

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

**INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO
CONFORTO TÉRMICO URBANO E NO
AMBIENTE CONSTRUÍDO**

CAROLINA LOTUFO BUENO BARTHOLOMEI

Campinas - SP
2003

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO
CONFORTO TÉRMICO URBANO E NO
AMBIENTE CONSTRUÍDO

CAROLINA LOTUFO BUENO BARTHOLOMEI

Orientadora: Prof^a Dr^a LUCILA CHEBEL LABAKI

Tese de Doutorado apresentada à Comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, Área de Concentração em Saneamento e Ambiente.

Campinas, SP
2003

Atesto que este é a versão definitiva da dissertação/tese	
	23/03/04
Prof. Dr.	<i>Labaki</i>
Matrícula	148059

UNIDADE	BC
Nº CHAMADA	T/UNICAMP
	B283i
V	EX
TOMBO BC/	59248
PROC.	16-117-04
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	28/07/04
Nº CPD	

CM00200757-4

BIB ID 318350

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

B283i Bartholomei, Carolina Lotufo Bueno
 Influência da vegetação no conforto térmico urbano e
 no ambiente construído / Carolina Lotufo Bueno
 Bartholomei. --Campinas, SP: [s.n.], 2003.

 Orientador: Lucila Chebel Labaki.
 Tese (doutorado) - Universidade Estadual de
 Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

 1. Conforto térmico. 2. Radiação solar. 3. Vegetação e
 clima. 4. Escolas - Edifícios. 5. Microclimatologia. I.
 Labaki, Lucila Chebel. II. Universidade Estadual de
 Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.

INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO CONFORTO TÉRMICO URBANO E NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

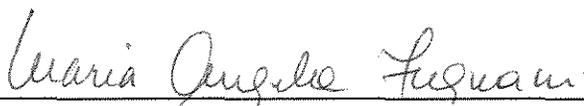
Tese de Doutorado defendida por Carolina Lotufo Bueno Bartholomei e aprovada, em 10 (dez) de julho de 2003, pela banca examinadora constituída pelas professoras:



Prof^a Dr^a Lucila Chebel Labaki
Orientadora (FEC – UNICAMP)



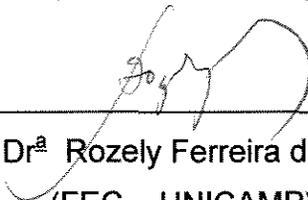
Prof^a Dr^a Ana Maria Liner Pereira Lima
(ESALQ – USP)



Prof^a Dr^a Maria Ângela Fagnani
(FEAGRI – UNICAMP)



Prof^a Dr^a Doris Catharine Cornélie Knatz Kowaltowski
(FEC – UNICAMP)



Prof^a Dr^a Rozely Ferreira dos Santos
(FEC – UNICAMP)

DEDICATÓRIA

.....

Para meu filho Marcelo.

AGRADECIMENTOS

À Prof^ª Dr^ª Lucila Chebel Labaki pela dedicada orientação e pelo enorme carinho, compreensão e atenção dispensados durante todo o desenvolvimento desta tese e de nossa convivência.

À José Luis Martins, que considero um grande amigo, por sua paciência comigo, por sua disposição em ajudar e pela enorme contribuição nos cálculos com o software SASTM.

Ao meu amigo Obadias Pereira da Silva Júnior, técnico do Laboratório de Conforto, pela enorme ajuda quanto à montagem dos equipamentos.

À FAPESP pela bolsa de doutorado (processo: 97/12805-9) e pelo financiamento dos equipamentos.

À minha grande amiga e irmã de coração Adriana Petito de Almeida Silva Castro pelo apoio moral, pelo ombro amigo, pelas opiniões quanto a assuntos técnicos e pessoais e, principalmente por estar sempre presente.

Ao Marcelo, por seu amor, sua dedicação e sua presença sempre constantes em relação à mim e à nosso filho.

Ao meu pai, Hélio, por seu interesse e carinho.

E principalmente, ao meu filho Marcelo, por compreender, de certa forma, o quanto este trabalho foi importante para todos nós.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE QUADROS.....	xiv
RESUMO.....	xv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	5
2.1 Objetivo Geral.....	5
2.2 Objetivos Específicos.....	5
3 CONFORTO TÉRMICO.....	7
3.1 Trocas Térmicas entre o Homem e o Ambiente.....	8
3.1.1 <i>Radiação térmica</i>	9
3.1.2 <i>Convecção</i>	9
3.1.3 <i>Evaporação</i>	9
3.2 Fatores que Influenciam as Trocas Térmicas.....	10
3.2.1 <i>Temperatura do ar</i>	10
3.2.2 <i>Umidade relativa do ar</i>	10
3.2.3 <i>Velocidade do ar</i>	11
3.2.4 <i>Temperatura radiante média</i>	11
3.2.5 <i>Resistência térmica da vestimenta</i>	13
3.2.6 <i>Taxa de metabolismo</i>	14
3.3 Avaliação de Conforto Térmico: Método do Voto Médio Estimado.....	14
3.4 Conforto Térmico em Espaços Externos.....	18
4 INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO AMBIENTE.....	26

5	AMBIENTE CONSTRUÍDO.....	33
6	AMBIENTE ESCOLAR.....	36
7	ESCALAS DE ABORDAGEM.....	42
8	METODOLOGIA.....	46
8.1	Escalas.....	47
8.2	Espécies Arbóreas.....	49
8.2.1	<i>Seleção das espécies</i>	50
8.2.2	<i>Caracterização geral das espécies selecionadas</i>	51
8.2.3	<i>Caracterização dos indivíduos arbóreos analisados</i>	55
8.2.4	<i>Seleção dos locais de medição</i>	59
8.2.5	<i>Equipamentos</i>	61
8.2.6	<i>Representatividade dos dados</i>	65
8.2.7	<i>Método de tratamento e análise dos resultados</i>	65
8.2.8	<i>Espécies analisadas anteriormente</i>	69
8.3	Escola.....	70
8.3.1	<i>Seleção da escola</i>	72
8.3.2	<i>Descrição do local</i>	72
8.3.3	<i>Salas analisadas</i>	76
8.3.4	<i>Equipamentos</i>	77
8.3.5	<i>Representatividade dos dados</i>	79
8.3.6	<i>Método de tratamento e análise dos resultados</i>	82
9	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	84
9.1	Espécies Arbóreas.....	84
9.1.1	<i>Senna spectabilis</i> (Cassia).....	84
9.1.2	<i>Schinus molle</i> (Aroeira).....	88
9.1.3	<i>Bauhinia variegata</i> (Pata-de-vaca).....	92
9.1.4	<i>Cingingium jambolana</i> (Jambolão).....	96
9.1.5	<i>Clitoria fairchildiana</i> (Sombreiro).....	100
9.1.6	<i>Cedrela fissilis</i> (Cedro-rosa).....	106

9.1.7	<i>Ficus benjamina</i> (Ficus).....	112
9.2	Avaliação da Escola.....	117
9.2.1	<i>Avaliação estatística dos dados</i>	117
9.2.2	<i>Análise dos resultados</i>	120
10	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	131
11	CONCLUSÃO.....	136
12	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	137
	ABSTRACT.....	143
	ANEXO.....	144

LISTA DE FIGURAS

01 – Porcentagem estimada de insatisfeitos (PEI) em função do Voto	
Médio Estimado (VME).....	17
02 – Croqui da escola analisada (sem escala).....	49
03 – <i>Senna spectabilis</i> (Cassia) analisada.....	56
04 – <i>Schinus molle</i> (Aroeira) analisada.....	56
05 – <i>Bauhinia variegata</i> (Pata-de-vaca) analisada.....	57
06 – <i>Clitoria fairchildiana</i> (Sombreiro) analisada.....	57
07 – <i>Cedrela fissilis</i> (Cedro-rosa) analisada.....	58
08 – <i>Cingidium jambolana</i> (Jambolão) analisada.....	58
09 – <i>Ficus benjamina</i> (Ficus) analisada.....	59
10 – Integrador, modelo DL2 da marca DELTA-T Devices.....	61
11 – Termômetro de globo e psicrômetro com ventilação natural.....	62
12 – Termoanemômetro com sensor de hélice.....	63
13 – Desenho esquemático de um solarímetro de tubo.....	63
14 – Resposta espectral de um solarímetro de tubo.....	64
15 – Solarímetro de tubo, modelo TSL, da DELTA-T Devices.....	64
16 – PRODECAD.....	73
17 – Localização do PRODECAD e da FEAGRI.....	74
18 – Planta do PRODECAD.....	75
19 – Sala 05 com as árvores.....	76
20 – Conjunto fixo na sala.....	78
21 – Conjunto de equipamentos colocado em cada sala.....	78
22 – Parede externa do ateliê antes da colocação dos exemplares de Ficus.....	80
23 – Parede externa do ateliê com os exemplares de Ficus.....	80
24 – Parede externa da sala 05 antes da colocação dos exemplares de Ficus.....	81

25 - Parede externa da sala 05 com os exemplares de Ficus.....	81
26 – Radiação solar (Cassia) 29/abril/1999.....	85
27 – Temperaturas do ar e de globo (Cassia) 29/abril/1999.....	85
28 – Umidade relativa do ar (Cassia) 29/abril/1999.....	86
29 - Radiação solar (Aroeira salsa) 26/julho/1999.....	91
30 - Temperaturas do ar e de globo (Aroeira salsa) 26/julho/1999.....	91
31 - Umidade relativa do ar (Aroeira salsa) 26/julho/1999.....	92
32 - Radiação solar (Pata-de-vaca) 12/dezembro/2000.....	93
33 - Temperaturas do ar e de globo (Pata-de-vaca) 12/dezembro/2000.....	94
34 - Umidade relativa do ar (Pata-de-vaca) 12/dezembro/2000.....	94
35 - Radiação solar (Jambolão) 28/novembro/2000.....	97
36 - Temperaturas do ar e de globo (Jambolão) 28/novembro/2000.....	97
37 - Umidade relativa do ar (Jambolão) 28/novembro/2000.....	98
38 - Radiação solar (Sombreiro) 29/junho/2000.....	103
39 - Temperaturas do ar e de globo (Sombreiro) 29/junho/2000.....	104
40 - Umidade relativa do ar (Sombreiro) 29/junho/2000.....	104
41 - Radiação solar (Cedro-rosa) 12/abril/2002.....	110
42 - Temperaturas do ar e de globo (Cedro-rosa) 12/abril/2002.....	111
43 - Umidade relativa do ar (Cedro-rosa) 12/abril/2002.....	111
44 - Radiação solar (Ficus) 02/maio/2002.....	114
45 - Temperaturas do ar e de globo (Ficus) 02/maio/2002.....	114
46 - Umidade relativa do ar (Ficus) 02/maio/2002.....	115
47 – Variação relativa da temperatura ambiente para as sete espécies analisadas.....	116
48 - Variação relativa da temperatura de globo para as sete espécies analisadas.....	116
49 – Temperaturas médias do ar nas salas e no ambiente externo.....	119
50 – Umidades relativas médias do ar nas salas e no ambiente externo.....	120
51 – Voto Médio Estimado; Ateliê (04/abril e 06/maio).....	126
52 - Voto Médio Estimado; Sala 05 (04/abril e 06/maio).....	127
53 - Voto Médio Estimado; Ateliê (08/abril e 30/abril).....	127
54 - Voto Médio Estimado; Sala 05 (08/abril e 30/abril).....	128

LISTA DE TABELAS

01 – Atenuação da radiação solar.....	70
02 - Atenuação da radiação solar.....	86
03 – Voto Médio Estimado.....	87
04 - Voto Médio Estimado.....	87
05 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME ao sol e VME à sombra para a espécie <i>Senna spectabilis</i>	88
06 - Atenuação da radiação solar.....	89
07 - Voto Médio Estimado.....	89
08 - Voto Médio Estimado.....	90
09 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME ao sol e VME à sombra para a espécie <i>Schinus molle</i>	90
10 - Atenuação da radiação solar.....	93
11 - Voto Médio Estimado.....	95
12 - Voto Médio Estimado.....	95
13 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME ao sol e VME à sombra para a espécie <i>Bauhinia variegata</i>	95
14 - Atenuação da radiação solar.....	98
15 - Voto Médio Estimado.....	99
16 - Voto Médio Estimado.....	99
17 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME ao sol e VME à sombra para a espécie <i>Cingidium jambolana</i>	100
18 - Atenuação da radiação solar.....	101

19 - Voto Médio Estimado.....	102
20 - Voto Médio Estimado.....	102
21 - Voto Médio Estimado.....	102
22 - Voto Médio Estimado.....	103
23 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME ao sol e VME à sombra para a espécie <i>Clitoria fairchildiana</i> (sem folhas).....	105
24 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME ao sol e VME à sombra para a espécie <i>Clitoria fairchildiana</i> (com folhas).....	105
25 - Atenuação da radiação solar.....	107
26 - Voto Médio Estimado.....	107
27 - Voto Médio Estimado.....	108
28 - Voto Médio Estimado.....	108
29 - Voto Médio Estimado.....	108
30 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME ao sol e VME à sombra para a espécie <i>Cedrela fissilis</i> (sem folhas).....	109
31 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME ao sol e VME à sombra para a espécie <i>Cedrela fissilis</i> (com folhas).....	110
32 - Atenuação da radiação solar.....	112
33 - Voto Médio Estimado.....	112
34 - Voto Médio Estimado.....	113
35 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME ao sol e VME à sombra para a espécie <i>Ficus benjamina</i>	113
36 – Resultado da comparação de médias da temperatura ambiente (TBS), pelo teste de Tukey a 1%.....	117
37 - Resultado da comparação de médias da temperatura ambiente (TBS), pelo teste de Tukey a 5%.....	118
38 - Resultado da comparação de médias da umidade relativa do ar (UR), pelo teste de Tukey a 1%.....	118
39 - Resultado da comparação de médias da umidade relativa do ar (UR), pelo teste de Tukey a 5%.....	119
40 - Voto Médio Estimado.....	122

41 - Voto Médio Estimado.....	123
42 - Voto Médio Estimado.....	124
43 - Voto Médio Estimado.....	125
44 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME sem árvores e VME com árvores para o ateliê nos dois dias mais quentes.....	128
45 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME sem árvores e VME com árvores para a sala 05 nos dois dias mais quentes.....	129
46 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME com árvores e VME sem árvores para o ateliê nos dois dias mais frios.....	129
47 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME com árvores e VME sem árvores para a sala 05 nos dois dias mais frios.....	130
48 - Atenuação da radiação solar nas árvores analisadas.....	131
49 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME ao sol e VME à sombra maior que 2,00.....	133
50 – Tabela geral da atenuação da radiação solar incidente para todas as árvores analisadas.....	134

LISTA DE QUADROS

01 – Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o “CLIMA URBANO”.....	43
02 – Espécies arbóreas mais utilizadas pela Prefeitura Municipal de Campinas.....	50
03 – Locais das medições.....	60

RESUMO

Bueno-Bartholomei, Carolina Lotufo. Influência da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2003. 189 p. Tese (Doutorado).

Este trabalho teve como premissa que diferentes espécies arbóreas apresentam comportamentos distintos quanto à atenuação da radiação solar. Também considerou que o sombreamento por árvores de fachadas de edificações expostas ao sol pode melhorar o desempenho térmico da mesma. Dessa forma, este trabalho avaliou, na primeira parte, a atenuação da radiação solar por diferentes espécies arbóreas e o conforto térmico proporcionado pelas mesmas, por meio de dados experimentais de radiação solar incidente, temperaturas do ar e de globo, assim como valores de umidade relativa. Na segunda parte, foi avaliada a melhoria do conforto térmico em duas salas de aula depois da colocação de algumas árvores na área externa. Os dados foram coletados sob as copas das árvores estudadas e ao sol simultaneamente. Foram calculadas as porcentagens de atenuação da radiação solar para cada árvore, assim como as variações relativas das temperaturas do ar e de globo. A análise da influência das diferentes espécies arbóreas no conforto térmico de ambientes externos foi realizada pelo método do Voto Médio Estimado, e pelos valores das atenuações da radiação solar obtidos. As espécies analisadas foram: *Senna spectabilis*, *Schinus molle*, *Bauhinia variegata*, *Cingidium jambilana*, *Clitoria fairchildiana*, *Cedrela fissilis* e *Ficus benjamina*. Os resultados mostraram que a *Bauhinia variegata* teve um dos melhores desempenhos quanto à atenuação da radiação solar e melhoria do conforto térmico. Na segunda parte do trabalho, foi realizada uma quantificação das possíveis melhorias, proporcionadas por uma das espécies arbóreas, no conforto térmico de duas salas de aula de uma escola de primeiro grau, localizada no campus da Universidade Estadual de Campinas. Num primeiro estágio os parâmetros de conforto – temperatura, umidade relativa, temperatura de globo e velocidade do ar – foram medidos nas duas salas de aula com a situação “sem vegetação” ao longo de quinze dias. Depois disso, numa segunda etapa, quatro exemplares de *Ficus benjamina* (plantadas em grandes vasos) foram colocadas de modo a proteger as fachadas mais expostas ao sol das duas salas de aula analisadas. Novamente foram realizadas medições dos parâmetros ambientais durante mais quinze dias, agora com as salas sombreadas. Além disso, parâmetros climáticos externos foram coletados em uma Estação Meteorológica do campus da UNICAMP próxima à escola. Foi observado que, em média, as temperaturas na situação “com árvores” foram 1,5°C menores que aquelas na situação “sem árvores”.

Palavras chave: Conforto térmico; Radiação solar; Vegetação e clima; Edificação escolar; Microclimatologia.

1 INTRODUÇÃO

A sensação de bem-estar dos usuários de uma edificação está relacionada às condições estabelecidas pela interação entre a edificação e o ambiente ao seu redor. Essa interação é, provavelmente, o critério mais determinante do sucesso de um projeto e da valorização da qualidade dos ambientes internos e externos de uma edificação.

Nos ambientes externos, o bem-estar está ligado, além dos aspectos psicológicos, à sensação fisiológica do indivíduo num meio ambiente complexo. Dessa forma, o estudo do conforto fisiológico requer o conhecimento das relações do organismo humano com os componentes climáticos. Já nos ambientes internos tem-se um maior controle sobre as variáveis ambientais, o que de certa forma facilita sua análise.

O conforto ambiental está ainda relacionado à qualidade de vida das pessoas. A preocupação com essa qualidade tem se manifestado fortemente nos últimos anos, com o crescimento da consciência ambiental.

Conforto ambiental significa sensação de bem-estar, relacionada aos fatores ambientais (temperatura ambiente, umidade relativa, velocidade do ar, níveis de iluminação, níveis de ruído entre outros) e à funcionalidade, levando-se sempre em consideração que as sensações variam de pessoa para pessoa. Assim, as condições ambientais de conforto são aquelas que propiciam bem-estar ao maior número possível de pessoas.

Este trabalho teve como premissa que diferentes espécies arbóreas apresentam comportamentos distintos quanto à atenuação da radiação solar. Uma outra hipótese também considerada foi que o sombreamento, por meio de árvores, de fachadas de edificações expostas ao sol pode melhorar o desempenho térmico desses ambientes. Assim, deu-se continuidade ao estudo sobre a atenuação da radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas, desenvolvido na dissertação de mestrado da autora (Bueno, 1998), e avaliou-se a influência de uma das espécies estudadas na melhoria dos parâmetros de conforto no interior de uma edificação, uma escola de primeiro grau de Campinas, SP.

Na dissertação de mestrado, Bueno (1998) propôs uma metodologia para o estudo da atenuação da radiação solar por diferentes espécies arbóreas, a partir de medições de radiação solar, temperaturas de globo e ambiente, e umidade relativa. Foram analisadas cinco espécies (Jatobá, Chuva-de-ouro, Magnólia, Ipê Roxo e Sibipiruna) quanto à melhoria do microclima proporcionado pela sombra das mesmas. Analisando-se os resultados, foi possível observar que a Sibipiruna, o Jatobá e a Chuva-de-ouro apresentaram o melhor desempenho, seguidos da Magnólia e do Ipê Roxo respectivamente.

Neste trabalho, foram analisadas mais algumas espécies: *Cassia* (*Senna spectabilis*), *Aroeira salsa* (*Schinus molle*), *Pata-de-vaca* (*Bauhinia variegata*), *Jambolão* (*Coringium jombolana*), *Sombreiro* (*Clitoria fairchildiana*), *Cedro-rosa* (*Cedrela fissilis*) e *Ficus* (*Ficus benjamina*), de acordo com a metodologia citada acima. Além disso, com base nos dados obtidos em campo e por meio de programa de computador, que utiliza o critério de conforto térmico de Fanger (1970), foi calculado o Voto Médio Estimado (VME) (ISO 7730, 1994) para a avaliação do conforto térmico proporcionado pelos indivíduos arbóreos estudados. Dessa maneira, foi possível fornecer indicações sobre qual ou quais espécies arbóreas melhor contribuem para o estabelecimento de condições adequadas de conforto térmico.

A fim de se obter uma comprovação experimental da contribuição das árvores para o conforto térmico de ambientes internos, foram avaliadas, segundo o método do VME, duas salas de aula de uma escola sem arborização e em seguida com arborização. Foram realizadas medições dos parâmetros climáticos em uma escola de primeiro grau (localizada dentro do campus da UNICAMP). Essa escola não possui arborização próxima à edificação e a proposta para este estudo foi uma primeira avaliação da escola como se encontrava normalmente e, depois, a realização de novas medições dos parâmetros ambientais com a distribuição de

exemplares da espécie *Ficus benjamina* em posições previamente determinadas. A escolha dessa espécie foi devida única e exclusivamente à sua disponibilidade nos viveiros em condições adequadas à realização do experimento na época prevista, devendo-se lembrar que suas raízes prejudicam instalações subterrâneas e pisos. Dessa forma, a escola foi analisada em duas situações: sem árvores e com “arborização”, a fim de se poder comparar a influência da vegetação em ambientes internos da edificação.

Assim, essa parte do estudo ficou dividida da seguinte maneira: quinze dias de medições sem arborização; colocação dos exemplares nos locais mais adequados (observando o levantamento *in loco*); mais quinze dias de medições, dessa vez com as árvores em suas devidas posições.

Neste trabalho é focado o aspecto térmico do conforto ambiental. A proposta é investigar qualitativamente a melhoria do microclima de um determinado ambiente através do estudo do controle da radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas, ou seja, da observação experimental das relações entre a radiação solar que atravessa as copas das árvores e a intensidade de calor cedida ao meio. A fim de se obter as porcentagens de radiação atenuadas pelo indivíduo arbóreo analisado, assim como a melhoria do microclima proporcionada pelo mesmo, os equipamentos (solarímetro de tubo, termômetros de bulbo seco, bulbo úmido e globo) foram colocados à sombra da árvore e em campo aberto simultaneamente. Com os dados à sombra e ao sol pôde-se fazer uma comparação entre a proteção fornecida pela árvore e a exposição direta à radiação solar. Para tanto foi utilizada a metodologia proposta por Bueno (1998).

Com base nos dados obtidos em campo e por meio de programas de computador, foi feita também a avaliação do conforto térmico proporcionado pelo indivíduo arbóreo estudado. Assim, foi possível fornecer indicações sobre qual ou quais espécies arbóreas melhor contribuem para o estabelecimento de condições adequadas de conforto térmico em determinada edificação, sempre tendo em mente a preocupação em lidar com espécies “comuns”, isto é, encontradas pelas ruas dos centros urbanos (neste caso, aquelas mais utilizadas pela Prefeitura Municipal de Campinas para a arborização da cidade), a fim de facilitar a utilização prática das sugestões que foram propostas, pois qualquer pessoa teria fácil acesso às espécies avaliadas. Além dessa análise, foi feito um estudo sobre como a presença de uma

das espécies arbóreas estudadas neste projeto poderia melhorar as condições de conforto térmico de uma edificação no período quente.

Cabe lembrar que a escolha de uma escola para a avaliação de conforto se deve ao fato dessas edificações serem locais onde a necessidade de conforto térmico é muito grande. Isso ocorre devido ao tipo de atividade exercida, exigindo concentração e atenção por parte, principalmente, dos alunos. É fato conhecido que, sob condições adversas, como por exemplo excesso de ruído ou calor muito forte, o rendimento dessas pessoas fica reduzido, impedindo que o aprendizado seja adequado. Além disso, são locais onde circula um grande número de pessoas que exercem praticamente as mesmas funções, tornando mais objetiva a avaliação de sua ocupação e a comparação entre eles.

Através do estudo da atenuação da radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas, pretende-se contribuir para que uma solução prática e barata, como o plantio de árvores, possa ajudar na melhoria do conforto térmico no interior e no entorno das edificações. Essa melhoria traria, entre outros benefícios, uma aclimatação adequada do ambiente interno sem grandes gastos com reformas ou instalações de equipamentos para o resfriamento de ambientes, principalmente em escolas públicas onde a contenção de gastos é de grande importância.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi comprovar e quantificar, por meio de avaliações de conforto térmico, a contribuição das árvores para a melhoria do microclima no seu entorno e no interior das edificações.

2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos deste trabalho tem-se:

- Obtenção dos valores das atenuações de radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas.
- Avaliação do conforto térmico proporcionado pelos indivíduos arbóreos analisados utilizando-se o método do Voto Médio Estimado (VME), preconizado pela norma ISO 7730 (1994).

- Obtenção de parâmetros ambientais para estudo do conforto térmico no interior de um ambiente escolar, em situações com e sem sombreamento arbóreo.

- Avaliação de conforto térmico em duas salas de aula da escola selecionada, utilizando-se o método do Voto Médio Estimado (VME), preconizado pela norma ISO 7730 (1994), em situações com e sem sombreamento arbóreo.

3 CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico está diretamente relacionado à sensação de bem-estar do homem. O organismo humano, por meio da evolução ao longo de milhares de anos, desenvolveu alguns mecanismos que permitem sua adaptação ao meio a fim de obter essa sensação de bem-estar.

Segundo Ruas (1999), a preocupação científica do homem com o seu conforto térmico é bastante antiga. Como exemplo, ele cita a obra "History and Art of Warming and Ventilation Rooms and Buildings", escrita por Walter Bernan e publicada em 1845. Nessa obra, Bernan prevê "que a criação e o controle de ambientes climáticos artificiais assumirão a dimensão de uma ciência que contribuirá para o desenvolvimento da humanidade, para a preservação da saúde e para a longevidade do ser humano".

Pesquisas realizadas desde o início do século XX mostram que o conforto térmico está fortemente relacionado com o equilíbrio térmico do corpo humano e que fatores ambientais e pessoais podem influenciar esse equilíbrio.

Para uma melhor definição de conforto térmico pode-se dizer que ele é a combinação satisfatória, num determinado ambiente, da temperatura radiante média, temperatura do ar, velocidade do ar e umidade relativa com as vestimentas usadas pelas pessoas nesse ambiente e a atividade desenvolvida, resultando em sensação de bem-estar.

Cabe ressaltar que o corpo humano é um sistema termodinâmico que produz calor e interage termicamente com o meio a seu redor. Dessa forma, pode-se resumir as trocas de calor entre o corpo e o ambiente utilizando-se a seguinte equação:

$$C_{\text{met}} + C_{\text{conv}} + C_{\text{rad}} - C_{\text{ev}} = \pm Q \quad [3.1]$$

onde

C_{met} – Parcela da energia metabólica transformada em calor (W/m^2).

C_{conv} – Calor trocado por convecção (W/m^2).

C_{rad} – Calor trocado por radiação (W/m^2).

C_{ev} – Calor perdido por evaporação do suor (W/m^2).

Q – Calor total trocado pelo corpo (W/m^2).

Quando o calor total trocado pelo organismo (Q) é igual a zero, este está em equilíbrio térmico, isto significa que a primeira condição para se obter o conforto térmico está cumprida. Porém, segundo Ruas (1999), essa condição é necessária, mas não suficiente, devido ao desconforto ocorrer mesmo quando o equilíbrio térmico do corpo é mantido pela ação do sistema termorregulador.

3.1 Trocas Térmicas entre o Homem e o Ambiente

No balanço térmico do organismo, o excedente do calor metabólico produzido tem que ser dissipado para o meio a fim de se manter a temperatura interna do corpo constante. Existem três mecanismos de trocas térmicas entre o homem e o ambiente: radiação, convecção e evaporação.

3.1.1 Radiação térmica

A radiação é o processo pelo qual a energia radiante é transmitida de uma superfície quente para outra fria por meio de ondas eletromagnéticas. Essas ondas ao atingirem a superfície fria transformam-se em calor. A energia radiante é transmitida constantemente por todos os corpos que possuem temperatura superior ao zero absoluto. Se uma pessoa está numa sala e a temperatura de seu corpo é superior a das paredes do ambiente, esse indivíduo irá transmitir energia radiante para essas superfícies. Já se a maior temperatura for das paredes, estas transmitirão energia radiante para a pessoa em questão. A quantidade de energia transmitida por radiação térmica varia conforme a temperatura superficial do corpo e não depende do ar ou de qualquer outro meio para se propagar.

3.1.2 Convecção

A remoção do calor por convecção ocorre quando o ar ambiente possui uma temperatura inferior à do organismo, dessa forma o corpo transfere calor pelo contato com o ar frio a seu redor. O aquecimento do ar provoca um movimento de ascensão, assim, o ar quente sobe e o ar frio ocupa seu lugar formando um ciclo de convecção. No caso da temperatura do ar ser igual à do corpo, não ocorrerá troca térmica por esse processo. Já quando a temperatura do organismo é inferior à do ambiente, este último cederá calor para o corpo, invertendo-se o mecanismo.

3.1.3 Evaporação

Se as condições do ambiente não permitem que o corpo humano perca calor por convecção ou radiação de forma suficiente a regular sua temperatura interna, o organismo aumenta a atividade das glândulas sudoríparas e perde calor pela evaporação do suor formado na pele. Esse é um processo endotérmico, isto é, para que ocorra é preciso calor cedido pelo

corpo: um líquido evapora sobre uma superfície quente extraindo calor dessa superfície, resfriando-a.

3.2 Fatores que Influenciam as Trocas Térmicas

Existem alguns fatores que influenciam os processos de troca de calor entre o corpo humano e o ambiente, interferindo dessa forma no conforto térmico das pessoas.

As variáveis envolvidas no conforto térmico podem ser de natureza ambiental ou pessoal. As ambientais são: temperatura do ar (T_a), umidade relativa (UR), velocidade do ar (v) e temperatura radiante média (T_{rm}). E as pessoais: tipo de vestimenta (isolamento térmico) e atividade física executada (taxa de metabolismo).

3.2.1 *Temperatura do ar*

A quantidade de calor removido do corpo por convecção é inversamente proporcional à temperatura do ar ambiente, ou seja, quanto menor for a temperatura do ar, maior a remoção. Já quando a temperatura do ar for maior que a do organismo, o primeiro cederá calor ao corpo. Para o caso da evaporação, a influência da temperatura do ar vai depender da umidade relativa e da velocidade do ar.

3.2.2 *Umidade relativa do ar*

A umidade relativa do ar, numa determinada temperatura, é a razão entre o número de gramas de vapor d'água existente em 1 m^3 de ar e a quantidade máxima de gramas de vapor d'água que 1 m^3 pode conter, quando está saturado naquela temperatura (RUAS, 1999). A umidade relativa varia conforme a temperatura do ar. Quando a temperatura do ar aumenta, a

quantidade máxima de vapor de água que 1 m³ pode conter também aumenta, assim como, quando a temperatura abaixa a quantidade máxima de vapor também diminui. No caso da remoção de calor por evaporação, a baixa umidade do ar permite que este, estando relativamente seco, absorva a umidade da pele mais rapidamente, resfriando-a num menor tempo. Quando a umidade relativa é alta esse efeito fica prejudicado.

3.2.3 Velocidade do ar

Para a análise da capacidade de contribuição da ventilação na remoção do calor do corpo humano é preciso conhecer a temperatura e a umidade relativa do ar. Quando a temperatura do ar é inferior à da pele e o ar não está saturado, os processos de evaporação e convecção aumentam diretamente com o aumento da velocidade do ar porque a umidade do corpo é retirada mais rapidamente (ar não saturado) e a velocidade da troca de ar que rodeia o corpo é maior (maior ventilação). Vale lembrar que com a diminuição da ventilação os processos também diminuem.

3.2.4 Temperatura radiante média

A temperatura radiante média pode ser definida como a temperatura superficial uniforme de um ambiente imaginário constituído por superfícies negras, com a qual uma pessoa, também admitida como superfície negra, troca a mesma quantidade de calor por radiação que aquela trocada com o ambiente real não uniforme.

Segundo Ruas (1999), a temperatura radiante média de um ambiente em relação a uma pessoa é determinada utilizando-se os valores da temperatura de globo, da velocidade do ar na altura do globo e da temperatura do ar (temperatura ambiente).

A temperatura de globo pode ser definida como a temperatura de equilíbrio medida no centro de uma esfera oca, pintada externamente de preto fosco. A medição da temperatura no interior da esfera é efetuada com um termômetro de mercúrio com escala mínima de 0 a 50 °C,

precisão mínima de $\pm 0,1$ °C, exatidão de $\pm 0,5$ °C e com tempo de resposta adequado ao número de medidas a serem executadas.

A esfera deve ter aproximadamente 1 mm de espessura e teoricamente qualquer diâmetro, uma vez que ele é uma das variáveis das equações de cálculo da T_{rm} (Temperatura Radiante Média). Contudo, quanto menor ele for, maiores serão as influências da temperatura ambiente e da velocidade do ar.

O princípio do cálculo da T_{rm} é que, estando o globo em equilíbrio térmico com o ambiente, o calor trocado por radiação entre o globo e as superfícies circundantes é igual ao calor trocado por convecção entre o globo e o ar. Como a espessura do globo é pequena, a temperatura do ar confinado nele é aproximadamente igual à temperatura da superfície do globo. Conhecendo-se a temperatura superficial do globo é possível determinar a T_{rm} .

Como pode-se ver, a temperatura de globo está relacionada com o calor trocado por convecção, que por sua vez, depende da velocidade do ar que incide sobre o globo. Essa dependência é contabilizada pelo coeficiente de troca de calor por convecção (h_c) que corresponde a:

$$\text{Convecção Natural} \Rightarrow h_c = 1,4 \cdot \left(\frac{|t_g - t_a|}{d} \right)^{0,25} \quad [3.2]$$

$$\text{Convecção Forçada} \Rightarrow h_c = 6,3 \cdot \frac{v^{0,6}}{d^{0,4}} \quad [3.3]$$

onde $h_c \Rightarrow$ coeficiente de troca de calor por convecção ($W/m^2 \cdot ^\circ C$);

$t_g \Rightarrow$ temperatura de globo ($^\circ C$);

$t_a \Rightarrow$ temperatura ambiente ($^\circ C$);

$d \Rightarrow$ diâmetro do globo (m);

$v \Rightarrow$ velocidade do ar na altura do globo (m/s).

Dessa forma, quando $v > 0$, o cálculo da T_{rm} só pode iniciar após conhecer-se a real participação da velocidade do ar na troca por convecção. Isso é feito determinando-se h_c para a convecção natural e para a forçada. O maior valor de h_c definirá se a T_{rm} deve ser calculada para a convecção natural ou para a forçada.

A equação geral para o cálculo da T_{rm} com convecção natural é:

$$T_{rm} = \left[(t_g + 273)^4 + 0,25 \cdot \frac{10^8}{\varepsilon} \cdot \left(\frac{|t_g - t_a|}{d} \right)^{0,25} \cdot (t_g - t_a) \right]^{0,25} - 273 \quad [3.4]$$

onde $T_{rm} \Rightarrow$ temperatura radiante média ($^{\circ}\text{C}$);

$t_g \Rightarrow$ temperatura do termômetro de globo ($^{\circ}\text{C}$);

$t_a \Rightarrow$ temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$);

$v \Rightarrow$ velocidade do ar na altura do globo (m/s);

$\varepsilon \Rightarrow$ emissividade do globo;

$d \Rightarrow$ diâmetro do globo (m).

E a equação geral para o cálculo da T_{rm} com convecção forçada é:

$$T_{rm} = \left[(t_g + 273)^4 + 1,1 \cdot \frac{10^8 \cdot v^{0,6}}{\varepsilon \cdot d^{0,4}} \cdot (t_g - t_a) \right]^{0,25} - 273 \quad [3.5]$$

3.2.5 Resistência térmica da vestimenta

Segundo Ruas (1999), a remoção do calor do corpo é dificultada pela roupa, pois esta diminui as trocas térmicas por convecção, formando um obstáculo entre o ar e a pele. Além disso, diminui o processo de evaporação do suor num grau que varia conforme a

permeabilidade da roupa ao vapor d'água. Roupas mais impermeáveis dificultam o processo. Para as trocas térmicas por radiação, a interferência da vestimenta depende principalmente da emissividade e absorvância de radiação da roupa e do comprimento de onda da radiação. Para as radiações de ondas longas, a emissividade é igual a absorvância podendo ser considerada igual a 1 para a pele e 0,95 para as roupas comuns, independente da cor. Já para as de ondas curtas, a absorvância depende da pigmentação da pele e da cor da roupa, sendo maior para as tonalidades escuras. Assim, pode-se dizer que em ambientes que predominem as radiações de onda longa, a vestimenta terá pouca influência nas trocas térmicas por radiação. Já nos ambientes onde existam muitas fontes de radiação de onda curta, as roupas de cor clara absorverão menor quantidade de radiação do que as escuras. Por outro lado, a roupa promove um certo isolamento térmico, pois acrescenta resistência à transferência de calor entre o organismo e o meio.

3.2.6 Taxa de metabolismo

A taxa de metabolismo está diretamente relacionada à atividade física executada. No processo metabólico, o homem produz, a partir da transformação dos alimentos, a energia que é consumida na manutenção das funções vitais e na realização de trabalhos mecânicos externos (atividade muscular). O restante dessa produção de energia é liberado na forma de calor. Dessa forma, o aumento do esforço físico executado aumenta a taxa de metabolismo e a conseqüente liberação do calor.

3.3 Avaliação de Conforto Térmico: Método do Voto Médio Estimado

Fanger (1967) elaborou uma equação que permite, para determinada combinação de variáveis pessoais, o cálculo de todas as combinações das variáveis ambientais que produzem o conforto térmico. Essa relação foi chamada de equação de conforto. Contudo, nas aplicações

práticas, era necessário conhecer-se o grau de desconforto experimentado pelas pessoas em ambientes que têm condições diferentes daquelas de conforto térmico.

Fanger (1970) aproximou-se de um índice ambiental universal partindo do princípio que uma pessoa sente sua própria temperatura e não a do ambiente. Ele estipulou três requisitos para atingir o conforto térmico:

- o corpo deve estar em equilíbrio térmico com o ambiente, isto é, a taxa de calor perdido para o ambiente deve equilibrar a taxa de calor produzido pelo organismo. Isto implica em um estado estacionário dinâmico.

- a sensação térmica está relacionada à temperatura da pele, e portanto a temperatura média da pele, t_s , deve estar em um nível apropriado. As medidas demonstram que t_s decresce com o aumento da taxa metabólica.

- deve haver uma taxa de transpiração adequada, ou seja, pessoas em atividade sedentária tendem a não suar. A taxa de transpiração aumenta com a taxa metabólica.

Estes requisitos podem ser resumidos pela definição de conforto térmico da ASHRAE: 'aquela condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico'.

Fanger (1970) utilizou a equação de balanço de calor para determinar um valor para os diferentes graus de sensação usando, além de seus próprios dados experimentais, outros dados publicados para diferentes níveis de atividade. O índice de sensação térmica adotado por Fanger é baseado em uma escala psicofísica de sete pontos:

- muito frio: - 3
- frio: - 2
- pouco frio: - 1
- neutro: 0
- pouco quente: + 1
- quente: + 2
- muito quente: + 3

Essa escala é simétrica em relação ao ponto 0 (zero), que corresponde ao conforto térmico e apresenta valores de 1 a 3 que podem ser positivos, correspondendo às sensações de calor, ou negativos, correspondendo às sensações de frio.

A relação entre as sensações térmicas da escala estabelecida e as variáveis que influenciam o conforto térmico foi encontrada por Fanger (1970) analisando as informações de várias experiências em que mais de 1300 pessoas foram expostas, de forma controlada, a diversas combinações das variáveis ambientais e pessoais de conforto. Os valores das variáveis eram mantidos constantes por 3 horas e, a cada 30 minutos, cada pessoa expressava por meio de voto escrito a sua sensação térmica. Dessa forma, Fanger elaborou uma equação que permitia obter a sensação térmica para qualquer combinação das variáveis ambientais e pessoais de conforto. Como as sensações foram obtidas mediante o voto, Fanger as denominou Voto Médio Estimado (VME).

O Voto Médio Estimado (VME) representa a sensação térmica de um grupo de pessoas quando expostas a determinada combinação das variáveis pessoais e ambientais de conforto.

As experiências realizadas por Fanger (1970), Rohles (1970) e Nevins et al. (1966), citados por Ruas (1999), provaram que é impossível obter em um ambiente uma combinação das variáveis de conforto que satisfaça plenamente todos os integrantes de um grande grupo; sempre existirão insatisfeitos.

Assim, na prática, era necessário relacionar o VME com a porcentagem de insatisfeitos num determinado ambiente. Foi o que fez Fanger, utilizando as informações das suas experiências e as de Rohles (1970) e Nevins et al. (1966). Esta taxa foi chamada de porcentagem estimada de insatisfeitos (PEI) e é mostrada na Figura 01 e na Equação [3.6]. A figura mostra a porcentagem de insatisfeitos para cada valor de VME. Pode-se notar que, para uma condição de neutralidade térmica ($VME = 0$), existem 5% de insatisfeitos e que, em virtude da simetria da curva em relação ao ponto de $VME = 0$, sensações equivalentes de calor e de frio (mesmo VME em valores absolutos), corresponderão a igual porcentagem de insatisfeitos (RUAS, 1999).

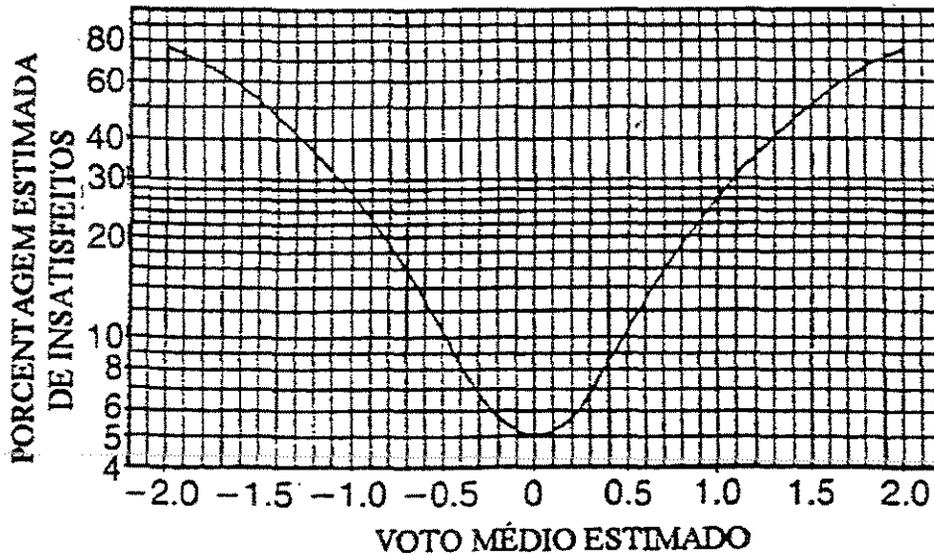


FIGURA 01 - Porcentagem estimada de insatisfeitos (PEI) em função do voto médio estimado (VME)

FONTE – Adaptado de FANGER (1970), p. 131.

A equação utilizada para o cálculo da Porcentagem Estimada de Insatisfeitos considera o valor do VME (ISO 7730, 1994) da seguinte forma:

$$PEI = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353 \cdot VME^4 + 0,2179 \cdot VME^2)} \quad [3.6]$$

onde

VME \Rightarrow Voto Médio Estimado;

PEI \Rightarrow Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (%).

Como foi dito anteriormente, a unanimidade de um grande grupo com relação ao conforto térmico é impossível, portanto a definição das variáveis pessoais e ambientais de conforto é dependente da porcentagem aceitável de pessoas insatisfeitas. Nesse sentido, sugere-se o especificado na norma ASHRAE 55 (1992), que considera um ambiente termicamente confortável quando este satisfaz pelo menos 80% dos seus ocupantes, o que pela Figura 01 corresponde a $-0,82 < VME < +0,82$.

3.4 Conforto Térmico em Espaços Externos

Nos últimos anos, inúmeras pesquisas têm sido realizadas com o intuito de se conhecer melhor o conforto térmico dos ambientes externos. Pesquisas desse tipo são mais complexas se comparadas com aquelas que envolvem os ambientes internos, devido a fatores como velocidade do vento e radiação solar incidente não poderem ser diretamente controlados. Dessa forma, o clima de uma dada região é determinado pelo padrão das variações dos vários elementos climáticos e suas combinações. Dentre esses elementos, os principais a serem considerados, segundo Givoni (1981) são: radiação solar, temperatura do ar, umidade, ventos e precipitações.

De acordo com Mascaró (1996), a informação climática deve ser considerada em três níveis: macroclima, mesoclima e microclima. “Os dados macroclimáticos são obtidos nas estações meteorológicas e descrevem o clima geral de uma região, dando detalhes de insolação, nebulosidade, precipitações, temperatura, umidade e ventos. Os dados mesoclimáticos, nem sempre de fácil obtenção, informam as modificações do macroclima provocadas pela topografia local como vales, montanhas, grandes massas de água, vegetação ou tipo de coberturas de terreno como, por exemplo, salitreiras. No microclima são levados em consideração os efeitos das ações humanas sobre o entorno, assim como a influência que estas modificações exercem sobre a ambiência dos edifícios”.

Segundo Mendonça & Assis (2001), “o estudo sobre o conforto térmico urbano é um importante indicador do impacto da ocupação humana na alteração do clima local”.

Entre os estudos sobre conforto térmico em espaços externos pode-se citar o do centro histórico e comercial de Maceió (AL) realizado por Fernandes & Barbirato (2001). Nesse estudo, foram identificados microclimas particulares dessa região da cidade, originados devido à pouca quantidade de áreas verdes, grande volume de massa edificada e pavimentação, além de tráfego intenso e má disposição das edificações. Os prédios, segundo os autores, formam grandes “paredões” que prejudicam a circulação do vento, pois a maioria não possui recuos laterais. Para a análise, foram realizadas medições móveis de temperatura do ar e umidade relativa durante três dias no período de chuvas (agosto) e três dias no período seco (novembro). Os dados da estação meteorológica do aeroporto local, referentes a esses dias de

medições, também foram coletados. Os horários das medições (10:00 h, 12:00 h, 14:00 h e 16:00 h) foram estabelecidos de forma a facilitar o percurso e o mapeamento dos resultados. Em sua análise final, Fernandes & Barbirato (2001) concluem que o ponto situado em uma praça bastante arborizada apresenta regularmente, para os dois períodos, os menores valores de temperatura do ar, enquanto que o ponto localizado numa praça pavimentada (estacionamento) apresenta os maiores valores em todos os horários de medição. Nos outros pontos, os valores foram intermediários.

Outro trabalho relevante quanto ao conforto térmico em ambientes externos foi realizado por Ait-Ameur (2000). A fim de se obter um maior conhecimento das relações do organismo humano com os componentes climáticos, o autor qualificou o conforto térmico de pessoas em ambientes externos, por meio da determinação das condições ambientais e de parâmetros físicos favoráveis e desfavoráveis ao seu bem-estar. Pelo cálculo do voto médio estimado (VME) em ambientes externos, foram determinadas as sensações térmicas individuais de acordo com cada característica climática externa, baseadas nas condições de conforto implementadas por Fanger (1987), citado por Ait-Ameur (2000), para ambientes internos. Em suas conclusões, o autor afirma que o estudo do conforto térmico do indivíduo em espaços externos impõe uma qualificação das condições ambientais externas e o estudo dos componentes físicos climáticos, que atingiriam intimamente ou com grande intensidade a percepção do usuário. Esses parâmetros têm uma função de estímulo, a partir do qual o indivíduo expressa uma reação fisiológica positiva ou negativa permitindo que seu corpo se adapte a um determinado meio físico. A experimentação revelou que cada parâmetro tem a sua influência, mas em variados graus e de acordo com as diferentes condições atmosféricas. Eles podem ser perturbadores ou propícios ao equilíbrio térmico do corpo. Pôde-se então notar que a fim de se avaliar o conforto fisiológico individual externo seria mais significativo agir nos elementos de distúrbio do conforto sob condições que provocam esses distúrbios, que nos elementos propícios ao conforto. A ação sobre os elementos de desequilíbrio estaria principalmente na proteção da radiação solar e das altas velocidades do ar, predominantes em ambientes externos.

Já os autores Arens & Bosselmann (1989) descreveram um procedimento para avaliar o conforto térmico das pessoas em ambientes externos e mostraram sua aplicação na determinação dos efeitos da verticalização e adensamento urbanos em torno de espaços públicos no centro de São Francisco (EUA). A avaliação foi baseada num modelo de

computador do sistema termorregulador humano, rodado com dados climáticos horários de um ano típico. Os dados climáticos foram sintetizados para levar em consideração a influência da cidade nos ventos e na luz do sol. As influências do vento foram estimadas por meio de testes em um túnel de vento, e a disponibilidade de luz do sol por um dos muitos tipos de análise de sombreamento. Os autores concluíram que, para a cidade de São Francisco, a influência solar foi mais importante que a influência do vento na diminuição do conforto térmico do centro de São Francisco.

Segundo Taha (1997), as áreas urbanas do hemisfério norte anualmente têm uma média de 12 % menos radiação solar, 8 % mais nuvens, 14 % mais chuvas, 10 % mais neves e 15% mais tempestades de raios que suas áreas rurais. As concentrações urbanas de poluentes podem ser dez vezes maiores que aquelas de uma atmosfera “limpa” e as temperaturas do ar podem ser em média 2 °C mais altas. O autor afirma que as ilhas de calor podem ocorrer em diversas escalas diferentes, podendo se manifestar ao redor de uma única edificação ou em uma ampla porção da cidade. Dependendo da localização geográfica e das condições climáticas reinantes, as ilhas de calor podem ser benéficas ou prejudiciais aos moradores da área urbana e usuários de energia. As causas e efeitos dos climas urbanos e das ilhas de calor são diversos e sua interação muito complexa.

Ainda com relação às áreas urbanas e rurais, Lombardo & Quevedo Neto (2001) avaliaram as transformações da paisagem em torno das áreas metropolitanas e as repercussões dessas transformações sobre o clima urbano. A área escolhida para esse estudo foi a Região Metropolitana de São Paulo. As mudanças no uso e ocupação do solo no entorno das cidades, a diminuição da vegetação natural e da qualidade da cobertura vegetal, assim como a proliferação de atividades urbanas nessas áreas, podem acarretar a expansão do fenômeno ilha de calor para além das áreas urbanas efetivas. O aumento da extensão da chamada ilha de calor diminuiria, segundo os autores, a capacidade do campo, em torno das cidades, de amenizar as conseqüências das atividades urbanas sobre o clima das cidades. Na maioria dos casos, os trabalhos sobre ambientes urbanos são restritos aos limites políticos-administrativos ou a área urbana efetiva, “desconsiderando a área de transição entre o rural e o urbano que ultrapassa em muito os limites da área das regiões metropolitanas atualmente estabelecidas”. As paisagens da área de transição urbano-rural são consideradas mais críticas, devido à intensidade e velocidade das transformações e à extensão dessas áreas. De acordo com Lombardo & Quevedo Neto (2001), “o clima urbano deve ser avaliado como um modelo da

interface cidade-campo e a atmosfera local". Além disso, sob o aspecto do planejamento, os estudos sobre a transformação da paisagem no entorno das grandes cidades pode levar à implementação de planos de uso e ocupação do solo que preservem aquelas superfícies, cujas características termodinâmicas contribuam para a melhoria do ambiente das cidades.

Recentemente, um projeto de pesquisa que envolve a União Européia tem rendido vários artigos onde a preocupação com o conforto ambiental em espaços externos é o ponto principal. O nome desse projeto é RUROS ("Rediscovering the urban realm and open spaces"), que em português pode ser traduzido como: Redescobrimo a Área Urbana e os Espaços Abertos, e é uma parte do "Key Action 4" – "City of Tomorrow and Cultural Heritage" (Cidade do Amanhã e Patrimônio Cultural) no programa "Energy, Environment and Sustainable Development" (Energia, Ambiente e Desenvolvimento Sustentável) dentro do quinto programa de estruturação da União Européia. O projeto está sendo realizado em oito cidades européias (Atenas – Alimos; Cambridge; Copenhagen; Fribourg; Kassel; Milão; Sheffield e Thessaloniki) a fim de produzir diretrizes e ferramentas de projeto comuns e válidas para toda Europa. Em cada cidade foram selecionados dois espaços externos onde estão sendo conduzidas pesquisas de parâmetros ambientais além daquelas com os usuários dos locais. O levantamento dos parâmetros ambientais inclui o monitoramento das partes térmicas, visuais e acústicas do meio através das medições de temperatura de globo, umidade relativa, temperaturas de bulbo seco e úmido, iluminação, velocidade do ar e nível de pressão sonora. Esses parâmetros são medidos seqüencialmente em cinco pontos fixos dos locais escolhidos três vezes por dia (pela manhã, ao meio dia e à tarde) durante uma semana em cada estação por ano. Paralelamente, os usuários desses espaços são convidados a responder um questionário, descrevendo sua percepção das condições térmicas, visuais e acústicas do ambiente no momento das medições. Adicionalmente, são incluídas informações no questionário sobre a idade, sexo, tipo de vestimenta, atividade e outras informações pessoais, assim como a razão por estar ali, sua ocupação e origem (CHRISOMALLIDOU, TSIKALOUDAKI & THEODOSIOU; 2002).

Entre as cidades que fazem parte do projeto está Thessaloniki, na Grécia. A escolha dos dois ambientes externos a serem estudados foi baseada, segundo Chrisomallidou, Tsikaloudaki & Theodosiou (2002), nas diferenças significativas entre as duas áreas. A primeira, a praça Makedonomahon está localizada no centro da cidade e é cercada por edificações de seis a oito pavimentos. Ao sul localiza-se uma das principais avenidas da cidade, que enche a praça com ruído e poluição. A vegetação, de acordo com os autores, consiste principalmente de

gramados, árvores altas e algumas plantas de pequeno porte. Sua utilização resume-se a ponto de encontro de refugiados econômicos, mas também crianças brincam no parquinho e muitas pessoas atravessam a praça. Em contraste, o segundo local escolhido, a praça Kritis, está localizado numa área com menos ruído na parte leste da cidade. O local é basicamente residencial e com pouco tráfego. Além disso, a maior parte da praça é sombreada por árvores de folhagem densa. Seus usuários são principalmente pessoas de meia-idade, assim como crianças em idade pré-escolar e seus acompanhantes, que utilizam o local durante o dia. Na avaliação da percepção do conforto Chrisomallidou, Tsikaloudaki & Theodosiou (2002) afirmam que nas duas praças a maioria dos entrevistados que expressaram sensação de conforto descreveram os níveis de temperatura como frios. Embora a temperatura atual no outono não tenha excedido os níveis sazonais costumeiros, a maioria das pessoas perceberam-na como agradavelmente mais baixas. Portanto, pode-se assumir, segundo os autores, que a maioria das pessoas apreciam sentir leve frio no outono, depois dos meses quentes do verão. Eles ainda colocam que além da variação sazonal dos parâmetros climáticos, o microclima é também afetado pela forma dos espaços externos, pela vegetação e áreas verdes em geral, pela presença de espelhos d'água e pelos materiais utilizados. As condições microclimáticas estão também diretamente relacionadas à área do espaço que está exposta ao vento, que é o principal regulador da umidade e do calor sensível.

Dessi' (2002) trata dos resultados da análise preliminar de uma praça em Milão, na Itália, que também faz parte do RUROS. Foram realizadas simulações térmicas e avaliações de conforto em diferentes locais e horários na praça "IV Novembre". Ao mesmo tempo, o comportamento das pessoas foi observado e foram realizadas entrevistas sobre as sensações térmicas dessas pessoas. A avaliação, segundo o critério de conforto de Fanger, dos locais mais utilizados, foi comparada com a sensação térmica descrita pelos usuários nas entrevistas. A autora descreve a praça como importante área de circulação de pessoas, pois é adjacente a duas importantes vias de tráfego, possui estação de metrô e pontos de ônibus urbanos e intermunicipais. No entorno da mesma estão edificações de cinco a sete andares e sua pavimentação é de concreto claro. Além disso, duas fileiras de árvores e uma fonte com água fazem parte do seu desenho, assim como uma grande árvore (*Celtis australis*) na parte norte. Como conclusão de seu estudo, Dessi' (2002) afirma que os resultados da simulação estão em concordância com o comportamento das pessoas e a utilização do espaço. Dessa forma, as ferramentas de simulação térmica podem ser utilizadas, segundo a autora, para avaliar as soluções dos projetos bioclimáticos que visam o aumento do nível de conforto térmico. A

observação do comportamento e as demandas expressas pelas pessoas são indicações de projeto sobre a utilização dos espaços urbanos. Nesse caso, a simulação pode indicar como obter uma condição aceitável de conforto.

Na Alemanha, os pesquisadores Katzschner, Bosch & Röttgen (2002) propõem uma nova definição para clima urbano: “o “clima urbano ideal” é uma situação atmosférica dentro do UCL (“Urban Canopy Layer”) com uma grande variação no tempo e no espaço para desenvolver condições térmicas não homogêneas para o homem em uma distância de 150 m. Deve ser livre de poluição do ar e estresse térmico por meio de sombreamento e ventilação (áreas tropicais) ou proteção dos ventos (climas moderados e frios)”. Colocam também que nessa definição é óbvio que as diretrizes do planejamento devem ser fiéis aos critérios do clima urbano. Em sua pesquisa são ainda apresentados os resultados da avaliação de uma praça (Bahnhofplatz) na cidade de Kassel, Alemanha, que se localiza na parte oeste do centro da cidade. Segundo os autores, a praça é dividida em várias seções com diferentes usos (por estruturas verdes, muros, correntes), dessa forma a impressão global de um grande espaço é perdida. Como nos trabalhos anteriores, foram realizadas entrevistas com os usuários do local e avaliações de conforto térmico segundo o VME. A porcentagem de pessoas sentindo-se confortável é bastante elevada como mostram as entrevistas. Isto se deve, de acordo com Katzschner, Bosch & Röttgen (2002), ao fato que os usuários de espaços externos buscam, na medida do possível, seus locais preferidos, assim como reagem às condições térmicas utilizando as roupas. Na conclusão final, é colocado que os resultados mostraram que a sensação e a percepção das pessoas são muito afetadas pelo conforto térmico, mas nem sempre tem uma forte relação com o VME. As pessoas nos espaços externos procuram por situações com determinadas características térmicas dependendo de suas necessidades como descanso, passagem pelo local, espera pelo horário do trem etc. Em geral, as pessoas são muito boas na adaptação às circunstâncias térmicas por meio de atividades e da vestimenta; as exceções, segundo os autores, são os eventos sociais, como encontros nesses espaços, onde a extensão do conforto térmico requerido tende fortemente a valores positivos, ou seja, a preferência é por locais mais quentes. Conforme observado pelos pesquisadores, as pessoas gostam de ter um certo grau de estresse fisiológico. A recomendação, portanto, para o planejamento de espaços externos é que a principal prioridade deve ser a criação de estruturas heterogêneas, que permitam diferentes usos ao longo do dia e das estações do ano.

Outro ambiente externo, mas fora do projeto RUROS, foi estudado por Almeida (2002). Seu objetivo foi avaliar como o planejamento urbano pode funcionar como ferramenta de controle do microclima. A praça analisada fica no centro da cidade de Bragança, em Portugal. Essa cidade localiza-se numa região montanhosa no nordeste do país, sua altitude é de 680 m e a latitude de 42° N. O clima local tem longos invernos e três meses com verões quentes, com a temperatura do ar chegando a 40 °C e valores de umidade relativa abaixo de 50%. O local estudado (Court Plaza) tem 50 m x 75 m e seu maior eixo de frente para o Norte. No seu entorno existem ruas com tráfego regular e edificações com 10 m de altura nos limites das partes norte e sul, as áreas leste e oeste são abertas. Existem duas fileiras de grandes árvores ao longo dos dois maiores lados da praça e um local para sentar próximo à fonte na borda oeste do espaço, muito próximo da rua. De acordo com Almeida (2002), num primeiro olhar, o local pode ser considerado atrativo para um passeio ou para sentar nos bancos em um dia de verão. A praça, aparentemente, possui todos os ingredientes necessários para superar o clima quente e seco do verão: grandes árvores, a água da fonte e uma considerável porção do solo coberta com grama verde. Entretanto, foi observado pela autora que, apesar de próxima a uma área comercial, as pessoas não utilizavam o ambiente. Nem mesmo a fonte, que poderia ser uma atração natural em um dia quente, é capaz de reter por mais de alguns minutos as pessoas que se aproximam para tocar a água. A explicação, segundo Almeida (2002), é que as sombras das enormes árvores ficam sobre o gramado, onde não é permitido pisar; os bancos, que são fixos, estão localizados na superfície pavimentada da praça e na maior parte do dia estão expostos ao sol; a fonte, tirando o fato de ser muito próxima ao tráfego da rua, também fica exposta ao sol e mesmo que alguém se disponha a usufruir dela para se refrescar, não existe bancos ou locais para sentar. Para a comprovação das condições observadas, foram realizadas medições de temperatura superficial, radiação solar, temperatura do ar e umidade relativa em três verões consecutivos. Essas medições mostraram que a média da temperatura do ar no meio da praça (26,9 °C), a 1,5 m de altura, é aproximadamente 2 °C maior que a média, na mesma altura acima do gramado (25,0 °C) à sombra das árvores. Já para as temperaturas superficiais, a área pavimentada atingiu 50 °C à 14:00 h e apresentou valores médios de 40 °C entre 10:00 h e 18:00 h, enquanto a média da temperatura superficial da grama, na sombra, não ficou acima de 15 °C no mesmo período. Considerando que a radiação solar possui valor de 900 W/m² ao meio-dia e que a velocidade do ar é quase nula, Almeida (2002) estimou que uma pessoa andando na área pavimentada, no meio do dia, quando a temperatura do ar é 30 °C, tem a sensação da temperatura estar a 42 °C. A sugestão, proposta pela autora, foi plantar duas fileiras de árvores decíduas com permeabilidade similar às árvores

existentes no local, mas com altura máxima de 6 m, sem especificar entretanto a espécie selecionada. Dessa forma, uma grande parte da área pavimentada seria sombreada ao longo do dia. Quanto aos bancos, esses deveriam ser reposicionados em vários locais diferentes de forma que o usuário pudesse escolher os diferentes graus de exposição ao sol a que se submeter. O resultado dessas alterações seria o sombreamento de 75% da praça, ao longo de todo o dia, no período de verão e onde os pedestres não sentiriam temperaturas superiores a 26 °C.

Todos esses trabalhos mostram a importância de se conhecer os ambientes externos e de se realizar um planejamento urbano realmente preocupado com as condições de conforto dos usuários, a fim de que a qualidade de vida nas cidades seja mantida ou restabelecida. Cabe aqui lembrar que a grande maioria dos planejadores ambientais não considera o conforto ambiental em seus projetos, tornando-os falhos numa área de suma importância para o bem-estar e a melhoria da qualidade de vida da população.

4 INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO AMBIENTE

As árvores, em grupos ou até mesmo isoladas, atenuam grande parte da radiação incidente, impedindo que sua totalidade atinja as construções. Segundo Furtado (1994), “a vegetação propicia resfriamento passivo em uma edificação através de dois meios:

1) Através do sombreamento lançado pela vegetação, que reduz a conversão da energia radiante em calor sensível, conseqüentemente reduzindo as temperaturas de superfície dos objetos sombreados.

2) Através da evapotranspiração na superfície da folha, resfriando a folha e o ar adjacente devido à troca de calor latente (Mcpherson, 1984)”.

Dessa forma, ocorre uma diminuição tanto das temperaturas internas quanto externas, amenizando o clima da cidade.

Sattler (1992) afirma que a vegetação pode ser utilizada para a interceptação da radiação direta e difusa, como também daquela refletida pelo solo ou edificações próximas. Porém, o desempenho de cada indivíduo arbóreo varia conforme a densidade de sua folhagem ao longo do ano (ciclo fenológico de cada espécie); as condições de transparência do céu e a posição relativa do Sol. Segundo ele, as alterações no regime de ventos, produzidas pelos “agrupamentos de edificações altas, em particular”, produzem condições de desconforto tanto nas vias de circulação urbana quanto nas áreas próximas às edificações e em seu interior.

“Embora a vegetação, tão-somente, não possa controlar totalmente tais condições de desconforto (e, no caso de pedestres, até de segurança), ela pode, eficientemente, abrandar a sua intensidade”.

Segundo Weingartner (1994), o controle da radiação das trocas de calor, associado ao aumento da umidade do ar, faz com que a variação da temperatura do ar seja menor, reduzindo a amplitude térmica sob a vegetação. Esse efeito é, segundo o autor, maior durante o verão, pois nessa estação a densidade foliar e a evapotranspiração das plantas são mais intensas. No inverno, com a redução da radiação solar e da temperatura do ar, a alteração na fenologia das plantas, principalmente a perda das folhas nas espécies decíduas, diminui a diferença da amplitude térmica entre as áreas internas e externas à vegetação. De acordo com Weingartner (1994), esse efeito se verifica também no interior das edificações. Já o controle do vento interfere nas perdas convectivas de calor das áreas de proteção de barreiras vegetais. A sotavento da barreira, com a menor incidência de vento, a temperatura do ar se estratifica. Segundo o autor, as maiores temperaturas ocorrem próximo à barreira durante o dia e à noite situam-se próximo ao solo. Ainda segundo ele, esse efeito pode ser percebido a sotavento dos parques urbanos, de modo que a alteração da temperatura é proporcional à extensão das áreas verdes. A melhoria do clima urbano pode ser obtido com a implantação de áreas verdes de 1 ha a 4 ha situadas em intervalos de 300 m, o que corresponde a faixa percentual de 7% a 18% de área verde no espaço urbano.

Na análise do ambiente natural, de acordo com Peixoto, Labaki & Santos (1995), a primeira consideração a ser feita é sobre as características peculiares às espécies usadas na arborização de cidades. Segundo as autoras, em relação a aspectos da forma, supõe-se que indivíduos com copas amplas, com alta densidade de folhas largas e espessas na copa, perenifólios, e de arquitetura arbórea aberta resultem em maior conforto térmico. Peixoto, Labaki & Santos (1995) também afirmam que junto a essas características de forma, deve-se também considerar características peculiares a cada elemento componente da árvore. Assim, a forma, o tamanho e a espessura das folhas, ou a presença de pelos cuticulares e densidade do mesófilo interferem na quantidade e qualidade de luz transmitida. Da mesma maneira pode-se dizer do caule (como diâmetro, cor, rugosidade e altura) ou dos elementos de reprodução (como cor, tamanho, forma e disposição de flores, frutos e sementes). Em suma, os dados morfo-anatômicos dos elementos que compõem os indivíduos arbóreos tem que ser mais amplamente estudados em relação ao seu papel termorregulador. Outro aspecto imprescindível

para esse tipo de estudo, de acordo com as autoras, refere-se aos fenômenos de sazonalidade e fenologia, que mudam a composição e estrutura da planta em determinados períodos do ano. Nas cidades, porém, Peixoto, Labaki & Santos (1995) colocam que os indivíduos arbóreos costumam ocorrer em formas combinadas e, de acordo como os arranjos no meio urbano, o resultado relativo ao conforto será específico. Uma das primeiras considerações a ser feita refere-se ao tipo de composição, se puras (conjuntos de uma só espécie) ou mistas (de duas ou mais espécies), se homogêneas (árvores de mesma idade) ou heterogêneas (árvores de idade e crescimento diferenciado). Quanto ao ambiente construído urbano, para o planejamento do conforto térmico desse espaço importam, segundo as autoras, o clima; as relações de seus elementos determinantes; os espaços construídos; a composição das superfícies; disposição de seus elementos e densidade de atividades/construções modificando o ambiente natural. Os espaços urbanos apresentam ainda categorias diferentes quanto ao uso, com necessidades de padrões de conforto diversos em seus espaços de passagem, permanência curta ou prolongada; e essa relação entre o período e tempo de permanência, usuário e atividade, é que determina as estratégias para o conforto.

Bueno (1998) realizou um estudo sobre a atenuação da radiação solar incidente proporcionada por diferentes espécies arbóreas. O trabalho propôs uma metodologia para esse estudo a partir de medições de radiação solar, temperaturas de globo e ambiente, e umidade relativa. Para tanto, foram analisadas cinco espécies: *Hymenaea courbaril* (Jatobá), *Cassia fistula* (Chuva-de-ouro), *Michelia champacca* (Magnólia), *Tabebuia impetiginosa* (Ipê Roxo) e *Caesalpinia peltophoroides* (Sibipiruna). Os dados de radiação solar incidente foram obtidos por meio de solarímetros de tubo, que medem a irradiância média (kW/m^2) em situações onde a distribuição da energia radiante não é uniforme. A coleta desses dados foi feita com os equipamentos dispostos simultaneamente ao sol e à sombra dos indivíduos analisados. Com os dados obtidos, foram calculadas as porcentagens de atenuação da radiação solar para cada árvore e as variações relativas das temperaturas de globo e ambiente. Bueno (1998) analisou os resultados e observou que a Sibipiruna, o Jatobá e a Chuva-de-ouro apresentaram o melhor desempenho, seguidos da Magnólia e do Ipê Roxo respectivamente. Das árvores analisadas a Sibipiruna foi a que proporcionou os maiores valores de atenuação da radiação: 88,5% em média. Tomando-se por base esses resultados, a autora concluiu que a metodologia proposta é perfeitamente adequada ao estudo em questão.

Em Bauru (SP), Fontes & Delbin (2001) analisaram e compararam os microclimas de dois espaços públicos: um caracterizado por uma área verde e outro com pouca arborização, a fim de se verificar a influência da vegetação na amenização climática local. Foram realizadas medições de temperatura e umidade durante seis dias, no período de verão, das 7:00 h às 18:00 h, utilizando-se o método de medidas móveis. A análise dos dados revelou diferenças climáticas significativas entre os dois espaços. A temperatura do ar, na área verde, apresentou-se até 3 °C inferior ao outro local analisado. Os autores ainda afirmam que a utilização do potencial da vegetação, em espaços públicos, além de contribuir para amenizar condições climáticas, promove uma intensificação dos seus usos, ou seja, locais arborizados atraem mais as pessoas que aqueles sem vegetação.

Um outro enfoque sobre a influência da vegetação no ambiente foi dado pelo trabalho de Canton et al. (2001) que visou avaliar o uso potencial de energia solar em edificações urbanas, quando constantemente restringida pela presença de árvores já desenvolvidas no entorno dos edifícios. Foram analisadas situações típicas das relações entre árvores e edificações na cidade de Mendoza (Argentina). Essas situações foram definidas pela caracterização das configurações urbanas, resultado de diferentes combinações de morfologias e dimensões representativas de prédios e árvores da cidade. Como conclusão, os autores afirmam que a permeabilidade solar das copas das árvores, em ambientes urbanos, não depende somente da morfologia própria das espécies: forma, dimensões, saúde etc; mas é também fortemente condicionada pela localização urbana da árvore, particularmente com relação a edificações ou outras árvores. Situações de fileira ao longo das calçadas geralmente causam sobreposição das copas, em paralelo ou atravessando a direção das ruas. Também deve-se considerar que a poda das árvores urbanas altera o desenvolvimento das copas, reduzindo a densidade da folhagem nas árvores adultas e aumentando nos indivíduos jovens. Quanto ao potencial solar de meios urbanos densamente arborizados, os autores concluem que o acesso solar em meios urbanos de baixa densidade é diretamente condicionado pela presença de árvores, devido ao fato da maior altura de uma edificação ser dois andares. No caso de densidades de edificações altas, as copas das árvores modificam as condições de insolação da “base” (três andares inferiores) e de dois níveis acima desses andares, particularmente quando árvores adultas “London Plane” estão presentes. Contudo, Canton et al. (2001) enfatizam que os benefícios significativos da arborização urbana durante as estações quentes: redução da intensidade do efeito da ilha de calor urbana, diminuição das cargas de

refrigeração das edificações e a qualidade ambiental do espaço urbano, não devem ser esquecidos ou negligenciados.

Já o objetivo principal de Dimoudi & Nikolopoulou (2000) foi desenvolver, em seu trabalho, parâmetros simplificados que descrevessem o microclima e o desempenho ambiental de diferentes texturas urbanas. O efeito da vegetação no microclima é de grande interesse para os autores. Os principais pontos enfocados foram os efeitos térmicos proporcionados pela vegetação, assim como seus efeitos no acesso da radiação solar e da luz do dia. Esses fatores afetam o microclima de espaços abertos existentes, assim como o uso da energia nas edificações vizinhas para aquecimento, resfriamento e iluminação, por meio do sombreamento, evapotranspiração etc. Com as análises realizadas, os autores concluíram que a vegetação além de melhorar o clima urbano, reduz os efeitos da ilha de calor, por meio da redução da temperatura do ar. Esse efeito é notado não somente dentro dos limites das áreas verdes, mas estendido para além dos parques, particularmente afetando o lado de sotavento. Portanto, o aumento da vegetação no contexto urbano pode ser uma forma efetiva de atenuar as condições térmicas do meio.

Outros dois trabalhos, desenvolvidos por Cantuaria (2000 a, b), demonstram a importância da vegetação nos ambientes. No primeiro (Cantuaria, 2000 a), foi realizado um estudo comparativo do desempenho térmico da vegetação em relação às superfícies externas de duas edificações no período de verão. Para esse estudo, desenvolvido na cidade de Londres (Inglaterra), foram escolhidas duas edificações, geometricamente idênticas e opostas, localizadas em uma via de eixo norte-sul, sendo que ambas estavam cobertas com vegetação ("Virginia creeper"), mas uma na face leste e outra na oeste. A vegetação na face oeste deixava parte da superfície da parede externa exposta à radiação solar. As medições, realizadas em três dias, foram feitas com o dia quente e céu claro, com o dia com temperaturas amenas e céu claro e com o dia nublado. Os sensores de temperatura e umidade foram instalados abaixo da cobertura vegetal, próximos à fachada oeste com vegetação; na mesma fachada (oeste), sem a cobertura vegetal e na fachada leste. No primeiro dia de medição, foram registrados picos de temperatura de 41 °C na parte descoberta da fachada oeste, enquanto a porção coberta alcançou 34 °C, também foi observado 9% a mais de umidade relativa entre a parte coberta e a exposta à radiação solar, devido principalmente à evapotranspiração. No segundo dia, na fachada desprotegida, foi registrada uma temperatura de 42 °C, enquanto na área com vegetação dessa mesma fachada foi obtido 25 °C. Os valores encontrados nesse primeiro

estudo, segundo Cantuaria (2000 a), demonstram a importante contribuição da vegetação em proteger as superfícies externas do ganho solar. Na segunda pesquisa, Cantuaria (2000 b) analisa as diferenças de temperatura e umidade da copa de uma Mangueira, na cidade de Brasília (Brasil), durante as horas mais desconfortáveis do dia numa estação seca. As medições foram realizadas vertical e horizontalmente em relação ao tronco da árvore, a fim de se avaliar o raio de influência da árvore nesses dois eixos, nas distâncias de 1,5 m, 3,0 m e 5,0 m na vertical e 0,0 m, 3,0 m e 5,0m na horizontal. Aos 5,0 m de altura (meio da copa da Mangueira) foram obtidos os menores valores de temperatura, com picos em torno de 30 °C. Aos 3,0 m, os picos estiveram em torno de 31,5 °C, e a 1,5 m em torno de 32,5 °C. Já em relação às medições no plano horizontal, sempre realizadas a uma altura de 1,5 m, o autor coloca que obteve os seguintes resultados: 31 °C junto ao tronco do indivíduo arbóreo analisado (0,0 m), 33 °C a 3,0 m de distância e 33 °C a 5,0 m. As únicas exceções foram picos de 34 °C, às 15:00 h, na distância de 5,0 m. Os sensores expostos ao sol registraram as maiores temperaturas, com picos de 35 °C. Os dados observados, nesse segundo estudo, indicam que a sombra da copa da árvore tem um grande potencial como modificadora do microclima, agindo como um condicionador de ar natural; e quanto mais próximo se está da árvore, mais perceptível é a diferença do microclima em relação ao campo aberto (CANTUARIA, 2000 b).

A avaliação térmica do sombreamento de algumas espécies arbóreas também foi o objetivo da pesquisa realizada por Silva et al. (2001). Na cidade de Pirassununga – SP, mais precisamente no campus da USP (Universidade de São Paulo), os autores avaliaram o desempenho de cinco espécies arbóreas quanto à redução da carga térmica radiante. As espécies estudadas foram: *Pera glabrata* (Sapateiro), *Platycomus regnellii* (Pau Pereira), *Copaifera langsdorffii* (Copaiba), *Enterolobium contortisiliquum* (Orelha-de-preto) e *Anadenanthera macrocarpa* (Angico). Foram registrados dados de temperatura de bulbo seco e úmido, temperaturas de máxima e mínima, velocidade do vento, temperatura de globo e iluminação durante trinta dias no inverno, de 22 de julho a 30 de agosto de 2000, nos horários de 8:00 h, 10:00 h, 12:00 h, 14:00 h, 16:00 h e 18:00 h. As medições, segundo Silva et al. (2001), foram realizadas no inverno de modo a avaliar se, na latitude do local (21° 57' 02" S) e devido à redução das temperaturas que ocorre sob a copa das árvores, a sombra pode não oferecer condições de conforto. Por isso, o estudo envolveu espécies decíduas (Pau Pereira, Orelha-de-preto e Angico) e perenes (Sapateiro e Copaiba) de forma a contemplar os dois tipos mais extremos de comportamento fenológico. Os resultados indicaram que o Sapateiro apresenta maior redução da carga térmica radiante (19,9%), seguido do Pau Pereira com

14,5%, da Copaíba com 14,4%, da Orelha-de-preto com 13,4%; em último ficou o Angico (10,0%). Como o intuito do experimento, proposto por Silva et al. (2001), era definir qual espécie proporcionava menor redução da carga térmica radiante no inverno, foi recomendada, por eles, a árvore Angico para cidades próximas da latitude estudada.

Mascaró & Mascaró (2002) afirmam que na decisão final sobre as espécies a serem adotadas na arborização pública, todas as variáveis de projeto devem ser consideradas e hierarquizadas de acordo com cada caso. Os autores ainda fornecem algumas recomendações sobre o sombreamento urbano como: limitar a incidência dos raios solares em, pelo menos dois terços da área de circulação de pedestres, praças e estacionamentos no período quente; limitar a incidência da radiação solar no período quente em, pelo menos, dois terços dos locais de recreação infantil; garantir a insolação dos locais de recreio infantil, por pelo menos quatro horas, durante o período frio; garantir a insolação das fachadas norte, leste e oeste pelo menos durante duas horas no inverno (segundo Mascaró & Mascaró (2002), as normas internacionais recomendam de três a quatro horas) nas últimas horas da manhã e primeiras horas da tarde, que correspondem à máxima intensidade de radiação solar, em, no mínimo, metade dos compartimentos considerados principais pelos códigos de obras. De acordo com os pesquisadores, as formas de uso da vegetação devem variar com o tipo de clima local; o recinto urbano onde serão plantadas; o seu tipo, porte e idade; a manutenção necessária para cada espécie; as formas de associação dos vegetais e também com relação às edificações próximas e ao espaço urbano onde serão inseridas.

5 AMBIENTE CONSTRUÍDO

O conforto térmico no ambiente construído tem sido muito estudado devido à necessidade de se estabelecer condições adequadas do conforto tanto para os ambientes de trabalho como para os de descanso ou lazer. O homem tem observado que locais confortáveis não são um luxo desnecessário, mas sim uma necessidade para a manutenção da saúde física e mental.

Segundo Brager & Dear (1998), uma importante premissa dos modelos adaptados é que a pessoa não é somente um receptor passivo de dado ambiente térmico, mas ao invés disso é um agente ativo interagindo com o sistema ambiente-pessoa. A adaptação térmica pode ser atribuída a três diferentes processos: ajuste de conduta, aclimatação fisiológica e habituação ou expectativa psicológica. Tanto os climas de câmaras como as comprovações de campo indicam que os processos de aclimatação mais lentos não são tão relevantes na adaptação térmica, sob condições relativamente moderadas como as encontradas em edificações, ao passo que o ajuste de conduta e a expectativa têm uma influência muito maior. Um outro ponto importante levantado por eles, na revisão das comprovações de campo, foi a distinção entre as respostas de conforto térmico em edificações com ventilação natural versus edificações com condicionamento térmico artificial (ar-condicionado). A análise sugere que a adaptação da conduta, incorporada nos modelos convencionais de balanço térmico, pode explicar somente parcialmente essas diferenças e que o conforto foi significativamente influenciado pela expectativa das pessoas em relação ao ambiente térmico. Os ocupantes das edificações naturalmente ventiladas têm expectativas mais flexíveis e são mais tolerantes com

as oscilações de temperatura, assim como preferem temperaturas que sigam as tendências climáticas do ambiente externo. Em contraste, usuários de edificações com condicionamento de ar têm expectativas muito mais rígidas com relação a um ambiente térmico frio e uniforme, além de serem mais sensíveis às condições que desviam desses pontos. De acordo com Brager & Dear (1998), essas diferenças contextuais são provavelmente resultado de uma combinação de história térmica passada das edificações e diferenças em níveis de controle perceptivo.

Potvin (2000) apresenta uma metodologia para a avaliação do microclima de espaços urbanos de transição, como pátios, quintais, vias, galerias, arcadas e átrios. Essa metodologia utiliza sensores portáteis que são presos junto às pessoas que percorrem os locais a serem amostrados, como se fosse um método de medidas móveis simplificado. Os resultados obtidos em seu estudo mostraram que esses sensores apresentam uma boa resposta às variações ambientais, sendo portanto adequados ao experimento. Nas avaliações finais, o autor concluiu que, dos três elementos urbanos pesquisados, a arcada é a que tem melhor desempenho em relação à diferença de temperaturas entre os ambientes externos e internos. A arcada, devido à sua configuração espacial e seu grau de abertura para o ambiente, favorece uma adaptação ambiental subliminar que livra o pedestre de abruptas mudanças ambientais que poderiam levar ao desconforto. A arcada portanto estimula a diversidade ambiental de modo que não impede o conforto do usuário. Entretanto, o autor reforça que a configuração espacial, a orientação e o balanço entre as superfícies opacas e transparentes são variáveis que determinam o comportamento térmico da arcada.

Entre os estudos sobre ambientes internos, pode-se destacar o trabalho realizado por Vergara & Lamberts (2001), onde foram estabelecidas as condições de conforto térmico, através da aplicação do VME, de trabalhadores da Unidade de Terapia Intensiva do Hospital Universitário de Florianópolis. Os resultados desse estudo demonstraram que existem variações entre as taxas metabólicas para o mesmo tipo de atividade, o que sugere que essas taxas não dependem somente da atividade desenvolvida por cada indivíduo em um determinado ambiente, mas também de possíveis influências de características individuais sobre as sensações térmicas de conforto das pessoas.

Ambientes de lazer e descontração também são alvos de estudos sobre conforto, como mostra o trabalho de Fernandes Júnior et al. (2001). Nesse caso, foram realizadas várias análises de conforto térmico e iluminação natural numa choperia de Belo Horizonte (MG)

localizada na zona sul da cidade, no topo de uma colina no cruzamento de quatro vias, onde a leste predominam edificações baixas (com até três pavimentos) e a oeste edificações mais altas (com até treze pavimentos). O estudo, segundo os autores, constituiu-se do levantamento de dados referentes à insolação, ventilação e iluminação e da simulação de seus efeitos na edificação, através da utilização de maquetes. Em sua conclusão, Fernandes Júnior et al. (2001) afirmam que a inexistência de obstruções possibilita que a edificação receba insolação e ventos durante todo o ano. Eles colocam ainda que, se por um lado essas condições poderiam ser prejudiciais, por outro, quando aliadas é possível se obter um bom resultado; principalmente no verão, quando a grande quantidade de calor adquirido durante o dia tem sua dissipação auxiliada pela grande quantidade de vento recebida. Já no inverno, não ocorre o mesmo, pois a quantidade de calor retido na construção é bem menor que no verão, e o excesso de vento frio causa, algumas vezes, uma sensação desagradável aos usuários. Foram verificadas também áreas atingidas por radiação direta em determinada época e horário do ano, mas esse fato, de acordo com Fernandes Júnior et al. (2001), não é grave pelo fato do local analisado ser um espaço de uso predominantemente noturno. Quanto à iluminação, a inadequada utilização de cores escuras nessa choperia, fez com que houvesse a necessidade do uso de iluminação artificial mesmo durante o dia.

Já na cidade de Curitiba (PR), foi analisada a Vila Tecnológica, que consiste de 100 moradias habitadas e 20 casas em exposição para o público. O diferencial, nessa vila, é que as residências foram construídas com diferentes materiais e sistemas construtivos. Dezoito sistemas construtivos foram avaliados, sob a condição do desempenho térmico. Krüger & Dumke (2001 a) realizaram medições com “data-loggers” do tipo HOBO no inverno e no verão, em intervalos de quinze minutos, com as moradias ocupadas por seus habitantes. Os dados coletados foram então plotados no diagrama bioclimático, obtendo-se os graus de conforto. Na análise final da pesquisa, os autores concluíram que, para a condição de verão, as características termofísicas da envoltória são fatores determinantes no desempenho térmico das moradias; já para a condição de inverno outros fatores, tais como área de ventilação, ganho solar através das aberturas, material e orientação das esquadrias, bem como os padrões de uso das residências: ocupação, operação de portas e janelas etc, também têm sua importância.

Dessa forma, pode-se notar a variedade de ambientes enfocados pelo estudo do conforto térmico nas edificações.

6 AMBIENTE ESCOLAR

Existem muitos trabalhos relacionados ao conforto térmico no ambiente construído, mas aqueles ligados diretamente ao ambiente escolar não eram muito enfocados. Porém, nos últimos anos, vários trabalhos importantes foram desenvolvidos.

Pesquisas nacionais que avaliam o conforto térmico de edificações escolares mostram em seus resultados um quadro muito parecido, independentemente da região e tipologia construtiva pesquisada. A maioria das escolas é considerada quente no verão e com ventilação inadequada. Esse resultado está intimamente relacionado com a orientação das aberturas em salas de aulas e a inadequação dos elementos de proteção solar, gerando assim insolação excessiva. Cabe lembrar aqui, que mesmo com orientações inadequadas da edificação no terreno, dispositivos de controle solar podem ser introduzidos adequadamente, a fim de se evitar a incidência de insolação sobre os usuários das salas de aula, melhorando expressivamente seu conforto térmico (KOWALTOWSKI et al., 2001).

Entre os estudos que visam o bem-estar dos usuários no ambiente escolar, pode-se citar o trabalho de Kowaltowski (1980) sobre a humanização da arquitetura de edificações escolares. Um dos pontos abordados é a presença da natureza nas escolas. A autora afirma que a natureza não apenas proporciona o conforto necessário ao meio ambiente, suprimindo as necessidades de segurança, territorialidade e orientação espacial, mas também afeta os sentimentos das pessoas devido a sua variabilidade e cores, atuando dessa maneira como um elemento de humanização da arquitetura.

Segundo Stine (1997), as áreas externas das escolas são freqüentemente negligenciadas ou vistas apenas como locais para pausas entre as lições aprendidas dentro das salas de aula. A autora coloca que as áreas externas deveriam ser parte da experiência educacional. A proposta de seu livro foi contribuir para que projetistas e professores pensassem sobre a qualidade dos ambientes externos das escolas como locais de aprendizagem. É no exterior da sala de aula que as atividades mais espontâneas se realizam. Repensar os espaços externos significa considerar seu potencial para ricas sensações, equipamentos flexíveis e inúmeras possibilidades de exploração. Os professores são pressionados a observar os resultados, os produtos, o que foi aprendido, completado. Os projetistas são questionados a criar coisas, gerar formas de edifícios, produtos. Ambos profissionais, segundo a autora, valorizam os processos de criação e ensino, no entanto, os objetivos são sempre os resultados. Para as crianças é o processo de aprendizagem que é maravilhoso, mágico e com infinitas possibilidades, e poderia ser incrementado aproveitando-se as áreas externas das escolas.

Assim, a preocupação com a humanização dos espaços escolares deve ser um fato tanto para os projetistas das escolas como para os professores que vão orientar as crianças na utilização desses espaços.

Quanto ao conforto térmico em escolas, Kwok (1998) realizou um estudo que examina o critério de conforto da "ANSI/ASHRAE Standard 55-1992" enfocando sua aplicabilidade em salas de aula tropicais. Um estudo de campo foi realizado no Hawaii usando uma variedade de métodos de coleta de dados: questionários de pesquisa, medições físicas, entrevistas e observações comportamentais. Um total de 3544 estudantes preencheu os questionários em 29 salas de aula naturalmente ventiladas e com condicionamento térmico artificial, em seis escolas durante duas estações. Segundo o autor, a maioria das salas de aula (75%) não se enquadrava nas especificações físicas da zona de conforto do "Standard 55", mas pessoas em escolas ventiladas naturalmente estavam confortáveis mesmo em condições fora dessa zona. A neutralidade térmica ocorreu a 26,8 °C nos edifícios naturalmente ventilados e a 27,4 °C naqueles com condicionamento de ar. Porém, as temperaturas preferidas foram 2,5 °C mais frias que a de neutralidade nas salas com ventilação natural e 4 °C nas salas com condicionamento de ar. Essa análise, conforme Kwok (1998), sugere que, para estudos tropicais, a sensação de neutralidade térmica não está relacionada com a ideal para os usuários ou com o estado térmico preferido. A adaptação das roupas, um dos poucos mecanismos

passíveis de adaptação observados junto aos ocupantes, ocorreu em ambas estações, mas mais intensivamente ao longo do dia. Observou-se, por exemplo, estudantes vestindo agasalhos em classes com condicionamento de ar e depois retirando-as quando iam para ambientes externos. O desconforto com o excesso de movimentação do ar não foi um problema nessas salas de aula. Porém, a maioria dos usuários que estavam nas salas com ventilação natural expressou o desejo de que houvesse uma maior movimentação do ar.

Um trabalho de grande importância para a cidade de Campinas (SP), foi a avaliação de conforto ambiental (funcional, térmico, acústico e visual) de edificações escolares estaduais realizado por Kowaltowski et al. (2001). Através de uma pesquisa de campo, com aplicação de questionários aos usuários, medições e observações, foram investigadas as condições de conforto de vários prédios escolares existentes na cidade. O objetivo específico dessa investigação foi a geração de conhecimento dos elementos que interferem no conforto e a elaboração de intervenções simples que podem contribuir para a melhoria do desempenho do ensino público e, conseqüentemente, do aproveitamento escolar. O estudo das condições de conforto ambiental nas escolas levantou, além de problemas constatados em medições e observações, a interferência entre os vários aspectos de conforto e a determinação daqueles que devem ser priorizados. Esses aspectos foram avaliados em relação aos níveis de satisfação dos usuários com o seu ambiente de estudo e trabalho. Entre as observações finais pode-se destacar que o conforto térmico foi afetado principalmente pela falta de ventilação no verão, pois devido ao ofuscamento, detectado nas lousas de muitas das salas de aula analisadas, as cortinas desses locais permaneciam fechadas. A orientação da maioria dos edifícios escolares direciona as aberturas das salas de aula para o leste. Esta orientação associada ao horário escolar, segundo os autores, faz com que os ambientes e seus usuários recebam radiação direta em grande parte da manhã, o que aquece o ambiente e cria desconforto direto nos ocupantes das salas. Dessa forma, as condições gerais das escolas foram consideradas minimamente adequadas. Contudo, a pesquisa de campo demonstrou que a satisfação dos usuários, relativa aos aspectos de conforto, é bastante neutra, já que, de acordo com Kowaltowski et al. (2001), “a percepção do ambiente físico está fortemente influenciada pelos interesses pessoais, sociais, profissionais e próximos aos alunos, professores e funcionários de uma escola”.

Krüger et al. (2001 b) também realizaram uma avaliação sobre salas de aula, mas com o objetivo de estudar o tipo de material empregado nas paredes e cobertura e sua influência no

grau de temperatura e umidade internas. As medições foram realizadas no Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, em Curitiba e em Ponta-Grossa (PR) simultaneamente. Foram feitas medições de temperatura com “data-loggers” (HOBO) e posteriormente a análise dos dados obtidos na carta bioclimática de Givoni (1976), fornecendo uma avaliação das salas em questão. Com os dados coletados, os autores observaram que, principalmente no inverno, o efeito da transmitância das paredes no desempenho térmico das salas foi acentuado para os dois casos analisados, o que faz supor que a orientação solar seja mais relevante, ou, no mínimo, que ambas estratégias devam ser consideradas. Entretanto, para a cidade de Curitiba, a estratégia de uso de inércia térmica, para as situações medidas não foi de grande valia.

Na cidade de Bauru – SP, foi realizado um estudo de caracterização térmica das salas de aula do campus da UNESP (Universidade Estadual Paulista). Foram realizadas medições e análises de temperatura e umidade em quatro dos principais prédios de salas de aula do campus, ventilados naturalmente. Para análise foi empregado o método de graus-hora de desconforto térmico, cujos valores foram posteriormente convertidos em energia necessária para restabelecer a situação de conforto térmico. Os resultados mostraram, segundo Faria & Kaneko (2001), a ocorrência de desconforto térmico durante todo o período vespertino de aulas, em todas as salas. O quadro de demanda reprimida de energia de climatização gerado nessa situação é da ordem de 50 kWh/dia por sala. Lançando-se os dados das medições em carta bioclimática, os autores verificaram que é possível melhorar as condições internas dos ambientes aumentando a velocidade do ar no interior. Em outros casos, são necessários também, de acordo com os autores, elementos de sombreamento nas janelas expostas à radiação solar direta.

Em Brasília – DF, Romero et al. (2001) analisaram seis salas de aula do campus da UnB (Universidade de Brasília) quanto ao desempenho higrotérmico, a fim de investigar que aspectos comprometem a qualidade ambiental das salas. Para isso, além de simulações nos programas “Arquitrop” e “Luz do Sol”, foi feita a caracterização climatológica da cidade de Brasília utilizando dados das Normais Climatológicas (período 1961 – 1990). As simulações para as salas estudadas foram feitas nos dias 27 de maio e 15 de outubro, considerados pelos autores como dias típicos de inverno e de verão respectivamente. Foram ainda consideradas as portas fechadas e as janelas em abertura máxima a partir das 8:00 h até 18:00 h, com ocupação apenas diurna de 30 adultos por sala. Para todas as salas estudadas, os autores obtiveram resultados semelhantes: apesar das condições climáticas favoráveis de Brasília, as

salas apresentaram ambiente desconfortável, sob vários aspectos e na maior parte do tempo, devido às definições dos projetos arquitetônicos.

Já o comportamento dos indivíduos no ambiente escolar foi estudado por Bernardi & Kowaltowski (2001). Nesse estudo, foram detectadas as reações e participações dos usuários em relação ao conforto térmico, luminoso, acústico e funcional. A metodologia adotada utilizou medições de parâmetros de conforto ambiental, observação em campo com o mapeamento das interferências dos usuários e aplicação de questionários. Observou-se que a interferência do usuário no ambiente ocorre, geralmente, após uma situação de estímulo. Um outro fator detectado foi a real necessidade de conscientização do usuário sobre seu potencial no controle das condições ambientais.

A Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE), que desenvolve diretrizes para projetos que visam proporcionar ambientes favoráveis às atividades de ensino-aprendizagem dos alunos das escolas públicas paulistas, elaborou algumas especificações para edificações escolares de primeiro grau enfocando a vegetação e o paisagismo. Essas propostas, segundo Zacharias Filho et al. (1996), dão um tratamento paisagístico para as áreas externas das escolas, valorizam as características da vegetação em harmonia com o prédio escolar, proporcionam locais que estimulam e favorecem a recreação, as atividades sócio-educativas ao ar livre, o respeito à natureza, a formação de crianças e jovens preocupados também com a preservação e a valorização do meio ambiente.

O tratamento paisagístico das áreas externas das escolas de primeiro grau tem por objetivo principal a melhoria de sua qualidade visual e ambiental. De acordo com a FDE (Zacharias Filho et al., 1996), a composição da vegetação adotada em cada projeto deve valorizar e potencializar o uso das áreas externas para atividades pedagógicas e recreativas, além de contribuir para a aclimação dos espaços internos e externos das escolas. O tratamento das áreas externas deve incluir o desenho dos espaços abertos, dos acessos e fechamentos de divisas. Dessa maneira, áreas e espaços específicos devem receber pisos, bancos e outros componentes que somados à vegetação possibilitem a ambientação dos espaços.

Quanto à influência da vegetação no conforto térmico, Zacharias Filho et al. (1996) colocam que a vegetação pode servir de proteção contra a insolação e os ventos dominantes.

Os projetistas devem explorar as peculiaridades de cada espécie como, por exemplo, barreiras vegetais servindo de proteção à fachada oeste; espécies decíduas, com perda de folhagem no inverno, permitindo a insolação, e sombreando no verão; ou ainda copas mais altas, permitindo visibilidade e espaços abertos junto ao piso, mas protegendo andares superiores contra a insolação.

Juntamente com as especificações de projeto é fornecida, pela FDE, uma relação básica de espécies arbóreas, indicadas para a arborização das escolas, que foi elaborada observando-se os seguintes critérios básicos:

- espécies cujas características botânicas sejam apropriadas às situações e exigências típicas das escolas de primeiro grau da rede estadual de ensino, como por exemplo, crescimento rápido;
- espécies que, nativas ou exóticas, sejam adequadas às condições climáticas e geológicas do Estado de São Paulo;
- espécies que estejam disponíveis nos principais viveiros e fornecedores de mudas, ou seja, de fácil produção e aquisição;
- potencial ornamental associado à rusticidade e simplicidade na sua manutenção;
- caráter simbólico e pedagógico de algumas espécies nativas (Pau-brasil, por exemplo).

Deve-se lembrar que, tratando-se de um ambiente escolar onde a maioria dos usuários é criança, o paisagista responsável pelo projeto dos pátios e jardins tem que se preocupar, além de todos os aspectos já citados, com os possíveis problemas que determinadas espécies arbóreas podem trazer como por exemplo:

- partes (caule, folhas, frutos) tóxicas;
- queda de frutos;
- excessiva queda de folhas;
- flores e frutos que atraiam muitos insetos ou outros animais;
- propensão a doenças.

7 ESCALAS DE ABORDAGEM

A respeito da escala de abordagem da pesquisa, foi adotada neste trabalho, a terminologia “microclima” para definir o clima no entorno dos indivíduos arbóreos estudados, assim como no entorno da escola a ser analisada.

O Quadro 01 (“Categorias Taxonômicas da Organização Geográfica do Clima”, Monteiro (1976)) mostra que essa terminologia é a mais adequada nesse caso, pois é a que melhor abrange as áreas de estudo (“Espaços urbanos: Grande edificação; habitação; setor da habitação”).

Segundo Cuadrat & Pita (1997), observando-se o planeta como um todo constata-se que a configuração climática tem uma clara componente zonal, onde se distribuem extensos anéis rodeando a Terra. Esses anéis estão relacionados com a latitude e dominados pelos grandes fluxos da circulação geral da atmosfera. Porém, os fatores geográficos como a altitude, a distribuição de terras e dos mares, topografia, correntes marinhas etc., intervêm sobre essa configuração, introduzindo modificações azonais e dividindo esses grandes domínios em unidades menores que requerem, para o seu conhecimento, várias escalas de observação e análise. Por outro lado, o sistema climático é um sistema em equilíbrio dinâmico e portanto submetido a flutuações de duração muito variada. Dessa forma, é importante adotar, nos estudos climáticos, uma escala de tempo e espaço, que depende dos objetivos de cada trabalho.

QUADRO 01

Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o "CLIMA URBANO"

Ordens de grandeza (Cailleux & Tricaht)	Unidades de superfície	Escala cartográfica de tratamento	Espaços climáticos	Espaços urbanos	Estratégias de abordagem		
					Meios de observação	Fatores de organização	Técnicas de análise
II	10 ⁷ (milhões de Km)	1:45.000.000 1:10.000.000	Zonal	—	Satélites Nefanálises	Latitude; centros de ação atmosférica	Caracterização geral comparativa
III	10 ⁶ (milhões de Km)	1:5.000.000 1:2.000.000	Regional	Megalópole; grande área metropolitana	Cartas sinóticas; sondagens aerológicas; rede meteorológica de superfície	Sistemas meteorológicos (circulação secundária)	Redes transectos
IV	10 ⁵ (centenas de Km)	1:1.000.000 1:500.000	Sub- regional (fácies)			Fatores geográficos regionais	Mapeamento sistemático
V	10 ⁴ (dezenas de Km)	1:250.000 1:100.000	Local	Área metropolitana; metrópole	Posto meteorológico; rede complementar	Integração geocológica ação antrópica	Análise espacial
VI	10 ² (centenas de m)	1:50.000 1:25.000	Mesoclima	Cidade grande; bairro ou subúrbio de metrópole	Registros móveis (episódicos)	Urbanismo	Especiais
—	Dezenas de metros	1:10.000 1:5.000	Topoclima	Pequena cidade; fácies de bairro/subúrbio de cidade	(Detalhe)	Arquitetura	
—	Metros	1:2.000	Microclima	Grande edificação; habitação; setor da habitação	Baterias de instrumentos especiais	Habitação	

FONTE – MONTEIRO, 1976. p. 109.

Na análise dos climas é comum diferenciar quatro escalas espaciais: macroclimática, mesoclimática, topoclimática e microclimática. Cada uma delas tem características próprias e permite diferentes níveis de generalização (CUADRAT & PITA, 1997). Cabe descrever aqui cada uma das escalas:

A) Macroclimas ou climas zonais: representam o campo das grandes áreas geográficas, de milhares de quilômetros quadrados de superfície, controladas pela circulação geral atmosférica, como um continente, os cinturões zonais que se perfilam ao redor da Terra ou ainda todo o planeta. Em geral, possuem um interesse limitado pela abstração de resultados que exigem e porque, na realidade, as zonas estão muito divididas em regiões, o que torna seu estudo global muito generalizado.

B) Mesoclimas ou climas regionais: constituem uma face do clima zonal, possuem dimensões lineares de duzentos a dois mil quilômetros, onde a circulação atmosférica e o clima são determinados por influências de grande escala e muitas vezes exteriores à região.

C) Topoclimas ou climas locais: são unidades menores do clima regional, bastante diferentes entre si, cujas características meteorológicas estão muito ligadas às condições locais, como são os casos, por exemplo, de uma cidade, um vale ou um bosque. Sua extensão espacial varia, em sentido horizontal, de cem a dez mil metros e verticalmente cerca de cem metros.

D) Microclimas: são os climas da capa de ar próxima à superfície terrestre e de locais pequenos, de áreas bem delimitadas, às vezes em situação de acentuado confinamento, tais como uma rua, um campo de cultivo, uma pastagem etc., onde a natureza dos elementos meteorológicos está condicionada fundamentalmente pelos fatores do entorno imediato muito mais que pelos fatores locais ou regionais. Seu estudo implica no uso de equipamentos específicos para registrar as pequenas mudanças ambientais em condições muito localizadas (na maioria dos casos a menos de 2 m de altura), e em períodos de tempo curtos porque, próximo ao solo, as variações das condições atmosféricas são muito rápidas.

Cuadrat & Pita (1997) afirmam ainda que os climas locais têm dimensões espaciais mais reduzidas que os climas regionais e natureza distinta, além disso, são também os mais diretamente perceptíveis pelo homem. Em suas características gerais, o clima local depende do

clima regional, e os mecanismos que intervêm na formação de ambos são essencialmente os mesmos. A distinção nasce das diferenças de escala e da especial influência que as condições locais e os componentes dos balanços de energia exercem sobre os elementos meteorológicos.

A abordagem para o estudo dos climas, conforme Cuadrat & Pita (1997), pode ser feita também sob diferentes escalas temporais de análise. Com frequência são contempladas três: paleoclimática, secular e instantânea. A seguir é apresentada a descrição de cada uma delas:

a) Escala paleoclimática ou geológica: procura reconstruir as condições atmosféricas do passado e se remonta a épocas distantes de nosso tempo. Para isso e diante da falta de registros meteorológicos instrumentais, as investigações se apoiam em evidências do tipo geológico ou paleobiológico, que indiretamente contribuem com dados sobre o clima e permitem deduzir as características mais importantes do mesmo.

b) Escalas secular e instantânea: apoiam-se em fontes diretas procedentes das estações de observação meteorológica existentes na superfície e, recentemente, a uma certa altura (sensores remotos instalados em satélites ou aviões). Os dados obtidos dessas estações permitem estudos estatísticos suficientes para definir as características básicas do clima. A escala secular analisa extensas séries meteorológicas da ordem de uma centena de anos. Já a escala instantânea examina o momento presente, com referência a um período mínimo de tempo que a Organização Meteorológica Mundial estabeleceu em trinta anos.

Ainda segundo esses autores, a escala paleoclimática implica em mudanças de tendência no comportamento do clima. Já as outras duas, em oposição à primeira, oferecem a idéia de estabilidade, se bem que a escala secular permite comprovar de maneira adequada as oscilações recentes e ainda ajuda a observar a aparição de fenômenos que são qualificados como excepcionais ou raros.

8 METODOLOGIA

Conforme citado anteriormente, este trabalho dá continuidade ao estudo sobre a atenuação da radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas, desenvolvido em pesquisa anterior (Bueno, 1998), e avalia a influência de uma das espécies estudadas na melhoria dos parâmetros de conforto no interior de uma edificação, uma escola de primeiro grau de Campinas, SP.

Para tanto, foram analisadas sete árvores: *Cassia* (*Senna spectabilis*), *Aroeira salsa* (*Schinus molle*), *Pata-de-vaca* (*Bauhinia variegata*), *Jambolão* (*Coppingium jambolana*), *Sombreiro* (*Clitoria fairchildiana*), *Cedro-rosa* (*Cedrela fissilis*) e *Ficus* (*Ficus benjamina*), de acordo com a metodologia proposta por Bueno (1998). Além disso, com base nos dados obtidos em campo foi feita a avaliação, utilizando-se o critério de conforto térmico de Fanger, das espécies arbóreas que melhor contribuem para o estabelecimento de condições adequadas de conforto térmico.

Com o objetivo de se obter uma comprovação experimental da contribuição das árvores para o conforto térmico de ambientes internos, foram avaliadas duas salas de aula de uma escola sem arborização e em seguida com arborização. Para isso, foram primeiramente realizadas medições de parâmetros ambientais com o entorno da escola sem árvores (condição

normal). Em seguida, alguns exemplares de árvores foram adquiridos para a realização das medições desses mesmos parâmetros (temperatura ambiente, umidade relativa, temperatura de globo e velocidade do ar) com o entorno modificado, ou seja, com a presença das árvores. Para tanto, foram adquiridos exemplares da espécie *Ficus benjamina*. Essa espécie foi utilizada devido à dificuldade de se encontrar uma outra nas condições adequadas ao experimento e que fosse mais indicada para arborização próxima a ambientes edificadas. Convém enfatizar que devido à penetração e distribuição de suas raízes, a espécie *Ficus benjamina* não é indicada para arborização de ruas nem de áreas pavimentadas ou próximas a construções.

Nas escolas, foi também realizado um estudo sobre as condições de conforto térmico. As salas foram analisadas nas duas situações: sem os exemplares e com os exemplares de *Ficus*, de acordo com o VME (Voto Médio Estimado).

8.1 Escalas

No trabalho desenvolvido neste doutorado, as escalas de abordagem adotadas foram microclimáticas e instantâneas, pois os parâmetros medidos nos permitem avaliar as condições do tempo e não do clima de um determinado local, no caso, das sombras dos indivíduos arbóreos analisados e das salas de aula da escola estudada. Pode-se dizer que as escalas macroclimática e mesoclimática influenciaram e influenciam os dados de campo medidos nesse projeto (radiação solar, temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade do vento) da mesma forma em qualquer situação amostrada, pois as árvores e a escola estão localizadas em um raio de aproximadamente 1 km. Portanto, se uma frente fria chega à cidade, com certeza, todas as árvores e a escola sofrerão influência da mesma frente, mas no caso das medições em questão o céu estava sempre aberto, sem ou com poucas nuvens. Já na escala do clima local, também é possível afirmar que os pontos de medições (indivíduos arbóreos e escola) possuíam influências semelhantes em suas características meteorológicas, pois suas condições locais eram praticamente as mesmas: tipos de edificações, pavimentação, cobertura vegetal, ou seja, uso e ocupação do solo semelhantes. Com relação à escala microclimática, esta sim, poderia sofrer maiores interferências de fatores do entorno imediato, mas essas influências foram minimizadas quando procurou-se entornos semelhantes para todos os indivíduos arbóreos estudados e quando adotou-se a mesma escola (PRODECAD) para as medições sem

e com árvores. Dessa forma, a representatividade dos dados climáticos e ambientais foi assegurada mesmo alterando-se a dimensão escalar da análise.

No caso dos indivíduos arbóreos isolados as medições dos parâmetros ambientais, tais como radiação solar, temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade do ar, foram pontuais. Assim, não foi possível, com base nos dados coletados nessa pesquisa, avaliar a escala espacial de influência que uma única árvore pode ter, ou ainda, estimar o número e o espaçamento dos indivíduos arbóreos a fim de que se obtivesse determinadas condições ambientais. O que se procurou com o trabalho foi determinar espécies que mais atenuam a radiação solar incidente e o quanto é atenuado pela sombra de suas copas. Além disso, as medições dos parâmetros ambientais foram sempre realizadas em dias com céu claro, sem nuvens ou com muito poucas, de forma que as condições do tempo fossem uniformes em todos os dias de medições. Um outro parâmetro considerado, e que cabe aqui lembrar, foram as condições do entorno onde cada árvore estava plantada. Para a seleção do indivíduo arbóreo foram observadas as seguintes características do meio: tipo de pavimentação e/ou cobertura vegetal semelhantes e distanciamento de edificações e de outras árvores em relação à árvore em estudo, procurando-se dessa forma manter condições uniformes quanto ao entorno de cada uma delas. Essa uniformidade de condições foi necessária para assegurar que a influência do meio nos parâmetros medidos fosse semelhante em todas as árvores.

No estudo dos indivíduos arbóreos procurou-se manter o conjunto de equipamentos utilizados no centro da sombra produzida pela árvore em análise. Dessa forma, a distância entre o tronco da árvore e os equipamentos não era constante, mas pode-se afirmar que sua localização ficava no máximo a 3 m de distância do tronco. Para a realização da avaliação do raio de influência (escala espacial) de um determinado indivíduo arbóreo nos parâmetros ambientais de seu entorno seriam necessárias medições desses mesmos parâmetros em diferentes direções e distâncias do “centro” da árvore, todas realizadas simultaneamente. Realmente esse tipo de estudo seria de grande valor para a determinação da escala de influência das árvores no microclima de seu entorno, mas essa avaliação não fazia parte da proposta do projeto. Além disso, não seria possível a realização de tais medições devido à restrição no número de equipamentos.

Já no caso da escola avaliada, para se ter uma estimativa da escala de influência da vegetação no ambiente seria necessária a medição de um outro parâmetro: a temperatura

superficial das paredes internas (a mais próxima das árvores e a mais afastada) antes e depois da colocação dos exemplares. E, talvez, as medições das temperaturas superficiais das paredes paralelas a essas nas salas subsequentes. Observando-se a Figura 02 é possível avaliar os pontos onde poderiam ser realizadas medições da temperatura superficial das paredes.

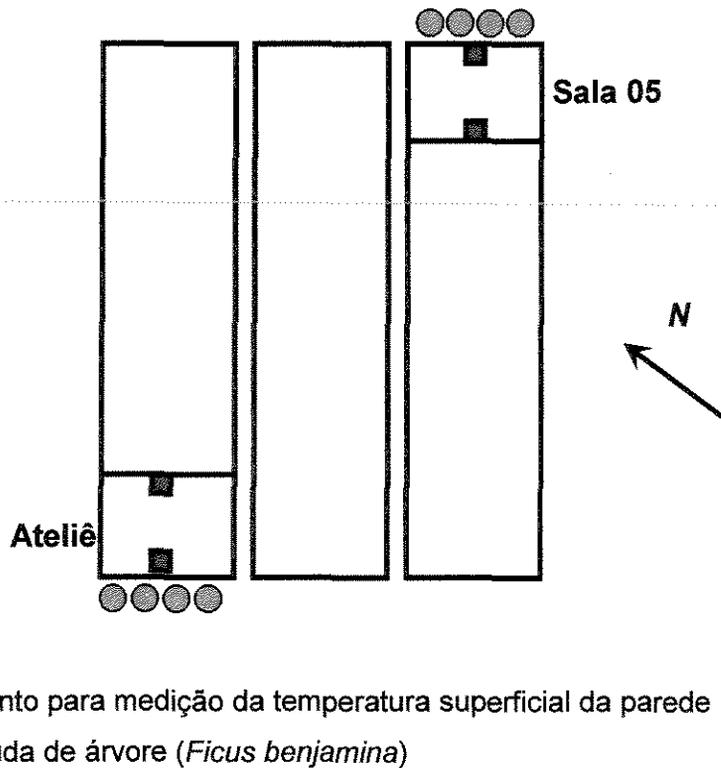


FIGURA 02 – Croqui da escola analisada (sem escala).

8.2 Espécies Arbóreas

Para o estudo da vegetação como atenuadora da radiação solar é necessário considerar-se as relações entre os indivíduos arbóreos, o meio e a radiação incidente, com especial atenção às características de cada espécie (LABAKI & SANTOS, 1996).

Para o desenvolvimento deste trabalho foram cumpridas as seguintes etapas presentes na metodologia de Bueno (1998):

- levantamento e seleção das espécies arbóreas a serem amostradas;
- seleção dos locais de medição;
- medições de campo;

8.2.1 Seleção das espécies

A seleção das espécies analisadas nesta pesquisa foi baseada nos dados obtidos junto à Prefeitura Municipal de Campinas para o desenvolvimento da dissertação de mestrado de Bueno (1998).

Por meio de entrevistas com funcionários do viveiro municipal, chegou-se a uma lista das espécies fornecidas para a arborização urbana (Quadro 02).

QUADRO 02

Espécies arbóreas mais utilizadas pela Prefeitura Municipal de Campinas

Nome Científico	Nome Científico
<i>Schinus molle</i>	<i>Hymenaea courbaril</i>
<i>Tibouchina granulosa</i>	<i>Caesalpinia ferrea</i>
<i>Cassia fistula</i>	<i>Jacaranda cuspidifolia</i>
<i>Sapindus saponaria</i>	<i>Peltophorum dubium</i>
<i>Eugenia uniflora</i>	<i>Pterocarpus violaceus</i>
<i>Lafoensiva glyptocarpa</i>	<i>Cassia grandis</i>
<i>Pachira aquatica</i>	<i>Triplaris brasiliiana</i>
<i>Tabebuia sp.</i>	<i>Tamarindus indica</i>
<i>Senna multijuga</i>	<i>Thuia orientalis</i>
<i>Caesalpinia peltophoroides</i>	<i>Michelia champacca</i>
<i>Senna macranthera</i>	<i>Myrciaria tenella</i>
<i>Bauhinia variegata</i>	<i>Dalbergia villosa</i>

Devido à dificuldade de se encontrar espécies isoladas e em condições ideais para as medições optou-se pelo estudo de outras cinco espécies que não constam do Quadro 09,

porém freqüentemente encontradas na arborização urbana de Campinas, além de duas acima relacionadas.

Aspectos como idade biológica (serem consideradas árvores adultas); características físicas das mesmas (representatividade em relação à espécie) e estarem situadas em locais de medição de acordo com os critérios adotados (item 8.2.4) também foram observados.

Levando-se em consideração todos esses requisitos, foram selecionadas as seguintes espécies: Aroeira salsa (*Schinus molle*), Pata-de-vaca (*Bauhinia variegata*), Cassia (*Senna spectabilis*), Jambolão (*Cajupatia jacobina*), Sombreiro (*Clitoria fairchildiana*), Cedro-rosa (*Cedrela fissilis*) e Ficus (*Ficus benjamina*).

8.2.2 Caracterização geral das espécies selecionadas

Como características gerais de quatro das sete espécies selecionadas (lembrando-se que essas quatro são nativas do Brasil), Lorenzi (1992) fornece as seguintes informações:

A) CASSIA (*Senna spectabilis*)

Quanto às características morfológicas da Cassia tem-se que sua altura varia de 6-9 m e o diâmetro do tronco de 30-40 cm. As folhas são compostas pinadas, de 2-4 cm de comprimento e com 10-20 pares de folíolos. Esta árvore é decídua, heliófita, seletiva xerófita, pioneira, característica do nordeste semi-árido (caatinga). Ocorre preferencialmente em solos mais profundos, bem drenados e de razoável fertilidade. Floresce durante os meses de dezembro a abril. Os frutos amadurecem nos meses de agosto-setembro. A madeira é moderadamente pesada, mole, pouco compacta e moderadamente durável quando protegida da umidade. Devido às limitações de tamanho, a madeira é aproveitada apenas para a confecção de objetos leves, caixotaria e como lenha e carvão. A árvore é extremamente ornamental durante o longo período que permanece em flor, podendo ser empregada com sucesso no paisagismo em geral. Pelo porte pequeno e beleza de sua florada, é ideal para

arborização de ruas, o que já vem sendo feito em muitas cidades do Estado de São Paulo. Pode também ser utilizada para plantios mistos destinados à recomposição da vegetação de áreas degradadas de preservação permanente. A área de ocorrência dessa espécie é o Nordeste do país, na caatinga.

B) AROEIRA SALSA (*Schinus molle*)

A altura da Aroeira salsa varia de 4-8 m com diâmetro do tronco entre 25-30 cm. As folhas são compostas com 4-12 jugos e folíolos subcoriáceos, glabros, de 3-8 cm de comprimento. Esta árvore é perenifólia, heliófita, suportando, contudo, sombreamento mediano promovido por outras árvores. Ocorre principalmente em solos secos e arenosos, adaptando-se com facilidade a terrenos de baixa fertilidade e pedregosos. É altamente tolerante à seca e resiste à geada. É encontrada em beira de córregos e matas e, predominantemente em áreas de campo, porém sua freqüência em todos os locais é baixa. Floresce abundantemente durante os meses de agosto a novembro. A maturação dos frutos verifica-se nos meses de dezembro a janeiro, porém, permanecem na árvore até fevereiro e março. A madeira é dura, pouco elástica, com alborno escuro, de boa durabilidade sob condições naturais e pode ser utilizada para confecção de moirões, esteios e trabalhos de tomo. A casca é empregada para curtir couro, e o córtex produz uma resina impregnada de terebintina. A árvore é muito ornamental, sendo amplamente empregada na arborização de ruas e no paisagismo em geral. Pode também ser empregada em reflorestamentos heterogêneos com fins ecológicos. Suas flores são melíferas. Esta espécie tem sido relatada como ocorrente desde Minas Gerais até o Rio Grande do Sul, mas tem sido encontrada apenas nos três estados da Região Sul, principalmente em campos de altitude.

C) SOMBREIRO (*Clitoria fairchildiana*)

O Sombreiro possui altura variável entre 6-12 m, com tronco curto revestido por casca fina e lisa. Suas folhas são compostas trifolioladas, estipuladas, decíduas, longo-pecioladas com folíolos coriáceos, na face superior glabros e na inferior seríceo-pubescentes, de 14-20 cm

de comprimento por 5-7 cm de largura. Os frutos são vagens deiscentes. A árvore é decídua, heliófita, seletiva higrófila, característica de formações secundárias da floresta pluvial amazônica. Apresenta preferência por solos férteis e úmidos. Floresce durante o verão, prolongando-se até abril ou maio em certas regiões. A maturação dos frutos ocorre durante os meses de maio a julho quando se inicia a queda das folhas. A madeira pode ser empregada na construção civil como divisórias internas, forros e para a confecção de brinquedos e caixotaria, pois é moderadamente pesada, mole, medianamente resistente e fácil de trabalhar, mas possui baixa durabilidade sob condições naturais. A árvore proporciona ótima sombra, além de apresentar características ornamentais. É ótima para arborização urbana e rural. Como planta rústica e de rápido crescimento, é presença indispensável nos reflorestamentos heterogêneos destinados à reconstituição da vegetação de áreas degradadas de preservação permanente. Pode ser encontrada no Amazonas, Pará, Maranhão e Tocantins na floresta pluvial amazônica.

D) CEDRO-ROSA (*Cedrela fissilis*)

A altura do Cedro-rosa varia de 25 a 30 m com diâmetro do tronco entre 60-90 cm. As folhas são compostas de 60-100 cm de comprimento e folíolos de 8-14 cm de comprimento. É uma árvore decídua, heliófita ou esciófita, característica das florestas semidecíduas e menos freqüente na floresta ombrófila densa como a pluvial da costa atlântica. Ocorre preferencialmente em solos úmidos e profundos como os encontrados nos vales e planícies aluviais. Desenvolve-se no interior de florestas primárias, podendo também ser igualmente encontrada como espécie pioneira na vegetação secundária. Floresce durante os meses de agosto a setembro. Seus frutos amadurecem com a árvore totalmente desfolhada nos meses de junho a agosto. A madeira é leve a moderadamente pesada, macia ao corte e notavelmente durável em ambiente seco. Quando enterrada ou submersa apodrece rapidamente. O alborno é branco ou rosado distinto do cerne. A madeira é largamente empregada em compensados, contraplacados, esculturas e obras de talha, modelos e molduras, esquadrias, móveis em geral, marcenaria, na construção civil, naval e aeronáutica, na confecção de pequenas caixas, lápis, instrumentos musicais etc. A árvore é também largamente empregada no paisagismo de parques e grandes jardins. Não deve faltar na composição de reflorestamentos heterogêneos de áreas degradadas de preservação permanente. É encontrada desde o Rio Grande do Sul até

Minas Gerais, principalmente nas florestas semidecídua e pluvial atlântica. Ocorre, porém em menor intensidade em todo o país.

E) PATA-DE-VACA (*Bauhinia variegata*)

A Pata-de-vaca é uma planta exótica, ou seja, foi trazida de outro país para o Brasil. Originária da Ásia tropical com altura de 5-9 m, tronco tortuoso de 30-40 cm de diâmetro e ramos jovens com espinhos. Possui folhas glabras ou levemente pubescentes na face dorsal, divididas até acima do meio, de 8-12 cm de comprimento. Acúleos quase sempre gêmeos, que lembram o casco de boi. É uma árvore decídua ou semidecídua. Adapta-se bem em qualquer tipo de solo, desde que seja bem drenado. Floresce a partir do fim de outubro, prolongando-se até janeiro. Suas flores em forma de orquídea podem ser de cor rosa ou, como no caso da árvore analisada, branca. Os frutos são vagens alongadas com até 20 cm de comprimento e 2 cm de largura, que se abrem e liberam de 10 a 20 sementes de cor marrom claro. A maturação dos frutos ocorre durante os meses de julho e agosto. A madeira é moderadamente pesada, mole, de baixa durabilidade quando exposta ao tempo podendo ser empregada para caixotaria e obras leves. É uma planta bastante ornamental e recomendada para o paisagismo, principalmente para arborização e ruas estreitas e sob rede elétrica. Suas folhas são reputadas como medicinais. Como planta pioneira e de rápido crescimento, é recomendada para plantios mistos em áreas degradadas destinadas à recomposição da vegetação arbórea (ZACHARIAS FILHO et al., 1996; LILLO & CÁCERES, 2001).

F) JAMBOLÃO (*Coringium jambolana*)

O Jambolão também é uma árvore não nativa do Brasil. Como características gerais da espécie *Coringium jambolana* pode-se citar: árvore de clima tropical, originária da Índia, atinge em média 8 m de altura e 6 m de diâmetro de copa. Necessita de luz e insolação diretas, o solo deve ser arenoso, sílico-argiloso, profundo e bem drenado. O tronco é semitortuoso, marrom e rugoso, as folhas são verde escuro e os frutos pequenos, na forma de bagas. Com relação ao

paisagismo, a espécie é indicada para bosques e pomares em climas quentes (ZACHARIAS FILHO et al., 1996).

G) FICUS (*Ficus benjamina*)

O Ficus, outra espécie exótica, é originária da Índia, possui altura entre 4 m e 6 m, copa densa e é muito ornamental. A casca do tronco é lisa e cinza. Os brotos terminais são de cor verde intensa. Possui folhas alternas, de 10-12 cm de comprimento, com forma ovado-elíptica e a superfície verde brilhante; o ápice é bastante acuminado, a base é arredondada e sua textura é um pouco coriácea. Os pecíolos são compridos (2,5 cm de comprimento), glabros, um pouco acanalados na parte de cima. Os frutos são arredondados e, quando maduros, avermelhados. Esses frutos têm aproximadamente 1 cm de diâmetro e contrastam com o verde da folhagem. Sua multiplicação é feita por estacas ou mudas (LILLO & CÁCERES, 2001).

8.2.3 Caracterização dos indivíduos arbóreos analisados

Através das observações realizadas em campo, chegou-se a algumas características dos indivíduos arbóreos analisados. Essas características são meramente ilustrativas, pois foi realizada uma avaliação aproximada de suas dimensões que é apresentada a seguir:

A) CASSIA (*Senna spectabilis*)

- Altura aproximada da árvore: 8,50 m
- Altura do fuste: 0,80 m
- Diâmetro do tronco: 26,4 cm
- Cor do tronco: marrom escuro
- Rugosidade do tronco: muito rugoso
- Diâmetro da copa: 9,00 m
- Densidade da copa: densa
- Comprimento da folha: 5,0 cm
- Largura da folha: 2,5 cm
- Cor da folha: verde escuro



FIGURA 03 – *Senna spectabilis* (Cassia) analisada.

B) AROEIRA SALSA (*Schinus molle*)

- Altura aproximada da árvore: 4,30 m
- Altura do fuste: 1,10 m
- Diâmetro do tronco: 20,7 cm
- Cor do tronco: marrom escuro
- Rugosidade do tronco: muito rugoso
- Diâmetro da copa: 6,10 m
- Densidade da copa: média
- Comprimento da folha: 3,5 cm
- Largura da folha: 0,2 cm
- Cor da folha: verde claro



FIGURA 04 – *Schinus molle* (Aroeira salsa) analisado.

C) PATA-DE-VACA (*Bauhinia variegata*)

- Altura aproximada da árvore: 8,00 m
- Altura do fuste: 1,20 m
- Diâmetro do tronco: 29,6 cm
- Cor do tronco: marrom claro
- Rugosidade do tronco: rugoso
- Diâmetro da copa: 8,10 m
- Densidade da copa: média
- Comprimento da folha: 10,0 cm
- Largura da folha: 12,0 cm
- Cor da folha: verde médio



FIGURA 05 – *Bauhinia variegata* (Pata-de-vaca) analisada.

D) SOMBREIRO (*Clitoria fairchildiana*)

- Altura aproximada da árvore: 12,00 m
- Altura do fuste: 1,10 m
- Diâmetro do tronco: 111,4 cm
- Cor do tronco: cinza médio
- Rugosidade do tronco: pouco rugoso
- Diâmetro da copa: 16,80 m
- Densidade da copa: média
- Comprimento da folha: 17,0 cm
- Largura da folha: 5,0 cm
- Cor da folha: verde médio

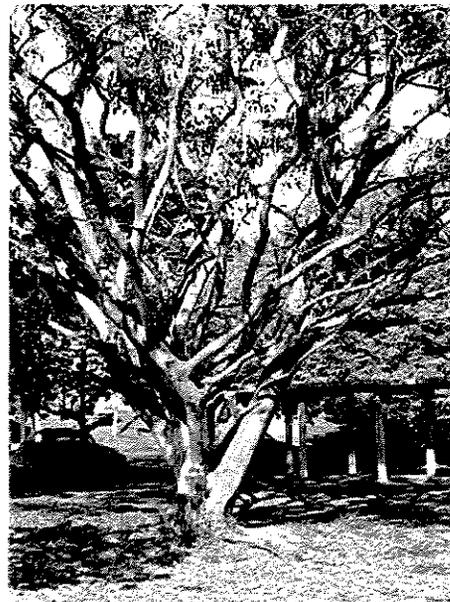


FIGURA 06 – *Clitoria fairchildiana* (Sombreiro) analisada.

E) CEDRO-ROSA (*Cedrela fissilis*)

- Altura aproximada da árvore: 7,60 m
- Altura do fuste: 1,60 m
- Diâmetro do tronco: 24,8 cm
- Cor do tronco: marrom médio
- Rugosidade do tronco: muito rugoso
- Diâmetro da copa: 7,80 m
- Densidade da copa: rala
- Comprimento da folha: 3,5 cm
- Largura da folha: 1,0 cm
- Cor da folha: verde claro



FIGURA 07 – *Cedrela fissilis* (Cedro-rosa) analisada.

F) JAMBOLÃO (*Cingingium jambolana*)

- Altura aproximada da árvore: 10,00 m
- Altura do fuste: 1,60 m
- Diâmetro do tronco: 43,0 cm
- Cor do tronco: marrom claro
- Rugosidade do tronco: rugoso
- Diâmetro da copa: 12,20 m
- Densidade da copa: densa
- Comprimento da folha: 15,0 cm
- Largura da folha: 6,0 cm
- Cor da folha: verde escuro



FIGURA 08 – *Cingingium jambolana* (Jambolão) analisada.

G) FICUS (*Ficus benjamina*)

- Altura aproximada da árvore: 3,10 m
- Altura do fuste: 0,60 m
- Diâmetro do tronco: 11,1 cm
- Cor do tronco: cinza claro
- Rugosidade do tronco: pouco rugoso
- Diâmetro da copa: 2,10 m
- Densidade da copa: média
- Comprimento da folha: 2,5 cm
- Largura da folha: 1,5 cm
- Cor da folha: verde médio



FIGURA 09 – *Ficus benjamina* (Ficus) analisada.

8.2.4 Seleção dos locais de medição

A escolha dos sítios de medição ficou estritamente ligada às espécies utilizadas pela Prefeitura e a fatores físicos relacionados ao meio. Esses dois aspectos foram considerados quase que simultaneamente, ou seja, ao mesmo tempo em que uma espécie da lista era procurada, o local onde ela se localizava também era analisado quanto à sua adequação ao experimento.

Cabe ressaltar aqui a enorme dificuldade de se encontrar indivíduos em condições consideradas ideais para a realização das medições dos parâmetros ambientais (radiação solar, temperatura do ar, temperatura de bulbo úmido, temperatura de globo e velocidade do vento).

Nessa procura, foram observados os seguintes pontos:

- disposição desses indivíduos em relação ao entorno que permitisse a correta realização das medições: ausência de sombra de edificações ou outras árvores, topografia do terreno ao redor da árvore etc.

- local acessível, que ao mesmo tempo restringisse a interferência de terceiros nos equipamentos;

- uniformidade das condições em torno das árvores, relacionada à ausência de pavimentação e construções próximas.

Devido a essas restrições, a escolha dos indivíduos arbóreos e conseqüentemente dos locais de medição ficou bastante limitada.

Foram escolhidas duas espécies (*Schinus molle* e *Senna spectabilis*) que se localizam em ruas do distrito de Barão Geraldo e outras quatro (*Cingingium jabolana*, *Clitoria fairchildiana*, *Cedrella fissilis* e *Bauhinia variegata*) que ficam dentro do campus da UNICAMP. Quanto aos exemplares de *Ficus benjamina*, pelos motivos já expostos, a análise foi feita nas árvores plantadas em vasos, que foram levados ao campus.

No Quadro 03 estão listadas as espécies arbóreas selecionadas e os respectivos locais de medição.

QUADRO 03
Locais das medições

Indivíduo	Local
<i>Schinus molle</i> (Aroeira salsa)	Rua – Barão Geraldo
<i>Senna spectabilis</i> (Cassia)	Praça – Barão Geraldo
<i>Cingingium jabolana</i> (Jambolão)	Campus da UNICAMP
<i>Clitoria fairchildiana</i> (Sombreiro)	Campus da UNICAMP
<i>Cedrella fissilis</i> (Cedro-rosa)	Campus da UNICAMP
<i>Bauhinia variegata</i> (Pata-de-vaca)	Campus da UNICAMP
<i>Ficus benjamina</i> (Ficus)	Campus da UNICAMP

8.2.5 Equipamentos

As medições da radiação solar foram realizadas com dois solarímetros de tubo, modelo TSL, da DELTA-T Devices. Os sensores desses equipamentos foram conectados a um integrador da mesma marca (Figura 10), modelo DL2, para a coleta automática dos dados.

Também foram utilizados dois termômetros de globo e dois psicrômetros com ventilação natural para as medições de temperatura e umidade relativa, e um termoanemômetro digital portátil com sensor de hélice para as medições de velocidade do vento.

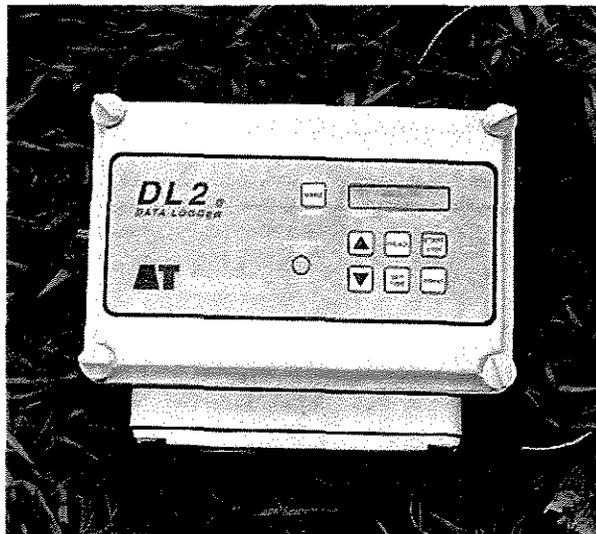


FIGURA 10 - Integrador, modelo DL2 da marca DELTA-T Devices.

a) Termômetros

Para as medições de temperatura ambiente foram utilizados dois termômetros de bulbo seco, com escalas de 0 °C a 50 °C e a menor divisão correspondendo a 1 °C.

Esses dois termômetros, e mais os termômetros de bulbo úmido, fazem parte dos dois psicrômetros com ventilação natural utilizados para o cálculo, a partir de suas leituras, da umidade relativa.

Os termômetros de bulbo úmido também possuem uma variação de 0 °C a 50 °C e a menor divisão da escala correspondendo a 1 °C (Figura 11).

Foram utilizados ainda dois termômetros de globo, com diâmetro de 11,7 cm cada um. Sua escala varia de -10 °C a 110 °C, com menor divisão de 1 °C (Figura 11).

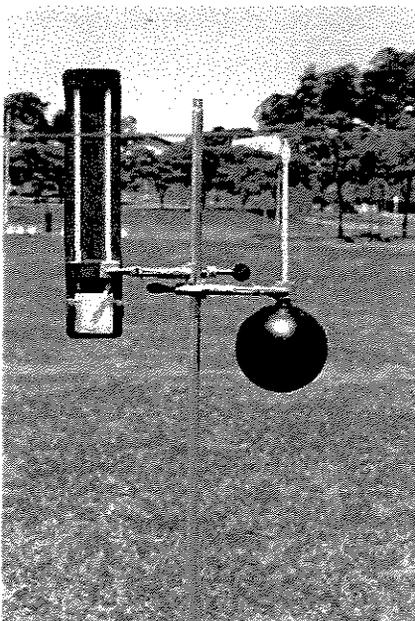


FIGURA 11 - Termômetro de globo e psicrômetro com ventilação natural.

b) Anemômetro

Para a medição da velocidade do vento foi utilizado um termoanemômetro digital portátil com sensor de hélice, modelo AM-4202 da marca Lutron, alimentado com uma bateria de 9 V e com display LCD de 3,5 dígitos. O equipamento possui escala de velocidade de 0,2 a 30,0 m/s, com resolução de 0,1 m/s. O sensor de hélice possui 72 mm de diâmetro. Já a escala de medições de temperatura é de 0 a 60 °C com resolução de 0,1 °C e precisão de $\pm 2\%$ mais um dígito. A temperatura de operação do equipamento é de 0 a 50 °C e a umidade de operação até 90% HR (Figura 12).



FIGURA 12 – Termoanemômetro com sensor de hélice.

c) Solarímetros

Os solarímetros de tubo foram desenvolvidos para medir a irradiância média (em kW/m^2) em situações onde a distribuição de energia radiante não é uniforme, isto é, sob folhagens, em estufas etc. Seu desenho tubular proporciona a média espacial necessária para minimizar a movimentação das folhagens das plantas (DELTA-T, 1993). Na Figura 13, pode-se observar um esquema do solarímetro de tubo.

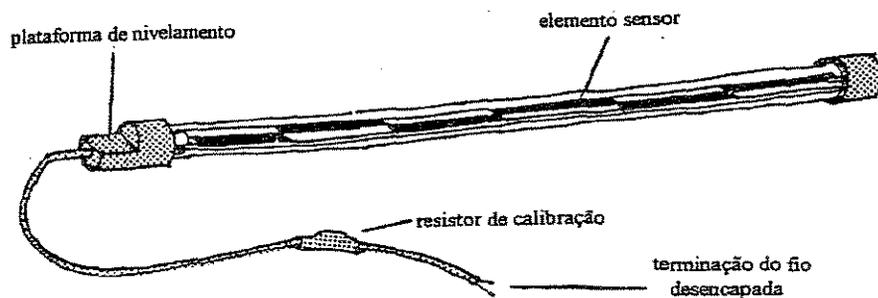


FIGURA 13 - Desenho esquemático de um solarímetro de tubo

FONTE - DELTA-T, 1993. p. 4.

A fim de se obter dados sobre a radiação solar incidente, na faixa de 350 nm a 2500 nm, foram utilizados dois solarímetros de tubo (um ao sol e outro à sombra dos indivíduos arbóreos analisados). Sua resposta espectral abrange a região do visível e do infravermelho de onda curta (Figura 14). A calibração desses solarímetros de tubo é feita na fábrica, sob condições de luz difusa, e tem uma regulagem de saída ("output") de 15 mV por kW/m², ou seja:

$$\text{Irradiância (kW/m}^2\text{)} = \frac{\text{voltagem medida (mV)}}{15} \quad [8.1]$$

O elemento sensor de cada aparelho é protegido por um tubo de vidro Pyrex. Os solarímetros são supridos de ar seco e selados (Figura 15).

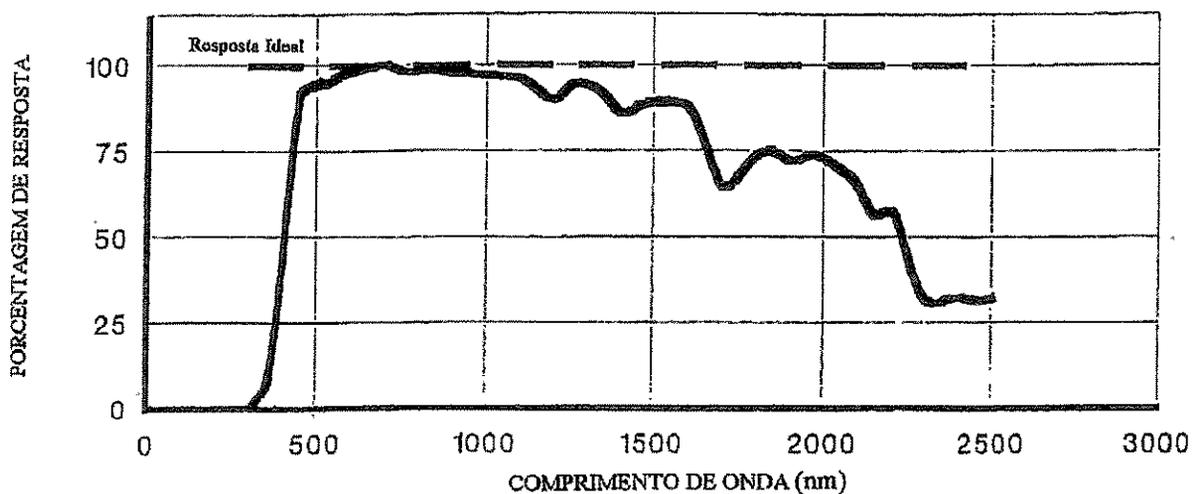


FIGURA 14 - Resposta espectral de um solarímetro de tubo. Adaptado de DELTA-T, 1993. p. 5.

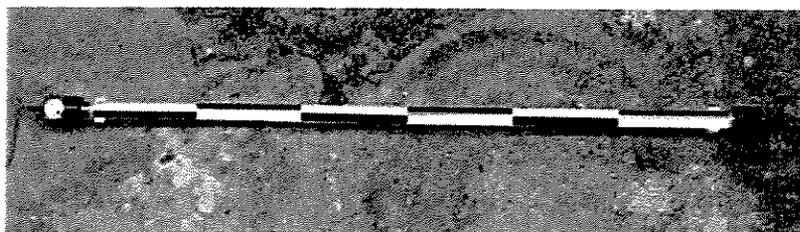


FIGURA 15 – Solarímetro de tubo, modelo TSL, da DELTA-T Devices.

O funcionamento do equipamento se baseia na pequena diferença de temperatura entre as áreas brancas e pretas, resultante do fluxo de energia incidente, que é transformada em voltagem por um sensor de cobre. As áreas brancas e pretas são alternadas para que quando a radiação não incidir uniformemente sobre todo o tubo, a diferença média da temperatura entre essas áreas não seja afetada.

8.2.6 Representatividade dos dados

As condições iniciais do ambiente no estudo sobre os indivíduos arbóreos foram determinadas da seguinte maneira: as medições foram realizadas simultaneamente à sombra da árvore e em campo aberto. Os dois conjuntos de equipamentos localizaram-se a uma distância máxima entre si de 10 m. Assim, foram preservadas todas as condições climáticas para ambas medidas, devido à simultaneidade das medições. Pôde-se com isso comparar os dados obtidos à sombra com aqueles dos conjuntos expostos ao sol.

8.2.7 Método de tratamento e análise dos resultados

Para melhor visualização e análise dos dados obtidos foram elaborados vários gráficos com os resultados das medições de temperatura e radiação solar, além daqueles com os valores de umidade relativa. Os valores de umidade relativa do ar foram calculados através de expressões matemáticas que consideram as medidas dos termômetros de bulbo seco e bulbo úmido (psicrômetro com ventilação natural).

Neste trabalho, a avaliação de conforto térmico proporcionado pelos indivíduos arbóreos analisados foi feita por meio do software Conforto 2.0 (Ruas, 2002) que, a partir dos dados obtidos em campo, calcula os valores do Voto Médio Estimado (VME) e da Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (PEI) (ISO 7730, 1994).

Analisando-se os valores de VME e PEI, assim como as porcentagens de atenuações da radiação solar incidente proporcionadas por cada árvore, foram feitas indicações das

espécies mais adequadas para a atenuação da radiação solar e conseqüente melhoria do microclima do seu entorno, visando o conforto térmico.

a) Temperaturas

A análise dos valores obtidos com os termômetros de globo e bulbo seco (temperatura do ar) foi baseada, principalmente, em gráficos. A partir dos dados de campo foram traçados os gráficos, um para cada dia de medição, onde constam os valores de temperatura ambiente e temperatura de globo, ao sol e à sombra. Cada um deles, portanto, é composto de quatro curvas.

Como as medições dos diferentes indivíduos arbóreos foram realizadas em dias diferentes, adotou-se como parâmetro de normalização a temperatura ao sol, pois o objetivo é justamente quantificar o efeito da sombra de cada indivíduo.

Para essa normalização, utilizou-se o cálculo das variações relativas da temperatura ambiente pela expressão proposta por Bueno (1998):

$$VR_{TA} = \frac{T_{A_{sol}} - T_{A_{sombra}}}{T_{A_{sol}}} \cdot 100 \quad [8.2]$$

onde

- VR_{TA} ⇒ variação relativa da temperatura ambiente (%);
- $T_{A_{sol}}$ ⇒ temperatura ambiente ao sol (°C);
- $T_{A_{sombra}}$ ⇒ temperatura ambiente à sombra do indivíduo arbóreo analisado (°C).

Com os valores das variações relativas de temperatura ambiente foi calculada a média horária dessas variações para cada árvore analisada.

Dessa forma, foi elaborado um gráfico que apresenta a variação relativa das temperaturas do ar proporcionada pelos sete indivíduos arbóreos analisados.

b) Umidade Relativa

Os valores de umidade relativa foram calculados a partir das temperaturas de bulbo seco (T_s) e bulbo úmido (T_u) dos psicrômetros com ventilação natural, apresentados em Bueno (1998).

c) Radiação Solar

A partir dos gráficos de radiação solar, foram calculadas as porcentagens diárias de atenuação da radiação solar de cada indivíduo arbóreo analisado, de acordo com a expressão:

$$At = \frac{S_{sol} - S_{sombra}}{S_{sol}} \cdot 100 \quad [8.3]$$

onde

$At \Rightarrow$ atenuação da radiação solar (%);

$S_{sol} \Rightarrow$ área do gráfico, que fornece a energia total incidente (kW.h/m^2), coletada pelo solarímetro ao sol, no intervalo de tempo considerado (o dia todo);

$S_{sombra} \Rightarrow$ área do gráfico, que fornece a energia total incidente (kW.h/m^2), coletada pelo solarímetro à sombra, no intervalo de tempo considerado (o dia todo).

Para se obter uma análise mais adequada das atenuações da radiação solar, foram calculados os erros padrões das médias dessas atenuações. Assim, para cada árvore foi calculada a média das atenuações, correspondente ao período de medições (cinco dias), e o seu respectivo erro padrão (TOPPING, 1972):

$$\alpha = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad [8.4]$$

onde

α \Rightarrow erro padrão da média;

σ \Rightarrow desvio padrão;

n \Rightarrow número de elementos.

Dessa forma, foi possível comparar as espécies e observar qual oferece melhores condições de conforto térmico devido à maior atenuação da radiação solar.

d) Avaliação de Conforto Térmico

A avaliação de conforto térmico proporcionado pelas árvores analisadas foi feita utilizando-se o método do Voto Médio Estimado (VME) de acordo com a ISO 7730, 1994. Foram calculados os valores do VME e da Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (PEI) para todos os indivíduos arbóreos deste estudo inclusive para as situações em que as espécies *Clitoria fairchildiana* (31/05/2000; 29/06/2000; 14/08/2001; 18/08/2001; 01/09/2001) e *Cedrela fissilis* (27/05/2000; 29/06/2000; 10/06/2001; 15/06/2001; 16/06/2001) estavam sem folhas. Os horários analisados foram às 7:15 h e às 14:15 h, períodos mais críticos durante as medições. No horário das 7:00 h, as temperaturas foram as mais baixas ao longo do período analisado (entre 7:00 h e 17:30 h). Já às 14:15 h, as temperaturas foram as mais elevadas ao longo do mesmo período.

Além dos parâmetros ambientais como temperatura do ar, temperatura de globo, umidade relativa e velocidade do ar, os parâmetros individuais, também considerados neste

trabalho, foram o tipo de vestimenta utilizada pela maioria das pessoas que transitam pelas áreas em estudo e a atividade exercida (taxa de metabolismo) no ambiente analisado.

As peças de roupa consideradas nos cálculos, de acordo com a ISO 9920 (1995), foram: cueca de algodão (0,04 clo), calças folgadas (0,22 clo), meia esportiva (0,03 clo), tênis de lona com sola leve (0,02 clo) e camiseta de algodão de mangas curtas (0,08 clo). Contabilizando-se cada item, a resistência térmica total desta vestimenta adotada como padrão foi de 0,39 clo. Para efeito comparativo, uma segunda possibilidade de vestimenta também foi avaliada, no caso a inclusão de um casaco tipo jaqueta (0,55 clo), aumentando o valor da resistência térmica da vestimenta padrão para 0,94 clo.

Já as atividades consideradas exercidas em espaços externos foram: uma pessoa parada, sentada (1,0 met) ou uma pessoa andando em local plano a uma velocidade de 2 km/h (1,9 met) (ISO 8996, 1990). Essa velocidade adotada corresponde a uma caminhada tranqüila.

Assim, tem-se quatro situações distintas observadas para os parâmetros pessoais:

- pessoa sentada (1,0 met) com vestimenta de 0,39 clo;
- pessoa andando (1,9 met) com vestimenta de 0,39 clo;
- pessoa sentada (1,0 met) com vestimenta de 0,94 clo;
- pessoa andando (1,9 met) com vestimenta de 0,94 clo.

Todas essas considerações foram feitas de modo a simular as situações que ocorrem no entorno das árvores analisadas.

8.2.8 Espécies analisadas anteriormente

Na dissertação de mestrado da autora (Bueno, 1998) foram analisadas outras cinco espécies arbóreas quanto à atenuação da radiação solar: Jatobá (*Hymenaea courbaril*), Chuva-de-ouro (*Cassia fistula*), Magnólia (*Michelia champacca*), Ipê Roxo (*Tabebuia impetiginosa*) e Sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*) (Tabela 01).

TABELA 01 – Atenuação da radiação solar.

<i>Árvores analisadas no Mestrado</i>	<i>Atenuação da radiação solar (%)</i>	<i>Erro padrão da média (α)</i>
Jatobá	87,2	$\pm 1,6$
Chuva-de-ouro	87,3	$\pm 0,7$
Magnólia	82,4	$\pm 3,4$
Ipê Roxo	75,6	$\pm 2,3$
Sibipiruna	88,5	$\pm 1,2$

A tabela com os valores das atenuações das espécies acima e aquelas analisadas neste trabalho são apresentadas no item 9 a fim de se obter um panorama geral de todas as árvores já analisadas.

8.3 Escola

Com o objetivo de se obter uma comprovação experimental da contribuição das árvores para o conforto térmico de ambientes internos, foram avaliados os parâmetros de conforto em uma edificação escolar sem arborização e em seguida com arborização.

Os parâmetros ambientais (temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar e temperatura de globo) foram medidos através de sensores automáticos ligados a pequenos “data loggers”, das marcas Testo e Instrutherm. As medições foram realizadas a cada 10 minutos durante 24 horas por dia, ao longo de 15 dias, no período entre 21 de março de 2002 e 11 de abril de 2002 (mais precisamente nos dias 21, 22, 23, 24, 26 e 27 de março e 01, 02, 03, 04, 05, 08, 09, 10 e 11 de abril). Neste primeiro período, duas salas de aula da escola foram avaliadas da forma em que se encontravam: sem arborização.

Cabe ressaltar que foram realizadas medições de todos os parâmetros ambientais necessários para a avaliação da edificação (temperatura ambiente, umidade relativa, velocidade do ar, temperatura de globo) de acordo com a ISO 7730 (1994). Não foi de interesse deste

trabalho a realização de um estudo de desempenho térmico da edificação em questão, por isso não foram realizadas medições de temperaturas superficiais (parede e cobertura).

Numa segunda etapa, foram adquiridos exemplares da espécie *Ficus benjamina*, em condições consideradas adequadas ao experimento. Para isso foi realizado um grande levantamento junto a viveiros de mudas em toda a região de Campinas e até mesmo na cidade de São Paulo. Houve uma dificuldade enorme de se encontrar exemplares em tais condições. A única espécie que satisfazia a todos os requisitos necessários (idade biológica; características físicas das mesmas e adaptação em vasos) foi o Ficus. Como essa espécie não fazia parte do estudo sobre a atenuação da radiação solar proporcionada pelos indivíduos arbóreos, optou-se pela aquisição de dez exemplares, sendo que oito foram colocadas na escola e outras duas serviram para a análise da atenuação da radiação e melhoria das condições de conforto proporcionadas por esses exemplares. Com os oito indivíduos dentro de grandes vasos foi feita uma “arborização provisória” visando o adequado posicionamento dessas árvores no lote da escola. Por meio de um estudo detalhado da planta da edificação e de sua implantação no terreno, as duas salas de aula analisadas anteriormente foram sombreadas: a Sala 5, que recebe a incidência direta do sol da manhã, e o Ateliê, que recebe a incidência direta do sol da tarde. Cabe acrescentar que as fachadas sombreadas estão voltadas para nordeste (Sala 5) e sudoeste (Ateliê), e foram escolhidas para que os efeitos da arborização em fachadas opostas fossem comparados. Assim, mais 15 dias de medições dos parâmetros ambientais (temperatura ambiente, umidade relativa, velocidade do ar, temperatura de globo) foram realizados, agora com as fachadas mais críticas das salas escolhidas sombreadas com os exemplares de Ficus. Os dias de medições foram: 26, 27, 28, 29, 30 de abril de 2002 e 01, 02, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12 e 13 de maio de 2002.

Os parâmetros ambientais relacionados ao meio externo à edificação foram obtidos junto ao Centro de Pesquisas Agrícolas, CEPAGRI – UNICAMP. Esses dados são coletados no posto meteorológico da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP (FEAGRI). Os dados externos compreendem todo o período durante o qual foram realizadas as medições no PRODECAD (Projeto de Integração e Desenvolvimento da Criança).

Foram feitas análises estatísticas utilizando-se o software SAS™ (Statistical Analysis System) com os dados de temperatura do ar e umidade relativa da escola, antes e depois da arborização, e com os mesmos dados fornecidos pelo CEPAGRI, para detectar se havia

diferenças estatisticamente significativas entre os dias de medições sob as duas condições – com e sem arborização. O delineamento adotado foi o de blocos casualizados. O método usado foi o Teste de Tukey com 1% e 5% de probabilidade. A análise estatística constou de 6 (seis) tratamentos, referentes às salas analisadas e à área externa sem e com arborização, e 15 (quinze) blocos, representados pelos dias de avaliação.

Análises baseadas no critério de conforto térmico preconizado pela ISO 7730 (1994) também foram feitas para avaliar o quanto a utilização das árvores amenizou as temperaturas e melhorou o conforto térmico no interior das salas. Nessa avaliação foram considerados os dois dias mais frios (08/04/2002 e 30/04/2002) e os dois dias mais quentes (04/04/2002 e 06/05/2002) do período estudado, verificados por meio do cálculo da entalpia de cada um deles.

8.3.1 Seleção da escola

A escola escolhida para as medições foi o PRODECAD (Projeto de Integração e Desenvolvimento da Criança) da UNICAMP, que atende a crianças, filhos de funcionários e professores da Universidade, em três subprogramas: pré-escola, apoio à escolaridade I (da 1ª a 4ª série) e apoio à escolaridade II (da 5ª a 8ª série). O PRODECAD está localizado na Rua Carlos Chagas, nº 351 – dentro do campus da UNICAMP, em Barão Geraldo. Optou-se pela análise dessa escola devido às suas características físicas e pela necessidade de se manter a integridade dos equipamentos durante as medições. A escola é pequena e possui algumas árvores distribuídas pelo lote, mas nenhuma próxima à edificação analisada. Possui também cozinha, refeitório, parquinho e duas quadras para a realização de atividades esportivas.

8.3.2 Descrição do local

A escola é formada por três edificações térreas separadas por dois corredores cobertos de 1,80 m de largura cada um. No primeiro bloco tem-se cinco salas de aulas e dois sanitários para alunos, um feminino e outro masculino. No segundo tem-se uma cozinha, um refeitório, uma sala de aula, um pequeno pátio descoberto, uma diretoria e uma secretaria. No

terceiro e último prédio tem-se quatro salas de aula e mais dois sanitários para alunos (masculino e feminino). Cabe comentar que as salas de aula não possuem forro, ou seja, o teto de cada sala é a própria laje da edificação o que aumenta a transmissão de calor da cobertura para o ambiente interno. Além disso não existem aberturas próximas à laje para a retirada desse calor. Na escola há também um parquinho com balanço, escorregador e outros equipamentos numa área descoberta com piso de areia e alguma grama. Na área do parquinho também existem três árvores, mas somente uma delas tem porte suficiente para fornecer sombra em parte dos brinquedos. A escola possui também duas quadras de cimento descobertas para recreação e práticas esportivas dos alunos. Quanto ao restante do ambiente interno do lote, não há paisagismo, existem apenas algumas árvores distribuídas pelo terreno, sendo que a maior parte do piso é de concreto (Figuras 16 e 18).

No entorno do lote tem-se à direita o barracão do Almoxarifado Central; à esquerda uma creche para crianças entre um e quatro anos, que também atende a filhos de funcionários e professores; ao fundo a escola de ensino fundamental Sérgio Porto e em frente, o prédio do Gastrocentro do Hospital das Clínicas da UNICAMP (Figura 17). Todas as ruas do campus são pavimentadas inclusive aquelas próximas ao PRODECAD. Existem algumas lanchonetes e também pontos de ônibus próximo à escola devido à pequena distância entre a mesma e o Hospital das Clínicas da Universidade.

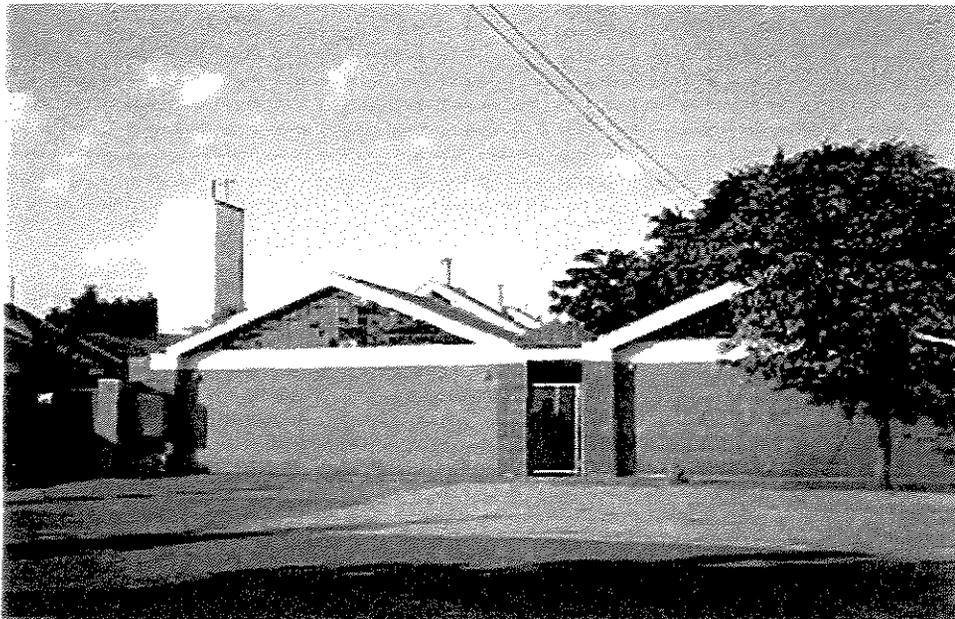


FIGURA 16 – PRODECAD.



FIGURA 17 – Localização do PRODECAD e da FEAGRI (sem escala).

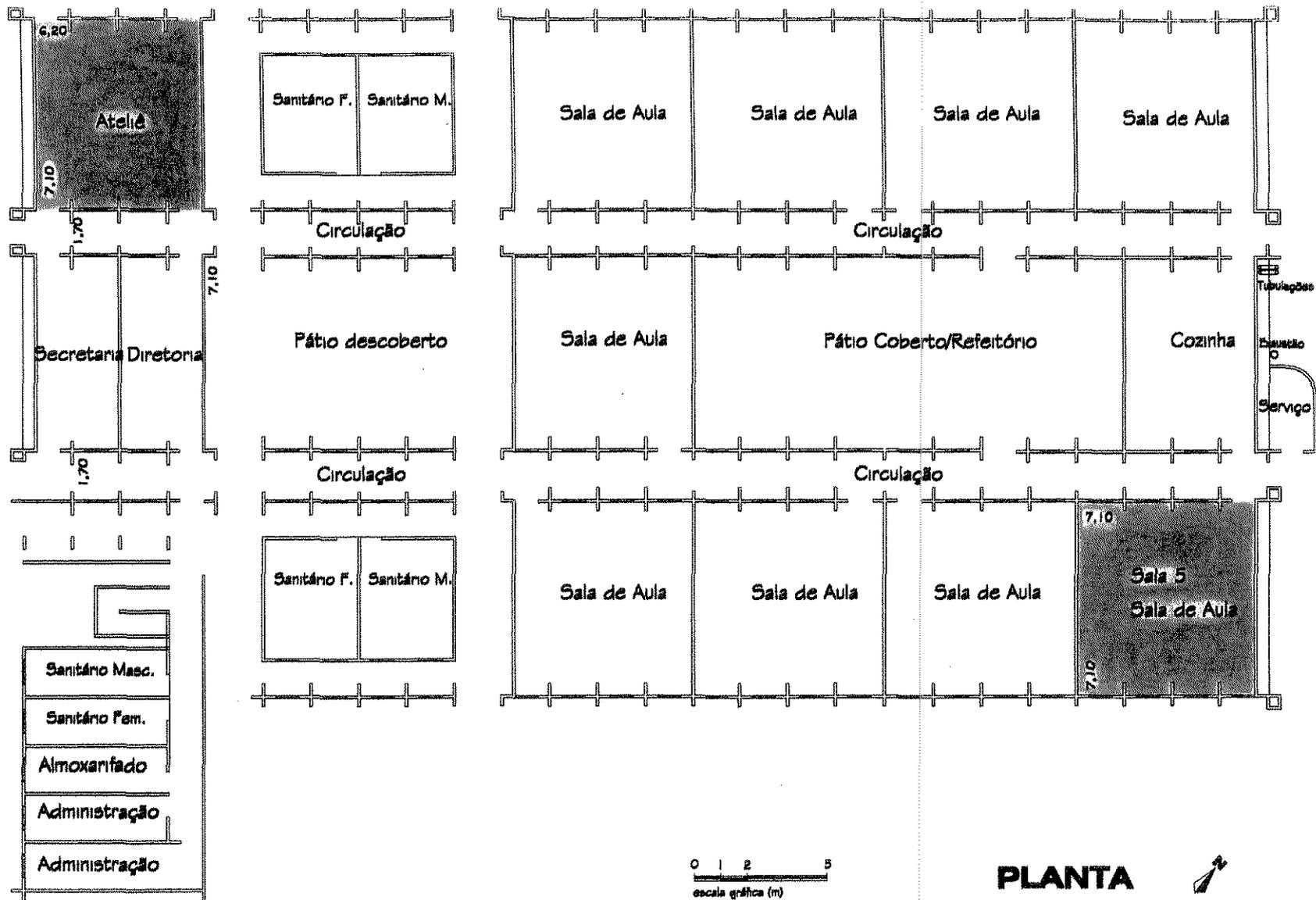


FIGURA 18 – Planta do PRODECAD (sem escala).

8.3.3 Salas analisadas

As salas de aula escolhidas para análise foram aquelas que ofereciam a situação menos favorável quanto à incidência direta da radiação solar. A escolha das fachadas a serem sombreadas foi feita pelo seu posicionamento em relação à movimentação aparente do sol (fachadas opostas) e pela adequação do entorno à colocação dos vasos com os exemplares de Ficus. Analisando-se a carta solar para a cidade de Campinas (SP) pode-se observar que durante o período de medições, de 21 de março a 13 de maio de 2002, a fachada analisada (NE) da Sala 5 recebeu radiação solar desde o amanhecer até aproximadamente 14:00 horas. Já no Ateliê, a fachada analisada (SO) recebeu insolação, em média, a partir das 14:00 horas até o pôr-do-sol.

A sala 05 possui uma fachada de alvenaria sem aberturas, mas com uma pequena parte de vidro no alto da parede, voltada para nordeste e outra, também de alvenaria, mas com janelas de vidro, voltada para sudeste. Os outros dois fechamentos laterais da sala não recebem incidência direta de radiação solar, pois uma das paredes faz divisa com o corredor e a outra com a sala de aula ao lado (Figura 19).

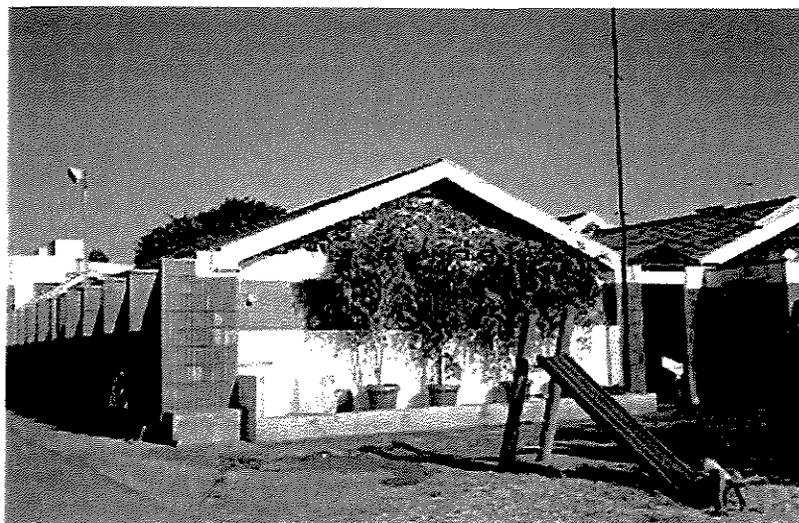


FIGURA 19 – Sala 05 com as árvores.

O ateliê, por sua vez, possui as mesmas características construtivas da sala 05. A única diferença é o posicionamento das paredes. O fechamento lateral com vidro no alto está voltado para sudoeste e aquele onde estão as janelas de vidro está voltado para noroeste.

Um dado muito importante é que nas fachadas analisadas a área de alvenaria corresponde a aproximadamente 13 m² e a envidraçada a um valor próximo a 6 m². Com a colocação dos exemplares arbóreos 40% (quarenta por cento) da área de alvenaria foi sombreada pelas folhas das árvores. Na área de vidro, cerca de 25% da mesma também ficou protegida da radiação solar devido à sombra dos Ficus.

Nenhuma sala de aula possui forro no teto, a laje é inclinada na forma do telhado e as telhas fixadas diretamente na mesma.

8.3.4 Equipamentos

As medições de temperatura do ar e umidade relativa foram feitas com dois termohigrômetros automáticos (um em cada sala) da marca Testo. Esses equipamentos armazenam até 6000 dados no seu integrador, o que tornou possível a coleta de um número maior de dados com poucas interrupções devido apenas aos outros equipamentos utilizados.

Dois termômetros de globo e dois anemômetros de fio quente foram utilizados para as medições dos outros parâmetros: temperatura de globo e velocidade do ar. Esses equipamentos foram conectados a integradores automáticos de dados a fim de que as medições pudessem ser realizadas ao longo de todo período determinado. Algumas interrupções foram feitas para que se pudesse dar a devida manutenção nos anemômetros, pois estes necessitavam de troca das pilhas em média a cada três dias.

Dessa forma, foram montados, dentro de gaiolas, dois conjuntos de equipamentos com um termohigrômetro automático, um anemômetro de fio quente e um termômetro de globo ambos conectados a integradores automáticos. Esses conjuntos foram fixados no centro de cada uma das salas analisadas (Figuras 20 e 21) a uma altura de 1,75 m, de forma que impedisse a interferência das crianças nos equipamentos e que fosse mantida

aproximadamente a mesma distância entre o topo da laje e o equipamento e o equipamento e o piso da sala.

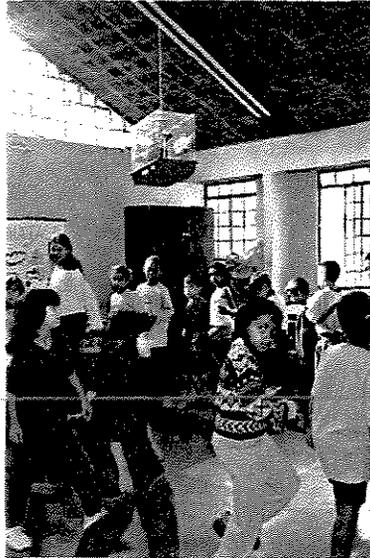


FIGURA 20 – Conjunto fixo na sala.

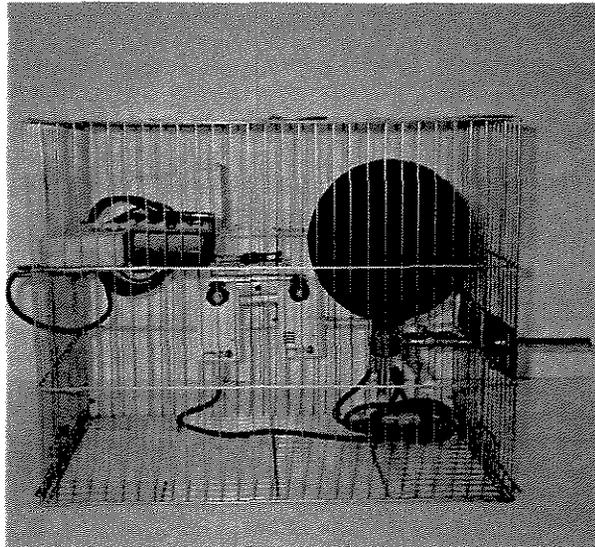


FIGURA 21 – Conjunto de equipamentos colocado em cada sala.

a) Termohigrômetro e termômetro de globo

Para as medições de temperatura ambiente e umidade relativa foram utilizados dois termohigrômetros automáticos da marca Testo, com escala de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, resolução de 0,1

°C e precisão $\pm 0,5$ °C para a temperatura e, em relação à umidade relativa, escala de 2% a 98%, resolução de 0,1% e precisão de $\pm 3\%$.

Foram utilizados ainda dois termômetros de globo, com diâmetro de 11,7 cm cada um. A escala dos sensores utilizados nos globos varia de -35 °C a 120 °C, com resolução de $0,1$ °C e precisão de $0,5$ °C.

b) Anemômetro

Para a medição da velocidade do vento foi utilizado um termoanemômetro digital portátil com sensor de fio quente e display LCD, modelo AM-4204 da marca Lutron, alimentado com pilhas de 1,5 V. O equipamento possui temperatura operacional de 0 °C a 50 °C e umidade relativa de operação menor que 80%.

A escala do anemômetro é de $0,2$ m/s a $20,0$ m/s, com resolução de $0,1$ m/s e precisão de $\pm 5\%$ mais um dígito. Já a escala de medições de temperatura é de 0 °C a 50 °C, com resolução de $0,1$ °C e precisão de $0,8$ °C.

8.3.5 Representatividade dos dados

Quanto à representatividade dos dados climáticos, cabe aqui uma colocação a respeito dos dados obtidos na escola. Foram colhidos, junto ao CEPAGRI da UNICAMP, dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa ao longo de todos os dias de medições na escola, sem as árvores e depois com as mesmas em seus lugares. Esses dados externos, provenientes do posto meteorológico da FEAGRI localizado a, aproximadamente, 1 km da escola, foram avaliados estatisticamente pelo programa SAS™ e concluiu-se que eles não apresentavam, pelo Teste de Tukey a 1% e a 5%, diferenças estatisticamente significativas. Dessa forma, pode-se afirmar que foram observadas as mesmas condições de temperatura ambiente e umidade relativa ao longo dos trinta dias de medições: quinze dias com a escola

sem árvores e mais quinze dias com as árvores dispostas de acordo com a Figura 02. Deve-se lembrar também que o objeto de estudo era o mesmo, ou seja, a mesma escola, e onde a única alteração no ambiente foi exatamente a colocação dos exemplares para a realização da segunda etapa do experimento. Assim, se as condições ambientais e climáticas externas eram as mesmas nas duas situações analisadas (sem e com árvores) e o único elemento modificador das condições iniciais do ambiente analisado foram as árvores dispostas de acordo com a Figura 02, pode-se garantir a representatividade dos dados medidos internamente na sala 05 e no ateliê da escola. A seguir (Figuras 22, 23, 24 e 25) são apresentadas algumas fotos do local (PRODECAD).

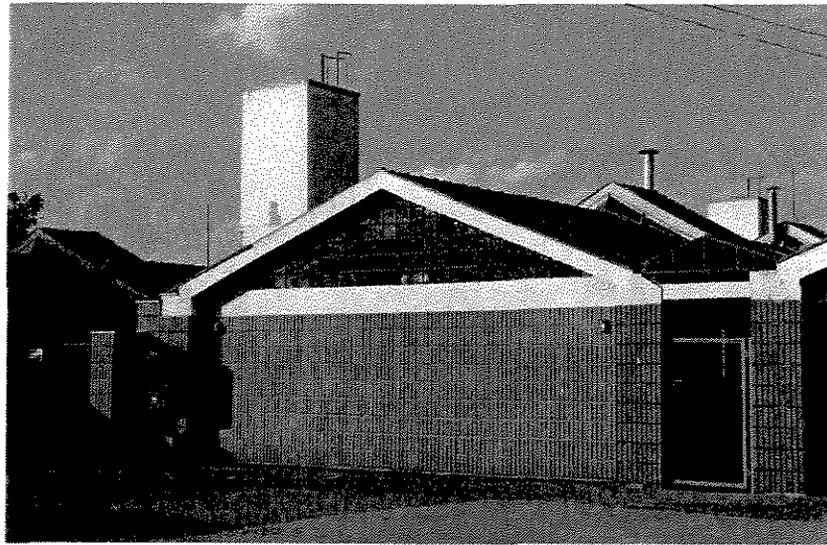


FIGURA 22 – Parede externa do ateliê antes da colocação dos exemplares de Ficus.

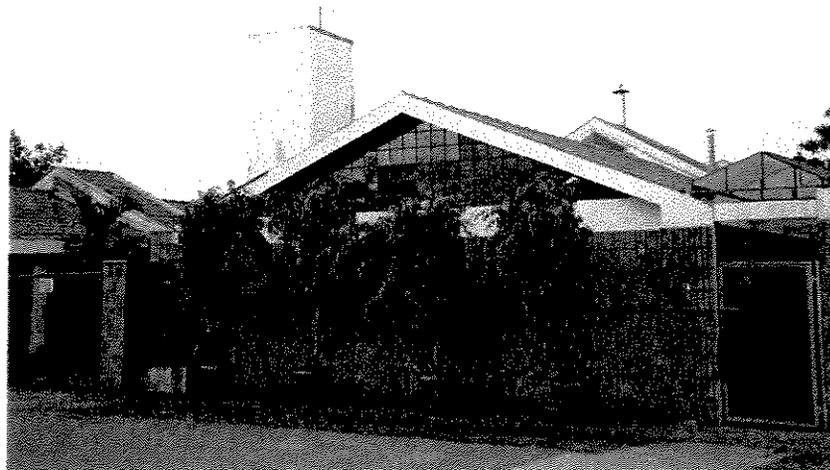


FIGURA 23 – Parede externa do ateliê com os exemplares de Ficus.



FIGURA 24 – Parede externa da sala 05 antes da colocação dos exemplares de Ficus.

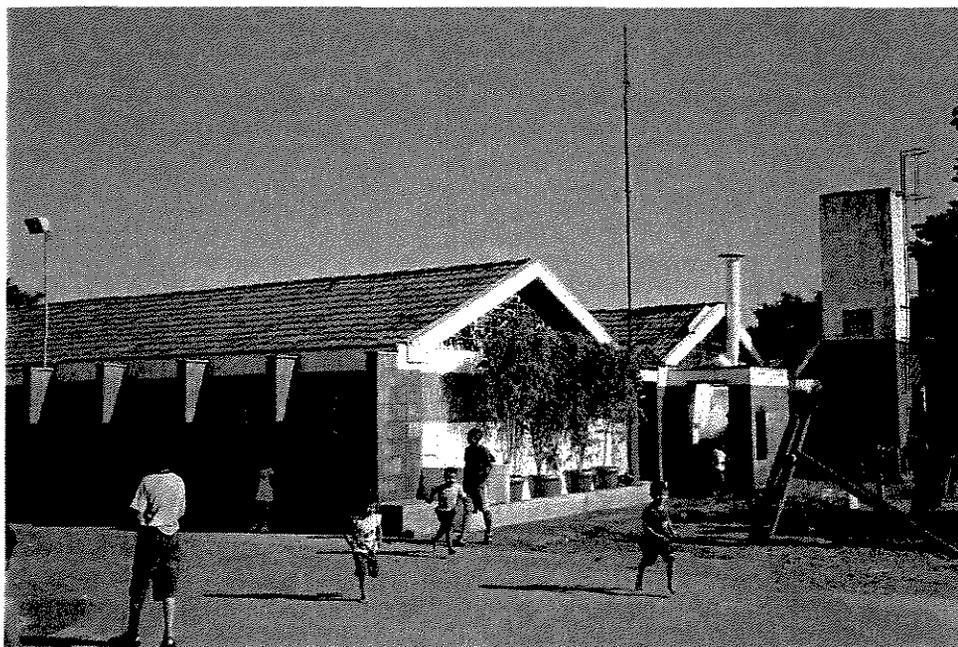


FIGURA 25 - Parede externa da sala 05 com os exemplares de Ficus.

8.3.6 *Método de tratamento e análise dos resultados*

A fim de se verificar se havia diferenças estatisticamente significativas entre os valores de temperatura ambiente e umidade relativa obtidos com a escola sem arborização e depois com os exemplares de Ficus, esses dados foram avaliados estatisticamente pelo programa SAS™ de hora em hora, no período das 8:00 h às 17:00 h (Tabelas 36, 37, 38 e 39), e concluiu-se que eles não apresentavam, pelo Teste de Tukey a 1% e a 5%, diferenças estatisticamente significativas.

A avaliação de conforto térmico nas salas de aula analisadas foi feita utilizando-se o método do Voto Médio Estimado (VME) (ISO 7730, 1994). Foram calculados os valores do VME e da Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (PEI) de hora em hora, no período das 7:20 h às 19:20 h, horário de funcionamento da escola.

Além dos parâmetros ambientais como temperatura do ar, temperatura de globo, umidade relativa e velocidade do ar, os parâmetros individuais, também considerados nesta parte do trabalho, foram o tipo de vestimenta utilizada pela maioria dos alunos que freqüentam o PRODECAD e a atividade exercida (taxa de metabolismo) no ambiente analisado.

As peças de roupa consideradas nos cálculos, de acordo com a ISO 9920 (1995), foram: cueca de algodão (0,04 clo), calças folgadas (0,22 clo), meia esportiva (0,03 clo), tênis de lona com sola leve (0,02 clo) e camiseta de algodão de mangas curtas (0,08 clo). Contabilizando-se cada item, a resistência térmica total desta vestimenta adotada como padrão foi de 0,39 clo. Para efeito comparativo, uma segunda possibilidade de vestimenta também foi avaliada, no caso a inclusão de um casaco tipo jaqueta (0,55 clo), aumentando o valor da resistência térmica da vestimenta padrão para 0,94 clo.

Já as atividades exercidas consideradas na escola foram: uma pessoa parada, sentada (1,0 met), simulando a mesma assistindo à aula; ou uma pessoa andando em local plano a uma velocidade de 2 km/h (1,9 met), pois os alunos realizam algumas brincadeiras coordenadas pela professora dentro da sala de aula (ISO 8996, 1990).

Assim, tem-se quatro situações distintas observadas para os parâmetros pessoais:

- pessoa sentada (1,0 met) com vestimenta de 0,39 clo;
- pessoa andando (1,9 met) com vestimenta de 0,39 clo;
- pessoa sentada (1,0 met) com vestimenta de 0,94 clo;
- pessoa andando (1,9 met) com vestimenta de 0,94 clo.

Todas essas considerações foram feitas de modo a simular o que realmente ocorre na escola avaliada.

9 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados obtidos em campo foi feita de acordo com a metodologia citada anteriormente (item 8). Os resultados são apresentados a seguir e todos os gráficos referentes às espécies arbóreas analisadas estão em anexo no final deste trabalho.

9.1 Espécies Arbóreas

9.1.1 *Senna spectabilis* (Cassia)

Na Cassia, as medições de radiação solar, temperaturas de bulbo seco, bulbo úmido e de globo, além das medições de velocidade do ar, foram realizadas nos dias 25, 29 e 30 de abril de 1999, 17 e 30 de agosto de 2001.

Os equipamentos, dispostos à sombra, foram movidos apenas uma vez durante o dia de medição. Essa única mudança foi suficiente para manter as condições pré-estabelecidas para o experimento.

Os dados obtidos em campo no dia 29 de abril são apresentados, como exemplo, sob a forma de gráficos de radiação solar, temperaturas (ambiente e globo) e umidade relativa (Figuras 26, 27 e 28).

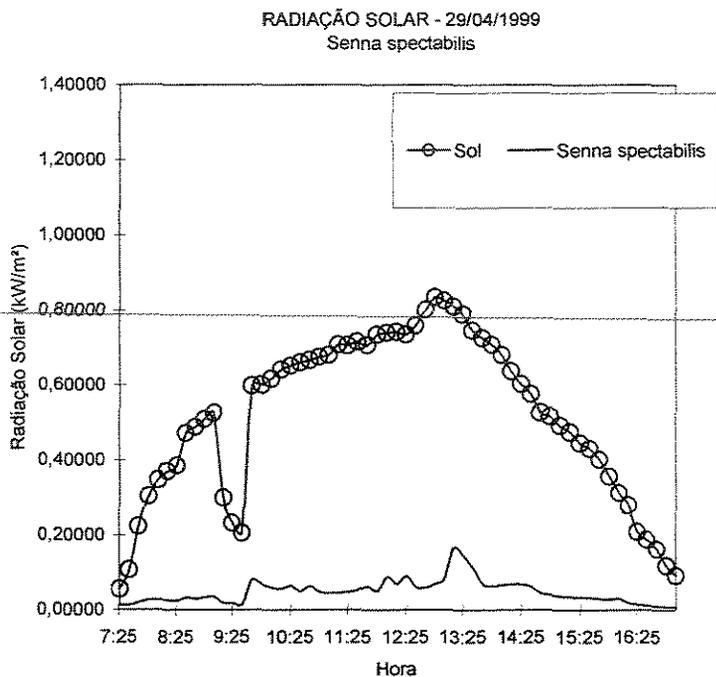


FIGURA 26 – Radiação solar (Cassia) 29/abril/1999.

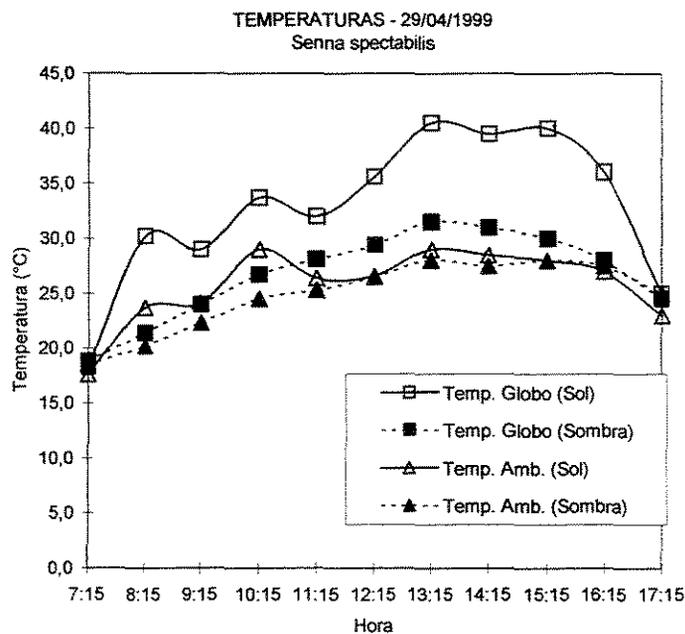


FIGURA 27 – Temperaturas do ar e de globo (Cassia) 29/abril/1999.

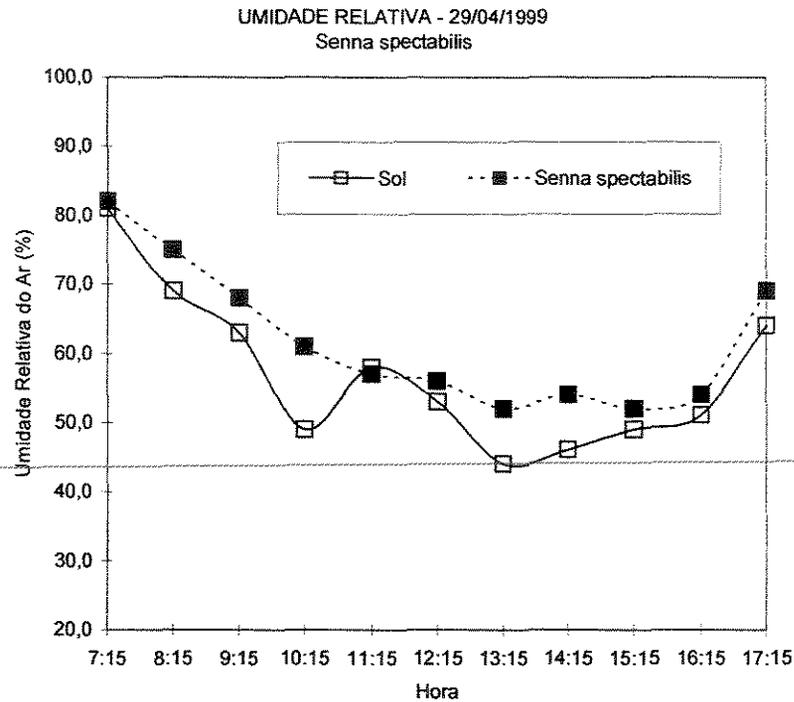


FIGURA 28 – Umidade relativa do ar (Cassia) 29/abril/1999.

A Tabela 02 apresenta os valores de energia total incidente, atenuação da radiação solar e do erro padrão da média das atenuações (α).

TABELA 02 - Atenuação da radiação solar

<i>Senna spectabilis</i>	Energia Total Incidente (kW.h/m ²) (Sombra)	Energia Total Incidente (kW.h/m ²) (Sol)	Atenuação da Radiação Solar (%)
25/04/1999	0,02189	0,22309	90,2
29/04/1999	0,01967	0,21188	90,7
30/04/1999	0,01894	0,19518	90,3
17/08/2001	0,02272	0,18250	87,6
30/08/2001	0,03092	0,19362	84,0
		Média	88,6
		α	$\pm 1,3$

As Tabelas 03 e 04 apresentam os valores dos Votos Médios Estimados obtidos na análise de conforto térmico. Observando esses valores conclui-se que em 42% dos casos, onde o valor do VME à sombra era menor do que aquele ao sol, a diferença entre os VME ao sol e à sombra variou de 0 a 1,00. Outros intervalos de diferenças e suas respectivas freqüências de ocorrência estão na Tabela 05.

TABELA 03 – Voto Médio Estimado

VME – <i>Senna spectabilis</i> (Com jaqueta – 0,94 clo)							
Hora	Condição	Situação	17/08/01	30/08/01	30/04/99	29/04/99	25/04/99
7:15	Sentado	Sombra	-1,57	-0,78	-1,33	-2,24	-2,28
		Sol	-0,56	-0,21	-0,88	-2,46	-2,16
	Andando (2 km/h)	Sombra	0,30	0,72	0,42	-0,01	-0,05
		Sol	0,82	1,01	0,66	-0,13	0,01
14:15	Sentado	Sombra	0,98	2,30	1,65	1,70	1,86
		Sol	2,85	4,25	5,61	4,46	4,76
	Andando (2 km/h)	Sombra	1,62	2,34	2,04	2,07	2,14
		Sol	2,61	3,37	4,10	3,49	3,65

TABELA 04 – Voto Médio Estimado

VME – <i>Senna spectabilis</i> (Sem jaqueta – 0,39 clo)							
Hora	Condição	Situação	17/08/01	30/08/01	30/04/99	29/04/99	25/04/99
7:15	Sentado	Sombra	-3,60	-2,47	-3,24	-5,37	-5,05
		Sol	-2,11	-1,64	-2,50	-5,70	-4,87
	Andando (2 km/h)	Sombra	-0,64	-0,04	-0,44	-1,47	-1,34
		Sol	0,13	0,39	-0,07	-1,64	-1,25
14:15	Sentado	Sombra	0,25	2,01	0,83	0,87	1,19
		Sol	2,89	4,84	7,50	5,65	5,99
	Andando (2 km/h)	Sombra	1,33	2,28	1,80	1,83	1,97
		Sol	2,74	3,78	5,26	4,29	4,45

TABELA 05 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME ao sol e VME à sombra para a espécie *Senna spectabilis*

(VME ao sol) – (VME à sombra)	Frequência de Ocorrência (%)
0 – 1,00	42,0
1,01 – 2,00	25,0
2,01 – 3,00	19,0
3,01 – 4,00	5,5
4,01 – 5,00	5,5
5,01 – 6,00	---
6,01 – 7,00	3,0
7,01 – 8,00	---
8,01 – 9,00	---
9,01 – 10,00	---
Acima de 10,00	---
Total	100,0

É importante salientar que em 10,0% dos casos, os valores de VME à sombra estiveram maiores que aqueles obtidos nas situações ao sol, mas, em geral, pode-se dizer que a *Cassia* contribui de forma significativa na redução do VME e, em alguns casos (16,7%) sua sombra restabelece as condições de conforto térmico ($-1 \leq VME \leq +1$).

9.1.2 *Schinus molle* (Aroeira salsa)

Na Aroeira salsa, as medições dos parâmetros ambientais foram feitas nos dias 12, 24 e 26 de julho de 1999, 08 de abril e 16 de agosto de 2001.

Os equipamentos, dispostos sob a copa da árvore, foram deslocados duas vezes ao longo do dia, às 11:30 h e 14:30 h, a fim de mantê-los sombreados.

Os gráficos apresentados a seguir (Figuras 29, 30 e 31) são referentes ao dia 26 de julho de 1999. Na Tabela 06 estão os valores de energia total incidente e atenuação da radiação solar, assim como o erro padrão da média das atenuações (α).

Os dados obtidos com a avaliação do conforto térmico são apresentados nas Tabelas 07 e 08. Pode-se observar que em 19,4% dos casos a Aroeira salsa proporciona condições de conforto térmico próximas da ideal ($-1 \leq VME \leq +1$), amenizando aquelas encontradas ao sol. Também é possível observar que as maiores frequências (28%) ocorrem para os intervalos entre 0 – 1,00 e entre 1,01 – 2,00 das diferenças dos VME ao sol e à sombra (Tabela 09).

No caso da Aroeira salsa também se tem que em 10% dos casos, os valores de VME à sombra estiveram maiores que aqueles obtidos nas situações ao sol.

TABELA 06 - Atenuação da radiação solar

<i>Schinus molle</i>	Energia Total Incidente (kW.h/m ²) (Sombra)	Energia Total Incidente (kW.h/m ²) (Sol)	Atenuação da Radiação Solar (%)
12/07/1999	0,05865	0,20211	71,0
24/07/1999	0,03318	0,13671	75,7
26/07/1999	0,04219	0,18652	77,4
08/04/2001	0,05520	0,19207	71,3
16/08/2001	0,04745	0,17443	72,8
		Média	73,6
		α	$\pm 1,3$

TABELA 07 – Voto Médio Estimado

VME – <i>Schinus molle</i> (Com jaqueta – 0,94 clo)							
Hora	Condição	Situação	12/07/99	24/07/99	26/07/99	08/04/01	16/08/01
7:15	Sentado	Sombra	-3,64	-1,12	-1,34	-0,23	-1,73
		Sol	-1,21	0,41	2,79	1,01	-1,59
	Andando (2 km/h)	Sombra	-0,75	0,56	0,43	1,04	0,21
		Sol	0,51	1,35	2,60	1,70	0,29
14:15	Sentado	Sombra	1,43	1,68	1,39	2,26	1,81
		Sol	3,85	0,58	5,21	3,19	5,31
	Andando (2 km/h)	Sombra	1,88	2,02	1,89	2,33	2,05
		Sol	3,12	1,44	3,87	2,81	3,89

TABELA 08 – Voto Médio Estimado

VME – <i>Schinus molle</i> (Sem jaqueta – 0,39 clo)							
Hora	Condição	Situação	12/07/99	24/07/99	26/07/99	08/04/01	16/08/01
7:15	Sentado	Sombra	-7,74	-3,29	-3,48	-1,91	-3,84
		Sol	-3,79	-0,94	2,70	-0,13	-3,63
	Andando (2 km/h)	Sombra	-2,69	-0,43	-0,55	0,69	-0,76
		Sol	-0,65	0,79	2,68	1,24	-0,65
14:15	Sentado	Sombra	0,76	1,09	0,52	1,93	1,42
		Sol	4,47	-0,52	6,70	3,23	6,52
	Andando (2 km/h)	Sombra	1,65	1,82	1,59	2,25	1,94
		Sol	3,57	0,98	4,80	2,93	4,61

TABELA 09 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME ao sol e VME à sombra para a espécie *Schinus molle*

(VME ao sol) – (VME à sombra)	Frequência de Ocorrência (%)
0 – 1,00	28,0
1,01 – 2,00	28,0
2,01 – 3,00	16,7
3,01 – 4,00	16,7
4,01 – 5,00	2,5
5,01 – 6,00	2,5
6,01 – 7,00	5,6
7,01 – 8,00	---
8,01 – 9,00	---
9,01 – 10,00	---
Acima de 10,00	---
Total	100,0

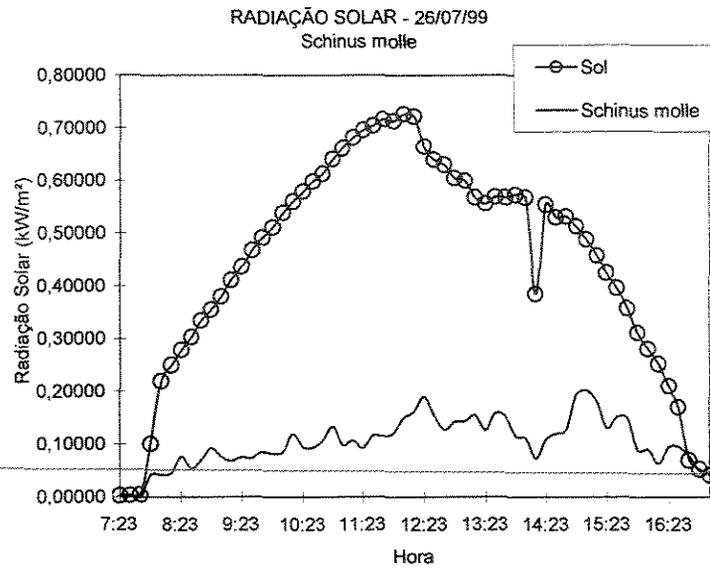


FIGURA 29 – Radiação solar (Aroeira salsa) 26/julho/1999.

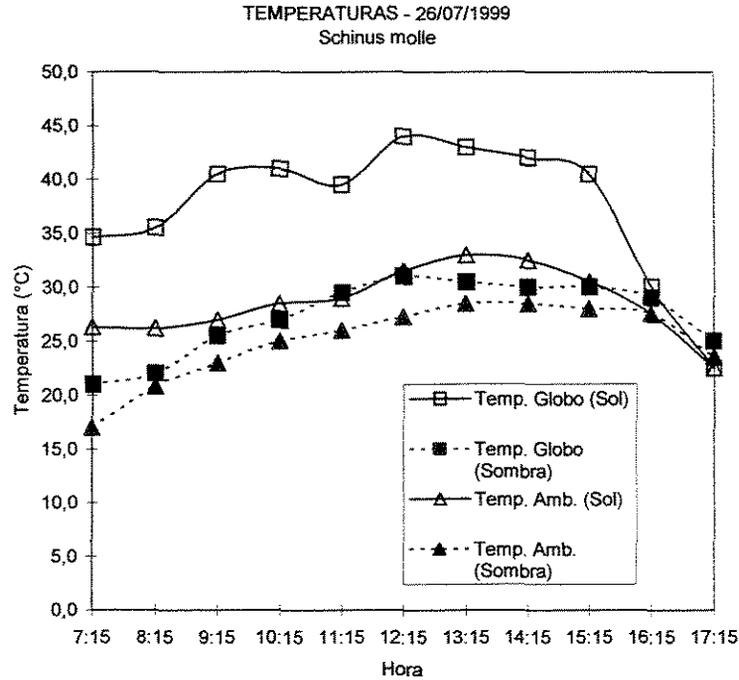


FIGURA 30 – Temperaturas do ar e de globo (Aroeira salsa) 26/julho/1999.

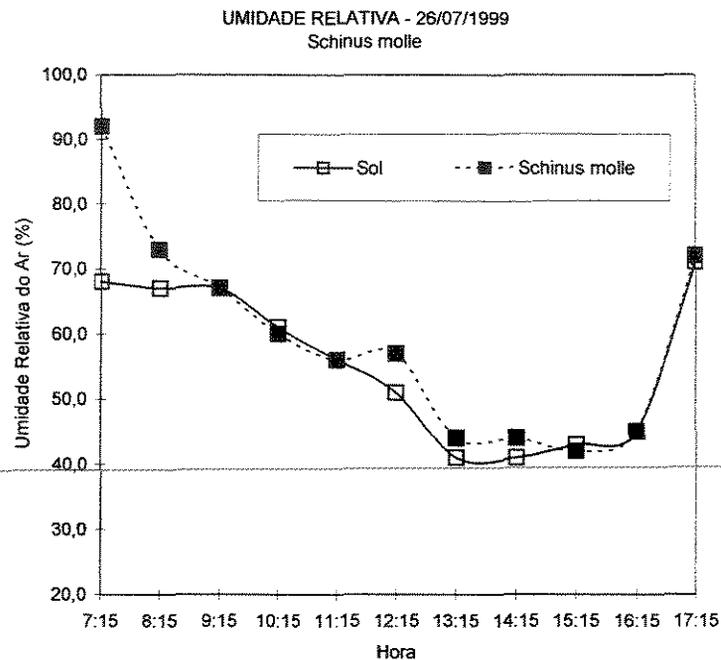


FIGURA 31 – Umidade relativa do ar (Aroeira salsa) 26/julho/1999.

9.1.3 *Bauhinia variegata* (Pata-de-vaca)

Os dias escolhidos para as medições na Pata-de-vaca foram: 06, 11 e 12 de abril e 07 e 12 de dezembro de 2000.

Os equipamentos, que estavam à sombra da árvore, foram deslocados duas vezes ao longo do dia, uma às 11:30 h e outra às 14:30 h. Dessa forma, permaneceram sombreados o dia todo. Já aqueles que ficaram ao sol, permaneciam fixos durante todo o dia.

Os gráficos de radiação solar, temperaturas (ambiente e globo) e umidade relativa, do dia 12 de dezembro, são apresentados nas Figuras 32, 33, 34.

Na Tabela 10, pode-se observar os valores de energia total incidente, atenuação da radiação solar e do erro padrão da média das atenuações (α) para a Pata-de-vaca.

TABELA 10 - Atenuação da radiação solar

<i>Bauhinia variegata</i>	Energia total incidente (kW.h/m ²) (Sombra)	Energia total incidente (kW.h/m ²) (Sol)	Atenuação da radiação solar (%)
06/04/2000	0,03248	0,22980	85,9
11/04/2000	0,03535	0,21642	83,7
12/04/2000	0,03123	0,20412	84,7
07/12/2000	0,06580	0,31751	79,3
12/12/2000	0,07412	0,29733	75,1
		Média	81,7
		α	$\pm 2,0$

Os valores dos VME calculados na análise de conforto térmico realizada são apresentados nas Tabelas 11 e 12. Observa-se que a maior frequência da diferença entre VME ao sol e à sombra (45,0%) ocorre no intervalo de 1,01 – 2,00, seguida daquela correspondente ao intervalo de 2,01 – 3,00 (25,0%), o que indica que a sombra da árvore produz uma redução significativa nos valores do VME obtidos ao sol (ver Tabela 13).

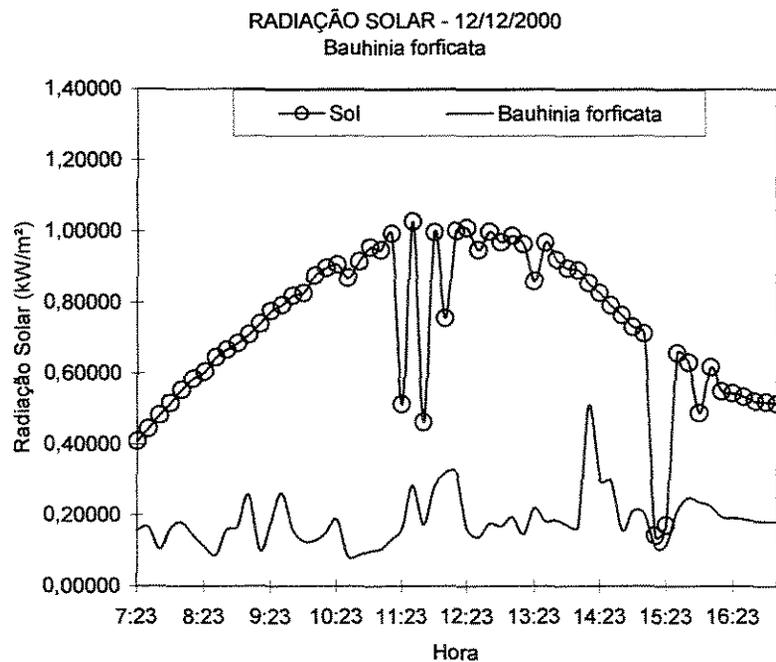


FIGURA 32 – Radiação solar (Pata-de-vaca) 12/dezembro/2000.

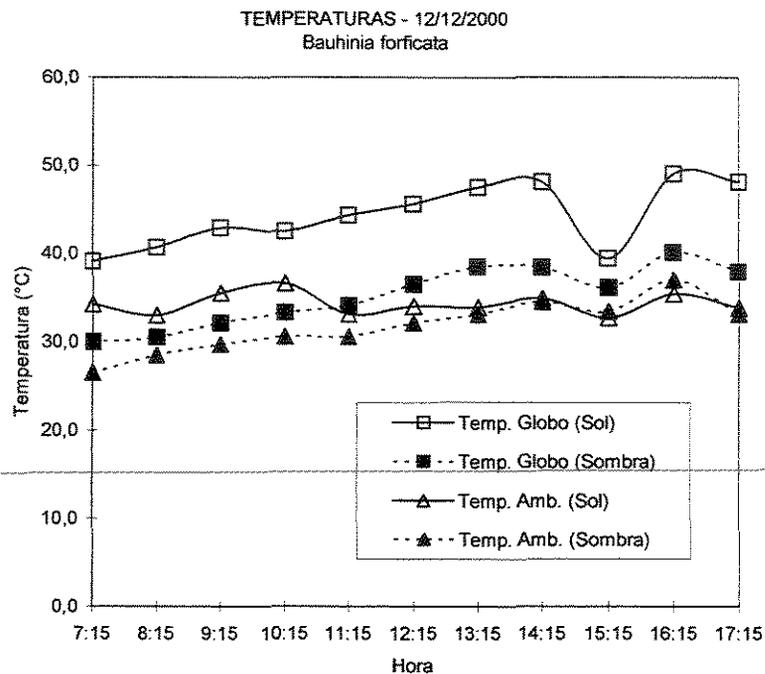


FIGURA 33 – Temperaturas do ar e de globo (Pata-de-vaca) 12/dezembro/2000.

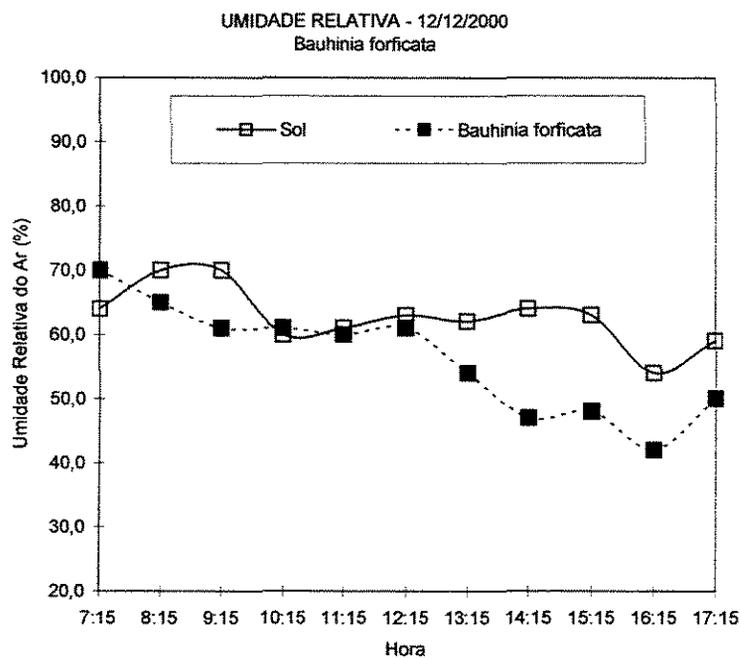


FIGURA 34 – Umidade relativa (Pata-de-vaca) 12/dezembro/2000.

TABELA 11 – Voto Médio Estimado

VME – <i>Bauhinia variegata</i> (Com jaqueta – 0,94 clo)							
Hora	Condição	Situação	06/04/00	11/04/00	12/04/00	07/12/00	12/12/00
7:15	Sentado	Sombra	-2,54	-0,35	-0,62	-1,45	2,70
		Sol	0,37	1,08	1,31	2,21	4,67
	Andando (2 km/h)	Sombra	-0,12	0,96	0,79	0,41	1,98
		Sol	1,38	1,72	1,81	2,33	3,63
14:15	Sentado	Sombra	2,15	3,41	2,15	3,68	4,56
		Sol	4,14	4,46	5,12	6,85	7,00
	Andando (2 km/h)	Sombra	2,29	2,94	2,29	3,11	3,59
		Sol	3,34	3,47	3,86	4,76	4,82

TABELA 12 – Voto Médio Estimado

VME – <i>Bauhinia variegata</i> (Sem jaqueta – 0,39 clo)							
Hora	Condição	Situação	06/04/00	11/04/00	12/04/00	07/12/00	12/12/00
7:15	Sentado	Sombra	-6,95	-1,92	-2,21	-4,22	2,55
		Sol	-1,52	0,10	0,63	1,70	5,47
	Andando (2 km/h)	Sombra	-2,17	0,26	0,09	-0,85	1,73
		Sol	0,61	1,34	1,55	2,22	4,18
14:15	Sentado	Sombra	1,68	3,70	1,72	4,17	5,77
		Sol	4,84	5,30	6,54	9,11	8,85
	Andando (2 km/h)	Sombra	2,19	3,25	2,25	3,55	4,43
		Sol	3,87	4,03	4,77	6,08	5,89

TABELA 13 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME ao sol e VME à sombra para a espécie *Bauhinia variegata*

(VME ao sol) – (VME à sombra)	Frequência de Ocorrência (%)
0 – 1,00	7,5
1,01 – 2,00	45,0
2,01 – 3,00	25,0
3,01 – 4,00	12,5
4,01 – 5,00	5,0
5,01 – 6,00	5,0
6,01 – 7,00	---
7,01 – 8,00	---
8,01 – 9,00	---
9,01 – 10,00	---
Acima de 10,00	---
Total	100,0

Ainda de acordo com as Tabelas 11 e 12 observa-se que, em nenhuma das situações analisadas, os valores dos VME ao sol estiveram inferiores àqueles dos VME à sombra da Pata-de-vaca. Pode-se avaliar também que em 22,5% dos casos esse indivíduo arbóreo proporcionou condições de conforto térmico ($-1 \leq \text{VME} \leq +1$), amenizando aquelas de desconforto encontradas ao sol. Dessa forma, conclui-se que, no caso deste indivíduo arbóreo analisado, as condições de conforto foram sempre amenizadas, proporcionando até sensação de frio, à sua sombra.

9.1.4 *Cingidium jambolana* (Jambolão)

As medições no Jambolão foram realizadas nos dias 27 e 31 de maio, 29 de junho, 21 e 28 de novembro de 2000.

Os equipamentos dispostos à sombra ficaram fixos ao longo do dia durante todo o período de medições devido ao tamanho da sombra, proporcionada pela árvore, ser suficiente para manter as condições pré-estabelecidas para o experimento.

Como ilustração são apresentados neste item os gráficos de radiação solar, temperaturas (ambiente e globo) e umidade relativa do dia 28 de novembro (Figuras 35, 36 e 37).

Conforme descrito no item 8.2.7, a atenuação da radiação solar foi calculada através da equação [8.3], para cada dia de medição. Os valores de energia total incidente, atenuação da radiação solar e erro padrão da média das atenuações (α) estão na Tabela 14.

Nas Tabelas 15 e 16 são apresentados os valores do VME para cada situação analisada. De acordo com a Tabela 17, em 47,5 % dos casos as diferenças entre os VME ao sol e à sombra não são significativas, ou seja, estão entre 0 – 1,00. Entretanto, em 27,5% essas diferenças são maiores que 2,01, reduções muito significativas para esse índice de conforto térmico.

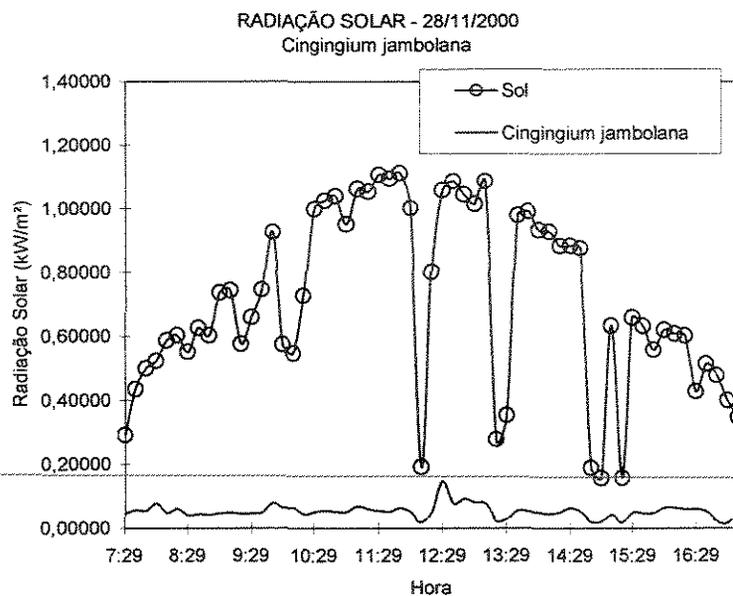


FIGURA 35 – Radiação solar (Jambolão) 28/novembro/2000.

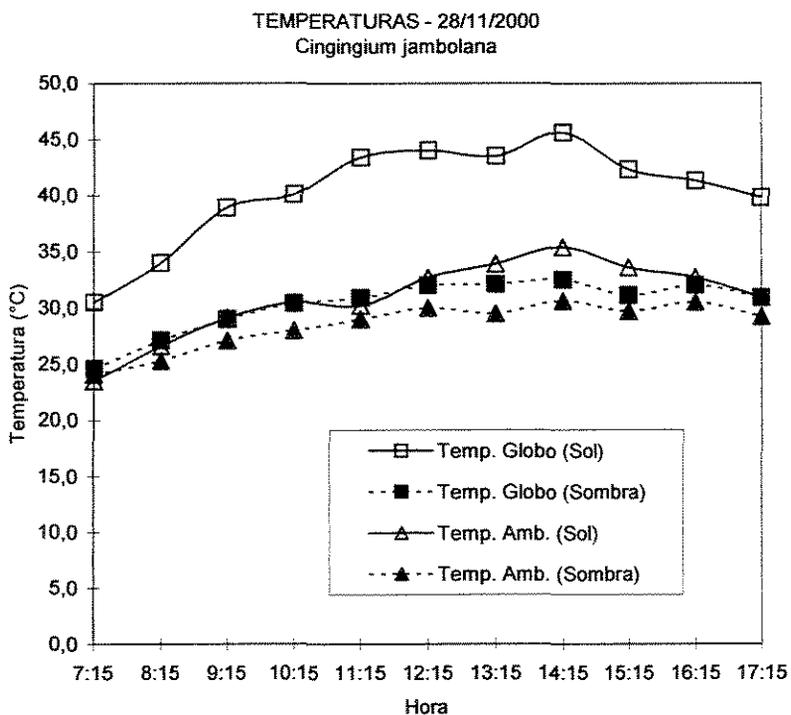


FIGURA 36 – Temperaturas do ar e de globo (Jambolão) 28/novembro/2000.

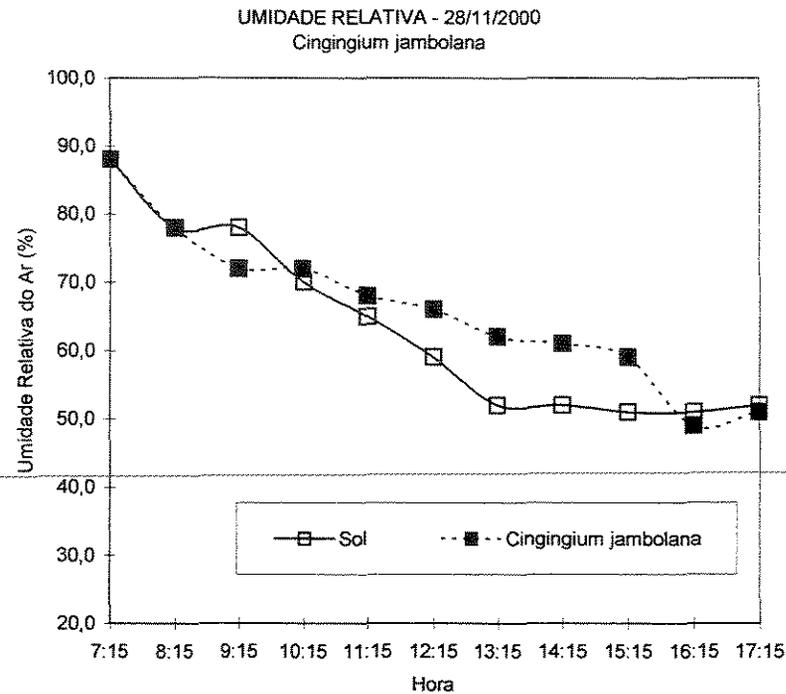


FIGURA 37 – Umidade relativa do ar (Jambolão) 28/novembro/2000.

TABELA 14 - Atenuação da radiação solar

<i>Cingidium jambolana</i>	Energia total incidente (kW.h/m ²) (Sombra)	Energia total incidente (kW.h/m ²) (Sol)	Atenuação da radiação solar (%)
27/05/2000	0,00848	0,10725	92,1
31/05/2000	0,00984	0,16782	94,1
29/06/2000	0,01124	0,14191	92,1
21/11/2000	0,01717	0,24384	92,9
28/11/2000	0,02094	0,28748	92,7
		Média	92,8
		α	$\pm 0,4$

Na avaliação de conforto térmico, proporcionado pela sombra do Jambolão, também é possível observar que em todas as situações analisadas, os valores dos VME à sombra da árvore sempre foram inferiores àqueles obtidos ao sol. Além disso, em 25,0% dos casos, a sombra da árvore reduziu os valores dos VME a níveis considerados confortáveis para a maioria das pessoas ($-1 \leq VME \leq +1$), amenizando aqueles encontrados ao sol. Dessa forma,

conclui-se que, no caso do Jambolão analisado, as condições de conforto foram sempre amenizadas, proporcionando em alguns casos sensação de frio à sua sombra.

TABELA 15 – Voto Médio Estimado

VME – <i>Cingidium jambolana</i> (Com jaqueta – 0,94 clo)							
Hora	Condição	Situação	27/05/00	31/05/00	29/06/00	21/11/00	28/11/00
7:15	Sentado	Sombra	-1,98	-2,95	-2,21	0,01	-0,28
		Sol	-1,56	-2,60	-1,76	1,03	1,66
	Andando (2 km/h)	Sombra	0,08	-0,43	-0,05	1,16	1,05
		Sol	0,31	-0,25	0,19	1,68	2,01
14:15	Sentado	Sombra	-0,33	-0,02	1,38	1,93	2,46
		Sol	0,84	4,60	2,92	3,79	6,67
	Andando (2 km/h)	Sombra	0,96	1,16	1,89	2,22	2,48
		Sol	1,56	3,55	2,68	3,17	4,67

TABELA 16 – Voto Médio Estimado

VME – <i>Cingidium jambolana</i> (Sem jaqueta – 0,39 clo)							
Hora	Condição	Situação	27/05/00	31/05/00	29/06/00	21/11/00	28/11/00
7:15	Sentado	Sombra	-4,18	-5,56	-4,51	-1,57	-2,65
		Sol	-3,62	-5,07	-3,84	0,05	1,01
	Andando (2 km/h)	Sombra	-0,94	-1,67	-1,12	0,47	0,02
		Sol	-0,64	-1,41	-0,78	1,30	1,78
14:15	Sentado	Sombra	-1,81	-1,74	0,47	1,11	2,03
		Sol	0,00	5,66	3,03	4,35	8,93
	Andando (2 km/h)	Sombra	0,30	0,41	1,58	1,99	2,45
		Sol	1,22	4,25	2,91	3,66	5,99

TABELA 17 – Freqüência de ocorrência da diferença entre VME ao sol e VME à sombra para a espécie *Cingingium jabolana*

(VME ao sol) – (VME à sombra)	Freqüência de Ocorrência (%)
0 – 1,00	47,5
1,01 – 2,00	25,0
2,01 – 3,00	7,5
3,01 – 4,00	10,0
4,01 – 5,00	5,0
5,01 – 6,00	---
6,01 – 7,00	2,5
7,01 – 8,00	2,5
8,01 – 9,00	---
9,01 – 10,00	---
Acima de 10,00	---
Total	100,0

9.1.5 *Clitoria fairchildiana* (Sombreiro)

Para a avaliação do Sombreiro, as medições dos parâmetros ambientais e da radiação solar incidente foram realizadas em duas etapas distintas. A divisão ocorreu devido à proposta de se analisar a árvore, que é decídua, nas suas duas condições mais significativas: com folhas e sem folhas.

Os dias escolhidos para as medições no Sombreiro foram: 17, 19 e 20 de janeiro, 21 e 28 de novembro de 2000, para a condição com folhas. Já para a condição sem folhas os dias foram: 31 de maio e 29 de junho de 2000, 14 e 18 de agosto de 2001, além do dia 01 de setembro de 2001.

Os equipamentos, que estavam à sombra da árvore, foram deslocados duas vezes ao longo do dia, uma às 11:30 h e outra às 14:30 h. Dessa forma, permaneceram sombreados o dia todo. Já aqueles que ficaram ao sol permaneceram fixos durante todo o dia.

Os gráficos de radiação solar, temperaturas (ambiente e globo) e umidade relativa, do dia 29 de junho de 2000, são apresentados nas Figuras 38, 39,40.

Na Tabela 18, pode-se observar os valores de energia total incidente, atenuação da radiação solar e do erro padrão da média das atenuações (α).

TABELA 18 - Atenuação da radiação solar

<i>Clitoria fairchildiana</i>		Energia total incidente (kW.h/m ²) (Sombra)	Energia total incidente (kW.h/m ²) (Sol)	Atenuação da radiação solar (%)
Com folhas	17/01/2000	0,04976	0,26185	81,0
	19/01/2000	0,05496	0,25697	78,6
	20/01/2000	0,05419	0,23232	76,7
	21/11/2000	0,04953	0,24384	79,7
	28/11/2000	0,06588	0,28748	77,1
			Média (c/ folhas)	78,6
			α	± 0,8
Sem folhas	31/05/2000	0,05227	0,16782	68,5
	29/06/2000	0,05543	0,14191	60,9
	14/08/2001	0,04523	0,18552	75,6
	18/08/2001	0,05580	0,19859	71,9
	01/09/2001	0,05096	0,19793	74,3
			Média (s/ folhas)	70,2
			α	± 2,6

Nas Tabelas 19, 20, 21 e 22 estão os valores dos VME para todas as condições analisadas. Observando-se esses dados, pode-se afirmar que, na condição sem folhas, apenas 7,5% dos casos indicam que a sombra da árvore reduziu os valores dos VME a níveis considerados confortáveis para a maioria das pessoas ($-1 \leq VME \leq +1$). Já para a condição com folhas essa porcentagem sobe para 37,5%.

No caso do Sombreiro também não se tem nenhum valor dos VME à sombra da árvore superior àqueles obtidos ao sol, o que significa que a sombra, neste caso, proporcionou a melhoria do conforto em relação à situação ao sol.

TABELA 19 – Voto Médio Estimado

VME – <i>Clitoria fairchildiana</i> sem folhas (C/ jaqueta – 0,94 clo)							
Hora	Condição	Situação	31/05/00	29/06/00	14/08/01	18/08/01	01/09/01
7:15	Sentado	Sombra	-3,21	-2,34	-2,23	-1,85	-1,08
		Sol	-2,60	-1,76	-1,82	-1,69	-0,69
	Andando (2 km/h)	Sombra	-0,57	-0,12	-0,06	0,14	0,56
		Sol	-0,25	0,19	0,15	0,23	0,77
14:15	Sentado	Sombra	0,84	1,73	1,74	2,53	3,01
		Sol	4,60	2,92	5,57	4,59	6,50
	Andando (2 km/h)	Sombra	1,61	2,07	2,04	2,43	2,70
		Sol	3,55	2,68	4,04	3,52	4,53

TABELA 20 – Voto Médio Estimado

VME – <i>Clitoria fairchildiana</i> sem folhas (S/ jaqueta – 0,39 clo)							
Hora	Condição	Situação	31/05/00	29/06/00	14/08/01	18/08/01	01/09/01
7:15	Sentado	Sombra	-5,95	-4,72	-4,52	-3,97	-2,89
		Sol	-5,07	-3,84	-3,86	-3,73	-2,32
	Andando (2 km/h)	Sombra	-1,87	-1,23	-1,13	-0,84	-0,26
		Sol	-1,41	-0,78	-0,79	-0,71	0,04
14:15	Sentado	Sombra	-0,61	1,01	1,23	2,43	3,06
		Sol	5,66	3,03	6,86	5,34	8,00
	Andando (2 km/h)	Sombra	1,06	1,90	1,87	2,47	2,81
		Sol	4,25	2,91	4,82	3,99	5,40

TABELA 21 – Voto Médio Estimado

VME – <i>Clitoria fairchildiana</i> com folhas (C/ jaqueta – 0,94 clo)							
Hora	Condição	Situação	17/01/00	19/01/00	20/01/00	21/11/00	28/11/00
7:15	Sentado	Sombra	0,20	0,94	-0,38	-0,08	-0,46
		Sol	2,24	3,11	1,37	1,03	1,66
	Andando (2 km/h)	Sombra	1,28	1,67	0,99	1,09	0,94
		Sol	2,35	2,82	1,91	1,68	2,01
14:15	Sentado	Sombra	2,77	1,85	2,11	2,40	2,90
		Sol	7,83	7,58	5,59	3,79	6,67
	Andando (2 km/h)	Sombra	2,62	2,17	2,25	2,43	2,69
		Sol	5,26	5,14	4,06	3,17	4,67

TABELA 22 – Voto Médio Estimado

VME – <i>Clitoria fairchildiana</i> com folhas (S/ jaqueta – 0,39 clo)							
Hora	Condição	Situação	17/01/00	19/01/00	20/01/00	21/11/00	28/11/00
7:15	Sentado	Sombra	-1,45	-0,37	-2,76	-1,00	-2,57
		Sol	1,72	3,05	0,16	0,05	1,01
	Andando (2 km/h)	Sombra	0,57	1,16	-0,04	0,49	0,00
		Sol	2,22	2,95	1,48	1,30	1,78
14:15	Sentado	Sombra	2,59	0,97	1,72	2,06	2,88
		Sol	10,29	11,05	6,99	4,35	8,93
	Andando (2 km/h)	Sombra	2,65	1,92	2,17	2,40	2,83
		Sol	6,65	7,14	4,91	3,66	5,99

Analisando as Tabelas 19 e 20, observa-se que, para a condição do Sombreiro sem folhas, as diferenças entre os VME ao sol e à sombra não são significativas, pois a maioria das ocorrências está entre 0 – 1,00 (52,5%). Já para a situação com folhas ocorre o inverso, em 55,0% dos casos as diferenças estão acima de 2,00. Portanto conclui-se que a árvore com folhas proporciona maior diminuição nos valores dos VME do que sem folhas.

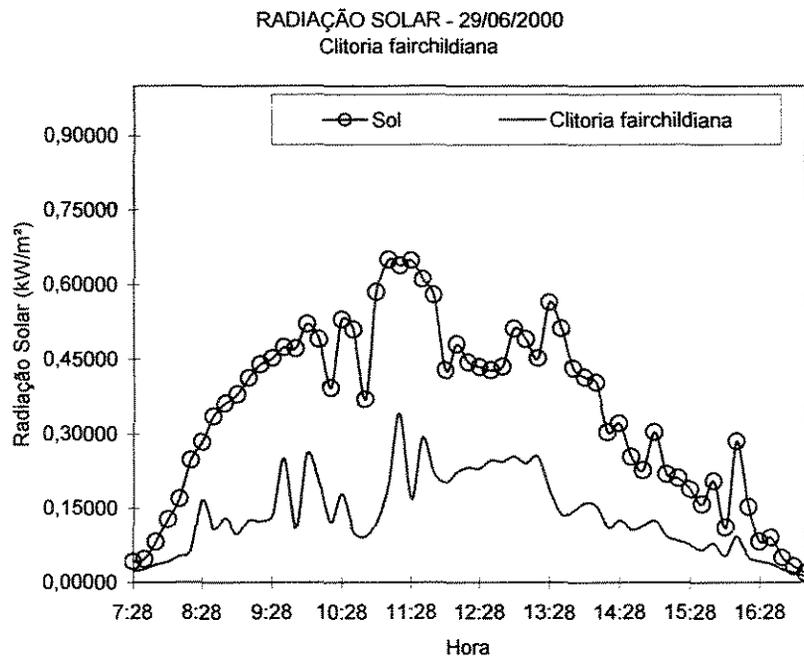


FIGURA 38 – Radiação solar (Sombreiro) 29/junho/2000.

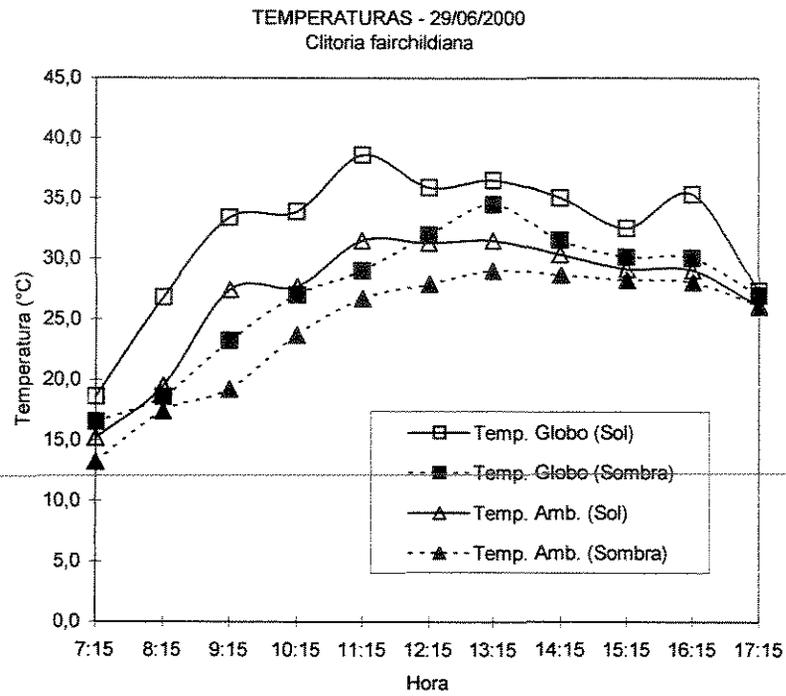


FIGURA 39 – Temperaturas do ar e de globo (Sombreiro) 29/junho/2000.

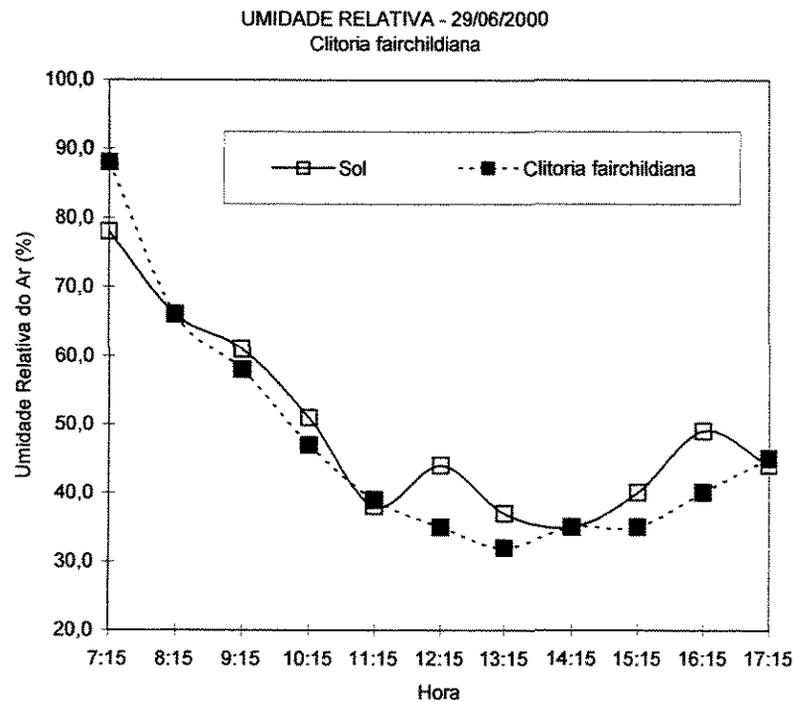


FIGURA 40 – Umidade relativa do ar (Sombreiro) 29/junho/2000.

TABELA 23 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME ao sol e VME à sombra para a espécie *Clitoria fairchildiana* (sem folhas)

(VME ao sol) – (VME à sombra)	Frequência de Ocorrência (%)
0 – 1,00	52,5
1,01 – 2,00	17,5
2,01 – 3,00	12,5
3,01 – 4,00	10,0
4,01 – 5,00	2,5
5,01 – 6,00	2,5
6,01 – 7,00	2,5
7,01 – 8,00	---
8,01 – 9,00	---
9,01 – 10,00	---
Acima de 10,00	---
Total	100,0

TABELA 24 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME ao sol e VME à sombra para a espécie *Clitoria fairchildiana* (com folhas)

(VME ao sol) – (VME à sombra)	Frequência de Ocorrência (%)
0 – 1,00	10,0
1,01 – 2,00	35,0
2,01 – 3,00	20,0
3,01 – 4,00	17,5
4,01 – 5,00	---
5,01 – 6,00	10,0
6,01 – 7,00	2,5
7,01 – 8,00	2,5
8,01 – 9,00	---
9,01 – 10,00	---
Acima de 10,0	2,5
Total	100,0

9.1.6 *Cedrela fissilis* (Cedro-rosa)

As medições dos parâmetros ambientais e da radiação solar incidente, no Cedro-rosa, também ocorreram em duas etapas distintas pelo mesmo motivo daquelas realizadas no Sombreiro, ou seja, como a árvore é uma espécie decídua, optou-se por avaliar suas duas condições mais significativas: com folhas e sem folhas. A coleta dos dados foi realizada nos dias 21 e 28 de novembro de 2000, 12, 16 e 17 de abril de 2002, para a condição com folhas; e nos dias 27 de maio e 29 de junho de 2000, 10, 15 e 16 de junho de 2001, para a condição sem folhas.

Os equipamentos, que estavam à sombra da árvore, foram deslocados três vezes ao longo do dia, às 10:30 h, às 13:30 h e às 15:30 h, a fim de que as condições pré-estabelecidas para o experimento fossem mantidas. Já aqueles que ficaram ao sol permaneceram fixos durante todo o dia.

Nas Figuras 41, 42 e 43 são apresentados os gráficos de radiação solar, temperaturas (ambiente e globo) e umidade relativa referentes ao dia 12 de abril de 2002.

Os valores de energia total incidente, atenuação da radiação solar e do erro padrão da média das atenuações (α) estão na Tabela 25.

TABELA 25 - Atenuação da radiação solar

<i>Cedrela fissilis</i>		Energia total incidente (kW.h/m ²) (Sombra)	Energia total incidente (kW.h/m ²) (Sol)	Atenuação da radiação solar (%)
Com folhas	21/11/2000	0,05314	0,24384	78,2
	28/11/2000	0,06339	0,28748	77,9
	12/04/2002	0,05430	0,23236	76,6
	16/04/2002	0,05907	0,21894	73,0
	17/04/2002	0,06225	0,22499	72,3
			Média (c/ folhas)	75,6
			α	$\pm 1,2$
Sem folhas	27/05/2000	0,07486	0,10725	30,2
	29/06/2000	0,10062	0,14191	29,1
	10/06/2001	0,11244	0,14962	24,8
	15/06/2001	0,09181	0,14412	36,3
	16/06/2001	0,08270	0,11651	29,0
			Média (s/ folhas)	29,9
			α	$\pm 1,9$

TABELA 26 – Voto Médio Estimado

VME – <i>Cedrela fissilis</i> sem folhas (Com jaqueta – 0,94 clo)							
Hora	Condição	Situação	27/05/00	29/06/00	10/06/01	15/06/01	16/06/01
7:15	Sentado	Sombra	-1,97	-0,02	-2,30	-2,64	-1,95
		Sol	-1,56	-1,76	-2,02	-2,86	-2,24
	Andando (2 km/h)	Sombra	0,10	1,09	-0,09	-0,26	0,11
		Sol	0,31	0,19	0,06	-0,36	-0,03
14:15	Sentado	Sombra	0,09	2,46	2,67	1,73	3,35
		Sol	0,84	2,92	2,53	3,02	4,05
	Andando (2 km/h)	Sombra	1,20	2,45	2,52	2,04	2,88
		Sol	1,56	2,68	2,43	2,73	3,25

TABELA 27 – Voto Médio Estimado

VME – <i>Cedrela fissilis</i> sem folhas (Sem jaqueta – 0,39 clo)							
Hora	Condição	Situação	27/05/00	29/06/00	10/06/01	15/06/01	16/06/01
7:15	Sentado	Sombra	-4,22	-1,30	-4,66	-5,17	-4,18
		Sol	-3,62	-3,84	-4,25	-5,74	-4,83
	Andando (2 km/h)	Sombra	-0,95	0,54	-1,19	-1,45	-0,94
		Sol	-0,64	-0,78	-0,97	-1,73	-1,25
14:15	Sentado	Sombra	-1,36	2,25	2,59	1,16	3,72
		Sol	0,00	3,03	2,43	3,16	4,84
	Andando (2 km/h)	Sombra	0,57	2,55	2,58	1,89	3,20
		Sol	1,22	2,91	2,46	2,95	3,81

TABELA 28 – Voto Médio Estimado

VME – <i>Cedrela fissilis</i> com folhas (Com jaqueta – 0,94 clo)							
Hora	Condição	Situação	21/11/00	28/11/00	12/04/02	16/04/02	17/04/02
7:15	Sentado	Sombra	0,66	0,69	-0,72	-0,25	-0,24
		Sol	1,03	1,66	-0,29	-0,19	-0,03
	Andando (2 km/h)	Sombra	1,50	1,55	0,74	1,00	1,01
		Sol	1,68	2,01	0,98	1,04	1,11
14:15	Sentado	Sombra	2,54	3,30	3,39	2,85	3,02
		Sol	3,79	6,67	6,30	4,96	6,53
	Andando (2 km/h)	Sombra	2,51	2,90	2,90	2,69	2,73
		Sol	3,17	4,67	4,43	3,78	4,56

TABELA 29 – Voto Médio Estimado

VME – <i>Cedrela fissilis</i> com folhas (Sem jaqueta – 0,39 clo)							
Hora	Condição	Situação	21/11/00	28/11/00	12/04/02	16/04/02	17/04/02
7:15	Sentado	Sombra	-0,75	-0,83	-2,36	-1,68	-1,62
		Sol	0,05	1,01	-1,68	-1,59	-1,36
	Andando (2 km/h)	Sombra	0,94	0,93	0,01	0,38	0,41
		Sol	1,30	1,78	0,38	0,43	0,54
14:15	Sentado	Sombra	2,25	3,48	3,62	2,68	3,03
		Sol	4,35	8,93	7,91	6,26	8,04
	Andando (2 km/h)	Sombra	2,53	3,13	3,10	2,80	2,84
		Sol	3,66	5,99	5,37	4,63	5,42

Os valores dos VME para todas as condições analisadas estão nas Tabelas 26, 27, 28 e 29. Observando-se esses dados, pode-se afirmar que, na condição com folhas, apenas 15,0% dos casos indicam que a sombra da árvore reduziu os valores dos VME a níveis considerados confortáveis para a maioria das pessoas ($-1 \leq \text{VME} \leq +1$). Já para a condição sem folhas as

diferenças entre os VME são insignificantes, pois em 79,2% dos casos onde os valores à sombra são menores que ao sol, essa diferença está entre 0 – 1,00.

É importante observar que, no caso do Cedro-rosa na situação com folhas, não se tem nenhum valor dos VME à sombra da árvore superior àqueles obtidos ao sol, o que significa que a sombra, neste caso, proporcionou a diminuição dos índices de conforto obtidos ao sol. Em contrapartida, na situação sem folhas, em 40% dos casos, os valores dos VME obtidos à sombra foram superiores àqueles obtidos ao sol (Tabela 30).

Assim, pode-se concluir que, estando o indivíduo arbóreo sem folhas, os níveis de conforto térmico, segundo o método do VME, não apresentam diferenças significativas quando os transeuntes estão expostos ao sol ou à sombra da árvore. Entretanto, para a condição com folhas (Tabela 31), as diferenças entre os VME ao sol e à sombra são superiores a 2,00 em 30% dos casos, representando assim uma diferença bastante significativa.

TABELA 30 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME ao sol e VME à sombra para a espécie *Cedrela fissilis* (sem folhas)

(VME ao sol) – (VME à sombra)	Frequência de Ocorrência (%)
0 – 1,00	79,2
1,01 – 2,00	20,8
2,01 – 3,00	---
3,01 – 4,00	---
4,01 – 5,00	---
5,01 – 6,00	---
6,01 – 7,00	---
7,01 – 8,00	---
8,01 – 9,00	---
9,01 – 10,00	---
Acima de 10,00	---
Total	100,00

TABELA 31 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME ao sol e VME à sombra para a espécie *Cedrela fissilis* (com folhas)

(VME ao sol) – (VME à sombra)	Frequência de Ocorrência (%)
0 – 1,00	50,0
1,01 – 2,00	20,0
2,01 – 3,00	15,0
3,01 – 4,00	7,5
4,01 – 5,00	2,5
5,01 – 6,00	5,0
6,01 – 7,00	---
7,01 – 8,00	---
8,01 – 9,00	---
9,01 – 10,00	---
Acima de 10,00	---
Total	100,0

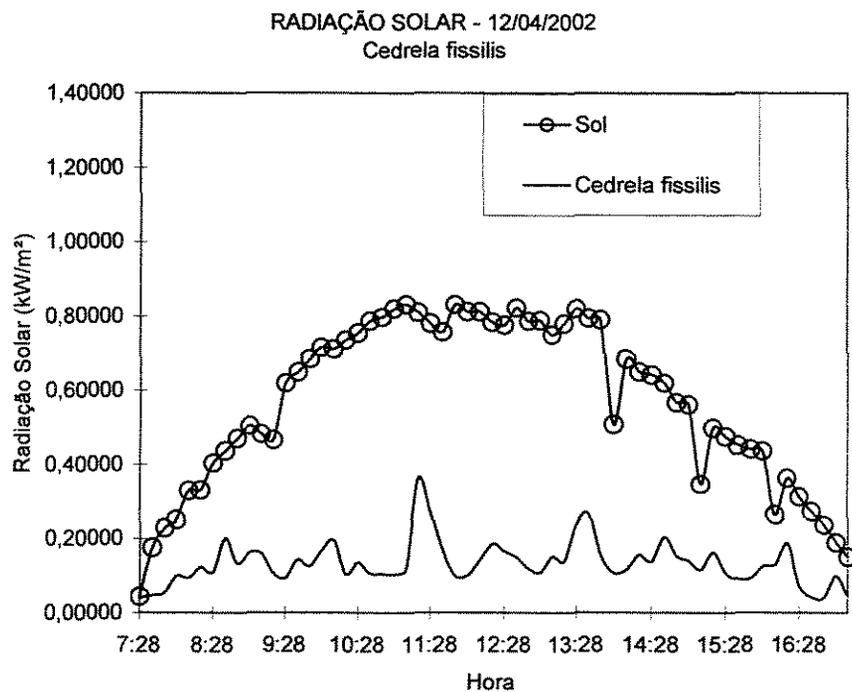


FIGURA 41 – Radiação solar (Cedro-rosa) 12/abril/2002.

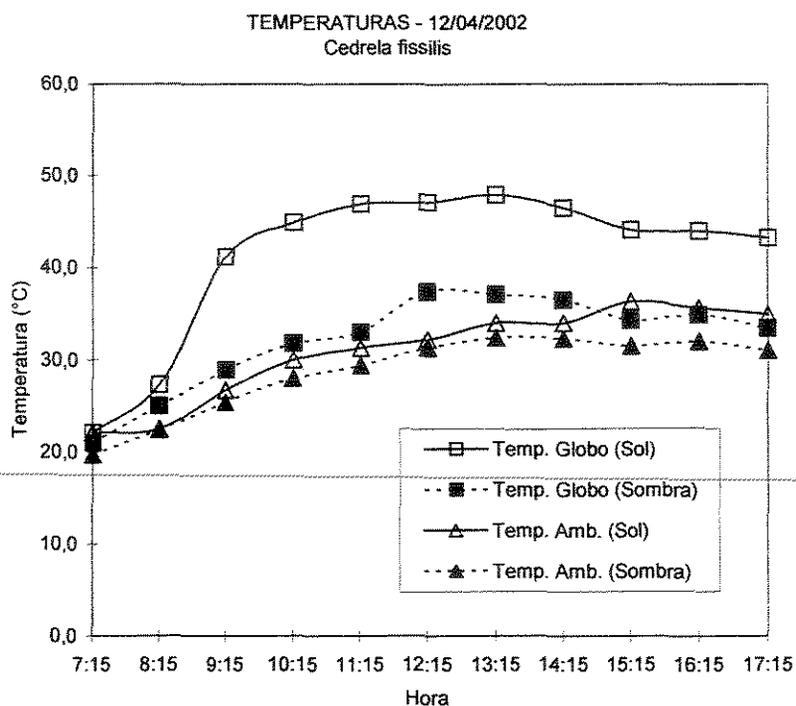


FIGURA 42 – Temperaturas do ar e de globo (Cedro-rosa) 12/abril/2002.

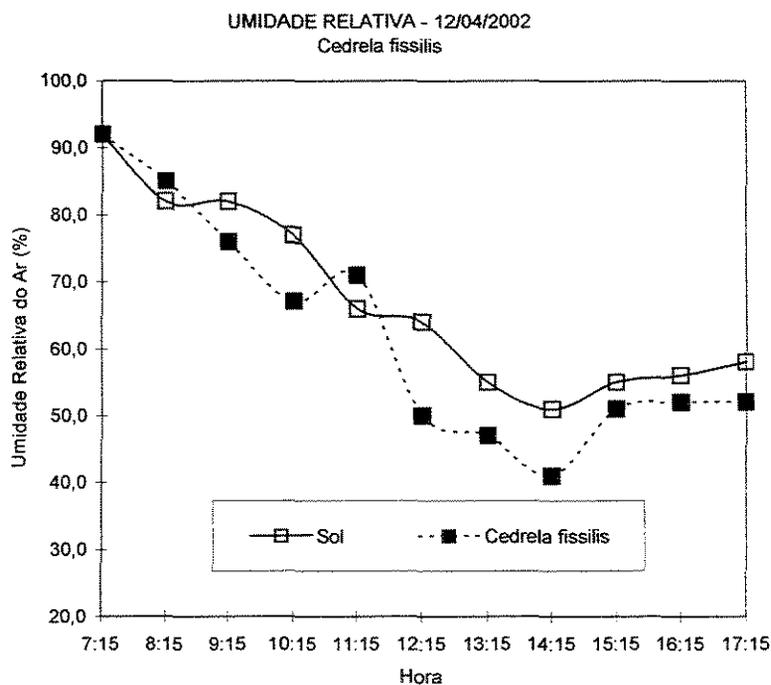


FIGURA 43 – Umidade relativa (Cedro-rosa) 12/abril/2002.

9.1.7 *Ficus benjamina* (Ficus)

As medições no Ficus foram realizadas nos dias 02, 07, 10, 14 e 15 de maio de 2002. Os equipamentos, dispostos à sombra da árvore, foram deslocados duas vezes ao longo do dia de modo a se manter as condições pré-estabelecidas para o experimento.

Como ilustração são apresentados os gráficos de radiação solar, temperaturas (ambiente e globo) e umidade relativa do ar do dia 02 de maio de 2002 (Figuras 44, 45 e 46).

Na Tabela 32 estão os valores de energia total incidente, atenuação da radiação solar e erro padrão da média (α) para todos os dias de medição no Ficus.

TABELA 32 - Atenuação da radiação solar

<i>Ficus benjamina</i>	Energia total incidente (kW.h/m ²) (Sombra)	Energia total incidente (kW.h/m ²) (Sol)	Atenuação da radiação solar (%)
02/05/2002	0,02428	0,20979	88,4
07/05/2002	0,03767	0,20126	81,3
10/05/2002	0,02540	0,19902	87,2
14/05/2002	0,02554	0,20363	87,5
15/05/2002	0,02406	0,18807	87,2
		Média	86,3
		α	$\pm 1,3$

TABELA 33 – Voto Médio Estimado

VME – <i>Ficus benjamina</i> (Com jaqueta – 0,94 clo)							
Hora	Condição	Situação	02/05/02	07/05/02	10/05/02	14/05/02	15/05/02
7:15	Sentado	Sombra	-0,91	-0,68	-3,30	-1,51	-1,98
		Sol	0,26	-0,03	-3,29	-1,51	-1,70
	Andando (2 km/h)	Sombra	0,65	0,76	-0,52	0,33	0,09
		Sol	1,26	1,11	-0,51	0,32	0,23
14:15	Sentado	Sombra	2,37	1,98	1,98	2,40	2,26
		Sol	5,28	2,72	5,45	5,44	5,07
	Andando (2 km/h)	Sombra	2,40	2,19	2,20	2,44	2,34
		Sol	3,91	2,58	4,01	4,01	3,80

TABELA 34 – Voto Médio Estimado

VME – <i>Ficus benjamina</i> (Sem jaqueta – 0,39 clo)							
Hora	Condição	Situação	02/05/02	07/05/02	10/05/02	14/05/02	15/05/02
7:15	Sentado	Sombra	-2,60	-2,22	-8,55	-3,49	-4,24
		Sol	-0,96	-1,39	-8,49	-3,48	-3,77
	Andando (2 km/h)	Sombra	-0,11	0,08	-2,98	-0,58	-0,96
		Sol	0,74	0,52	-2,95	-0,57	-0,73
14:15	Sentado	Sombra	2,10	1,47	1,43	2,05	1,91
		Sol	6,86	2,58	7,11	7,36	6,63
	Andando (2 km/h)	Sombra	2,41	2,05	2,07	2,46	2,33
		Sol	4,89	2,65	4,94	5,21	4,78

TABELA 35 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME ao sol e VME à sombra para a espécie *Ficus benjamina*

(VME ao sol) – (VME à sombra)	Frequência de Ocorrência (%)
0 – 1,00	50,0
1,01 – 2,00	18,3
2,01 – 3,00	15,8
3,01 – 4,00	5,3
4,01 – 5,00	5,3
5,01 – 6,00	5,3
6,01 – 7,00	---
7,01 – 8,00	---
8,01 – 9,00	---
9,01 – 10,00	---
Acima de 10,00	---
Total	100,0

Analisando-se as Tabelas 33 e 34 é possível observar que apenas 5% dos valores dos VME ao sol são iguais ou inferiores àqueles obtidos à sombra. Nos outros 95% das ocorrências, os valores dos VME à sombra sempre estiveram inferiores àqueles ao sol.

De acordo com a Tabela 35, em 50,0% dos casos as diferenças entre os VME ao sol e à sombra não são significativas, ou seja, estão entre 0 – 1,00. Entretanto, em 31,6% essas

diferenças são maiores que 2,01, reduções bastante significativas para o VME. Dessa forma, conclui-se que o Ficus analisado oferece melhoria considerável nas condições de conforto em relação às observadas ao sol.

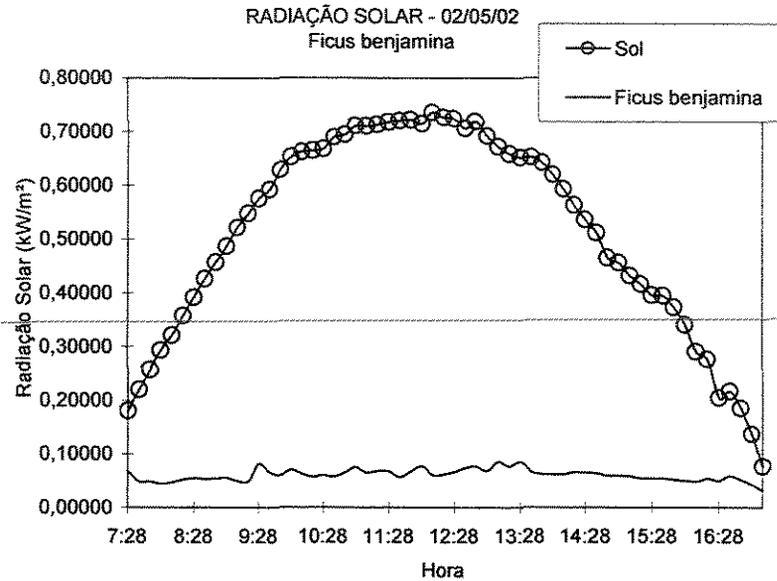


FIGURA 44 – Radiação solar (Ficus) 02/maio/2002.

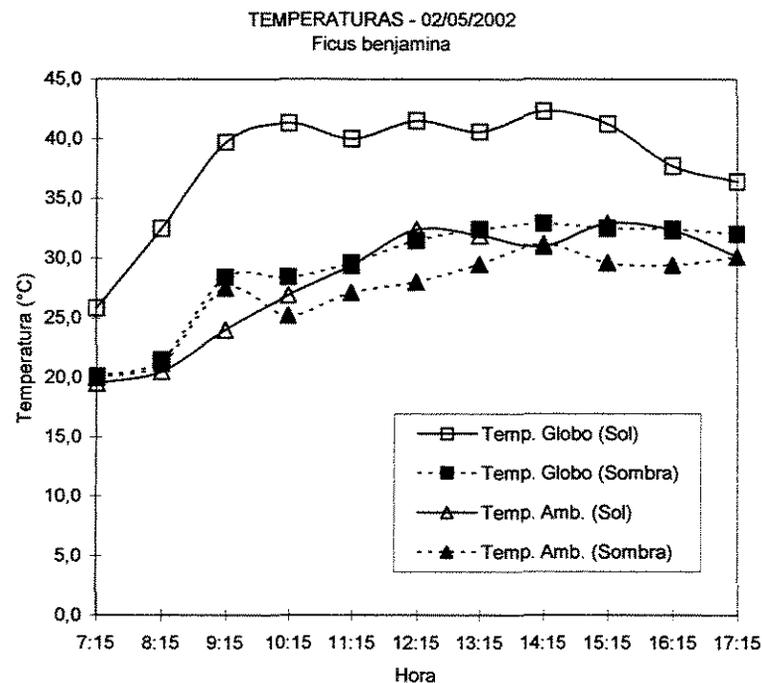


FIGURA 45 – Temperaturas do ar e de globo (Ficus) 02/maio/2002.

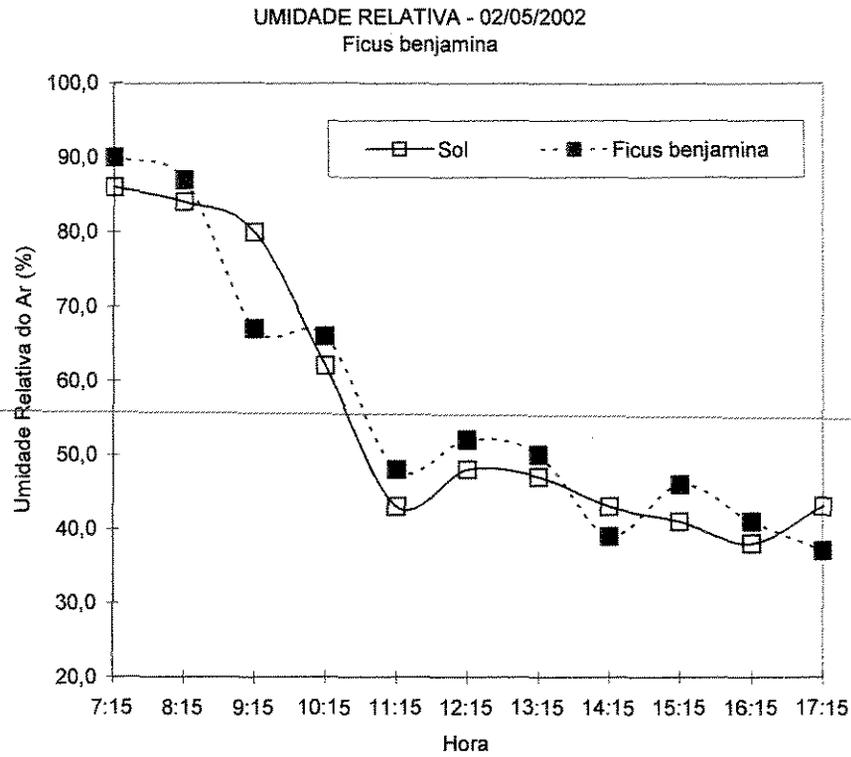


FIGURA 46 – Umidade relativa do ar (Ficus) 02/maio/2002.

A seguir, são apresentados os gráficos de Variação Relativa da Temperatura Ambiente e de Variação Relativa da temperatura de Globo para as sete espécies analisadas (Figuras 47 e 48).

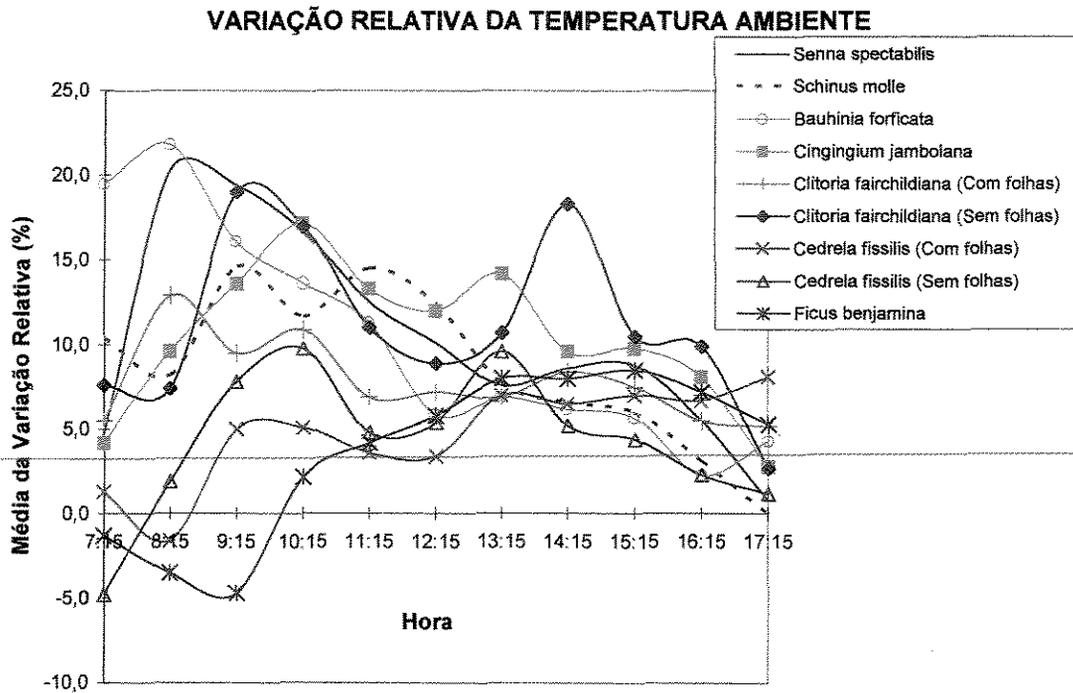


FIGURA 47 - Variação Relativa da Temperatura Ambiente para as sete espécies analisadas.

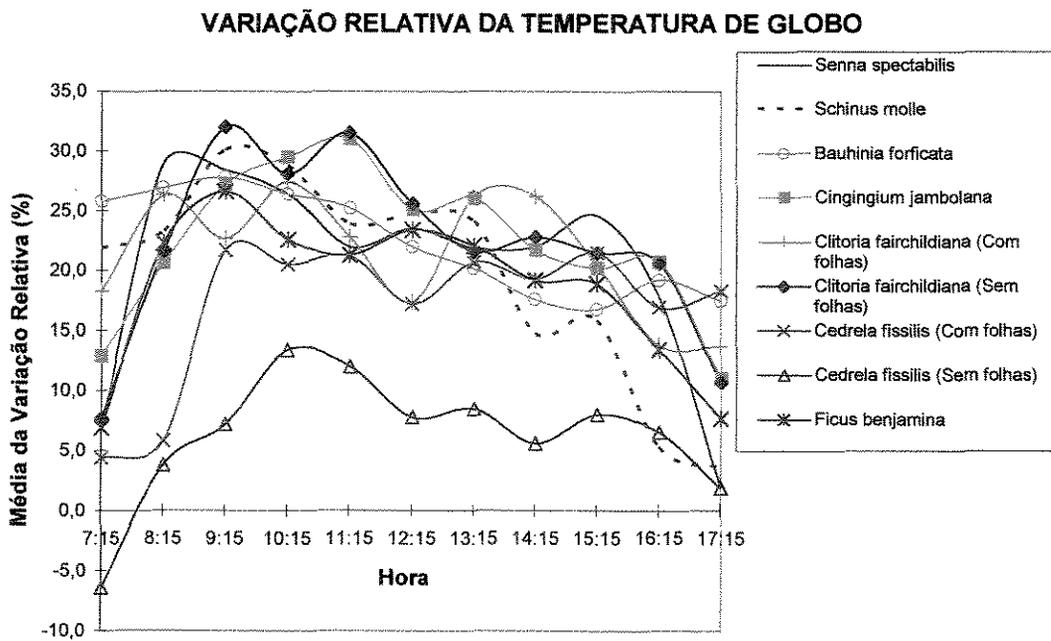


FIGURA 48 - Variação Relativa da Temperatura de Globo para as sete espécies analisadas.

9.2 Avaliação da Escola

9.2.1 Avaliação estatística dos dados

As Tabelas 36, 37, 38 e 39 mostram os resultados obtidos com a avaliação estatística dos dados externos e das duas salas de aula analisadas. Esses dados, como apresentado no item 8.3.6, foram avaliados estatisticamente pelo programa SASTM de hora em hora, no período das 8:00 h às 17:00 h, e concluiu-se que eles não apresentavam, pelo Teste de Tukey a 1% e a 5%, diferenças estatísticas significativas.

TABELA 36 – Resultado da comparação de médias da temperatura ambiente (TBS), pelo Teste de Tukey a 1%

Situação	Horário (h)									
	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
Ateliê sem sombreamento	24,70cb	25,60ba	25,70ba	26,34ba	27,08ba	28,12ba	28,70ba	29,20a	29,78a	29,27a
Ateliê com sombreamento	23,82c	24,07bc	24,31b	24,60b	25,25b	26,23b	27,12b	27,69a	28,23a	28,09a
Sala 05 sem sombreamento	27,58a	27,19a	27,31a	27,74a	28,42a	28,88a	29,18a	29,50a	29,99a	29,15a
Sala 05 com sombreamento	25,82b	26,29a	25,72ba	26,19ba	26,86ba	27,49ba	27,77ba	28,07a	28,50a	28,09a
Exterior (primeira parte)	20,73d	23,13c	25,08b	26,20ba	27,20ba	27,82ba	28,58ba	28,57a	28,10a	26,84a
Exterior (segunda parte)	20,01d	22,43c	24,41b	26,21ba	27,56a	28,34a	29,07ba	28,82a	28,45a	27,58a

As médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não apresentaram diferenças estatísticas (p. 0.01) pelo Teste de Tukey.

TABELA 37 – Resultado da comparação de médias da temperatura ambiente (TBS), pelo Teste de Tukey a 5%

Situação	Horário (h)									
	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
Ateliê sem sombreamento	24,70cb	25,60bc	25,70b	26,34ba	27,08a	28,12a	28,70ba	29,20ba	29,78a	29,27a
Ateliê com sombreamento	23,82c	24,07dc	24,31b	24,60c	25,25b	26,23b	27,12b	27,69b	28,23a	28,09ba
Sala 05 sem sombreamento	27,58a	27,19a	27,31a	27,74a	28,42a	28,88a	29,18a	29,50a	29,99a	29,15a
Sala 05 com sombreamento	25,82b	26,29ba	25,72b	26,19b	26,86ba	27,49ba	27,77ba	28,07ba	28,50a	28,09ba
Exterior (primeira parte)	20,73d	23,13de	25,08b	26,20b	27,20a	27,82ba	28,58ba	28,57ba	28,10a	26,84b
Exterior (segunda parte)	20,01d	22,43e	24,41b	26,21b	27,56a	28,34a	29,07a	28,82ba	28,45a	27,58ba

As médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não apresentaram diferenças estatísticas (p. 0.05) pelo Teste de Tukey.

TABELA 38 – Resultado da comparação de médias da umidade relativa do ar (UR), pelo Teste de Tukey a 1%

Situação	Horário (h)									
	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
Ateliê sem sombreamen.	68,21b	68,73bc	67,20a	65,87a	63,24a	62,93a	58,38a	55,08a	53,17a	53,52ba
Ateliê com sombreamen.	66,30b	67,65bc	67,91a	67,20a	65,51a	62,57a	58,89a	54,46a	51,65a	51,32b
Sala 05 sem sombreamen.	61,00b	64,60c	64,81a	63,31a	61,47a	57,83a	55,03a	54,53a	52,79a	54,23ba
Sala 05 com sombreamen.	61,34b	60,91c	64,49a	62,91a	61,81a	57,41a	54,23a	53,65a	50,65a	51,55b
Exterior (primeira parte)	86,83a	80,06a	73,91a	70,87a	67,75a	65,07a	59,39a	57,97a	60,66a	67,39a
Exterior (segunda parte)	85,79a	77,84ba	70,23a	61,99a	57,61a	52,07a	48,92a	46,78a	48,37a	52,02b

As médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não apresentaram diferenças estatísticas (p. 0.01) pelo Teste de Tukey.

TABELA 39 – Resultado da comparação de médias da umidade relativa do ar (UR), pelo Teste de Tukey a 5%

Situação	Horário (h)									
	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
Ateliê sem sombreamento	68,21b	68,73b	67,20a	65,87a	63,24a	62,93ba	58,38a	55,08a	53,17ba	53,52b
Ateliê com sombreamento	66,30b	67,65b	67,91a	67,20a	65,51a	62,57ba	58,89a	54,46a	51,65ba	51,32b
Sala 05 sem sombreamento	61,00b	64,60b	64,81a	63,31a	61,47a	57,83ba	55,03a	54,53a	52,79ba	54,23b
Sala 05 com sombreamento	61,34b	60,91b	64,49a	62,91a	61,81a	57,41ba	54,23a	53,65a	50,65ba	51,55b
Exterior (primeira parte)	86,83a	80,05a	73,91a	70,87a	67,75a	65,07a	59,39a	57,97a	60,66a	67,39a
Exterior (segunda parte)	85,79a	77,84a	70,23a	61,99a	57,61a	52,07b	48,92a	46,78a	48,37b	52,02b

As médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não apresentaram diferenças estatísticas (p. 0.05) pelo Teste de Tukey.

As médias em cada horário das temperaturas do ar nas salas de aula, obtidas pelo SAS™, foram também plotadas num gráfico. Analisando-se a Figura 49, pode-se notar que com as mudas das árvores, a temperatura do ar nas duas salas foi reduzida, em média de 1,5 °C. O gráfico com as médias das umidades relativas também são apresentados (Figura 50).

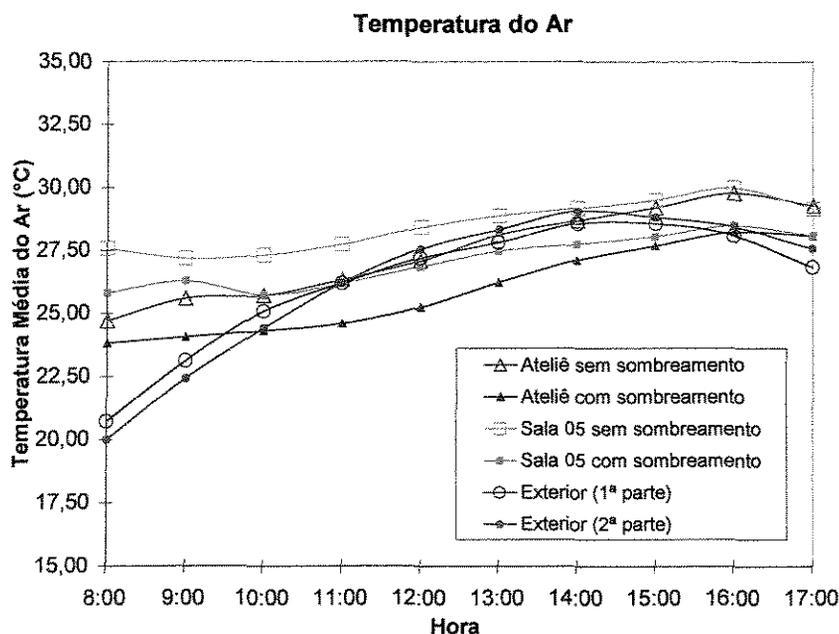


FIGURA 49 – Temperaturas médias do ar nas salas e no ambiente externo.

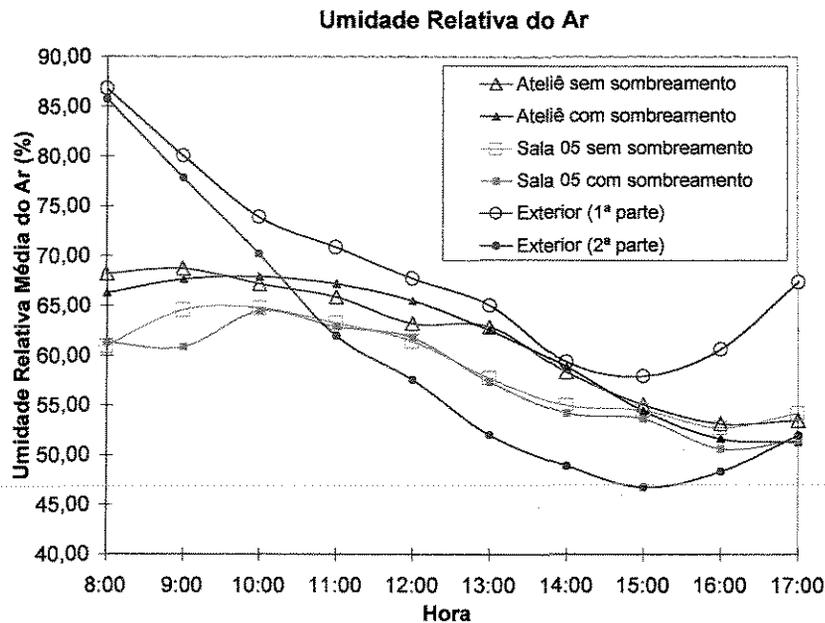


FIGURA 50 – Umidades relativas médias do ar nas salas e no ambiente externo.

9.2.2 Análise dos resultados

Analisando-se os dados obtidos na escola, verificou-se que ocorreu uma redução, em média, de 1,5 °C entre as temperaturas medidas antes da colocação dos exemplares arbóreos e depois da colocação dos mesmos (ver Figura 49). Os dados de temperatura de bulbo seco e de umidade relativa do interior das salas onde se realizaram as medições também foram analisados estatisticamente (ver Tabelas 36, 37, 38 e 39). Alguns horários apresentaram diferenças estatisticamente significativas ao nível de 1% e 5% e outros não. É possível que devido ao tamanho dos exemplares (plantas ainda jovens) a redução das temperaturas de bulbo seco não tenha sido tão significativa estatisticamente, mas por meio da Figura 49 pode-se observar uma redução simétrica, em média 1,5 °C, em todos os horários.

Nas Tabelas 40, 41, 42 e 43 estão os valores obtidos na avaliação de conforto térmico das duas salas de aula analisadas. Baseando-se nesses valores, pode-se dizer que, para os dias com temperaturas mais elevadas (04 de abril – sem os exemplares de Ficus e 06 de maio – com os exemplares de Ficus), somente às 8:20 h e com a condição de 0,39 clo (sem jaqueta) os valores dos VME, obtidos no ateliê, estiveram mais altos com a escola “arborizada” do que

aqueles coletados antes da colocação das árvores. Esses valores somam apenas 3,8% do total de dados coletados naquela sala nos dois dias mais quentes. Nos demais horários e condições estabelecidas para a avaliação, a presença da arborização reduziu os valores dos VME em relação àqueles obtidos sem as árvores. Dessa forma, conclui-se que a presença dos exemplares, mesmo ainda jovens, contribuiu para redução dos valores dos VME na sala 05 e no ateliê do PRODECAD, e a conseqüente melhoria do conforto térmico.

No ateliê (dias 04 de abril e 06 de maio de 2002), outro ponto que deve ser mencionado é que na análise das diferenças entre os VME sem as árvores e com a presença das mesmas, 98% desses valores estão entre 0 – 1,00, o que faz com que a redução proporcionada pelo sombreamento não seja tão significativa em termos de conforto. Provavelmente se as árvores fossem maiores essa redução também seria incrementada. Já na análise da sala 05 tem-se que em 42,4% dos casos as diferenças estão entre 1,01 – 2,00 e 23,0% são superiores a 2,01 (ver Figuras 51, 52, 53, 54 e Tabelas 40, 41, 42, 43). Assim, a redução dos VME na sala 05 demonstra maior influência dos exemplares de Ficus no conforto térmico dessa sala.

TABELA 40 – Voto Médio Estimado

VME - ATELIÊ					
Hora	Condição	Dia mais quente sem arborização (04 / abril / 2002)		Dia mais quente com arborização (06 / maio / 2002)	
		Com jaqueta (0,94 clo)	Sem jaqueta (0,39 clo)	Com jaqueta (0,94 clo)	Sem jaqueta (0,39 clo)
7:20	Sentado (1,0 met)	0,18	-1,40	-0,24	-1,64
	Andando (1,9 met)	1,26	0,59	1,00	0,39
8:20	Sentado (1,0 met)	-0,08	-2,11	-0,18	-1,48
	Andando (1,9 met)	1,14	0,27	1,03	0,47
9:20	Sentado (1,0 met)	0,60	-0,37	0,17	-1,05
	Andando (1,9 met)	1,44	1,03	1,22	0,70
10:20	Sentado (1,0 met)	0,46	-0,81	0,10	-1,16
	Andando (1,9 met)	1,39	0,86	1,18	0,64
11:20	Sentado (1,0 met)	0,66	-0,60	0,21	-1,00
	Andando (1,9 met)	1,51	0,99	1,24	0,72
12:20	Sentado (1,0 met)	0,87	-0,53	0,56	-0,51
	Andando (1,9 met)	1,64	1,09	1,43	0,98
13:20	Sentado (1,0 met)	1,36	0,59	0,80	-0,16
	Andando (1,9 met)	1,86	1,57	1,56	1,16
14:20	Sentado (1,0 met)	1,45	0,85	1,05	0,20
	Andando (1,9 met)	1,89	1,67	1,69	1,35
15:20	Sentado (1,0 met)	1,46	0,68	0,90	0,01
	Andando (1,9 met)	1,92	1,64	1,60	1,24
16:20	Sentado (1,0 met)	1,62	0,87	0,84	-0,07
	Andando (1,9 met)	2,01	1,77	1,57	1,20
17:20	Sentado (1,0 met)	1,71	1,07	0,88	-0,01
	Andando (1,9 met)	2,05	1,84	1,59	1,23
18:20	Sentado (1,0 met)	1,27	0,22	0,71	-0,25
	Andando (1,9 met)	1,84	1,46	1,50	1,11
19:20	Sentado (1,0 met)	1,20	0,15	0,67	-0,31
	Andando (1,9 met)	1,80	1,41	1,48	1,08

TABELA 41 – Voto Médio Estimado

VME - ATELIÊ					
Hora	Condição	Dia mais frio sem arborização (08 / abril / 2002)		Dia mais frio com arborização (30 / abril / 2002)	
		Com jaqueta (0,94 clo)	Sem jaqueta (0,39 clo)	Com jaqueta (0,94 clo)	Sem jaqueta (0,39 clo)
7:20	Sentado (1,0 met)	-1,28	-3,74	0,24	-0,91
	Andando (1,9 met)	0,49	-0,63	1,25	0,76
8:20	Sentado (1,0 met)	-0,23	-1,83	0,45	-0,59
	Andando (1,9 met)	1,03	0,32	1,35	0,92
9:20	Sentado (1,0 met)	-0,48	-2,50	0,57	-0,41
	Andando (1,9 met)	0,91	0,02	1,42	1,01
10:20	Sentado (1,0 met)	-0,52	-2,56	0,61	-0,35
	Andando (1,9 met)	0,89	-0,01	1,44	1,04
11:20	Sentado (1,0 met)	-0,45	-2,57	0,84	-0,04
	Andando (1,9 met)	0,94	0,01	1,56	1,21
12:20	Sentado (1,0 met)	0,22	-1,17	1,24	0,53
	Andando (1,9 met)	1,26	0,67	1,77	1,51
13:20	Sentado (1,0 met)	0,70	-0,46	1,45	0,83
	Andando (1,9 met)	1,52	1,04	1,89	1,66
14:20	Sentado (1,0 met)	0,88	-0,18	1,63	1,11
	Andando (1,9 met)	1,62	1,19	1,98	1,80
15:20	Sentado (1,0 met)	1,07	0,13	1,79	1,34
	Andando (1,9 met)	1,72	1,35	2,06	1,92
16:20	Sentado (1,0 met)	1,10	0,26	1,91	1,51
	Andando (1,9 met)	1,72	1,39	2,12	2,00
17:20	Sentado (1,0 met)	1,60	0,94	1,76	1,30
	Andando (1,9 met)	1,98	1,77	2,04	1,90
18:20	Sentado (1,0 met)	0,91	-0,24	1,67	1,17
	Andando (1,9 met)	1,64	1,19	1,99	1,83
19:20	Sentado (1,0 met)	0,82	-0,34	1,51	0,93
	Andando (1,9 met)	1,58	1,12	1,92	1,71

TABELA 42 – Voto Médio Estimado

VME – SALA 05					
Hora	Condição	Dia mais quente sem arborização (04 / abril / 2002)		Dia mais quente com arborização (06 / maio / 2002)	
		Com jaqueta (0,94 clo)	Sem jaqueta (0,39 clo)	Com jaqueta (0,94 clo)	Sem jaqueta (0,39 clo)
7:20	Sentado (1,0 met)	1,72	1,18	-0,97	-3,31
	Andando (1,9 met)	2,03	1,85	0,67	-0,39
8:20	Sentado (1,0 met)	3,04	3,07	-0,77	-3,20
	Andando (1,9 met)	2,72	2,83	0,78	-0,30
9:20	Sentado (1,0 met)	1,21	0,46	-0,33	-2,12
	Andando (1,9 met)	1,76	1,47	0,99	0,20
10:20	Sentado (1,0 met)	1,52	0,91	0,37	-0,88
	Andando (1,9 met)	1,93	1,71	1,35	0,81
11:20	Sentado (1,0 met)	1,63	1,07	0,29	-1,56
	Andando (1,9 met)	1,99	1,79	1,34	0,57
12:20	Sentado (1,0 met)	1,84	1,37	0,37	-1,29
	Andando (1,9 met)	2,10	1,94	1,38	0,68
13:20	Sentado (1,0 met)	1,72	1,22	0,62	-0,61
	Andando (1,9 met)	2,04	1,86	1,49	0,97
14:20	Sentado (1,0 met)	1,77	1,29	0,87	-0,14
	Andando (1,9 met)	2,06	1,90	1,61	1,19
15:20	Sentado (1,0 met)	1,92	1,51	0,59	-0,85
	Andando (1,9 met)	2,13	2,01	1,49	0,89
16:20	Sentado (1,0 met)	2,05	1,70	0,90	0,05
	Andando (1,9 met)	2,20	2,10	1,61	1,26
17:20	Sentado (1,0 met)	1,89	1,46	0,96	0,12
	Andando (1,9 met)	2,13	1,99	1,63	1,29
18:20	Sentado (1,0 met)	1,81	1,34	0,40	-1,30
	Andando (1,9 met)	2,08	1,93	1,39	0,69
19:20	Sentado (1,0 met)	1,72	1,22	0,25	-1,64
	Andando (1,9 met)	2,03	1,86	1,32	0,53

TABELA 43 – Voto Médio Estimado

VME – SALA 05					
		Dia mais frio sem arborização (08 / abril / 2002)		Dia mais frio com arborização (30 / abril / 2002)	
Hora	Condição	Com jaqueta (0,94 clo)	Sem jaqueta (0,39 clo)	Com jaqueta (0,94 clo)	Sem jaqueta (0,39 clo)
7:20	Sentado (1,0 met)	-0,53	-2,06	-0,35	-2,28
	Andando (1,9 met)	0,85	0,17	0,98	0,14
8:20	Sentado (1,0 met)	3,10	3,24	0,08	-1,74
	Andando (1,9 met)	2,77	3,01	1,22	0,45
9:20	Sentado (1,0 met)	0,66	-0,31	0,65	-0,26
	Andando (1,9 met)	1,47	1,07	1,46	1,08
10:20	Sentado (1,0 met)	0,17	-1,32	0,57	-0,62
	Andando (1,9 met)	1,25	0,61	1,45	0,95
11:20	Sentado (1,0 met)	0,57	-0,62	1,27	0,60
	Andando (1,9 met)	1,45	0,95	1,79	1,53
12:20	Sentado (1,0 met)	0,71	-0,41	1,29	0,27
	Andando (1,9 met)	1,53	1,06	1,85	1,48
13:20	Sentado (1,0 met)	0,94	-0,05	1,67	1,17
	Andando (1,9 met)	1,64	1,25	2,00	1,83
14:20	Sentado (1,0 met)	1,30	0,64	1,59	0,86
	Andando (1,9 met)	1,80	1,55	1,99	1,76
15:20	Sentado (1,0 met)	1,50	0,92	1,71	1,12
	Andando (1,9 met)	1,91	1,70	2,04	1,86
16:20	Sentado (1,0 met)	1,29	0,47	1,77	1,24
	Andando (1,9 met)	1,83	1,52	2,06	1,90
17:20	Sentado (1,0 met)	1,32	0,57	1,53	0,66
	Andando (1,9 met)	1,84	1,56	1,97	1,69
18:20	Sentado (1,0 met)	1,33	0,66	1,65	1,06
	Andando (1,9 met)	1,82	1,57	2,01	1,81
19:20	Sentado (1,0 met)	1,24	0,53	1,42	0,48
	Andando (1,9 met)	1,78	1,51	1,91	1,59

Nos dias 08 e 30 de abril de 2002 (dias mais frios), as duas salas de aula avaliadas apresentaram aumento dos valores dos VME obtidos à sombra em relação àqueles obtidos ao sol. As únicas exceções ocorreram na sala 05 às 7:20 h para a condição sem jaqueta (0,39 clo), às 8:20 h em ambas condições (0,94 clo e 0,39 clo), às 9:20 h para a condição com jaqueta (0,94 clo) e às 19:20 h para a condição sem jaqueta (0,39 clo) e pessoa sentada (1,0 met), representando 17,3% do total da sala 05. Dessa forma, tem-se que, nessa sala, 95,3% dos valores da diferença entre as situações da escola com árvores e sem árvores estão entre 0 – 1,00, fazendo com que essa diferença não seja tão significativa em termos de conforto. Em relação ao ateliê, nos dois dias mais frios, em 100% dos casos os valores dos VME foram maiores com os exemplares colocados do que aqueles obtidos sem a presença das árvores. A ocorrência de diferenças entre 0 – 1,00 foi de 61,5%, entre 1,01 – 2,00 de 30,8% e entre 2,01 – 3,00 de 7,7%, indicando que as diferenças foram mais acentuadas nessa sala (ver Figuras 51, 52, 53, 54 e Tabelas 44, 45, 46 e 47).

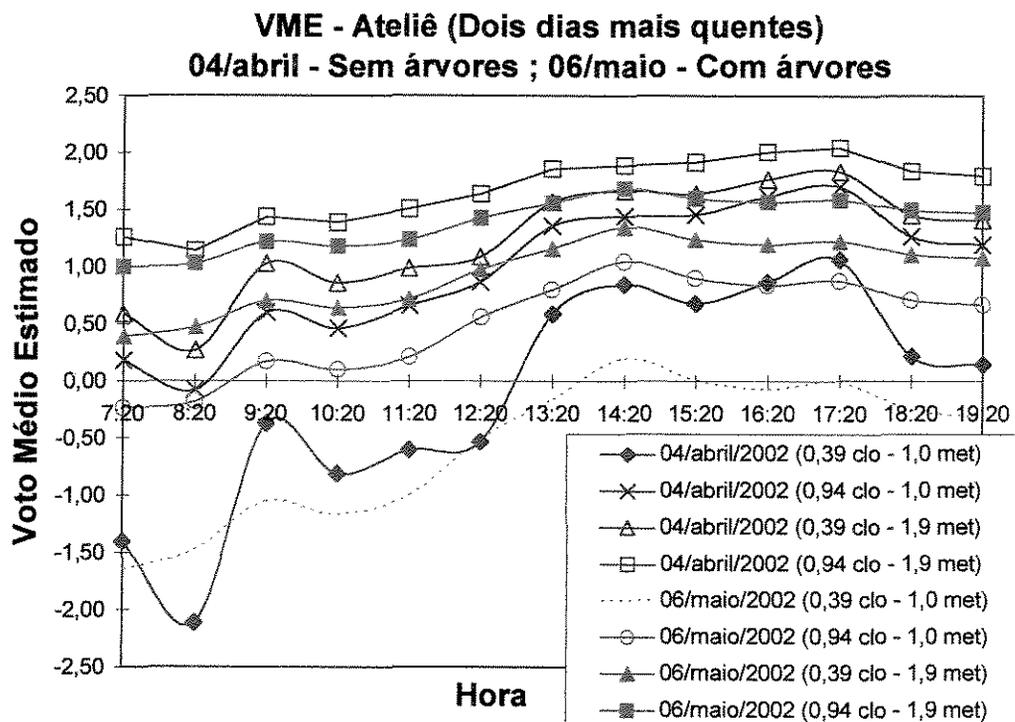


FIGURA 51 – Voto Médio Estimado; Ateliê (04/abril e 06/maio).

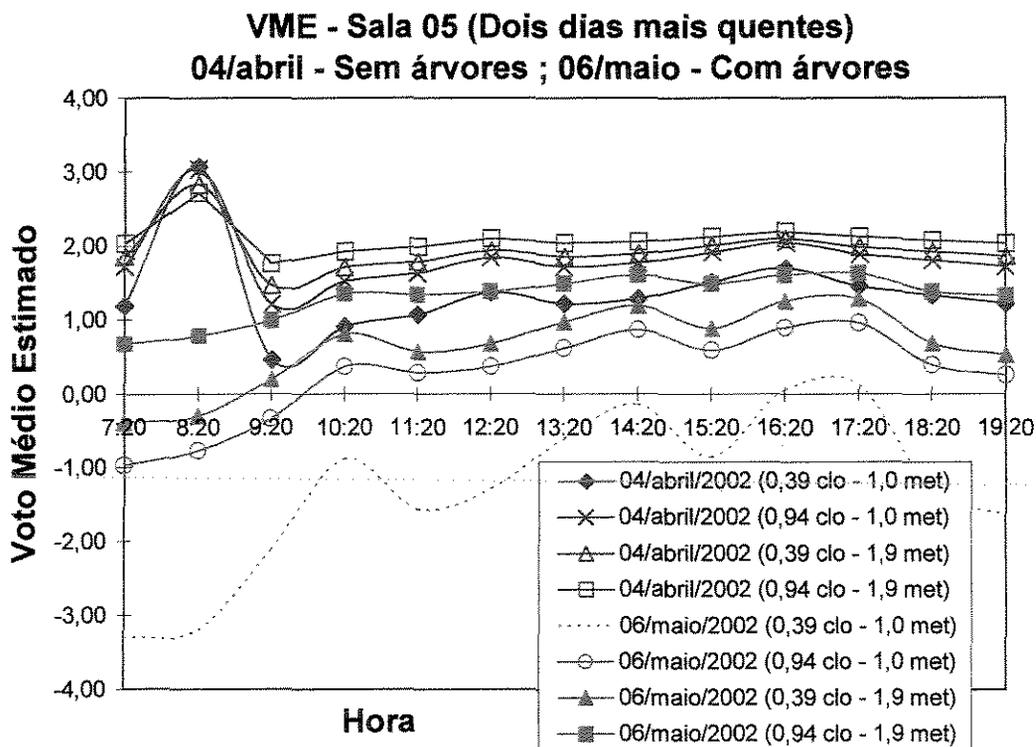


FIGURA 52 – Voto Médio Estimado; Sala 05 (04/abril e 06/maio).

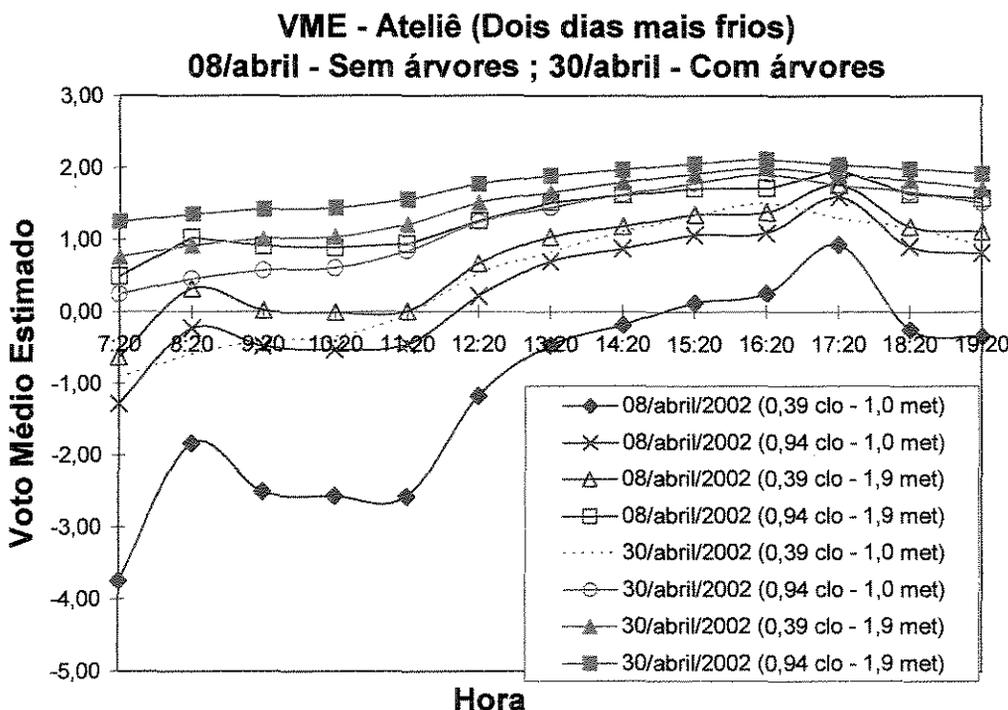


FIGURA 53 – Voto Médio Estimado; Ateliê (08/abril e 30/abril).

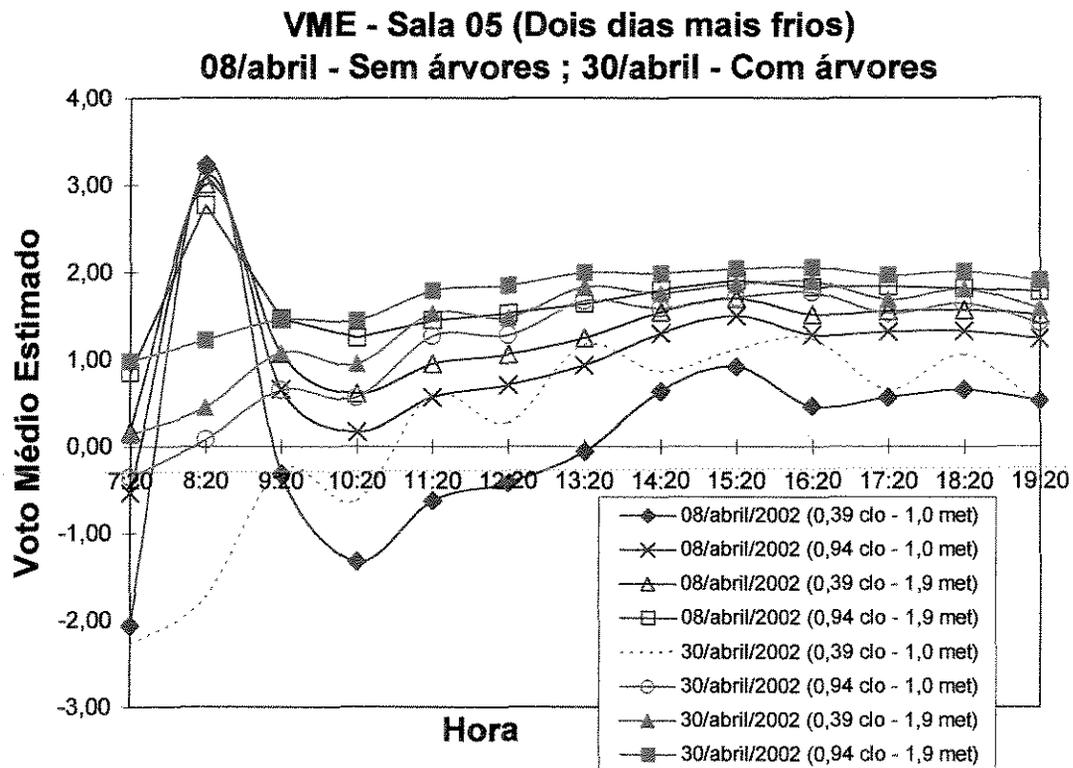


FIGURA 54 – Voto Médio Estimado; Sala 05 (08/abril e 30/abril).

TABELA 44 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME sem árvores e VME com árvores para o ateliê nos dois dias mais quentes

(VME sem árvores) – (VME com árvores)	Frequência de Ocorrência (%)
0 – 1,00	98,0
1,01 – 2,00	2,0
2,01 – 3,00	----
3,01 – 4,00	----
4,01 – 5,00	----
Acima de 5,00	----
Total	100,0

TABELA 45 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME sem árvores e VME com árvores para a sala 05 nos dois dias mais quentes

(VME sem árvores) – (VME com árvores)	Frequência de Ocorrência (%)
0 – 1,00	34,6
1,01 – 2,00	42,4
2,01 – 3,00	15,4
3,01 – 4,00	3,8
4,01 – 5,00	1,9
Acima de 5,00	1,9
Total	100,0

TABELA 46 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME com árvores e VME sem árvores para o ateliê nos dois dias mais frios

(VME com árvores) - (VME sem árvores)	Frequência de Ocorrência (%)
0 – 1,00	61,5
1,01 – 2,00	30,8
2,01 – 3,00	7,7
3,01 – 4,00	---
4,01 – 5,00	---
Acima de 5,00	---
Total	100,0

TABELA 47 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME com árvores e VME sem árvores para a sala 05 nos dois dias mais frios

(VME com árvores) - (VME sem árvores)	Frequência de Ocorrência (%)
0 – 1,00	95,3
1,01 – 2,00	4,7
2,01 – 3,00	---
3,01 – 4,00	---
4,01 – 5,00	---
Acima de 5,00	---
Total	100,0

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando-se os dados obtidos e especialmente a Tabela 48, observa-se que entre as espécies estudadas, as três que apresentam melhor desempenho quanto à atenuação da radiação solar são o Jambolão (92,8% de atenuação), a Cassia (88,6%) e o Ficus (86,3%).

TABELA 48 – Atenuação da radiação solar nas árvores analisadas

Espécie Analisada	Atenuação da Radiação Solar (%)	α (Erro Padrão da Média)
<i>Senna spectabilis</i>	88,6	$\pm 1,3$
<i>Schinus molle</i>	73,6	$\pm 1,3$
<i>Bauhinia variegata</i>	81,7	$\pm 2,0$
<i>Cingidium jambolana</i>	92,8	$\pm 0,4$
<i>Clitoria fairchildiana</i> (sem folhas)	70,2	$\pm 2,6$
<i>Clitoria fairchildiana</i> (com folhas)	78,6	$\pm 0,8$
<i>Cedrela fissilis</i> (sem folhas)	29,9	$\pm 1,9$
<i>Cedrela fissilis</i> (com folhas)	75,6	$\pm 1,2$
<i>Ficus benjamina</i>	86,3	$\pm 1,3$

As árvores com pior desempenho quanto à atenuação da radiação solar foram exatamente aquelas analisadas na condição sem folhas, ou seja, o Sombreiro (sem folhas) com 70,2% de atenuação e o Cedro-rosa (sem folhas) com 29,9%. Convém observar que mesmo sem as folhas a atenuação proporcionada pelo Sombreiro ainda é bastante significativa. A atenuação, nesse caso, seria proporcionada pelos galhos da árvore.

Comparando as Tabelas 48 e 49, nota-se que não existe uma relação direta entre a atenuação da radiação solar e as frequências de ocorrência das diferenças entre os VME ao sol e à sombra das árvores. Um exemplo é o Jambolão, que mesmo apresentando o maior valor de atenuação da radiação solar (92,8%), possui uma das menores frequências de redução dos valores dos VME à sua sombra (27,5%). A explicação está no fato do índice de conforto térmico de Fanger considerar todos os parâmetros ambientais e pessoais (temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, temperatura radiante média, tipo de vestimenta e taxa de metabolismo) na avaliação, enquanto a atenuação está estritamente relacionada à radiação solar incidente. Dessa forma, conclui-se que mesmo atenuando grande parte da radiação solar outros fatores como velocidade do ar interferem nos níveis de conforto térmico proporcionados pela sombra da árvore. Conforme alguns estudos (Silva et al., 1996 e Ghelfi Filho et al., 1996), indivíduos arbóreos de copa densa e baixa e folhas largas não são recomendados sob o ponto de vista do conforto térmico, devido à estrutura da copa dificultar a ventilação em função da ascensão do ar quente, tornando mais difícil sua dissipação.

A recomendação para a utilização de determinada espécie está relacionada ao uso do local em que a vegetação será implantada. Se o local é um estacionamento, a implantação de espécies que propiciem maior atenuação da radiação solar é a escolha mais correta, pois não seria necessário proporcionar condições adequadas de conforto térmico, mas sim bloquear a radiação solar incidente impedindo o efeito estufa dentro dos veículos, e também a queima de suas pinturas. Entretanto, se o local é uma praça com parquinho para crianças, a implantação deverá observar quais espécies oferecem melhores condições de conforto térmico aliadas à maior atenuação da radiação solar devido à presença de pessoas no local. Dois bons exemplos seriam a Pata-de-vaca e o Sombreiro, que atenuam respectivamente 81,7% e 78,6% da radiação solar e proporcionam as maiores frequências de ocorrência da diferença entre VME ao sol e à sombra maior que 2,00, ou seja, mais contribuem para a melhoria dos índices de conforto térmico.

TABELA 49 – Frequência de ocorrência da diferença entre VME ao sol e VME à sombra maior que 2,00

Espécie Analisada	Frequência de Ocorrência (%) (VME ao sol) – (VME à sombra) > 2,00
<i>Senna spectabilis</i>	33,0
<i>Schinus molle</i>	44,0
<i>Bauhinia variegata</i>	47,5
<i>Cingidium jambolana</i>	27,5
<i>Clitoria fairchildiana</i> (sem folhas)	30,0
<i>Clitoria fairchildiana</i> (com folhas)	55,0
<i>Cedrela fissilis</i> (sem folhas)	0,0
<i>Cedrela fissilis</i> (com folhas)	30,0
<i>Ficus benjamina</i>	31,7

É importante ressaltar que além de considerar as recomendações, acima citadas, quanto à atenuação da radiação solar e melhoria dos níveis de conforto térmico, deve-se observar também as recomendações relativas às características morfológicas de cada espécie, ou seja, evitar árvores com raízes superficiais em calçadas, avaliar a presença ou não de fiação no local da implantação etc. Essas recomendações podem ser encontradas, por exemplo, em Mascaró & Mascaró (2002) e CESP (1997).

Na Tabela 50 estão todos os valores das atenuações da radiação solar incidente proporcionadas pelas espécies arbóreas estudadas.

A utilização da vegetação na melhoria do conforto térmico das salas de aula analisadas, nos dois dias mais quentes, pôde ser comprovada por meio da redução dos valores dos Votos Médios Estimados em 98,1% dos casos.

A redução dos valores dos VME, proporcionada pelos exemplares de *Ficus* nos dias 04 de abril e 06 de maio de 2002, é mais significativa na sala 05, onde 23,0% delas estão acima de 2,00. Já no caso do ateliê, não existem valores maiores que 2,00.

TABELA 50 – Tabela geral da atenuação da radiação solar incidente para todas as árvores analisadas.

	Árvores Analisadas	Atenuação da Radiação Solar (%)	Erro Padrão da Média (α)
Mestrado	<i>Hymenaea courbaril</i> (Jatobá)	87,2	$\pm 1,6$
	<i>Cassia fistula</i> (Chuva-de-ouro)	87,3	$\pm 0,7$
	<i>Michelia champacca</i> (Magnólia)	82,4	$\pm 3,4$
	<i>Tabebuia impetiginosa</i> (Ipê roxo)	75,6	$\pm 2,3$
	<i>Caesalpinia peltophoroides</i> (Sibipiruna)	88,5	$\pm 1,2$
Doutorado	<i>Senna spectabilis</i> (Cassia)	88,6	$\pm 1,3$
	<i>Schinus molle</i> (Aroeira salsa)	73,6	$\pm 1,3$
	<i>Bauhinia variegata</i> (Pata-de-vaca)	81,7	$\pm 2,0$
	<i>Cingidium jambolana</i> (Jambolão)	92,8	$\pm 0,4$
	<i>Clitoria fairchildiana</i> (Sombreiro) - sem folhas	70,2	$\pm 2,6$
	<i>Clitoria fairchildiana</i> (Sombreiro) - com folhas	78,6	$\pm 0,8$
	<i>Cedrela fissilis</i> (Cedro-rosa) - sem folhas	29,9	$\pm 1,9$
	<i>Cedrela fissilis</i> (Cedro-rosa) - com folhas	75,6	$\pm 1,2$
	<i>Ficus benjamina</i> (Ficus)	86,3	$\pm 1,3$

Nos dois dias mais frios, tem-se uma situação inversa àquela colocada anteriormente. Tanto para o ateliê quanto para a sala 05, predominam valores de VME maiores para a condição da escola “arborizada”, mais precisamente em 100,0% dos casos do ateliê e 82,7% dos casos da sala 05. Uma possível interpretação desse resultado seria que, a temperaturas mais baixas, as árvores funcionam como uma barreira às perdas de calor para o ambiente externo e conseqüentemente mantendo os valores dos VME mais elevados dentro das salas.

No caso de temperaturas externas mais elevadas que as temperaturas do ambiente interno (dias mais quentes), as árvores atenuam a incidência direta da radiação solar nas fachadas onde se encontram, diminuindo assim o ganho de calor do ambiente interno através da mesma.

Assim, baseando-se em todos os dados obtidos neste estudo, pode-se dizer que, de uma forma geral, a arborização contribui de forma significativa na melhoria do conforto térmico tanto de ambientes externos quanto internos à edificação. Cabe ao projetista ou paisagista saber adequar a espécie arbórea às suas necessidades de projeto.

Estudos como este devem ter seus resultados divulgados de modo a contribuir para a melhoria da qualidade de vida da população e influenciar no planejamento de áreas verdes e da arborização dos centros urbanos.

Algumas sugestões para trabalhos futuros são:

- Pesquisa e levantamento de dados em campo para avaliar a escala espacial de influência que uma única árvore pode ter;

- Pesquisa e levantamento de dados em campo para estimar o número e o espaçamento dos indivíduos arbóreos a fim de que seja possível se obter determinadas condições ambientais;

- Em relação à edificação, também através da coleta de dados, estimar a escala de influência da vegetação no ambiente interno.

11 CONCLUSÃO

A partir de todos os dados coletados, das análises dos mesmos e das considerações finais tem-se a indicação que a arborização contribui de forma significativa na melhoria do conforto térmico de ambientes externos e internos.

Nos ambientes externos, a atenuação da radiação solar incidente tem papel fundamental na redução das temperaturas. No que tange o conforto térmico, deve-se sempre observar a arquitetura das árvores, pois copas densas e baixas dificultam a circulação do vento sob as mesmas e fazem com que o calor fique retido nesses locais, podendo não permitir que níveis ideais de conforto sejam alcançados.

Nos ambientes internos, os resultados obtidos na análise da escola mostram que, mesmo com a presença de indivíduos arbóreos jovens, a redução na temperatura do ar já pode ser notada. Além disso, os valores de VME obtidos também fornecem indicações de que o sombreamento contribui para a melhoria do conforto térmico.

Dessa forma, este trabalho comprova, por meio dos dados obtidos em campo, o que o ser humano sente, quase que instintivamente, a respeito das árvores e da vegetação em geral: o verde traz conforto.

12 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Dulce Marques de. Pedestrian streets, urban design as a tool for microclimate control. In: PLEA 2002 (19th International Conference on Passive and Low Energy Architecture), 2002, Toulouse, France. **Proceedings...** Toulouse: James & James (Science Publishers) Ltd, 2002. p. 437-439.
- ARENS, Edward, BOSSELMANN, Peter. Wind, sun and temperature – predicting the thermal comfort of people in outdoor spaces. **Building and environment**, v. 24, n. 4, p. 315-320. 1989.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEER (ASHRAE), Atlanta. **ASHRAE 55**; Thermal environmental conditions for human occupancy. 1992.
- AIT-AMEUR, Karima. The influence of climatic factors on the wellbeing of the individual in outdoors spaces. In: ECAC 2000 (3rd European Conference on Applied Climatology – Tools for the Environment and Man of the Year 2000), 2000, Pisa, Italy. **Proceedings...** CD-ROM.
- BERNARDI, Núbia, KOWALTOWSKI, Doris C.C.K. Avaliação da interferência comportamental do usuário para a melhoria do conforto ambiental em espaços escolares: estudo de caso em Campinas - SP. In: ENCAC 2001 (VI Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído), 2001, São Pedro (Brasil). **Anais...** São Pedro, 2001. CD ROM.
- BRAGER, Graill S., DEAR, Richard J. de. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. **Energy and Buildings**, v. 27, n. 1, p. 83-96, Feb. 1998.
- BUENO, Carolina Lotufo. **Estudo da atenuação da radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil da

- UNICAMP, 1998. 177 p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Civil - Área de concentração: Saneamento).
- CANTON, M.A. et al. Energetic sustainability of the urban building stock in densely forested city environments. In: PLEA 2001 (18th International Conference on Passive and Low Energy Architecture), 2001, Florianópolis, Brazil. *Proceedings...* CD-ROM.
- CANTUARIA, G. A. C. A comparative study of the thermal performance of vegetation on building surfaces. In: PLEA 2000 (17th International Conference on Passive and Low Energy Architecture), 2000, Cambridge, UK. *Proceedings...* Cambridge: James & James (Science Publishers) Ltd, 2000 a. p. 312-313.
- CANTUARIA, G. A. C. Analysis of the cooling potential of a tree canopy, with special reference to the mango tree. In: PLEA 2000 (17th International Conference on Passive and Low Energy Architecture), 2000, Cambridge, UK. *Proceedings...* Cambridge: James & James (Science Publishers) Ltd, 2000 b. p. 537-538.
- CESP – Companhia Energética de São Paulo. *Guia de arborização*. 4.ed. São Paulo: Gráfica CESP, 1997. 40 p.
- CHRISOMALLIDOU, Niobe, TSICALOUDAKI, Katerina, THEODOSIOU, Theodore. Quality of life and open spaces: a survey of microclimate and comfort in outdoor urban areas. In: PLEA 2002 (19th International Conference on Passive and Low Energy Architecture), 2002, Toulouse, France. *Proceedings...* Toulouse: James & James (Science Publishers) Ltd, 2002. p. 345-350.
- CUADRAT, José Maria, PITA, Maria Fernanda. *Climatología*. Madrid: Ediciones Cátedra S. A., 1997. 496 p.
- DESSI', Valentina. People's behaviour in an open space as design indicator, comparison between thermal comfort simulation and users' behaviour in an open space. In: PLEA 2002 (19th International Conference on Passive and Low Energy Architecture), 2002, Toulouse, France. *Proceedings...* Toulouse: James & James (Science Publishers) Ltd, 2002. p. 373-377.
- DELTA-T DEVICES. *Tube solarimeter user manual*. London, 1993. 20 p.
- DIMOUDI, Argiro; NIKOLOPOULOU, Marialena. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. In: PLEA 2000 (17th International Conference on Passive and Low Energy Architecture), 2000, Cambridge, UK. *Proceedings...* Cambridge: James & James (Science Publishers) Ltd, 2000. p. 489-494.
- FANGER, P.O. Thermal comfort in the building environment. In: European Conference on Architecture, 1987, Munik, Germany. *Proceedings...* p. 453-458. apud AIT-AMEUR, Karima. The influence of climatic factors on the wellbeing of the individual in outdoors spaces. In: ECAC 2000 (3rd European Conference on Applied Climatology – Tools for the Environment and Man of the Year 2000), 2000, Pisa, Italy. *Proceedings...* CD-ROM.
- FANGER, P.O. *Thermal comfort*. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970. 244 p.

- FANGER, P.O. Calculation of thermal comfort – introduction of a basic comfort equation. **ASHRAE Transactions**, v. 73, II, 20 p. 1967.
- FARIA, João Roberto Gomes de, KANEKO, Priscila Maya. Análise térmica das salas de aula do campus da UNESP - Bauru. In: ENCAC 2001 (VI Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído), 2001, São Pedro (Brasil). **Anais...** São Pedro, 2001. CD ROM.
- FERNANDES JÚNIOR, João et al. Aplicação dos métodos práticos na análise de conforto térmico e luminoso. In: ENCAC 2001 (VI Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído), 2001, São Pedro (Brasil). **Anais...** São Pedro, 2001. CD ROM.
- FERNANDES, Patrícia L., BARBIRATO, Gianna M. Análise microclimática do centro urbano de Maceió – AL. In: ENCAC 2001 (VI Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído), 2001, São Pedro (Brasil). **Anais...** São Pedro, 2001. CD ROM.
- FONTES, Maria Solange Gurgel de Castro, DELBIN, Simone. A qualidade climática dos espaços públicos urbanos: um estudo de caso na cidade de Bauru - SP. In: ENCAC 2001 (VI Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído), 2001, São Pedro (Brasil). **Anais...** São Pedro, 2001. CD ROM.
- FURTADO, Adma Elias. **Simulação e análise da utilização da vegetação como anteparo às radiações solares em uma edificação**. Rio de Janeiro: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ, 1994. 144 p. (Dissertação, Mestrado em Ciências de Arquitetura).
- GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. 2.ed. London: Applied Science, 1976. 483 p.
- INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDISATION: Geneva. **ISO 9920; ergonomics-estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble**. Geneva, 1995.
- INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDISATION: Geneva. **ISO 7730; moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort**. Geneva, 1994.
- INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDISATION: Geneva. **ISO 8996; ergonomics-determination of metabolic heat production**. Geneva, 1990.
- KATZSCHNER, Lutz, BOSCH, Ulrike, RÖTTGEN, Mathias. Behaviour of people in open spaces in dependency of thermal comfort conditions. In: PLEA 2002 (19th International Conference on Passive and Low Energy Architecture), 2002, Toulouse, France. **Proceedings...** Toulouse: James & James (Science Publishers) Ltd, 2002. p. 411-415.
- KOWALTOWSKI, Doris C.C.K. et al. **Melhoria do conforto ambiental em edificações escolares estaduais de Campinas - SP**. Projeto FAPESP. Departamento de Construção Civil, Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP. Fev. 2001.

- KOWALTOWSKI, Doris C.C.K. **Humanization in architecture: analysis of themes through High School building problems**. Los Angeles: University of Berkeley, 1980. 152 p. (Tese, Doutorado em Filosofia).
- KRÜGER, Eduardo L., DUMKE, Eliane M.S. Avaliação de desempenho térmico na Vila Tecnológica de Curitiba. In: ENCAC 2001 (VI Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído), 2001, São Pedro (Brasil). **Anais...** São Pedro, 2001 a. CD ROM.
- KRÜGER, Eduardo L. et al. Desempenho térmico de salas de aula do CEFET - PR. In: ENCAC 2001 (VI Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído), 2001, São Pedro (Brasil). **Anais...** São Pedro, 2001 b. CD ROM.
- KWOK, Alison G. Thermal comfort in tropical classrooms. **ASHRAE Transactions**, Atlanta, GA, USA, v. 104, n. Pt 1B, p. 1031-1047 SF-98-7-5, 1998.
- LABAKI, Lucila Chebel, SANTOS, Rozely Ferreira dos. **Conforto térmico em cidades: efeito da arborização no controle da radiação solar**. Projeto FAPESP. Departamento de Hidráulica e Saneamento, Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP. Fev. 1996.
- LILLO, Antonio López, CÁCERES, José Manuel Sánchez de Lorenzo. **Arboles em España**. 2.ed. Madri: Mundi-Prensa Libros S.A., 2001. 652 p.
- LOMBARDO, Magda A., QUEVEDO NETO, Pedro de S. Transformação da paisagem na área de transição urbano-rural: repercussões sobre o clima urbano. In: ENCAC 2001 (VI Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído), 2001, São Pedro (Brasil). **Anais...** São Pedro, 2001. CD ROM.
- LORENZI, Harri. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 368 p.
- MASCARÓ, Lúcia, MASCARÓ Juan Luis. **Vegetação urbana**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 242 p.
- MASCARÓ, Lúcia. **Ambiência urbana**. Porto Alegre: Sagra, DC Luzzato, 1996. 199 p.
- MCPHERSON, E.G. **Planting Design for Solar Control. Energy Conserving Site Design**. E. G. Washington, D.C.: American Society of Landscape Architects, 1984. apud FURTADO, Adma Elias. **Simulação e análise da utilização da vegetação como anteparo às radiações solares em uma edificação**. Rio de Janeiro: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ, 1994. 144 p. (Dissertação, Mestrado em Ciências de Arquitetura).
- MENDONÇA, Roxane Sidney Resende de, ASSIS, Eleonora Saad de. Conforto térmico urbano – estudo de caso do Bairro Floresta – Belo Horizonte. In: ENCAC 2001 (VI Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Encontro Latino-

- americano sobre Conforto no Ambiente Construído), 2001, São Pedro (Brasil). **Anais...** São Pedro, 2001. CD ROM.
- MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: Universidade de São Paulo - Instituto de Geografia, 1976. 181 p. (Tese, Livredocência: Faculdade de filosofia, letras e ciências humanas - Departamento de Geografia).
- MORAES, Elcione Maria Lobato de. **A vegetação no auxílio do conforto térmico do conjunto habitacional Cidade Nova em Belém – Pará**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos da USP, 1992. 113 p. (Dissertação, Mestrado em Arquitetura).
- NEVINS, Ralph G., ROHLES, Frederick H., WOODS, James E., SPRINGER, W. Temperature – humidity chart for thermal comfort of seated persons. In: **ASHRAE Transactions**, v. 72, part. I, 1966, p. 283. apud RUAS, Álvaro César. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. São Paulo: FUNDACENTRO, 1999. 96 p.
- PEIXOTO, M. C., LABAKI, L. C. & SANTOS, R. F. Conforto térmico em cidades: Avaliação do efeito da arborização no controle da radiação solar. In: ENTAC 95 (Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído), 1995, Rio de Janeiro (Brasil). **Anais...** Rio de Janeiro, 1995. p. 629-634.
- POTVIN, André. Assessing the microclimate of urban transitional spaces. In: PLEA 2000 (17th International Conference on Passive and Low Energy Architecture), 2000, Cambridge, UK. **Proceedings...** Cambridge: James & James (Science Publishers) Ltd, 2000. p. 581-586.
- ROHLES, Frederick H. **Thermal sensation of sedentary man in moderate temperature**. Institute of Environmental Research, Special Report. Kansas State University, 1970. apud RUAS, Álvaro César. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. São Paulo: FUNDACENTRO, 1999. 96 p.
- ROMERO, Marta Bustos et al. Sofrer para aprender: desconforto ambiental em salas de aula. In: ENCAC 2001 (VI Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído), 2001, São Pedro (Brasil). **Anais...** São Pedro, 2001. CD ROM.
- RUAS, Álvaro César. **Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP, 2002. 185 p. (Tese, Doutorado em Engenharia Civil - Área de concentração: Saneamento e Ambiente).
- RUAS, Álvaro César. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. São Paulo: FUNDACENTRO, 1999. 96 p.
- SATTLER, Miguel Aloysio. Arborização urbana e conforto ambiental. In: CONGRESSO DE ARBORIZAÇÃO DE CIDADES, 1, 1992, Vitória. **Anais...** Vitória: 1992. p. 15-28.
- SILVA, Iran José Oliveira da et al. Sombreamento natural: avaliação térmica de algumas espécies. In: ENCAC 2001 (VI Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente

Construído e III Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído), 2001, São Pedro (Brasil). **Anais...** São Pedro, 2001. CD ROM.

STINE, Sharon. **Landscapes for learning: creating outdoor environments for children and youth**. New York: John Wiley & Sons, 1997. 239 p.

TAHA, Haider. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. **Energy and Buildings**, v. 25, p.99-103, 1997.

TOPPING, J. **Errors of observation and their treatment**. 4.ed. London: Science Paperbacks, 1972. 120 p.

VERGARA, Lizandra G. Lupi, LAMBERTS, Roberto. Influência das taxas metabólicas no conforto térmico da Unidade de Terapia Intensiva do Hospital Universitário de Florianópolis. In: ENCAC 2001 (VI Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Encontro Latino-americano sobre Conforto no Ambiente Construído), 2001, São Pedro (Brasil). **Anais...** São Pedro, 2001. CD ROM.

WEINGARTNER, Gutemberg dos Santos. **Análise do efeito termoluminoso do sombreamento da arborização urbana de Porto Alegre – RS**. Porto Alegre: Faculdade de Arquitetura da UFRGS, 1994. 293 p. (Dissertação, Mestrado em Arquitetura).

ZACHARIAS FILHO, Fauze et al. **Especificações da edificação escolar de primeiro grau – vegetação e paisagismo**. São Paulo: FDE, 1996. (Fundação para o Desenvolvimento da Educação).

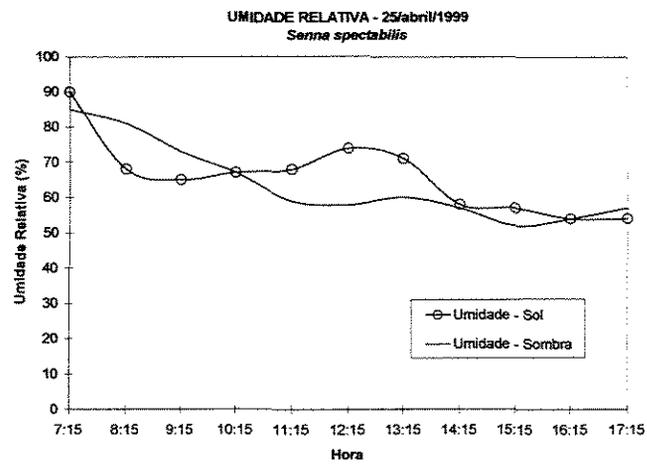
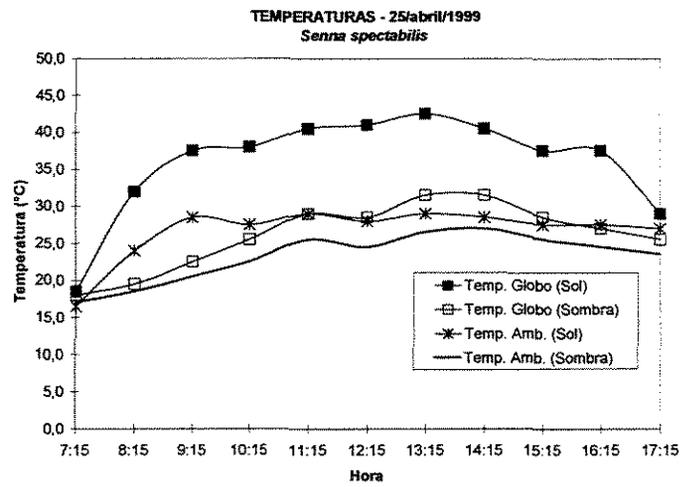
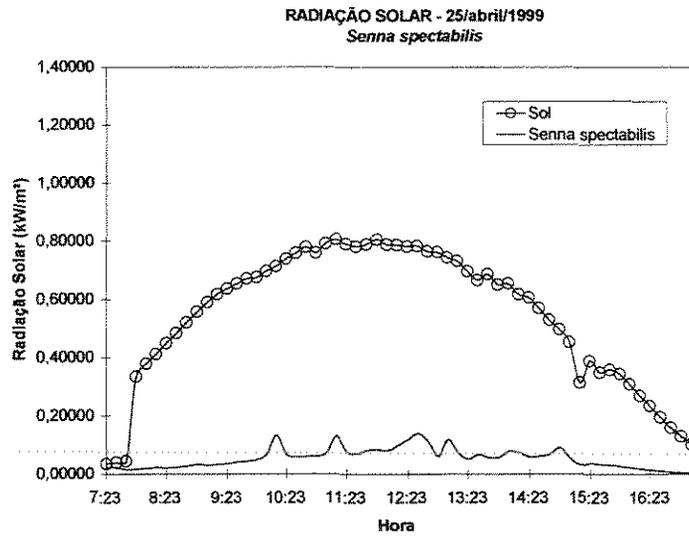
ABSTRACT

Bueno-Bartholomei, Carolina Lotufo. Influence of vegetation in urban thermal comfort and in the built environment. Campinas, School of Civil Engineering, State University of Campinas, 2003. 189 p. Thesis (Doctorate).

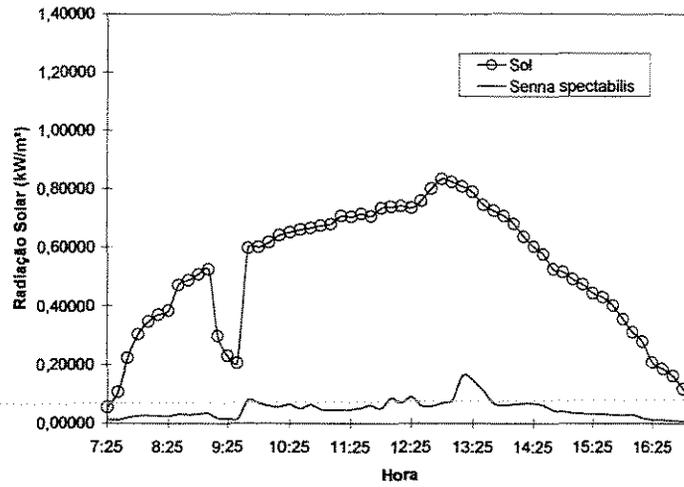
This work is based on the premise that different tree species present distinct behaviours as regards reduction of solar radiation. It also considers that tree shading of building façades exposed to sun can increase its thermal performance. This work evaluated, at first, the reduction of solar radiation by different tree species and thermal comfort provided by them, through experimental data of incident solar radiation, air and globe temperatures, as well as relative humidity. In a second stage, it evaluated the improvement of thermal comfort in two classrooms after placing some trees outdoor. In the first stage, data were collected beneath crowns of studied trees and in the open simultaneously. Percentage of reduction of solar radiation by each tree was calculated, as well as relative difference of air and globe temperatures. The analysis of the influence of different tree species on thermal comfort in outdoor spaces was carried out by means of the Predicted Mean Vote, and values of reduction of solar radiation. The observed species were: *Senna spectabilis*, *Schinus molle*, *Bauhinia variegata*, *Cingidium jabolana*, *Clitoria fairchildiana*, *Cedrela fissilis* and *Ficus benjamina*. Results show that *Bauhinia variegata* had one of the best performance as regards reduction of solar radiation and increase of thermal comfort. In the second stage, a quantification of the possible improvement on indoor thermal comfort, provided by one of the tree species studied, two classrooms of an elementary school building, located at the campus of the Campinas State University, in Brazil, were selected for the experiment. Thermal comfort parameters – temperature, relative humidity, globe temperature and air velocity – were measured in the two classrooms, in a situation where there was no nearby vegetation outdoor in a period of fifteen days. After that, four young specimens of *Ficus benjamina*, planted in big pots, were placed protecting the façades with most intense incident solar radiation of each classroom. The measurement of environmental parameters was performed again, this time in the situation of shaded walls, for another fifteen days. External climatic parameters were collected at the Meteorological Station of the University Campus, at a small distance from the school. It was observed that on the average the indoor temperatures for the situation with trees were 1.5°C smaller than that for the situation without trees.

Key words: Thermal comfort; Solar radiation; Vegetation and climate; School Building; Microclimatology.

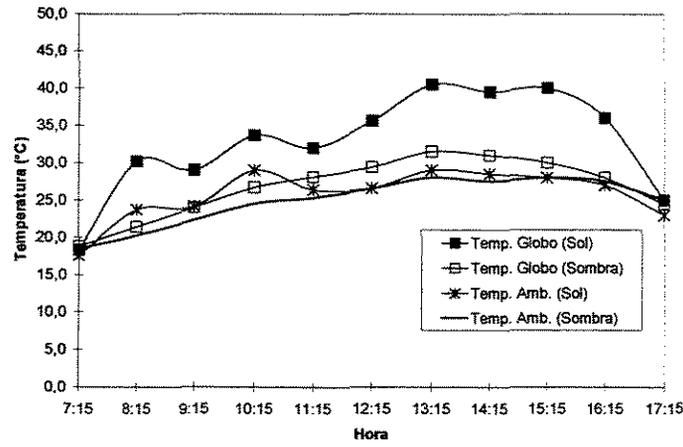
ANEXO



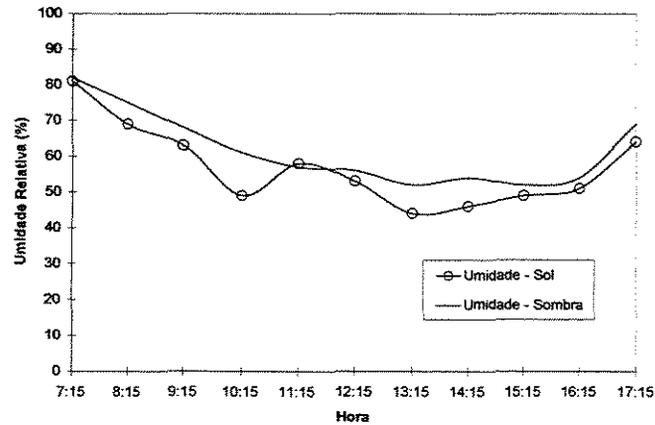
RADIAÇÃO SOLAR - 29/abril/1999
Senna spectabilis

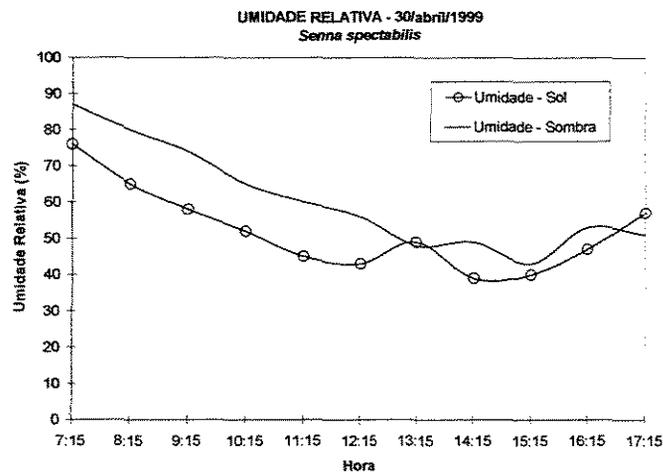
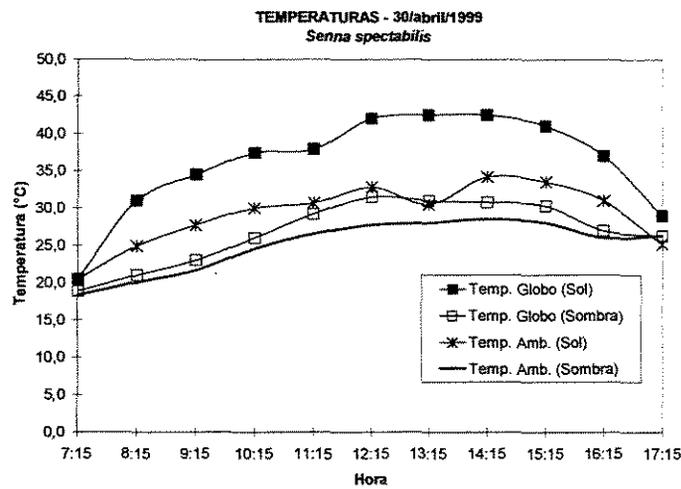
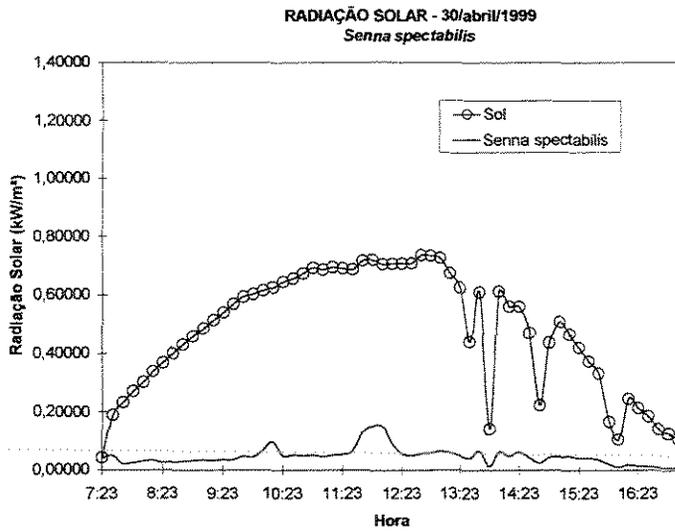


TEMPERATURAS - 29/abril/1999
Senna spectabilis

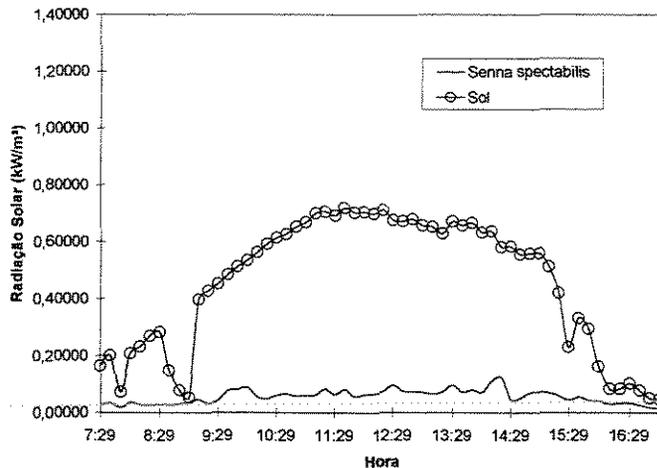


UMIDADE RELATIVA - 29/abril/1999
Senna spectabilis

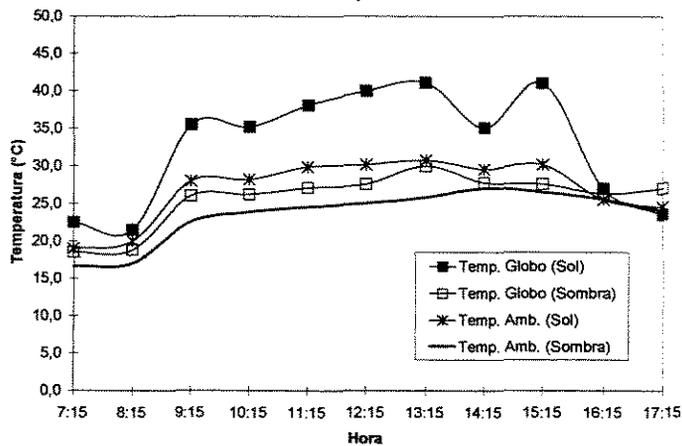




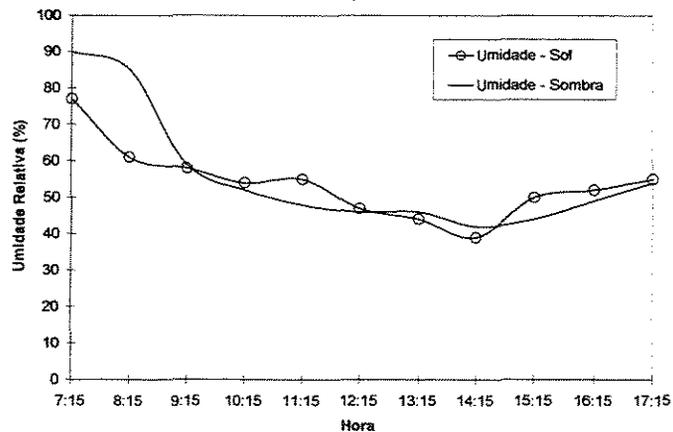
RADIÇÃO SOLAR - 17/agosto/2001
Senna spectabilis

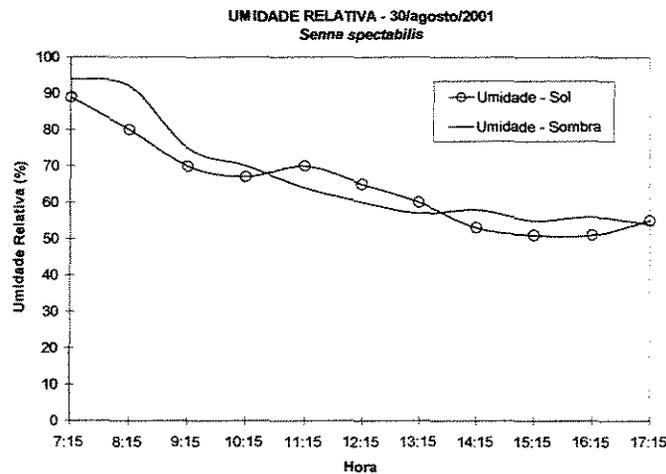
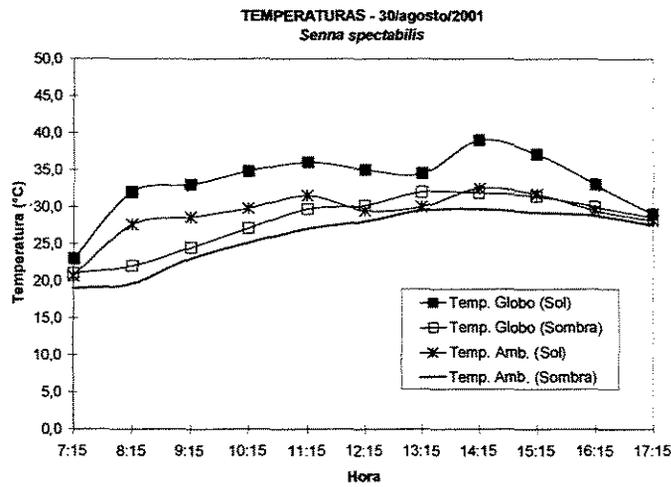
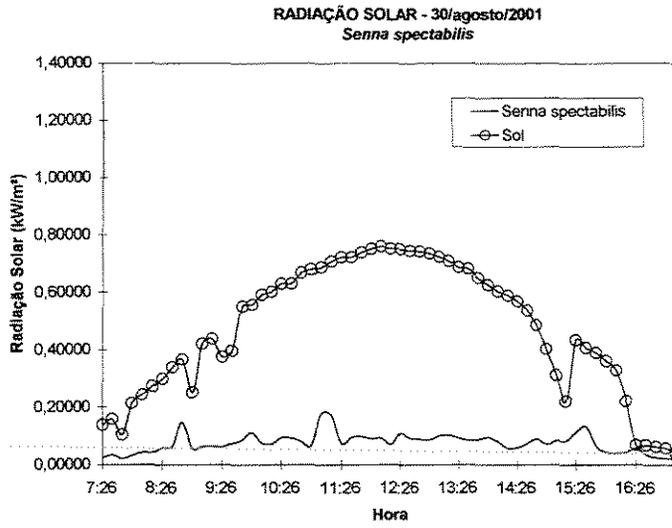


TEMPERATURAS - 17/agosto/2001
Senna spectabilis

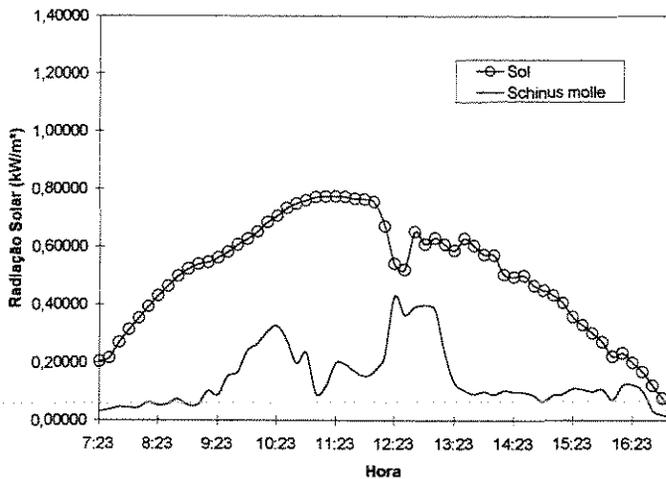


UMIDADE RELATIVA - 17/agosto/2001
Senna spectabilis

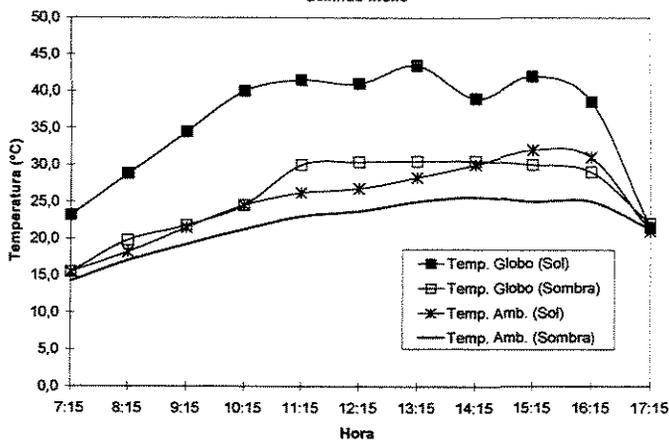




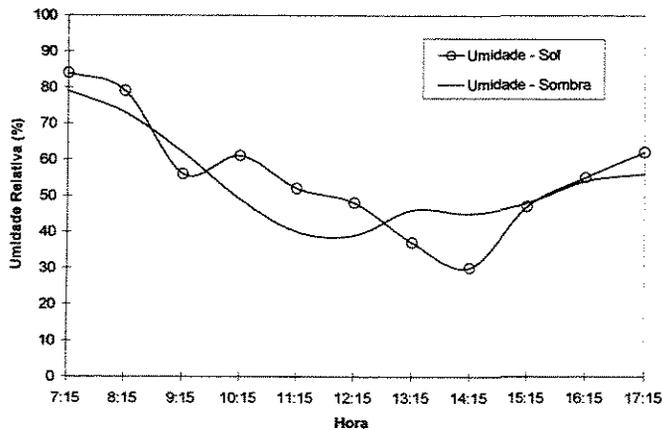
RADIAÇÃO SOLAR - 12/julho/1999
Schinus molle



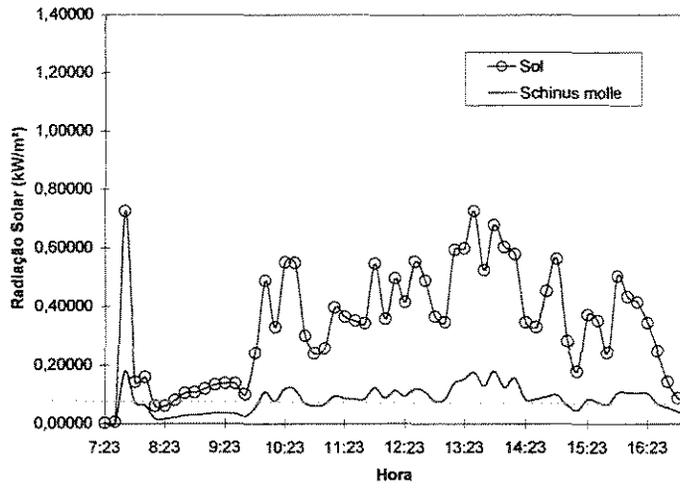
TEMPERATURAS - 12/julho/1999
Schinus molle



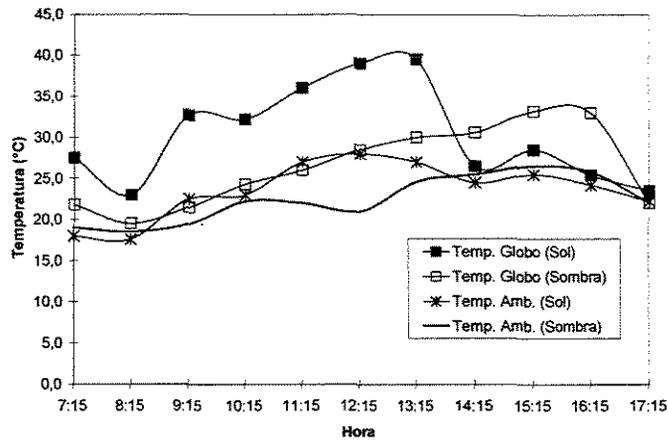
UMIDADE RELATIVA - 12/julho/1999
Schinus molle



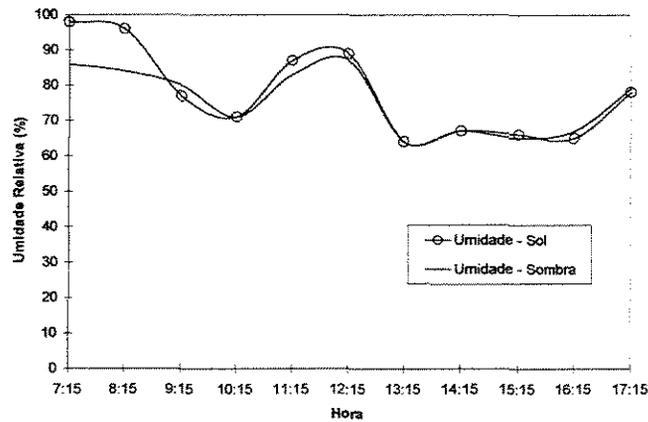
RADIAÇÃO SOLAR - 24/Julho/1999
Schinus molle



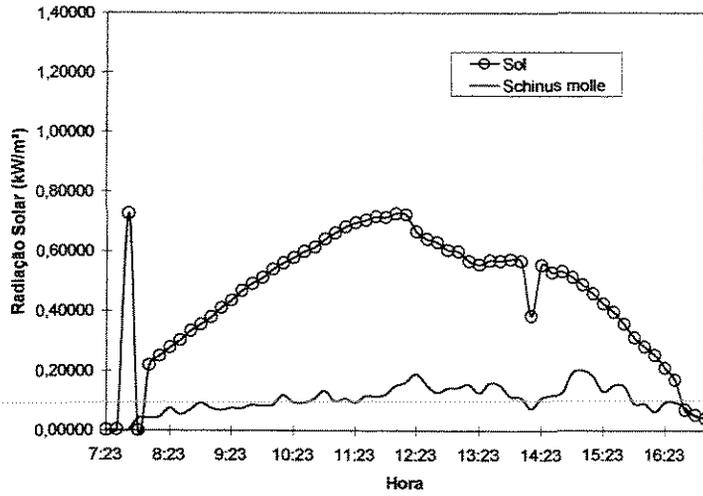
TEMPERATURAS - 24/Julho/1999
Schinus molle



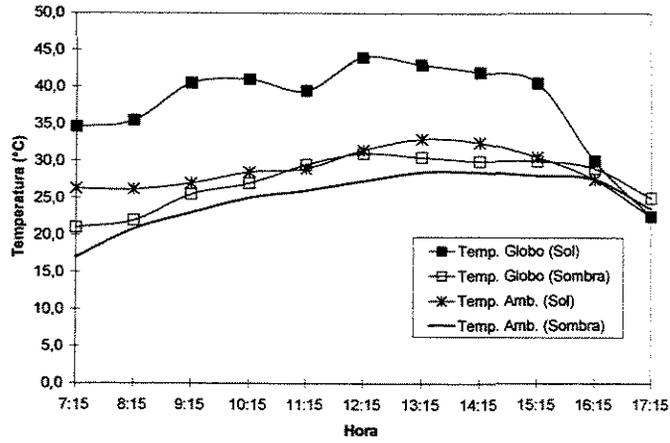
UMIDADE RELATIVA - 24/Julho/1999
Schinus molle



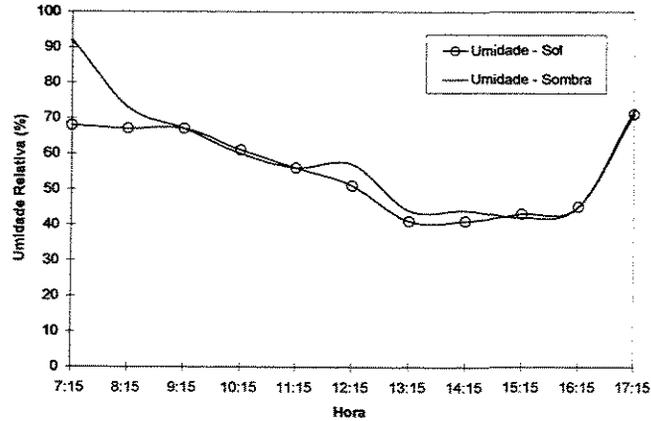
RADIAÇÃO SOLAR - 26/julho/1999
Schinus molle



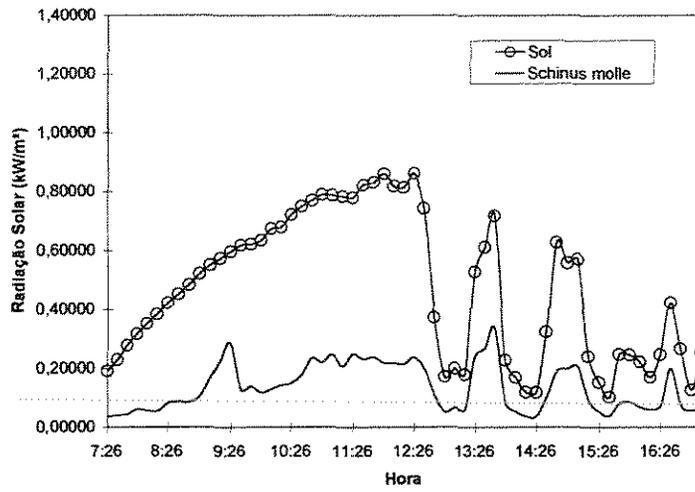
TEMPERATURAS - 26/julho/1999
Schinus molle



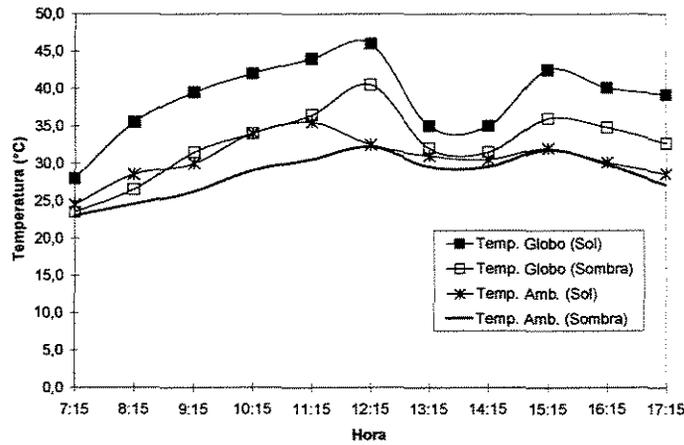
UMIDADE RELATIVA - 26/julho/1999
Schinus molle



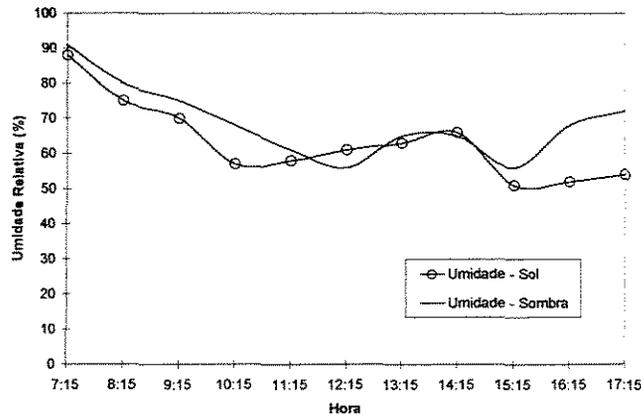
RADIAÇÃO SOLAR - 08/abril/2001
Schinus molle



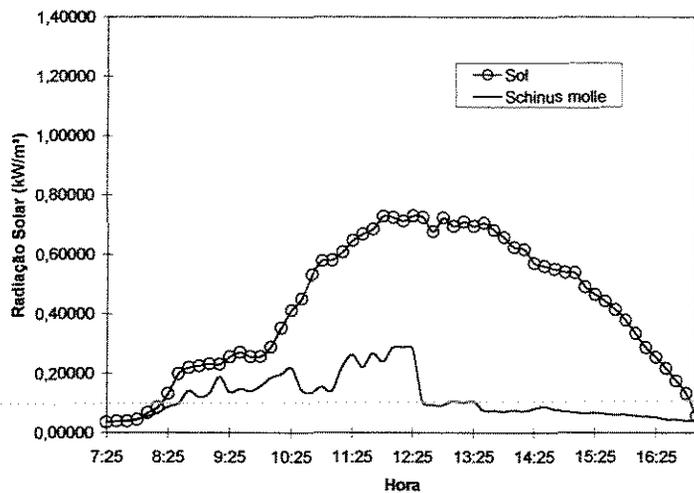
TEMPERATURAS - 08/abril/2001
Schinus molle



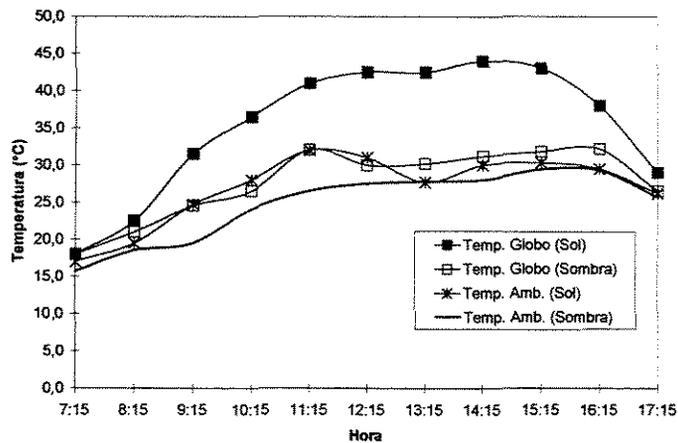
UMIDADE RELATIVA - 08/abril/2001
Schinus molle



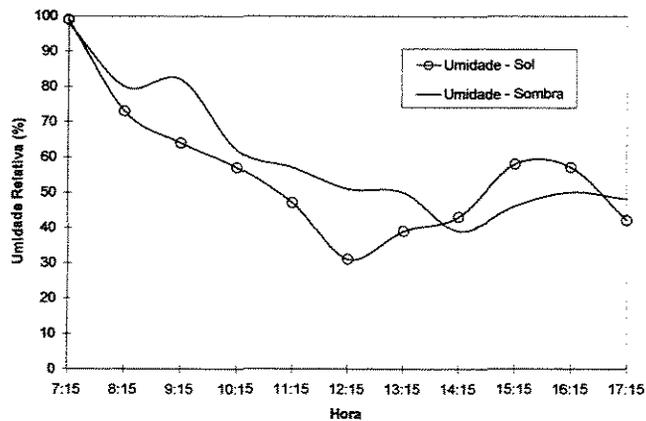
RADIAÇÃO SOLAR - 16/agosto/2001
Schinus molle

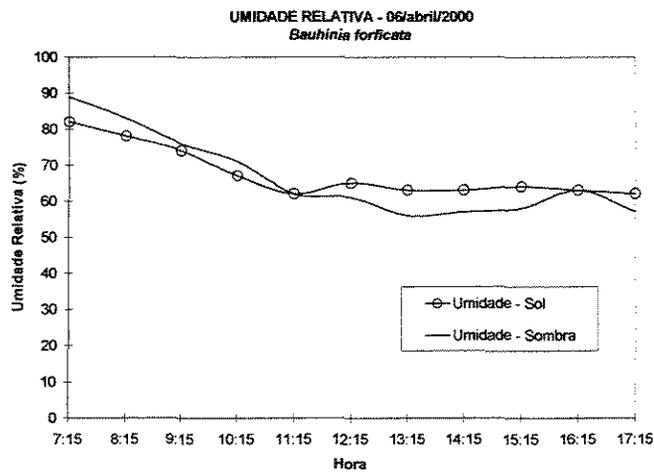
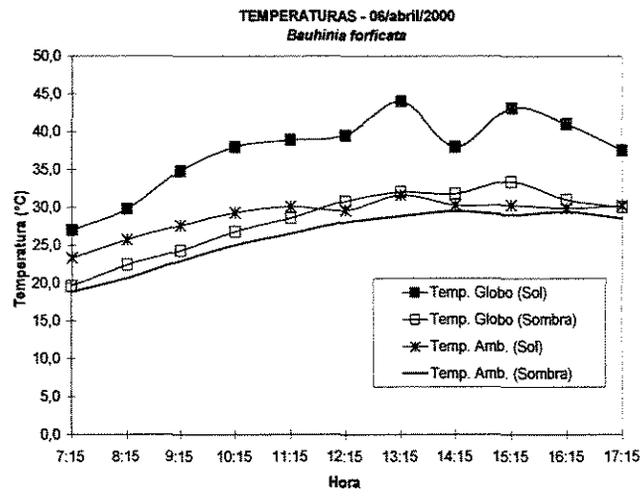
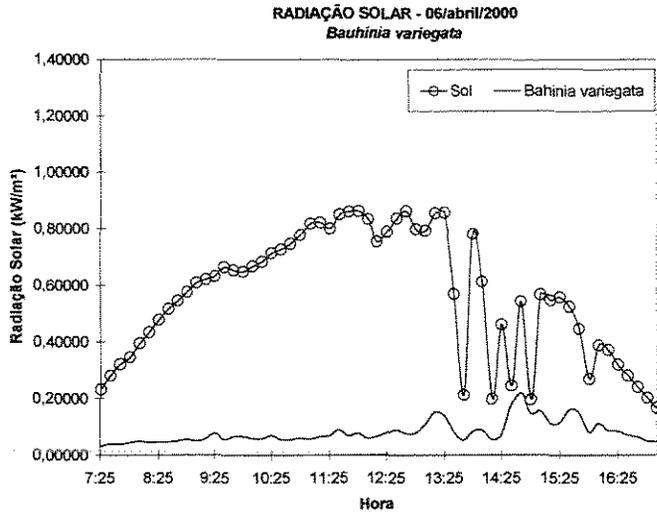


TEMPERATURAS - 16/agosto/2001
Schinus molle

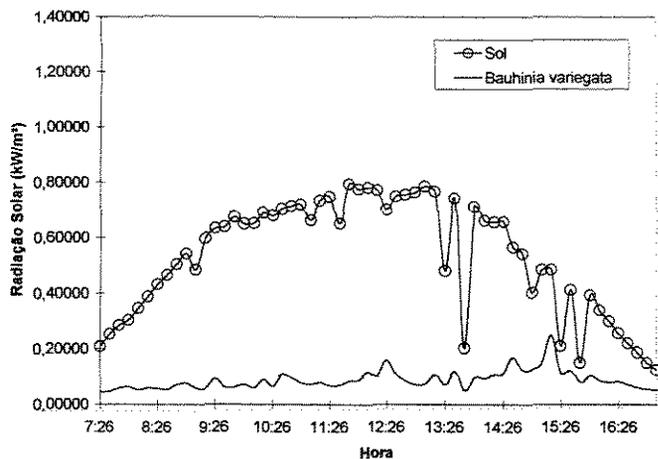


UMIDADE RELATIVA - 16/agosto/2001
Schinus molle

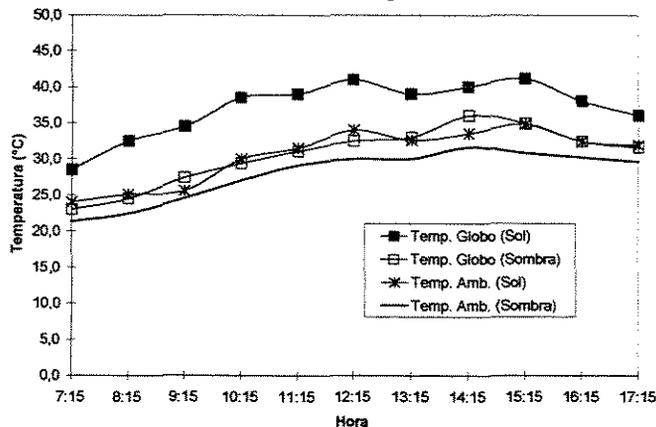




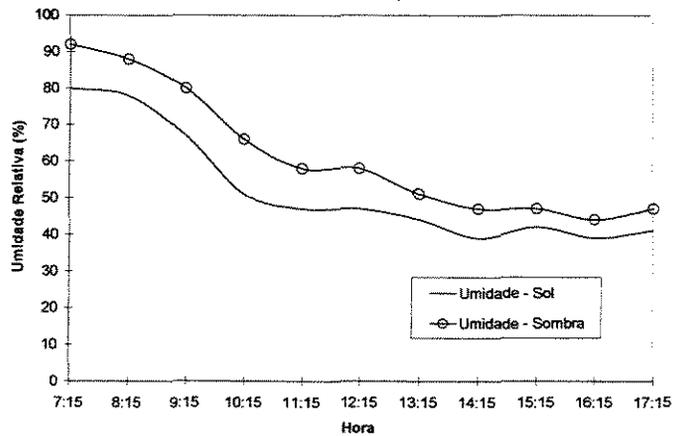
RADIÇÃO SOLAR - 11/abril/2000
Bauhinia variegata

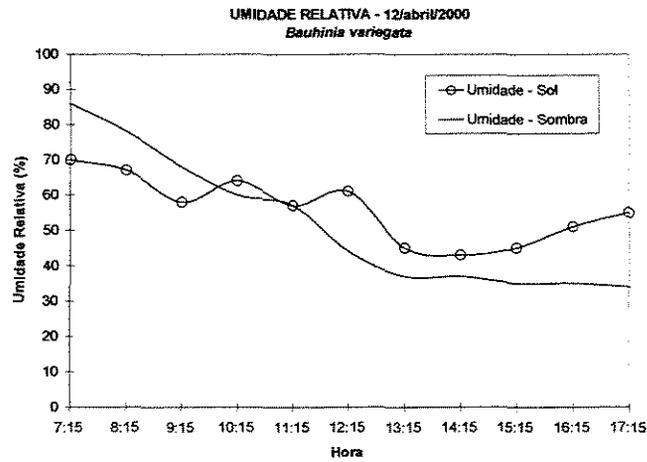
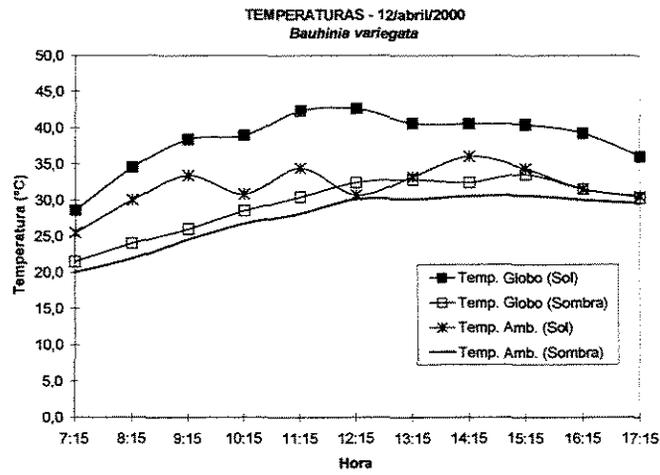
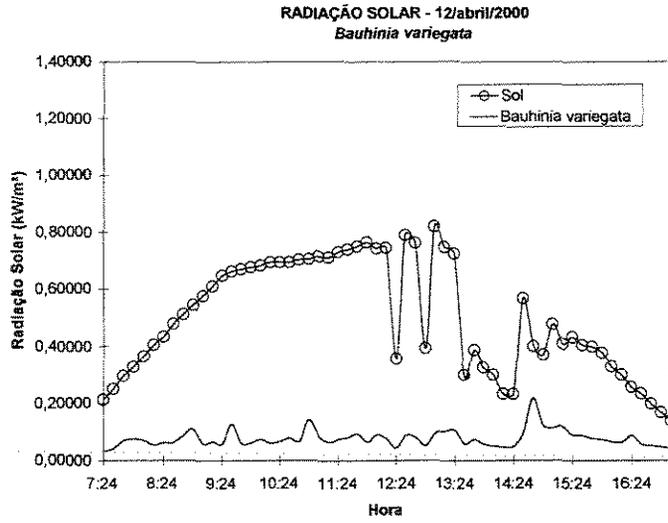


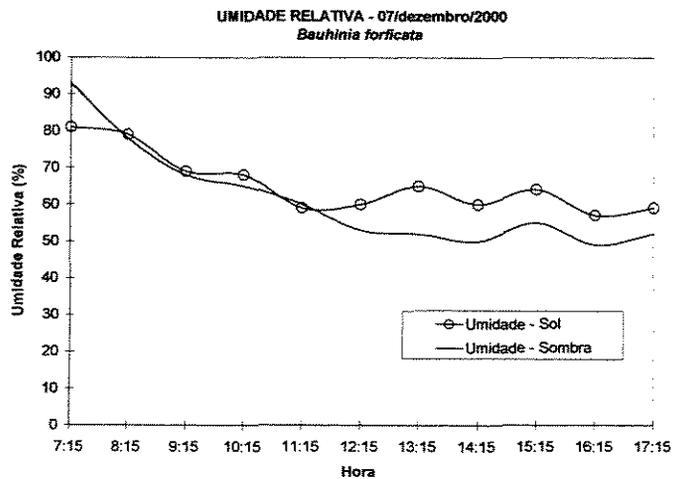
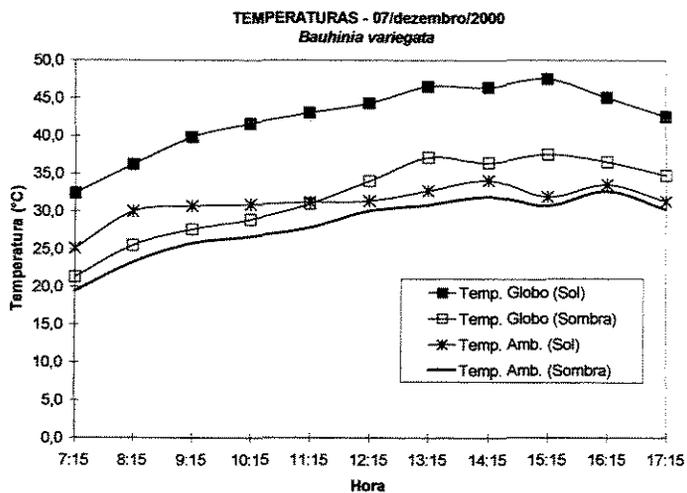
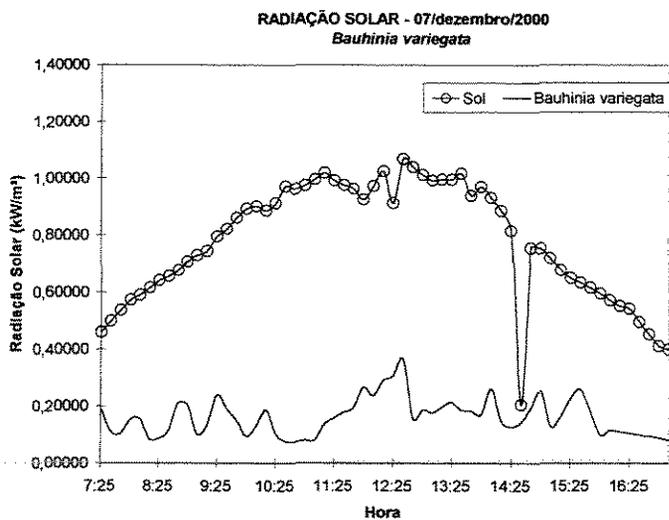
TEMPERATURAS - 11/abril/2000
Bauhinia variegata

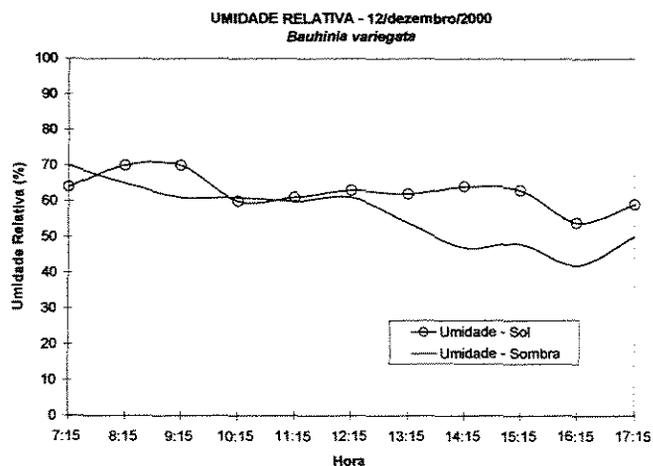
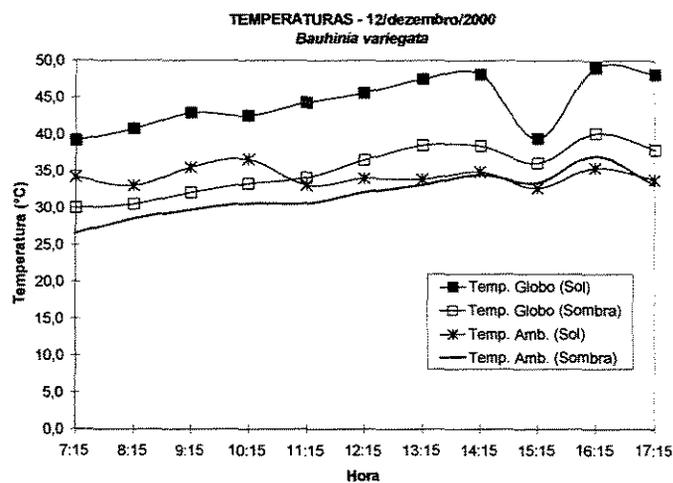
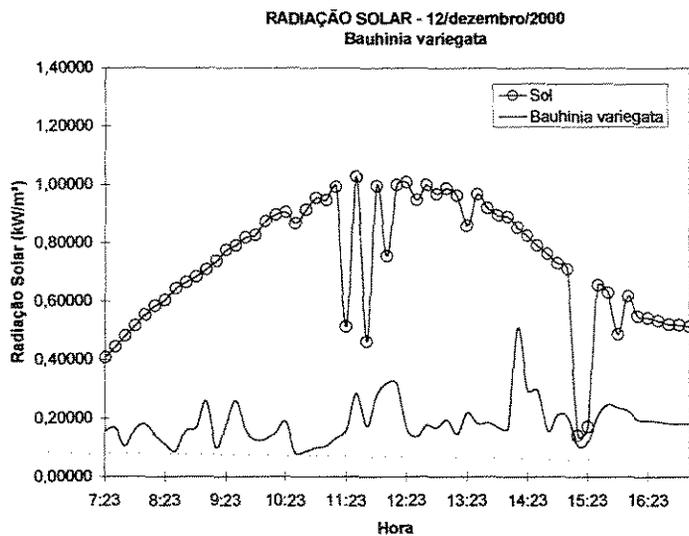


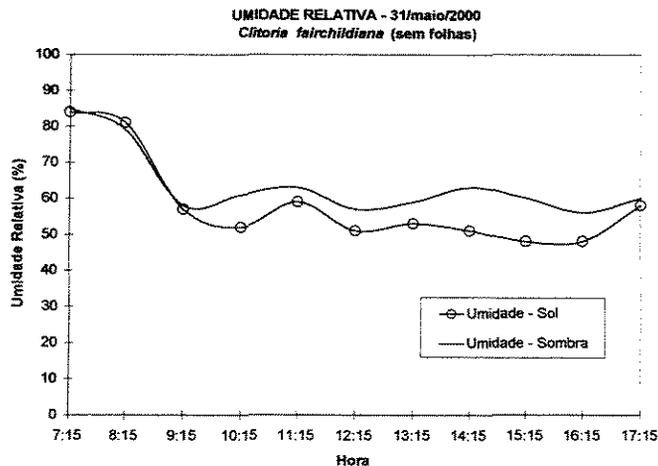
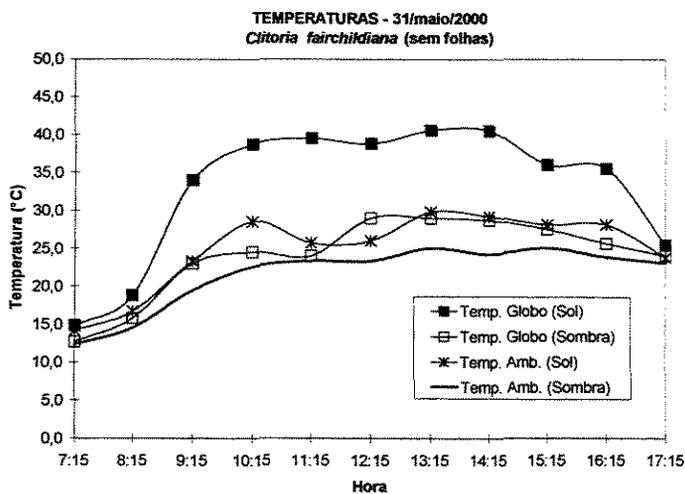
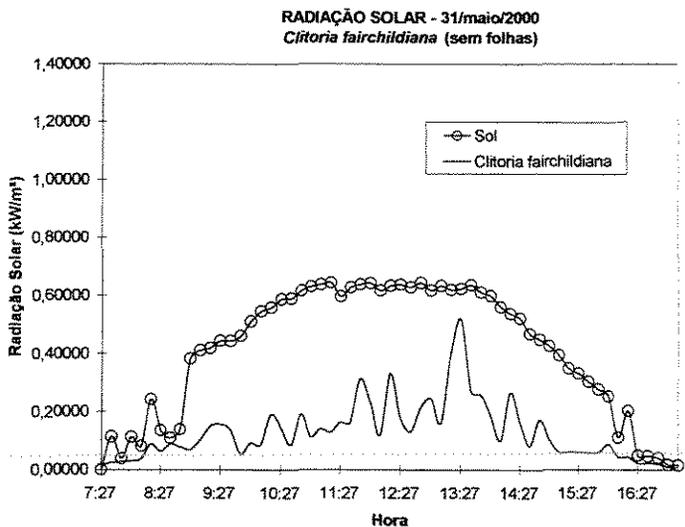
UMIDADE RELATIVA - 11/abril/2000
Bauhinia variegata

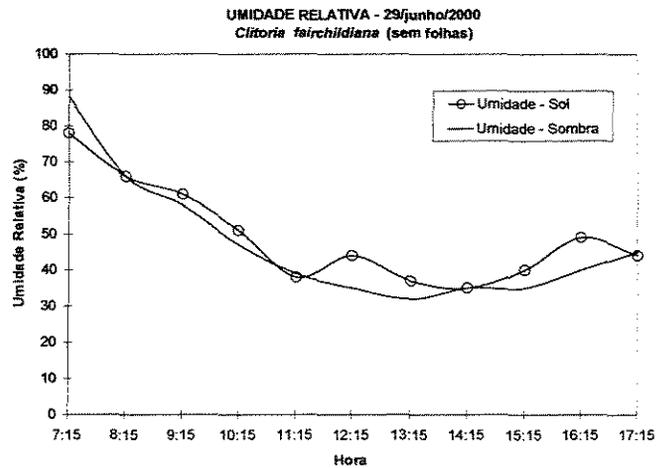
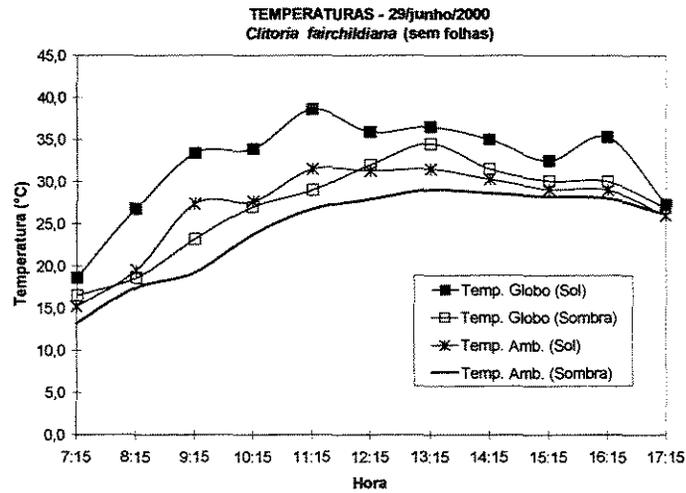
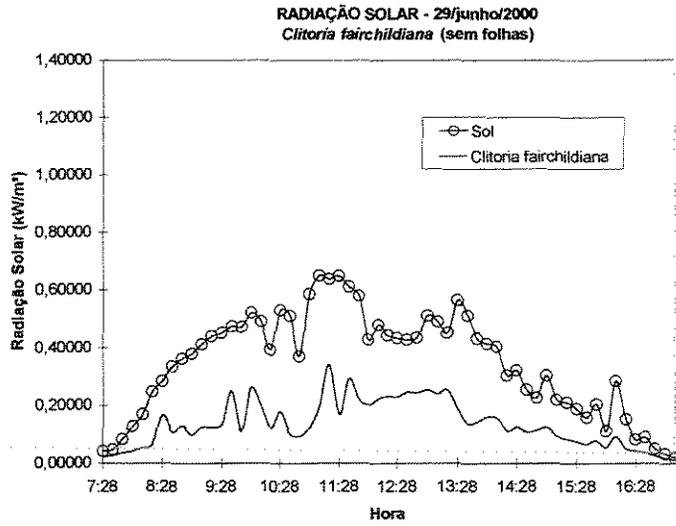




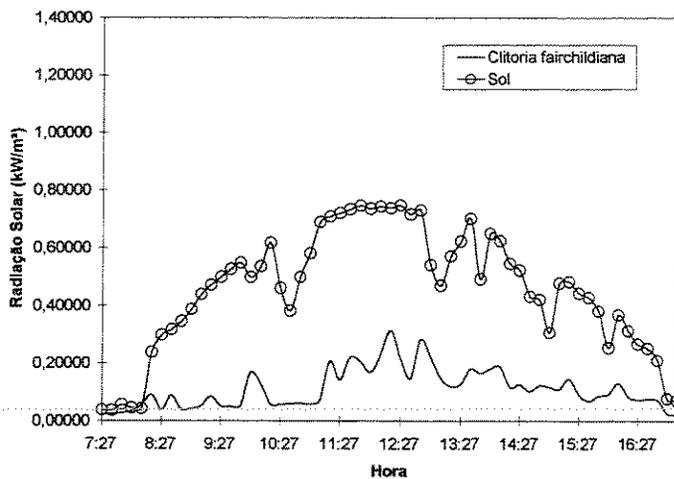




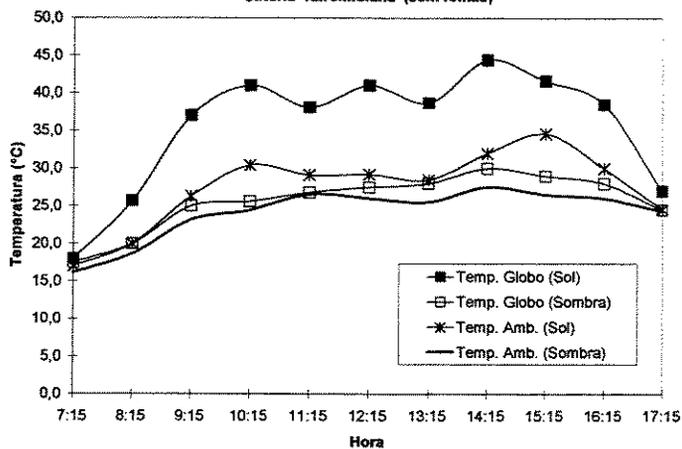




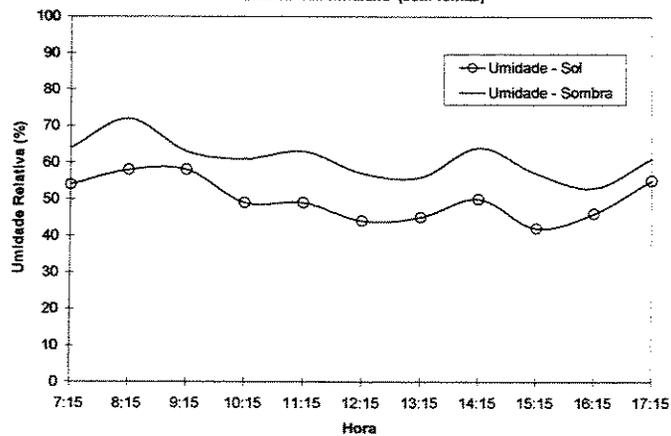
RADIAÇÃO SOLAR - 14/agosto/2001
Clitoria fairchildiana (sem folhas)



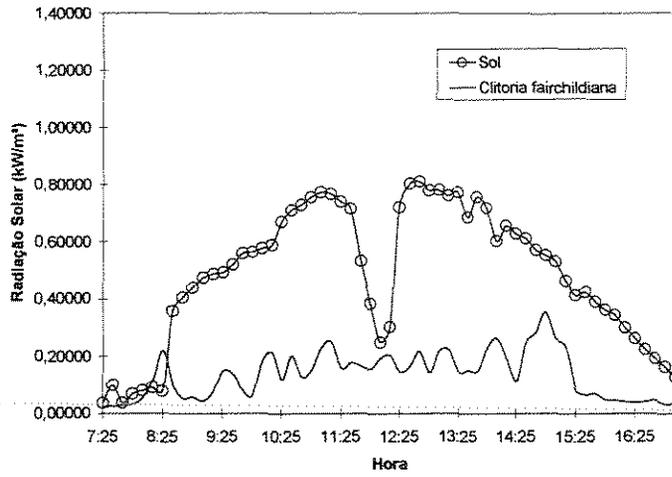
TEMPERATURAS - 14/agosto/2001
Clitoria fairchildiana (sem folhas)



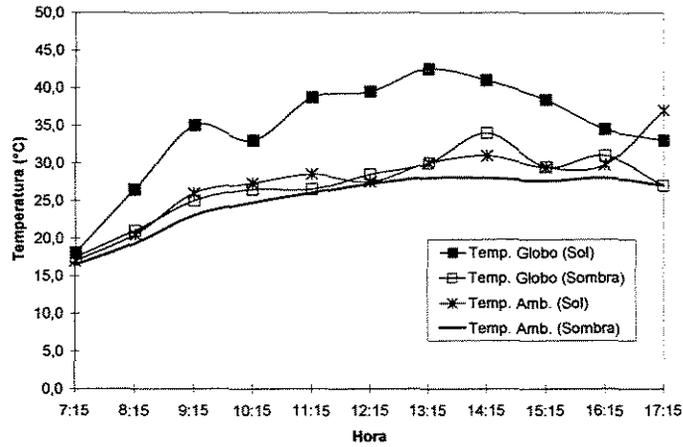
UMIDADE RELATIVA - 14/agosto/2001
Clitoria fairchildiana (sem folhas)



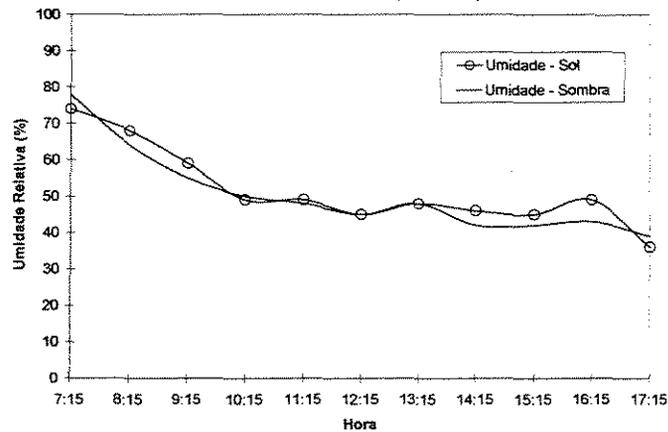
RADIAÇÃO SOLAR - 18/agosto/2001
Clitoria fairchildiana (sem folhas)

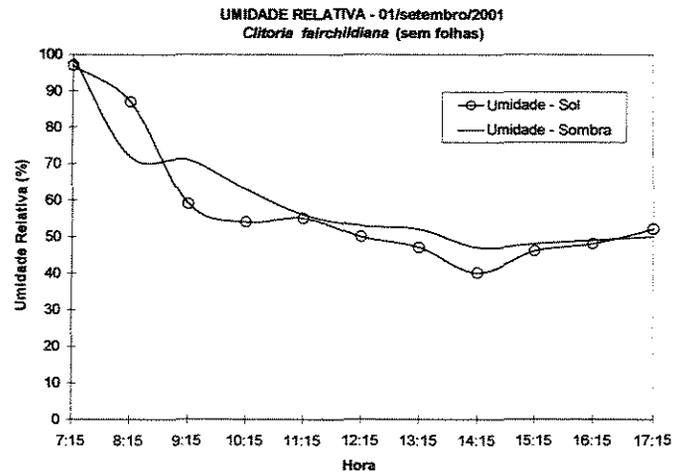
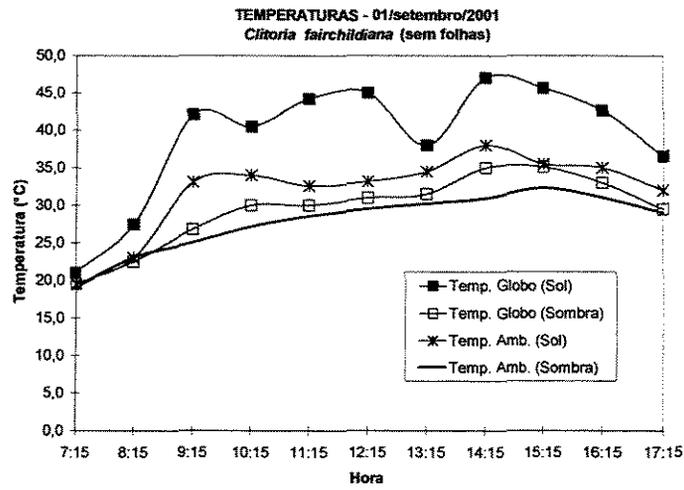
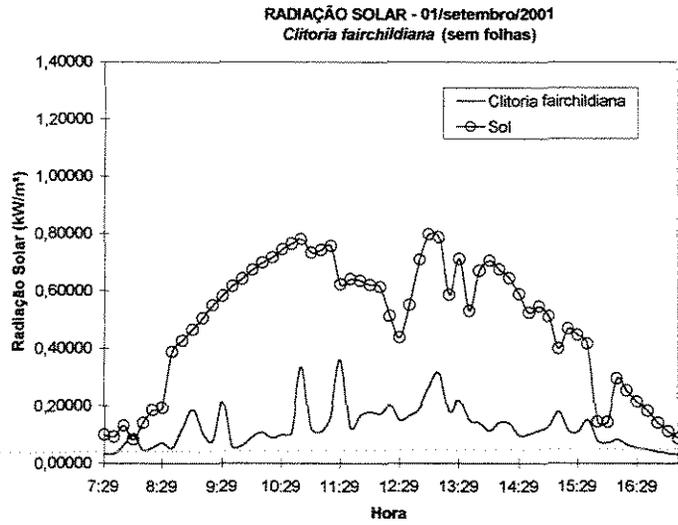


TEMPERATURAS - 18/agosto/2001
Clitoria fairchildiana (sem folhas)

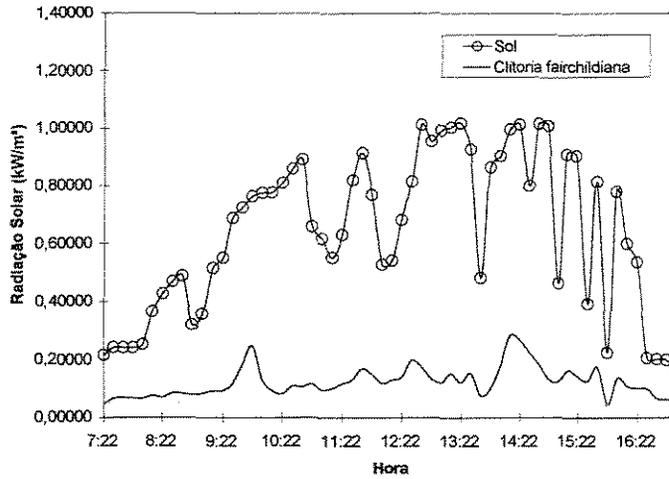


UMIDADE RELATIVA - 18/agosto/2001
Clitoria fairchildiana (sem folhas)

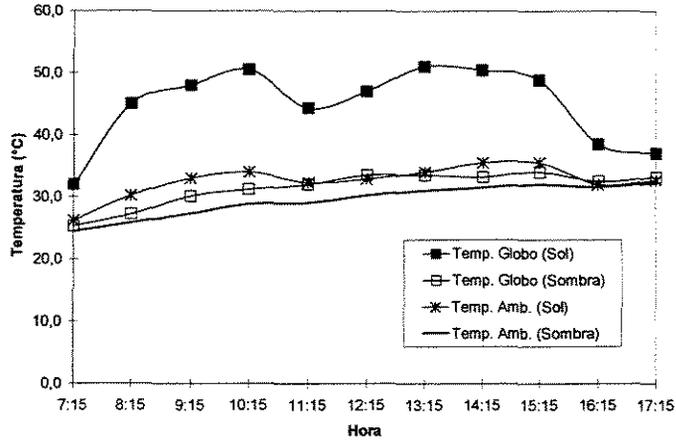




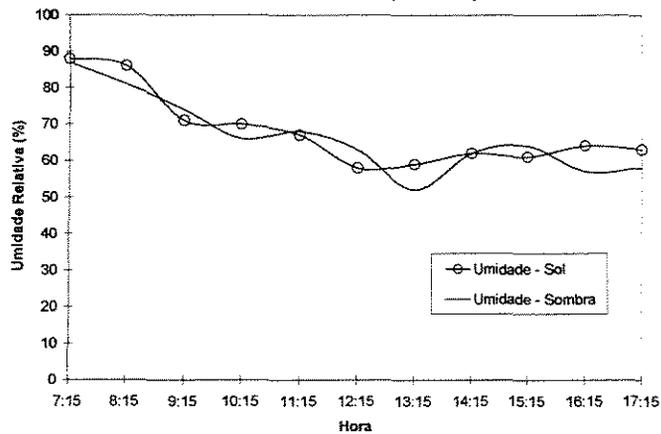
RADIAÇÃO SOLAR - 17/janeiro/2000
Clitoria fairchildiana (com folhas)



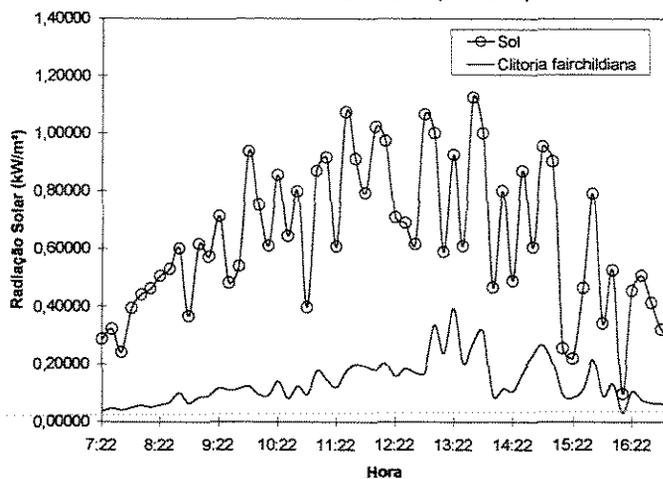
TEMPERATURAS - 17/janeiro/2000
Clitoria fairchildiana (com folhas)



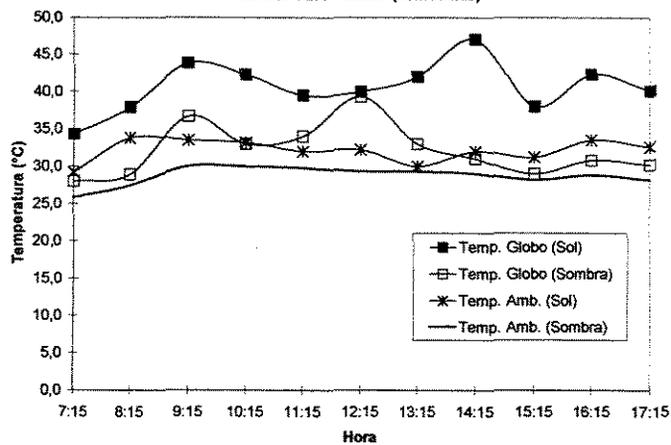
UMIDADE RELATIVA - 17/janeiro/2000
Clitoria fairchildiana (com folhas)



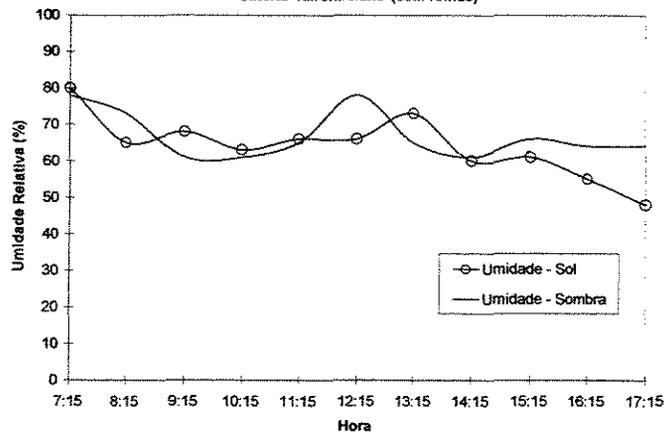
RADIAÇÃO SOLAR - 19/janeiro/2000
Clitoria fairchildiana (com folhas)

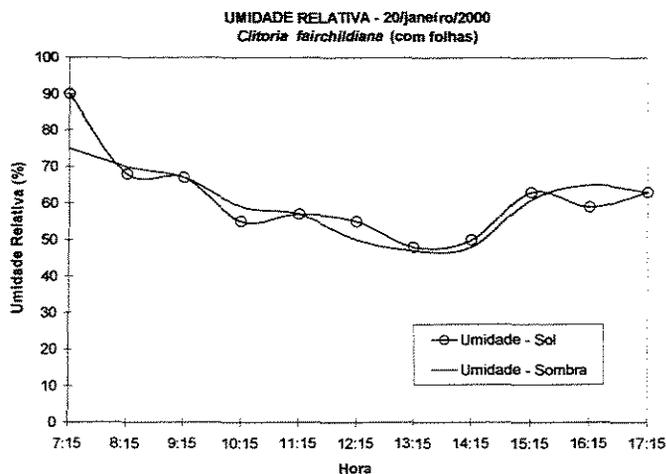
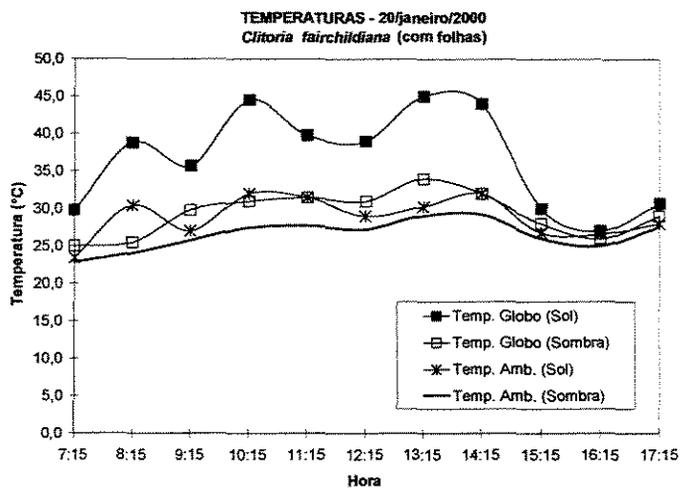
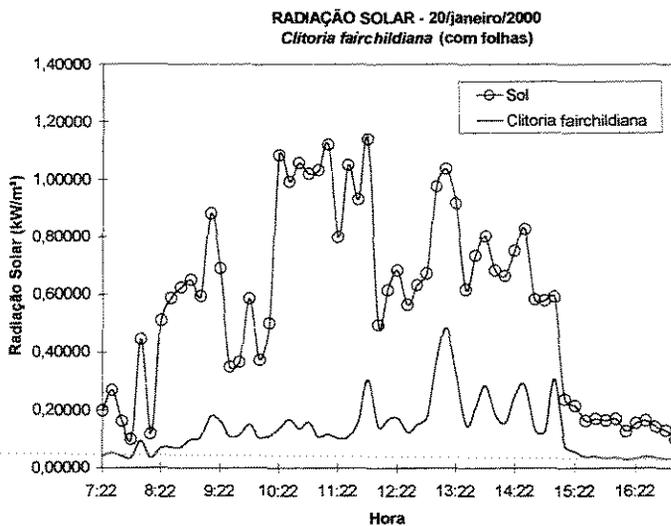


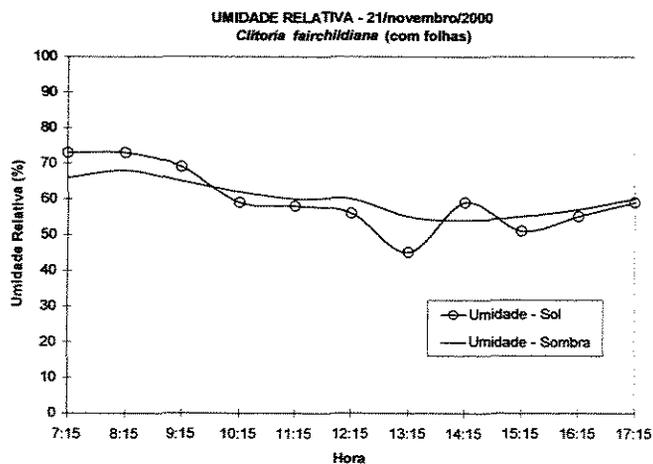
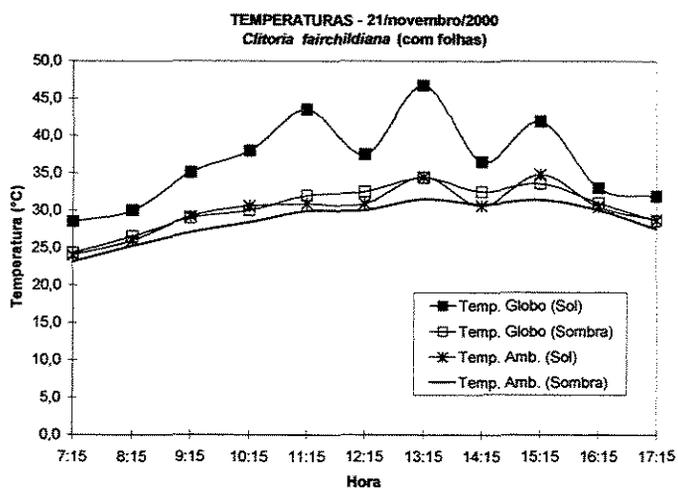
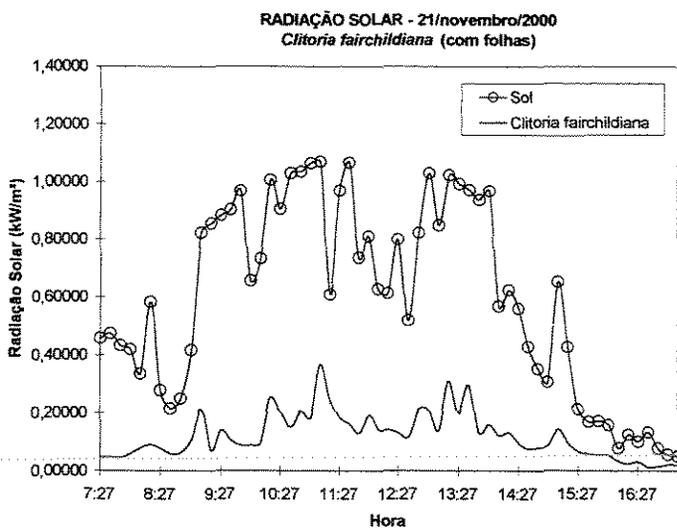
TEMPERATURAS - 19/janeiro/2000
Clitoria fairchildiana (com folhas)

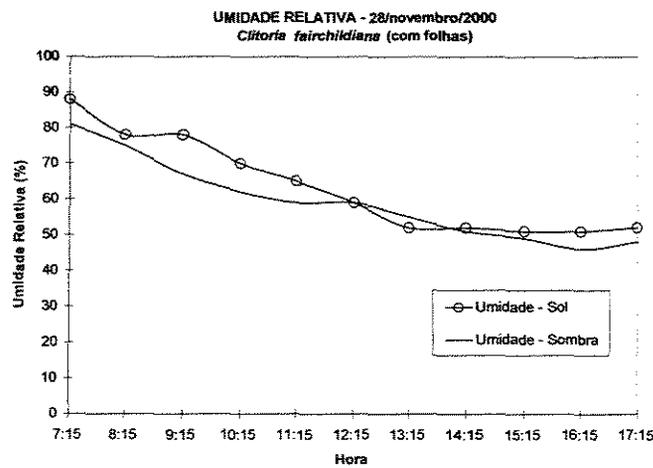
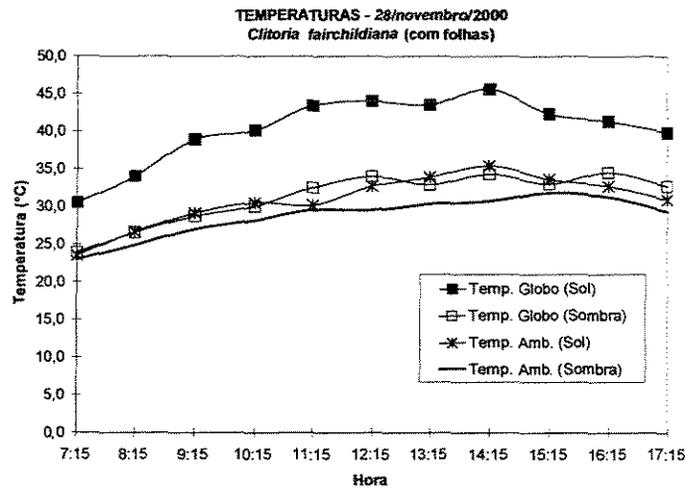
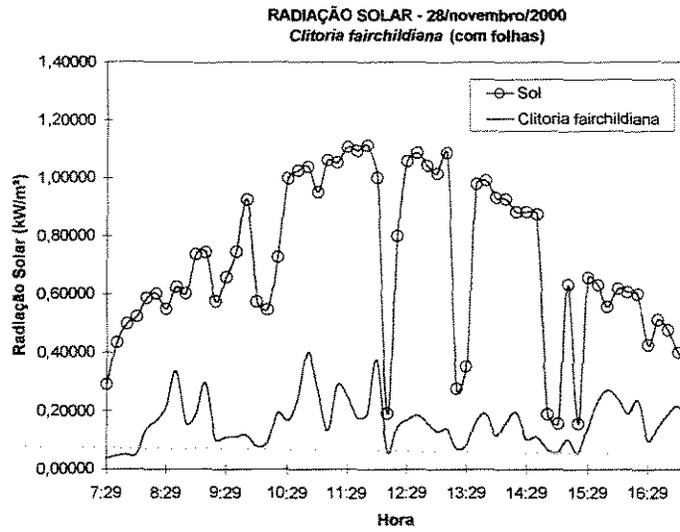


UMIDADE RELATIVA - 19/janeiro/2000
Clitoria fairchildiana (com folhas)

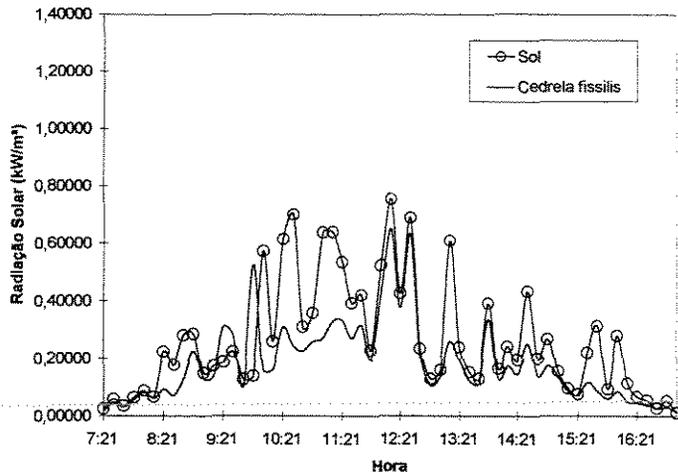




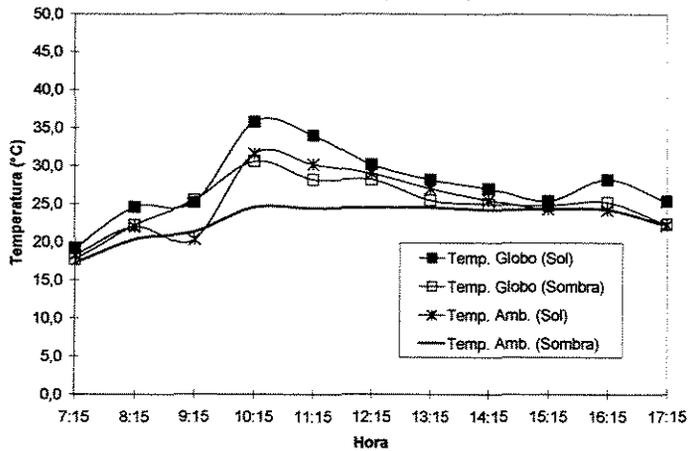




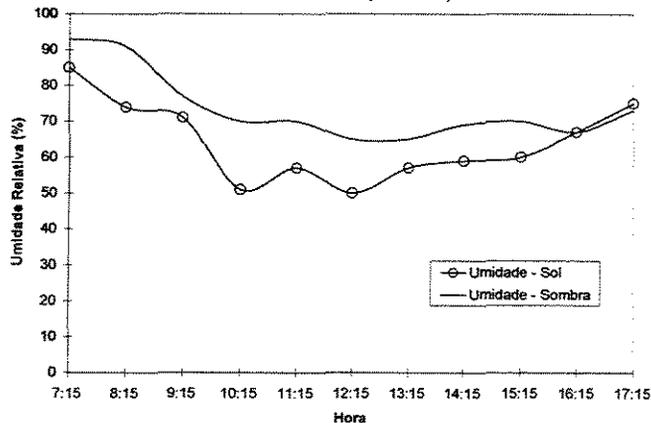
RADIAÇÃO SOLAR - 27/maio/2000
Cedreia fissilis (sem folhas)

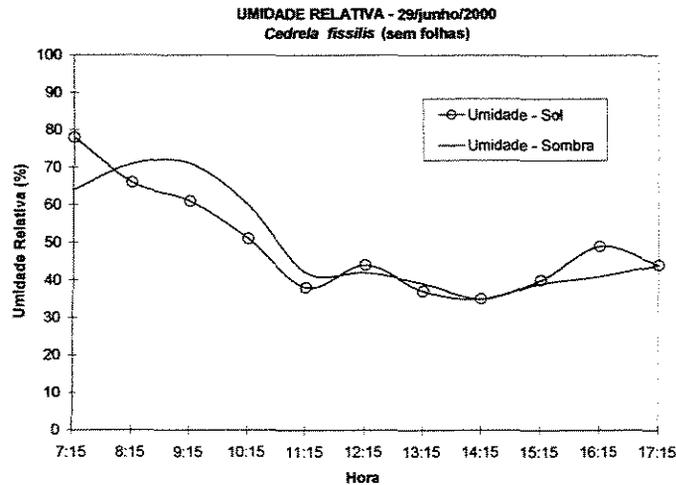
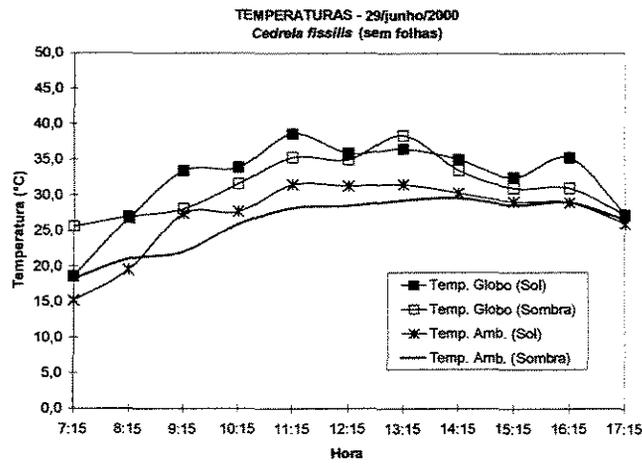
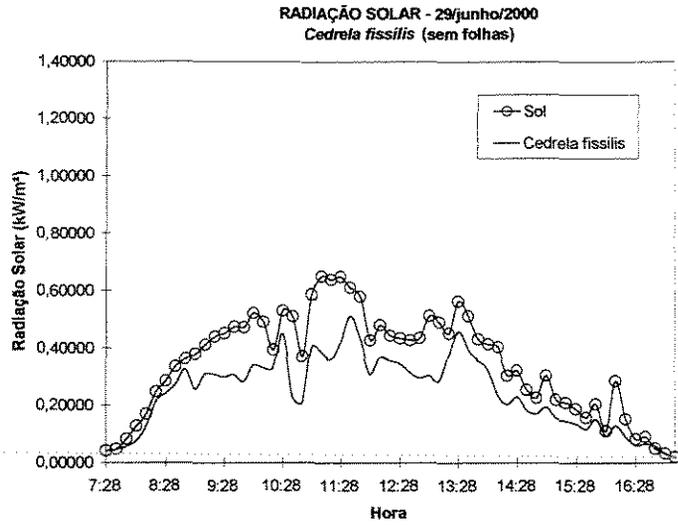


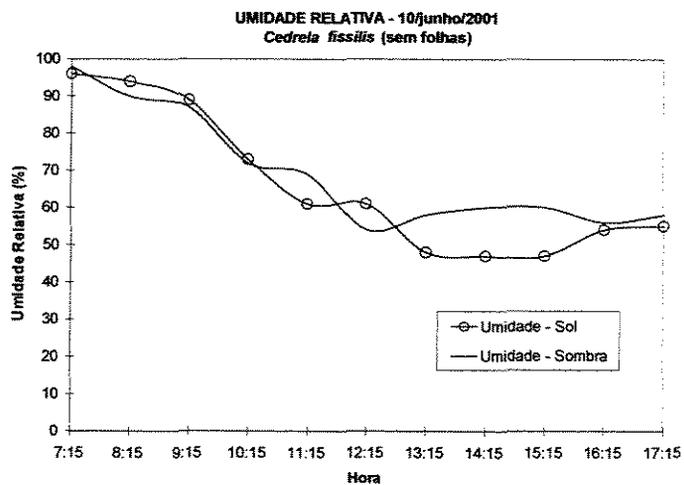
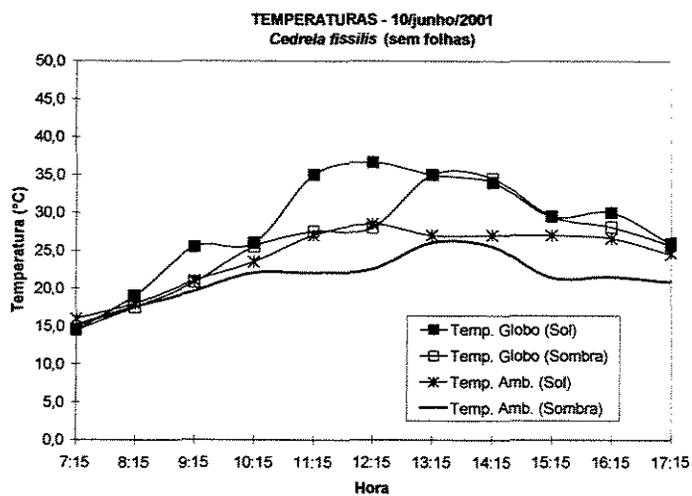
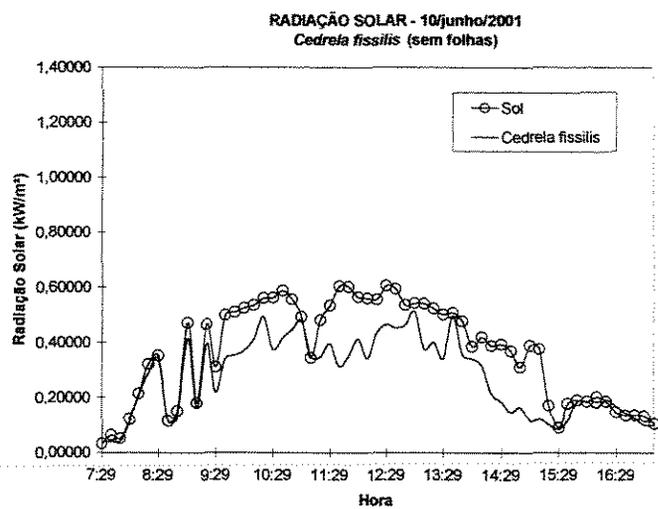
TEMPERATURAS - 27/maio/2000
Cedreia fissilis (sem folhas)

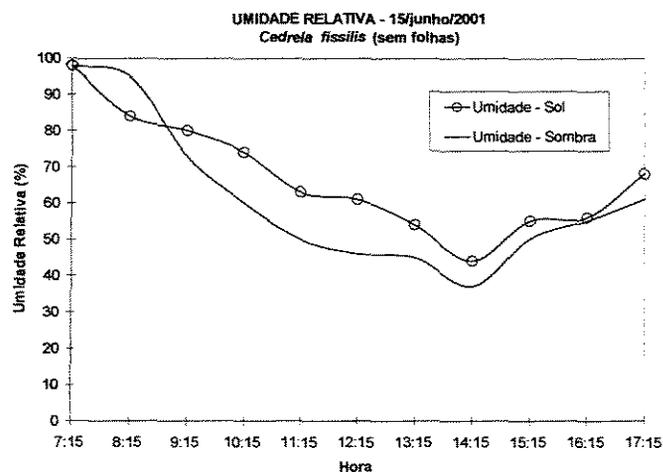
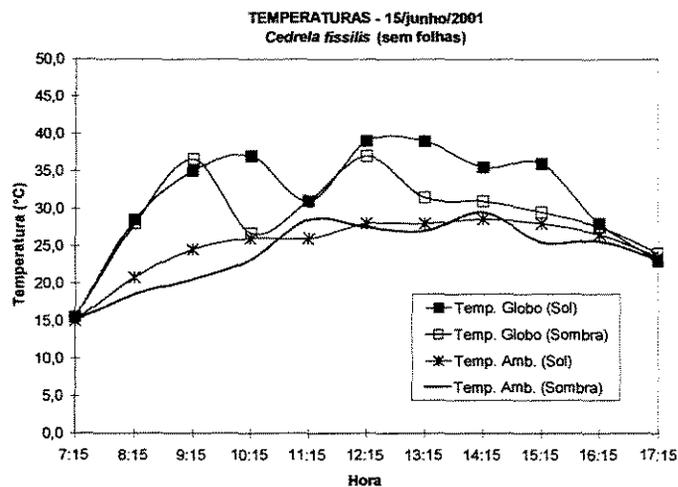
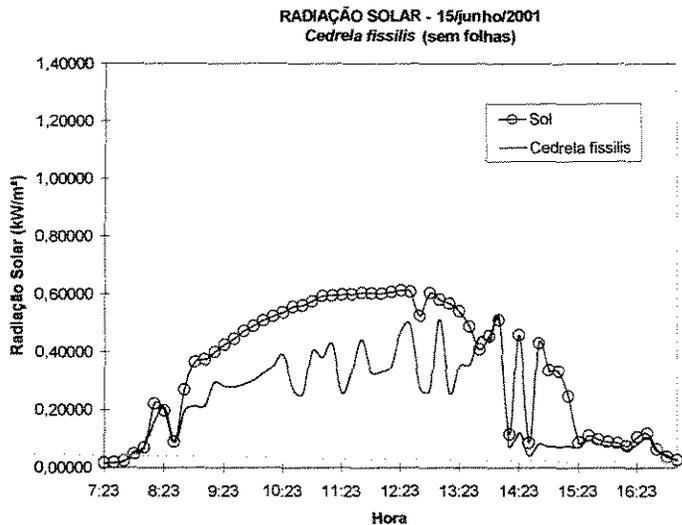


UMIDADE RELATIVA - 27/maio/2000
Cedreia fissilis (sem folhas)

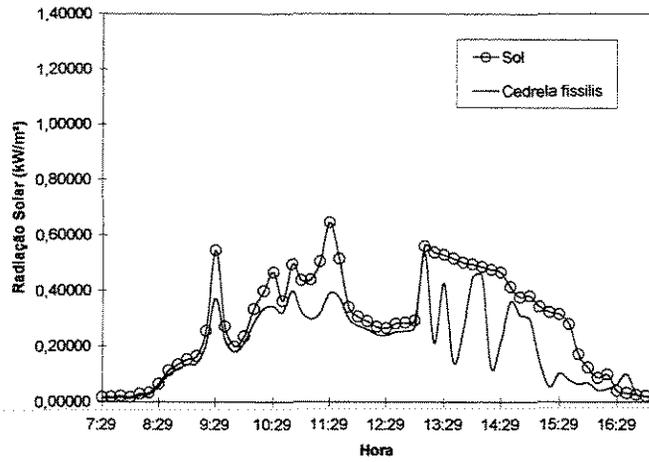




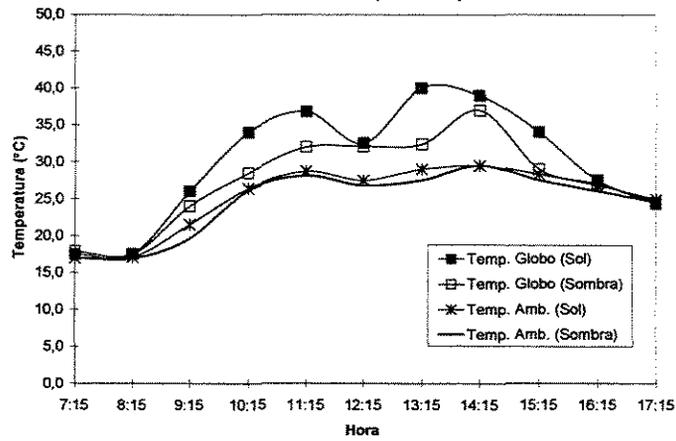




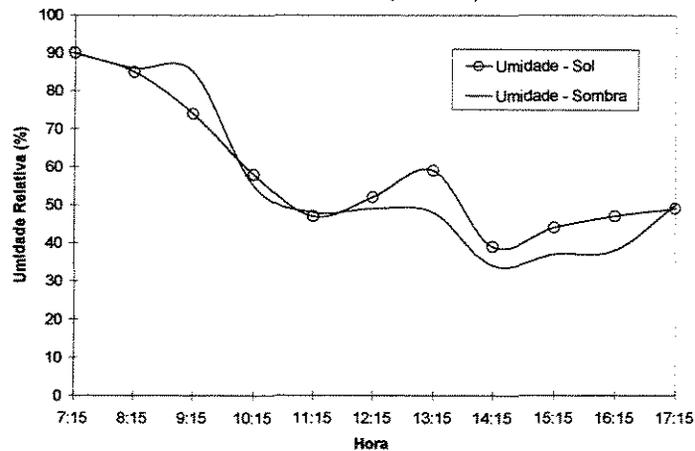
RADIAÇÃO SOLAR - 16/junho/2001
Cedrela fissilis (sem folhas)

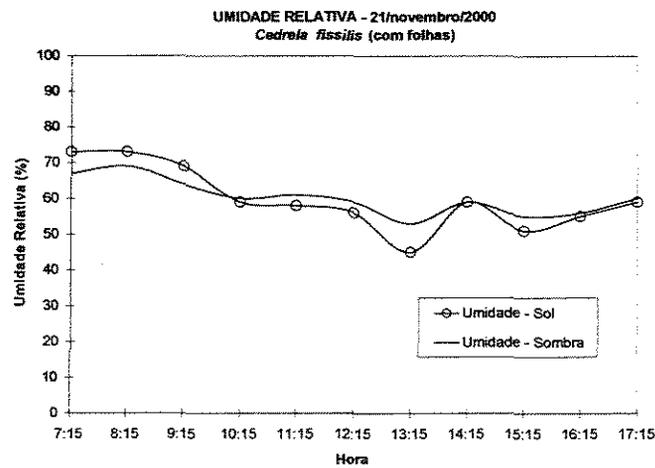
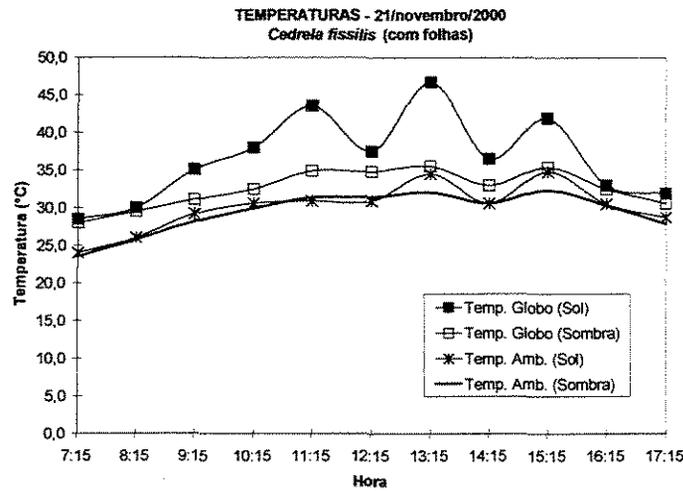
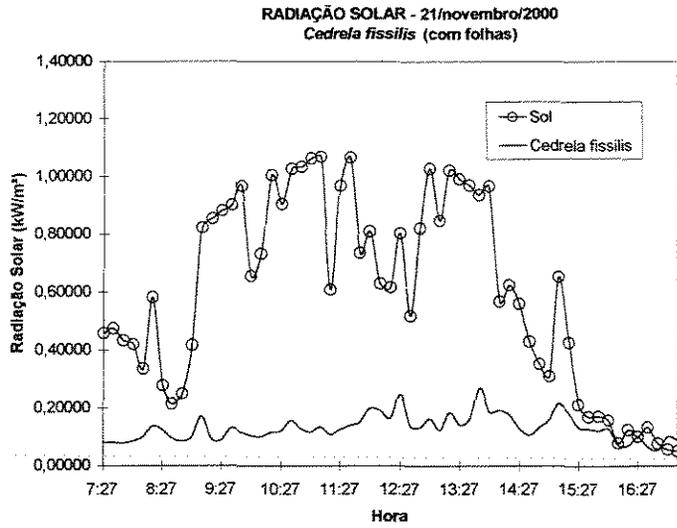


TEMPERATURAS - 16/junho/2001
Cedrela fissilis (sem folhas)

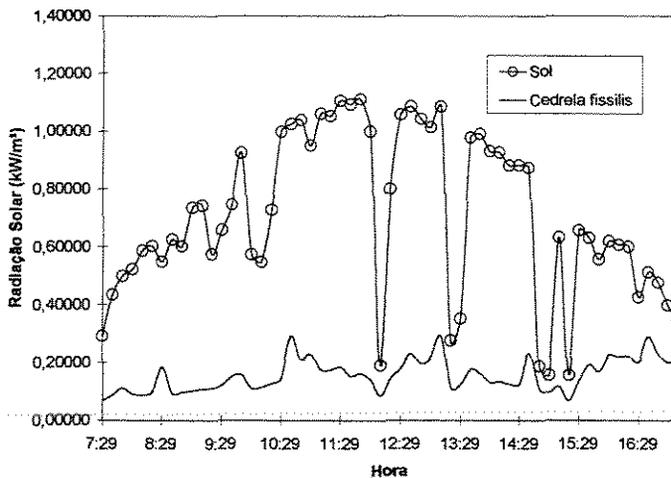


UMIDADE RELATIVA - 16/junho/2001
Cedrela fissilis (sem folhas)

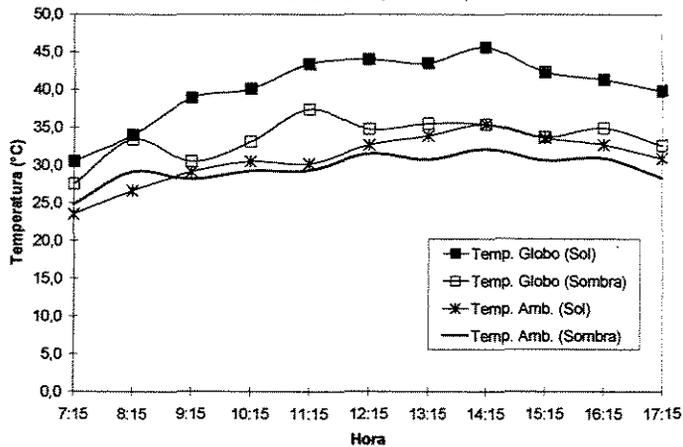




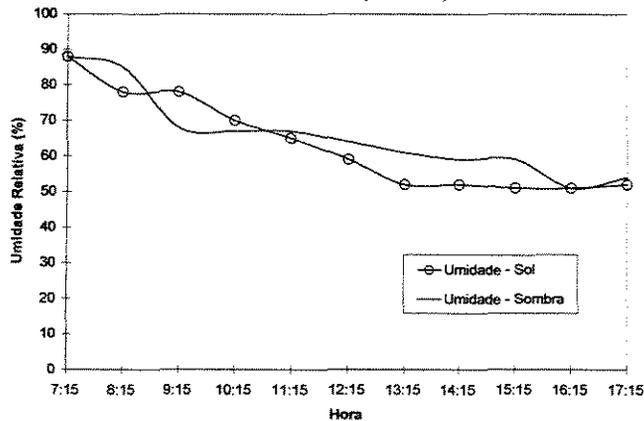
RADIAÇÃO SOLAR - 28/novembro/2000
Cedreia fissilis (com folhas)

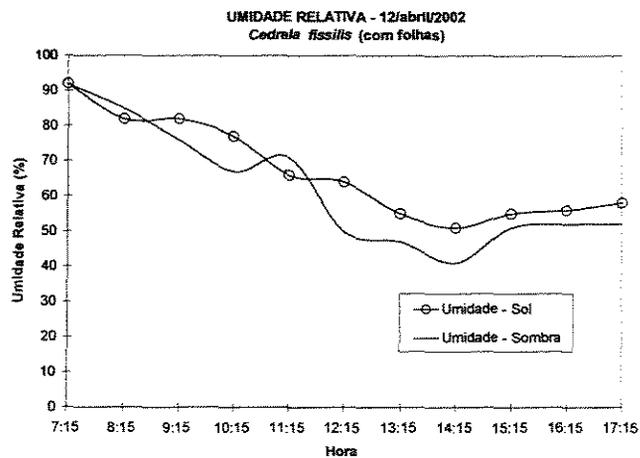
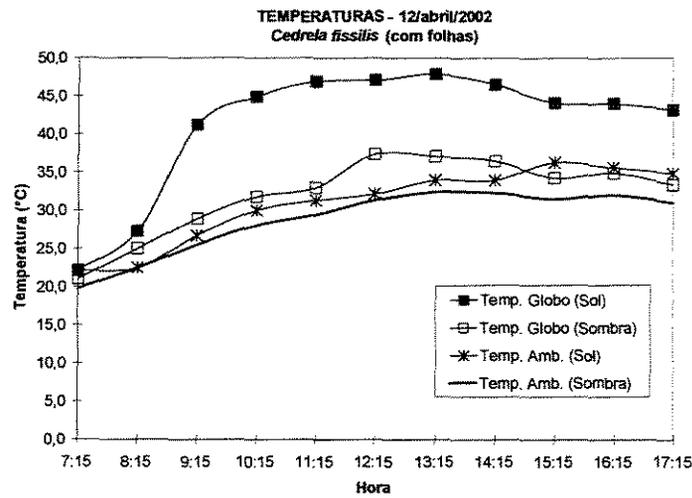
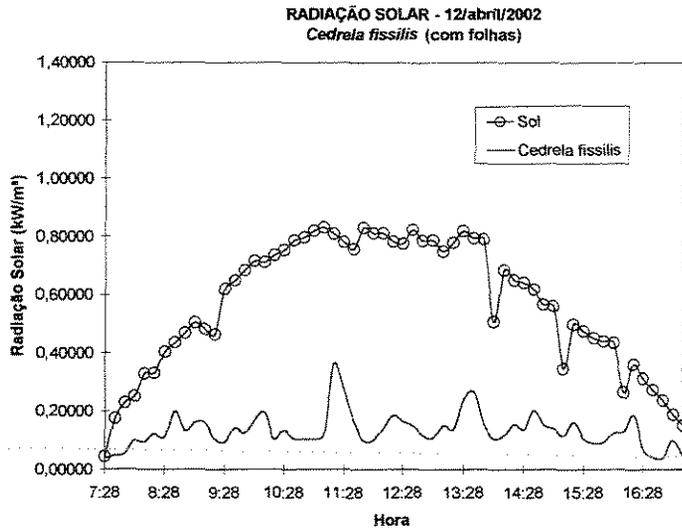


TEMPERATURAS - 28/novembro/2000
Cedreia fissilis (com folhas)

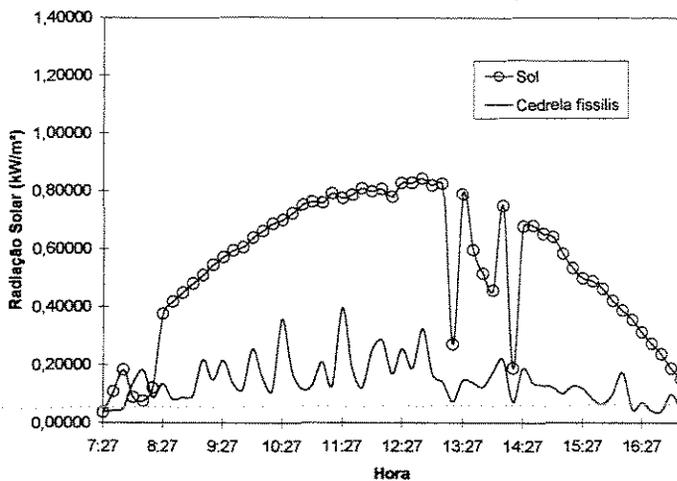


UMIDADE RELATIVA - 28/novembro/2000
Cedreia fissilis (com folhas)

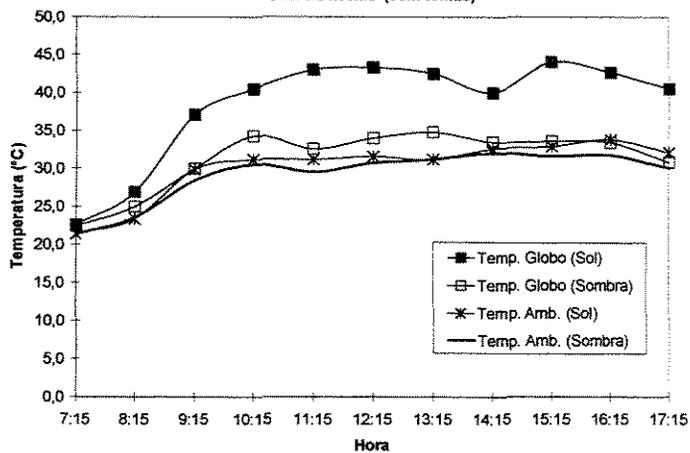




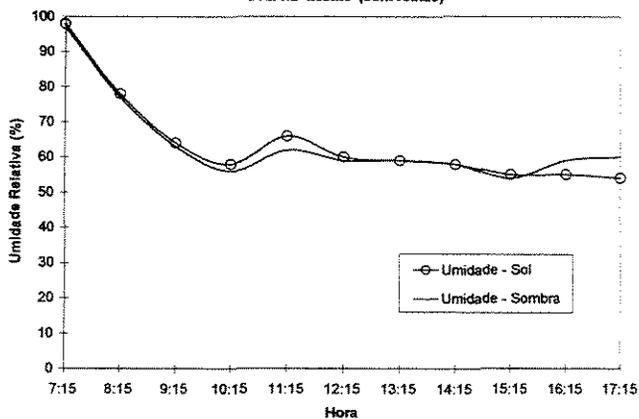
RADIAÇÃO SOLAR - 16/abril/2002
Cedrela fissilis (com folhas)

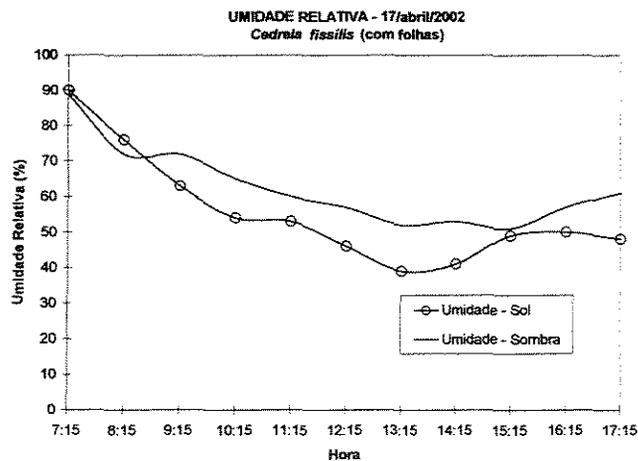
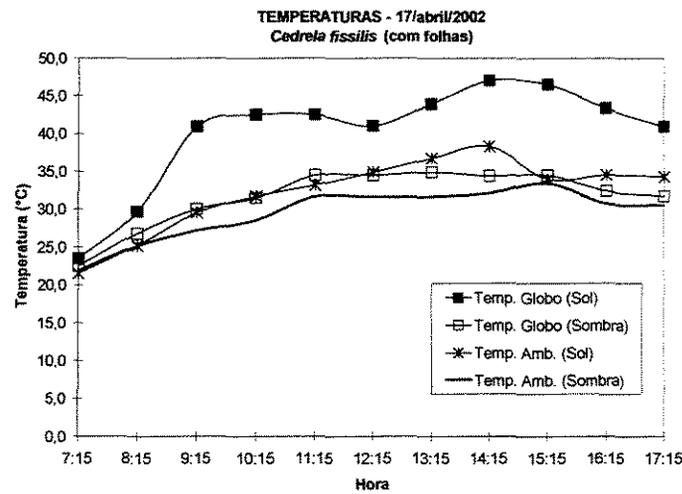
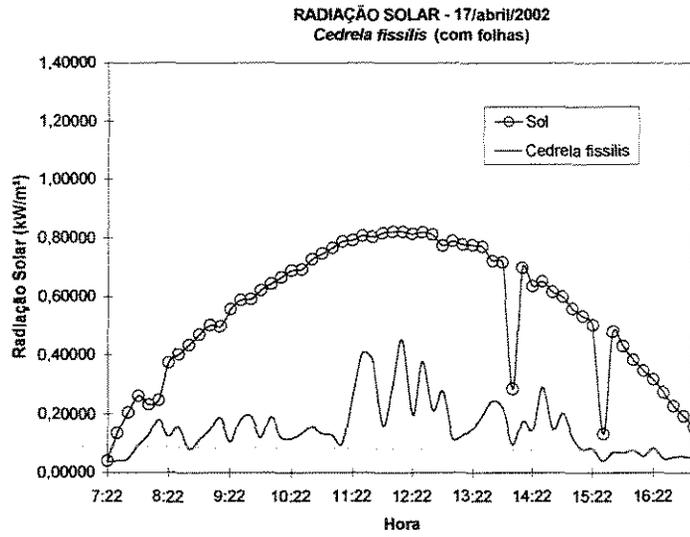


TEMPERATURAS - 16/abril/2002
Cedrela fissilis (com folhas)

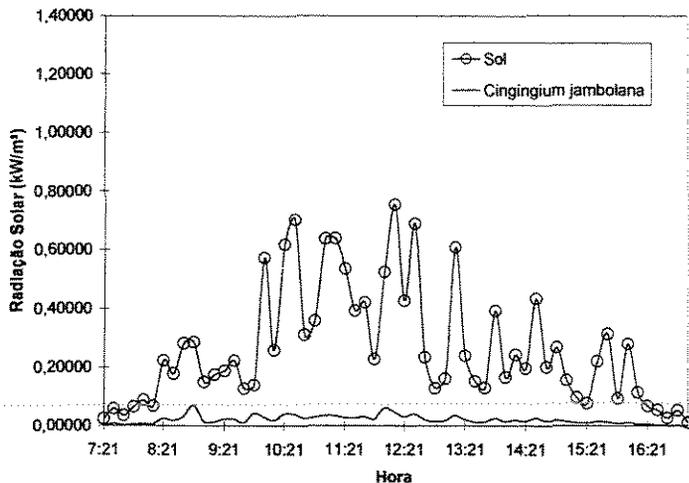


UMIDADE RELATIVA - 16/abril/2002
Cedrela fissilis (com folhas)

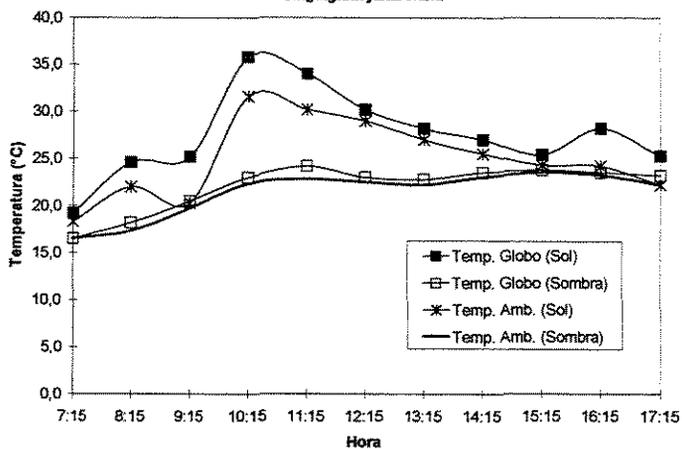




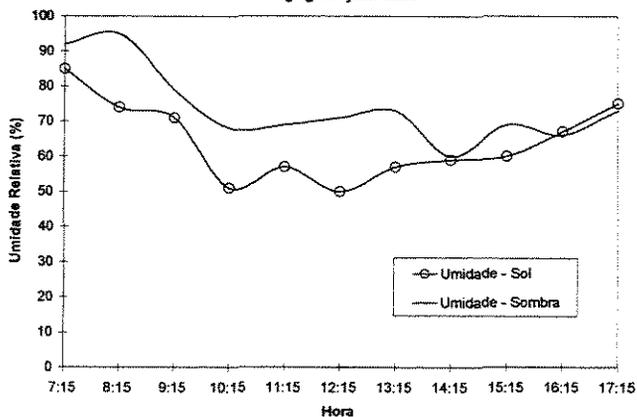
RADIÇÃO SOLAR - 27/maio/2000
Cingingium jambolana

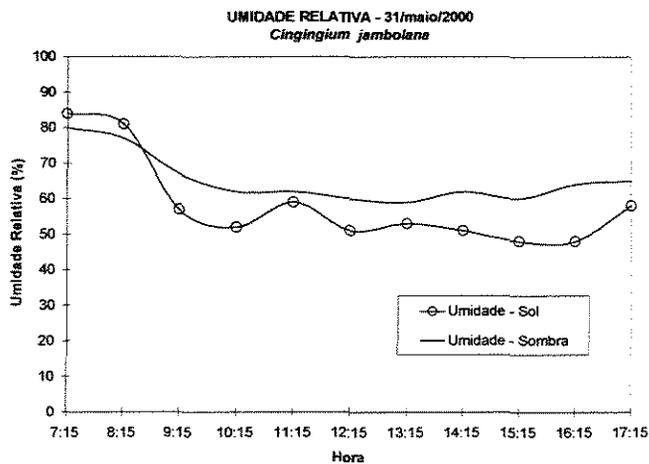
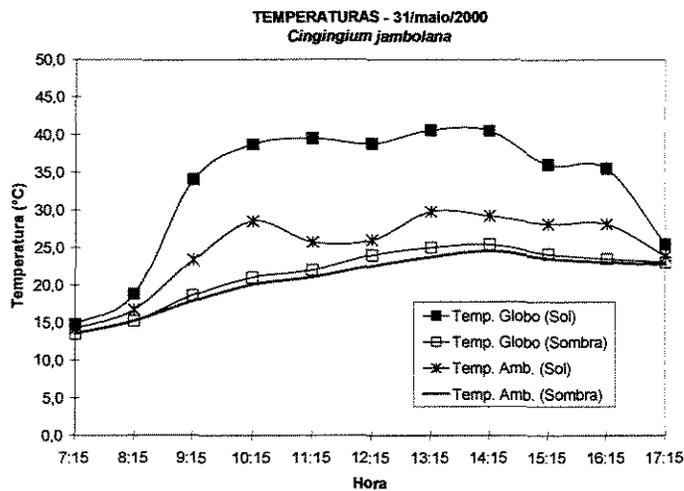
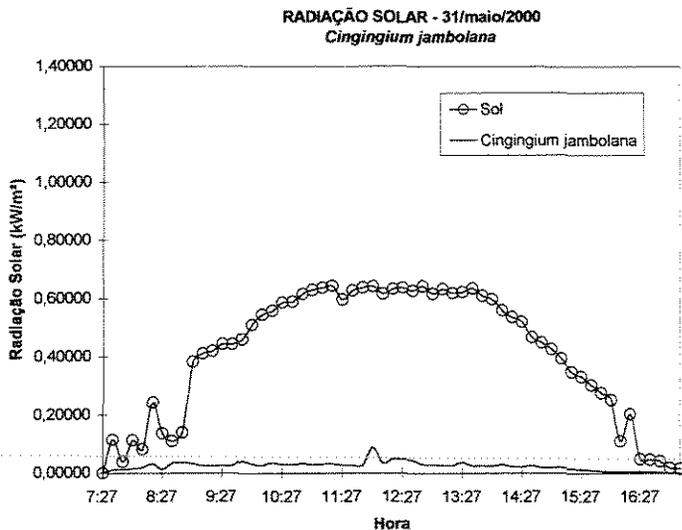


TEMPERATURAS - 27/maio/2000
Cingingium jambolana

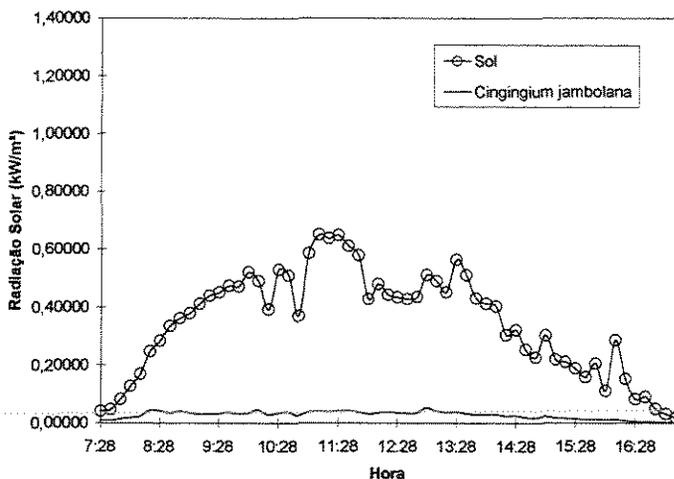


UMIDADE RELATIVA - 27/maio/2000
Cingingium jambolana

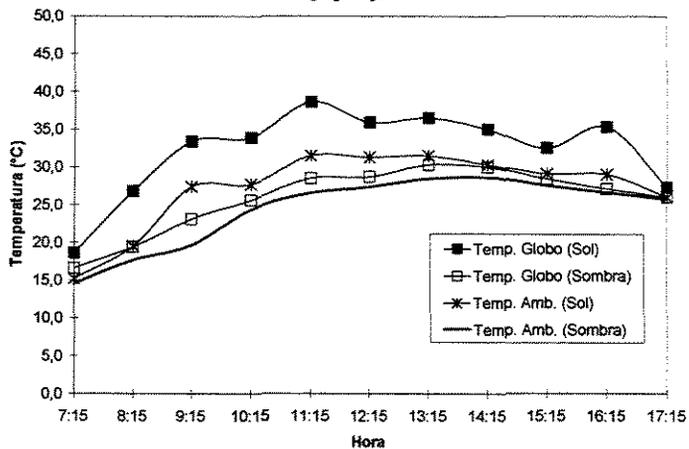




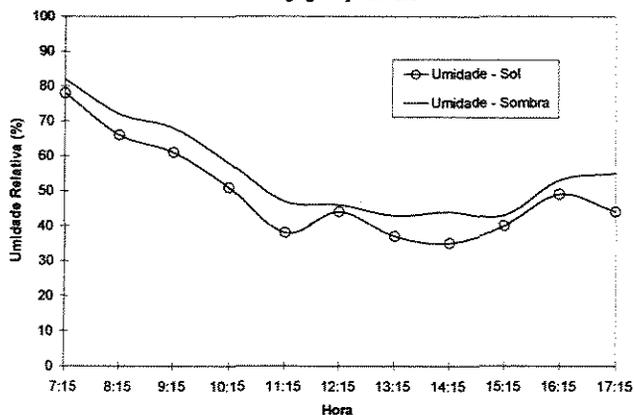
RADIÇÃO SOLAR - 29/junho/2000
Cingingium jambolana

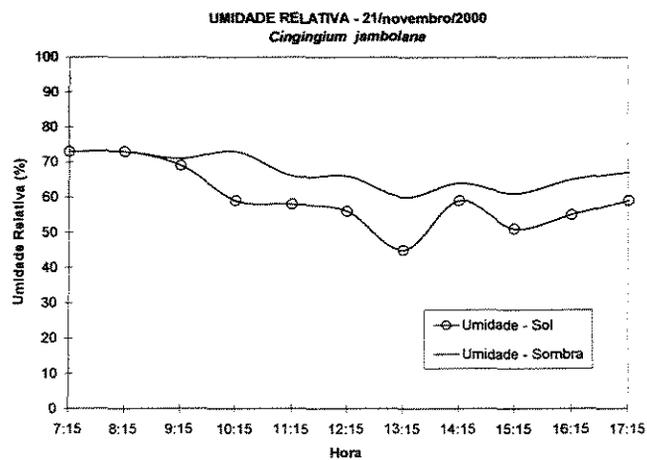
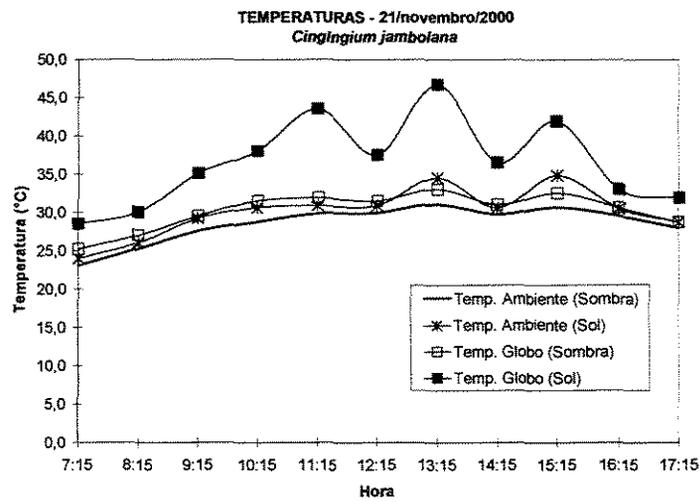
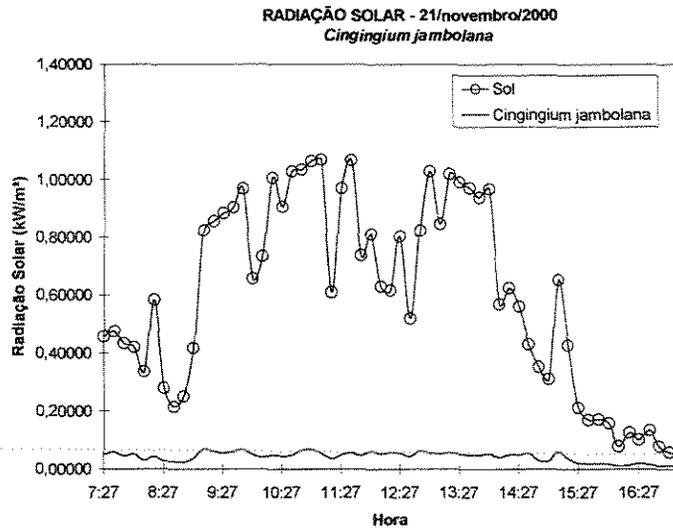


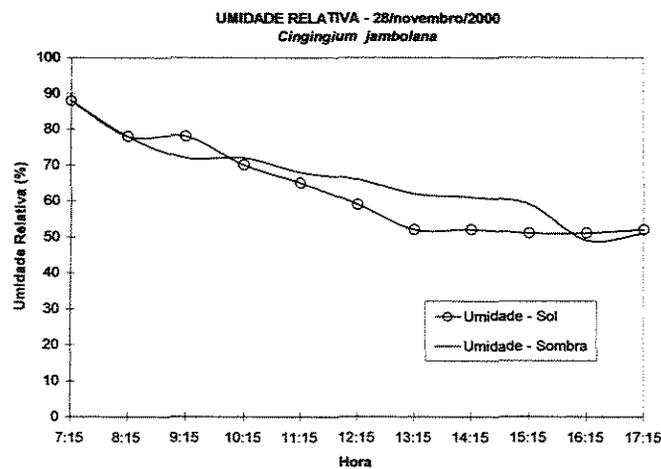
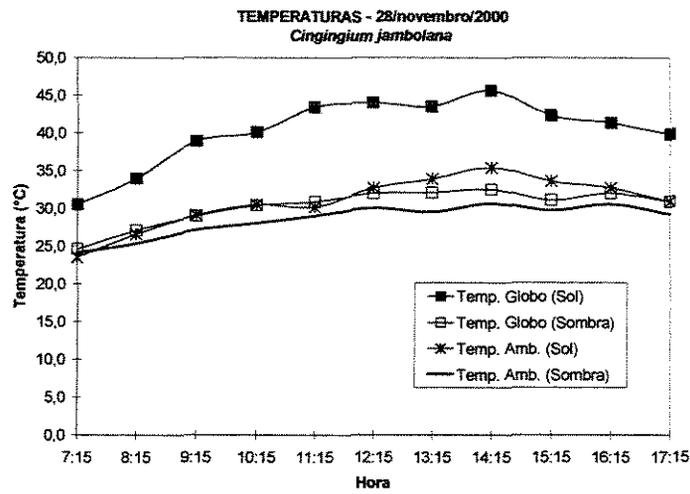
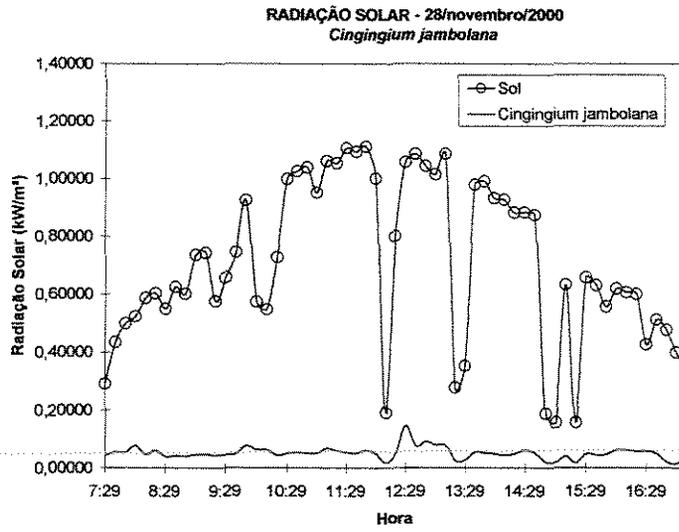
TEMPERATURAS - 29/junho/2000
Cingingium jambolana

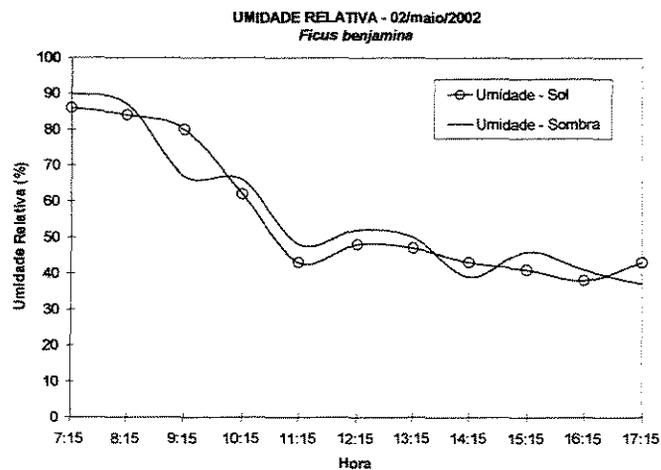
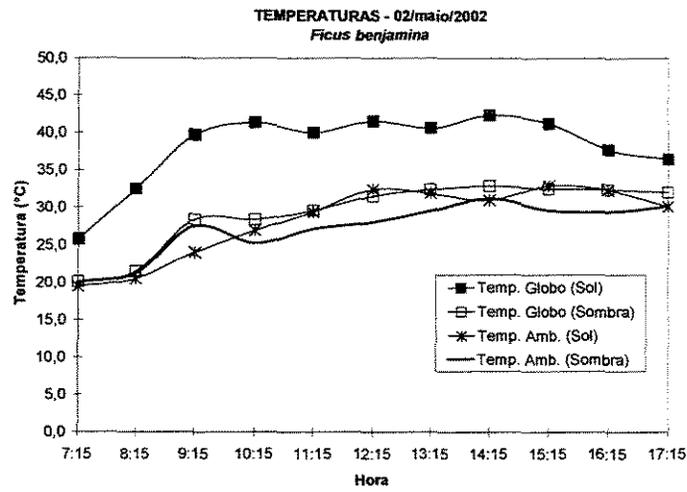
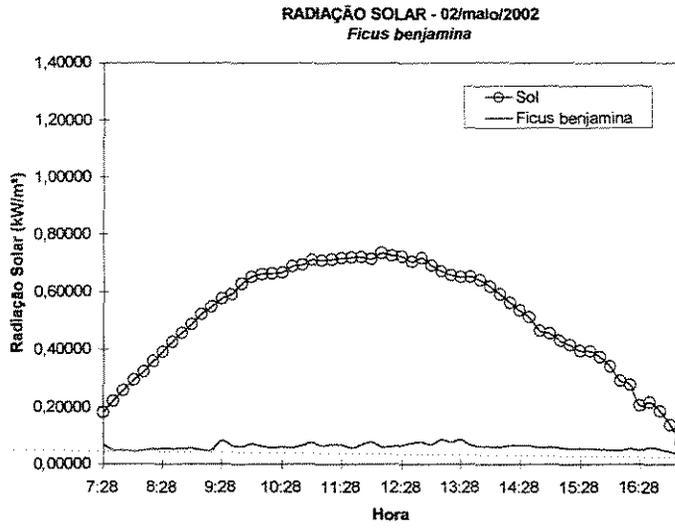


UMIDADE RELATIVA - 29/junho/2000
Cingingium jambolana

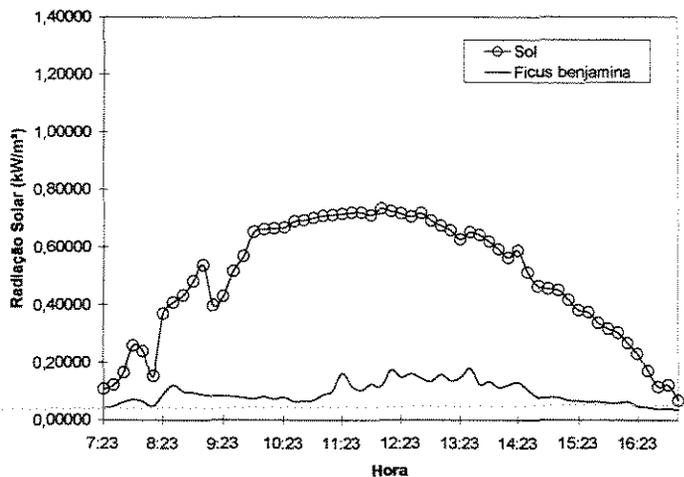




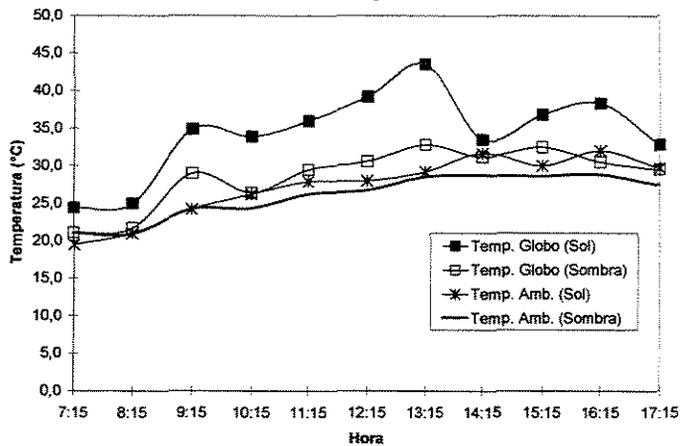




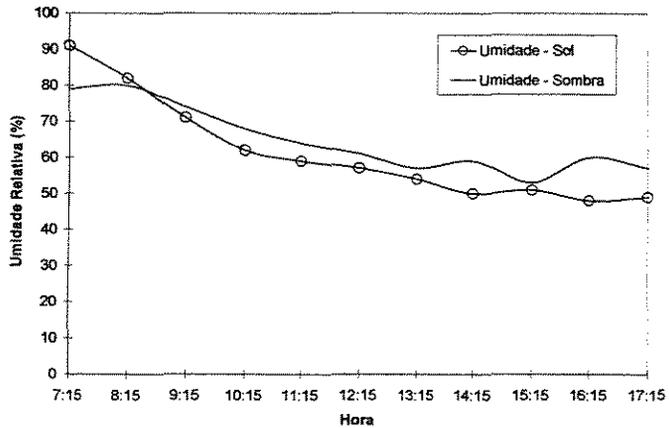
RADIAÇÃO SOLAR - 07/maio/2002
Ficus benjamina

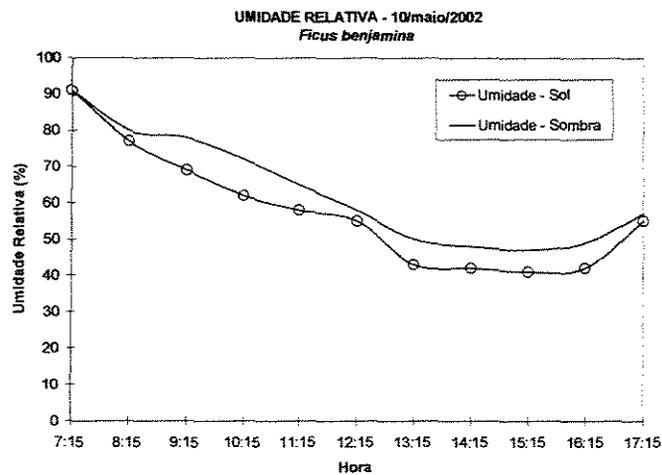
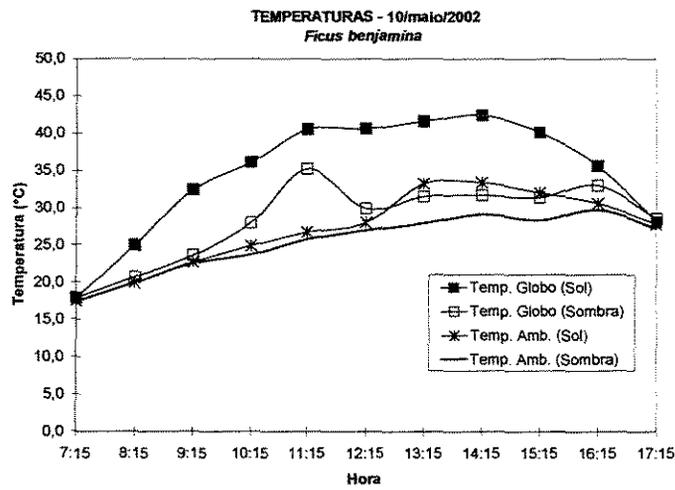
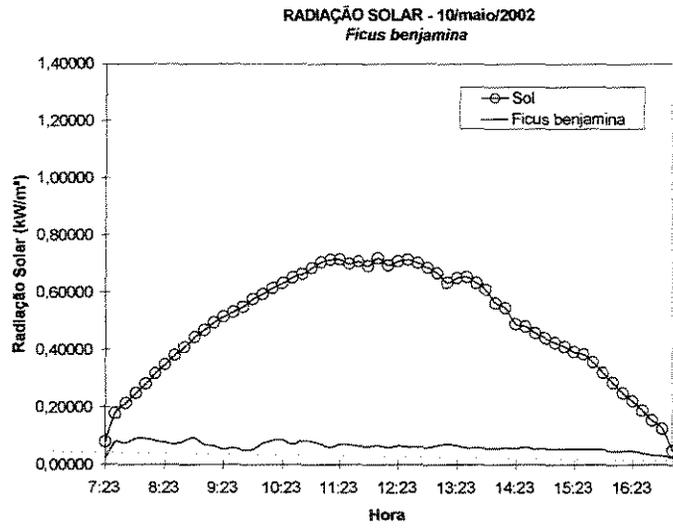


TEMPERATURAS - 07/maio/2002
Ficus benjamina

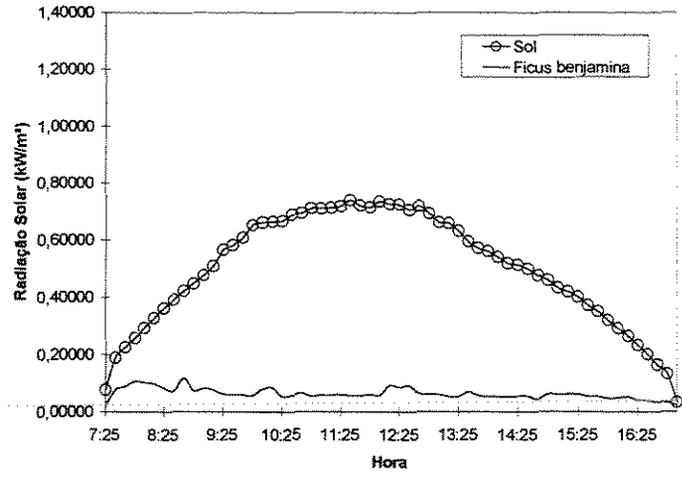


UMIDADE RELATIVA - 07/maio/2002
Ficus benjamina

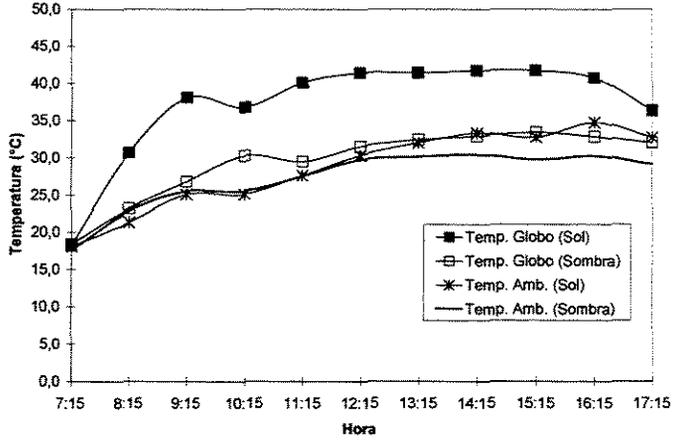




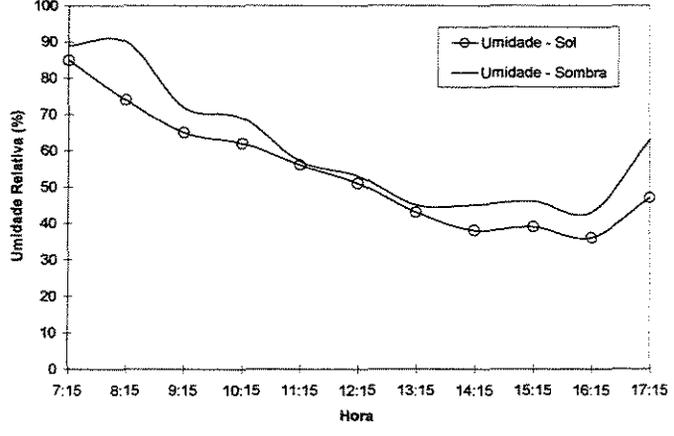
RADIAÇÃO SOLAR - 14/maio/2002
Ficus benjamina



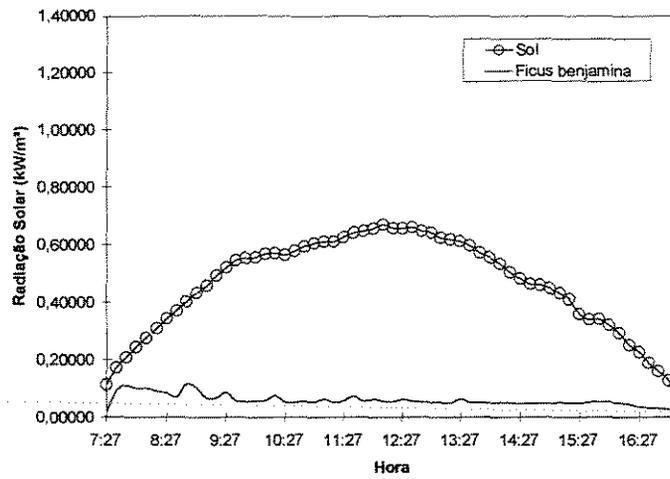
TEMPERATURAS - 14/maio/2002
Ficus benjamina



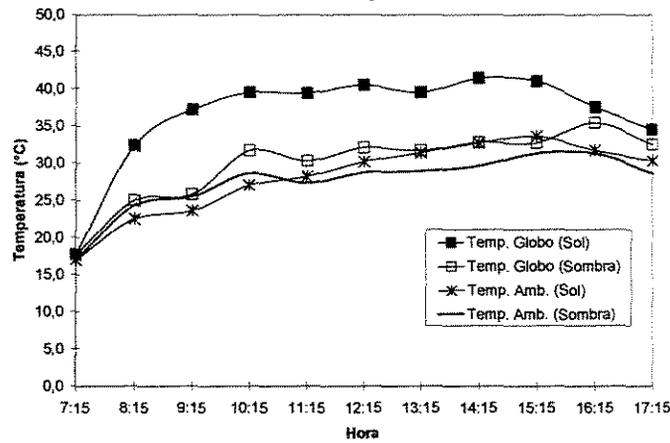
UMIDADE RELATIVA - 14/maio/2002
Ficus benjamina



RADIAÇÃO SOLAR - 15/maio/2002
Ficus benjamina



TEMPERATURAS - 15/maio/2002
Ficus benjamina



UMIDADE RELATIVA - 15/maio/2002
Ficus benjamina

