

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TERMO- LUMINOSO
DE UMA ESCOLA NA CIDADE DE CUIABÁ-MT:
ESTUDO DE CASO**

PAULO CELSO DO COUTO NINCE

**PROF^a.DR^a. MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE NOGUEIRA
ORIENTADORA:**

Cuiabá, MT
Maio de 2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TERMO-LUMINOSO
DE UMA ESCOLA NA CIDADE DE CUIABÁ-MT:
ESTUDO DE CASO**

PAULO CELSO DO COUTO NINCE

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

PROFa.DRa. MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE NOGUEIRA
ORIENTADORA:

Cuiabá, MT
Maio de 2009

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

FOLHA DE APROVAÇÃO

**Título: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TERMO-LUMINOSO DE
UMA ESCOLA NA CIDADE DE CUIABÁ-MT: ESTUDO DE CASO**

PAULO CELSO DO COUTO NINCE

Prof.^a D.^{ra} Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira
Universidade Federal de Mato Grosso-FAET/UFMT
Orientadora

Prof. D.^r José Wallace Barbosa do Nascimento
Universidade Federal de Campina Grande/UFCG
Examinador Externo

Prof. D.^r Sérgio Roberto de Paulo
Universidade Federal de Mato Grosso-IF/UFMT
Examinador Interno

Prof. D.^r Marcelo Sacardi Biudes
Universidade Federal de Mato Grosso-IF/UFMT
Examinador Interno- Suplente

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, o criador; a Jesus Cristo, o redentor; ao Espírito Santo, o santificador e a Maria, mãe de Deus

A minha tia Carmelita Couto (*in memoriam*).

A minha família, companheira de todas as horas: Regina Celis, Ana Paula e Maria Angélica.

AGRADECIMENTOS

- A Prof.^a D.^{ra} Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira, professora do programa, por ter me orientado neste trabalho e me estimulado a todo momento.
- Ao Prof. D.^r José de Souza Nogueira, professor do programa, pela presença competente na direção do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental.
- Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso (PGFA/UFMT): Prof. D.^r José Holanda Campelo Júnior, Prof. D.^r Francisco de Almeida Lobo, Prof. D.^r Carlo Ralph de Muis, Prof. D.^r Sérgio Roberto de Paulo e Prof.^a D.^{ra} Iramaia de Paulo.
- Às doutorandas Angela Santana de Oliveira , Flávia Maria de Moura Santos e Luciane Durante pelo apoio e presença amiga nas horas de maiores desafios.
- Aos técnicos administrativos Soilce e Cesário pelo auxílio técnico na secretaria do PGFA/UFMT.
- Aos companheiros: Osvaldo Borges, Luciana Sanches, Nara Luísa e Camila Fraga pela convivência.
- Aos companheiros da iniciação científica: Carlos Eduardo Vilela Galvão, Carolina Rezende Maciel,(mestranda), Laís Braga Caneppele e Vanessa de Souza Luz, pelas ajudas indispensáveis
- Ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), pelos 37 anos de estudo e trabalho;
- A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

DE FIGURAS	vii
DE TABELAS	ix
DE QUADROS	x
.....	xi
.....	xii
1 Introdução.....	1
.1 PROBLEMÁTICA	1
.2 JUSTIFICATIVA	2
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
.1 O CLIMA	4
.1.1 Fatores meteorológicos	4
.1.2 Escalas de abrangência dos elementos climáticos.	8
.2 A ILHA DE CALOR DE CUIABÁ.....	9
.3 CONFORTO AMBIENTAL	10
.3.1 Conforto Térmico.....	10
.3.2 Conforto Lumínico.....	11
.4 BIOCLIMATOLOGIA.....	13
.4.1 Bioclimatologia aplicada à arquitetura	13
.4.2 Zoneamento bioclimático.....	14
.4.3 Carta Bioclimática de Givoni.....	16
.5 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	17
.6 MUDANÇAS ARQUITETÔNICAS DOS PRÉDIOS ESCOLARES.....	18
.7 EFEITO DA ÁRVORE NO LOTE SOBRE EDIFICAÇÃO BRANCA	20
.7.1 O Desempenho Termo-Luminoso do Edifício.....	23
.8 O SISTEMA DO CLIMA.....	29
.9 O SISTEMA DA ENERGIA	31
.10 QUINTAL ECOLÓGICO	33
ÁREA DE ESTUDO	35
.1 CUIABÁ - CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E LOCALIZAÇÃO.....	35
.2 LOCALIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	41
.2.1 Caracterização da sala 01	45
.2.2 Caracterização da sala 02	46
.2.3 Caracterização da sala de recepção	47
MATERIAL E MÉTODOS.....	50
.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MICRO-CLIMAS EXTERNO E INTERNO E ANÁLISE DO DESEMPENHO TERMO-LUMINOSO	50

.1.1	Equipamentos utilizados na coleta de dados	50
.1.2	Pontos de coleta de dados	52
.1.3	Procedimentos utilizados para coleta de dados	54
.1.4	Tratamento dos dados	56
.2	SENSAÇÕES E PREFERÊNCIAS TÉRMICAS.....	57
.2.1	Procedimentos utilizados para coleta de dados	57
.3	ANÁLISE DO DESEMPENHO LUMÍNICO NATURAL	58
.3.1	Coleta de Dados	58
	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	59
.1	CARACTERIZAÇÃO DO MICRO-CLIMA EXTERNO E INTERNOS DURANTE OS PERÍODOS EM ESTUDO.....	59
.1.1	Dados de temperatura e umidade relativa	59
.2	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO	69
.2.1	Horas em conforto e desconforto e estratégias recomendadas.....	69
.3	SENSAÇÕES E PREFERÊNCIAS TÉRMICAS.....	76
.3.1	Sala 01	76
.3.2	Sala 02	77
.3.3	Recepção	79
.4	ILUMINÂNCIA.....	80
.4.1	Sala 01	80
.4.2	Sala 02	81
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
.1	SUGESTÕES PARA OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS NAS SALAS	85
.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	85
7	BIBLIOGRAFIAS.....	86
.1	BIBLIOGRAFIAS CITADAS	86
.2	BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS	88
	90
	- MODELO DE QUESTIONÁRIO PARA DADOS DE CONFORTO	91

LISTA DE FIGURAS

1 - Vista parcial do sul de Cuiabá	9
2 - Zonas bioclimáticas definidas pela Norma Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2005)	15
3 - Palácio da Instrução ao lado da Catedral Basílica do B. Jesus	19
4 - Liceu Cuiabano na praça General Mallet	19
5 - Mapa do Brasil - Médias Anuais de Temperatura	36
6 - Localização da cidade de Cuiabá no estado de Mato-Grosso e no Brasil	37
7 - Mapa de Limite do Município de Cuiabá	38
8 - Classificação climática de Mato Grosso segundo Köppen	39
9 - Classificação climática de Mato Grosso segundo adaptação da proposta de Strahler.	39
10 - Localização da Escola Carmelita Couto	42
11 - Avenida Marechal Deodoro com a arborização externa à escola	42
12 - Arborização interna da escola, as inferiores esquerda do quintal ecológico	43
13 - Planta baixa esquemática da Escola Carmelita Couto	44
14 - Entorno da sala 01 na Escola Carmelita Couto, quintal ecológico, localização do ponto externo (PE)	44
15 - Planta baixa da ECC com detalhe da sala 01	45
16 - Sala 01 iluminada naturalmente com shed e duas janelas	46
17 - Planta baixa da ECC com detalhe da sala 02	47
18 - Sala 02 iluminada naturalmente com shed e uma janela.	47
19 - Planta baixa da ECC com detalhe da recepção	48
20 - Fachada frontal da Escola Carmelita Couto	49
21 - Termômetro de Globo Digital da marca Instrutherm e seu suporte	51
22 - Anemômetro	51
23 - Psicrômetro instalado no abrigo meteorológico localizado externamente (PE) no quintal ecológico	52
24 - Luxímetro Digital Portátil	52
25 - Ponto externo (PE) localizado no quintal ecológico da Escola Carmelita	53
26 - Pontos de medição no ambiente analisado da sala 01	53
27 - Pontos de medição no ambiente analisado da sala 02	53

28 - Pontos de medição no ambiente analisado da recepção	54
29 - Média horária das TBS interna e externa (temperatura de bulbo seco dentro e fora da sala 01- à esquerda e UR (umidades relativas interna e externa – à direita) 1.º período.....	60
30 - Média horária das TBS interna e externa (temperatura de bulbo seco dentro e fora da sala 01- à esquerda e UR (umidades relativas interna e externa – à direita) 2.º período.....	61
31 - Média horária das TBS interna e externa (temperatura de bulbo seco dentro e fora da sala 02- à esquerda e UR (umidades relativas interna e externa – à direita) 1.º período.....	63
32 - Média horária das TBS interna e externa (temperatura de bulbo seco dentro e fora da sala 02- à esquerda e UR (umidades relativas interna e externa – à direita) 2.º período.....	64
33 - Média horária das TBS interna e externa (temperatura de bulbo seco dentro e fora da recepção- à esquerda e UR (umidades relativas interna e externa – à direita) 1.º período.....	66
34 - Média horária das TBS interna e externa (temperatura de bulbo seco dentro e fora da recepção- à esquerda e UR (umidades relativas interna e externa – à direita) 2.º período.....	67
35 - Carta Bioclimática para o 1.º período (16/04/08 à 08/05/08)de coleta de dados da sala 01	69
36 - Carta Bioclimática para o 2.º período de coleta de dados (20/08/08 à 08/09/08), correspondente à estação do inverno da sala 01.....	71
37 - Carta Bioclimática para o 1.º período de coleta de dados (16/04/08 à 08/05/08), correspondente à estação do outono da sala 02.....	72
38 - Carta Bioclimática para o 2.º período de coleta de dados (20/08/08 à 08/09/08), correspondente à estação do outono da sala 02.....	73
39 - Carta Bioclimática para o 1.º período de coleta de dados (16/04/08 à 08/05/08), correspondente à estação do outono da recepção.....	74
40 - Carta Bioclimática para o 2.º período de coleta de dados (20/08/08 à 08/09/08), correspondente à estação do inverno da recepção.....	75
41 - Percentuais de preferências de calor e frio na sala 01	77

42 - Percentuais de preferências de conforto ou não na sala 01.....	77
43 - Percentuais de preferências de calor e frio na sala 02	78
44 - Percentuais de preferências de conforto ou não na sala 02.....	78
45 - Percentuais de preferências de calor e frio na recepção	79
46 - Percentuais de preferências de conforto ou não na recepção.....	79
47 - Iluminância média do outono da sala 01	80
48 - Iluminância média do inverno da sala 01	81
49 - Iluminância média do outono da sala 02	81
50 - Iluminância média do inverno da sala 02	82
51 - Iluminância média da sala 02, ponto 03 interno	82
52 - Iluminância média da sala 02, ponto 04 interno.....	83

LISTA DE TABELAS

1- Iluminância por classe de tarefas visuais	13
2 - Média e desvio padrão das Temperaturas e umidade relativa da sala 01	59
3 - Média e desvio padrão das temperaturas e umidade relativa da sala 02.....	62
4- Média e desvio padrão das temperaturas e umidade relativa da recepção.....	65
5 - Relatório com as estratégias bioclimáticas para o 1.º período de coleta de dados(16/04/08 à 08/05/08) da sala 01.....	70
6 - Relatório com as estratégias bioclimáticas para o 2.º período de coleta de dados (20/08/08 à 08/09/08), correspondente à estação do inverno da sala 01.....	71
7 - Relatório com as estratégias bioclimáticas para o 1.º período de coleta de dados (16/04/08 à 08/05/08), correspondente à estação do outono da sala 02.....	73
8 Relatório com as estratégias bioclimáticas para o 2.º período de coleta de dados (20/08/08 à 08/09/08), correspondente à estação do outono da sala 02.....	74
9 - Relatório com as estratégias bioclimáticas para o o 1.º período de coleta de dados (16/04/08 à 08/05/08), correspondente à estação do outono da recepção.....	75
10 - Relatório com as estratégias bioclimáticas para o 2.º período de coleta de dados (20/08/08 à 08/09/08), correspondente à estação do inverno da recepção	76

LISTA DE QUADROS

1 – Energia Ambiental	32
2 – Períodos de coleta de dados	54
3 – Resumo das análises estatísticas por meio do Teste-T.....	68

RESUMO

NINCE, P.C.C.. **Avaliação de desempenho termo-luminoso em uma escola na cidade de Cuiabá-MT: estudo de caso.** 2009. 105 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2009.

A exigência de proporcionar conforto no ambiente construído, provoca proporcional aumento no uso da eletricidade, especialmente em Cuiabá, onde a temperatura é alta durante todo o ano, agravando os problemas ambientais. Com a crescente necessidade de vagas nas escolas e poucos recursos financeiros, as escolas foram edificadas com materiais econômicos, resultando edifícios impróprios ao clima local. A partir deste problema, o objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho térmico e iluminação natural de uma escola na cidade de Cuiabá-MT. Assim, foram avaliados três ambientes, duas salas de aula em telhado shed, sem forro e uma recepção com cobertura em laje pré-moldada em cerâmica e permanentemente sombreadas com árvores da espécie *Licania tomentosa* (oiti). Os dados foram coletados em duas estações representativas no outono e inverno em 2008. Foram caracterizados e comparados os micro-climas dos ambientes interno e externo. O desempenho térmico foi avaliado por meio da Carta Bioclimática de Givoni que indicou as horas de conforto e desconforto. As sensações e preferências térmicas naturais foram medidas e a iluminância foi medida e comparada com a NBR 5413/1992. A temperatura do ar do ambiente externo foi menor do que a do interior, causando desconforto no usuário que manifestou a sensação de calor. A iluminação natural em uma sala de aula estava dentro dos valores normativos e na outra foi verificada a necessidade de iluminação artificial. Para a otimização de ambientes saudáveis para o processo ensino-aprendizagem dos usuários, há necessidade de adaptação local de arquitetura escolar para as condições reais da cidade.

Palavras-chave: bioclimatologia, conforto térmico, ambientes escolares.

ABSTRACT

NINCE, P.C.C.. *Evaluation of thermal and daylighting performance of a school in the city of Cuiabá / MT: a case study*. 2009. 105 f. Dissertation (Master in Physics and Environment), Department of Physics, Federal University of Mato Grosso, Cuiabá, 2009.

The requirement to provide comfort in the built environment, causes proportional increase in the use of electricity, especially in Cuiabá, where the temperature is high throughout the year, worsening environmental problems. With the growing need for school places and few financial resources, the schools were built with economical materials, resulting buildings unfit to local climate. From this problem, the objective of this study was to evaluate the thermal and daylighting performance of a school in the city of Cuiabá-MT. So were three rooms, two classrooms in shed roof, no ceiling and a reception with coverage in pre-shaped slab in ceramics and permanently shaded with trees of the species *Licania tomentosa* (oiti). Data were collected at two stations representing autumn and winter in 2008. Were characterized and compared the micro-climates of the internal and external environments. The thermal performance was evaluated by the Charter of Bioclimatic Givoni which indicated the hours of comfort and discomfort. The natural thermal sensations and preferences were measured and illuminance were measured and compared to NBR 5413/1992. The temperature of the external environment was lower than that of the interior, causing discomfort to the user has the sensation of heat. The natural lighting in a classroom was within the normative values and the other was verified the need for artificial lighting. For the optimization of healthy environments for the teaching-learning process of users, there is need for local adaptation of architecture school to the real conditions of the city.

Keywords: bioclimatology, thermal comfort, school environments.

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA

A Terra, desde a sua criação, sempre esteve em constantes mudanças climáticas, em ciclos de milhares de anos de aquecimento e glaciação causados por fenômenos naturais. Estas modificações tornaram-se mais aceleradas a partir da Revolução Industrial, com o incremento das ações antrópicas. Este problema começou a ser sentido nos micro-climas, com o aumento da temperatura nos grandes centros urbanos e mais recentemente no macro-clima terrestre.

Após a Revolução Industrial observou-se um aumento no consumo da energia em todo o mundo, provocando o uso de fontes não renováveis para a sua produção. Sendo assim, foi preciso repensar os processos construtivos, e incluir as considerações energéticas e ambientais, pensando em uma nova abordagem que esta arquitetura moderna deve assumir.

No Brasil, o consumo excessivo de energia elétrica provocou uma crise conhecida como “crise do apagão”, entre os anos de 2000 e 2001, iniciando novas discussões quanto a necessidade de aprofundamento em pesquisas voltadas ao desenvolvimento de edificações energeticamente eficientes.

Na busca de soluções arquitetônicas e construtivas mais eficientes, uma das alternativas é a utilização dos princípios da arquitetura bioclimática.

No ano de 2005, foi aprovada a Norma NBR-15220/2005, que estabelece os critérios para avaliação de desempenho térmico de edificações.

Esta norma propôs a divisão do território brasileiro em oito zonas bioclimáticas com relativa homogeneidade quanto ao clima. Para cada uma destas zonas, foi formulado um conjunto de recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo que otimizam o desempenho térmico de edificações, por meio de sua melhor adequação climática.

Mesmo após a publicação desta norma, pode-se observar um elevado número de edificações, em quase todo o território brasileiro, que apresenta concepção arquitetônica inadequada quanto à zona bioclimática a que pertence.

Em Mato Grosso existe mais da metade das zonas bioclimáticas do Brasil em seu território, portanto um campo propício para investigação de desempenho termoluminoso de suas edificações. A capital de Mato Grosso, Cuiabá, se encontra entre as cidades brasileiras que apresentam temperaturas mais elevadas. A sua expansão se deu naturalmente, mesmo tendo havido planos diretores de ocupação do solo da cidade, os quais não foram seguidos. Na década 1980, começou a verticalização acelerada de Cuiabá, ocupando seus quintais, cortando as mangueiras e alguma vegetação nativa que possa ter resistido à ocupação. Assim, a cidade de Cuiabá se expandiu com a urbanização, quase que de ocupação, diferente dos sítios urbanos planejados. Neste panorama, observa-se, nas inúmeras residências e escolas, ausência de intervenção arquitetônica do tipo estratégias passivas da bioclimatologia que visam o conforto de cada ambiente.

Este trabalho tem objetivo de verificar se o uso de estratégias passivas da bioclimatologia, em um prédio escolar de partido arquitetônico simples executado com materiais de construção da linha econômica, minimiza o desconforto termoluminoso nele.

1.2 JUSTIFICATIVA

Há muito que se fazer em Mato Grosso que apresenta diversas zonas bioclimáticas em sua extensa dimensão territorial compreendendo três biomas: Pantanal, Cerrado e Amazônia. Como o estado, praticamente, apresenta clima tropical-úmido, os seus prédios escolares deveriam apresentar estratégias adequadas às zonas bioclimáticas a que pertencem de condicionamento preferencialmente passivo.

Evitar o consumo desnecessário de energia elétrica é salutar tanto nas áreas econômica, social e ambiental quanto na área educacional. De um modo geral, salas de aula com razoável conforto termo-luminoso natural também contribuem para o melhor desempenho social, ecológico e econômico de um local.

Além das razões anteriores, os estudos da Bioclimatologia são da década de 60, portanto há pouca produção literária do gênero, em língua portuguesa como fruto de aplicações deste estudo à realidade mato-grossense. Diversas pesquisas estão sendo desenvolvidas na Universidade Federal de Mato grosso, por meio do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental que vem, desde 2002, apresentando dissertações sobre conforto das edificações residenciais e escolares em Cuiabá-MT.

Este trabalho está fundamentado na hipótese de que o desconforto termo-luminoso do edifício da escola em estudo pode ser minimizado por meio de adequações construtivas de telhados que minimizem o rigor do clima cuiabano, aliado a utilização de estratégias bioclimáticas.

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar o desempenho termo-luminoso de uma escola na cidade de Cuiabá, estado de Mato Grosso.

Para corroborar tal objetivo geral foram definidos os seguintes alguns específicos: 1) comparar a temperatura do ar de bulbo seco (TBS) externa com as internas nos ambientes estudados e comparar a umidade relativa do ar externa com as internas dos ambientes estudados; 2) avaliar o desempenho térmico dos ambientes estudados, por meio da Carta Bioclimática de Givoni, com suas sugestões a respeito das estratégias bioclimáticas; 3) aplicar um questionário sobre as sensações térmicas dos usuários nos ambientes estudados e 4) verificar se as luminosidades nos ambientes estudados estão dentro dos dados normativos da NBR-5413 (1992).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O CLIMA

O clima é uma padronização das diversas influências na atmosfera da Terra. Fenômenos como frentes frias, tempestades, furacões etc. estão associados tanto às variações meteorológicas previstas pelas leis físicas determinísticas, assim como a um conjunto de variações aleatórias dos elementos meteorológicos (temperatura, precipitação, vento, umidade, pressão do ar) cuja principal ferramenta de investigação é a estatística. Clima em sentido restrito é geralmente definido como a "média tempo" ou de forma mais rigorosa como a descrição estatística em termos da média e da variabilidade das respectivas quantidades, ao longo de um período de tempo variando de meses a milhares ou milhões de anos. O período clássico é de 30 anos, tal como definido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Estas relevantes quantidades são mais frequentemente superficiais variáveis como temperatura, precipitação e vento. Clima em um sentido mais amplo é o estado, incluindo uma descrição estatística, do sistema climático (CLIMATE, 2001).

2.1.1 Fatores meteorológicos

Os fatores meteorológicos são de suma importância, para avaliação do desempenho termo-luminoso de uma edificação. Assim como, especificar quais faixas de variação destas variáveis seriam mais importantes para o conforto das pessoas nos ambientes.

2.1.1.1 Radiação solar

O sol é a fonte primária de toda a energia disponível aos processos naturais, ocorrentes na superfície da terra. A produção de energia pelo sol é um fator constante, mas a que alcança a superfície do solo, em um local qualquer, não o é. Associado ao fato do eixo da Terra ser inclinado em relação ao equador solar, e a

posição relativa terra-sol alterada a cada instante, um mesmo local sobre a superfície terrestre, recebe durante o ano, quantidades diferentes de energia solar (OMETO, 1981).

A desigualdade da distribuição da radiação solar é causada principalmente pelos movimentos da Terra em relação ao Sol e também por variações da superfície terrestre e da atmosfera (SELLERS, 1965).

A radiação solar incidente à superfície do solo, não se restringe a onda eletromagnética monocromática, mas sim, a todo um espectro, o qual possui ondas energeticamente diferentes, além de diferencial distribuição quantitativa. Em virtude destas características, e de que a interação de ondas eletromagnéticas com a matéria ser função das propriedades da onda e estrutura molecular da matéria, pode-se imaginar a diversidade de interações que poderá ocorrer, haja visto o grande número de ondas eletromagnéticas que perfazem o espectro, e a complexidade de estruturas moleculares que compõem todo tipo de matéria existente na natureza terrestre (OMETO, 1981).

2.1.1.2 Temperatura do ar

À medida que os raios solares se aproximam da perpendicular de um local, ocorre maior aumento na temperatura da superfície do solo deste local, proporcionalmente. Neste momento, meio dia no local, mesmo ocorrendo o máximo da radiação solar, no termômetro somente ocorrerá entre às 14h e 15h devido ao processo de difusão turbulenta ser caracterizado por uma pseudo-condução, além do instrumento estar no abrigo termométrico a 1,5m da superfície do solo (OMETTO, 1981).

A temperatura média do ar possui relação direta com a intensidade de radiação solar recebida e a cobertura de nuvem. Se há nuvens, estas interceptam o fluxo de radiação infravermelha emitida e também o fluxo incidente, modificando o balanço energético do local. Se o céu estiver limpo, o solo recebe energia solar, mas perde energia por irradiação mais do que com céu encoberto.

A temperatura do ar em uma determinada localidade depende também da, energia térmica recebida pelo deslocamento de massas de ar, que ocorre através dos

ventos, correntes oceânicas e da existência de proximidade de grandes massas de água, as quais atenuam as amplitudes térmicas (BUTERA, 1995).

Normalmente, os dados relativos à temperatura do ar estão disponíveis em diversas formas como: valores médios, máximos e mínimos anuais, mensais e diários, distribuição de frequência dos valores diários, das médias diárias, etc. A caracterização do clima térmico de uma localidade, recorre-se aos dados proveniente de observações efetuadas em um período de tempo suficientemente longo, para que estas tenham valor estatístico (utilizando no mínimo 3 anos) (BUTERA, 1995).

A temperatura do ar numa edificação, não é igual ao longo de uma vertical em um ambiente desta edificação conforme a AKUTSU et. al, (1987)

A temperatura do ar em ambientes pouco ventilados geralmente aumenta do piso para a cobertura. Se esta variação de temperatura na direção vertical for muito grande, podem ocorrer desconfortos locais, com sensação de calor ao nível da cabeça e de frio ao nível dos pés, embora o corpo como um todo esteja em neutralidade térmica. Dessa forma, para prevenir tais desconfortos locais, a diferença entre as temperaturas do ar tomadas a 0,1 m e a 1,7 m do piso, respectivamente, dentro da zona de ocupação, não deve exceder a 3°C.

2.1.1.3 Umidade relativa do ar

O vapor d'água é um dos constituintes variáveis do ar atmosférico, ocupando em média 4% do volume do ar atmosférico. Seu volume é determinado pela temperatura do ambiente, pois a capacidade de contenção do vapor d'água na atmosfera é função da temperatura do ar (OMETO, 1981).

A flutuação diária da umidade relativa é maior no verão do que no inverno, de forma análoga à temperatura do ar. Os valores da umidade relativa mais elevados registram-se no início da manhã, às 6h, quando a temperatura do ar atinge seu valor mínimo, e mais baixo no início da tarde, correspondentemente ao máximo da temperatura de bulbo seco (BUTERA, 1995).

“A umidade relativa do ar não deve ser inferior a 30%, de forma a evitar o desconforto e moléstias que podem ser causadas pelo ressecamento das vias respiratórias. O excesso de umidade também deve ser evitado, de maneira a prevenir a condensação superficial e o desenvolvimento de fungos nos componentes da edificação” (AKUTSU et. al, 1987).

2.1.1.4 Ventos

O vento é um componente climático que se relaciona com o desenho dos edifícios, conjuntos de edifícios e assentamentos urbanos. A distribuição da orientação dos ventos é um dado importante seja para incorporar proteção nos períodos frios, seja para aproveitá-los nos meses quentes com umidade relativa alta (EVANS e SCHILLER, 1994).

Da mesma forma que os demais dados climáticos, o vento apresenta variações diárias e apresenta características específicas conforme o período do ano. Os ventos denominados “regionais” dependem dos movimentos de grandes massas de ar através de grandes territórios. As brisas são movimentos diários, tipicamente locais (BUTERA, 1995).

A variação da incidência da radiação solar na Terra, e a distribuição desequilibrada das massas continentais e oceânicas produzem diferenças na pressão atmosférica que provoca o movimento do ar em escala mundial, das zonas de alta pressão às de baixa pressão (EVANS e SCHILLER, 1994).

Se a temperatura do ambiente estiver dentro dos limites de temperatura termicamente aceitáveis, não é necessário que o ar apresente um movimento mínimo para proporcionar conforto térmico. Embora, a velocidade máxima do ar na zona de ocupação recomendável no inverno é $0,15\text{ms}^{-1}$ e no verão $0,25\text{ms}^{-1}$. Geralmente a velocidade do ar no verão é maior que no inverno. Para evitar o levantamento de papéis e outros objetos leves, a velocidade do ar não deve ser superior a $0,8\text{ms}^{-1}$ (AKUTSU et. al, (1987).

2.1.1.5 Precipitação

A precipitação pluvial segundo Ometo (1981) “é a água em trânsito entre nuvem e solo como resultado final do vapor de água que se condensou e se transformou em gotas de dimensões suficientes para quebrar a tensão de suporte e cair”. (OMETO,1981) Este fenômeno é conhecido como chuva, aparentemente regular para um determinado local e irregular se considerar a sua distribuição, durante o ciclo anual. A chuva é medida em milímetros (OMETO,1981). Normalmente, as chuvas estão relacionadas com os ventos provenientes de certas

direções, constituindo dados importantes para um projeto de edificações (AKUTSU et. al, 1987).

2.1.2 Escalas de abrangência dos elementos climáticos

Segundo Costa Silva e Kinsel (2006) dizem que:

é preciso considerar que o clima atua em diferentes escalas indissociáveis, porém com intensidades específicas. Assim, as escalas: macro, meso e micro-climáticas produzem dados que descrevem, inicialmente, o caráter geral de uma região, onde os fatores geográficos dos locais - latitude, altitude, distância aos oceanos e movimentos de rotação e translação da Terra, são tratados em termos gerais. No âmbito do meso-clima compreendem a proximidade com o litoral, o campo, as florestas, os vales, as regiões montanhosas e as cidades, onde os elementos de clima são influenciados pelas condições locais como topografia e vegetação. Por fim, o micro-clima está relacionado à edificação, ou conjunto de edificações, numa região, e o seu entorno imediato, é nessa escala que ocorre a atuação do arquiteto. Na condição da escala micro-climática é que particularidades do clima induzem as soluções arquitetônicas mais adequadas para o conforto. Na escala do macro-clima é que se define o equilíbrio do aquecimento e resfriamento da superfície territorial, determinando a temperatura do ar em consequência dos movimentos atmosféricos. Na escala do meso-clima a temperatura do ar é influenciada pela topografia, vegetação e pelo tipo de recobrimento do solo. As edificações atuam e são influenciadas pelo clima, criando assim um micro-clima cuja área de abrangência é a edificação e seus arredores. A umidade, na escala macro-climática, é influenciada pela presença das massas de água, lagos, rios e mares. Paralelamente às massas de água, as massas verdes também influenciam, nessa escala, a hietografia, quantidade e frequência das chuvas locais, portanto da umidade. Com relação a escala meso-climática, a umidade é influenciada pela proximidade dessas massas associadas aos movimentos de ar locais, enquanto que no nível micro-climático a influência da umidade, na edificação, é influenciada quase que isoladamente pelo movimento do ar associado ao teor de umidade do ar de renovação dos ambientes.

O presente trabalho relaciona a temperatura de bulbo seco e a umidade externas com as temperatura de bulbo seco e umidades internas de uma edificação, por isso ele se enquadra em análises na escala do micro-clima.

2.2 A ILHA DE CALOR DE CUIABÁ

A maior diferença entre os valores das temperaturas do ar de uma área urbana e seus arredores é conhecida como intensidade da ilha de calor urbana que está relacionado ao tamanho da cidade, no caso a população, ao traçado das ruas e arquitetura dos prédios das áreas centrais. Deve-se considerar também, a variável representada pelo fator nebulosidade e as características do clima local. Apesar deste fato: ilha de calor ser aceito entre os estudiosos da área, talvez a denominação de ilha de energia térmica seria, mas apropriada, uma vez que calor é energia em trânsito e não parado como o nome ilha lhe supõe.

A elevada temperatura em Cuiabá é uma imposição de vários aspectos da natureza. Situada em uma região de clima quente, em uma depressão cercada por chapadas por quase todos os lados, exceto na parte sul, por onde passa o leito do rio Cuiabá (Figura 1).



Figura 1 - Vista parcial do sul de Cuiabá

Nesta região começa os indícios do Pantanal, como a Baía da Laranja ligada aos afluentes do rio Cuiabá.

O 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 energia térmica, a impermeabilização do solo aumentam a possibilidade de enchentes. Esses fatores, associados a outros, contribuem para a formação de um micro-clima, denominado clima urbano (MAITELLI, 1994).

A intensidade da ilha de calor de Cuiabá foi em média 3,8°C, na tese de Maitelli (1994), no período noturno da estação seca, com valores máximos de 5°C, sob condições de tempo estável, céu limpo e calma, e em média 1,8°C na estação chuvosa com os valores máximos de 2,3°C. Maitelli apud Duarte (2000) afirma que a zona comercial no centro histórico da cidade de Cuiabá é a área mais quente.

2.3 CONFORTO AMBIENTAL

A avaliação do desempenho de conforto ambiental de uma edificação considera aspectos subjetivos e objetivos. Os aspectos subjetivos se referem ao conforto ambiental dos ocupantes da edificação. As exigências humanas de conforto térmico do usuário são expressas de acordo a norma ANSI/ASHRAE 55-2004 que estipula para o ambiente apresentar condições térmicas que atinjam pelo menos 80% de satisfação dos ocupantes com o ambiente térmico, baseado em que 10% de insatisfação para o conforto termal geral, com bases nos índices PMV-PPD, siglas inglesas de *Predicted mean vote* (Voto Médio Estimado) – *Predicted percentage of dissatisfied*, (Porcentagem Média de insatisfeitos), outros preferem traduzir em PPI (Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas) mais um adicional de 10% de insatisfação que pode ocorrer sobre a média do desconforto termal parcial e quanto aos aspectos objetivos, eles são representados por seis fatores primários que devem ser atendidos para o conforto termal. Lembra a norma que outro número de fatores secundários afeta o conforto em algumas circunstâncias. Os fatores primários são o coeficiente metabólico, a insolação na vestimenta, temperatura do ar, temperatura radiante média do ambiente, velocidade do ar e umidade (AMERICAN, 2004).

2.3.1 Conforto Térmico

O conforto térmico não é um conceito exato, já que não implica uma temperatura exata, dependendo de fatores quantificáveis como: temperatura e umidade do ar, velocidade do vento, etc. e de fatores não quantificáveis como estado

mental, hábitos, educação, cultura, etc. Assim, as preferências de conforto das pessoas variam conforme a sua aclimatização particular ao ambiente local (AMERICAN, 2004).

Para a obtenção de um ambiente termicamente confortável de seus usuários, as normas sobre conforto térmico são uma ferramenta essencial. Inicialmente estas normas tinham como principal preocupação definir as condições de conforto térmico, sem considerar os consumos energéticos necessários para atingir o conforto do ambiente, mas devido aos problemas ambientais que são cada vez mais evidentes e à busca do desenvolvimento sustentável, eles devem ser considerados. Buscando atingir o conforto, estas normas devem considerar, também, estratégias passivas que não consomem energia (SANTOS, 2008).

Para que uma pessoa esteja em conforto térmico, a primeira condição, é que a mesma se encontre em *balanço térmico*, isto é, que todo o calor gerado por seu organismo seja transferido na mesma proporção ao ambiente, através de perdas por convecção, radiação, evaporação e eventualmente também por condução através das roupas. Embora essa condição seja necessária, não é suficiente, pois existem muitas combinações de variáveis ambientais e pessoais que, mesmo satisfazendo a situação de balanço térmico, não fornecem conforto à pessoa. Quando ocorre este tipo de combinação, a pessoa está sujeita a algum tipo de desconforto localizado (FANGER, 1970 apud XAVIER, 1999).

Para que uma pessoa se encontre em estado de conforto térmico, é necessário que sejam verificadas três condições fisiológicas e ambientais, sem as quais este estado não pode ser atingido, quais sejam: que a pessoa se encontre em neutralidade térmica; que a temperatura de sua pele e a sua taxa de secreção de suor, estejam dentro de certos limites compatíveis com sua atividade; que a pessoa não esteja sujeita a nenhum tipo de desconforto térmico localizado (XAVIER, 1999).

2.3.2 Conforto Lumínico

A iluminação pode ser natural ou artificial. Tem-se uma preferência pela iluminação natural, evidentemente sem excluir a artificial. Há algumas vantagens desta preferência, uma delas é dada por Corbella e Yannas (2003).

O olho humano se adapta melhor à luz natural que à artificial; portanto é melhor trabalhar com luz natural. A luz artificial não reproduz as cores da

luz natural (tem espectro diferente), nem varia conforme as horas do dia, reduzindo, assim, a riqueza em cores e contrastes dos objetos iluminados. É importante notar também que a luz natural, além de seus benefícios para a saúde, dá a sensação psicológica do tempo- cronológico e climático – no qual se vive, ao contrário da monotonia fornecida pela luz artificial.

Outra vantagem da iluminação natural é o não uso de energia elétrica, cuja produção responde por uma série de impactos ambientais. A iluminância natural é uma medida do fluxo fotométrico por unidade de área, consistindo numa grandeza física que fornece informações sobre o fluxo de energia eletromagnética na faixa espectral do visível. Contudo, o olho humano não é igualmente sensível a todos os comprimentos de onda da radiação visível, de maneira que essa sensibilidade é levada em conta na curva de resposta de um medidor de iluminância. Desta forma, a iluminância, medida em Lux (lúmens por m²), representa a curva de resposta do olho humano à radiação solar incidente (FIORIN apud SANTOS, 2008).

A determinação das características de um ambiente não é feita somente através do nível de iluminância necessário, mas por uma série de outros fatores. Muitas vezes, a iluminância pode não ser tão importante frente ao caráter que se deseja dar ao ambiente, o uso das cores, o jogo entre sombra e luz etc. É sempre a função a que se destina o local, que determinará quais os fatores mais importantes a serem considerados no momento de se projetar a iluminação (SANTOS,2008).

2.3.2.1 Níveis mínimos de iluminância

No Brasil, a norma NBR 5413 – “Iluminância de interiores” da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), em vigor a partir de abril de 1992, estabelece valores de iluminância média mínima para iluminação em interiores, onde se realizem atividades de comércio, indústria, ensino, esporte e outras. Como condições gerais:

- a) a iluminância deve ser medida no campo de trabalho. Quando este não for definido, entende-se o nível do referente a um plano horizontal a 0,75m do piso;
- b) em casos de necessidade de elevada iluminância em determinado campo de trabalho, pode-se usar iluminação suplementar;
- c) a iluminação no restante do ambiente não deve ser inferior a 1/10 do valor adotado para o campo de trabalho, mesmo que haja recomendação menor e

- d) recomenda-se que a iluminância em qualquer ponto do campo de trabalho não seja inferior a 70% da iluminância média determinada segundo a NBR 5382 – “Verificação da iluminância de interiores – Métodos de ensaio”.

Tabela 1- Iluminância por classe de tarefas visuais

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas intermitentemente ou com tarefas visuais simples	20 - 30 - 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 - 75 - 100	Orientação simples para permanência curta
	100 - 150 - 200	Recintos não usados para trabalho contínuo
	200 - 300 - 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
B Iluminação geral para área de trabalho	500 – 750 - 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios
	1000 – 1500 - 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 – 3000 - 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	5000 – 7500 - 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10000 – 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Fonte: ABNT – NBR 5413/1992 – “Iluminância de interiores”

2.4 BIOCLIMATOLOGIA

2.4.1 Bioclimatologia aplicada à arquitetura

Na arquitetura antiga, a associação entre clima e ambiente construído pode ser notada. O sol e a latitude formam as bases dos primeiros estudos. No primeiro século antes de Cristo, Vitruvius em sua obra clássica, traduzida por Polião (1999) apud Oliveira (2007), já aponta as necessidades climáticas através de comentários citados.

A arquitetura deve contribuir para minimizar a diferença entre as temperaturas internas e externas do ar, em particular nas regiões predominantemente com temperaturas elevadas.

É possível, mas não recomendável hoje, tornar uma edificação confortável por meio de processos mecânicos, porque utilizam fontes consumidoras de energias

convencionais. Porém, o objetivo da bioclimatologia aplicada à arquitetura é utilizar estratégias passivas, para minimizar o uso de outros sistemas com recurso de meios mecânicos, que implicam em elevado consumo de energia elétrica e emissão de poluentes.

Olgay em 1963 delimitou a relação entre clima e projeto arquitetônico, escrevendo um manual para projeto bioclimático, com particular referência à carta bioclimática. A carta foi a primeira representação gráfica a mostrar a conexão entre clima e o conforto humano. Ela relacionava a temperatura de bulbo seco com a umidade relativa. Baseada nesta relação, os irmãos Olgay propuseram uma zona de conforto e sugere medidas corretivas para se atingir conforto quando o ponto em estudo estiver fora da zona de conforto, podendo essas medidas serem passivas ou ativas, dependendo dos parâmetros climáticos (OLGYAY, 1963).

Uma boa arquitetura deve contemplar tanto ao programa de necessidades quanto uma análise climática para que possa atender à eficiência energética e às necessidades de conforto. A arquitetura bioclimática não se restringe às características arquitetônicas adequadas. Preocupa-se, também, com o desenvolvimento de equipamentos e sistemas que são necessários ao uso da edificação (aquecimento de água, circulação de ar e de água, iluminação, conservação de alimentos, etc.) de forma que o consumo energético seja eficiente. Atualmente a bioclimatologia é uma visão moderna que indica novos rumos à arquitetura. Trata-se de uma arquitetura diferente, mas que dá continuidade ao seu papel de criar recursos construtivos que atendam às necessidades do homem, sem deixar de buscar maior integração com o meio ambiente através da nova visão frente ao atual movimento climático-energético. As soluções arquitetônicas encontradas para adaptação da edificação ao clima são instrumentos capazes de gerar resultados autênticos diante da subjetividade de cada indivíduo aplicada às diretrizes bioclimáticas existentes para cada clima (LAMBERTS, 2007).

2.4.2 Zoneamento bioclimático

Os fatores climáticos são importantes para se definir o clima do local. A interação dos fatores é que definem as variáveis e o conforto térmico da edificação (CUNHA, 2004).

Para caracterizar o clima das diversas regiões do globo, este é dividido em zonas de climas similares, chamadas regiões climáticas. No Brasil, dada a sua grande

extensão territorial e sua localização entre dois trópicos, vários tipos de clima são identificados (LAMBERTS, 2007).

A norma NBR 15220-3(2005) estabeleceu uma subdivisão das condições climáticas brasileiras para projetos. Esta subdivisão foi denominada zoneamento bioclimático brasileiro, e compreende oito zonas, homogêneas quanto ao clima (Figura 2), estando para cada uma relacionadas as estratégias bioclimáticas consideradas adequadas para utilização nas edificações.

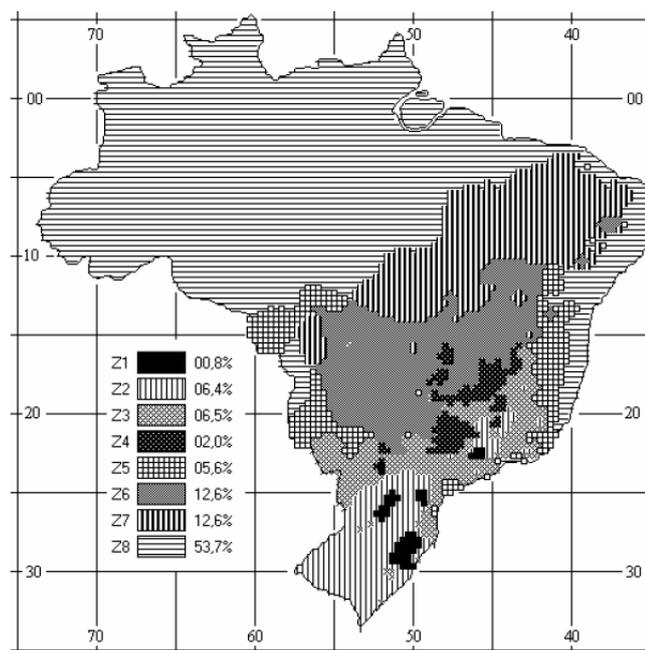


Figura 2 - Zonas bioclimáticas definidas pela Norma Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2005)

Para o estabelecimento das diretrizes construtivas, foram considerados os seguintes parâmetros e condições de contorno: tamanho das aberturas para ventilação, proteção das aberturas, variações externas (parede externa, cobertura) e estratégias de condicionamento térmico passivo.

O município de Cuiabá está situado, na zona 7, de acordo com zoneamento bioclimático brasileiro. Esta ocupa 12,6% do território brasileiro, englobando parte das regiões Centro-Oeste e Nordeste e algumas cidades do Sudeste e Norte.

Leão (2007) apud Oliveira (2007), concluiu através do relatório elaborado com dados horários do Test Reference Year (TRY), que Cuiabá apresenta 19,5% de horas de conforto e 80,5% de desconforto anual, num total de 294 dias avaliados. Sendo que, do total de horas de desconforto, 75,9% devem-se ao calor e a

percentagem de 4,54% deve-se ao desconforto por frio. A mesma autora, Leão, observou que para a correção do calor, a ventilação é proposta como estratégia bioclimática em 56,2%. As estratégias que podem ser utilizadas em conjunto são resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento, indicadas em proporções quase equivalentes, com 20,2% e 19,6% respectivamente. De acordo com o relatório, a insuficiência das estratégias passivas para o clima de Cuiabá deve ser suprida em 8,55% das horas de desconforto com ar condicionado.

2.4.3 Carta Bioclimática de Givoni

Givoni (1969) desenvolveu uma carta bioclimática a ser empregada em edifícios para corrigir as limitações do diagrama bioclimático idealizado por Olgyay(1963). Segundo Barbosa (1997), Givoni(1992) diz que a principal diferença entre esses dois sistemas deve-se ao fato de que o diagrama de Olgyay é desenhado entre dois eixos (temperaturas secas e umidades relativas), enquanto que a carta de Givoni é traçada sobre uma carta psicrométrica convencional e utiliza-se da umidade absoluta como referência.

Em sua carta original, Givoni utilizou-se do modelo biofísico de troca de calor entre o corpo e o meio ambiente, chamado Índice de Stress Térmico (ITS). Este modelo calcula o índice através das variáveis de temperatura do ar, umidade (pressão de vapor), movimento de ar, radiação solar, taxa metabólica e vestimentas.

Segundo Barbosa (1997), os sistemas desenvolvidos por Olgyay(1963) e Givoni(1992) buscam ampliar a zona de conforto através da adoção de estratégias arquitetônicas que alteram a sensação do clima interno em estudo. Na carta de Olgyay, os limites de conforto foram obtidos de pesquisas efetuadas por fisiologistas. No diagrama bioclimático de Olgyay as condições de temperatura e umidade são plotadas como curvas fechadas ou ciclogramas das médias diárias horárias (24 horas), para cada mês, em uma dada localidade.

Na carta de Givoni (1992) os limites originais de conforto foram determinados com base em pesquisas conduzidas nos Estados Unidos, Europa e Israel. Entretanto, considerando estudos realizados em países quentes e apoiando-se no fato de que devido seus costumes, as pessoas que moram em países em desenvolvimento com clima quente e úmido aceitam limites máximos superiores de

temperatura e umidade, a atualização sugere a expansão desses limites para a aplicação em tais regiões.

Givoni (1992) explica também que o clima interno em edifícios não condicionados reage mais largamente à variação do clima externo e à experiência de uso dos habitantes, por isso busca-se em seus estudos maior inércia ao clima externo. As condições internas de conforto são alcançadas relacionando as alterações climáticas externas com princípios básicos de projeto da edificação e suas propriedades de envoltória.

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

A carta bioclimática de Givoni (1992) apresenta-se adequada para países em desenvolvimento, como o Brasil. No Brasil baseados neste trabalho, Lamberts, Dutra e Pereira (1997) empregaram-na nos estudos sobre eficiência energética e, especialmente, no programa computacional ANALISYS BIO 3.0. que permite, a partir de dados climáticos locais, a construção de cartas bioclimáticas com as estratégias passivas e ativas recomendadas aos projetos de arquitetura (BARBOSA, apud OLIVEIRA, 2007).

2.5 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

A produção de energia elétrica afeta o meio ambiente, principalmente o Brasil que tem a sua produção energética quase toda proveniente de hidrelétricas que necessitam de grandes áreas para a sua implantação. Com o crescimento econômico dos últimos anos, vai exigir um aumento na produção de energia. Com isto, qualquer projeto que proponha reduzir o consumo de energia, é bem vindo no sentido de minimizar este aumento de energia.

Cirilo Junior (2008) da Folha Online no Rio escreve que o consumo de energia elétrica no país cresceu 5,4% em 2007, segundo o diretor de Estudos Econômicos e Energéticos da Empresa de Pesquisa Energética, (EPE), Amilcar

Guerreiro. Em 200 não passara dos 3,5%. Para 2008, a EPE projeta um crescimento de 5,2% no consumo de energia elétrica.

Por isso projetos que visam a redução do consumo de energia são mais saudáveis ao meio ambiente. As diferentes produções de energia elétrica não têm o mesmo impacto ambiental. Há forma de produção que minimizam este efeito.

2.6 MUDANÇAS ARQUITETÔNICAS DOS PRÉDIOS ESCOLARES

A característica física do prédio escolar acompanha as necessidades e concepção de educação de cada época. Alguns exemplos de prédios escolares podem ilustrar este pensamento. Começa-se pelas pesquisas de Jucá (2007) a respeito do histórico Palácio da Instrução.

A pedra fundamental do belíssimo prédio foi lançada em 15/05/1911, sendo inaugurado em 15/08/1914. [...] Na fase áurea do ensino em Mato Grosso, com professores paulistas, foram feitos maciços investimentos na educação pública. O presidente Joaquim da Costa Marques deu continuidade às reformas iniciadas pelo presidente Pedro Celestino Corrêa da Costa, apontado como o grande realizador da "Revolução do Ensino" em Mato Grosso. Ele prosseguiu com a construção do Palácio da Instrução, inaugurado em 15/08/1914, funcionando de imediato a Escola Normal. Contratou cinco professores em São Paulo: Ernesto Sampaio, José Rizzo, João Briene de Camargo, Francisco Azzi e Valdomiro de Oliveira Campos, [...] Construído em prédio de dois pavimentos no estilo neoclássico, e paredes de adobe com até 80 centímetros, o prédio do Palácio da Instrução foi tombado pelo Patrimônio Cultural Edificado em 03/05/1983. A sua área coberta é de 1.286 metros quadrados, em terreno de 4.757 metros quadrados. A nova restauração foi inaugurada em 06/12/2004, com duas novidades: climatização de salas e elevador para deficientes. O projeto recebeu doação de 1,8 milhões de reais, da Associação Mato-grossense de Produtores de Algodão, AMPA. [...] Contudo, a ação do tempo tratou de mutilar seu conjunto arquitetônico, como é o caso das luminárias e dos vidros originais das janelas, com o Brasão de Armas do Estado, vindos da Bélgica em 1911. A escada que interliga os dois pisos tem um corrimão de ferragem trabalhada e ainda está intacta. Cada piso tem 10 salas (no de cima ainda existe o Salão Nobre, ocupando a parte central). [...] A sua área construída de quase 3.500 metros quadrados ocupa um espaço mais do que privilegiado, de 1.512 metros quadrados, no coração de Cuiabá e em frente

à Praça da República, no lado direito da Basílica do Senhor Bom Jesus de Cuiabá,[...]

Como pode ser observado (Figura 3) o Palácio da Instrução é um prédio de destaque principalmente para a época quando foi construído.



Figura 3 - Palácio da Instrução ao lado da Catedral Basílica do B. Jesus
Fonte: SOUZA,M.L.(2009)

Continua Jucá (2007) “O Liceu Cuiabano, com a designação de Colégio Estadual de Mato Grosso, mudou-se em 10/11/1944 para suas instalações próprias, à Praça General Mallet. Porém, pelo Decreto nº 1.752, de 13/03/1979, voltou a se chamar Liceu Cuiabano, sendo novamente modificado em 11/12/1998, pelo Decreto 2.812, para Escola Estadual Liceu Cuiabano Maria de Arruda Müller” (Figura 4).



Figura 4 - Liceu Cuiabano na praça General Mallet
Fonte: SOUZA,M.L.(2009)

Com a necessidade de aumento de número de vagas na rede estadual de ensino e pouca disponibilidade de recursos financeiros, os prédios escolares foram reduzidos a partidos arquitetônicos mais pobres em relação ao Palácio da Instrução e ao Liceu Cuiabano, além dos seus sistemas construtivos utilizarem materiais da linha econômica. Grande parte destes prédios apresentam ausência de conforto ambiental, constituindo desafios aos especialistas da área.

2.7 EFEITO DA ÁRVORE NO LOTE SOBRE EDIFICAÇÃO BRANCA

Akbari e Rosenfeld (1989) apud Pietrobon (1999), resumem o conteúdo de 2 artigos, nos quais são analisados a arborização urbana e o alto albedo do envoltório das edificações pintadas em cor branca, em três partes: os efeitos da “Ilha de Calor”, a redução destes efeitos e o controle das emissões de CO₂ para a atmosfera. Os artigos mencionados são de Akbari *et al.* (1988, 1989). No primeiro artigo, os autores afirmam que o uso de cores claras no envoltório das edificações e o emprego de sombreamento arbóreo constituem-se em duas maneiras de baixo custo de implementação para reduzir os efeitos das “Ilhas de Calor” e são passíveis de criar o efeito de resfriamento natural, em escala urbana, conhecida como “Oásis de Verão”. Além de técnicas fáceis de obter para a conservação energética, são efetivas maneiras de diminuir a quantidade de CO₂ expelido para a atmosfera urbana, reduzindo a necessidade de uso e queima de combustíveis fósseis para a geração de energia elétrica. Afirmando, ainda, que a arborização urbana é indiretamente cerca de 15 vezes mais eficiente para consumir CO₂ que a arborização rural. Quantificam que dentre 4 possibilidades de ação: superfícies claras, sombreamento arbóreo nas edificações, arborização urbana e parques com vegetação, a primeira opção é a medida mais eficiente e de menor custo de implantação. A opção de sombreamento arbóreo de edificações é o dobro mais eficiente que a arborização urbana e parques, na redução do consumo energético oriundo do resfriamento do ar por condicionamento artificial.

No segundo artigo, afirmam que o condicionamento artificial para o resfriamento de ambientes internos, através dos procedimentos de uso de cores claras e arborização eram comuns antigamente. Registrou-se, antes da década de 40 e posteriormente à ela, que o centro de “Los Angeles” teve um aumento na temperatura do ar na faixa de 3,2° C a 6,3° C. Aumentando a possibilidade de ocorrência de

“smogs” (neblina e fumaça) e abaixo de 24° C o fenômeno tem valores admissíveis pela “*National Atmospheric Air Quality Standard*”- NAAQS - Acima de 36° C os efeitos são o dobro da condição admissível.

Apesar dos resultados apresentados, os autores afirmam que há necessidade de mais pesquisas para diagnosticar vários outros aspectos desses fenômenos:

- i) superfícies claras e árvores - as árvores resfriam as cidades pela evapotranspiração, mas refletem apenas de 20% a 25% da radiação solar incidente. Necessitam-se mais estudos acerca da combinação ótima de superfícies claras e arborização;
- ii) conservação energética direta e indireta - atualmente, conhece-se o fenômeno da conservação energética devido aos efeitos diretos. Para os efeitos indiretos, há a necessidade de modelação;
- iii) dentre o sombreamento arbóreo, arborização urbana, parques, árvores da zona rural, as árvores situadas no lote conservam mais energia no resfriamento por sombreamento das edificações, reduzem a poluição atmosférica através da absorção do CO₂ e contribuem para minimizar o fenômeno da “Ilha de Calor”, pela evapotranspiração. Nas ruas, rodovias e parques, as árvores auxiliam a combater o fenômeno das “Ilhas de Calor”, mas a sua eficiência é a metade dos casos anteriores. Na zona rural, as árvores não conservam energia, mas absorvem CO₂ da atmosfera. Ainda há necessidade de estudos econômicos destes tipos de árvores em vários climas e localidades;
- iv) elaboração de um manual para mitigação da ilha de calor - há necessidade deste tipo de divulgação, para uma correta implementação de ações conservativas na energia e
- v) demonstração e monitoramento - na seqüência, a próxima prioridade é demonstrar a efetividade econômica do efeito do sombreamento e das pinturas claras em edificações (*mobile homes*), submetidas a várias condições climáticas em diversas localidades.

Akbari et al. (1989) apud Pietrobon (1999), analisam formas de mitigar o efeito das “Ilhas de Calor” em ambientes urbanos, através de uma série de estratégias

quantificando-as em termos econômicos e alertam para a necessidade de difundir-las para os planejadores, a fim de obter um efeito multiplicador dessas estratégias.

Akbari e Rosenfeld (1989) apud Pietrobbon (1999), pesquisaram o efeito das superfícies brancas no envoltório de edificações e a arborização urbana, na mitigação das “Ilhas de Calor” em “*Los Angeles e Sacramento*”. Nesta pesquisa, aponta-se para um cenário de prioridades; e discutem-se as superfícies brancas e a arborização urbana em três aspectos. Na mitigação da “Ilha de Calor” e no custo-benefício das superfícies brancas “*versus*” árvores:

i) efeitos na “Ilha de Calor”- Antigamente, antes da difusão do ar condicionado, os edifícios eram claros e os lotes arborizados. Atualmente, este procedimento não é usual e a metade do efeito da “Ilha de Calor” corresponde a esta tendência, sendo que a outra metade do fenômeno da “Ilha de Calor” é oriunda da pavimentação escura, além dos reduzidos níveis de vegetação urbana. A ocorrência de “Ilhas de Calor” aumenta o consumo energético para a climatização artificial, bem como, aumenta a possibilidade de ocorrência de “*smog*” (neblina e fumaça) devido ao aumento da temperatura do ar urbano;

ii) mitigação da “Ilha de Calor” - Cores claras e arborização são medidas positivas na mitigação da “Ilha de Calor” e têm baixo custo de implantação, cerca de apenas 1% do investimento na geração de energia elétrica e no condicionamento artificial de ar. Além disto, há medidas complementares, tais como: clarear telhados e superfícies pavimentadas que auxiliam na mitigação da “Ilha de Calor”. Estimando-se a conservação de energia com estas estratégias para “*Sacramento*”, têm-se que: aumentando-se o albedo em 15% reduz-se em 3° C a temperatura máxima do ar urbano. A conservação direta e indireta de energia atingiria o valor de 50%. Também, o sombreamento direto nas residências economizariam cerca de 20% a 30% da energia despendida no resfriamento artificial;

iii) custo - benefício das superfícies brancas *versus* árvores - Dentre três opções, a saber: superfícies brancas, sombreamento arbóreo no lote, arborização urbana em ruas e parques, as superfícies brancas são as medidas mais efetivas, menos dispendiosas e mais imediatas.

2.7.1 O Desempenho Termo-Luminoso do Edifício

Akutsu et al. (1987) apud Pietrobon (1999), definem o desempenho térmico de uma edificação como: “*o resultado da interação que se estabelece entre a edificação e o ambiente térmico a que a mesma está submetida*”.

As condições de exposição são classificadas como condições climáticas, condições de implantação e condições de uso das edificações.

As grandezas que intervêm nessas condições são:

- i) grandezas que caracterizam as condições climáticas: temperatura de bulbo seco do ar externo, umidade relativa do ar externo, velocidade e direção dos ventos, radiação solar direta e difusa, ganhos térmicos;
- ii) grandezas que caracterizam as condições de implantação: latitude, longitude e orientação solar;
- iii) grandezas que caracterizam as condições de uso da edificação: número de usuários e atividades-padrão, quantidade de calor e vapor d'água produzidos internamente na edificação e número de renovações de ar proporcionado pelo controle da ventilação ou pelo condicionamento artificial do ambiente.

Do mesmo modo, pode-se relacionar as grandezas que caracterizam a edificação, seus elementos, componentes e materiais:

- i) forma e dimensões geométricas da edificação, dos seus elementos e componentes; opacos e translúcidos;
- ii) transmitância, absorptância e refletância à radiação solar dos elementos e componentes opacos expostos à radiação solar;
- iii) transmissão, absorção, reflexão, fator solar e dimensões dos componentes translúcidos;
- iv) condutibilidade térmica, calor específico e massa específica dos materiais;
- v) emissividade das superfícies dos elementos e componentes opacos e translúcidos.

Por sua vez, o conforto térmico é função dos seguintes estímulos do ambiente térmico interno e dos aspectos comportamentais do usuário:

- i) temperatura de bulbo seco do ar interno;
- ii) velocidade relativa do ar interno;

- iii) temperatura radiante oriunda dos fluxos de calor nas superfícies interiores de elementos e componentes;
- iv) umidade relativa do ar interno.
- v) taxa metabólica, referente à atividade física do usuário;
- vi) valor da eficiência mecânica da atividade física do usuário;
- vii) valor da resistência térmica da roupa do usuário.

Convém salientar que o comportamento dos componentes construtivos opacos e os translúcidos, quando expostos aos raios solares, é diferente.

No caso de uma parede opaca exposta à radiação solar e sujeita a uma determinada diferença de temperatura entre os ambientes que separa, os mecanismos de troca de calor, para determinar a intensidade de fluxo térmico que a atravessa q (Wm^{-2}), dependem das seguintes variáveis: coeficiente global de transmissão térmica U ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$), temperatura do ar externo ($^{\circ}\text{C}$), coeficiente de absorção da radiação solar (%), intensidade de radiação solar global incidente (Wm^{-2}), coeficiente de condutância térmica superficial externa ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) e temperatura do ar interno ($^{\circ}\text{C}$).

Na situação de uma parede transparente ou translúcida exposta à incidência da radiação solar e sujeita a uma determinada diferença de temperatura entre os ambientes que separa é diferente da parede opaca. Inclui-se a parcela que penetra por transparência, através da transmissividade às radiações de ondas curtas.

Em ambos os casos anteriores, o vento interfere no comportamento térmico, tanto internamente como externamente, através do mecanismo térmico de convecção.

No ambiente interno, a ventilação deve cumprir o atendimento às condições de salubridade (provisão de oxigênio para a respiração, redução da concentração de CO_2 , prevenção na concentração de bactérias nocivas e remoção de odores); aos aspectos de conforto higro-térmico (resfriamento ou aquecimento da estrutura construída, remoção do calor ambiente, resfriamento do corpo humano) e auxiliar na durabilidade dos materiais e componentes da edificação, limitando a ação da umidade.

No ambiente externo, dependendo da textura dos materiais, o vento pode alterar o coeficiente de condutância térmica superficial variando o desempenho térmico do edifício. Pode, ainda, conforme as dimensões, o arranjo e o formato da

disposição dos edifícios, alterar o fluxo aerodinâmico externo do ar, que pode ser benéfico ou não, conforme o clima local. Em ambas as situações, o vento altera os padrões de trocas de calor.

Sob o aspecto luminoso, têm-se como objetivo proporcionar ótimo desempenho de uma tarefa visual, seja ela qual for. Isso significa, necessariamente, que esse desempenho funcional esteja diretamente ligado ao conceito de produtividade ditado pelo sistema econômico vigente. Apesar disto, foi essa ótica econômica que favoreceu o grande desenvolvimento da iluminação, tanto natural quanto artificial, primeiramente a partir de segunda guerra mundial e mais recentemente com a evolução tecnológica das lâmpadas e vidros, visando um desempenho energético mais racional nas edificações.

Este conceito de correto desempenho deve ser estendido às tarefas religiosas ou de lazer, dentre tantas outras, que nada têm de produtivo diretamente. Mas que contribuem para que os homens sejam mais produtivos. Para tal, existe uma série de fatores que devem ser respeitados na realização de qualquer tarefa visual e alguns pontos fundamentais na relação entre o homem e o ambiente construído. Pode-se relacioná-los sinteticamente como:

- i) a vista e a visão;
- ii) a tarefa visual a ser desempenhada;
- iii) o campo visual do homem;
- iv) o nível de iluminação;
- v) a luminância e os contrastes e
- vi) as perturbações visuais, dentre as quais, o ofuscamento.

2.7.1.1 Variáveis, Índices e Limites de Conforto Térmico e Eficiência Lumínica

Jabardo (1984) apud Pietrobon (1999), cita uma definição de conforto térmico da ASHRAE (1981): "*um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa*". Desta forma, considerações fisiológicas e psicológicas estão envolvidas nesta definição, que dependem individualmente de cada pessoa.

As variáveis condicionantes da sensação de conforto térmico, no seu aspecto reducionista, dependem das condições ambientais e das comportamentais do usuário:

- i) temperatura de bulbo seco do ar;
- ii) temperatura radiante média do ambiente;
- iii) velocidade relativa do ar e
- iv) umidade relativa do ar ou pressão parcial do vapor d'água no ar ambiente.

Além destas, existem as variáveis que dependem do indivíduo:

- i) atividade mecânica associada à produção de energia no interior do organismo;
- ii) eficiência mecânica da atividade e
- iii) resistência térmica da vestimenta.

A inter-relação destas variáveis causam a sensação térmica no indivíduo.

Internacionalmente, o problema do conforto térmico tem sido analisado há mais de um século, inicialmente nas minas de carvão da Inglaterra ou com interesses militares. Outras áreas de interesse, visando diferentes aplicações foram: rendimento nos trabalhos físico e intelectual, sobrevivência humana em condições de exposição curta ou prolongada a climas agressivos, obtenção de parâmetros para projeto e desempenho de sistemas de ventilação e climatização natural ou artificial de ambientes.

Segundo Lim (1983) apud Pietrobon (1999), pode-se perceber que o desenvolvimento, durante a primeira metade deste século, concentrou-se na definição das variáveis que afetam o conforto térmico, já citadas anteriormente, mas não lhes foram dadas igual ênfase nos diversos índices e escalas. O autor continua elucidando que a partir da segunda metade deste século o desenvolvimento na área de conforto térmico é uma extensão dos conceitos iniciais, auxiliado por equipamentos mais sofisticados, através de condições ambientais controladas ou pesquisas de campo. Esclarece, ainda, que enquanto alguns poucos índices tenham sido desenvolvidos recentemente, os estudos continuam a se conduzir em pesquisas de campo, câmaras climáticas controladas e alguns dos resultados destas pesquisas têm sido adotados sob a forma normativa.

Frota (1979) apud Pietrobon (1999), analisou, aproximadamente, cerca de 40 índices de conforto térmico, visando a sua aplicabilidade nas condições climáticas

brasileiras e posteriormente, Frota (1995) adota apenas 3, passíveis de aplicação no Brasil.

Vários autores têm procurado classificar estes índices de conforto sob diversos aspectos, conforme o modelo físico adotado. Dentre eles, Mexia de Almeida (*apud* FROTA, 1979) definiu-os em 3 grupos: Biofísicos, Fisiológicos e Subjetivos. Villas Boas (1983), agrupa-os como Biometeorológicos e diferencia-os em dois tipos: Meteorológicos e Fisiológicos. Scarazzato (1988) agrupa-os em 3 tipos: Termométricos ou Fisiológicos, Subjetivos e Psico-Fisiológicos.

Na seqüência, é importante mencionar apenas a evolução dos índices normativos pertinentes às questões de conforto térmico, utilizados recentemente:

- i) ANSI-ASHRAE 55 (1981) expressa como condição de conforto, a situação na qual 80% dos usuários estejam satisfeitos, o que segundo o índice de Fanger (1972) corresponde aos limites de PMV) variando entre -0,82 e +0,82 e de PPD de 20%, adotado também no Brasil para escolas e habitações por Akutsu *et al.* (1987);
- ii) Gagge (*apud* LIM, 1983) define a temperatura efetiva padrão (SET) como a temperatura de um ambiente fechado isotérmico, com velocidade do ar abaixo de 0,15m/s, umidade relativa de 50%, no qual pessoas em atividade sedentária, vestidas com roupas de 0,6 clo, teriam os mesmos valores de suor da pele e da temperatura média da pele, que teriam os usuários no ambiente real não uniforme;
- iii) ISO - 7730 (1984) adotando as pesquisas de Fanger (1972), recomenda que para espaços de ocupação humana, o PPD (Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas ou "*Predicted Percentage of Dissatisfied*") deve ser menor que 10% isto corresponde a uma faixa de variação do PMV (Voto Médio Estimado ou "*Predicted Mean Vote*") de -0,5 a +0,5;
- iv) ISO - 7726 (1985) especifica as características mínimas de equipamentos para medição das quantidades termo-físicas que caracterizam um ambiente e os métodos para medir estas quantidades. Não define o índice global de conforto ou "*stress*" térmico mas, simplesmente, padroniza o processo de registros de informações

orientadas para determinação destes índices. É aplicado ao estudo de conforto de ambientes moderadamente quentes ou frios para ocupação humana;

- v) ANSI ASHRAE 55 (1992) define o novo índice de temperatura efetiva (ET) como sendo a temperatura operativa (t_o) de um ambiente a 50% de umidade relativa que causaria a mesma troca de calor sensível e latente de uma pessoa como se fosse no ambiente real;
- vi) ISO-7726 (1996) denominada (*"Ergonomics of the Thermal Environment- Instruments for Measuring Physical Quantities"*), que é uma revisão da norma citada no item anterior **iii**, com mesma numeração que a já mencionada, ainda em estudo.

O nível de iluminamento recomendado é de 300 Lux para salas de aula e baseia-se na NBR 5413 (ABNT, 1991).

A respeito do aspecto luminoso, Hopkinson *et alli* (1975), apud Pietrobon (1999), definem como conforto lumínico: *"É o prazer e satisfação visuais proporcionados por um ambiente , conduzindo a uma sensação de bem-estar, além das necessidades essenciais de segurança e eficiência"*.

Pode-se relacionar os fatores que afetam a visão da seguinte maneira:

- i) níveis de iluminamento e sua distribuição;
- ii) luminância e contrastes;
- iii) tamanho do elemento a ser visualizado e
- iv) tempo para a visualização.

O primeiro fator que deve ser estabelecido em estudos de iluminação é a relação entre a habilidade de se ver, a quantidade de luz fornecida e o grau de contraste inerente ao objeto para o qual está se olhando. Pode-se sintetizar os requisitos para uma visão recomendável, como segue:

- i) iluminamento suficiente;
- ii) ausência de ofuscamento;
- iii) sem contraste marcante e
- iv) equilíbrio de luminâncias.

E, ainda, seguem alguns fatores a serem considerados na determinação do nível de iluminação para uma determinada tarefa:

- i) o tamanho dos detalhes críticos da tarefa;
- ii) a distância dos detalhes a serem vistos;
- iii) a luminância da tarefa (função do fator de reflexão);
- iv) os contrastes entre a tarefa e o entorno;
- v) a velocidade com a qual essa tarefa deve ser desenvolvida;
- vi) o grau de precisão exigido na realização das tarefas e
- vii) a idade de quem realiza a tarefa.

Isto posto, nota-se que a melhoria da visão com o aumento do nível de iluminação não é ilimitada. Têm-se dois fatores restritivos, a saber:

- i) primeiramente, têm-se que os níveis máximos possíveis de serem adotados são ditados primordialmente por questões econômicas. Logicamente quanto maior for o nível de iluminamento adotado maior será o consumo de energia, o custo inicial de instalação e o custo de manutenção;
- ii) em segundo lugar, existe um limite quantitativo, variando não linearmente, a partir do qual qualquer aumento no nível de iluminamento, não traz mais nenhuma melhoria para a acuidade visual. Este limite estaria próximo ao ponto de saturação de iluminância interna de 2000 lux e
- iii) potencial de ocorrência de efeitos adversos, tais como o ofuscamento.

2.8 O SISTEMA DO CLIMA

Para reconhecimento do subsistema da locação, torna-se necessário incluir na escala imediata ao edifício os aspectos climáticos que podem ser analisados em diversas escalas temporais e espaciais. Modernamente a noção de clima passa a ter um caráter mais específico, havendo diversidade nas suas definições conforme as áreas de conhecimento a que se destinam, impossibilitando uma definição essencial única.

Surge, então, a noção de climatologia aplicada aos mais diversos setores da atividade humana. Quando aplicada às relações com seres vivos denomina-se Bioclimatologia, podendo-se distinguir como Bioclimatologia Humana, Animal e

Vegetal, estudadas em diversas escalas de tempo e espaço. Quando analisada junto às edificações, surge o campo da Climatologia Aplicada à Edificação.

Para o estudo da Climatologia Aplicada é necessário esclarecer que há dois conceitos intervenientes:

- i) fatores climáticos: que são parâmetros fixos e dão origem ou determinam as variações nos elementos climatológicos;
- ii) elementos climatológicos: que são os elementos mensuráveis cujas variações definem o clima.

Notam-se implícitas três noções fundamentais no estudo da Climatologia Aplicada:

- i) escala espacial (onde);
- ii) escala temporal (quando, durante quanto tempo) e
- iii) a escala locacional (disponibilidade de dados).

É necessária, então, uma hierarquização dos fatos climáticos em termos de dimensão espacial, ocorrência temporal e duração do período de análise, bem como, meios adequados de observação e tratamento de dados, coerentes com a realidade local.

Para tanto, definem-se escalas de atuação: macro-escala, escala regional, meso-escala, escala urbana e micro-escala, analisadas de modo quali-quantitativo, através dos seus âmbitos de interesse e das interferências do ambiente construído pelo homem, nas diversas escalas temporais e espaciais.

Grogger, apud Pietrobon (1999), analisa através de uma sinopse qualitativa sobre a interação de elementos micro-climáticos com fatores climáticos e elementos não climáticos. Quantificando esta interação através do seu resumo os elementos climáticos que mais sofrem influência dos fatores climáticos são: a temperatura, a radiação solar, a umidade relativa do ar e a insolação.

Por outro lado os fatores climáticos que mais condicionam a variação dos elementos meteorológicos são: as estruturas humanas (cidade e edificações), a vegetação, a topografia e o relevo além da latitude. Relacionados aos fatores climáticos, a energia ambiental representada pelos condicionantes de luz, de som e de calor pode-se ter em relação ao edifício três tipos de ação, a saber. Ação positiva, Ação negativa e Ação conservativa. Uma síntese dessas ações pode ser visualizada no quadro 1, que se limitam às estratégias passivas, de uso com elementos

arquitetônicos e paisagísticos, no intuito de obter condições aceitáveis de conforto térmico e, de maneira menos direta, alcançar os limites de iluminância adequados a cada caso de referência

Sob o aspecto lumínico, a distribuição luminosa da abóbada celeste varia de acordo com as condições atmosféricas (tipos de nuvens, nebulosidade, turvamento, poluição atmosférica, dentre outros fatores). As condições do céu mais utilizadas são: Céu Uniforme, Céu Encoberto e Céu Claro. A primeira condição caracteriza-se por apresentar luminâncias iguais em todas as direções, mas é dificilmente encontrada em condições naturais.

A segunda condição (alta nebulosidade, acima de nove décimos de céu) apresenta uma abóbada cinza-claro, com a porção zenital caracterizada por uma luminância três vezes maior que a porção próxima à linha do horizonte e sofre influência da altura solar. A terceira condição de céu claro (nebulosidade abaixo de 3 décimos de céu) apresenta no céu uma porção mais escura a 90° do sol, e a parte mais brilhante ao redor do sol, variando em azimute e altura solares.

2.9 O SISTEMA DA ENERGIA

Ao se considerar o ciclo de vida útil do edifício como um empreendimento que, resumidamente, engloba as fases de planejamento, projeto, construção, uso/operação/manutenção e, finalmente, demolição; o consumo de energia pode, segundo Pietrobon et al. (1994), ser desmembrado em fatores intrínsecos que referem-se à fase de uso, operação/manutenção e ao consumo final de energia. Os fatores extrínsecos são representados pelo contexto da produção de insumos, da execução da construção e da sua própria eliminação. Considerando-se apenas os fatores intrínsecos, incluem-se os seguintes sistemas condicionantes: os climáticos, os do entorno, os da própria edificação, os da ocupação do edifício e os fatores ativos (consumo final).

Relacionados aos fatores climáticos, a energia ambiental representada pelos condicionantes de luz e calor pode-se ter em relação ao edifício três tipos de ação, a saber: Ação Positiva, Ação Negativa e Ação Conservativa. Uma síntese dessas ações pode ser visualizada no quadro 1, a seguir.

Quadro 1 – Energia Ambiental

Ação Positiva: Captar e utilizar a energia externa	
Energia Solar	Energia eólica
Ação Negativa: Proteger os usuários e controlar os níveis excessivos de energia externa	
Caráter Conservativo	Caráter Seletivo
Externa ou Internamente:	Envelope:
Planejamento Espacial	
Evaporação	Reflexão
Sombreamento	Inércia Térmica
Ventilação	Resistência Térmica
Ação Conservativa: Minimizar o consumo de energia e controlar as trocas com o exterior (ganhos ou perdas)	
Inverno:	Verão:
Promover Ganhos	Evitar Ganhos
Evitar Perdas	Promover Perdas
Quebra-ventos	Vegetação e água
Proteção pela terra	Proteção pela terra
	Sombreamento
	Ventilação Natural

FONTE: Pietrobon (1999)

No século XX, marcado pela intensificação da produção e uso de energia, alguns pontos podem ser considerados significativos. Na primeira metade do século, o movimento modernista na arquitetura enfatiza os aspectos formais em detrimento dos funcionais que com o barateamento do custo de produção do vidro plano, aliado à disseminação dos sistemas estruturais de aço e concreto armado liberam os paramentos verticais da função estrutural, tornando os edifícios mais leves e transparentes. Desta forma, utiliza-se em massa e climatização artificial. A utilização do condicionamento artificial de ar, embora com limitadas aplicações industriais, iniciou-se antes da primeira guerra mundial. Mas, a significativa penetração desta tecnologia inicialmente, no mercado residencial ocorreu na década de 50, nos Estados Unidos.

Continua Pietrobon (1999) dizendo que de acordo com as estimativas publicada no STATISTICAL ABSTRACTS OF THE UNITED STATES apud FEUSTEL et al. (1992), foram manufaturados cerca de 11 mil aparelhos de ar condicionado em 1940, 201 mil em 1950 e mais 1 milhão nos anos seguintes.

Em 1954, cerca de 2 milhões de residências (5% dos Estados Unidos) possuíam aparelhos de ar condicionado. Porém, este sucesso comercial e tecnológico não aconteceu sem ônus. Ele aumentou o consumo energético do estilo de vida

americano e tornou-se o fator chave no direcionamento dos processos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Na mesma década de 50, houve o surgimento da Bioclimatologia aplicada à Arquitetura e os conflitos conceituais com o modernismo só surgiram com os choques do petróleo, na década de 70. Após este período, retoma-se a preocupação com a ênfase conservacionista de energia, em todos os setores da produção, aliando-se tecnologias energéticas alternativas com tecnologias de ponta: energia eólica, da biomassa, das ondas, das marés, geotérmica, solar, nuclear e fotovoltaica, dentre outras.

No entanto, para o Brasil o problema se configura de forma diferente, devido à baixa saturação do mercado para sistemas de ar condicionado. Assim, o problema é mais flexível, em termos conservacionistas, que a situação norte-americana, em parte devido às condicionantes climáticas que se transformam em uma grande vantagem, se adotadas medidas legais e normativas para controle e racionalização do consumo energético.

2.10 QUINTAL ECOLÓGICO

Há necessidade de integração entre o Paisagismo e a Arquitetura, na etapa de concepção dos edifícios, para a obtenção da qualidade adequada do produto final : o edifício e seu entorno imediato.

Meier (1991) apud Pietrobon (1999), apresenta os padrões de ganho de calor nos edifícios que podem ser afetados por vegetação:

- i)** ganho direto através de janelas;
- ii)** ganho por condução através de superfícies opacas;
- iii)** trocas térmicas por calor latente através de infiltração de ar;
- iv)** trocas térmicas por calor sensível pela infiltração de ar e
- v)** influência no desempenho de sistema de condicionamento artificial do ar.

Tais trocas têm como fatores condicionantes: a vegetação utilizada, a estrutura e orientação do edifício, o sistema de ar condicionado e o próprio clima.

Givoni (1991) destaca os elementos do projeto paisagístico que podem afetar o desempenho térmico do edifício; a saber:

- i)** a largura da área plantada ao redor do edifício;

- ii) o tipo das plantas, árvores, arbustos, gramado, flores, trepadeiras;
- iii) o tamanho e a forma das árvores e arbustos;
- iv) a orientação das plantas e
- v) as características: tamanho, densidade, espessura e tipo de folhas que variam com o estado fenológico e a sazonalidade.

Destaca ainda as estratégias de paisagismo que podem ser utilizadas em termos de aspectos térmicos:

- i) sombreamento através de árvores e pérgolas vegetadas;
- ii) sombreamento e isolamento térmica: arbustos altos e trepadeiras;
- iii) minimização da condição de infiltração através de vegetação contígua ao envoltório do edifício;
- iv) minimização da reflexão através da cobertura vegetal do solo;
- v) sombreamento ou resfriamento evaporativo do condensador do sistema de ar condicionado e
- vi) isolamento térmica devido à redução das taxas de infiltração e da carga térmica de aquecimento no período de inverno, utilizando a vegetação como quebra-vento.

As observações de Meier e Givone podem possibilitar relações de uma presença de vegetação interna e externa à edificação com possíveis sensações de conforto que os seus usuários desfrutar.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 CUIABÁ - CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E LOCALIZAÇÃO

O clima é um conjunto de fenômenos meteorológicos que definem a atmosfera de um determinado lugar. Cada espaço arquitetônico imprime um caráter diferente e próprio desse lugar, devido a grande diversidade climática que pode-se observar entre lugares muito próximos entre si, aos diversos materiais de construção regionais, ao desenvolvimento tecnológico e as condições sócio-econômicas.

O território brasileiro apresenta uma grande variedade climática em consequência de fatores como sua configuração geográfica, a extensão territorial, o relevo e a dinâmica das massas de ar. Esse último fator é de grande importância, pois, atua diretamente sobre as temperaturas e sobre os índices pluviométricos das regiões do país.

De acordo com Nimer (1979) apud Sampaio (2006),

as características regionais das chuvas são tipicamente tropicais, ou seja, máximas no verão e mínimas no inverno e se devem, quase que exclusivamente, aos sistemas de circulação atmosférica, que ocorrem, principalmente, em número de três: sistemas de correntes perturbadas de Oeste, de Norte e de Sul. Segundo este autor os sistemas de correntes perturbadas de Oeste se caracterizam pela invasão de ventos de Oeste e Noroeste, no final da primavera e verão. Os sistemas de correntes perturbadas de Norte acarretam chuvas no verão e os sistemas de correntes perturbadas de Sul são representados pela invasão do Anticiclone Polar.

Quanto aos aspectos térmicos também ocorrem grandes variações. Como pode ser observada no mapa das médias anuais de temperatura (Figura 5), a Região Norte e parte do interior da Região Nordeste apresentam temperaturas médias anuais

superiores a 25°C, enquanto na Região Sul do País e parte da Sudeste as temperaturas médias anuais ficam abaixo de 20°C.

De acordo com dados da FIBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), temperaturas máximas absolutas, acima de 40°C, são observadas em terras baixas interioranas da Região Nordeste; nas depressões, vales e baixadas do Sudeste; no Pantanal e áreas rebaixadas do Centro-Oeste; e nas depressões centrais e no vale do rio Uruguai, na Região Sul.

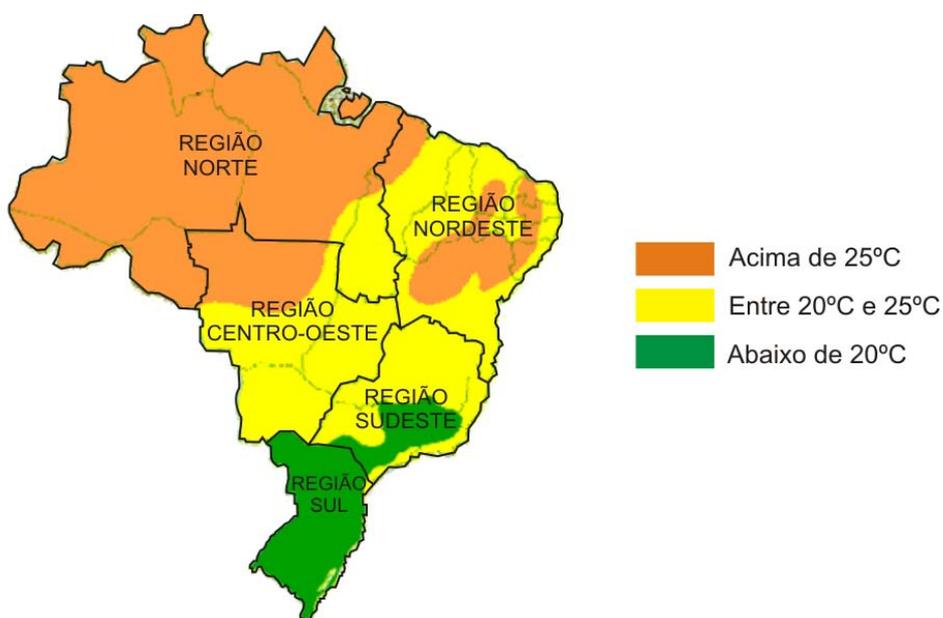


Figura 5 - Mapa do Brasil - Médias Anuais de Temperatura
Fonte: Atlas Escolar Melhoramentos(adaptado) apud Oliveira(2007)

Segundo Duarte (1995), nos extremos norte e sul da região Centro-Oeste, a temperatura média anual é de 22°C e nas chapadas varia de 20° a 22°C. Na primavera-verão, são comuns temperaturas elevadas, quando a média do mês mais quente varia de 24° a 26°C. A média das máximas de setembro (mês com temperatura do ar mais elevada) oscila entre 30° e 36°C.

O inverno é uma estação amena, embora ocorram com frequência temperaturas baixas, em razão da invasão polar, que provoca as friagens, muito comuns nesta época do ano. A temperatura média do mês mais frio oscila entre 15° e 24°C, e a média das mínimas, de 8° a 18°C, não sendo rara a ocorrência de mínimas absolutas negativas.

De maneira geral, a região Centro-Oeste caracteriza-se predominantemente pelo clima quente, sendo sua característica mais marcante a frequência quase que diária de temperaturas altas, sobretudo em Mato Grosso e Goiás, quando nos meses mais quentes, setembro e outubro, podem ocorrer máximas superiores a 40°C.

O município de Cuiabá possui uma área de 3.224,68 km², sendo que a área urbana ocupa 251,94 km² e a área rural ocupa 2.972,74 km², limita-se ao norte, com os municípios de Acorizal, Rosário Oeste e Chapada dos Guimarães, ao leste com Chapada dos Guimarães, ao sul com Santo Antônio de Leverger e a oeste com Várzea Grande e Acorizal (MAITELLI, 1994). Está situado entre as coordenadas geográficas de 15°10', 15°50' de latitude sul e 50°50', 50°10' de longitude oeste, na região central do Brasil, na região denominada depressão cuiabana (Figura 6).

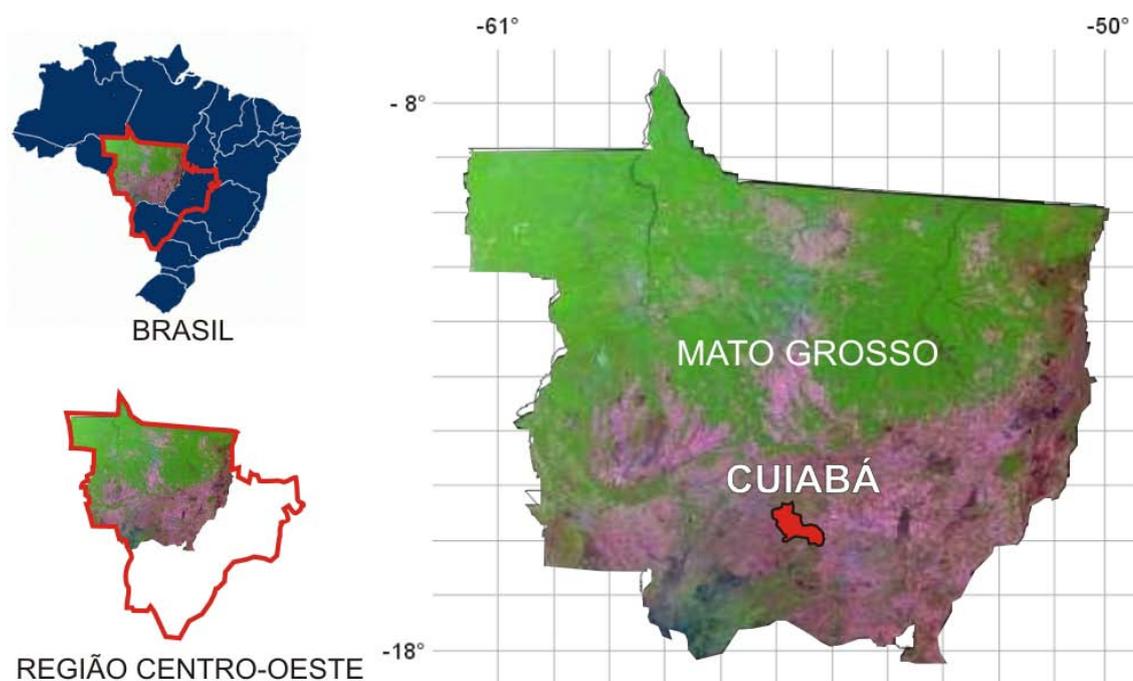


Figura 6 - Localização da cidade de Cuiabá no estado de Mato-Grosso e no Brasil
Fonte: OLIVEIRA (2007)

Segundo Maitelli (1994), a depressão cuiabana, parte integrante da depressão do Rio Paraguai, compreende uma área rebaixada, localizada à margem esquerda do Rio Cuiabá, limitando-se ao sul com Pantanal Mato-grossense. A oeste, noroeste e norte com a Província Serrana e a leste com a Chapada dos Guimarães. Localiza-se na confluência de três importantes biomas brasileiros: o Pantanal, o Cerrado e a Floresta Amazônica (Figura 7).



Figura 7 - Mapa de Limite do Município de Cuiabá
Fonte: IPDU/CUIABA/MT.

De acordo com a mesma autora, Cuiabá é conhecida como uma das capitais com temperaturas mais elevadas do Brasil. Seu clima é do tipo Aw de Koppen de acordo com a Figura 8, isto é, Tropical semi-úmido, com quatro a cinco meses secos, com temperaturas que oscilam entre 30°C e 36°C, e duas estações bem definidas, uma seca (outono-inverno) e uma chuvosa (primavera-verão).

De acordo Leão (2007) a classificação de Arthur Strahler, dada pela posição latitudinal e extensão territorial, Mato Grosso apresenta os climas Equatorial e Tropical apresentado na Figura 9.

Podem ser identificados três períodos distintos em função da temperatura: estação seca e mais fresca (no inverno), estação seca e mais quente (um pouco antes das chuvas) e estação úmida e quente (durante as chuvas de verão).

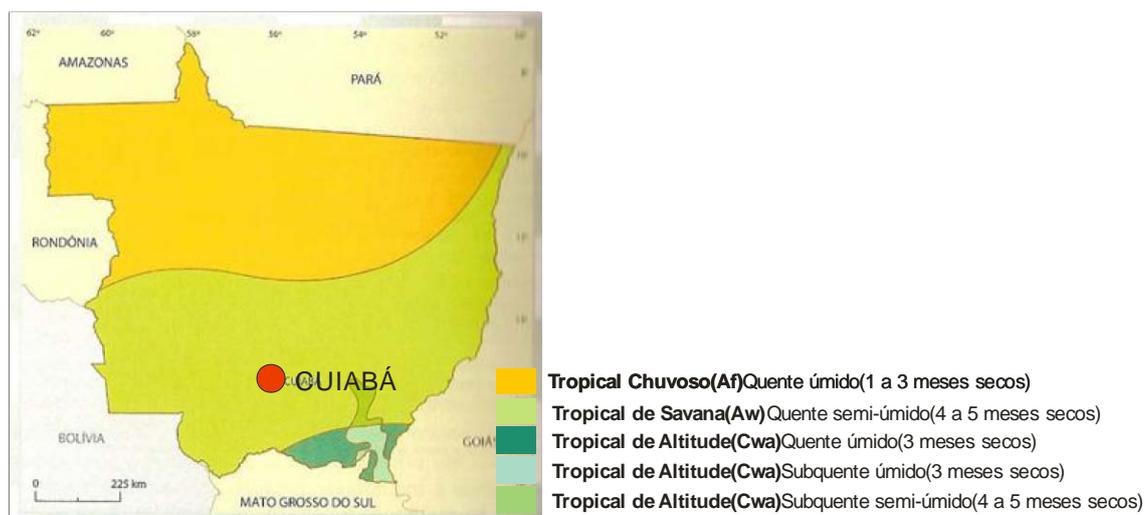


Figura 8 - Classificação climática de Mato Grosso segundo Köppen

Fonte: MORENO et al., (2005) apud OLIVEIRA(2007).

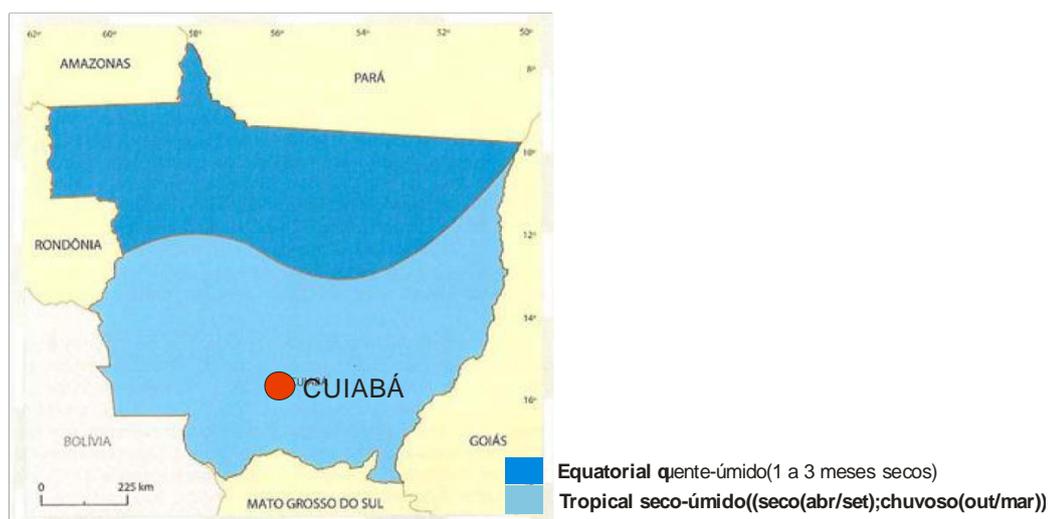


Figura 9 - Classificação climática de Mato Grosso segundo adaptação da proposta de Strahler.

Fonte: MORENO et al., (2005) apud OLIVEIRA (2007)

Segundo o IBGE (1994), Cuiabá localiza-se numa região de clima quente semi-úmido, na faixa Tropical Brasil Central, com 4 a 5 meses secos. Na primavera-verão são comuns as temperaturas elevadas. As máximas de setembro e outubro (meses mais quentes) oscilam entre 30°C e 36°C. O inverno é uma estação amena, embora ocorram com frequência temperaturas baixas em razão da invasão do ar polar, chamadas friagens muito comuns nessa época do ano, e que geralmente não se mantém por mais de dois dias.

Pode-se observar no inverno o fenômeno da friagem, que é caracterizado por quedas bruscas e rápidas de temperatura. Essa queda é provocada pela penetração dos ventos frios da massa polar atlântica, que avança pela vertente leste dos Andes argentinos e bolivianos e atinge o Centro-Oeste. Segundo o IBGE (1988), a frequência média das friagens é de apenas três por ano, mas em muitos anos não se dá nenhuma, enquanto em outros são sentidas cinco ou mais invasões.

Maitelli (1994) coloca que, durante a primavera-verão, as temperaturas se mantêm constantemente elevadas, principalmente, na primavera, estação na qual o sol passa pelos paralelos da região, dirigindo-se para o Trópico de Capricórnio e a estação chuvosa ainda não teve início. No inverno, são registradas temperaturas estáveis, baixa umidade do ar, altas amplitudes térmicas diárias e elevadas temperaturas. Entretanto, ocorrem baixas de temperatura, resultantes da invasão do Anticiclone Polar, que transpõe a Cordilheira dos Andes após caminhar sobre o Oceano Pacífico, provocando um forte declínio na temperatura do ar com céu limpo e pouca umidade específica. A essa ação direta do Anticiclone Polar dá-se o nome de “friagem” e sua duração é, em média, de três a quatro dias.

As altas temperaturas da primavera-verão podem ser atribuídas à ação da Massa Tropical Continental (CAMPELO Jr. et al., 1991, apud DUARTE, 1995).

Segundo Duarte (1995), em Cuiabá a direção do vento predominante é N (norte) e NO (noroeste) durante boa parte do ano, e S (sul) no período de inverno. Campelo Jr. et al.(1991), ressalta que apesar da relativamente baixa velocidade do vento predominante, ocorrem rajadas (picos de velocidade de curta duração).

As chuvas são distribuídas e tipicamente tropicais, com máximas no verão e mínimas no inverno. Mais de 70% do total de chuvas acumuladas durante o ano se precipitam de novembro a março. O inverno é excessivamente seco, principalmente o mês de julho.

Nas primeiras chuvas, as temperaturas assemelham-se às do tipo de clima tropical chuvoso, sem estação seca e clima tropical chuvoso, com pequena estação seca, predominante no norte do Mato Grosso e na região amazônica. A amplitude térmica diária diminui e, apesar do calor não ser tão intenso como na estação quente e seca, as altas taxas de umidade do ar fazem com que o ambiente pareça mais abafado, aumentando a sensação de desconforto.

Após o período chuvoso, a temperatura também tende a subir devido à atmosfera estar mais seca. No período noturno a perda de calor é maior tornando nesse período o clima mais agradável. Devido à baixa umidade do ar, no inverno, o calor não é opressivo, tornando-se as noites mais amenas.

Com pouca variação na temperatura, a precipitação torna-se o diferenciador do tipo climático. O regime de chuvas em toda a região Centro-Oeste deve-se ao sistema de circulação atmosférica regional. O relevo é de pouca importância, não interferindo nas tendências gerais determinadas pelos fatores dinâmicos.

O trimestre mais seco é junho-julho-agosto, e o mês que o antecede, maio, e o que o sucede, agosto, são muito pouco chuvosos.

Na estação seca, o inverno, apesar dos baixos índices de umidade do ar, torna-se bem-vindo depois do calor úmido e abafado do período chuvoso. O ar ressecado recebe a poeira e a fumaça das queimadas.

“Costumava-se dizer, outrora, em Cuiabá, que a noite de São João era a mais fria do ano. E geralmente era. Naquela época o frio vinha com um pouco de garoa, no estilo do inverno paulistano, e muita cerração. Todavia a expansão da área construída da cidade contribuiu para modificar isso. Isso e muita coisa mais” (PÓVOAS, 1983, apud DUARTE, 1995).

3.2 LOCALIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

O município de Cuiabá está dividido em regiões: norte, sul, leste, oeste. A escola estudada é denominada Escola Carmelita Couto (ECC) e está localizada na região oeste da capital mato-grossense, no bairro centro norte, na Avenida Marechal Deodoro (Figuras 10 e 11).

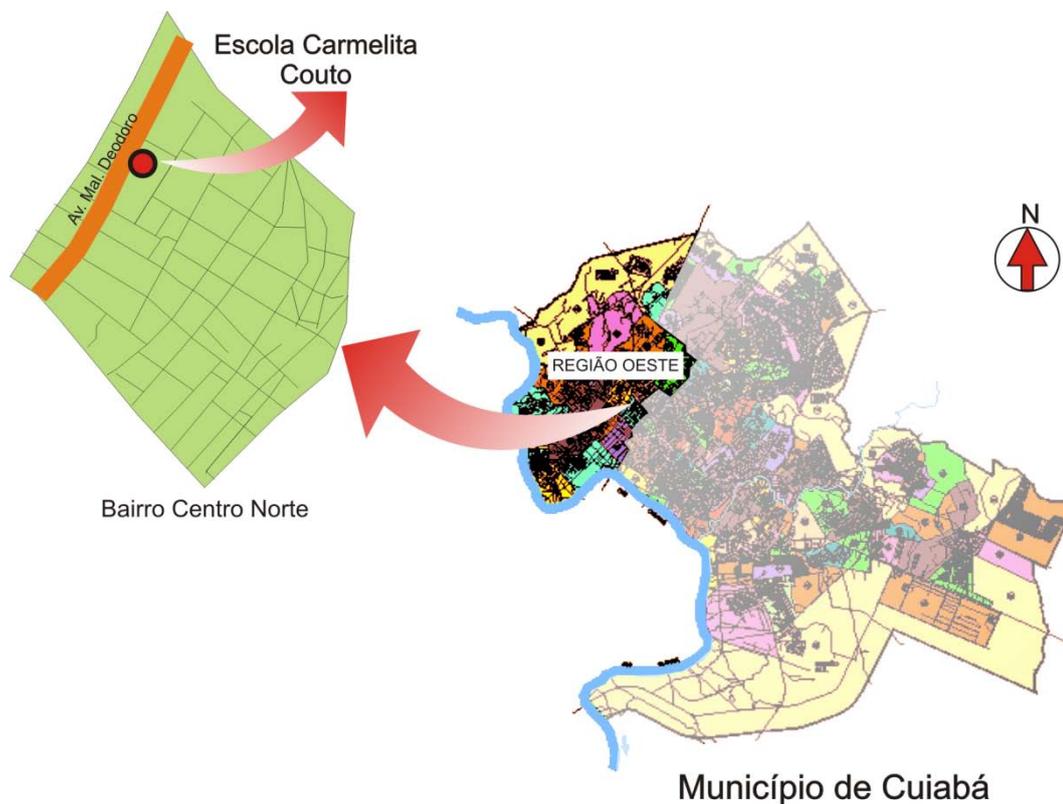


Figura 10 - Localização da Escola Carmelita Couto



Figura 11 - Avenida Marechal Deodoro com a arborização externa à escola

Foi escolhida uma edificação da rede particular de ensino, que integra regularmente o Sistema Estadual de Ensino de Mato Grosso. A escolha do local se deu principalmente por se tratar de um estabelecimento de ensino com arborização abundante externa, (Figura 11) e internamente, (Figura 12). Outros fatores foram:

sistemas construtivos e concepção arquitetônica diferenciados entre os ambientes; alternativas construtivas de baixo custo e finalmente, facilidade de acesso ao local para obtenção dos dados.



Figura 12 - Arborização interna da escola, as inferiores esquerda do quintal ecológico

A escola desenvolve atividades de ensino, atendendo uma clientela de alunos do pré-escolar ao 9.º ano do ensino fundamental. No período matutino das 7h15 às 11h40, são ministradas aulas em sala específicas e aulas de educação física em quadras. No período vespertino, são desenvolvidas atividades administrativas. As instalações constam de: auditório para 150 pessoas sentadas, 10 salas de aulas, uma cozinha para abastecer alimentos a cantinas, diversos sanitários, duas quadras de esporte, um parque aquático com uma piscina infantil e outra de adultos e área não edificada e arborizada para desenvolvimento de aulas, denominado “quintal ecológico”.

Dentre os diversos ambientes citados anteriormente, foram escolhidos, internamente, duas salas de aula e uma sala administrativa e, externamente, um ponto referencial para caracterização microclimática. Os ambientes foram denominados respectivamente, ponto externo - abrigo termométrico (PE); sala 01,(S1); sala 02,(S2); e recepção,(R) (Figura 13).



Figura 13 - Planta baixa esquemática da Escola Carmelita Couto

Pode-se observar o quintal ecológico como parte do entorno da sala 01, na Escola Carmelita Couto (Figura 14).



Figura 14 - Entorno da sala 01 na Escola Carmelita Couto, quintal ecológico, localização do ponto externo (PE)

3.2.1 Caracterização da sala 01

A sala 01 tem uma área de aproximadamente 50 m², piso revestido de cerâmica esmaltada na cor gelo. O teto é o próprio telhado de telhas de fibrocimento com 6mm de espessura, sem forro. O ponto de medição 1 (P1) está numa parede interna executada de bloco de concreto de 9 cm de espessura sem reboco. O ponto de medição 2 (P2) está na parede externa que limita com o quintal ecológico e é executada em tijolos cerâmicos 8 furos de uma vez rebocada de 25 cm de espessura. O ponto de medição 3 está localizado numa parede interna executada em lambril de madeira de 1 cm de espessura. O ponto de medição 4 está localizado na parede interna executada em lambril de madeira de 1 cm de espessura onde está fixado a lousa da sala de aula paralela à direção da abertura do telhado chamada shed (Figuras 15 e 16).

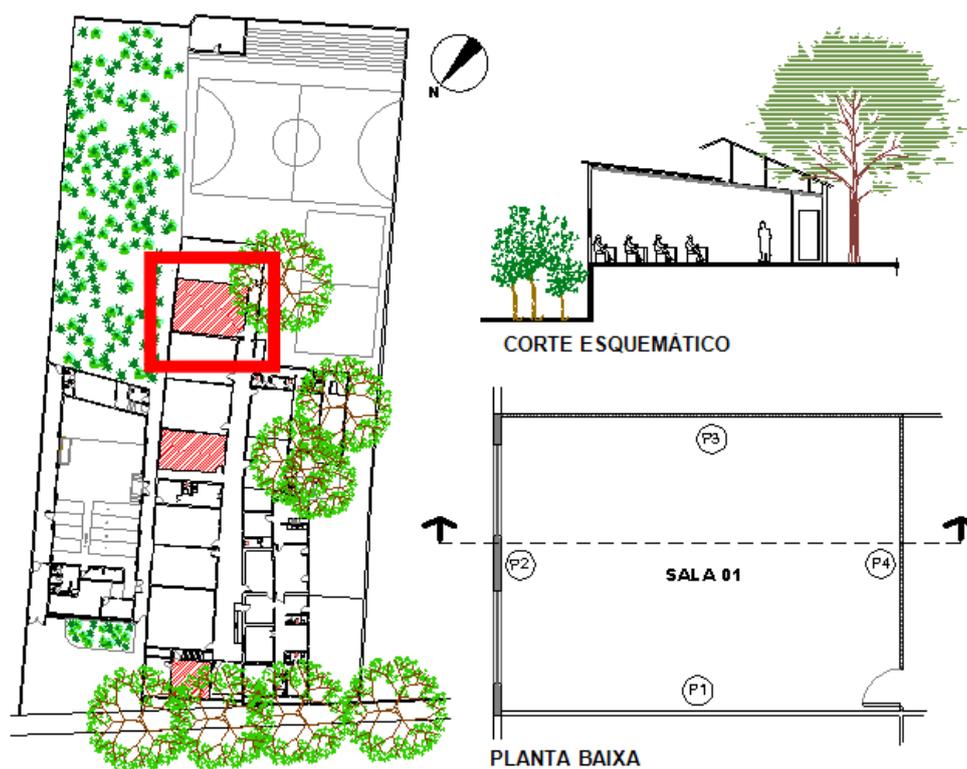


Figura 15 - Planta baixa da ECC com detalhe da sala 01



Figura 16 - Sala 01 iluminada naturalmente com shed e duas janelas

3.2.2 Caracterização da sala 02

A sala 02 tem uma área de aproximadamente 41 m², piso revestido de cerâmica esmaltada na cor gelo. O teto é o próprio telhado em telhas de fibrocimento de 6mm de espessura, sem forro. O ponto de medição 1 (P1) está numa parede interna executada em gesso acartonado de 8 cm de espessura. O ponto de medição 2 (P2) está na parede externa que limita com o corredor do auditório e é executada em bloco de concreto de 9cm de espessura. O ponto de medição 3 está localizado numa parede interna executada em bloco de concreto de 9cm de espessura, onde está fixado a lousa da sala de aula perpendicular à direção da abertura do telhado chamada shed. O ponto de medição 4 está localizado na parede interna executada em bloco de concreto de 9cm de espessura (Figuras 17 e 18).

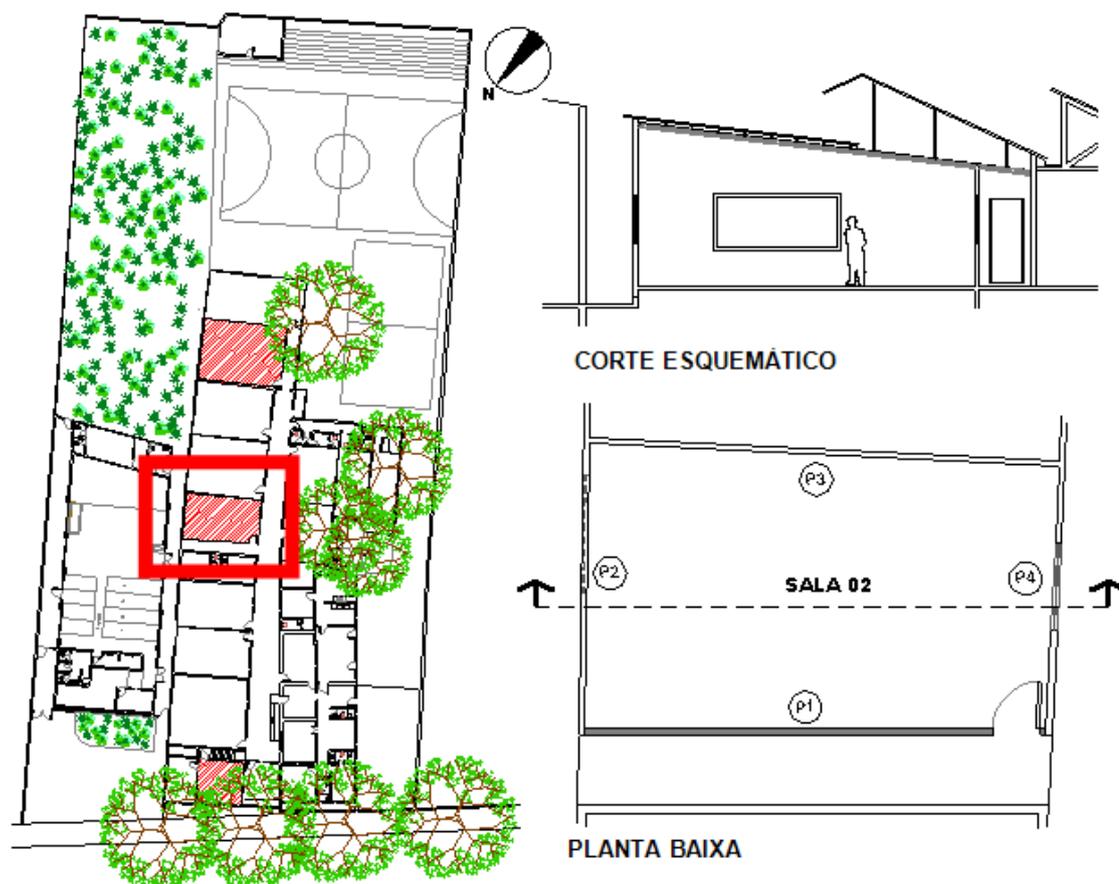


Figura 17 - Planta baixa da ECC com detalhe da sala 02



Figura 18 - Sala 02 iluminada naturalmente com shed e uma janela.

3.2.3 Caracterização da sala de recepção

A sala de recepção tem uma área de aproximadamente 22 m², piso revestido de cerâmica na cor gelo. O ponto de medição 1 (P1) está numa parede interna executada em tijolos cerâmicos de 8 furos rebocada dos dois lados com 25 cm de

espessura. O ponto de medição 2 (P2) está na parede interna executada em tijolos maciços rebocada em ambas as faces de 15cm de espessura. O ponto de medição 3 está localizado numa parede externa executada em tijolos maciços rebocada em ambas as faces de 15cm de espessura limita com a Av. Mal. Deodoro. O ponto de medição 4 está localizado na parede interna executada em madeira laminada de 5mm com estrutura de metalão. A recepção tem como forro e cobertura uma laje inclinada pré-moldada com blocos cerâmicos (Figura 19).

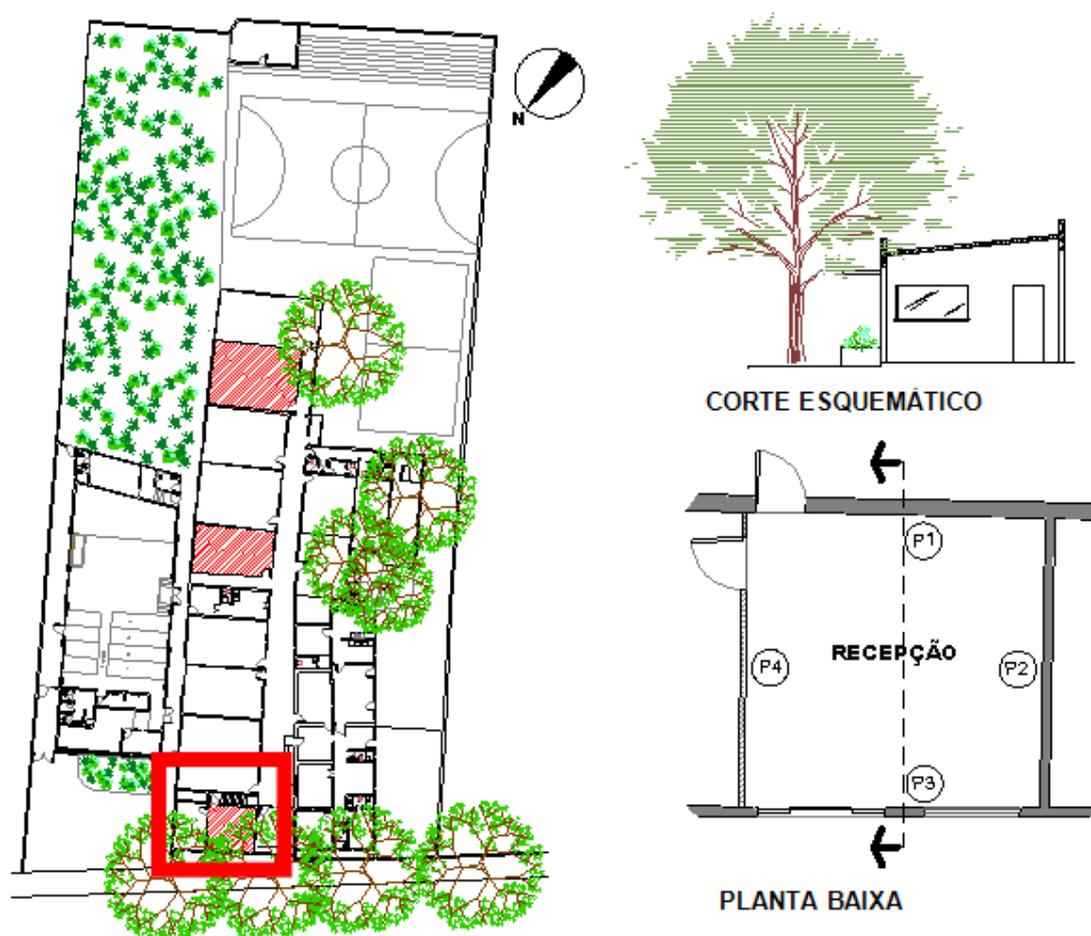


Figura 19 - Planta baixa da ECC com detalhe da recepção

O prédio não foi construído inicialmente para o funcionamento de um estabelecimento escolar e sim para fins industriais, mercenaria. Somente no ano de 1980, ele foi reformado para abrigar as atividades de ensino da recém fundada Escola de 1.º Grau Carmelita da Silva Couto, que teve seu primeiro ano letivo em 1981. Após alguns anos de funcionamento, seu telhado que era apenas de uma água,

recebeu no seu sentido longitudinal uma abertura tipo shed e foi também construída a secretaria sob à sombra de árvores da espécie *Licania tomentosa*, (oiti) (Figura 20).



Figura 20 - Fachada frontal da Escola Carmelita Couto

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo apresenta o material e métodos utilizados para análise do conforto ambiental de três ambientes na escola Carmelita Couto. Onde foram investigados o desempenho, sensações térmicas e iluminância dos ambientes que serão apresentados nos itens a seguir.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MICRO-CLIMAS EXTERNO E INTERNO E ANÁLISE DO DESEMPENHO TERMO-LUMINOSO

Primeiramente descrever-se-á os equipamentos empregados na coleta de dados em seguida será descrito os pontos utilizados para essas coletas de dados e posteriormente a apresentação da metodologia empregada nas medições.

4.1.1 Equipamentos utilizados na coleta de dados

4.1.1.1 Termômetro de globo digital

Para medir as temperaturas internas foram utilizados termômetros digitais de globo modelo TGD-100, COD. 02043, da marca INSTRUTHERM (Figura 21). Por meio deste equipamento foram obtidos dados de temperatura de bulbo seco (TBS), temperatura de bulbo úmido (TBU) e temperatura radiante (TR). O globo é constituído de uma esfera de cobre com diâmetro de 6" (152,4mm), com haste central, o bulbo úmido é composto de uma haste com copo de 100ml e cordão de algodão embebido em água destilada. O bulbo seco possui uma haste para temperatura ambiente. As hastes têm diâmetro de 4mm x 150mm de comprimento, onde se localiza um termistor, operando entre 0 a 100 °C.

Tendo em vista as especificações da norma ISO-7726 (1998), foi utilizada a altura para coleta de dados pelo termômetro de globo digital à 1,10m do piso, fixado em uma banquetta (Figura 21).



Figura 21 - Termômetro de Globo Digital da marca Instrutherm e seu suporte

4.1.1.2 Anemômetro

Aparelho que possibilita a medida da velocidade do vento. Possui display de cristal líquido (LCD) de 3 1/2 dígitos, escala de velocidade de 0.4 a 25.0 m/s; precisão de $\pm 2\% + 1$ dígito, resolução de 0.1 m/s; modelo THAR 185, marca INSTRUTHERM® (Figura 21). Com este equipamento, foram medidas as velocidades do vento interna, no quintal ecológico, e externamente nas duas salas e na recepção (Figura 22).



Figura 22 - Anemômetro
Fonte: OLIVEIRA (2007)

4.1.1.3 Psicrômetro abrigo meteriológico

Para caracterização do micro-clima na área externa próximo ao prédio, utilizou-se um psicrômetro sob um abrigo meteriológico (Figura 23). Foram determinadas as temperaturas de bulbo seco (TBS) e bulbo úmido (TBU), a cada hora, das 8h às 17h, durante os dois períodos estudados.



Figura 23 - Psicrômetro instalado no abrigo meteorológico localizado externamente (PE) no quintal ecológico

4.1.1.4. *Luxímetro Digital*

Para a realização das medições tanto externas quanto internas de iluminação utilizou-se o Luxímetro Digital Portátil, modelo LD-220, marca INSTRUTHERM (Figura 24), a unidade de medição é em lux (lúmen/m²) e possui display duplo de cristal líquido (LCD) de 4 dígitos, escala automática de 0,01 a 999900 Lux em 5 faixas e 0,001 a 99990 FC em 5 faixas e precisão de $\pm 3\%$ da leitura ± 5 dígitos.



Figura 24 - Luxímetro Digital Portátil
Fonte: OLIVEIRA (2007)

4.1.2 **Pontos de coleta de dados**

A medida das variáveis micro-climáticas dos ambientes externo e internos foi realizada nas posições ilustradas na Figura 25 do ponto externo, Figura 26 da sala 1, Figura 27 da sala 2 e finalmente Figura 28 da recepção.



Figura 25 - Ponto externo (PE) localizado no quintal ecológico da Escola Carmelita

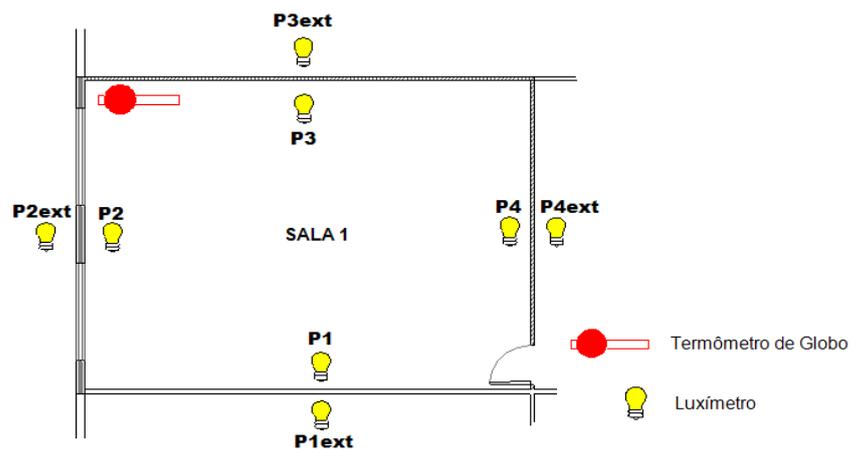


Figura 26 - Pontos de medição no ambiente analisado da sala 01

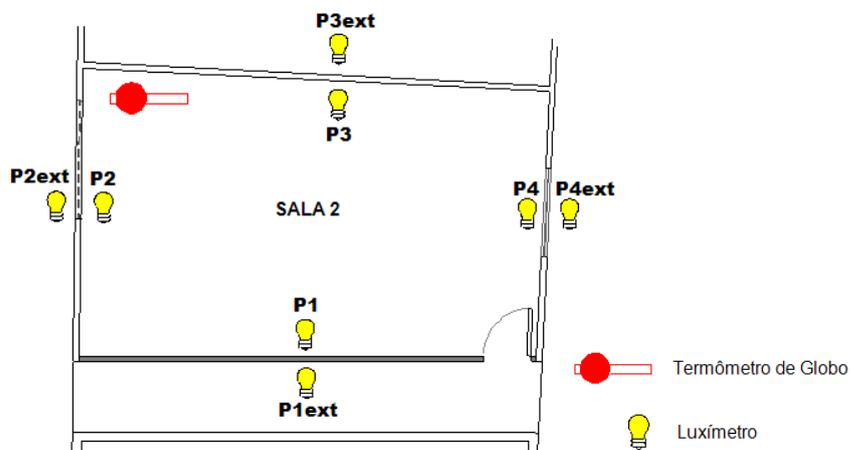


Figura 27 - Pontos de medição no ambiente analisado da sala 02

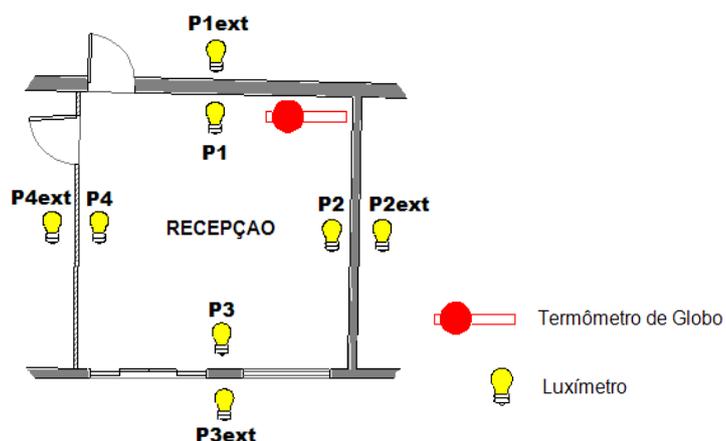


Figura 28 - Pontos de medição no ambiente analisado da recepção

4.1.3 Procedimentos utilizados para coleta de dados

As medidas foram realizadas em dois períodos do ano de 2008, nas partes interna e externa da Escola Carmelita Couto.

Os dados foram coletados de forma direta, medidos e registrados manualmente pelos pesquisadores a cada hora do dia, durante 20 dias. No 1.º período, houve uma interrupção de 3 dias devidos ao primeiro final de semana prolongado pelo feriado de 21 de abril e o 2.º período consecutivo. As medições foram realizadas no período diurno, com início às 8h e término às 17h.

Os aparelhos foram instalados e aclimatados por meia hora antes das medições e desinstalados ao final de cada dia, durante todos os períodos de coleta.

As coletas ocorreram nas estações de outono e inverno (Quadro 2).

Quadro 2 – Períodos de coleta de dados

Ordem	Período de coleta
1.ª medição	16/04/08 à 08/05/08
2.ª medição	20/08/08 à 08/09/08

A análise do desempenho termo-luminoso da edificação dentro do clima da cidade de Cuiabá foi realizada pelos seguintes parâmetros ambientais: temperatura de bulbo seco e úmido, iluminância natural interna nas salas de aula e velocidade relativa do ar .

A umidade relativa do ar calculada foi calculada dividindo valores de pressão de vapor com valores correspondentes a pressão de saturação de vapor numa determinada temperatura sendo representada pela equação (1) da seguinte maneira:

$$UR\% = \frac{ear}{es(Ts)} 100 \quad \text{Equação 1.}$$

Onde:

UR% = umidade relativa do ar em porcentagem (%);

ear = pressão de vapor no ar, em (milibares - mbar);

es = pressão de saturação de vapor d'água no ar, em (mbar) e

Ts = temperatura do ar - bulbo seco, em (°C).

A pressão de vapor no ar, ear, (mbar), determinada a partir de leituras psicrométricas, é obtida através da equação (2):

$$ear = es(Tu) - \gamma(Ts - Tu) \quad \text{Equação 2.}$$

Onde:

ear = pressão de vapor na ar, em (mbar);

es = pressão de saturação de vapor d'água no ar, em (mbar);

γ = constante psicrométrica (0,66);

Ts = temperatura do ar - bulbo seco, em (°C) e

Tu = temperatura do bulbo úmido.

Foram totalizados 30.800 dados, provenientes dos dois períodos de coletas, os quais ficam disponíveis para a linha de pesquisa do Conforto Ambiental. A cada hora foram medidos 77 dados na escola. Totalizando em um dia 770 registros. Em cada período de medição, durante os 20 dias de medições realizou-se 15.400 leituras. Porém, para esta pesquisa foram utilizados os dados provenientes do termômetro de globo, psicrômetro, anemômetro e luxímetro num total de 6.800 dados, nos 40 dias.

4.1.4 Tratamento dos dados

4.1.4.1 Caracterização do micro-clima externo e interno do período em estudo

Foram calculadas as médias horárias de temperaturas do ar de bulbo seco (TBS) externas e internas e umidades relativas do ar (UR) externas e internas, com os respectivos desvios padrões no ponto externo, nas duas salas e recepção durante o outono e inverno. Posteriormente foram apresentados em gráfico as médias horárias das TBS interna e interna à esquerda e UR interna e externa à direita, durante os mesmos períodos. Foram, ainda, analisados os valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão da TBS.

Foi utilizada o teste-t para amostras pareadas com o nível de 95% de probabilidade para testar a igualdade das médias das variáveis medidas. Para tanto, utilizou-se Excel: O TBS externo foi comparado com os TBS das salas 01, 02 e recepção e a UR externa foi comparada com as UR das salas 01 e 02.

4.1.4.2 Avaliação do conforto térmico

O conforto térmico das edificações foi realizado pela análise da Carta Bioclimática de Givoni (1992), bem como, dados de TBS e TBU levantados internamente em cada período de coleta de dados para cada 01 das salas. Os dados foram plotados na Carta, sendo gerado um relatório para conhecimento da porcentagem de horas em conforto e desconforto e ainda a porcentagem de cada estratégia bioclimática requerida para alcançar conforto, sendo estes resultados comparados com o mesmo método, apresentado em Santos (2008). Estão apresentados em tabelas e figuras os resultados obtidos da Carta Bioclimática utilizando os softwares Analysis Bio e Analysis 1.5 desenvolvidos pela LABEEE - Laboratório de eficiência Energética em Edificações da UFSC.

O método de avaliação por desempenho foi utilizado para quantificar as horas em conforto e em desconforto, bem como identificar as estratégias bioclimáticas requeridas para alcançar o conforto durante o período de coleta de dados.

A avaliação por desempenho é feita verificando os limites estabelecidos para as características térmicas do ambiente interno, em relação ao externo. Neste trabalho, estas características foram representadas pela quantidade de horas em

conforto e desconforto no ambiente interno, utilizando dados de TBS e TBU levantados no período diurno, em cada período de medição nas salas 01, 02 e a recepção.

Para verificação do cumprimento dos limites dos parâmetros térmicos dos ambientes analisados, utilizou-se a zona de conforto Givoni (1992) para países em desenvolvimento com clima quente. Em sua zona de conforto, Givoni (1992) recomendou para o interior, temperaturas variando de 18°C a 29°C, podendo-se admitir até 32°C para velocidades do ar de 2 m/s, em ambientes onde não haja trabalhos de escritório; com relação à umidade relativa do ar os limites são de 4,0 g/kg a 17g/kg e 80% de umidade relativa.

A carta psicrométrica foi confeccionada utilizando o programa *ANALYSIS 1.5*, desenvolvidos pela LABEEE - Laboratório de eficiência Energética em Edificações da UFSC, sendo possível a verificação dos pontos inseridos dentro da zona de conforto.

Como parâmetro para qualificar os resultados obtidos da simulação das edificações foi utilizado o relatório de saída do programa *Analysis Bio*, para conhecimento da porcentagem de horas em conforto e desconforto e ainda a porcentagem de cada estratégia bioclimática requerida para alcançar conforto.

4.2 SENSações E PREFERÊNCIAS TÉRMICAS

4.2.1 Procedimentos utilizados para coleta de dados

Com o objetivo de coletar informações sobre as sensações térmicas dos usuários das salas da escola, foram utilizados alguns questionários para o registro dos dados de sensações térmicas dos usuários das salas em estudo (Anexo A) elaborado baseando-se na ISO 10551(1995).

Os questionários foram aplicados durante a última medição, a do inverno, às 9 e 11 horas, pois as aulas regulares são matutinas. Continua duas perguntas. A primeira composta por sete alternativas para obtenção de informações a respeito das sensações de calor ou frio em 7 graus, tais como : 3, com muito calor; 2, com calor; 1, com leve sensação de calor; 0, nem calor, nem frio; -1, com leve sensação de frio; -2, com frio; -3, com muito frio. A segunda, relacionada ao clima da sala, com cinco

alternativas, tais como: 2, muito confortável; 1,confortável; 0,pouco confortável; 1, desconfortável; 2, extremamente desconfortável.

Tabulando e quantificando as respostas referentes ao questionário nos três ambientes analisados, apresentou-se os resultados em figuras cujas partes representam os percentuais de preferência e de classificação dos ambientes investigados.

4.3 ANÁLISE DO DESEMPENHO LUMÍNICO NATURAL

4.3.1 Coleta de Dados

Para verificar o desempenho lumínico das salas, foram coletados os dados de iluminância nos quatros pontos internos das salas 01 e 02 nos dois períodos de medição: outono e inverno. Utilizando os dados horários dos quatro pontos foi calculada um dia médio para cada período representativo. Observou-se se a iluminância estava dentro das recomendações normativas que estabelecem 300 Lux para a sala de aula. Para a sala 02, fez-se 2 gráficos um do ponto 03 e o outro do ponto 04 para avaliar a localização melhor para a lousa da sala que a norma estabelece 500 Lux para a parede onde se encontra a lousa.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO MICRO-CLIMA EXTERNO E INTERNOS DURANTE OS PERÍODOS EM ESTUDO

Nesta seção, serão apresentados e analisados os dados dos micro-climas externo e interno das salas 01 e 02 e a recepção para avaliação do comportamento térmico.

Individualmente para cada sala foram apresentados os dados em uma tabela geral com as estações do outono e inverno. Posteriormente os dados de cada período de coleta foram mostrados separadamente por meio de gráficos. Para esta análise utilizou-se primeiramente dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa.

5.1.1 Dados de temperatura e umidade relativa

5.1.1.1 Sala 01

Na Tabela 2 a seguir, pode-se observar que para a coleta de dados dos dois períodos de medições: a) outono, a média de temperatura de bulbo seco (TBS) interna foi de $27,7 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ e a externa de $25,1 \pm 1,8^{\circ}\text{C}$, demonstrando que o ambiente interno da sala 01 apresenta-se em média $2,6^{\circ}\text{C}$ de TBS maior que a externa ($P < 0,05$). A umidade relativa (UR) interna apresentou média de $73,6 \pm 4,6$ contra uma UR externa de $71,8 \pm 6,0$ preservando em média 1,8% a umidade interna ($P < 0,05$); e b) inverno, o ambiente interno, apresenta uma diferença em média de TBS menor de $1,1^{\circ}\text{C}$ ($P < 0,05$) e uma UR 3,5% superior à externa ($P < 0,05$).

Tabela 2 - Média e desvio padrão das Temperaturas e umidade relativa da sala 01

Variável	TBS(interna)($^{\circ}\text{C}$)	TBS(externa)($^{\circ}\text{C}$)	UR(int)(%)	UR(ext)(%)
Outono				
Período de coleta (16/04/08 à 08/05/08)	$27,7 \pm 1,5$	$25,1 \pm 1,8$	$73,6 \pm 4,6$	$71,8 \pm 6,0$
Inverno				
Período de coleta (20/08/08 à 08/09/08)	$32,4 \pm 2,5$	$33,5 \pm 3,5$	$46,8 \pm 4,7$	$43,3 \pm 7,0$

*DP – Desvio Padrão

Podem-se observar, no outono, temperatura externa inferior à interna, no inverno temperatura interna inferior à externa.

As TBS interna e externa foram maiores na coleta do inverno, com médias de $32,4 \pm 2,4^\circ\text{C}$ e $33,5 \pm 3,5^\circ\text{C}$ respectivamente em relação ao outono ($P < 0,05$). O período que apresentou maior UR externa foi o da coleta do outono em média $71,8 \pm 5,9\%$ em relação ao inverno ($P < 0,05$).

a) Outono – período de coleta (16/04/08 à 08/05/08)

Para o período de medições correspondente ao outono, são apresentadas na Figura 29, as médias horárias de temperaturas e umidade relativa na sala 01, do 1.º período de coleta de dados (16/04/08 à 08/05/08), estação do outono.

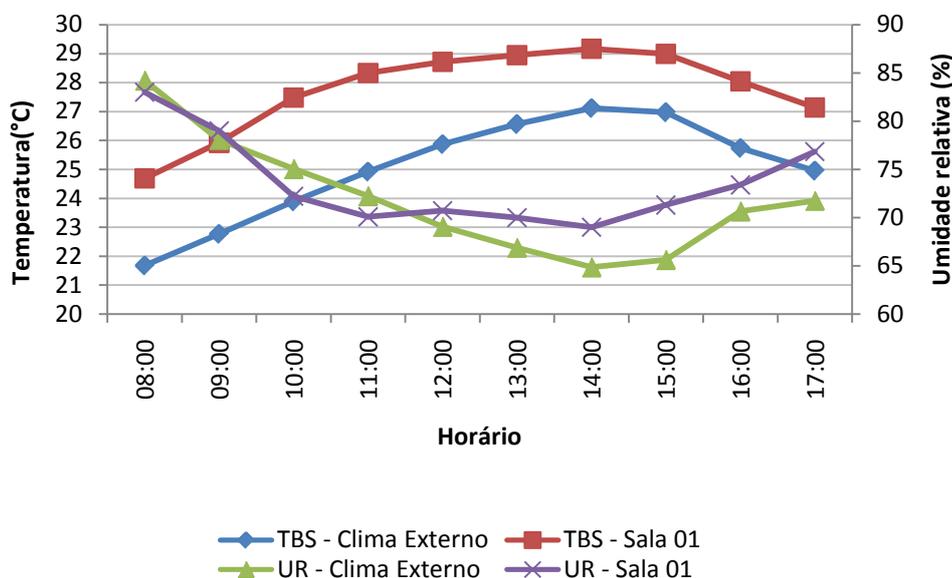


Figura 29 - Média horária das TBS interna e externa (temperatura de bulbo seco dentro e fora da sala 01- à esquerda e UR (umidades relativas interna e externa – à direita) 1.º período.

Os valores de TBS interna e externa apresentaram amplitudes matutinas de aproximadamente 3°C e de 2°C durante a tarde. A média de TBS interna (sala 1) para o período foi de $27,7 \pm 1,5^\circ\text{C}$, com a média máxima registrada de $29,2^\circ\text{C}$ e a média mínima $24,7^\circ\text{C}$. A média desta coleta para TBS externa foi de $25,1 \pm 1,8^\circ\text{C}$, com média máxima de $27,1^\circ\text{C}$ e a média mínima de $21,7^\circ\text{C}$. As médias máximas, TBS, ocorreram às 14h e médias mínimas às 8h.

A UR média da sala 01 foi de $73,6 \pm 4,6\%$, variando entre 83,0% a 69%, respectivamente às 8h e às 14h, enquanto que a externa, a média foi de $71,8 \pm 6\%$, variando entre 84,2% a 64,9%,

As temperaturas externas apresentam-se, em todas as horas do dia, valores inferiores às internas e percebe-se, pela figura 29, que as maiores diferenças se dão entre 12h e 13h.

Mesmo a sala 01 tendo duas janelas que limitam com o quintal ecológico e a cobertura em shed, sem forro, com telhas fibrocimento de 6mm de espessura, vê-se que a radiação direta no telhado produz um ambiente com temperaturas em média mais elevado que as externas, na estação de outono.

b) Inverno - período de coleta (20/08/08 à 08/09/08)

A seguir estão apresentadas graficamente, (Figura 30), as médias horárias de TBS interna e externa (temperatura de bulbo seco dentro e fora da sala), e UR (umidade relativa interna e externa), para o período de medições correspondente ao inverno.

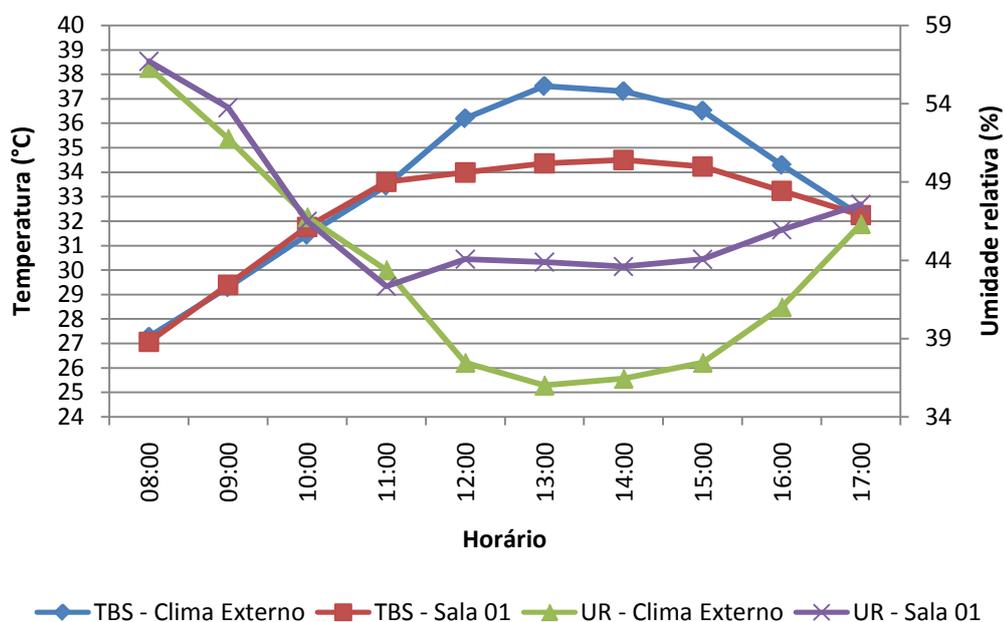


Figura 30 - Média horária das TBS interna e externa (temperatura de bulbo seco dentro e fora da sala 01- à esquerda e UR (umidades relativas interna e externa – à direita) 2.º período.

A média de TBS interna para o período foi de $32,4 \pm 2,4^\circ\text{C}$, com a média máxima registrada de $34,5^\circ\text{C}$, às 14h, e a média mínima $27,1^\circ\text{C}$, às 8h. A média desta coleta para TBS externa foi de $33,5 \pm 3,5^\circ\text{C}$, com média máxima de $37,5^\circ\text{C}$, às 13h e média mínima de $27,3^\circ\text{C}$, às 8h. Observa-se que a TBS máxima ocorre às 13h e a interna as 14h.

A UR média da sala 01 foi de $46,8 \pm 4,7\%$, com a máxima de $56,7\%$, às 8h, e a mínima de $43,6\%$, às 11h, enquanto que a externa, a média foi de $43,3 \pm 6,9\%$, variando entre $56,3\%$, às 8h a $36,0\%$, às 13h. A partir das 11h até 16h há uma mudança significativa da direção da queda da umidade relativa da sala 01 por causa da mudança da direção do aumento da TBS da sala 01 o que proporciona um microclima vespertino com queda da TBS e aumento da umidade.

Pela Figura 30, observa-se que as TBS e as UR internas e externas são praticamente iguais das 8h às 11h e das 11 às 16h, há diferenças significativas, que se pode inferir a eficiência da sala mais no período vespertino que matutino.

5.1.1.2 Sala 02

A sala 02 está localizada no mesmo corredor da sala 01 e possui o mesmo shed de cobertura, porém a sua janela externa é alta e limita-se com um corredor do auditório. As suas temperaturas e umidades internas foram comparadas com as mesmas externas da sala 01.

Tabela 3 - Média e desvio padrão das temperaturas e umidade relativa da sala 02

Variável	TBS(interna)($^\circ\text{C}$)	TBS(externa)($^\circ\text{C}$)	UR(int)(%)	UR(ext)($^\circ\text{C}$)
Outono				
Período de coleta (16/04/08 à 08/05/08)	$27,7 \pm 1,3$	$25,1 \pm 1,8$	$74,8 \pm 3,6$	$71,8 \pm 6,0$
Inverno				
Período de coleta (20/08/08 à 08/09/08)	$32,2 \pm 1,3$	$33,5 \pm 3,5$	$51,2 \pm 3,2$	$43,3 \pm 6,9$

*DP – Desvio Padrão

Pela Tabela 3, pode-se observar que, no período do outono, a diferença das TBS médias interna e externa foi de $2,6^\circ\text{C}$ contra a sala 02 e que a diferença de umidades interna e externa foi de $3,0\%$, indicando que a sala 02 conserva mais a umidade; e no período do inverno, a diferença das TBS médias interna e externa foi de $1,3^\circ\text{C}$ a favor da sala 02 e que a diferença de umidades interna e externa foi de $7,9\%$.

a) Outono - período de coleta (16/04/08 à 08/05/08)

Para o período de medições correspondente ao outono, são apresentadas (Figura 31) as médias horárias de temperaturas e umidade relativa na sala 02, do 1.º período de coleta de dados (16/04/08 à 08/05/08), estação do outono.

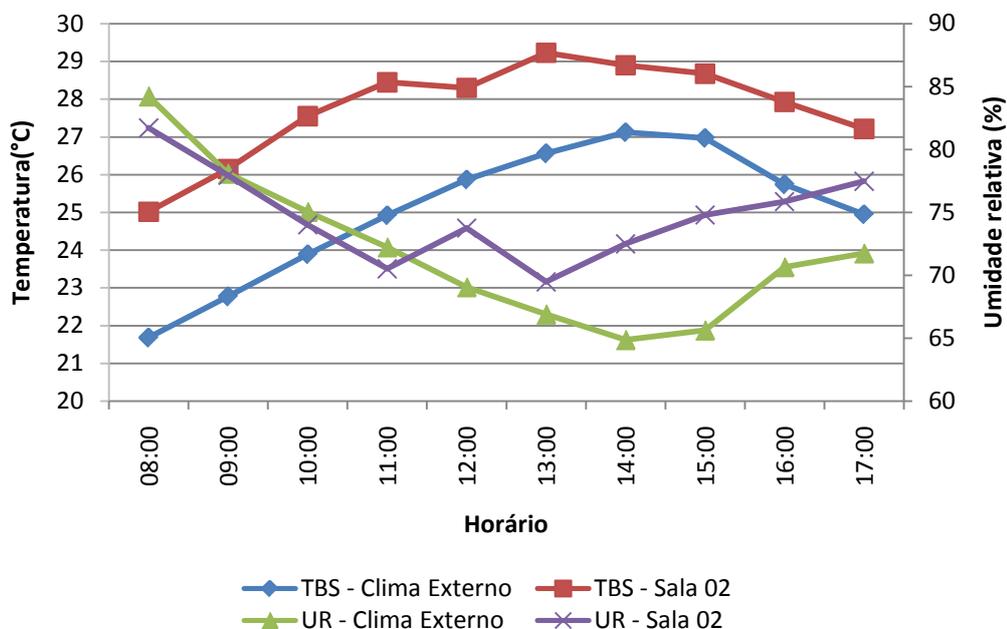


Figura 31 - Média horária das TBS interna e externa (temperatura de bulbo seco dentro e fora da sala 02- à esquerda e UR (umidades relativas interna e externa – à direita) 1.º período.

Os valores de TBS interna e externa apresentaram amplitudes matutinas de aproximadamente 3°C e de 2°C durante a tarde. A média de TBS interna (sala 2) para o período foi de $27,7 \pm 1,3^\circ\text{C}$, com a média máxima registrada de $29,2^\circ\text{C}$ e a média mínima $25,0^\circ\text{C}$. A média desta coleta para TBS externa foi de $25,1 \pm 1,8^\circ\text{C}$, com média máxima de $27,1^\circ\text{C}$ e a média mínima de $21,7^\circ\text{C}$. As médias máximas, TBS, ocorreram às 14h e médias mínimas às 8h.

A UR média da sala 02 foi de $74,8 \pm 3,6\%$, variando entre 81,7% a 69,5%, respectivamente às 8h e às 13h, enquanto que a externa, a média foi de $71,8 \pm 6\%$, variando entre 84,2% a 64,9%,

As temperaturas externas apresentam-se, em todas as horas do dia, valores inferiores às internas e percebe-se, pela figura 31, que as maiores diferenças se dão entre 8h e 11h.

Como a sala 02 tem uma janela que limitam com o corredor do auditório e salas, com cobertura em shed, sem forro, com telhas fibrocimento de 6mm de espessura, vê-se que a radiação direta no telhado produz um ambiente com temperaturas em média mais elevado que as externas, na estação de outono.

b) Inverno - período de coleta (20/08/08 à 08/09/08)

A seguir estão apresentadas graficamente ,(Figura 32), as médias horárias de TBS interna e externa (temperatura de bulbo seco dentro e fora da sala 02), e UR (umidade relativa interna e externa), para o período de medições correspondente ao inverno.

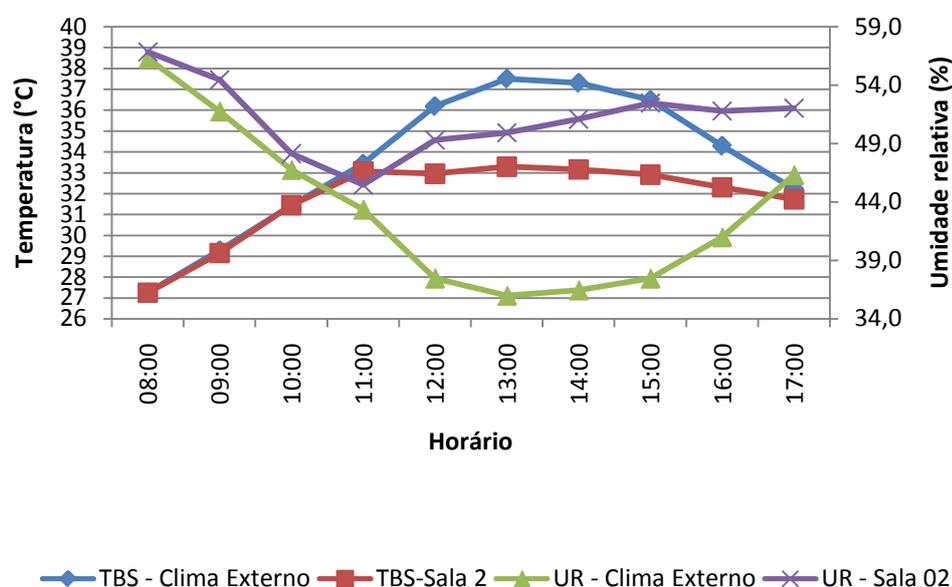


Figura 32 - Média horária das TBS interna e externa (temperatura de bulbo seco dentro e fora da sala 02- à esquerda e UR (umidades relativas interna e externa – à direita) 2.º período.

A média de TBS interna para o período foi de $32,2 \pm 1,3^{\circ}\text{C}$, com a média máxima registrada de $33,3^{\circ}\text{C}$, às 13h, e a média mínima $27,4^{\circ}\text{C}$, às 8h. A média desta coleta para TBS externa foi de $33,5 \pm 3,5^{\circ}\text{C}$, com média máxima de $37,5^{\circ}\text{C}$, às 13h e média mínima de $27,3^{\circ}\text{C}$, às 8h. Observa-se que as TBS máximas ocorre às 13h.

A UR média da sala 02 foi de $51,2 \pm 3,2\%$, com a máxima de $56,9\%$, às 8h, e a mínima de $45,5\%$, às 11h, enquanto que a externa, a média foi de $43,3 \pm 6,9\%$,

variando entre 56,3%, às 8h a 36,0%, às 13h. A partir das 11h, 12h e 15h ocorreram mudanças significativas das direções da queda e ascensão da umidade relativa da sala 02 por causa das mudanças das direções da diminuição das TBS da sala 02 o que proporciona um micro-clima vespertino com queda da TBS e aumento da umidade.

Pela Figura 32, observa-se que as TBS e as UR internas e externas entre os horários das 8h às 10h e das 11h às 16h, ocorrem diferenças significativas, que se pode inferir a eficiência da sala mais no período vespertino que matutino.

5.1.1.3 Recepção

A recepção está localizada na fachada principal da escola e possui uma laje inclinada, como cobertura sem telhas, sob árvores da espécie *Licania tomentosa*, (oiti).

Tabela 4- Média e desvio padrão das temperaturas e umidade relativa da recepção

Variável	TBS(interna)(°C)	TBS(externa)(°C)	UR(int)(%)	UR(ext)(°C)
Outono				
Período de coleta (16/04/08 à 08/05/08)	26,7±0,8	25,1±1,8	72,8±3,5	71,8±6,0
Inverno				
Período de coleta (20/08/08 à 08/09/08)	30,5±1,2	33,5±3,5	49,0±4,4	43,3±6,9

*DP – Desvio Padrão

Pela Tabela 4, pode-se observar que, no período do outono, a diferença das TBS médias interna e externa foi de 1,6°C contra a recepção e que a diferença de umidades interna e externa foi de 5,7%, indicando que a recepção conserva mais a umidade; e no período do inverno, a diferença das TBS médias interna e externa foi de 3°C a favor da recepção e que a diferença de umidades interna e externa foi de 5,7%.

a) Outono - período de coleta (16/04/08 à 08/05/08)

Para o período de medições correspondente ao outono, são apresentadas na Figura 33, as médias horárias de temperaturas e umidade relativa na recepção, do 1.º período de coleta de dados (16/04/08 à 08/05/08), estação do outono.

São apresentadas, (Figura 33), para o período de medições correspondente ao outono, as médias horárias de TBS interna e externa (temperatura de bulbo seco dentro e fora da recepção), e UR (umidade relativa interna e externa).

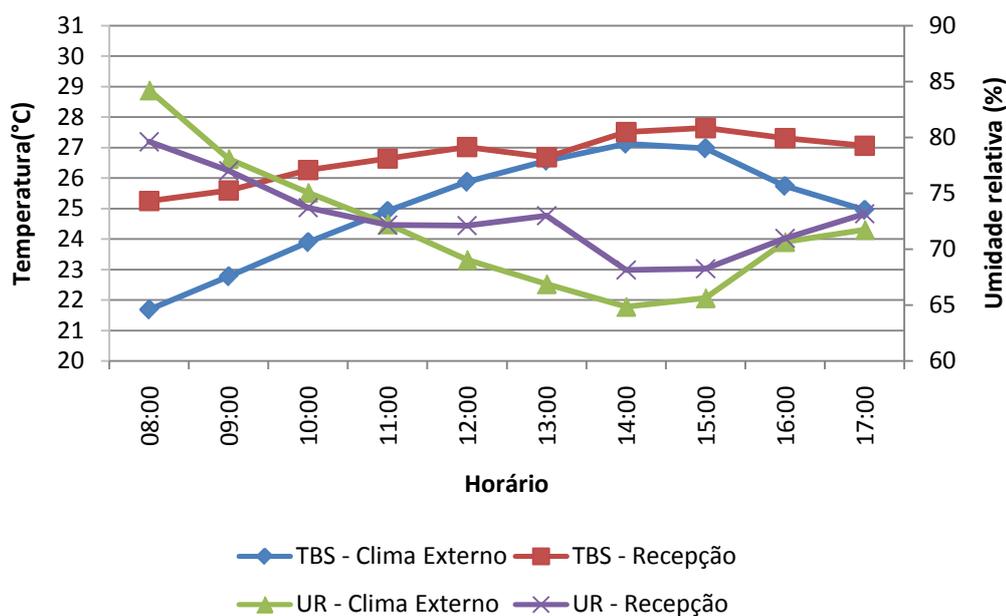


Figura 33 - Média horária das TBS interna e externa (temperatura de bulbo seco dentro e fora da recepção- à esquerda e UR (umidades relativas interna e externa – à direita) 1.º período.

Os valores de TBS interna e externa apresentaram amplitudes matutinas de 3°C das 8h diminuindo a 0 às 13h e aumentando até às 17h atingindo 2°C. A média de TBS interna (recepção) para o período foi de $26,7 \pm 0,8^\circ\text{C}$, com a média máxima registrada de $27,6^\circ\text{C}$ e a média mínima $25,3^\circ\text{C}$. A média desta coleta para TBS externa foi de $25,1 \pm 1,8^\circ\text{C}$, com média máxima de $27,1^\circ\text{C}$ e a média mínima de $21,7^\circ\text{C}$. As médias máximas, TBS, ocorreram às 14h e médias mínimas às 8h.

A UR média da recepção foi de $72,8 \pm 3,5\%$, variando entre 79,6% a 68,1%, respectivamente às 8h e às 14h, enquanto que a externa, a média foi de $71,8 \pm 6\%$, variando entre 84,2% a 64,9%, às 8h e as 14h.

As temperaturas externas apresentam-se, em todas as horas do dia, valores inferiores às internas e percebe-se, (Figura 33), que as maiores diferenças se dão entre 8h e 17h.

b) Inverno - período de coleta (20/08/08 à 08/09/08)

A seguir estão apresentadas graficamente, (Figura 34), as médias horárias de TBS interna e externa (temperatura de bulbo seco dentro e fora da recepção), e UR (umidade relativa interna e externa), para o período de medições correspondente ao inverno.

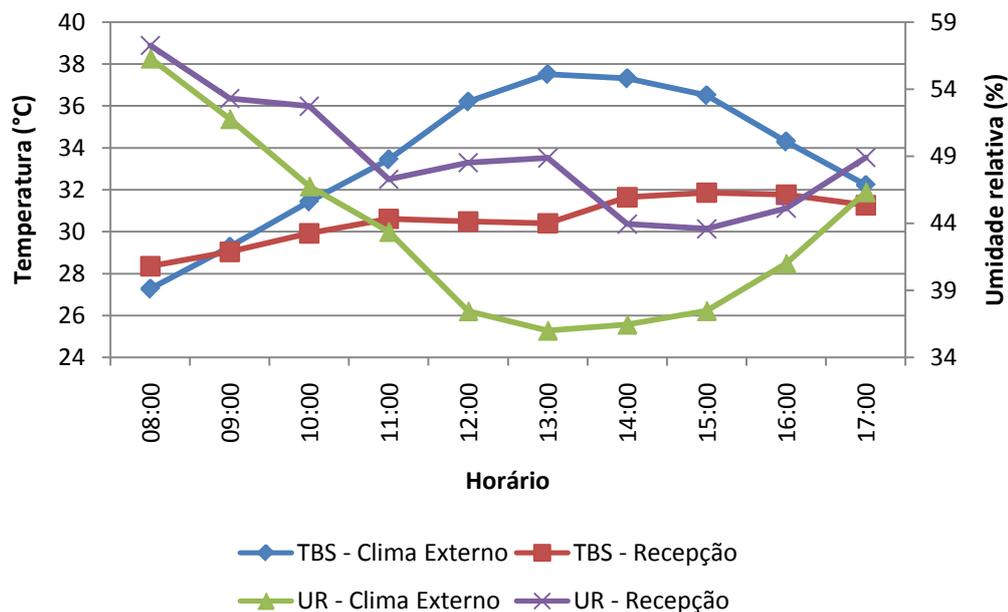


Figura 34 - Média horária das TBS interna e externa (temperatura de bulbo seco dentro e fora da recepção- à esquerda e UR (umidades relativas interna e externa – à direita) 2.º período.

A média de TBS interna para o período foi de $30,5 \pm 1,2^\circ\text{C}$, com a média máxima registrada de $31,9^\circ\text{C}$, às 15h, e a média mínima $28,4^\circ\text{C}$, às 8h. A média desta coleta para TBS externa foi de $33,5 \pm 3,5^\circ\text{C}$, com média máxima de $37,5^\circ\text{C}$, às 13h e média mínima de $27,3^\circ\text{C}$, às 8h.

A UR média da recepção foi de $49,0 \pm 4,4\%$, com a máxima de $57,3\%$, às 8h, e a mínima de $43,6\%$, às 15h, enquanto que a externa, a média foi de $43,3 \pm 6,9\%$, variando entre $56,3\%$, às 8h a $36,0\%$, às 13h. Às 10h e as 13h aparecem pontos de inflexão na curva da UR da recepção. Pela Figura 34, observa-se que as TBS da recepção são inferiores ao clima externo, exceto às 8h. As UR internas são superiores às todas externas.

5.1.2 Análises estatísticas

Quadro 3 – Resumo das análises estatísticas por meio do Teste-T

	PARES	VARIÁVEIS	MÉDIA	VARIÂNCIA	COR. PEARSON	GL	P(T<=t) bicaudal
OUTONO	A	TBS-E	25,06	21,29	0,9806	179	0,0000
		TBS-S1	28,05	21,19			
	B	TBS-E	25,06	21,29	0,9686	179	0,0000
		TBS-S2	28,01	17,83			
	C	TBS-E	25,06	21,29	0,9496	179	0,0000
		TBS-REC	26,74	10,75			
D	UR-E	0,7163	0,008	0,7506	179	0,2559	
	UR-S1	0,7215	0,0074				
E	UR-E	0,7163	0,008	0,6182	179	0,0003	
	UR-S2	0,7371	0,0064				
INVERNO	F	TBS-E	33,58	29,45	0,9556	178	0,0000
		TBS-S1	32,27	21,51			
	G	TBS-E	33,58	29,45	0,9298	178	0,0000
		TBS-S2	31,65	16,03			
	H	TBS-E	35,58	29,45	0,8298	178	0,0000
		TBS-REC	30,43	7,67			
	I	UR-E	0,4322	0,0114	0,8583	178	0,0000
		UR-S1	0,4743	0,0107			
	J	UR-E	0,4324	0,0114	0,7317	177	0,0000
		UR-S2	0,5172	0,0086			

TBS-E = temperatura de bulbo seco externa;

TBS-S1 = temperatura de bulbo seco da sala 01;

TBS-S2 = temperatura de bulbo seco da sala 02;

TBS-REC = temperatura de bulbo seco da recepção;

UR-E = umidade relativa externa;

UR-S1 = umidade relativa da sala 01;

UR-S2 = umidade relativa da sala 02;

GL = graus de liberdade;

P(T<=t) bicaudal = fornece a probabilidade de um valor da estatística t ser observado como maior em valor absoluto do que 0,025.

Os pares A,B,C,E,F,G,H,I e J (Quadro 03) apresentam valores da estatística t menores que 0,05, portanto todas as variáveis destes pares são diferentes, apenas o par D apresentou valor de estatística t maior que 0,05, portanto suas variáveis umidade relativa externa é igual a umidade da sala 01. Como a sala 01 é mais

próxima do quintal ecológico, com duas janelas limitando com ele. E no telhado uma abertura em shed voltada para o quintal justifica esta homoscedasticidade. Enquanto que outras variáveis deram diferentes por diversas razões: dimensões geométricas diferentes, materiais construtivos diferentes, localizações diferentes, proximidades com massas arbóreas diferentes.

5.2 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO

5.2.1 Horas em conforto e desconforto e estratégias recomendadas

5.2.1.1 Sala 01

Durante o 1.º período (16abr.2008 à 8maio2008) de coleta da sala 01, a Carta Bioclimática indicou 20,20% de conforto e 79,80% de desconforto (Figura 35).

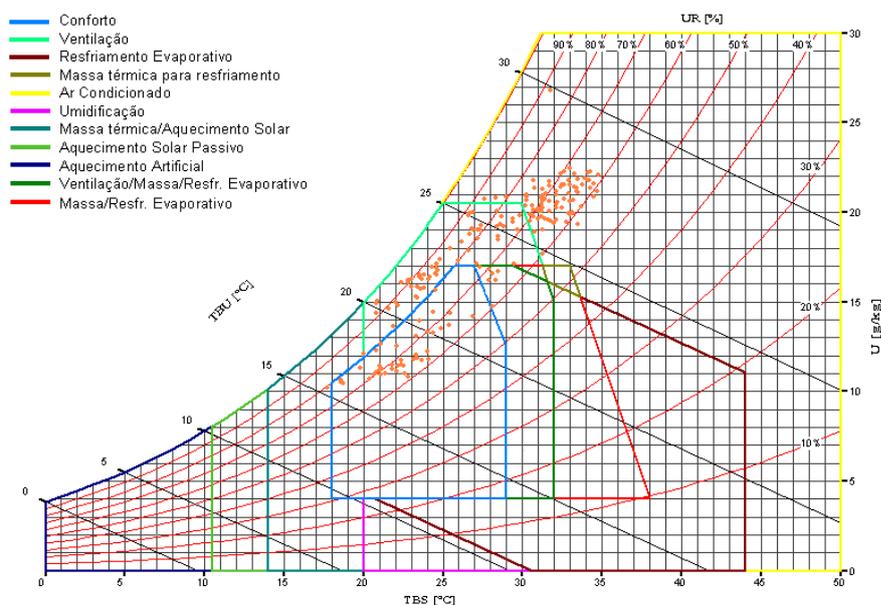


Figura 35 - Carta Bioclimática para o 1.º período (16/04/08 à 08/05/08) de coleta de dados da sala 01

O relatório final emitido pelo programa Analysis Bio (Tabela 5) apresenta que para a sala 01, no período considerado o conforto térmico foi encontrado em 20,2% do total de horas analisadas, estando presente o desconforto por calor em 79,8%. Para que seja possível favorecer o conforto na residência é indispensável a ventilação em 31,8% e a utilização de ar condicionado em 43,9% das horas. São sugeridas estratégias de ventilação/alta inércia/resfriamento evaporativo, a serem aplicadas simultaneamente em 3,6% das horas, entre outras em quantidades menores.

Outra necessidade para obtenção de conforto na sala 01 é o sombreamento necessário em 97,5% das horas.

Os valores encontram-se próximos àqueles apresentados por Santos (2008) nas quatro estações analisadas em uma escola pública na cidade de Cuiabá: como resultado, foram observados 23,0% na condição de conforto e 77,% na condição de desconforto, relatório elaborado com dados horários da Carta Bioclimática de Givoni. Do total de horas de desconforto, 75.1% foram devido ao calor e 1,83% desconforto por frio.

Conforme a mesma autora, das estratégias indicadas para a correção do calor, o ar condicionado é proposto em maior percentual, com 43,2%. As estratégias que podem ser utilizadas em conjunto com o ar condicionado são ventilação, 23%; resfriamento evaporativo, 15,7%; e massa térmica para resfriamento, 15,4%. Comparando-se estes valores com aqueles encontrados para a sala 01, sala 02 e a recepção, pode-se perceber uma distribuição diferenciada das estratégias, porém, em todas comparações, as estratégias mais requeridas são aquelas em que há necessidade do uso de energia elétrica (Tabela 5).

Tabela 5 - Relatório com as estratégias bioclimáticas para o 1.º período de coleta de dados(16/04/08 à 08/05/08) da sala 01

SALA 01			
Coleta – Total de horas: 198			Pressão 99.358 kPa
CONFORTO			20,2%
DESCONFORTO	FRIO	Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar	0,5%
	CALOR	Ventilação	31,8%
		Ventilação/AltaInércia/Resfr.Evaporativo	3,60%
		Ar Condicionado	43,9%
SOMBREAMENTO			97,5%

Analisando o 2.º período de coleta de dados da sala 01 (Figura 36) , vê-se a plotagem dos pontos em verde dentro da área de conforto (figura de contorno azul) em 17,6% e 82,4% dos pontos fora da área de conforto.

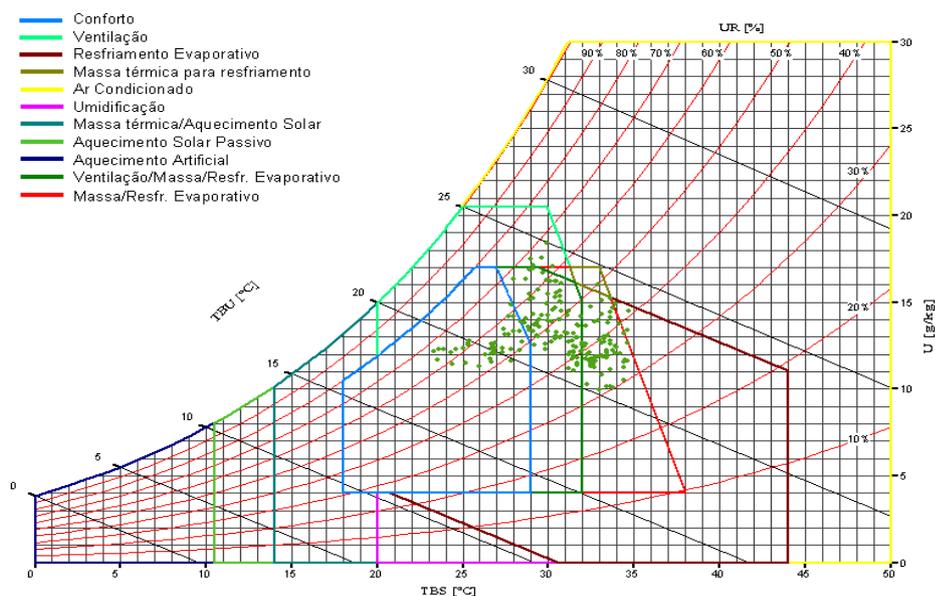


Figura 36 - Carta Bioclimática para o 2.º período de coleta de dados (20/08/08 à 08/09/08), correspondente à estação do inverno da sala 01

O relatório final emitido pelo programa Analysis Bio (Tabela 6) apresenta que para a sala 01, no período considerado, conforto térmico foi encontrado em 17,6% do total de horas analisadas, estando presente o desconforto por calor em 81,93% e por frio em 0,503%. Para que seja possível favorecer o conforto na residência é indispensável a ventilação em 1,01%, ventilação/alta inércia/resf.evaporativo em 20,10%, alta inércia térmica p/ resfriamento em 4,52%, alta inércia/resfriamento evaporativo em 11,10%, ar condicionado em 27,6% e resfriamento evaporativo em 17,6% das horas. Outra necessidade para obtenção de conforto na sala 01 é o sombreamento necessário em 99,0% das horas.

Tabela 6 - Relatório com as estratégias bioclimáticas para o 2.º período de coleta de dados (20/08/08 à 08/09/08), correspondente à estação do inverno da sala 01

SALA 01					
Coleta – Total de horas: 199			Pressão 99.358 kPa		
CONFORTO					17,6%
DESCONFORTO	FRIO	Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar	0,505%	0,505%	82,4%
		Ventilação	1,01%	81,93%	
	CALOR	Ventilação/AltaInércia/Resfr.E vaporativo	20,10%		
		AltaInércia paraResfriamento	4,52%		
		AltaInércia/Resfr.Evaporativo	11,10%		
		Ar Condicionado	27,60%		
Resfriamento Evaporativo	17,60%				
SOMBREAMENTO					99,0%

5.2.1.2 Sala 02

A Carta Bioclimática para o 1.º período (16/04/08 à 08/05/08) de coleta de dados apresenta a plotagem dos pontos em laranja dentro da área de conforto (figura de contorno azul) em 22,1% e 77,9% dos pontos fora da área de conforto (Figura 37).

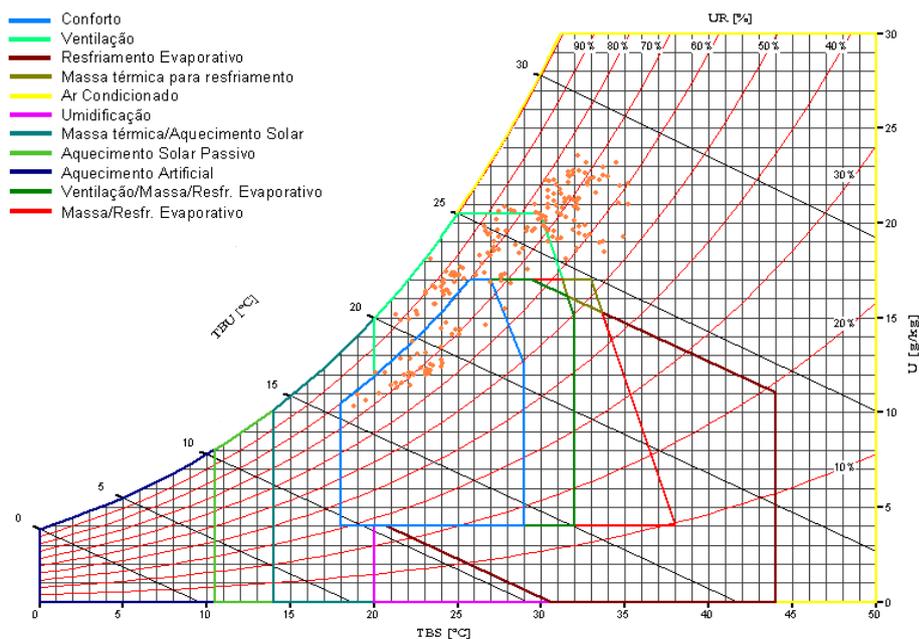


Figura 37 - Carta Bioclimática para o 1.º período de coleta de dados (16/04/08 à 08/05/08), correspondente à estação do outono da sala 02

O relatório final emitido pelo programa Analysis Bio (Tabela 7) apresenta que para a sala 02, no período considerado, conforto térmico foi encontrado em 22,1% do total de horas analisadas, estando presente o desconforto por calor em 77,3%. Para que seja possível favorecer o conforto na residência é indispensável a ventilação em 35,2% , ventilação/alta inércia/resf.evaporativo em 1,51%, ar condicionado em 41,2%. Outra necessidade para obtenção de conforto na sala 02 é o sombreamento necessário em 98,5% das horas.

Tabela 7 - Relatório com as estratégias bioclimáticas para o 1.º período de coleta de dados (16/04/08 à 08/05/08), correspondente à estação do outono da sala 02

SALA 02		Pressão 99.358 kPa	
Coleta – Total de horas: 199			
CONFORTO			22,10%
DESCONFORTO	CALOR	Ventilação	35,2%
		Ventilação/AltaInércia/Resfr.Evaporativo	1,51%
		Ar Condicionado	41,2%
SOMBREAMENTO			98,5%

A Carta Bioclimática para o 2.º período (20/08/08 à 08/09/08) de coleta de dados apresenta a plotagem dos pontos em verde dentro da área de conforto (figura de contorno azul) em 17,0% e 83,0% dos pontos fora da área de conforto (Figura 38).

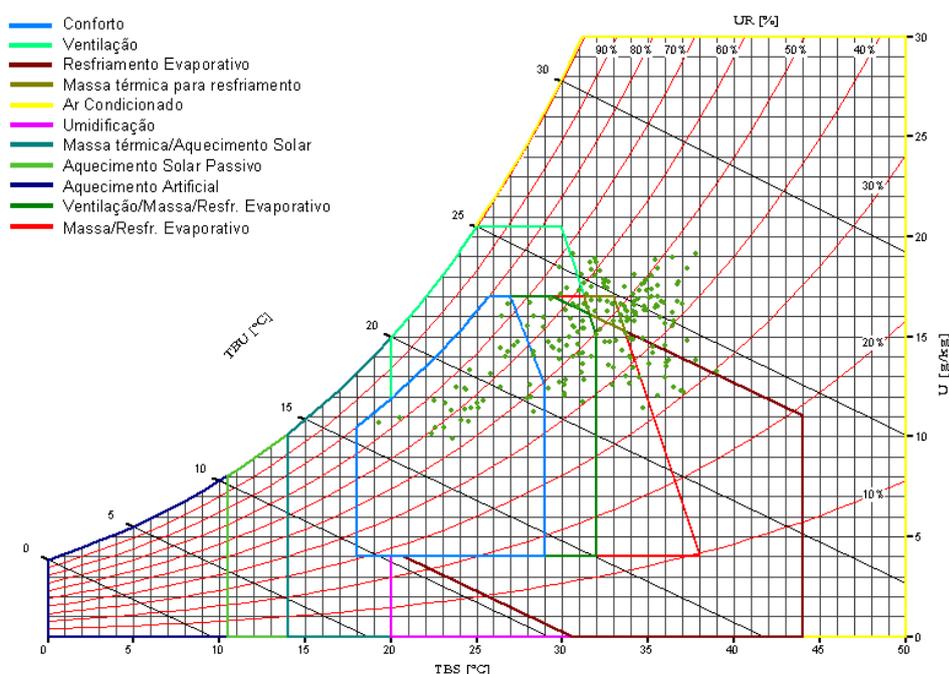


Figura 38 - Carta Bioclimática para o 2.º período de coleta de dados (20/08/08 à 08/09/08), correspondente à estação do outono da sala 02

O relatório final emitido pelo programa Analysis Bio (Tabela 8) apresenta que para a sala 02, no período considerado, conforto térmico foi encontrado em 17,0% do total de horas analisadas, estando presente o desconforto por calor em 83,0%. Para que seja possível favorecer o conforto na residência é indispensável a ventilação em 2,0%, ventilação/alta inércia em 1,50%, ventilação/alta inércia/resf. evaporativo em 20,0%, alta inércia térmica p/ resfriamento em 4,5%, alta inércia/resfriamento evaporativo em 8,5%, ar condicionado em 39,0% e resfriamento

evaporativo em 7,5% das horas. Outra necessidade para obtenção de conforto na sala 01 é o sombreamento necessário em 99,5% das horas.

Tabela 8 Relatório com as estratégias bioclimáticas para o 2.º período de coleta de dados (20/08/08 à 08/09/08), correspondente à estação do outono da sala 02

SALA 02			
Coleta – Total de horas: 200			Pressão 99.358 kPa
CONFORTO			17,0%
DESCONFORTO	CALOR	Ventilação	2,0%
		Ventilação/Alta Inércia	1,5%
		Ventilação/AltaInércia/Resfr.Evaporativo	20,0%
		AltaInércia paraResfriamento	4,5%
		AltaInércia/Resfr.Evaporativo	8,5%
		Ar Condicionado	39,0%
	Resfriamento Evaporativo	7,5%	83,0%
SOMBREAMENTO			99,5%

5.2.1.3 Recepção

A Carta Bioclimática para o 1.º período (16/04/08 à 08/05/08) de coleta de dados apresenta a plotagem dos pontos em laranja dentro da área de conforto (figura de contorno azul) em 35,8% e 64,2% dos pontos fora da área de conforto (Figura 39).

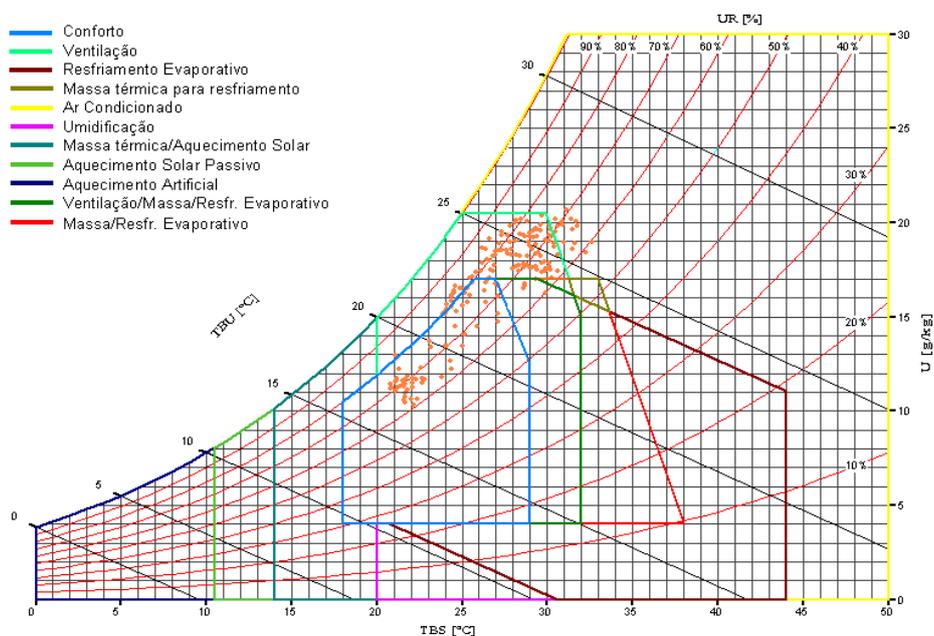


Figura 39 - Carta Bioclimática para o 1.º período de coleta de dados (16/04/08 à 08/05/08), correspondente à estação do outono da recepção

O relatório final emitido pelo programa Analysis Bio (Tabela 9) apresenta que para a recepção, no período considerado, conforto térmico foi encontrado em 35,8% do total de horas analisadas, estando presente o desconforto por calor em 64,2%. Para que seja possível favorecer o conforto na residência é indispensável a ventilação em 53,7% , ventilação/alta inércia/resf.evaporativo em 2,11%, ar condicionado em 8,42%. Outra necessidade para obtenção de conforto na recepção é o sombreamento necessário em 100,0% das horas.

Tabela 9 - Relatório com as estratégias bioclimáticas para o o 1.º período de coleta de dados (16/04/08 à 08/05/08), correspondente à estação do outono da recepção

RECEPÇÃO			
Coleta – Total de horas: 190			Pressão 99.358 kPa
CONFORTO			35,8%
DESCONFORTO	CALOR	Ventilação	53,7%
		Ventilação/AltaInércia/Resfr.Evaporativo	2,11%
		Ar Condicionado	8,42%
SOMBREAMENTO			100%

A Carta Bioclimática para o 2.º período (20/08/08 à 08/09/08) de coleta de dados apresenta a plotagem dos pontos em verde dentro da área de conforto (figura de contorno azul) em 20,6% e 79,4% dos pontos fora da área de conforto (Figura 40) .

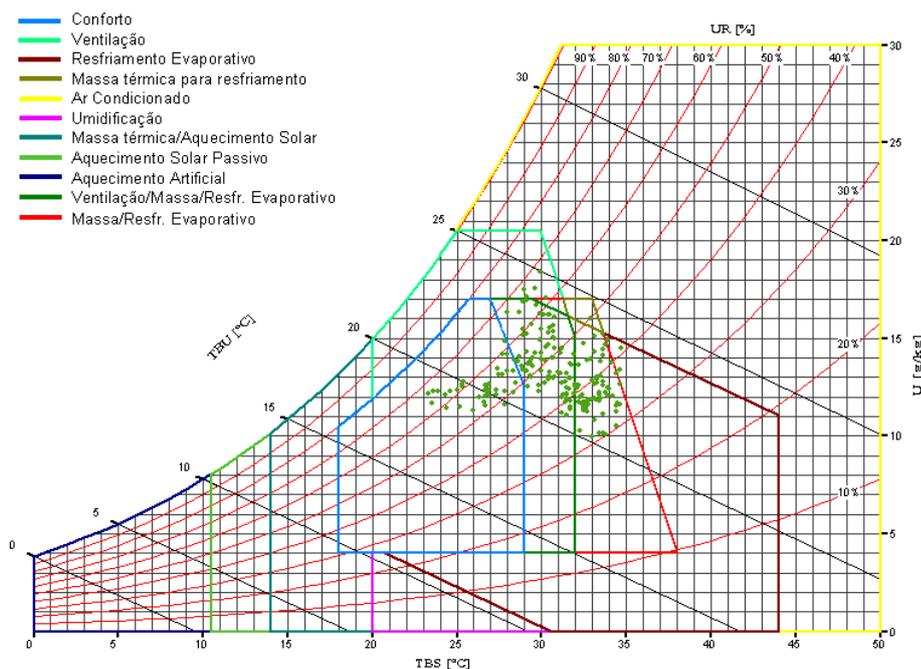


Figura 40 - Carta Bioclimática para o 2.º período de coleta de dados (20/08/08 à 08/09/08), correspondente à estação do inverno da recepção

O relatório final emitido pelo programa Analysis Bio (Tabela 10) apresenta que para recepção, no período considerado, conforto térmico foi encontrado em 20,6% do total de horas analisadas, estando presente o desconforto por calor em 79,4%. Para que seja possível favorecer o conforto na residência é indispensável a ventilação em 1,51% , ventilação/alta inércia 0,503%, ventilação/alta inércia/resf.evaporativo em 42,7%, alta Inércia térmica p/ resfriamento em 0,503%, alta inércia/resfriamento evaporativo em 33,2%, e resfriamento evaporativo em 1,01%. Outra necessidade para obtenção de conforto na recepção é o sombreamento necessário em 100,0% das horas.

Tabela 10 - Relatório com as estratégias bioclimáticas para o 2.º período de coleta de dados (20/08/08 à 08/09/08), correspondente à estação do inverno da recepção

RECEPÇÃO			
Coleta – Total de horas: 199			Pressão 99.358 kPa
CONFORTO			20,6%
DESCONFORTO	CALOR	Ventilação	1,51%
		Ventilação/Alta Inércia	0,503%
		Ventilação/AltaInércia/Resfr.Evaporativo	42,7%
		AltaInércia paraResfriamento	0,503%
		AltaInércia/Resfr.Evaporativo	33,2%
		Resfriamento Evaporativo	1,01%
SOMBREAMENTO			100%

5.3 SENSACIONES E PREFERÊNCIAS TÉRMICAS

5.3.1 Sala 01

Este levantamento das preferências foi realizado durante alguns dias do segundo período de medição, quando as TBS médias internas da sala 01 foram 8h, 27,07°C; 9h, 29,39°C; 10h, 31,77°C e às 11h, 33,61°C. Quanto as sensações de calor ou frio deste período, as preferências podem ser visualizadas a seguir, sendo que a opção com frio e a com muito frio receberam zero percentual (Figura 41).

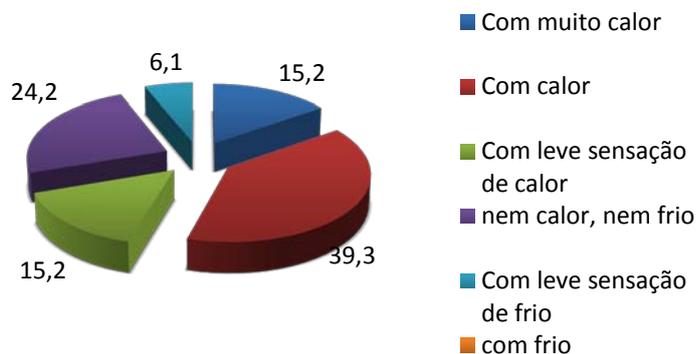


Figura 41 - Percentuais de preferências de calor e frio na sala 01

Quanto as respostas relacionadas ao clima da sala 01, a maioria dos usuários da sala 01, a consideraram confortável e pouco confortável. A alternativa muito confortável recebeu o percentual zero (Figura 42).

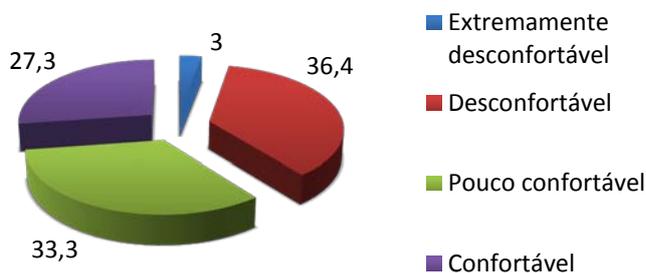


Figura 42 - Percentuais de preferências de conforto ou não na sala 01

5.3.2 Sala 02

As TBS médias internas da sala 02 foram 8h, 27,35°C; 9h, 29,16°C; 10h, 31,45°C e às 11h, 33,07°C. Quanto as sensações de calor ou frio deste período, as preferências podem ser visualizadas a seguir, sendo que a opção com frio e a com muito frio receberam zero percentual (Figura 43).

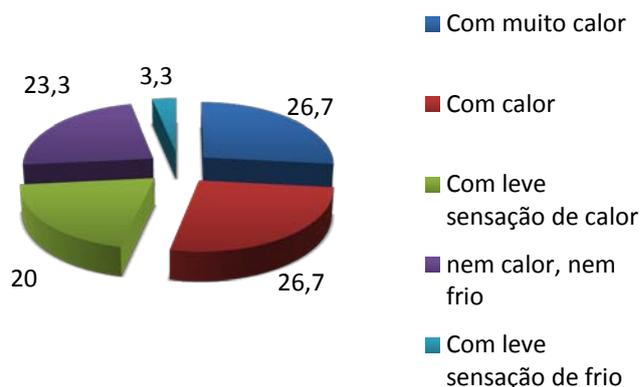


Figura 43 - Percentuais de preferências de calor e frio na sala 02

Quanto as respostas relacionadas ao clima da sala 02, a maioria dos usuários da sala 01, a consideraram desconfortável e pouco confortável. A alternativa muito confortável recebeu o percentual zero (Figura 44).

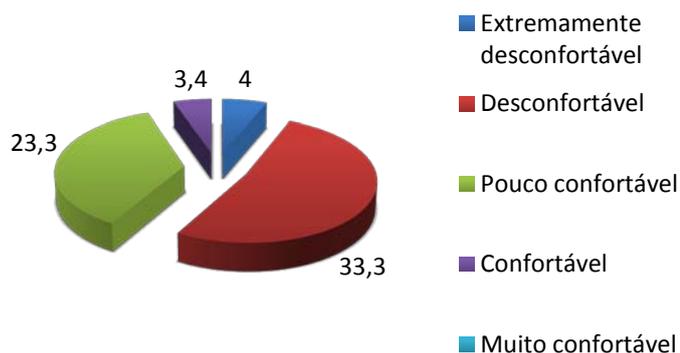


Figura 44 - Percentuais de preferências de conforto ou não na sala 02

Um maior percentual de usuários consideraram a sala 02 mais desconfortável, quando comparados com os usuários da 01, deve-se notar que para uma pessoa sentir conforto térmico, ela tem que estar em balanço térmico, ou seja seus ganhos e perdas de calor tem que ser iguais, conforme o seção 2.3.1, p.10 deste trabalho. Em um ambiente escolar do ensino fundamental, dificilmente os alunos permanecem sentados, calmos. Com a metodologia recente o aluno é convidado a constantemente participar da aula o que lhe custa consumo de energia e conseqüentemente ganhos de calor.

5.3.3 Recepção

As TBS médias internas da recepção foram 8h, 28,35°C; 9h, 29,04°C; 10h, 29,92°C e às 11h, 30,61°C. Quanto as sensações de calor ou frio deste período, as preferências podem ser visualizadas a seguir, sendo que as opções nem frio nem calor, com leve sensação de frio, com frio e com muito frio, receberam zero percentual. Quanto ao fato de apenas o calor ter recebido as preferências na recepção deve a razão das pessoas estarem aguardando atendimento, após um tempo de provável caminhada até à escola (Figura 45).

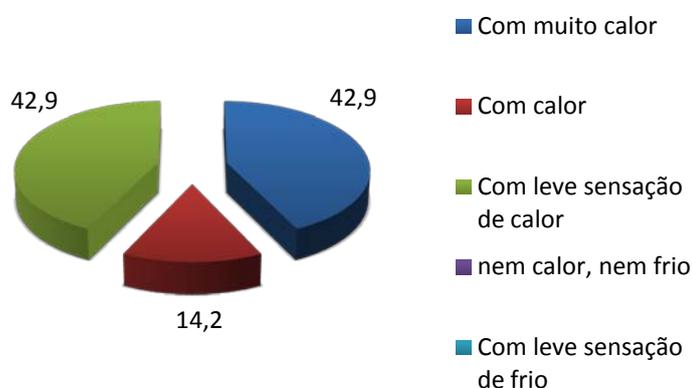


Figura 45 - Percentuais de preferências de calor e frio na recepção

Quanto as respostas relacionadas ao clima da recepção, a maioria dos seus usuários, a consideraram confortável e pouco confortável. A alternativa muito confortável recebeu o percentual zero (Figura 46).

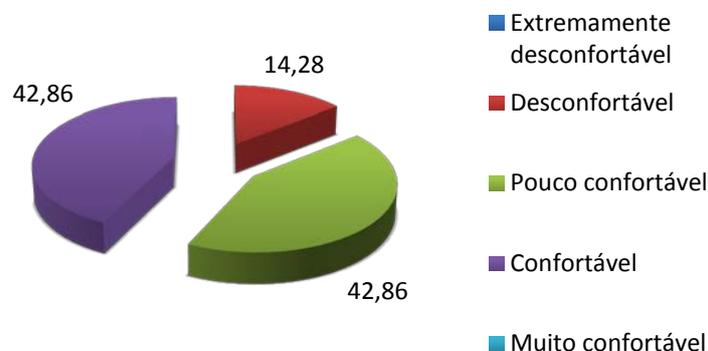


Figura 46 - Percentuais de preferências de conforto ou não na recepção

Das porcentagens de 42,86 dos usuários da recepção, a considerou pouco confortável e confortável, verificando que os usuários da recepção queixaram menos que os das sala 01 e 02.

Quanto as sensações dos usuários das salas, eles apresentaram considerável nível de desconforto. É muito difícil um ambiente satisfazer os seus usuários bioclimaticamente, uma vez que o conforto é conseguido quando houver um balanço da energia térmica ganha se igualar a perdida. Como já foi visto, há inúmeros fatores que contribuem para que esta igualdade se altere. Hoje, os alunos em sala de aulas são motivados a se movimentarem muito.

5.4 ILUMINÂNCIA

Analizou a iluminação natural interna das salas de aula 01 e 02 através de gráficos das médias horárias nos dois períodos de medição, comparando a iluminação natural das duas salas com a recomendada por norma, 300 lux.

5.4.1 Sala 01

A sala 01 é ocupada pelos alunos durante as aulas entre 7h15 às 11h40 e apresentou nestes horários, uma média horária de luminância, no outono, superior a recomendada por norma, dispensando a iluminação artificial. (Figura 47).

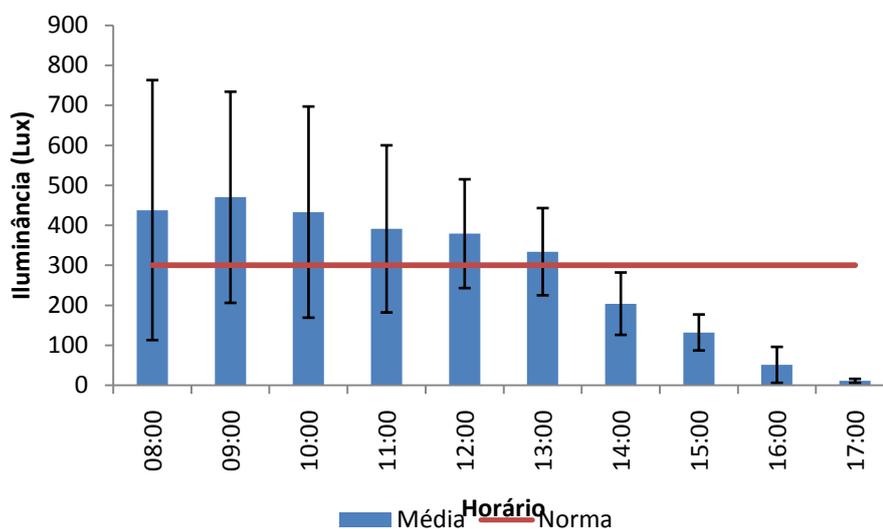


Figura 47 - Iluminância média do outono da sala 01

Este resultado é devido à iluminação através de duas janelas de correr de vidro 3mm nas dimensões 2 m x1,2 m (2,4 m²) cada, localizadas numa parede externa, que limita com o quintal ecológico e pela cobertura em shed (Figura 14).

Durante o inverno a sala 01, também apresentou uma iluminância média horária superior a normativa (Figura 48).

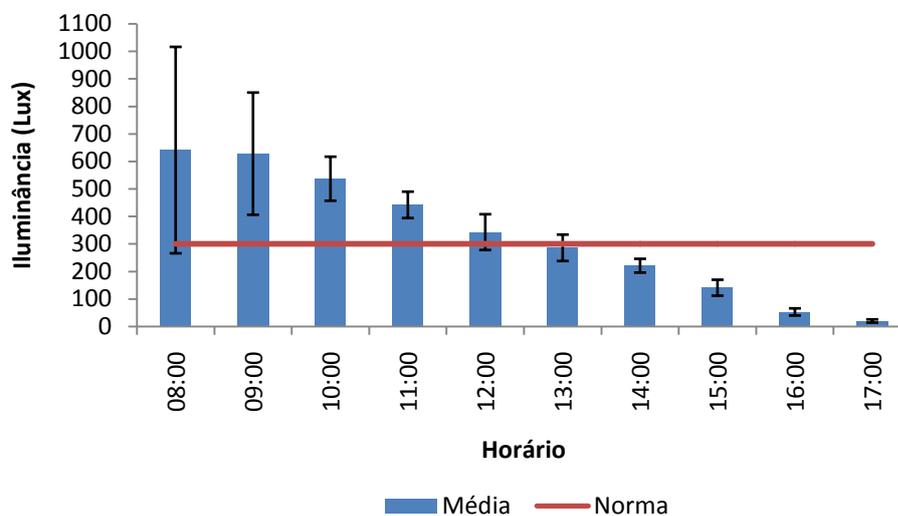


Figura 48 - Iluminância média do inverno da sala 01

5.4.2 Sala 02

A sala 02, no outono não apresentou iluminância média superior a 300 Lux, prescrito pela NBR 5413, necessitando complementação com iluminação artificial, apenas às 10 h considerando o desvio padrão alcança os 300 Lux. Embora a média das médias matutina seja 195 Lux, que está próxima do limite normativo (Figura 49).

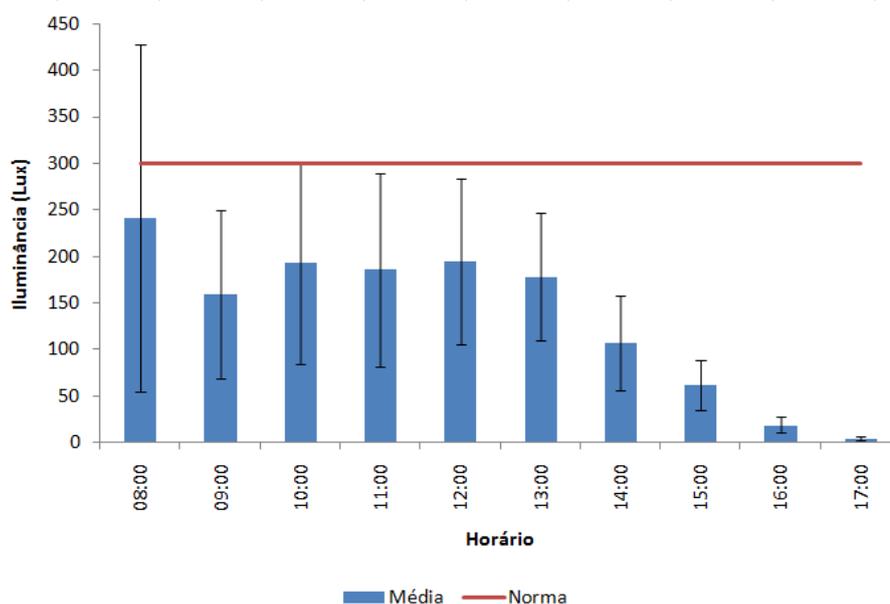


Figura 49 - Iluminância média do outono da sala 02

No inverno, a iluminância média da sala 02 foi a seguinte (Figura 50).

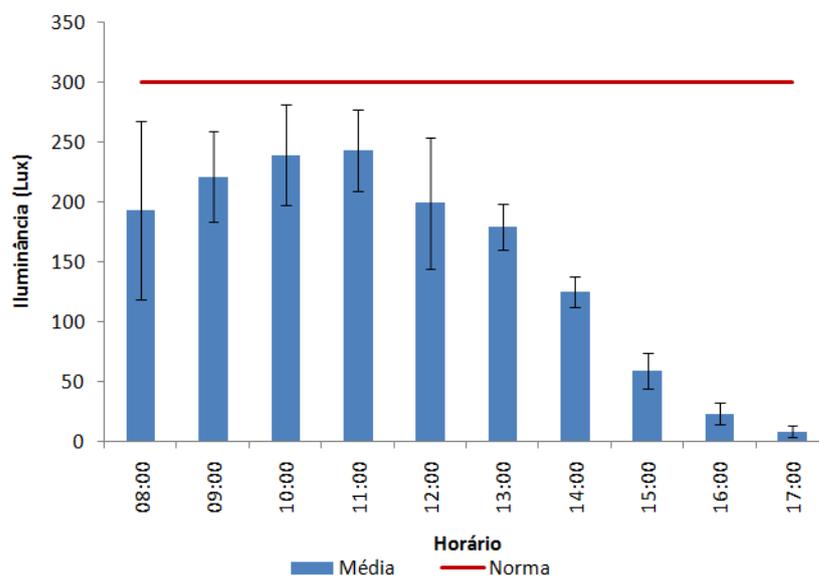


Figura 50 - Iluminância média do inverno da sala 02

A média das médias das 8 às 12h é de 219 Lux, o que obriga a complementação artificial na sala de aula. Pode-se observar que a sala 01 nos dois períodos de medição superou a média não necessitando de iluminação artificial.

Esta sala está com a sua lousa na parede do ponto interno 03, cujas médias estão abaixo de 80 Lux, nos dois períodos de medição (Figura 51).

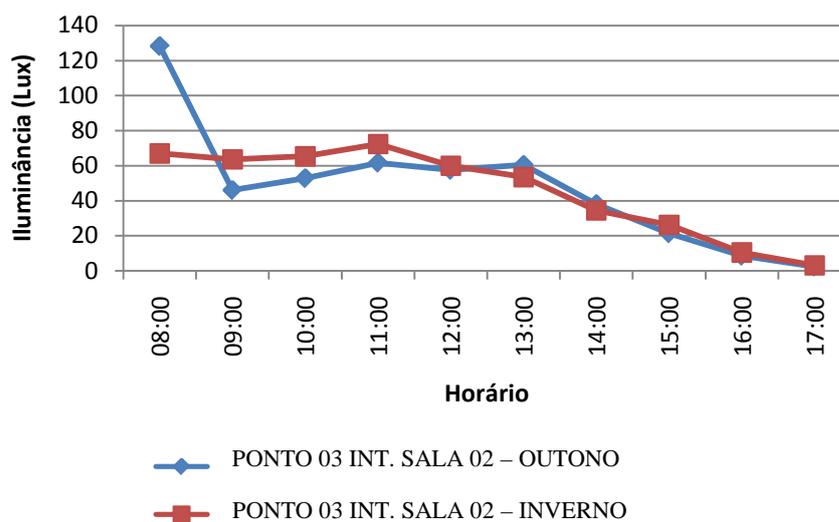


Figura 51 - Iluminância média da sala 02, ponto 03 interno

O ponto 04 na parede que recebe iluminação direta do shed (Figura 52), que é uma parede que recebe entre 500 a 700 Lux, no período matutino, ideal para instalação da lousa nesta parede, cuja recomendação normativa é de 500 Lux.

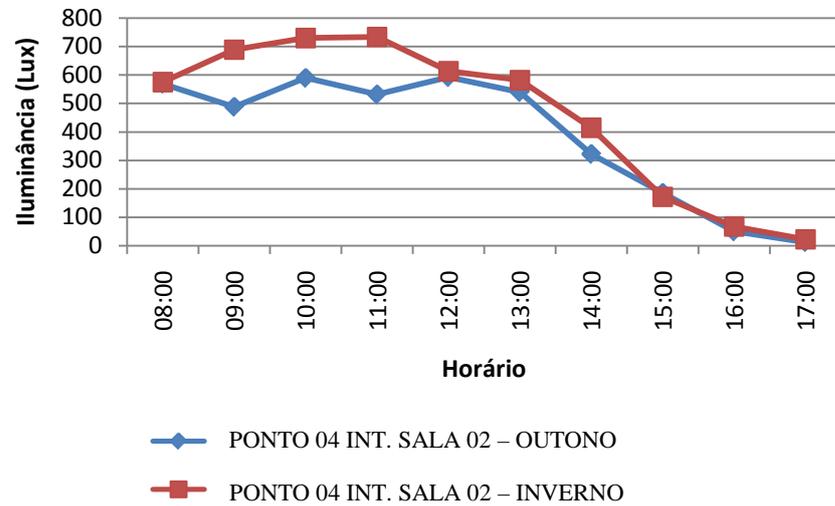


Figura 52 - Iluminância média da sala 02, ponto 04 interno.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da caracterização micro-climática realizada nas salas 01, 02 e recepção, encontrou-se temperaturas dos ambientes interno superiores às externas, demonstrando que as salas não oferecem conforto diante do clima local. Verificou-se que a recepção é o ambiente menos desconfortável seguindo a sala 01 e depois a sala 02. Comparando a umidade externa com as internas das salas, pode-se observar que pela manhã ambas as umidades, em todas as salas e nos dois períodos, apresentaram ramos descendentes e no período vespertino, as salas conservaram a umidade em nível superior à externa.

No outono, as velocidades médias dos ventos registradas, externamente, no quintal ecológico foi de $0,1 \text{ ms}^{-1}$ e no inverno foi de $0,2 \text{ ms}^{-1}$. Dentro das salas sem ventiladores ligados a velocidade média do vento registrada foi praticamente zero durante os dois períodos analisados (outono, inverno), mesmo as externas são relativamente baixas, não propiciando redução do desconforto por calor na maioria dos horários, pelos critérios de Givoni (1992) que permite um aumento do limite máximo da faixa de conforto de 29°C para 32°C , desde que os ventos atinjam velocidades mínimas de $2,0 \text{ ms}^{-1}$. O nível de vento que não foi atingido nos dois períodos de medição.

Quanto as sensações e preferências térmicas, os usuários apresentaram maiores percentuais de pouco confortável e confortável na seguinte ordem: recepção, sala 01 e sala 02.

Finalmente, quanto à iluminação natural, a sala de aula 01 apresentou valores dentro das exigências normativas, enquanto a sala de aula 02 necessitou de iluminação artificial, embora tenha apresentado uma parede mais bem iluminada que outras, propiciando uma boa localização da lousa que por norma exige mais luz que a sala como um todo.

6.1 SUGESTÕES PARA OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS NAS SALAS

Diante de todas as análises realizadas nesta pesquisa é possível sugerir para as salas 01 e 02, objetivando a diminuição da temperatura para reduzir o desconforto e conseqüente redução dos gastos com energia elétrica, primeiramente que as telhas de fibrocimento sejam pintadas externamente da cor branca para refletir melhor a radiação solar, melhorando conseqüentemente a temperatura interna. Poder-se-ia instalar brises nas duas janelas da sala 01 e pintá-los na cor branca, para não prejudicar a iluminação natural interna da sala assim como não aumentar a temperatura interna da sala. Instalar duas janelas do mesmo porte da sala 01 na sala 02, uma vez que esta é diferença das duas salas e o desempenho da sala 01 foi melhor que o da 02.

Mudar a posição da lousa da sala 02 da parede 03 para a parede 04 onde a iluminância é superior 500 Lux, seguindo a posição da sala 01, onde a lousa se encontra na parede 04. Pintar as salas de aula sempre com cores claras que reflitam a luz natural de maneira que a sua distribuição fique homogênea nos ambientes para o conforto luminoso dos seus usuários. Forrar as salas de aula 01 e 02, uma vez que o forro aumenta a inércia térmica da cobertura.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Dado ao bom desempenho da recepção, sugere-se trabalhos acadêmicos onde se projete escolas com coberturas de laje pré-moldadas com lajotas cerâmicas, sob sombreamento arbóreo permanente e simule o seu desempenho em software aplicáveis.

7 BIBLIOGRAFIAS

7.1 BIBLIOGRAFIAS CITADAS

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE (ANSI). **ANSI/ASHRAE55**: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: ANSI, 2004.

_____. ISO 10551: Ergonomics of the thermal environment – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales, 1995.

AKUTSU, M.; SATO, N. M. N.; PEDROSO, N. G. **Desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares**: manual de procedimentos para avaliação. São Paulo: IPT, 1987. 74p. ISBN 85-09-00021-2

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 5382. **Verificação de Iluminância de Interiores** Rio de Janeiro, 1985.

_____. NBR 15220-3: desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 5413. **Iluminância de Interiores** Rio de Janeiro, 1992.

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

CAMPELO, JR. J. H.; CASEIRO, F. T.; FILHO, N. P.; BELLO, G. A. C.; MAITELLI, G. T.; ZANPARONI, C. A. G. P. Caracterização macroclimática de Cuiabá. In. ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE O MEIO AMBIENTE, 7, 1991, Londrina, Anais. Londrina, v. 1, Comunicações, 1995, p. 542-552.

CIRILO J. F. C. **Consumo de energia elétrica cresce 5,4% em 2007, aponta EPE**. Folha Online, Rio de Janeiro, 17jan.2008. Disponível em <<http://www1.uol.com.br/folha/dinheiro/ult91u364506.shtml>>. Acesso em: 8 ago.2008.

CLIMATE(2001)Annex B.Glossary of Terms.In:IPCC Third Assessment Report. Disponível em <http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-en.pdf> Acesso em 12 maio.2009.

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

COSTA SILVA, H.; KINSEL,L.S. **Região climática de Porto Alegre** revisão para um desenho inteligente e uma arquitetura adequada. Disponível em <<http://www.ufrgs.br/propar/publicacoes/ARQtextos>> Acesso em 3 mar. 2009.

CUNHA, E. G. et al. **Elementos de arquitetura de climatização natural**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2004.

DUARTE, D. H. S. **O Clima como Parâmetro de Projeto para a Região de Cuiabá**. 1995. __f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)- Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos,1995.

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

FITCH,J.M. **American buildind: the environmental forces that shape it**. 2 ed. v. 2. New York, Schocken Books. 349p, 1972.

GELLER, H., **Uso eficiente da eletricidade (uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil)**, ACEEE, Rio de Janeiro, RJ, 1994.

GIVONI, B. – **Climate and architecture**. 2. ed. London: Applied Science, 1976 (reprinted 1981). Architectural Science Series.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 7730: Moderate Thermal Enviroments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal confort. [S.I], 1984.

JUCA, Pedro da Rocha.**O histórico Palácio da Instrução**. Cuiabá, 18 set. 2007.Disponível em <<http://matogrossomemorias.blogspot.com/2007/09/o-historico-palcio-da-intruo.html>>. Acesso em 08 ago.2008.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES (LABEEE) (2003) **Analysys Bio v2.1**. Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC,Florianópolis/SC.

LAMBERTS, R. **Eficiência Energética na Arquitetura**, PW, São Paulo, 1997.

LAMBERTS, R; GHISI, E; ABREU, A. L. P.; CARLO,J. C.; BATISTA, J. O. **Desempenho Térmico de Edificações**. Florianópolis : Apostila – Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

MAITELLI, G. T. **Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá-MT**. 1994. 220f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

OLGYAY,V. **Design with climate**. Princeton University Press, New Jersey,1963.

OLIVEIRA,A.S. **Análise de desempenho térmico e consumo de energia em residências na cidade de Cuiabá.** Cuiabá, 2007. 107f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2007.

OMETTO,J.C. **Bioclimatologia vegetal.** São Paulo:Agronômica Ceres, 1981.440p.

PIETROBON, C. E. **Luz e calor em ambiente construído escolar e o sombreamento arbóreo: conflito ou compromisso com a conservação de energia?** 2 V. Florianópolis, 1999.V. 1 270p. V.2 177p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Curso de Pós -Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

RUAS, A.C. **Avaliação de conforto térmico – Contribuição à aplicação prática das normas internacionais.** 1999b. 71 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, 1999.

SAMPAIO, M. M. A., **Análise do desempenho térmico e lumínico de habitações populares em Cuiabá-MT.** 2006. 110 f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2006.

SANTOS,F.M.M. **Análise de desempenho térmico e lumínico em uma escola pública na cidade de Cuiabá-MT:** estudo de caso. 2008.122f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

SELLERS, W. D. **Physical climatology.** Chicago: The University of Chicago, 1965.

SOUZA,M.L.IPHAN.<<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=461120>>. Acesso em 18 mar. 2009

XAVIER, A.A.P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis.** 1999. 209p. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Departamento de engenharia civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

7.2 BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

ANDRADE, H. **Bioclima humano e Temperatura do ar em Lisboa.** Dissertação 2003. 435f. Tese (Doutorado em Geografia Física - Faculdade de Letras, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2003.

ARAÚJO, V. M. D., **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino - O caso de Natal/RN.** 1.ed, Natal/RN: Editora Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2001. 135 p.

ARAÚJO, R.C. **Estudo comparativo entre painéis verticais compostos por EPS e tijolo cerâmico de oito furos como isolantes térmicos para a região de Cuiabá-MT**. 2004. 83 f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2004.)

BARBOSA, M. J. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares**. 1997. 277 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

FROTA, A.B. ; SCHIFFER, S.R. **Manual de Conforto Térmico**. 7. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

MASCARÓ, L. R. **Energia na edificação, estratégia para minimizar seu consumo**. N° 81 , São Paulo, Projeto de Editores Associados, 1991, p. 69.

MENEZES, M. S. **Avaliação do Desempenho Térmico de Habitações Sociais de Passo Fundo – RS**. 2006. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Departamento da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade Federal de Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2006.

NOGUEIRA, M. C. J. A. & NOGUEIRA, J. S. Educação, meio ambiente e conforto térmico: caminhos que se cruzam. **Revista Eletrônica em Educação Ambiental**. Rio Grande /RS, v. 10, 2003. Disponível em <http://www.remea.furg.br>. Acesso em : 15 ago. 2007.

ROMERO, M. A. B. - **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: Projeto, 2000, 2ª edição, 128 p.

ROSSETI, K. A. C.; OLIVEIRA, P. T. A.; FERREIRA Jr., J. E.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; NOGUEIRA, J. S.; DURANTE, L.C. Estudo do Comportamento lumínico de habitações populares em Cuiabá , In: SEMINÁRIO MATO-GROSSENSE DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL, I, 2005, Cuiabá. **Anais**. Cuiabá: CEFETMT, EDUFMT, 2005, p. 319-327.

RUAS, A. C. **Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software**. 2002. 182 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, 2002.

SANCHES, J.C., DURANTE, L.C. Estudo comparativo de conforto térmico, lumínico e de eficiência energética para projeto residencial em Cuiabá-MT , In: SEMINÁRIO MATO-GROSSENSE DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL, I, 2005, Cuiabá. **Anais**. Cuiabá: CEFETMT, EDUFMT, 2005, p. 319-327.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e Arquitetura**. 2. ed. São Paulo: Geros s/c Ltda., 2001.

APÊNDICE

APÊNDICE - MODELO DE QUESTIONÁRIO PARA DADOS DE CONFORTO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA

Programa de Pós-graduação em Física Ambiental (Stricto sensu)

Que tal você responder este questionário com toda sinceridade? É uma investigação do seu sentimento em relação ao conforto térmico da sua sala de aula, no momento que você estiver respondendo. Suas respostas serão tratadas com sigilo e você poderá sentir-se orgulhoso (a) de participar deste trabalho cujo resultado poderá melhorar esta ou uma outra. Então, vamos lá:

Cuiabá, _____ / _____ / 2008. Horário: _____ h _____

1. Neste momento, como você se sente?

- com muito calor
- com calor
- com leve sensação de calor
- nem calor, nem frio
- com leve sensação de frio
- com frio
- com muito frio

2. Como você está achando, neste momento, o clima desta sala?

- extremamente desconfortável.
- desconfortável
- pouco confortável
- confortável
- muito desconfortável

Obrigado pela sua atenção e boa vontade em nos ajudar nesta investigação

