantes e usuários de equipamentos de medição de variáveis físicas de um ambiente. Essa versão atualizada é mais abrangente no que diz respeito à classificação de ambientes, homogêneos ou heterogêneos, para efeito de medições, e apresenta também relações psicrométricas do ar úmido de maneira mais completa.

2.4.3 ISO 8996/90 ERGONOMIA - DETERMINAÇÃO DA PRODUÇÃO DO CALOR METABÓLICO

Esta Norma Internacional apresenta metodologia para a determinação da produção do calor metabólico, a três níveis de precisão distintos: nível I, classificação de acordo com o tipo de atividade e ocupação, sendo o risco de erro muito grande; nível II, utilizando tabelas de estimativas da taxa metabólica por atividades específicas ou utilizando-se a taxa cardíaca sob condições pré-definidas, ainda com altos riscos de erros sendo a precisão da ordem de 15%; nível III, utilizando-se medições diretas através do consumo de oxigênio, onde os riscos de erros são bem menores e a precisão é da ordem de 5%.

2.4.4 ISO 10551/95 ERGONOMIA DE AMBIENTES TÉRMICOS - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO AMBIENTE TÉRMICO USANDO ESCALAS SUBJETIVAS DE JULGAMENTO

Esta Norma Internacional fornece subsídios para a construção e uso de escalas de julgamento, tais como escala de percepção ou de conforto térmico, de preferências térmicas, de aceitabilidade térmica e de tolerância térmica, para a utilização na obtenção de dados confiáveis e comparativos sobre os aspectos subjetivos do conforto e estresse térmico.

2.4.5 ISO 9920/95 ERGONOMIA DE AMBIENTES TÉRMICOS - ESTIMATIVA DO ISOLAMENTO TÉRMICO E RESISTÊNCIA EVAPORATIVA DE UM TRAJE DE ROUPAS

Esta Norma Internacional especifica métodos para a estimativa das características térmicas (resistência à perda de calor sensível e a perda de calor latente), em condições de estado permanente para trajes de roupas, baseados em valores conhecidos do isolamento das vestimentas, peças e tecidos. Também é discutida nessa norma a influência do movimento do corpo e a penetração do ar sobre o isolamento térmico e a resistência evaporativa.

2.4.6 ASHRAE STANDARD 55-92 AMBIENTES TÉRMICOS - CONDIÇÕES PARA OCUPAÇÃO HUMANA

Essa é uma Norma Norte-americana utilizada em estudos de conforto térmico. O padrão atual ASHRAE 55-1992, é abrangente, pois inclui informações sobre isolamento das vestimentas, medições dos períodos e localizações, desconforto com correntes de ar, juntamente com uma bibliografia atualizada. Este padrão é acordado com a ISO 7726, (1996) e 7730, (1994) baseado nos estudos de Fanger em câmaras climatizadas. Considera a temperatura efetiva (TE^*) como índice para definir limites, mas passa a retratar zonas de conforto distintas para o verão e para o inverno. Essa norma americana também é uma atualização de outra pré-existente, ASHRAE Standard 55 - 1981, sendo que as principais alterações na versão atualizada dizem

respeito a uma maior seção de definições, maiores informações a respeito do isolamento térmico das vestimentas, melhor enfoque sobre períodos e locais apropriados de medições, desconforto devido à correntes de ar, apresentando uma bibliografia bem mais atualizada sobre o assunto. Esta Norma Norte-americana, encontra-se em conformidade com os dizeres da ISO 7730, bem como da ISO 7726.

2.5 CARACTERÍSTICAS DAS TIPOLOGIAS DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Neste item será descrito as características do material convencional e do material alternativo empregada para construção de habitações.

2.5.1 MATERIAIS CONVENCIONAIS

Chama-se cerâmica à pedra artificial obtida pela moldagem, secagem e cozedura de argilas ou de misturas contendo argilas. Em certos casos, pode ser suprimida alguma das etapas citadas, mas a matéria - prima é a argila. De acordo com a ABNT, as argilas são compostas de partículas coloidais de diâmetro inferior a 0,005 mm, com alta plasticidade quando úmidas e que, quando secas, formando torrões dificilmente desagregáveis pela pressão dos dedos (BAUER, 1995).

Posteriormente ocorre o processo de preparação dos materiais cerâmicos. Onde podemos destacar os tijolos, que é um material tradicional muito usado para construções das edificações convencionais.

BAUER (1995) destaca a seguir as etapas para preparação dos materiais cerâmicos:

- a) Extração do barro;
- b) Preparo da matéria – prima;
- c) Moldagem;
- d) Secagem;
- e) Cozimento;
- f) Produto final.

2.5.1.1 Tijolos

Os métodos de construção nos diversos países da Europa sempre foram diferentes, bem como os materiais de construção que variavam de País para País. As tradições arquitetônicas de um País têm uma grande influência sobre a construção atual: não se mudam facilmente os hábitos no sector da construção, (www.fck.com.br).

Historicamente, o tijolo é um produto de substituição. Ou seja, ele foi utilizado primeiramente em regiões onde a pedra natural e a madeira não eram abundantes. Foi assim que, em alguns países da Europa, o tijolo apareceu a partir do século XII, mais especificamente nas regiões costeiras do Mar do Norte e do Mar Báltico. Nesses locais, o tijolo face-à-vista foi, durante muitos séculos, o material preferido de todos os construtores. Já nos países ou regiões onde a pedra existia em quantidade suficiente (Suíça, Sul da Alemanha, França, etc.) o tijolo (e mais tarde o bloco de cimento) foi substituindo gradativamente a pedra, mas foi mantida a tradição das paredes revestidas ou pintadas, (www.fck.com.br).

O tijolo cerâmico continuou a ser o material de construção por excelência empregado em vários países da Europa: principalmente em Portugal, Espanha, Bélgica e Áustria, mas também na Holanda, Itália, Alemanha, Dinamarca, Suíça e França. Em contrapartida, ele foi menos utilizado nos países escandinavos, onde o material mais usado foi a madeira. Hoje, outros materiais concorrentes ao tijolo cerâmico são os tijolos de cal e de areia (Inglaterra, Alemanha, Holanda e Suíça), os blocos de cimento (França e Bélgica) e os blocos de gesso (França), (www.fck.com.br).

PETRUCCI (1995) disse que existem três tipos diferentes de tijolos:

- a) **Os adobes:** São feitos com argila e erva ou palha para serem mais resistentes, e são moldados manualmente. A utilização deste tipo de tijolo não é muito vantajosa, visto não ter uma resistência mecânica que sustentem cargas pesadas e resistem mal à umidade;

- b) **Os refratários:** Feitos à base de argilas refratárias, que agüentam altas temperaturas sem se fundirem, costumam ser maciços, e podem ter várias dimensões. São utilizados no interior de fornos e fornalhas, pois não se fundem quando expostos as altas temperaturas;
- c) **Os ordinários:** Designados também por tijolos de barro vermelho devido à cor das argilas que o compõem. Estes tijolos podem ser maciços ou furados. Os maciços são muito resistentes às forças mecânicas, e normalmente tem a dimensão de 20 cm x 10 cm x 5 cm. Os furados podem ser vazados (furos de qualquer dimensão e forma, sendo paralelos ou leito) ou perfurados (furos perpendiculares ao seu leito), e podem ter vários formatos. Cada formato pode dar origem a diferentes tipos de tijolo devido à disposição dos furos.

Dessa forma atualmente os tijolos cerâmicos ficaram muito utilizados na construção de painéis de fechamento vertical (paredes) convencional das casas térreas, sobrados e prédios. Os acabamentos podem ser de reboco ou gesso. As normas empregadas nesse sistema construtivo são: NBR-6461 (1983), NBR-8042 (1983), NBR-8947 (1985) e NBR-7171 (1992), segundo (BAUER, 1995).

A figura 06 representa o tijolo cerâmico para serem empregados nas vedações de paredes.



FIGURA 06 - Tijolos cerâmicos para vedação
FONTE: www.fck.com.br

Para BAUER (1995) os blocos cerâmicos podem ser utilizados em alvenaria convencional para vedação e como estrutural (colunas e vigas embutidas) na construção das casas térreas, assobradadas e prédios. Os acabamentos também podem ser de reboco, gesso e alvenaria aparente. Nesse tipo de vedação podem apresentar tubulações embutidas para instalações hidráulicas, elétrica e gás. As

normas empregadas nesse sistema construtivo são: NBR-6461 (1983), NBR-8042 (1983), NBR-8947 (1985) e NBR-8043 (1983).

A figura 07 representa o esquema construtivo dos blocos para vedação e estrutural.

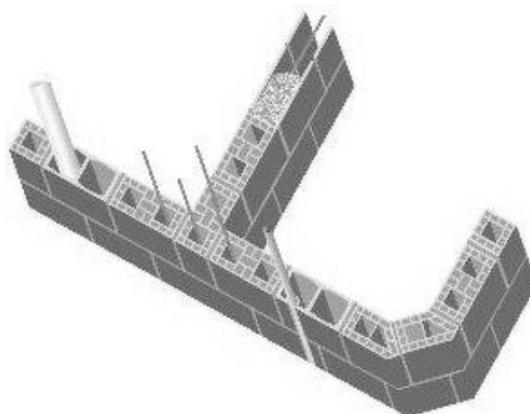


FIGURA 07 - Blocos cerâmicos para vedação e estrutural
FONTE: www.fck.com.br

2.5.2 MATERIAIS ORGÂNICOS NATURAIS

Os materiais orgânicos naturais que se tem utilizado como agregados incluem-se os desperdícios de vários tipos de indústrias, agrícolas ou extrativas, principalmente as cascas de arroz e o pó de serra.

2.5.2.1 Pó de Serra

O pó de serra tem já vem sendo usado como material agregado por muitos anos nos materiais de construção civil, tendo sido estudado no “Building Research Station desde 1924”, um bom estudo foi feito por (PARKER, 1937) sobre o uso do pó de serra.

As dosagens são normalmente de 1:1 a 1:4 (cimento e pó de serra) em volume, de acordo com o propósito. Sabemos que o pó de serra contém grande parte de celulose, também contém açúcares solúveis, ácidos, óleos, ceras, resinas e outras substâncias orgânicas em graus distintos, de acordo com o tipo da madeira que o produziu. Alguns dos pós de serra apresentam efeitos indesejáveis sobre resistência e endurecimento do cimento, no melhor dos casos isto conduz a uma incerteza sobre as propriedades do produto, ou ser sem serventia devido as suas propriedades pobres,

tendo-se que fazer pré-tratamento para evitar tais problemas, tais como: 1) oxidação parcial; 2) impermeabilização; 3) neutralização com base para precipitar taninos; 4) acelerador de pega, (MARTINEZ, 2003).

O mesmo autor considera ainda que a maioria das misturas de pó de serra se torna compatíveis com o uso de uma mistura aglutinante de cal e cimento.

A tabela 01 a seguir mostra que a resistência obtida do concreto de pó de serra não é alta, porém a condutividade térmica apresenta uma mudança satisfatória com relação a outros concretos semelhantes. A contração depois de seco, é muito alta, quase 10 vezes maior que a maioria dos outros concretos leves, o que limita o uso deste material, (SHORT & KINNIBURGH, 1967 apud MARTINEZ, 2003).

O concreto de pó de serra tem sido utilizado para acabamento de pisos sem juntas e cerâmicas para pisos, suas aplicações em muros tem tido êxito em lugares onde a estrutura pode movimentar-se tais como placas pré-fabricadas e firmadas entre pilares. Os blocos de concreto de pó de serra que contém certa proporção de areia são agora utilizados comumente e dão bons resultados quando se usa em posições adequadas, (MARTINEZ, 2003).

A areia é um material empregado na construção civil que tem o efeito de aumentar o peso e reduzir o valor de isolamento térmico, mas limita efetivamente as contrações após seco.

TABELA 01 – Propriedades do Concreto de Pó de Serra

| Misturas | Densidade do concreto | Resistência com (28 dias) | | |
|--|---|---------------------------|-----------------------|--------------------------|
| | | Compressão | Transversal | Condutividade |
| Cimento/Pó de serra (Traço em volume) | Superficialmente seco (Kg/m ³) | (Kg/cm ²) | (Kg/cm ²) | térmica K (Kcal/mh°C) |
| 1:1 | 1600 | 352 | 70 | — |
| 1:2 | 1200 | 123 | 39 | ≅ 248 |
| 1:3 | 880 | 49 | 18 | ≅ 248 |
| 1:4 | 640 | 18 | 11 | ≅ 174 |

FONTE: SHORT & KINNIBURGH (1967) apud MARTINEZ (2003)

2.5.2.2 Casca de Arroz

A produção de arroz, que é uma das maiores culturas agrícolas mundiais, gera diversos resíduos, como palhas, grãos quebrados e cascas. As cascas não encontram aplicação direta, pois apresentam baixo valor nutritivo, alto caráter abrasivo, baixa densidade, alto teor de cinzas e alta resistência a degradação. Porém, este material tem sido aproveitado na produção de madeira aglomerada e na geração de energia elétrica, já que 1Mw de energia é gerado a partir da queima de 1 tonelada de casca de arroz, na queima para obtenção de energia calorífica. Desse processo resta uma cinza contendo sílica fina, capaz de gerar danos ao sistema respiratório levando à silicose. Apesar de conterem agregados (mais ou menos 3,5% relativos ao peso da sílica) não tem valor como adubo. Devido ao seu baixo custo, a sua baixa granulometria e alta área específica, a sílica da casca de arroz tem sido motivo de vários trabalhos de pesquisa visando as seguintes aplicações, carbetos de silício, na formulação de cimento de baixo custo, como fonte de silício semi-condutor, bem como para uso em substrato de componentes eletrônicos e também deve ser usado na produção de outros materiais, tais como carga em resina fenol-formaldeído, polipropileno e borrachas (HARIMA, 1996).

Segundo NAKATA et al. (1989) os principais constituintes da casca de arroz são:

- a) celulose (38% em peso);
- b) lignina (22% em peso);
- c) resíduo inorgânico (40% em peso).

O resíduo contém entre 87 e 97% em peso de sílica, dependendo da espécie, clima e região geográfica do plantio.

TABELA 02 - Composição química do resíduo de casca de arroz (excluído 12% de C) obtido por absorção atômica (% em peso).

| Composto Químico | Recebida (% em peso) | Purificada (% em peso) |
|--------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| SiO ₂ | 96,25 | 99,5 |
| TiO ₂ | 0,07 | - |
| CaO | 0,64 | 0,06 |
| MgO | 0,57 | 0,06 |
| K ₂ O | 1,69 | 0,02 |
| Na ₂ O | 0,16 | 0,02 |
| Al ₂ O ₃ | 0,15 | 0,08 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,08 | - |
| Mn ₂ O ₃ | 0,20 | 0,02 |

FONTE: SOUZA et al. 1996

TABELA 03 - Composição química da casca de arroz.

| Composto Químico | % em Peso |
|--------------------------------|-----------|
| CaO | 0,40 |
| MgO | 0,38 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,13 |
| K ₂ O | 1,22 |
| Na ₂ O | 0,13 |
| Al ₂ O ₃ | 0,23 |
| MnO | 0,16 |
| TiO ₂ | 0,01 |
| P ₂ O ₅ | 0,96 |
| SiO ₂ (sílica) | 74,85 |

FONTE: MEDEIROS, 1987

Sabe-se que o descarte das cascas de arroz é um problema particularmente sério, e que requer especial atenção devido às grandes quantidades envolvidas e acumuladas nas proximidades dos moinhos e máquinas de arroz. As cascas, quando queimadas a céu aberto, deixam como resíduo uma cinza que apresenta bom potencial como carga, pois sua composição química consiste predominantemente de sílica.

Dependendo de como a cinza é gerada, duas variedades são produzidas, as quais diferem principalmente pelo percentual em sílica.

MARTINEZ (2003) disse que a cinza branca origina-se a temperaturas maiores e é quase totalmente composta por sílica, enquanto a cinza preta, formada a temperaturas mais baixas contém, além da sílica, uma boa quantidade de material orgânico.

A importância do conhecimento das proporções dos compostos constituintes do cimento reside na correlação existente entre estes e as propriedades finais do cimento e também do concreto e da argamassa, BAUER (1995).

Pela análise dos dados, concluímos que modificando a composição química do cimento ou interferindo na cinética da reação química pode-se influir sobre o tempo para início e fim de pega, bem como sobre o desenvolvimento do endurecimento do concreto.

TABELA 04 – Aditivos retardadores de pega e seus efeitos sobre as resistências mecânicas.

| Idade Dias | | 1 | | 2 | | 7 | | 28 | | 90 | |
|------------|---------|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|
| Aditivo | Dosagem | Tf | C |
| Argamassa | 0 | 36 | 120 | 49 | 220 | 77 | 385 | 88 | 462 | 90 | 550 |
| Padrão | | | | | | | | | | | |
| Sacarose | 0,5% | 30 | 102 | 51 | 220 | 80 | 480 | 83 | 610 | 84 | 640 |
| | 1,0% | 4 | 13 | 29 | 120 | 77 | 440 | 81 | 550 | 96 | 615 |
| Glucose | 1,0% | 20 | 72 | 50 | 242 | 68 | 375 | 76 | 545 | 81 | 600 |
| | 2,0% | 1 | 10 | 26 | 85 | 56 | 285 | 75 | 465 | 81 | 525 |

FONTE: BAUER, 1995

Onde:

Tf = Tração e flexão (Kg/ cm²);

C = Compressão (Kg/ cm²).

Concluída a pesquisa de caracterização da argamassa tradicional e argamassa especial, MARTINEZ (2003) construiu algumas kitnetes residenciais em Cuiabá empregando as placas confeccionadas com argamassa especial. Isso pode ser observado nas figuras abaixo.



FIGURA 08 – Sistema construtivo empregando as placas com argamassa especial
FONTE: MARTINEZ (2003)



FIGURA 09 – Painel de fechamento vertical com placas de argamassa especial.
FONTE: MARTINEZ (2003)

Desta forma, o sistema construtivo está vinculado à maneira como estes materiais são empregados a fim de adaptar às condicionantes climáticas, ao baixo custo para construção das habitações a que estão submetidos e, assim, relacionar se o produto não convencional irá proporcionar conforto térmico para o organismo humano.

2.6 COMENTÁRIO

O que norteou a realização desta pesquisa na verificação das condições de conforto térmico de um ambiente construído com material convencional (tijolo cerâmico de oito furos) e outro construído com o material especial (placa de argamassa armada com casca de arroz), foi a possibilidade de desenvolver o mesmo em uma área de estudo já existente - algumas kitinetes construídas com esses produtos no bairro Jardim Paulista, em Cuiabá - que foram também originadas de uma pesquisa em nível de mestrado do engenheiro MARTINEZ (2003). Com base no levantamento bibliográfico realizado neste trabalho de pesquisa, e tendo como foco, a análise do comportamento térmico do material convencional e do material alternativo para construção dos painéis de fechamento vertical, pode-se salientar que este poderá trazer uma contribuição para a construção civil. Cuiabá, que ainda possui uma carência em trabalhos de pesquisas que envolvam edificações e o conforto térmico, tanto com materiais convencionais como empregando materiais alternativos, encontra nesta pesquisa o passo inicial e de grande importância para que se possa ter um maior conhecimento das transmissões de calor dos ambientes e suas variáveis, e assim poder melhor indicar os materiais para seu emprego na construção civil.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Este trabalho tem o propósito de fazer a análise comparativa do desempenho térmico de um produto alternativo (placa de argamassa armada com casca de arroz) e do produto convencionalmente utilizado para painéis de fechamentos verticais, fazendo por fim a comparação dos resultados, visando o emprego que melhor garanta o conforto térmico na construção civil. Foram realizados ensaios em ambientes construídos, os quais não são habitados.

3.1.1 PLACAS DE ARGAMASSA ARMADA COM CASCA DE ARROZ

Devido ao demorado tempo de degradação ambiental para a casca de arroz, uma prática para se dar fim ambiental aos lixões deste produto tem sido sua queima para geração de energia em fornos e caldeiras, sendo que, normalmente materiais de degradação demorada são poluentes à atmosfera, ocasionam chuvas ácidas e as cinzas, por apresentarem altíssima quantidade de sílica amorfa, conduzem a doenças respiratórias à população. A idéia do aproveitamento da casca de arroz como material alternativo na construção civil vem crescendo a cada dia. Percebe-se que o material alternativo é empregado para moradias de baixa renda, onde propicia construções equivalentes às construções tradicionais, mas que ainda possui resistência em sua aplicação, por não ser de conhecimento geral as suas propriedades físicas e mecânicas, pela falta de divulgação de tecnologias geradas no meio acadêmico e em parte, a falta de projetos que atendam as necessidades desta população. Aproveitou-se ainda de estudos já realizados de caracterização física e mecânica das peças

armadas de cimento, areia, cal e matéria orgânica (casca de arroz), com a finalidade de serem empregadas em painéis de fechamento vertical em substituição aos tijolos cerâmicos, os quais atestam a qualidade e desempenho do mesmo para a aplicação na construção civil.



FIGURA 10 - Painel de placa de argamassa armada com casca de arroz

Serão descritos a seguir, a técnica e materiais utilizados por MARTINEZ (2003) para confeccionar as placas com casca de arroz empregadas nas construções das kitinetes, objeto de estudo desta pesquisa.

3.1.1.1 Cimento Portland

O cimento utilizado foi o cimento Portland CP II F 32, da marca Itaú em embalagem de 50 Kg, jazida de Nobres – MT.

Para que o armazenamento do cimento atendesse às normas, foram adotados alguns cuidados baseados nas recomendações de PETRUCCI (1975), BAUER (1994). No local que foi construído o barracão para estocagem do cimento, as vedações laterais e inferior foram realizadas com lona plástica preta e o piso do barracão apresentou estrados de madeira (soalho) para evitar contato com o solo.

TABELA 05 – Propriedades do cimento utilizado.

| Método de Ensaio | Propriedades | Resultados |
|-------------------------|------------------------------------|---|
| NBR-7251 | Massa unitária no estado solto | 1,438 Kg/dm ³ |
| NBR-6474 | Massa específica | 3,215 Kg/dm ³ |
| NBR-7215 | Resistência à compressão MPa (*) | 1 dia – MPa 3 dias – 24 MPa 7 dias – 28 MPa 28 dias – 36 MPa |
| NBR-7224 | Superfície específica Blaine (*) | 360 m ² /Kg |
| NBR-11579 | Finura, Resíduo na peneira 200 (*) | 3,0% |
| NBR-11581 | Tempo de início da pega (*) | Início – 175 min. Fim – 255 min. |

Fonte: Cimento Itaú, Jazida de Nobres, MT

3.1.1.2 Casca de arroz

Utilizou-se casca de arroz obtida de máquinas de beneficiamento do Bairro Bela Vista da Cidade de Cuiabá, a espécie mais beneficiada é o arroz tipo agulhinha do sequeiro.

3.1.1.3 Cal Hidratada

Utilizou-se da cal hidratada comum para argamassa, devido às pesquisas realizadas anteriormente sobre ação da CaOH junto com as fibras de madeira, acelerando a pega e aumentando a resistência das fibras, pois existe uma semelhança entre a casca de arroz e o pó de serra das pesquisas feitas por (GRANDI, 1995).

A cal utilizada na presente pesquisa faz parte da jazida de Nobres – MT, cujo lote utilizado tem predominância do mineral dolomítico.

Segundo dados fornecidos pelo fabricante, EMAL – Empresa de Mineração Aripuanã Ltda, Caieira Nossa Senhora da Guia – MT, a amostra (CH-1 cal hidratada especial) utilizada apresenta as seguintes características químicas:

| | |
|--|-------|
| Umidade | 0,45% |
| Perda ao fogo | 25% |
| Óxidos locais na base de Não Voláteis (CaO e MgO)..... | 98,8% |
| Resíduos insolúveis..... | 9,14% |

| | |
|--|---------------|
| Anidrido Carbônico (CO ₂) | 5,22% |
| Trióxido de enxofre (SO ₃)..... | 0,3% |
| Óxido de cálcio combinado (como CaSO ₄)..... | 0,21% |
| Óxido de cálcio combinado (como CaCO ₃)..... | 6,63% |
| Óxido de cálcio hidratado e não hidratado..... | 62,16% |
| Água combinada | 19,78% |
| Óxido de cálcio hidratado | 61,51% |
| Óxido de cálcio não hidratado..... | 0,65% |
| Óxido de magnésio hidratado..... | não detectado |
| Óxido de magnésio não hidratado..... | não detectado |

3.1.1.4 Areia Lavada

Foi utilizada a areia do rio Cuiabá, esse material é normalmente empregada nas construções da cidade; para seu emprego foi feita a retirada de materiais orgânicos e impurezas de uma quantidade necessária para realização do preparo dos corpos-de-prova (placas) posteriormente, a areia foi passada nas peneiras segundo as normas NBR-7211 (1982) e NBR-7217 (1987) da ABNT.

3.1.1.5 Água de Amassamento

A água utilizada no preparo da argamassa armada com casca de arroz foi à água de abastecimento normal à cidade de Cuiabá/ MT, sendo tratada pela companhia de abastecimento de água da cidade, Sanecap – Companhia de Saneamento da Capital.

A água utilizada nas peças de argamassa armada com palha de casca de arroz foi a água de abastecimento normal à cidade de Cuiabá, sendo tratada pela companhia de abastecimento de água da cidade, Sanecap – Companhia de Saneamento da Capital.

Características da água utilizada nas peças de argamassa armada fornecida pela SANECAP em 2002:

- a) PH de 6,0 a 6,7;
- b) Alcalinidade de 18 a 27 mg/L de CaCO_3 ;
- c) Turbidez < 1 Unidade de turbidez;
- d) Cor até 5 UH;
- e) Oxigênio consumido 0,8 a 1,2 mg/L;
- f) Ferro igual a 0 (zero) mg/L na forma Fe^{+++} ;
- g) Fosfato igual a 0 (zero) mg/L;
- h) Nitrogênio amoniacal igual a 0 (zero);
- i) Dureza de 18 a 25 mg/L de CaCO_3 ;
- j) Coliformes totais e fecais ausente;
- k) Cloretos de 4 a 5 mg/L de Cl^- ;
- l) Sulfetos e Sulfatos indeterminados.

3.1.1.6 Tela de Estuque

A tela de estuque do tipo (deployê), da marca Gerdau mostrada na figura 11, é também utilizada no preparo de peças para isolamento térmico, vedação em lajes de concreto, câmaras frigoríficas e acústicas e em geral na construção civil.



FIGURA 11 – Tela de Estuque

3.1.2 TIJOLO CERÂMICO DE OITO FUROS

O tijolo cerâmico de oito furos é um material obtido a partir de uma massa plástica da argila. É atravessado por oito canais/furos paralelos ao leito e no sentido da maior dimensão. A sua área de furos varia entre 30 e 75% da área da face

correspondente, o que resulta que em igual volume sejam mais leves que os primeiros. A sua principal função é de enchimento e de isolamento térmico. A vantagem dos furos é de se conseguir aumentar o volume – permitem, com igual peso e facilidade de manejo, obter peças de maior volume e acelerar a construção. Este material é largamente utilizado pela construção civil, pela acessibilidade e custo compatível ao mercado, garantindo ainda bons resultados em suas propriedades físicas e mecânicas, além de garantir bom conforto térmico.

3.2 MÉTODOS

Para o desenvolvimento da pesquisa foram levados em consideração alguns itens de grande importância, como a escolha das edificações, o período em que foram feitas as coletas, os métodos utilizados para as coletas de dados e os aparelhos disponíveis para tal e como esses dados seriam analisados. Para tal, se adotou o método de Fanger para avaliação do índice de conforto dos ambientes estudados e o teste de Kruskal-Wallis, para a realização da análise estatística dos dados coletados.

3.2.1 ESCOLHA DAS EDIFICAÇÕES

Foram escolhidas edificações já existentes, localizadas na Rua Sergipe, nº412, do Bairro Jardim Paulista, em Cuiabá. Fator decisivo para a escolha das edificações foi a utilização dos produtos de estudo – placa de argamassa armada com casca de arroz e tijolo cerâmico de oito furos - como painéis de fechamento vertical, possibilitando as análises comparativas entre estes materiais. Foram considerados ainda fatores como localização, orientação solar e acessibilidade, de maneira a garantir coletas pareadas dos dados, para uma análise comparativa mais concisa dos dois ambientes estudados.



FIGURA 13 - Edificação de tijolo cerâmico de oito furos



FIGURA 14 - Edificação de placa de argamassa armada

3.2.2 PERÍODOS DE COLETA

Os dados foram coletados simultaneamente nos dois ambientes abordados para a pesquisa. Escolheu-se o período de 13 a 17 de abril – cinco dias consecutivos - para a realização da primeira medição, e de 21 a 25 de junho, para a segunda medição, caracterizando assim dois períodos climáticos de nossa região – de chuva e seca, respectivamente. As medições foram registradas de três em três horas, tendo início às oito da manhã e sendo finalizadas às oito da noite (08h 00min, 11h 00min, 14h 00min, 17h 00min e 20h 00min), para que se obtivessem dados confiáveis.

3.2.3 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Com base em trabalhos já realizados na linha de conforto térmico, foram estabelecidos como equipamentos necessários para as coletas: o Radiômetro, um equipamento tipo pistola da marca Ranyger II Plus, que mede a temperatura radiante das superfícies dos painéis de fechamento, o qual permitiu a coleta dos seguintes dados – temperatura das superfícies, média das temperaturas, temperatura máxima da superfície, temperatura mínima da superfície e diferença das temperaturas - das superfícies dos dois materiais, sendo disposto a 1,50m do solo nos painéis de fechamento vertical, além dos dados dos tetos e pisos dos ambientes estudados;



FIGURA 15 - Radiômetro

E também o Termômetro de Globo, um aparelho digital da marca Instrutherm, o qual fornece a temperatura de bulbo seco, de bulbo úmido e a temperatura de globo. Com a temperatura de globo calculou-se a temperatura radiante média, necessária para o cálculo do índice de conforto dos ambientes estudados.



FIGURA 16 - Termômetro de globo

Os dados foram anotados em planilhas para posteriormente serem estudados e analisados na forma de gráficos.

3.2.4 AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE CONFORTO

O método de avaliação do índice de conforto utilizado foi o de Fanger, proposto pelo IPT (1987) e que vem sendo bastante utilizado atualmente e possui a vantagem de analisar um número maior de variáveis. Este método visa determinar o grau de conforto ou desconforto térmico de um ambiente, seguindo uma escala de sensação térmica:

- 3: muito frio
- 2: frio
- 1: leve sensação de frio
- 0: confortável (neutralidade térmica)
- + 1: leve sensação de calor
- + 2: quente
- + 3: muito quente

O método de Fanger considera os seguintes parâmetros de conforto a seguir:

- a) Temperatura do ar;
- b) Umidade relativa do ar;
- c) Velocidade relativa do ar (velocidade do ar em relação ao indivíduo);
- d) Temperatura radiante média do ambiente;
- e) Vestimenta trajada pelo indivíduo;
- f) Metabolismo do indivíduo (função da atividade).

Portanto, para se avaliar o conforto foram utilizados os índices PMV e PPD, classificados de acordo com a escala de sensação térmica proposta por Fanger. Para isto utilizou-se o programa Analysis CST, que foi desenvolvido a partir do Analysis 1.5, ambos sistemas computacionais para *Windows* de fácil manipulação e cálculo

instantâneo dos índices. O Analysis CST é um software voltado para a obtenção das condições de conforto e estresse térmico baseado não só em normas internacionais como em estudos de campo efetuados em vários locais do mundo. Estes programas foram desenvolvidos pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina.

Assim, foram calculados os índices PMV e PPD para os dois ambientes estudados – com tijolo cerâmico e com placa de argamassa armada, adotando as seguintes variáveis: vestimenta de 0.5 clo, atividade sedentária com $w = 58 \text{ w/m}^2$, temperatura de bulbo seco (Tbs) em °C, velocidade do ar em m/s, temperatura radiante média em °C, e temperatura de bulbo úmido em °C.

A temperatura radiante média foi obtida através do termômetro de globo, adotando a fórmula:

$$\text{TRM} = T_g + K [V (T_g - T_{bs})]^{1/2}$$

onde:

Tg: temperatura de globo (°C);

Tbs: temperatura de bulbo seco (°C);

V: velocidade do ar (m/s);

K: coeficiente relacionado com a unidade das temperaturas. Para escala em °C, $K=2,22$.

A velocidade relativa do ar adotada, foi de 1,6 m/s, definida por MAITELLI (1997) como a velocidade média do vento de Cuiabá.

É importante frisar a não aplicação de questionário *in loco* sugerida pelo método de Fanger, uma vez que os ambientes estudados não são habitados. Desta forma, para a análise dos índices de conforto - para os valores de voto médio previsto e porcentagem de insatisfação, se considerou apenas os valores obtidos pelo cálculo do programa Analysis CST.

3.2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os testes estatísticos podem ser divididos em dois grandes grupos, conforme fundamentem ou não os cálculos na premissa de que a distribuição de freqüências de erros amostrais é normal, as variâncias são homogêneas, os efeitos dos fatores de variação são aditivos e os erros independentes. Se tudo isso ocorrer, é muito provável que a amostra seja aceitavelmente simétrica, terá com certeza apenas um ponto máximo, centrado no intervalo de classe onde está a média da distribuição, e o seu histograma de freqüências terá um contorno que seguirá aproximadamente o desenho em forma de sino da curva normal. O cumprimento desses requisitos permite que o pesquisador utilize os testes da estatística paramétrica, CAMPOS (2000).

O outro grupo, corresponde aos testes da estatística não-paramétrica, que se baseia em um conjunto de processos de inferência, que são válidos para um grupo mais vasto e diversificado de distribuições, que não a Normal, ou que pelo menos não se tenha elementos suficientes para poder afirmar que as que as distribuições dos dados experimentais não seja Normal. O termo inferência não-paramétrica, deriva do fato de não ser necessário desenvolver um modelo populacional, em termos de uma função densidade de probabilidade, dependente dos parâmetros, como é o caso da distribuição Normal.

Sendo assim, durante a análise estatística dos dados pôde-se perceber que os testes paramétricos, não serviriam para o estudo em questão, uma vez que há um número considerável de variáveis a serem analisadas, e, não há uma distribuição Normal entre os dados colhidos.

O teste mais utilizado para o delineamento com um fator de classificação simples inteiramente casualizado é o de Kruskal-Wallis. Este teste é utilizado quando se têm mais de duas amostras independentes, e o interesse é verificar se as amostras provêm de uma mesma população.

3.2.5.1 Teste de Kruskal-Wallis

Segue o método para a utilização do teste de Kruskal-Wallis para um conjunto de N observações pertencentes a k amostras independentes. O modelo foi extraído da tese de doutorado de MORCILLO (2000).

a. Passos a serem seguidos:

- a.1. Ordena-se em ordem crescente o conjunto das N observações (todas as amostras);
- a.2. Atribui-se os pontos ou ranks a cada observação. Quando houver empates cada elemento deverá receber a média aritmética dos respectivos postos;
- a.3. Soma-se os postos de cada amostra (R_j);
- a.4. Calcula-se $(R_j)^2/n_j$;
- a.5. Calcula-se a estatística H ;
- a.6. Toma-se a decisão quanto a rejeição de H_0 .

b. Analisando-se os testes de hipóteses:

H_0 : todas as amostras são iguais;

H_1 : pelo menos uma amostra é diferente.

c. Calculando H :

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N+1)$$

onde:

k = número de amostras

n_j = número de elementos da amostra j

N = total de observações do conjunto das k amostras

R_j = soma dos postos ou ranks da amostra j

R_j^2 = quadrado da soma dos postos ou ranks da amostra j

R_j^2/n_j = quadrado da soma dos postos ou ranks da amostra j dividido pelo respectivo número de elementos

d. Corrigindo H nos casos de empates:

Na ocorrência de empates entre as observações, torna-se necessário realizar uma correção no H calculado, dividindo-se H por um fator de correção C .

$$C = 1 - \frac{T}{N(N+1)(N-1)}$$

Onde:

$$T = \sum T_i$$

Onde:

$$T_i = f_i^3 - f$$

Onde:

f_i é o número de valores em cada grupo de empate.

Aplicando-se a correção temos:

$$H = \frac{H}{C}$$

e. Tomando a decisão:

e.1. Quando são três amostras com pequeno número de casos ($k=3$ e $n_j \leq 5$)

Neste caso utiliza-se a tabela que fornece a probabilidade de H para três amostras de diferentes tamanhos.

Se a probabilidade de H for menor que α rejeita-se H_0 .

e.2. Quando são mais que três amostras ou elas têm grande número de casos ($k > 3$ e $n_j > 5$)

Neste caso H tem distribuição de χ^2 com $k-1$ graus de liberdade. Uma vez estabelecido α procura-se na tabela de distribuição de χ^2 o valor crítico de χ^2 para α e $k-1$ graus de liberdade.

Se $H/\chi^2_{\alpha, k-1}$ rejeita-se H_0 .

3.2.5.2 SPSS – Statical Package for Social Sciences / PC

O programa utilizado para fazer as análises estatísticas dos dados foi o SPSS – Statical Package for Social Sciences / PC. Este programa realiza:

- a. Manipulação dos arquivos de dados;
- b. Tabulação cruzada;
- c. Estatísticas descritivas;
- d. Teste não-paramétrico;
- e. Correlações;
- f. Regressões;
- g. Análise de variância;
- h. Análise de variância;
- i. Análises fatoriais;
- j. Modelos loglineares;
- k. Gráficos, etc.

Segundo ORNSTEIN (1992) este programa é considerado como um dos mais completos pacotes estatísticos, e é recomendado por especialistas internacionais para a realização de análises de APO.

Todos os dados obtidos foram organizados em uma grande tabela para que pudesse ser inserido no programa acima citado.

Após a coleta dos dados necessários para a realização das comparações dos materiais estudados, fez-se a análise dos mesmos, visando chegar a resultados que garantam a melhoria do desempenho térmico do material especial, propondo-o como opção para a aplicação na construção civil, no lugar do material convencional.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O radiômetro possibilitou à coleta da temperatura das superfícies, a média das temperaturas, a temperatura máxima, a temperatura mínima e a diferença entre as temperaturas de superfície. Desta forma, foram coletadas as temperaturas de superfície das paredes norte e sul (as quais possuíam mesmas características de orientação e disposição), do teto e do piso dos dois ambientes. As figuras abaixo mostram o levantamento da área de estudo, evidenciando o esquema de classificação das paredes dos ambientes em ordem de coleta para possibilitar a análise comparativa entre si.

FIGURA 17 - Corte esquemático dos ambientes estudados

As figuras a seguir, mostram a comparação dos dados coletados entre os ambientes estudados, pelo valor das médias de temperatura de superfície registradas ao longo dos cinco dias de medição, nos intervalos de tempo estipulado.

4.1 1ª MEDIÇÃO (13 a 17 de abril de 2004)

Para os dados coletados na primeira medição para as paredes voltadas ao norte, o gráfico aponta para diferenças notáveis entre os valores médios das temperaturas dos dois ambientes. São estas paredes que não estão expostas diretas ao Sol, chegando a uma diferença de até 4°C dependendo do período da coleta. Para o painel de fechamento vertical composto por tijolo cerâmico, as temperaturas de superfície foram, 32°C para máxima e 27°C para mínima. E para o painel de fechamento vertical de placa armada, os valores foram 29°C para máxima e 26°C para mínima, como pode ser visto na figura 19.

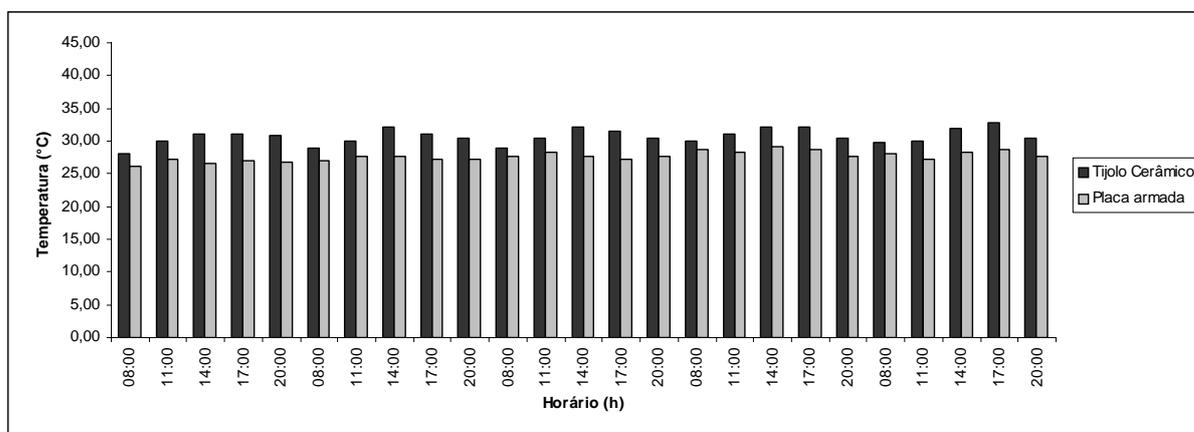


FIGURA 19 - Valores médios das temperaturas para as paredes na posição norte – 1ª Medição (13 a 17/04/2004)

Os valores medidos para as paredes voltadas ao sul demonstraram-se pareados aos das paredes voltadas ao norte, sendo semelhante em suas análises. As diferenças de temperatura chegaram também aos 4°C em determinados períodos, e os valores são: 32°C e 28°C, para máxima e mínima do tijolo cerâmico; e 29°C e 26°C, para máxima e mínima da placa armada, conforme a figura 20.

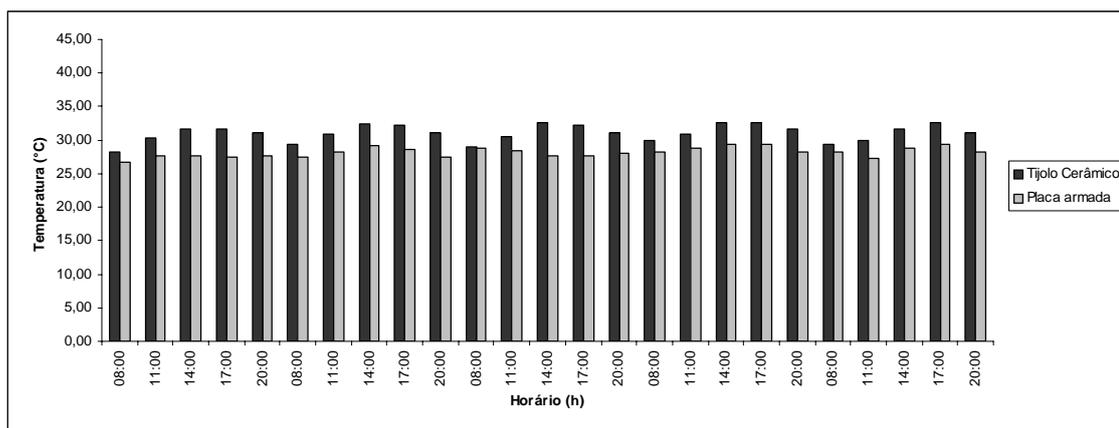


FIGURA 20 - Valores médios das temperaturas para as paredes na posição sul – 1ª Medição (13 a 17/04/2004)

Para a análise da figura 21 abaixo, ressalva-se a caracterização das superfícies analisadas, sendo a do ambiente com tijolo cerâmico apresentando telha de fibrocimento 6mm com forro de gesso, e para o ambiente de placa de argamassa armada, laje composta pelas mesmas placas de argamassa armada com casca de arroz. Aqui a diferença entre as médias de temperatura registrada pelo gráfico, conota a otimização da utilização do material alternativo como opção na construção civil. A grande diferença entre as temperaturas coletadas chega a 14°C entre os ambientes em determinados períodos, sendo 42°C e 27°C, os valores de máxima e mínima para o ambiente de tijolo cerâmico; e 29°C e 26°C para os valores de máxima e mínima para o ambiente de placa armada.

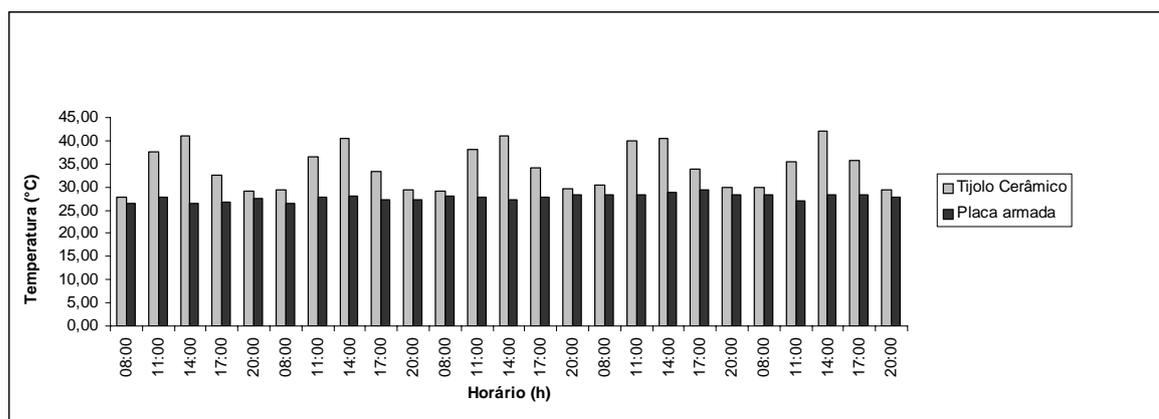


FIGURA 21 - Valores médios das temperaturas do teto – 1ª Medição (13 a 17/04/2004)

A análise das temperaturas de superfície dos pisos dos ambientes estudados, é registrada na figura 22 pela constante da diferença entre os ambientes, com redução de temperatura no ambiente de placa armada. Sendo assim, os valores abordados foram: 32°C e 27°C para os valores de máxima e mínima do ambiente de tijolo cerâmico; e 27°C e 25°C para os valores de máxima e mínima do ambiente de placa armada, respectivamente. Percebeu-se então, que a temperatura de superfície do piso do ambiente composto pelo material alternativo não oscila de maneira significativa ao longo do dia, e já a do ambiente com o material convencional, chega a uma diferença de 5°C em determinados períodos da medição.

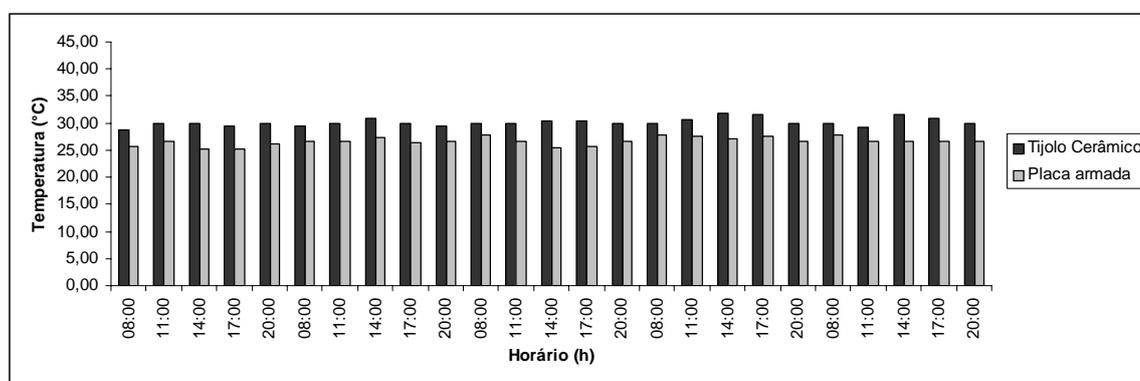


FIGURA 22 - Valores médios das temperaturas do piso – 1ª Medição (13 a 17/04/2004)

4.2 2ª MEDIÇÃO (21 a 25 de junho de 2004)

A segunda medição foi realizada entre os dias 21 a 25 de junho – caracterizando o período de seca em nossa região. Foram utilizados os mesmos equipamentos para as coletas de dados, a mesma metodologia e o mesmo sistema de análise utilizado para a primeira medição.

Para os dados coletados na segunda medição para as paredes norte, o gráfico aponta para diferenças mais amenas entre os valores médios das temperaturas dos dois ambientes, em relação aos dados da primeira medição. A diferença chega agora a apenas 3°C dependendo do período da coleta. Para o painel de fechamento vertical composto por tijolo cerâmico, as temperaturas de superfície foram, 29°C para máxima e 22°C para mínima. E para o painel de fechamento vertical de placa

armada, os valores foram 27°C para máxima e 23°C para mínima, como pode ser visto na figura 23.

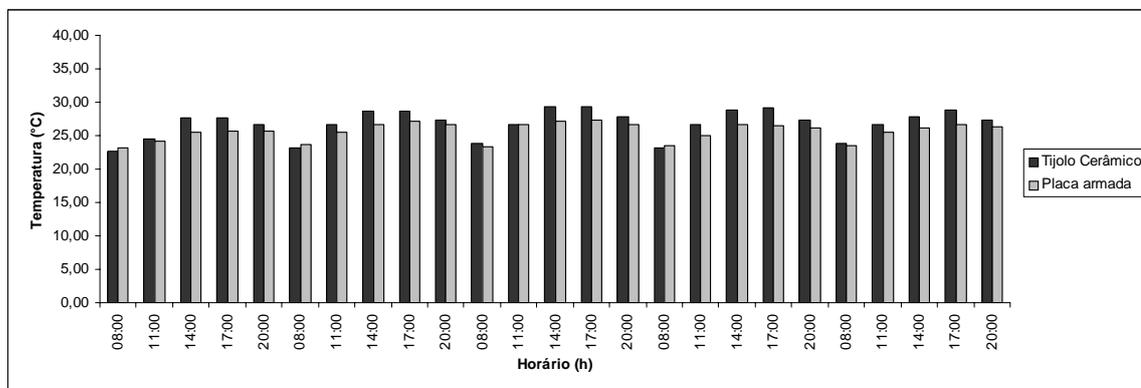


FIGURA 23 - Valores médios das temperaturas da parede norte – 2ª Medição (21 a 25/06/2004)

Os valores medidos nas paredes sul demonstram-se pareados aos das paredes norte, sendo semelhante em suas análises, igualmente ocorrido na primeira medição. A diferença de temperatura chega também aos 3°C em determinados períodos, e os valores são: 29°C e 23°C, para máxima e mínima do tijolo cerâmico; e 27°C e 23°C, para máxima e mínima da placa armada, conforme a figura 24 a seguir.

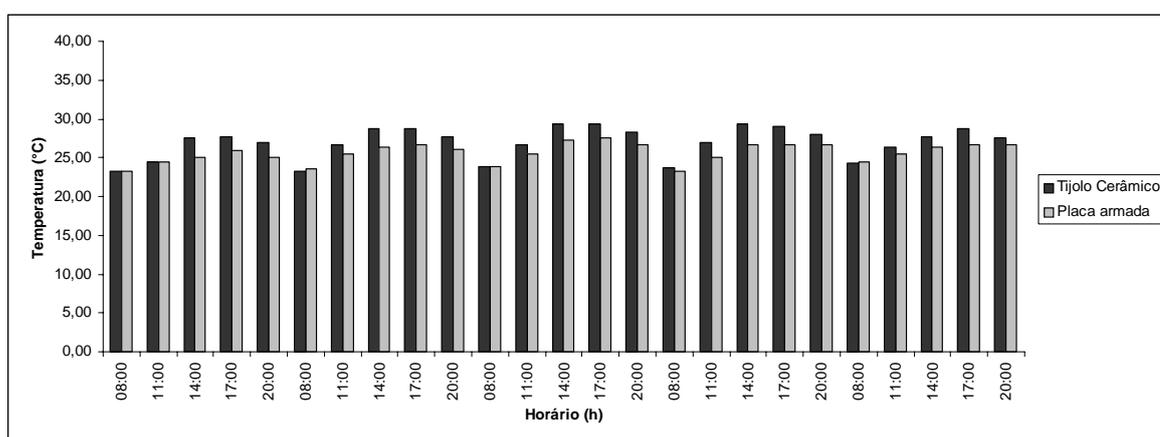


FIGURA 24 - Valores médios das temperaturas da parede sul – 2ª Medição (21 a 25/06/2004)

A figura 25 abaixo mostra as diferenças de temperatura para a superfície do teto para a segunda medição. Aqui a diferença entre as médias de temperatura registrada confirma a otimização da utilização do material alternativo como opção na construção civil já evidenciada na primeira medição. A diferença entre as temperaturas coletadas chega a 11°C entre os ambientes em determinados períodos, sendo 37°C e 21°C, os valores de máxima e mínima para o ambiente de tijolo cerâmico; e 27°C e 23°C para os valores de máxima e mínima para o ambiente de placa armada.

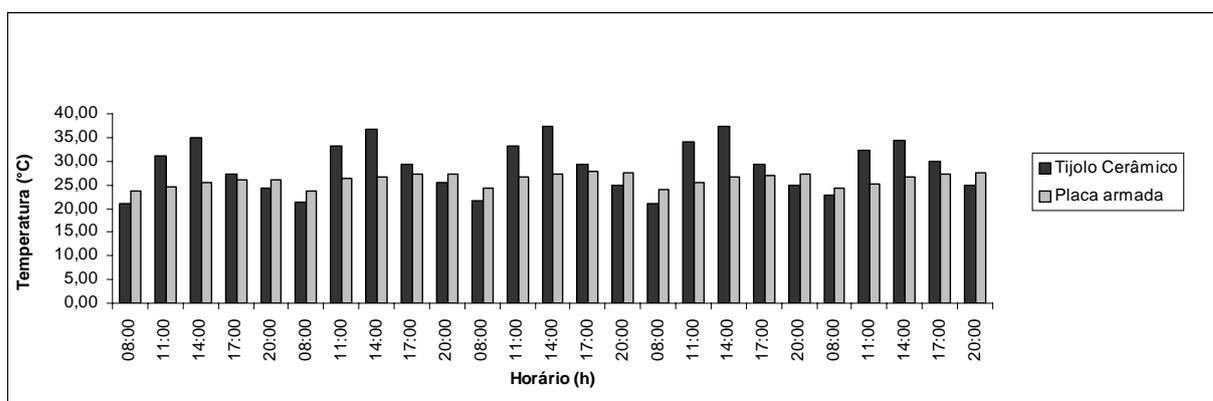


FIGURA 25 - Valores médios das temperaturas do teto – 2ª Medição (21 a 25/06/2004)

Para a segunda medição a diferença das temperaturas superficiais do piso não foram significativas. Sendo assim, os valores abordados foram: 26°C e 23°C para os valores de máxima e mínima do ambiente de tijolo cerâmico; e 25°C e 23°C para os valores de máxima e mínima do ambiente de placa armada, respectivamente. A diferença das máximas de temperatura se restringe agora para 2°C em determinados períodos, vista na figura 26.

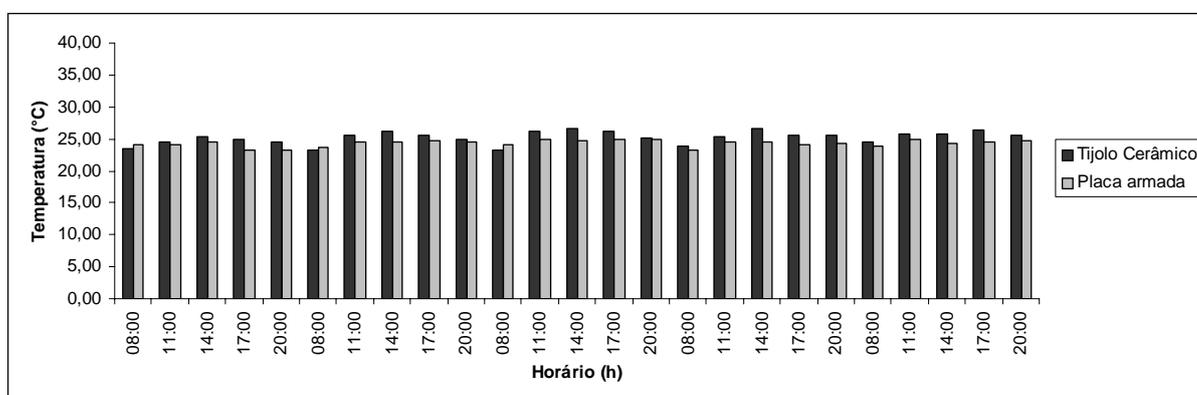


FIGURA 26 - Valores médios das temperaturas do piso – 2ª Medição (21 a 25/06/2004)

4.3 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE CONFORTO

A Norma Internacional ISSO 7730 (1994), sugere a utilização da equação do PMV, respeitadas as condições de sua aplicabilidade representadas abaixo, como um índice de conforto térmico a ser utilizado esporadicamente. Essa utilização generalizada, pressupõe que os resultados obtidos pela aplicação da equação do PMV devam ser compatíveis com as sensações quando expostas a ambientes reais.

Condições de aplicabilidade da equação do PMV:

- O valor do PMV calculado deve situar-se entre -2 e $+2$;
- A taxa metabólica deve situar-se entre 46 e 232 W/m²;
- A temperatura do ar deve situar-se entre 10 e 30 °C;
- A temperatura radiante média deve situar-se entre 10 e 40 °C;
- A velocidade do ar deve situar-se entre 0 e 1 m/s;
- A pressão parcial do vapor deve situar-se entre 0 e 2700 Pa.

Apesar de algumas das exigências de aplicabilidade da equação do PMV não serem condizentes com o clima tropical continental de nossa região, foi feito o uso do mesmo para o cálculo dos índices de conforto dos ambientes estudados, visto que não se identificou na bibliografia consultada métodos específicos de avaliação para este clima.

Na análise da figura 27, a qual relata os índices de conforto térmico nos ambientes estudados na primeira medição, fica evidente a disparidade do comportamento da variável analisada; enquanto para o ambiente em placa de argamassa armada com casca de arroz os valores ficaram em torno da neutralidade térmica (zero), para o ambiente de tijolo cerâmico, os valores apontam para uma média de $2,5$ para os horários de pico da temperatura, ficando de quente a muito quente na escala de Fanger.

A porcentagem de pessoas insatisfeitas demonstrada pelo cálculo de Fanger chega a $98,6\%$ para o ambiente de tijolo cerâmico, por considerá-lo muito aquecido para a execução da atividade referida (sentado relaxado), sendo a porcentagem de insatisfação do ambiente de placa armada de até $21,9\%$, mas pelo motivo inverso – conotando a variância da leve sensação de frio e calor, evidenciados na figura 25.

Estes valores de insatisfação foram obtidos pelo cálculo do programa Analysis CST, não sendo comparado à um questionário de utilização, pois a edificação não se encontra habitada.

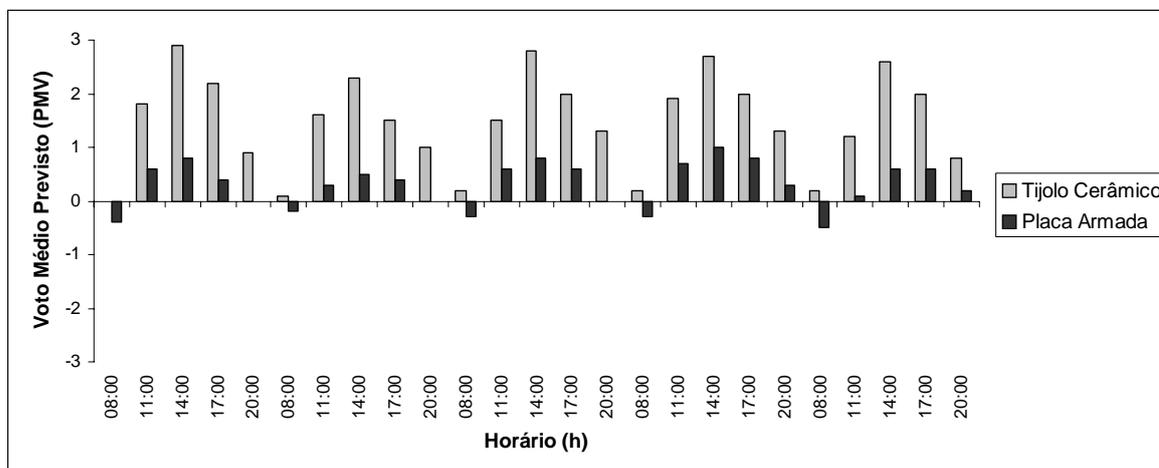


FIGURA 27 - Índice de conforto (1ª Medição - 13 a 17/04/2004)

Para a segunda medição, o cálculo do índice de conforto aponta para diferenças significativas em comparação aos dados da primeira medição. Com a baixa da temperatura dos ambientes estudados, agora a escala de Fanger aponta para valores que se concentram na pontuação negativa, entre a leve sensação de frio a frio, tanto para o ambiente de tijolo cerâmico como para o de placa armada. Foram constatados valores positivos apenas para os períodos de máxima de temperatura – 11:00 a 17:00 h, ficando entre leve sensação de calor à quente, apontados na figura 28.

A percentagem de pessoas insatisfeitas demonstradas pelo cálculo de Fanger agora chega a 92,9% para o ambiente de tijolo cerâmico, por considerá-lo muito frio (período de 8:00, do dia 23/06) para a execução da atividade referida (sentado relaxado), sendo a percentagem de insatisfação do ambiente de placa armada de até 98,1%, pelo mesmo motivo. É importante frisar que estes valores de insatisfação foram obtidos pelo cálculo do programa Analysis CST, não sendo comparado a um questionário de utilização, pois a edificação não se encontrava habitada.

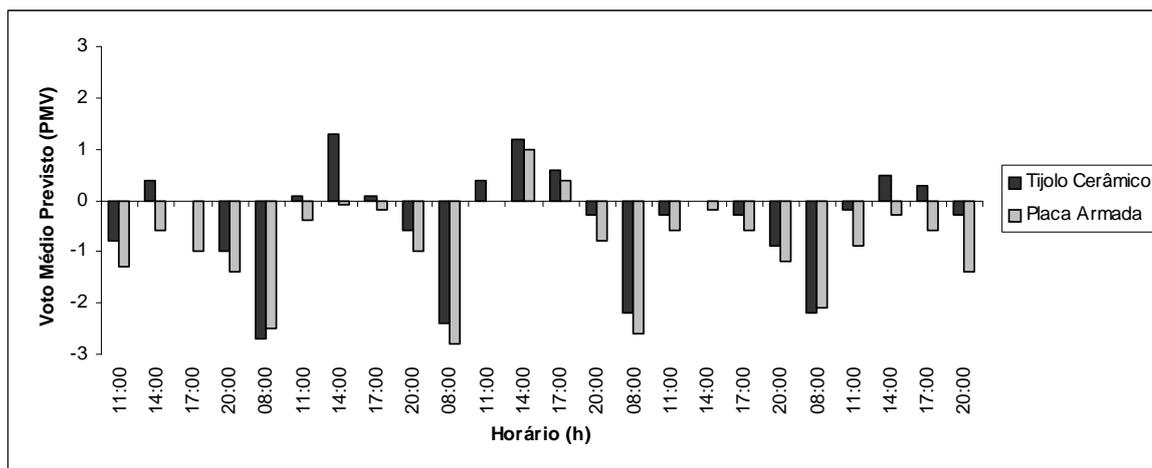


FIGURA 28 - Índice de conforto (2ª Medição - 21 a 25/06/2004)

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

A análise estatística dos dados foi realizada através do programa SPSS conforme descrita no capítulo materiais e métodos. O recurso utilizado no programa foi para análises não-paramétricas, os resultados foram obtidos pelo teste de Kruskal-Wallis. Através do valor de significância calculado pelo teste foi possível analisar todos os dados obtidos. Quando o valor calculado é maior que o valor tabelado (0,05), significa que as variâncias são homogêneas, isto é, os materiais em estudo não apresentam diferenças significativas entre si. E, quando o valor calculado é menor que o valor tabelado (0,05) significa que as variâncias não são homogêneas, isto é, os materiais possuem diferenças significativas entre si.

Foi necessário realizar análises de diferentes modos, para que se pudesse constatar realmente o desempenho dos materiais estudados, tal análise só foi possível devido aos diferentes períodos das coletas, podendo-se observar as diferentes reações dos materiais tanto no período de chuva (abril) como no período de seca (junho).

Sendo assim, foram realizados quatro tipos de análises:

- a. Análise geral, com todos os períodos e horários;
- b. Análise geral de cada período, com todos os horários;
- c. Análise geral de cada horário, com todos os períodos;
- d. Análise de cada período em cada um dos horários.

Sig. < 0,05 **valor calculado > valor tabelado**

aceita-se H1: **as variâncias não são homogêneas**

Há diferença significativa entre os materiais, isto é, os materiais possuem desempenho térmico diferente.

Sig. > 0,05 **valor calculado < valor tabelado**

aceita-se H0: **as variâncias são homogêneas**

Não há diferença significativa entre os materiais, isto é, os materiais não possuem desempenho térmico diferente.

Para a análise geral dos dados foram considerados os dois períodos estipulados para as coletas, e todos os horários das medições.

Na análise estatística geral, com todos os períodos, para a variável da temperatura ambiente pôde-se chegar à conclusão de que os materiais analisados possuem diferenças significativas entre si, isto fica visível a partir da observação na tabela 06.

TABELA 06 - Análise de todos os períodos e todos os horários

| VARIÁVEL | Valor de Sig | H1 | H0 |
|---|--------------|----|----|
| Temperatura da superfície da parede norte | 0,000 | x | |
| Temperatura da superfície da parede sul | 0,000 | x | |
| Temperatura da superfície do teto | 0,000 | x | |
| Temperatura da superfície do piso | 0,000 | x | |
| Voto médio previsto (PMV) | 0,001 | x | |

Para a análise do período 01 (1ª medição – 13 a 17 de abril), a comparação entre os valores estatísticos das paredes norte, das paredes sul, dos tetos, dos pisos e dos valores de voto médio previsto calculados para os dois ambientes em todos os horários foram heterogêneos, isto é, tiveram uma diferença significativa, como pode ser visto na tabela 07.

TABELA 07 - Análise do período 01 em todos os horários

| VARIÁVEL | Valor de Sig | H1 | H0 |
|---|--------------|----|----|
| Temperatura da superfície da parede norte | 0,000 | x | |
| Temperatura da superfície da parede sul | 0,000 | x | |
| Temperatura da superfície do teto | 0,000 | x | |
| Temperatura da superfície do piso | 0,000 | x | |
| Voto médio previsto (PMV) | 0,000 | x | |

Já para a análise estatística do período 2 (2ª medição – 21 a 25 junho), para os valores da temperatura da superfície do teto dos ambientes estudados não houve diferença significativa evidenciada pela análise. Para as demais variáveis, permaneceu-se a heterogeneidade dos valores, como demonstra a tabela 08 abaixo.

TABELA 08 - Análise do período 02 em todos os horários

| VARIÁVEL | Valor de Sig | H1 | H0 |
|---|--------------|----|----|
| Temperatura da superfície da parede norte | 0,003 | x | |
| Temperatura da superfície da parede sul | 0,002 | x | |
| Temperatura da superfície do teto | 0,091 | | x |
| Temperatura da superfície do piso | 0,000 | x | |
| Voto médio previsto (PMV) | 0,032 | x | |

Foi realizada também uma análise geral entre todos os horários estipulados para as coletas dos dados, com todos os períodos em que foram realizadas as coletas. Tal análise tem como intuito verificar o comportamento dos materiais em estudo, nos mesmos horários e em diferentes épocas do ano. Segue uma análise de cada um destes horários.

Para a análise da temperatura ambiente no horário das oito da manhã em relação aos diferentes materiais, verificou-se que em todas as variáveis estudadas não há uma diferença significativa entre os valores obtidos, evidenciados na tabela 09.

TABELA 09 - Análise das 8:00 horas nos dois períodos

| VARIÁVEL | Valor de Sig | H1 | H0 |
|---|--------------|----|----|
| Temperatura da superfície da parede norte | 0,495 | | x |
| Temperatura da superfície da parede sul | 0,425 | | x |
| Temperatura da superfície do teto | 0,820 | | x |
| Temperatura da superfície do piso | 0,470 | | x |
| Voto médio previsto (PMV) | 0,199 | | x |

Para a análise das onze da manhã nos dois períodos, somente para a variável da temperatura de superfície do teto encontraram-se valores com diferenças significativas. Para as demais variáveis, permaneceu-se a homogeneidade dos valores, não possuindo diferença significativa para a análise estatística, conforme a tabela 10.

TABELA 10 - Análise das 11:00 horas nos dois períodos

| VARIÁVEL | Valor de Sig | H1 | H0 |
|---|--------------|----|----|
| Temperatura da superfície da parede norte | 0,138 | | x |
| Temperatura da superfície da parede sul | 0,120 | | x |
| Temperatura da superfície do teto | 0,000 | x | |
| Temperatura da superfície do piso | 0,103 | | x |
| Voto médio previsto (PMV) | 0,089 | | x |

Já para a análise do horário das duas da tarde nos dois períodos de coleta, as variâncias não são homogêneas, tendo diferença significativa entre si, como pode ser vista na tabela 11.

TABELA 11 - Análise das 14:00 horas nos dois períodos

| VARIÁVEL | Valor de Sig | H1 | H0 |
|---|--------------|----|----|
| Temperatura da superfície da parede norte | 0,001 | x | |
| Temperatura da superfície da parede sul | 0,003 | x | |
| Temperatura da superfície do teto | 0,000 | x | |
| Temperatura da superfície do piso | 0,009 | x | |
| Voto médio previsto (PMV) | 0,014 | x | |

Conforme pode ser visto na tabela 12 abaixo, as variantes permaneceram heterogêneas para o horário das cinco da tarde, ressalvo para os valores do índice de conforto, para o qual não se teve diferença significativa dos valores calculados.

TABELA 12 - Análise das 17:00 horas nos dois períodos

| VARIÁVEL | Valor de Sig | H1 | H0 |
|---|--------------|----|----|
| Temperatura da superfície da parede norte | 0,001 | x | |
| Temperatura da superfície da parede sul | 0,003 | x | |
| Temperatura da superfície do teto | 0,001 | x | |
| Temperatura da superfície do piso | 0,021 | x | |
| Voto médio previsto (PMV) | 0,081 | | x |

Já para a análise do último horário do dia, oito horas da noite, nos dois períodos de coleta, as variantes ficaram balanceadas, sendo para a temperatura da superfície das paredes norte e sul os valores com diferença significativa; e para os valores do teto, piso e índice de conforto, prevaleceu à homogeneidade dos dados, não havendo diferença significativa para a análise estatística, conforme a tabela 13.

TABELA 13 - Análise das 20:00 horas nos dois períodos

| VARIÁVEL | Valor de Sig | H1 | H0 |
|---|--------------|----|----|
| Temperatura da superfície da parede norte | 0,008 | x | |
| Temperatura da superfície da parede sul | 0,011 | x | |
| Temperatura da superfície do teto | 1,000 | | x |
| Temperatura da superfície do piso | 0,093 | | x |
| Voto médio previsto (PMV) | 0,088 | | x |

Foi realizada também a análise de cada horário de coleta para cada período.

Para o período da primeira medição (13 a 17 de abril), as tabelas a seguir demonstraram a predominância da não homogeneidade dos valores abordados, havendo uma diferença significativa entre si.

TABELA 14 - Período 01 (13 a 17 de abril de 2004) às 08:00 horas

| VARIÁVEL | Valor de Sig | H1 | H0 |
|---|--------------|----|----|
| Temperatura da superfície da parede norte | 0,028 | x | |
| Temperatura da superfície da parede sul | 0,026 | x | |
| Temperatura da superfície do teto | 0,046 | x | |
| Temperatura da superfície do piso | 0,007 | x | |
| Voto médio previsto (PMV) | 0,008 | x | |

TABELA 15 - Período 01 (13 a 17 de abril de 2004) às 11:00 horas

| VARIÁVEL | Valor de Sig | H1 | H0 |
|---|--------------|----|----|
| Temperatura da superfície da parede norte | 0,008 | x | |
| Temperatura da superfície da parede sul | 0,009 | x | |
| Temperatura da superfície do teto | 0,008 | x | |
| Temperatura da superfície do piso | 0,007 | x | |
| Voto médio previsto (PMV) | 0,009 | x | |

TABELA 16 - Período 01 (13 a 17 de abril de 2004) às 14:00 horas

| VARIÁVEL | Valor de Sig | H1 | H0 |
|---|--------------|----|----|
| Temperatura da superfície da parede norte | 0,009 | x | |
| Temperatura da superfície da parede sul | 0,009 | x | |
| Temperatura da superfície do teto | 0,009 | x | |
| Temperatura da superfície do piso | 0,009 | x | |
| Voto médio previsto (PMV) | 0,009 | x | |

TABELA 17 - Período 01 (13 a 17 de abril de 2004) às 17:00 horas

| VARIÁVEL | Valor de Sig | H1 | H0 |
|---|--------------|----|----|
| Temperatura da superfície da parede norte | 0,009 | x | |
| Temperatura da superfície da parede sul | 0,008 | x | |
| Temperatura da superfície do teto | 0,009 | x | |
| Temperatura da superfície do piso | 0,009 | x | |
| Voto médio previsto (PMV) | 0,008 | x | |

TABELA 18 - Período 01 (13 a 17 de abril de 2004) às 20:00 horas

| VARIÁVEL | Valor de Sig | H1 | H0 |
|---|--------------|----|----|
| Temperatura da superfície da parede norte | 0,006 | x | |
| Temperatura da superfície da parede sul | 0,007 | x | |
| Temperatura da superfície do teto | 0,009 | x | |
| Temperatura da superfície do piso | 0,005 | x | |
| Voto médio previsto (PMV) | 0,008 | x | |

Já para a análise estatística realizada para cada horário de coleta na segunda medição (21 a 25 de junho), percebeu-se a predominância da homogeneidade dos valores para alguns horários, não havendo nestes, diferença significativa entre as variáveis estudadas, conforme pode ser evidenciado nas tabelas abaixo.

TABELA 19 - Período 02 (21 a 25 de junho de 2004) às 08:00 horas

| VARIÁVEL | Valor de Sig | H1 | H0 |
|---|--------------|----|----|
| Temperatura da superfície da parede norte | 0,750 | | x |
| Temperatura da superfície da parede sul | 1,000 | | x |
| Temperatura da superfície do teto | 0,008 | x | |
| Temperatura da superfície do piso | 0,525 | | x |
| Voto médio previsto (PMV) | 0,561 | | x |

TABELA 20 - Período 02 (21 a 25 de junho de 2004) às 11:00 horas

| VARIÁVEL | Valor de Sig | H1 | H0 |
|---|--------------|----|----|
| Temperatura da superfície da parede norte | 0,130 | | x |
| Temperatura da superfície da parede sul | 0,090 | | x |
| Temperatura da superfície do teto | 0,009 | x | |
| Temperatura da superfície do piso | 0,059 | | x |
| Voto médio previsto (PMV) | 0,117 | | x |

TABELA 21 - Período 02 (21 a 25 de junho de 2004) às 14:00 horas

| VARIÁVEL | Valor de Sig | H1 | H0 |
|---|--------------|----|----|
| Temperatura da superfície da parede norte | 0,009 | x | |
| Temperatura da superfície da parede sul | 0,009 | x | |
| Temperatura da superfície do teto | 0,008 | x | |
| Temperatura da superfície do piso | 0,008 | x | |
| Voto médio previsto (PMV) | 0,047 | x | |

TABELA 22 - Período 2 (21 a 25 de junho) às 17:00 horas

| VARIÁVEL | Valor de Sig | H1 | H0 |
|---|--------------|----|----|
| Temperatura da superfície da parede norte | 0,009 | x | |
| Temperatura da superfície da parede sul | 0,009 | x | |
| Temperatura da superfície do teto | 0,025 | x | |
| Temperatura da superfície do piso | 0,012 | x | |
| Voto médio previsto (PMV) | 0,116 | | x |

TABELA 23 - Período 2 (21 a 25 de junho) às 20:00 horas

| VARIÁVEL | Valor de Sig | H1 | H0 |
|---|--------------|----|----|
| Temperatura da superfície da parede norte | 0,015 | x | |
| Temperatura da superfície da parede sul | 0,008 | x | |
| Temperatura da superfície do teto | 0,008 | x | |
| Temperatura da superfície do piso | 0,045 | x | |
| Voto médio previsto (PMV) | 0,035 | x | |

Com os resultados das medições e apresentação dessas análises estatísticas fica possível haver parâmetros para avaliar os dois produtos empregados na construção de painéis de fechamento vertical onde se obtêm resultados sobre a transmissão das temperaturas nas superfícies medidas e determinar quais ambientes apresentaram melhores condições de conforto térmico em determinado período do ano e em determinado horário do dia. Dessa forma, para as edificações que forem construídas com o material especial ou o material convencional já será possível adequar o sistema construtivo com o clima local e proporcionar melhores condições de conforto térmicos aos moradores dessas edificações.

5. CONCLUSÕES

Como o intuito desta pesquisa foi fazer uma análise comparativa das temperaturas superficiais dos materiais escolhidos – tijolo cerâmico de oito furos e placa de argamassa armada com casca de arroz – tanto pela abordagem dos dados obtidos nas coletas como pelo método adotado para a análise, considerou-se o material alternativo (placa armada com casca de arroz) uma boa opção para a aplicação na construção civil, tendo um isolamento térmico maior do que o material convencionalmente utilizado (tijolo cerâmico de oito furos).

Além de possuir uma técnica simples de produção, em análises prévias de custo realizadas na pesquisa de MARTINEZ (2003), constatou-se uma redução de cerca de 30% em seu custo final, quando comparado ao material convencional.

Sendo assim, pode-se indicar para construções em larga escala, suprimindo demandas como as de habitações populares, resolvendo de maneira direta, problemas tanto sociais como problemas ambientais, no reaproveitamento de material de nossa região encontrado em abundância – casca de arroz - e que não se tem um estudo de aproveitamento otimizado, chegando a ser considerado um entrave ambiental por sua queima para geração de energia, a qual acarreta poluição atmosférica. Surge assim uma opção ambientalmente correta, de baixo custo e de resultado de redução térmica comprovadamente otimizado, vindo a incrementar estudos anteriores de análise de resistência deste material alternativo, a fim de se indicar para a construção civil.

O índice de conforto calculado para os ambientes estudados e a análise estatística dos dados coletados comprovam a otimização térmica do material alternativo, estabelecendo assim o ambiente deste novo produto como mais propício à moradia dentro das condições climáticas de nossa região - clima tropical continental.

Sugere-se o desenvolvimento de pesquisas futuras que envolvam o questionário aos usuários, para que se comprove os resultados obtidos neste trabalho.

5. CONCLUSÕES

Como o intuito desta pesquisa foi fazer uma análise comparativa das temperaturas superficiais dos materiais escolhidos – tijolo cerâmico de oito furos e placa de argamassa armada com casca de arroz – tanto pela abordagem dos dados obtidos nas coletas como pelo método adotado para a análise, considerou-se o material alternativo (placa armada com casca de arroz) uma boa opção para a aplicação na construção civil, tendo um isolamento térmico maior do que o material convencionalmente utilizado (tijolo cerâmico de oito furos).

Além de possuir uma técnica simples de produção, em análises prévias de custo realizadas na pesquisa de MARTINEZ (2003), constatou-se uma redução de cerca de 30% em seu custo final, quando comparado ao material convencional.

Sendo assim, pode-se indicar para construções em larga escala, suprimindo demandas como as de habitações populares, resolvendo de maneira direta, problemas tanto sociais como problemas ambientais, no reaproveitamento de material de nossa região encontrado em abundância – casca de arroz - e que não se tem um estudo de aproveitamento otimizado, chegando a ser considerado um entrave ambiental por sua queima para geração de energia, a qual acarreta poluição atmosférica. Surge assim uma opção ambientalmente correta, de baixo custo e de resultado de redução térmica comprovadamente otimizado, vindo a incrementar estudos anteriores de análise de resistência deste material alternativo, a fim de se indicar para a construção civil.

O índice de conforto calculado para os ambientes estudados e a análise estatística dos dados coletados comprovam a otimização térmica do material alternativo, estabelecendo assim o ambiente deste novo produto como mais propício à moradia dentro das condições climáticas de nossa região - clima tropical continental.

Sugere-se o desenvolvimento de pesquisas futuras que envolvam o questionário aos usuários, para que se comprove os resultados obtidos neste trabalho.

6. BIBLIOGRAFIA

6.1 BIBLIOGRAFIA CITADA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7211**. Agregado para concreto. Rio de Janeiro, ABNT. 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7220**. Agregados – **Determinação de impurezas orgânicas úmidas em agregado miúdo**. Rio de Janeiro, ABNT. 1987.

ANDRADE, S. F. - **Estudo de Estratégias Bioclimáticas no Clima de Florianópolis**. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

AKUTSU, M. et al. **Desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares – manual de procedimentos para avaliação**. São Paulo: IPT, 1987.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção 1**. 5ª edição. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1995.

COSTA, A. D. L. & ARAÚJO V.M.D. – **A bioclimatologia como forma de análise da ocupação urbana: estudo de caso para Natal/ RN**. In: NUTAU, 12, 2002, São Paulo. Anais. São Paulo, 2002.

DOURADO, S. C. **Ilhas de calor e urbanização na Amazônia mato-grossense**. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2000.

DURANTE, L. C. **Conforto ambiental de escolas estaduais de Cuiabá / Mato Grosso**. Dissertação (Mestrado em Educação). Cuiabá: Instituto de Educação / UFMT, 1999, 215p.

FABRIS, L. – **Passeando por Mato Grosso**. Cuiabá: Coletânea Geográfica, 2001.

FROTA, A . B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Nobel, 1995.

GRANDI, L. A. C. **Placas pré moldadas de argamassa de cimento e pó de serra**. São Paulo. Faculdade de Engenharia Agrícola. Unicamp. Tese de Doutorado. 1995.

HARIMA, E. & SOUZA, M. F. - **Estabilizacao da fase beta e obtencao da fase alfa da cristobalita a partir do residuo da casca de arroz**. Congresso Brasileiro de Engenharia E Ciencia dos Materiais, 12. Anais. Sao Paulo : Abc/Abm/Abpol, 1996.

JABARDO, J. M. S. **Conforto Térmico**. IPT. Comunicação Técnica – 348. São Paulo: 1984.

KOEPPEN, W. **Climatologia, com un estudio de los climas de la tierra**. Trad. Pedro R. Henrichs Perez. México, Fondo de Cultura Economica, 1948.478 p.

LAMBERTS, R. et al. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW, 2000.

MAITELLI, G. T. **Uma abordagem Tridimensional do clima urbano em área Tropical Continental: o exemplo de Cuiabá/MT**. Tese de doutorado (Climatologia USP), São Paulo, 1994.

MARTINEZ, R. G. **Placas pré-moldadas de argamassa armada e casca de arroz**. Dissertação submetida à Universidade Federal de Campina Grande, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental. Campina Grande, 2003.

MASCARÓ, L. R. **Luz, clima e arquitetura**. 3ª edição – São Paulo: Nobel, 1983, 189p.

NAKATA, Y.; SUZUKI, M.; OKUTANI, T. – **Preparation and properties of SiO₂ from rice hulls**. Nippon Seramikkusu Kyokai Gakujutsu Ronbunshi, 97 (8), p.842-9. 1989.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London, Methuen & LTD. A. Hasteld Preess Book, New York, 1978.

OLGYAY, V. **Design with climate. Bioclimatic approach to architectural regionalism**. 4ª ed. Princeton, Princeton University, 1973. 190p.

OLIVEIRA, T. A. & RIBAS, O. T. - **Sistemas de Controle das Condições Ambientais de Conforto**. Brasília: Ministério da Saúde, Secretaria de Assistência à Saúde, 1995.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1981. 440p.

ORNSTEIN, S. & ROMERO, M. (colaborador) **Avaliação pós-ocupação (APO) do ambiente construído**. São Paulo: Studio Nobel: Editora da Universidade de São Paulo, 1992, 223p.

PARKER, T. W. et al. **Journal of the iron and steel institute**. (1937).

PETRUCCI, E. G. **Materiais de construção**. Editora GLOBO. Porto Alegre. 1978.

RUAS, A. C. **Avaliação do conforto térmico – contribuição à aplicação prática das normas internacionais**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas: 2002.

SOUZA, L. C. L. **Desempenho Térmico de Coberturas Leves: Aplicação do Modelo NBSLD**. Dissertação submetida à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Arquitetura. São Carlos, 1990.

UCHÔA, S. B. B. – **Condutividade térmica na madeira**. São Carlos. 184 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1989.

YAGLOU, C. P.; DRINKER, P. **The summer comfort zone**. In: ASHVE Transactions, 35, 1929.

6.2 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ABNT. NBR 12538. **Grandezas e unidades de termodinâmica**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992.

ÁLVARES, B. A. & LUZ, A. M. R. **Curso de física 2**. 2ª edição, v. 2. São Paulo: Harbra, 1987, 605p.

ARAKAKI, E. M. **Avaliação de durabilidade em sistemas construtivos pré-fabricados com madeira de rejeito comercial. Estudo de caso:conjunto habitacional Pedra 90**. Dissertação (Mestrado). São Carlos: USP, 2000, 75p.

ARAÚJO, R. S. B. **Fechamento de concreto armado e fechamento de alvenaria cerâmica: estudo sobre o desempenho térmico para o clima de Cuiabá**. Monografia (Graduação). Cuiabá: FTEN/UFMT, 2001, 58p.

BARBOSA, M. J. & LAMBERTS, R. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares, aplicada a Londrina – PR.** Londrina: ANTAC, 1998, 14p.

BERALDO, A. L. **Généralisation et optimisation de la fabrication d'un composite biomasse végétale-ciment à variations dimensionnelles limitées vis des variations de l'humidité.** Nancy: Université de Nancy I, 1994. 223p. Thèse (Docteur en Sciences du Bois). Université de Nancy I, 1994.

BERGER, R. L. et al. **Acceleration of hydration of calcium silicate by carbon dioxide treatment.** Natural Physical Science, v. 240, n.97, p. 16-18, 1972.

BIBLIS, E. J. & LO, C. **Effect on the setting of southern pine-cement mixtures.** Forest Products Journal , Alabama, v. 18, n. 8, p. 28-34, 1968.

CASTRO, A. O. S. **Elaboração de modelos matemáticos para análise de dados e apoio à decisão na indústria do petróleo – Estatística não-paramétrica.** Rio de Janeiro: 2003. Disponível em: <<http://www.ime.uerj.br/~oreste>> Acesso em: 04 mar. 2004.

COELHO, L. O. & MAGALHÃES, E. W. **A provisão habitacional e a análise de seu produto.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP – Departamento de Engenharia de Construção – BT/PCC/273. São Paulo: EPUSP, 2001,32p.

CRUZEIRO, E.C. – **Produção e construção de casas em madeira de reflorestamento-Sistema IF.** São Carlos. 285f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1998.

DELLA NOCE, L. G. – **Parâmetro para projeto, controle da fabricação e montagem em canteiro de painéis de madeira.** São Carlos. 162 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1996.

DUARTE, D. H. S. **O Clima como Parâmetro de Projeto para a Região de Cuiabá.** 1995. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). USP – UFSCar.

FORDOS, Z. et al. **Natural or modified cellulose fibres as reinforcement in cement composites.** In: Concrete Technology and Design, v. 5, p. 173-207. 1989.

FREITAS, A.R. – **Potencial de utilização de madeiras em construções.** São Paulo, IPT. 1984.

INCROPERA, F. P. & WITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e massa.** Traduzido por: Horacio Macedo. 3ª edição – Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1992, 455 p.

ISO. **International Organization for Standardization. Ergonomics of the thermal environment – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales.** ISO 10551. Switzerland, 1995.

KRÜGER, E. & LAMBERTS, R. **Avaliação do desempenho térmico de casas populares.** Foz do Iguaçu: IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC, 2002.

LAWRENCE, S. J.; CAO, H. T. **Microstructure of the interface between brick and mortar.** In: Internacional brick and block masonry conference, Dublin, Sept. 19-21, 1988. Proceedings. London, Elsevier, v. 1, p. 194-204. 1988.

MACIEL, A. A. & LAMBERTS, R. **Edifício de escritórios em Brasília, uma análise bioclimática.** Foz do Iguaçu: IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC, 2002.

MOSLEMY, A. A. et al. **Effects of various treatments and additives on wood-Portland cement-water systems.** Wood and fiber science. V. 15, n. 2, p. 164-176, 1983.

NBR. Projeto de Norma 02:135.07-002. **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.** 2003, 27p.

NBR. Projeto de Norma 02:135.07-004. **Desempenho térmico de edificações: Parte 4 – Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida.** 2003, 12p.

NBR. Projeto de Norma 02:135.07-005. **Desempenho térmico de edificações: Parte 5 – Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluxímetro.** 2003, 12p.

NOGUEIRA, M. C. J. A. & NOGUEIRA, J. S. **Educação, meio-ambiente e conforto térmico: caminhos que se cruzam.** Artigo. Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental, vol 10, janeiro/junho de 2003.

PINTO, R. O., JOTA, P. R. S. & ASSIS, E. S. **Análise pós-ocupação do desempenho térmico de edifícios comerciais utilizando métodos estatísticos.** NUTAU, 2002.

PONTES, A. C. F. **Obtenção dos níveis de significância para os testes de Kruskal-Wallis, Friedman e comparações múltiplas não-paramétricas.** Dissertação (Mestrado). Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2000, 140p.

SABBATINI, F. H. **Argamassa de assentamento para paredes de alvenaria resistente.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1986. 26p. (Boletim técnico n.2).

SANTOS, A. T. **Conforto Térmico.** Curitiba: ISAM, 1986.

SANTOS, D. M. **Painéis de fechamento vertical: análise evolutiva dos últimos cem anos nas edificações de Cuiabá.** PIBIC /CNPq/UFMT. Cuiabá: 2001, 94p.

SCIGLIANO, S. & HOLLO, V. **IVN – Índice de Ventilação Natural: Conforto térmico em edifícios comerciais e industriais em regiões de clima quente.** São Paulo: Pini, 2001, 279p.

SIMATUPANG, M. H. - **Degradations of glucose, cellobiose, and wood under the influence of Portland cement paste.** Holzforschung, v. 40 n. 3, p. 149-155, 1986.

SPIEGEL, M. R. **Estatística.** 3ª edição. Tradução e revisão técnica Pedro Consentino. São Paulo: Makron Books, 1993, 643p.

SWAMY, R. N. - **A false dream or a potencial reality ?** In : INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON VEGETABLE PLANTS AND THEIR FIBRES AS BUILDING MATERIALS, 2, 1990, Salvador. H. S. Sobral, p. 3-8. 370 p. 1990.

VIEIRA, S. **Estatística experimental.** 2ª edição. São Paulo: Atlas, 1999, 185p.

LEMONS, C. **A casa colonial paulista.** São Paulo: USP / Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 1975.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles.** São Paulo: Ed. Hucitec, 1985.

LOPES, E. M. L. L. **Avaliação do Desempenho Térmico de Paredes e Coberturas em Belém/PA.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Escola de Engenharia de São Carlos, UFSCar, 1993.

MALARD, M. L. (coord.) **Avaliação pós-ocupação, participação de usuários e melhoria da qualidade dos projetos habitacionais: uma abordagem fenomenológica com apoio do Estúdio Virtual de Arquitetura – EVA.** Edital 2.

Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, PRJ, FINEP, 2002.

MASSETO, L. T. & SABBATINI, F. H. **Estudo comparativo da resistência das alvenarias de vedação de blocos utilizadas na região de São Paulo**. Congresso Latino-Americano: Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios - Solução para o terceiro milênio. PCC / USP. São Paulo: 1998.

MORCILLO, A. M. **Teste de Kruskal-Wallis**. Tese (Doutorado). Campinas: UNICAMP, 2000.

NBR 7170 – **Tijolos maciços de barro cozido**. EB – 19.

NBR. Projeto de Norma 02:136.01-001. **Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos: Parte 1 – Requisitos**. 2002, 44p.

NBR. Projeto de Norma 02:135.07-001. **Desempenho térmico de edificações: Parte 1 – Definições, símbolos e unidades**. 2003, 10p.

NBR. Projeto de Norma 02:135.07-003. **Desempenho térmico de edificações: Parte 3 – Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. 2003, 28p.

OLIVEIRA, P. M. P. Conferências: **Indicações para o planejamento e o desenho da forma urbana apropriada à região tropical de clima quente-úmido**. Biblioteca Virtual Tropicologia. Disponível em: http://www.tropicologia.org.br/conferencia/1986indicacoes_arquitetura.html
Acesso em: 19 mar 2004.

ORNSTEIN, S., ROMERO, M. (colaborador) **Avaliação pós-ocupação (APO) do ambiente construído**. São Paulo: Studio Nobel: Editora da Universidade de São Paulo, 1992, 223p.

SANTOS, M. D. **Construção com terra crua: viabilidade tecnológica e energética em habitações sociais**. Dissertação (Mestrado). Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Curitiba: 2002.

SILVA, C. G. T. **Conceitos e preconceitos relativos às construções em terra crua**. Dissertação (Mestrado). Fundação Oswaldo Cruz – Saúde Pública. Rio de Janeiro, 89p., 2000.

TEIXEIRA, S. R., SOUZA, S. A. & MOURA, C. A. I. **Caracterização mineralógica de argilas usadas na indústria de cerâmica estrutural no oeste do estado de S. Paulo, Brasil**. Cerâmica, out./nov./dez. 2001, vol.47, n .304, p.204-207. ISSN 0366-6913.

VALENZUELA, W. A . **Contribution à la détermination de l’aptitude d’essesnces forestières pour la fabrication de panneaux de fibro-ciment**. Gembloux (Belgique), Faculté des Sciences Agronomiques, 1989. 229 p. These (Docteur en Sciences Agronomiques). 1989.

XAVIER, A. A. P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis**. Dissertação (Mestrado). Florianópolis: UFSC, 1999.