



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO**

AVALIAÇÃO DA ESCALA DE INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO MICROCLIMA POR DIFERENTES ESPÉCIES ARBÓREAS

Loyde Vieira de Abreu

Campinas

2008

AVALIAÇÃO DA ESCALA DE INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NO MICROCLIMA POR DIFERENTES ESPÉCIES ARBÓREAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Arquitetura e Construção.

Orientador: Prof. Dr. Lucila Chebel Labaki

Campinas

2008

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

Ab86a	Abreu, Loyde Vieira de Avaliação da escala de influencia da vegetação no microclima por diferentes espécies arbóreas / Loyde Vieira de Abreu.--Campinas, SP: [s.n.], 2008. Orientador: Lucila Chebel Labaki Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. 1. Conforto térmico. 2. Vegetação e clima. 3. Arborização das cidades. I. Labaki, Lucila Chebel. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.
-------	---

Titulo em Inglês: Evaluation of the radius of influence of different arboreal species on microclimate provided by vegetation

Palavras-chave em Inglês: Thermal comfort, Vegetation and climate, microclimate, Radius of influence, Sky view factor

Área de concentração: Arquitetura e Construção

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Rozely Ferreira dos Santos, Ana Maria Liner Pereira Lima

Data da defesa: 08/08/2008

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

Loyde Vieira de Abreu

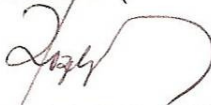
**AVALIAÇÃO DA ESCALA RAO DE INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO
NO MICROCLIMA POR DIFERENTES ESPÉCIES ARBÓREAS**

Dissertação apresentada a comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Arquitetura e Construção.

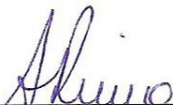
COMISSÃO EXAMINADORA



Profª Drª Lucila Chebel Labaki
Presidente e Orientador (FEC-UNICAMP)



Profª Drª Rosely Ferreira dos Santos
(FEC-UNICAMP)



Profª Drª Ana Maria Liner Pereira Lima
(ESALQ- USP)

Campinas, 08 de agosto de 2008.

A Deus e aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

A Prof^a Dr^a Lucila Chebel Labaki pelo incentivo, confiança e orientação dedicada e pelos ensinamentos transmitidos durante o desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao Prof^o Dr^o Jorge Yoshio Tamashiro, do Instituto de Biologia da Universidade Estadual de Campinas, por seu auxílio no reconhecimento das espécies arbóreas utilizadas no experimento de campo.

Aos professores Dr^o Nilson Augusto Villa Nova e Dr^o Fabio Ricardo Marin, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, pela disposição em ensinar e pela grande contribuição nos cálculos de evapotranspiração.

Aos técnicos Obadias Pereira da Silva Júnior e Daniel Celente, do Laboratório de Conforto Ambiental e Física da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, pelo auxílio na montagem dos equipamentos utilizados no experimento de campo.

À [Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo](#) pela bolsa de mestrado (processo: 2005/58804-1).

À Dr^a Maria Lídia Zillete, do Sappe da Universidade Estadual de Campinas, pela paciência, carinho e compreensão nos momentos difíceis.

Ao meu pai, Abimael, pelo carinho e pelas sábias opiniões quanto a assuntos técnicos e grande contribuição para o desenvolvimento do experimento de campo.

À minha mãe, Amélia, pelo carinho apoio incondicional durante a realização dessa importante etapa da minha vida.

A Deus por sua existência em minha vida.

RESUMO

ABREU, Loyde Vieira. Estudo do raio de influência da vegetação no microclima por diferentes espécies arbóreas. Campinas, 2008, 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.

É conhecido o papel da vegetação na mitigação do calor gerado no ambiente urbano e na redução do consumo energético para refrigeração dos edifícios. A vegetação tem uma influência significativa no conforto térmico em ambientes externos. Existem, porém, poucos dados conhecidos sobre a quantificação dos benefícios trazidos pelos indivíduos e agrupamentos arbóreos, como a atenuação da radiação solar incidente e a umidificação dos ambientes devido à evapotranspiração das plantas. Este trabalho tem como premissa que as diferentes espécies arbóreas se comportam de maneiras distintas no microclima urbano, em função de suas características morfológicas. O objetivo dessa pesquisa é identificar o raio de influência no conforto térmico alcançado por espécies arbóreas encontradas na região da cidade de Campinas, SP. A metodologia consistiu na identificação das espécies a serem analisadas e em medições dos parâmetros ambientais - temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, em pontos situados à sombra da copa e ao sol, em diferentes distâncias do tronco. A radiação solar incidente foi medida com solarímetros de tubo, em dois pontos, à sombra e ao sol. As medições foram realizadas no período diurno, do amanhecer ao anoitecer, durante três dias, espaçados ao longo do ano, em diferentes estações. Foram analisadas cinco espécies arbóreas: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.), Jacarandá (*Jacaranda mimosaefolia* D. Don.), Jambolão (*Syzygium cumini* L.), Mangueira (*Mangifera indica* L.), e Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.). A análise dos dados compreendeu o cálculo da atenuação da radiação solar incidente, da evapotranspiração e avaliação de conforto térmico nas diferentes distâncias, de acordo com uma zona de conforto tridimensional para a região de Campinas. Os dados foram analisados estatisticamente pelo teste de *Tukey*. Os resultados mostraram que a maior contribuição para o conforto foi do agrupamento arbóreo. Para árvores isoladas, observa-se uma influência importante do Índice de Área Foliar (IAF) e da dimensão das folhas. Em relação ao conforto térmico, uma constatação de grande significado é que até uma distância em torno de 15m do tronco o conjunto de variáveis ambientais proporciona conforto térmico, mesmo ao sol. Um comportamento peculiar foi observado em relação à umidade relativa: a certa distância, em torno de 10m do tronco, esse parâmetro é mais elevado que à sombra, diminuindo com maiores distâncias. A pesquisa sugere importantes investigações futuras: a interpretação do comportamento da umidade relativa, a relação entre a evapotranspiração e a umidade ao longo do dia. Vislumbra-se a elaboração de um modelo que explique o comportamento das espécies analisadas em função de suas características morfológicas e permita simulações para as demais espécies.

Palavras chave: Conforto térmico; Vegetação e o clima; Microclima; Raio de influência; fator de visão do céu.

ABSTRACT

ABREU, Loyde Vieira. Evaluation of the radius of influence of different arboreal species on microclimate provided by vegetation. Campinas, 2008, 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.

It is a well known fact the role of vegetation in mitigating the heat generated in the urban environment and in reducing the energy consumed for cooling of buildings. The vegetation has a significant influence on thermal comfort in outdoor spaces. However there are few data available that quantify the benefits that individuals and groupings of trees bring to the environment, such as the attenuation of incident solar radiation and air humidification due to the process of evapotranspiration. The premise of this work is that different tree species behave in different ways in urban microclimate, according to their morphological characteristics. The aim of the research is to identify the radius of influence on thermal comfort achieved by tree species and their arrangement. The species are those found in the region of Campinas city, Brazil. The adopted methodology consisted in identifying the species to be analyzed, measurements of environmental parameters - air temperature, relative humidity, wind speed, in points located in the shadow of the crown and at sunshine, at different distances from the trunk. The incident solar radiation was measured with tube solarimeters, in two points, in the shadow and at sun. The measurements were carried out during the day, from sunrise to sunset, in three days, spaced throughout the year, in periods of different seasons. Five tree species were analyzed: *Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.), Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.), Jambolão (*Syzygium cumini* L.), Mangueira (*Mangifera indica* L.), and Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.). Data analysis included calculating the attenuation of incident solar radiation, evapotranspiration, and evaluation of thermal comfort at different distances, according to the three-dimensional comfort zone for the region of Campinas. Tukey tests were used for statistical analyzes. Results show that the best contribution to comfort was from the tree grouping. For isolated trees, there is an important influence of the Leaf Area Index (IAF) and the size of the leaves. Regarding thermal comfort, a finding of great significance is that up to a distance of 15m from the trunk, the set of environmental variables provides thermal comfort, even in the sun. A peculiar behaviour was observed in relation to the relative humidity: at certain distance, around 10m from the trunk, this parameter is higher than in the shade, and decreases with greater distances. The research suggests important future investigations: the interpretation of the behaviour of relative humidity, the relationship between evapotranspiration and humidity throughout the day. The development of a model to explain the observed behaviour of the species as a function of their morphological characteristics can also be proposed allowing simulations for the other species.

Keywords: Thermal comfort; Vegetation and climate, Microclimate, Radius of influence, Sky view factor

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 A VEGETAÇÃO E O AMBIENTE CONSTRUÍDO.....	04
2.1 Clima urbano.....	04
2.2 A Influência da vegetação no clima urbano.....	08
2.2.1 <i>Radiação e temperatura do ar.....</i>	11
2.2.2 <i>Umidade.....</i>	18
2.2.3 <i>Evapotranspiração.....</i>	19
2.2.4 <i>Vento.....</i>	25
2.3 Arborização em áreas urbanas e o conforto térmico.....	27
3 METODOLOGIA.....	35
3.1 Seleção da escala.....	36
3.2 Seleção dos indivíduos e agrupamentos arbóreos.....	37
3.2.1 <i>Seleção das espécies e dos locais de medição.....</i>	37
3.2.2 <i>Caracterização das espécies selecionadas e analisadas.....</i>	38
3.3 Medições de campo.....	44
3.3.1 <i>Levantamento dos parâmetros ambientais.....</i>	44
3.3.2 <i>Métodos de tratamento.....</i>	50
3.4 Testes.....	56
3.4.1 <i>Teste da metodologia.....</i>	56
3.4.2 <i>Teste dos registradores.....</i>	61
3.4.3 <i>Teste das variáveis climáticas em raios próximos à árvore.....</i>	62
4 TESTES E RESULTADOS PARCIAIS.....	65
4.1 Ipê-Amarelo (<i>Tabebuia chrysotricha</i> (Mart. ex DC.) Stand.).....	65
4.2 Jacarandá (<i>Jacaranda mimosaeifolia</i> D. Don.).....	85
4.3 Jambolão (<i>Syzygium cumini</i> L.).....	96
4.4 Mangueira (<i>Mangifera indica</i> L.).....	107
4.5 Chuva de ouro (<i>Senna Siamea</i> L.).....	118
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	130
6 CONCLUSÕES	143
REFERÊNCIAS.....	144

1 INTRODUÇÃO

Uma das causas das alterações do clima nos grandes centros é a falta de vegetação. Com o crescimento desordenado das cidades, a grande parte da vegetação é removida para a ampliação ou construção de vias, de edifícios e de parcelamentos de terra, aumentando a cobertura pavimentada da área urbana.

As principais modificações climáticas das cidades, causadas pela ausência de indivíduos arbóreos, são: maior incidência de radiação solar direta, aumento da temperatura do ar, redução da umidade, modificação da direção dos ventos, aumento da emissão de radiação de onda longa, alteração dos ciclos de precipitação. Essas alterações causam desconforto térmico à população urbana, que, a fim de combater o calor, aumenta os gastos energéticos com climatização.

Ultimamente, muitas pesquisas têm sido publicadas sobre os benefícios das árvores nas cidades, que funcionam como termorreguladores naturais capazes de melhorar as condições de conforto térmico, psicológicas e fisiológicas das pessoas. O plantio de árvores é uma solução prática e barata, que é associada a uma alternativa de eficiência energética. (BRETZ, AKBARI, ROSENFELD, 1998).

O desenvolvimento de novas estratégias de planejamento urbano é necessário para promover o crescimento das áreas urbanas de maneira sustentável e a requalificação do microclima urbano. A identificação do raio de influência por diferentes

espécies arbóreas no microclima é um dado importante na elaboração e implantação de projetos urbanos que visam à melhoria do conforto térmico.

A redução da temperatura, ocasionada pela presença de árvores, ocorre de forma direta e indireta através do sombreamento e da evapotranspiração respectivamente. Segundo Bueno-Bartholomei (2003), as espécies arbóreas comportam-se de maneiras distintas quanto à radiação solar atenuada por elas.

Neste estudo, foi considerado o comportamento distinto das árvores em relação à taxa de evapotranspiração e o raio de influência de um indivíduo ou agrupamento arbóreo. Foram avaliadas cinco espécies arbóreas – Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.), Jacarandá (*Jacaranda mimosaefolia* D. Don.), Jambolão (*Syzygium cumini* L.), Mangueira (*Mangifera indica* L.), e Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.). A atenuação da radiação solar foi calculada pelo método de Bueno (1998); a redução da temperatura e umidificação do ar, pelo cálculo da evapotranspiração, de acordo com o método Penman-Monteith (FAO-56); e o conforto térmico, pelo método de Moreno (2006).

Este estudo teve como enfoque o aspecto térmico do conforto ambiental, buscando-se investigar, qualitativamente, a melhoria do microclima através da avaliação do raio de influência das espécies e a disposição física dos indivíduos arbóreos, ou seja, a observação experimental das relações entre a intensidade de radiação solar que atravessa a copa das árvores e o calor cedido ao meio.

O objetivo geral deste trabalho foi verificar a influência de determinados indivíduos arbóreos, de maior presença nas cidades, na melhoria dos microclimas urbanos e do ambiente construído.

Os objetivos específicos foram:

- Caracterizar o alcance da atenuação da radiação solar incidente e do controle da velocidade dos ventos por espécies arbóreas e agrupamentos arbóreos.

- Quantificar, por meio de medições em campo, as condições de conforto proporcionadas por indivíduos arbóreos isolados e agrupamentos nas áreas urbanizadas.
- Obter parâmetros ambientais relacionados à quantidade de indivíduos arbóreos necessária para o trabalho de termo-regulação eficiente em ambientes construídos através do cálculo da evapotranspiração.

2 A VEGETAÇÃO E O AMBIENTE CONSTRUÍDO

2.1 Clima urbano

O espaço urbano, resultado da ação antrópica sobre o meio, possui características climáticas que se manifestam pela inter-relação de fenômenos, diferentemente daquelas ocorridas no meio rural. A situação climática específica das cidades é chamada de clima urbano.

Com a substituição do solo natural por materiais construtivos, modificam-se as propriedades térmicas dos componentes do solo terrestre e alteram-se as trocas térmicas entre a superfície e o meio (GIVONI, 1976, 1992). Áreas construídas e pavimentadas conferem à superfície terrestre o poder de alta retenção de calor e pequeno poder de reflexão. Dessa forma, acumula o calor durante o dia, que é re-irradiado para a atmosfera principalmente à noite. Assim também, a redução das áreas vegetadas provoca a perda de energia devido ao efeito da evapotranspiração.

Além disso, a concentração de edifícios, carros e indústrias altera a circulação do ar no interior das cidades, aumentando a produção de calor, resultando na formação de ilhas de calor e gerando desconforto para a população. Duarte *et al.* (2001) correlacionam a temperatura do ar com a ocupação do solo - tais como densidade construída, arborização, superfícies de água. Nesse estudo observaram que a taxa de ocupação do solo deve se equilibrar com os elementos naturais.

Através das imagens de satélite na faixa do infravermelho termal na capital paulista, Lombardo (1988) verificou que a ilha de calor formada se localizava em regiões de alta concentração de edifícios e com pouca vegetação. Também constatou que as diferenças entre a zona rural e a central chegam a ser superiores a 10°C.

Kjelgren & Montague (1998) afirmam que a superfície urbana é como uma “colcha de retalhos” de elementos com propriedades radiativas, termais, aerodinâmicas e de umidade diferentes. Assim, a estocagem de energia ocorre de maneiras distintas, gerando contrastes nas características superficiais e levando à troca dos fluxos energéticos.

Akbari *et al.* (2005) destacam a importância das características do “acabamento” na variação das temperaturas da superfície terrestre. Konya (1980) afirma que para uma determinada intensidade de radiação solar incidente, tem-se uma variação da temperatura de superfície em função da variedade do acabamento superficial, como mostra a figura 01.

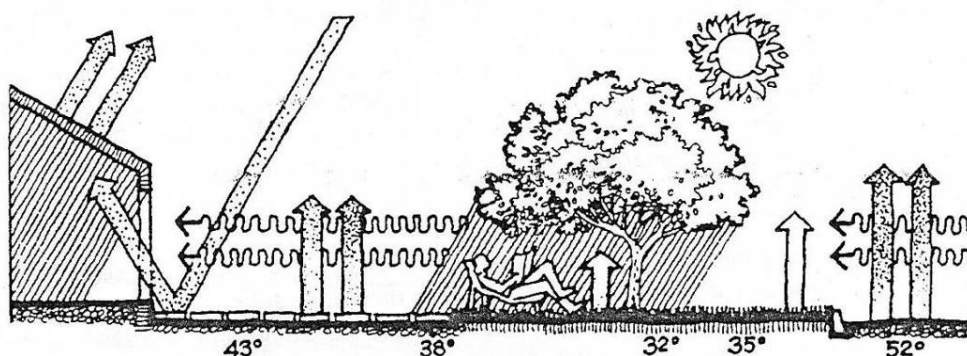


Figura 01 – Variação das temperaturas das superfícies em função dos acabamentos
Fonte: KONYA (1980)

Para analisar a maneira como os elementos da superfície urbana interagem com as camadas atmosféricas adjacentes, é fundamental entender o conceito de escala. Cada escala possui unidades de balanço energético distintas, que representam

mais do que a soma das médias das temperaturas de cada área considerada e cada unidade interage por advecção com as adjacentes, na mesma categoria de escala (CHING *et al.*, 1983). Monteiro & Mendonça (2003) afirmam que o clima urbano mantém relações intrínsecas com o ambiente regional no qual se insere.

A distinção da Camada de Cobertura Urbana (*Urban Canopy Layer – UCL*) e a Camada Limite Urbana (*Urban Boundary Layer – UBL*), originalmente aplicada a ilhas de calor urbano, é fundamental na definição das escalas no ramo da climatologia urbana (OKE, 1976). A microescala e as propriedades locais específicas controlam os processos de circulação de ar e trocas de energia. Abaixo da Camada Limite Urbana (*Urban Boundary Layer – UBL*), ocorre um fenômeno de escala local ou mesoescala, onde os processos operantes são controlados em escalas temporais e mais amplas; acima, as características são afetadas pela presença da superfície urbana.

Oke (2005) destaca o impacto do vento, temperatura e umidade sobre o clima local em relação às diferentes formas urbanas, classificando-as em Zona Climática Urbana (UCZ- Urban Climate Zona), e compara a escala de análise com o raio de influência da vegetação no vento, temperatura do ambiente e umidade.

Para auxiliar o planejamento urbano, Katzschner (2005) desenvolveu um mapa climático urbano que interpola as diversas escalas climáticas com a escala urbana através das constituintes do clima e suas alterações.

Lombardo (1985) comprovou a existência de uma estreita relação entre os tipos de uso de solo urbano e a variação das temperaturas superficiais em seus estudos realizados na cidade de São Paulo. As altas temperaturas são verificadas em área com crescimento vertical intenso, alta densidade demográfica (considerada pela autora como acima de trezentos habitantes por hectare) e pouca quantidade de vegetação, principalmente em setores industriais e residenciais. Já as regiões de maior concentração de espaços livres, com vegetação ou próximos a reservatórios de água, sofrem declínios acentuados de temperatura. Esse fenômeno é explicado pela interferência das massas de água que interferem no balanço de energia devido à sua

alta capacidade calorífica e pelo consumo de calor latente pela evaporação. Com maior quantidade de vegetação, o balanço energético local é modificado com o aumento da absorção da radiação solar pelas árvores através dos processos de fotossíntese de transpiração.

Segundo um modelo numérico e validado para investigar a função do transporte de calor e umidade, tanto no solo exposto, quanto no coberto, Asaeda & Ca (1993) constataram que o solo coberto impede que a camada impermeável reduza o canal de evaporação, elevando às temperaturas de superfície. Kjelgren & Montague (1998) usaram modelos de cobertura de camada dupla para avaliar o papel do tipo de superfície do solo (asfalto ou grama), mas nenhuma conclusão simples foi obtida. Quando as temperaturas das superfícies são mais altas no asfalto, aumenta o fluxo da onda longa no nível de cobertura; ao aumentar a temperatura das folhas das plantas, o trabalho de transpiração aumenta e provoca o fechamento dos estômatos.

Em escalas maiores, os estoques de energia de parques urbanos atraíram a atenção de Oke *et al.* (1999). O resfriamento noturno de um parque mostrou que perdas de calor latente têm papel pequeno à noite, mas durante dia apresenta um resfriamento relativo. Grimmond *et al.* (1996) constataram que o estoque de energia suburbana das árvores, em valores absolutos em todos os fluxos, eram aumentados no local com maior cobertura vegetal. Em estudos hipotéticos, Brown & Dekay (2000) demonstra que as cidades com mais de um milhão de habitante terão possibilidade de redução das temperaturas se as superfícies evaporativas forem maiores que 10-20% da área da cidade.

Ao analisar a distribuição horizontal da temperatura do ar pelo método de medidas móveis, Pezzuto *et al.* (2005) constataram que nas regiões altamente edificadas, comparadas a áreas com proximidade de vegetação, apresentaram temperaturas médias maiores no período de resfriamento noturno e menor no horário do aquecimento solar. A diferença térmica entre a região altamente edificada e a região com proximidade de área verde foi de aproximadamente 2 °C.

De acordo com os trabalhos citados, pode-se observar a relevância da vegetação como reguladora das temperaturas das cidades, e a melhoria do clima através da arborização é um ponto comum entre eles.

As propriedades de regulação da temperatura e melhoria do clima, através da arborização urbana, é uma característica fundamental para garantir um clima urbano ideal. No ambiente urbano, a situação atmosférica sofre uma grande variação no tempo e no espaço. Para poupar o ser humano do *stress* térmico e da poluição do ar, Mayer (1990) afirma que as mesmas condições térmicas devem ser mantidas dentro de um raio de 150 metros.

2.2 A Influência da vegetação no clima urbano

As árvores contribuem significativamente para refrigerar nossas cidades e para conservar a energia e podem fornecer proteção solar às casas individuais, enquanto a evapotranspiração pode reduzir as temperaturas urbanas. Da mesma forma, absorvem o som e absorvem a água das chuvas, filtram poluentes, reduzem a velocidade do ar e estabilizam o solo ao impedir erosão. Esses processos são mostrados na figura 02.

Segundo Santamouris (2001), a evapotranspiração contribui para criar espaços com temperaturas mais amenas dentro do ambiente urbano, efeito chamado de “o fenômeno do oásis”. O valor da redução da temperatura é relacionado ao contrapeso da energia total da área, mas, em geral, o oásis é caracterizado pela relação de Bowen, sensibilidade aos fluxos latentes do calor.

Segundo Montgomery & Coleman (1987), a transferência de energia ao calor latente das plantas é muito elevada, 2324 KJ por quilograma de água evaporado. Moffat & Schiller, (1981), relatam que, em um dia ensolarado, uma árvore média evapora 1460

quilogramas da água, consome aproximadamente 860 MJ, e tem um efeito de resfriamento médio igual a cinco condicionadores de ar médios.

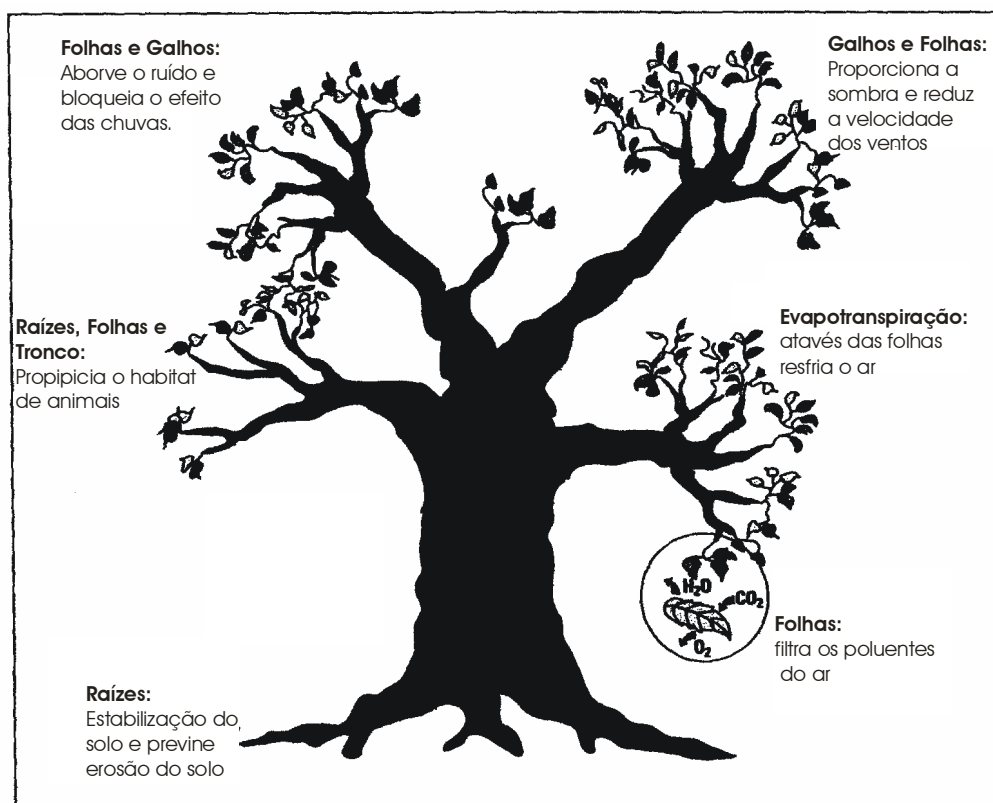


Figura 02 – Qualidades ecológicas das árvores.
Fonte: Adaptado de AKBARI & TAHA (1992)

Os métodos para calcular as perdas de água devido à transpiração serão discutidos na sequência.

A presença da vegetação contribui para a conservação da umidade no solo e no microclima. Segundo Llandert (1982), a evaporação embaixo da copa das árvores pode ser até dez vezes menor que em campo aberto. Através da regulação higrométrica – emissão de vapor da água através das superfícies foliares – vegetação é capaz de combater a aridez do clima urbano. Em Natal, Carvalho (2001) concluiu que o

parque das Dunas é capaz de reduzir a temperatura do ar no interior em um raio de 3,51 km do seu entorno.

Outro aspecto positivo da vegetação são os benefícios da cobertura vegetal na temperatura do ar e na economia do consumo de energia. Segundo Akbari & Taha (1992) “as medidas em campo constataam que as proteções vegetais, árvores e trepadeiras, plantadas estrategicamente ao lado dos edifícios, podem reduzir os gastos com condicionamento de ar no verão entre 20 e 35%”. A partir desses resultados, diversas comunidades e organizações filantrópicas, principalmente nos Estados Unidos, passaram a incentivar a população a plantar árvores em suas residências.

As árvores ajudam, também, a mitigar o efeito estufa, filtrar os poluentes, mascarar o ruído, impedir a erosão e tranquilizar seus observadores humanos. Como indicado por Akbari & Taha (1992), a eficácia da vegetação depende de sua capacidade de atenuação, forma da copa, dimensões e disposição no ambiente construído. As árvores, situadas em áreas urbanas pavimentadas, interceptam o calor sensível e a radiação da onda longa dos materiais pavimentados de alta temperatura como o asfalto (HALVORSON & POTTS, 1981; HEILMAN *et al.*, 1989).

Elas absorvem gases poluentes através dos estômatos das folhas, que podem dissolvê-los ou ligá-los à água contida na superfície das folhas, enquanto a cobertura vegetal intercepta a poeira particulada. Com a emissão de hidrocarbonetos e Ozônio, as árvores reduzem concentrações ambientais de CO₂, NO₂ e outros poluentes encontrados no ar, amenizando a temperatura do ar (CARDELINO & CHAMEIDES, 1990; MCPHERSON *et al.*, 1998; MCPHERSON, 2003).

As árvores reduzem e filtram o ruído urbano. Segundo Akbari & Taha (1992), as folhas e os galhos absorvem os sons de alta frequência, os mais prejudiciais aos seres humanos, e que um agrupamento arbóreo, com 33m de diâmetro de copa e 15 m de altura, reduziu o ruído da estrada em 6 a 10 dB(A). Em uma outra pesquisa, Szokolay (1980) constatou que uma barreira densa de coníferas, com 100 metros de largura, obteve índices da atenuação de ruídos da ordem de 8-20 dB(A).

As árvores também contribuem para a redução da velocidade de ventos, levando à economia de energia com condicionamento do ambiente. Segundo estudos, à medida que a velocidade do vento é atenuada pela vegetação, a brisa que penetra na camada mais próxima ao solo é capaz de resfriar o microclima local.

As árvores, ainda, têm um impacto social importante. Algumas pesquisas mostraram que a presença de árvores numa região residencial influencia na decisão de onde viver. Akbari & Taha (1992) constatou que a presença de indivíduos arbóreos pode aumentar os valores de propriedade em 3 a 20%. Ulrich (1984) demonstrou que os estímulos naturais ajudam na recuperação do stress, tendo o estudo comprovado que os pacientes quando viram árvores de suas janelas invés de uma parede de tijolo, tiveram uma recuperação mais rápida.

2.2.1 Radiação e Temperatura do ar

Alguns pesquisadores destacam que a cobertura vegetal exerce influência importante no clima, pois, além de bloquear sua incidência, é capaz de absorver parte dessa radiação e contribuir para o equilíbrio do balanço das energias. Oke (1978) afirma que a vegetação deve proporcionar sombra e auxiliar na diminuição da temperatura, a partir do consumo de calor latente por evaporação (figura 03).

Através de suas folhas, absorve de 15 % a 35% da energia luminosa recebida, deixa passar entre 30% a 50% e reflete o restante, cerca de 30% a 40%, no período diurno (LANDERT, 1982). Rivero (1986) afirma que a vegetação absorve aproximadamente 90% da radiação visível e 60% da radiação infravermelha, sendo o restante transmitido ou refletido pelas folhas.

Um dos objetivos freqüentemente enfocados no Congresso de Arborização Urbana é a constatação que a produção de sombra, a interceptação da luz e do calor

da radiação solar estão estreitamente relacionados com o conforto ambiental (MILANO, 1994; CAVALHEIRO, 1994).

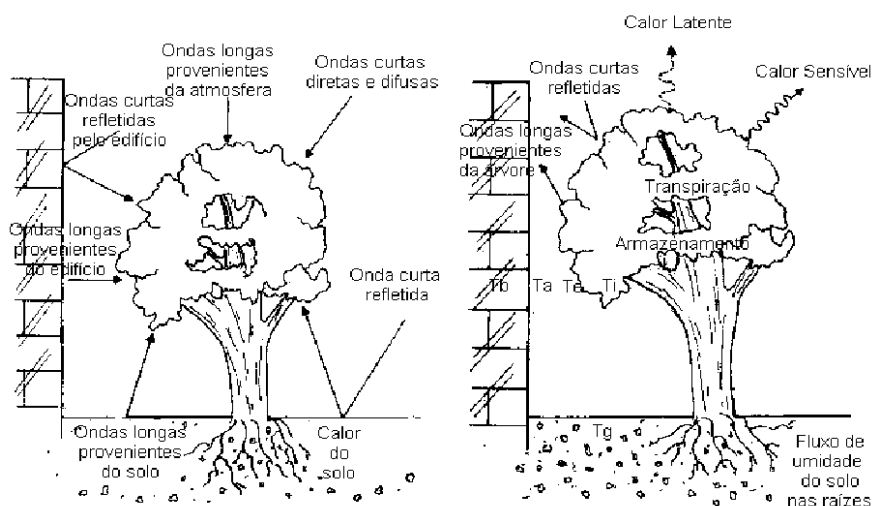


Figura 03 – Representação esquemática do balanço térmico da árvore na escala do edifício.
Fonte: OKE, 1978

Segundo Hager *et al.* (2002), a filtração da radiação solar, através da copa das árvores, ameniza a temperatura do microclima e reduz a necessidade de uso do ar condicionado. Jensen (2000) divulgou resultados de uma pesquisa feita em Gainesville, Florida, evidenciando que o sombreamento proporcionado pelas árvores nas fachadas reduziu o uso de ar condicionado per capita. Em outra pesquisa, utilizou o coeficiente de extensão do céu para calcular a radiação solar que passa através das folhas das copas das árvores e determinar a influência da radiação solar na temperatura local. No golfo Pérsico, Bajwa (1995) constatou que a vegetação foi capaz de reduzir as temperaturas internas e até 65% do consumo de energia com o resfriamento em residências isoladas. Em Campinas, Bueno-Bartholomei (2003) constatou que a utilização da vegetação, através da atenuação da incidência direta da radiação solar nas fachadas de uma edificação, diminui o ganho de calor no ambiente interno e reduz os valores de Voto Médio Estimado (VME) em 98,1% dos casos, nos dias mais quentes.

Cerca de 60 a 70% de energia solar incidente na vegetação é consumida em processos fisiológicos, pois as plantas não armazenam calor nas suas células. O resfriamento e filtração do ar realizado pelas árvores são maiores do que ocorre nos gramados devido à proporção entre o volume das folhas e a área ocupada (BERNATZKY, 1982).

O resfriamento realizado pela vegetação no ambiente construído pode ser: diretamente, quando o sombreamento reduz a conversão de energia radiante em calor sensível e diminui a temperatura de superfície; ou indiretamente, quando a evaporação das folhas mitiga as suas superfícies e o ar adjacente devido à troca de calor (GRIMMOND *et al.*, 1986). O resfriamento direto pode ser medido diretamente na superfície afetada; por exemplo, o efeito do sombreamento em calçadas. Logo, o indireto pode ser verificado com a área de abrangência de uma área verde, como a redução de temperatura próxima às áreas de praças, parques e reservas.

Sattler *et al.* (1987) modelaram a sombra de uma árvore e seus efeitos sobre as superfícies, considerando a inclinação do sol e a posição do sombreamento. Neste trabalho foram definidos os tipos de sombreamento (esférico, cilíndrico, cônico vertical ou cone invertido e suas combinações), sempre considerando a radiação incidente, transparência das árvores entre outros dados específicos de cada espécie (figura 04).



Figura 04 – Forma das árvores
Fonte: SATTLER *et al.*, 1987

A forma da copa das árvores e seu tamanho determinam a área sombreada que muda de acordo com a espécie, a estação do ano, (figura 05) e ao longo dos anos (MACEDO, 1989; MASCARÓ, 2005).

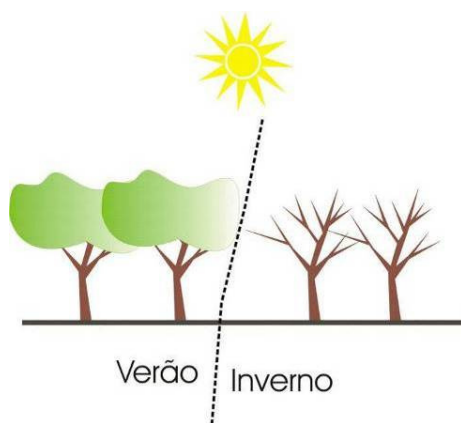


Figura 05 – Benefícios dos indivíduos arbóreos nas estações do ano

Recentes estudos vêm comparando a temperatura do ar na camada intra-urbana com a influência dos parâmetros urbanísticos, tais como a vegetação, com o cálculo do fator de extensão do céu para identificar a dimensão dos sombreamentos (FARIA *et al.*, 2004).

Cunha *et al.* (2005) avaliam o desempenho do paisagismo, com ênfase no sombreamento arbóreo dos espaços do estacionamento do Campus da UFRN (Universidade Federal do Rio Grande do Norte), baseado em simulação computacional. Nesse estudo, o programa desenvolveu mascaras de sombra em quatro pontos do estacionamento e pode-se verificar o lugar mais beneficiado com a sombra do agrupamento de três espécies arbóreas.

Os autores definiram mascaras de sombra para três espécies arbóreas de pequeno, médio e grande porte respectivamente: Craibeira (*Tabebuia caraiba* Bur.), ipê-amarelo (*Tabebuia chysotricha*) e Flamboyant (*Delonix regia*). Essas máscaras de sombra foram desenvolvidas a dois metros de distância leste, a um metro do solo.

Vasconcellos & Reis-Alves (2005) e Vasconcellos & Corobella (2007) destacam a importância da vegetação no bioclimatismo através de uma análise bioclimática em praças do Rio de Janeiro, destacando a radiação solar e o fator visão do céu do entorno. Foi constatado que a qualidade dos espaços aumenta em relação à área sombreada, pois protege os usuários dos efeitos negativos do clima e reduz a sua exposição à radiação solar direta, a temperatura do ambiente e o ofuscamento causado pelas superfícies dos materiais de revestimento.



Figura 06 – Foto com a lente olho de peixe
Fonte: TSUTSUMI et. al. (2003)

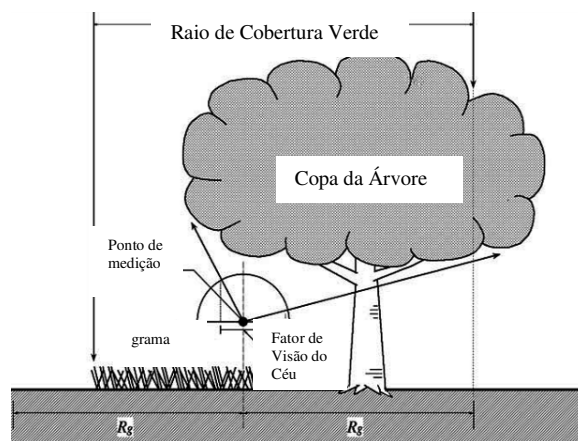


Figura 07 – Ponto de medição
Fonte: TSUTSUMI et. al. (2003)

Tsutsumi *et al.* (2003) descrevem um método para avaliar a relação existente entre a massa arbórea e a temperatura do ar. Utilizando uma fotografia na posição ortogonal tirada com lente eye-fish (olho de peixe), foi calculado o fator de área foliar (figura 06). O ponto central da foto é o local onde foi tirada a foto (figura 07). O fator de extensão de céu é adquirido a partir da relação de área simples de folhas ao círculo da fotografia.

Nessa pesquisa, a cobertura verde foi comparada em três distâncias radiais diferentes: 10, 20 e 50 metros. Constatou-se que a 20 metros, o efeito térmico proporcionado pelas árvores é o melhor, apesar de não ser muito expressiva a variação da temperatura do ar nas diferentes distâncias.

Giridharan *et al.* (2006) realizaram uma pesquisa sobre a influência da vegetação na temperatura do ar em 8 locais públicos e 9 locais privados na região costeira de Hong Kong sob influência da vegetação. Os pesquisadores compararam a intensidade das ilhas de calor com altura da vegetação presente num raio entre 15m a 17,5m em dias nublados e claros durante o verão. Através de fotos com lente *Eye-fish* (olho de peixe), foram obtidos o fator de visão do céu, a porcentagem de vegetação, acima de 1m e abaixo de 1m, e a altura dos edifícios presente em cada ponto de medição. Essa pesquisa mostra que em locais abertos, a vegetação acima de 1m tem maior capacidade de redução da temperatura, cerca 1°C a 0,5°C, amenizando o efeito das ilhas de calor em dias ensolarados no verão, mas em locais com mais edifícios, esse fenômeno não ocorre da mesma forma. Nesse caso, a inserção da vegetação em bairros de alta densidade deve ser cuidadosa para um melhor aproveitamento dos benefícios da vegetação. Nesse caso, a redução da temperatura dependerá de variáveis locais, tais como a altitude do local e fator de visão do céu (IAF).

Quatro espécies de árvores de clima temperado foram estudadas por Canto *et al.* (1994) em relação às radiações global e difusa. A espécie que reteve menos luz, atenuou 19,2% no inverno, e a que sombreou mais, interceptou 90,2% no verão.

Silva *et al.* (1996) avaliaram o conforto térmico em pastos, a partir da análise de índices de temperatura e de umidade relativa, índices de temperatura de globo e umidade, carga térmica radiante e temperatura efetiva das copas das espécies arbórea Sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*), Tipuana (*Tipuana tipu*) e sapucaia (*Lecythis pisonis*) e concluíram que os indivíduos de copa densa, baixa e de folhas largas não são recomendados pois dificultam a ascensão do ar quente.

Bueno-Bartholomei (1998, 2003) comparou a Sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*), Jatobá (*Hymenaea courbaril*), Chuva de Ouro (*Cássia fistula*), Magnólia Amarela (*Michelia champacca*), Ipê-Roxo (*Tabebuia impetiginosa*), Cássia (*Cassia spectallis*), Aroeira Salsa (*Schinus molle*), Pata-de-vaca (*Bauhinia variegata*), Jambolao (*Syzygium cumini*), Fícus (*Fícus benjamina*), Sombreiro (*Clitoria fairchildiana*) com e sem folhas, Cedro-rosa (*Cedrela fissilis*) com e sem folha. Os desempenhos de

atenuação encontrados foram, respectivamente, 88,5%, 87,2%, 87,3%, 82,4%, 75,6%, 88,6%, 73,6%, 81,7%, 92,8%, 86,3%, 78,6% (com folhas) e 70,2% (sem folhas), 75,6% (com folhas) e 29,9% (sem folhas).

Silva et al. (2001) avaliaram a qualidade térmica das sombras fornecidas pelas seguintes espécies arbóreas: Sapateiro (*Pera glabrata*); Pau pereira (*Platycyamus regnellii*); Copaíba (*Copaifera langsdorffii*); Orelha de preto (*Enterobium contortisiliquum*); Angico (*Anadenanthera macrocarpa*), usando, na avaliação, os dados climáticos e os índices de conforto térmico. O registro dos dados foi realizado durante 30 dias no inverno, às 8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 e 18:00 horas. Para análise dos resultados foram consideradas como variáveis respostas: temperatura de globo negro, iluminação e a CTR – carga térmica radiante. O delineamento estatístico adotado foi o de blocos causalizados com o teste de *Tukey* para a comparação entre médias. A espécie arbórea que proporcionou a melhor qualidade térmica ao longo do dia e com uma menor redução na carga térmica radiante foi, com um menor sombreamento, o angico (*Anadenanthera macrocarpa*) com 10,0 %; a orelha de preto (*Enterobium contortisiliquum*) com uma redução 13,4 %, a copaíba (*Copaifera langsdorffii*) com uma redução de 14,4 %, seguido pelo pau pereira (*Platycyamus regnellii*) com uma redução de 14,5 %, e a maior redução, sapateiro (*Pera glabrata*) com uma média de 19,9 %. “Os autores recomendam o plantio da espécie Angico (*Anadenanthera macrocarpa*) em cidades próximas da latitude de 21º 57’02”.

Essas pesquisas caracterizaram o efeito das árvores devido ao seu sombreamento através de parâmetros externos e nos fatores intrínsecos às árvores, como as características morfológicas, que definem a área de abrangência da copa e de seu sombreamento.

Alguns pesquisadores avaliaram os efeitos da arborização urbana a partir de dados do diâmetro à altura do peito, altura da árvore, altura da copa, diâmetro da copa e área foliar das árvores (HUANG *et al.*, 1987; SIMPSON, 1998, XIAO *et al.*, 1998). Simpson (1998) relacionou a altura e a copa das árvores com o uso de energia pelas residências, tendo sido registrado economia pela ação do sombreamento. Através de

simulação computacional, Simpson & McPherson (1996) constataram que as árvores plantadas nas direções leste-oeste poderiam propiciar uma economia de energia de até 23%, nos horários de pico.

2.2.2 Umidade

Segundo pesquisadores, a presença da vegetação contribui para a conservação da umidade no solo, atenuando o aquecimento e detendo a irradiação. De acordo com Llandert (1982), a evaporação embaixo da copa das árvores pode ser até dez vezes menor que em campo aberto.

Diversos estudos relatam o aumento da umidade das áreas vegetadas em relação às não vegetadas (FONTES & DELBIN, 2001; LIMA & ROMERO, 2005). Cantuaria (2000) observou que, ao triplicar o número de exemplares arbóreos, houve um aumento de 5% na umidade relativa, sendo que a temperatura do ar não se reduz na mesma proporção.

Pela regulação higrométrica, emissão de vapor da água através das superfícies foliares, a inserção de vegetação nos grandes centros é capaz de combater a aridez do clima urbano. Esse fenômeno ocorre de três maneiras: evaporação física direta das chuvas, transpiração fisiológica das plantas – inversamente proporcional ao grau higrotérmico do ambiente – e a clorovaporização do vapor de água durante a assimilação clorofilica de CO₂ atmosférico, por meio da ação dos raios solares (LLANDERT, 1982).

Com a pavimentação do solo urbano, houve modificações na captura de água das chuvas, levando ao desenvolvimento de muitos modelos de cálculo do escoamento superficial de chuvas (DOUGLAS, 1987; HALL, 1984). De forma geral, o cálculo tende a

ser muito sofisticado e dificulta o uso devido ao excesso de dados solicitado. O elemento mais importante nesse cálculo é o percentual de superfície permeável, fundamental para determinar os coeficientes de escoamento superficial das áreas de captação urbana (WHITFORD *et al.*, 2001).

A identificação do tipo de solo é outro parâmetro muito utilizado para se estudar o desempenho da evaporação da água na superfície do solo de dada área. Porém, dentro de um sistema urbano, onde existem muitas alterações nas camadas, o efeito do tipo de solo não fica muito claro. Algumas pesquisas consideram que as áreas verdes servem como área de captação, independentemente do tipo de solo que as constitui.

2.2.3 Evapotranspiração

A evapotranspiração das plantas tem efeito muito positivo no clima urbano, pois esse processo tem a capacidade de absorver calor, levando à diminuição da temperatura do microclima local nas horas de maior calor. Dimoudi & Nikolopoulou (2003) observaram que quando a temperatura do ar atinge 25°C, a vegetação pára de contribuir com a evapotranspiração, pois seus estômatos vão se fechando à medida que a temperatura se eleva e a velocidade do vento aumenta, evitando a perda de água para o meio.

Jensen *et al.* (1991) definem a evapotranspiração como o processo de transferência da água da superfície do solo vegetado até a atmosfera pela vaporização da água no estado líquido. Engloba dois processos biofísicos: a evaporação da água da superfície do solo e a transpiração; a evaporação é o fenômeno físico de transformação de calor sensível em calor latente e a transpiração é a perda da água de uma vegetação viva em particular pelas folhas, principalmente através dos numerosos

estômatos nelas existentes, excluindo o fenômeno fisiológico como a duração e formação de orvalhos.

Por outro lado, a evapotranspiração é um dos maiores componentes do ciclo hidrológico, pois a maior parte da precipitação total que cai na superfície do solo retorna para a atmosfera, (SHARMA, 1985), sendo certo que 57% da precipitação anual do globo terrestre é perdida pelo processo de evapotranspiração (BUDYKO, 1974). Em pesquisas realizadas nos Estados Unidos, Hamon (1966) constatou que a quantidade de água evapotranspirada é, em geral, de 70% da precipitação anual e de 90% nas regiões áridas. Na Austrália, a média da perda por evapotranspiração é em torno de 92% da precipitação anual (SHARMA, 1985).

O cálculo da evapotranspiração também é muito utilizado em projetos de manejo de irrigação em lugares com escassez de precipitação (HERMANN, 1988). Nos últimos anos, muitos pesquisadores como Santamouris (2001), Montague & Kjelgren (1998) e Kjelgren & Rupp (1997) vêm estudando os benefícios da estimativa da evapotranspiração de árvores no balanço da energia do ambiente urbano.

A estimativa da evapotranspiração requer conhecimentos como fisiologia das plantas, manejo dos recursos hídricos e avaliação ambiental. O conhecimento das definições de evapotranspiração é essencial na estimativa da necessidade de água, sendo que as comparações e as interpretações dos resultados dependem do uso correto das definições (JENSEN *et al.*, 1991).

A estimativa de evapotranspiração inclui técnicas diretas ou indiretas de medição – como lisímetros, tanque de evaporação ou atmômetros – e equações empíricas, sendo que, ao longo do tempo, muitos pesquisadores incluíram várias equações empíricas na avaliação da evapotranspiração.

Thornthwaite (1948) determinou um modelo de estimativa da evapotranspiração potencial mensal, utilizando-se de dados da temperatura média mensal e da latitude local. Segundo o autor, a evapotranspiração é qualquer processo pelo qual a água da

planta ou do solo passa para o estado de vapor. Esse modelo é baseado nas condições físicas do entorno e não considera os gastos fisiológicos da planta.

Matematicamente:

$$E_t = T + I_t + E_s + E_o \quad (01)$$

Onde: T é a transpiração das árvores, I_t é a evaporação da água interceptada, E_s é a evaporação do solo e E_o é a evaporação das superfícies livres.

O modelo foi analisado em função da radiação líquida mensal, comparado com dados medidos por lisímetros, conforme PELTON *et al.* (1960). A estimativa de evapotranspiração medida através de lisímetros revela o real comportamento do processo, mas também é passível de erros caso o equipamento não esteja calibrado.

Penman (1948) determinou a evaporação de uma superfície saturada apoiando-se no conceito de aerodinâmica, sendo ela calculada pelo transporte turbulento do vapor e pela sua difusão no conceito de energia, onde a evaporação foi avaliada a partir da radiação incidente. A combinação em questão é mais conhecida como balanço de energia.

Blaney & Criddle (1950) propõem o modelo de estimativa da evapotranspiração potencial em função da temperatura média, posteriormente modificado por Doorembos & Pruitt (1977), e por Allen & Pruitt (1986; 1991).

A correlação entre a evapotranspiração potencial diária e a radiação solar é obtida por Makkink (1957), posteriormente aperfeiçoada por Doorembos & Pruitt (1977), e por Allen & Pruitt (1991).

Jensen & Haise (1963) determinaram a equação para estimar a evapotranspiração potencial apoiando-se nos dados da temperatura e radiação solar numa região semi-árida. Monteith (1965) incorpora à equação original de Penman as

resistências difusivas do dossel vegetativo e a aerodinâmica, posteriormente aperfeiçoada por Thom (1972), Beven (1979), Stewart (1979), Jensen *et al.* (1991b). Atualmente é conhecida como equação Pennan-Monteith.

Priestley & Taylor (1971) propõem uma equação para estimar a evapotranspiração potencial, baseando-se principalmente na radiação líquida, posteriormente aperfeiçoada por Jury & Tanner (1975).

Doorembos & Pruitt (1977), com o objetivo de padronizar os métodos e cálculos da evapotranspiração, recomendam quatro métodos de referência: Método de Pennan, radiação, Blaney-Criddle e o tanque classe A. Muitos autores recomendam o modelo Penman-Monteith.

Jensen *et al.* (1991a) selecionam 19 modelos empíricos e os agrupam em quatro métodos: Combinação (modelos de Penman), Radiação (Jenen-Haise, Prestley-Taylor, radiação FAO 24 e Turc), Temperatura (Blaney-Criddle, Hargreaves, Thronthwaite) e Tanque de Evaporação (FAO-24, Christiansen).

Santamouris (2001) recomenda o modelo de Kjelgren e Montague (1998), que se fundamenta no balanço de energia proposto por Green (1993) para avaliar a diminuição possível da temperatura do ar devido à evapotranspiração. Ou seja, identificação do valor do calor latente absorvido pelo ar durante a evaporação da água das árvores. Para calcular o calor latente é necessário identificar a taxa total da transpiração das árvores, E_{tot} .

O modelo divide a copa em duas camadas: ensolaradas, topo da copa das árvores, e as sombreadas, parte de baixo da copa. Supõe-se que não há troca de energia entre as duas camadas. A transpiração total da árvore, E_{tot} , em milímetros, é calculada como a contribuição fracionária de cada camada:

$$E_{tot} = E_s \left(\frac{LAI_s}{LAI_{tot}} \right) + E_{sh} \left(\frac{LAI_{sh}}{LAI_{tot}} \right) \quad (02)$$

onde E_s e E_{sh} é a taxa de transpiração, LAI é fator de visão do céu (*Leaf Area Index*), K é o coeficiente de porosidade da folha

De acordo com Montheith e Unsworth (1990), a área da superfície da folha que absorve a radiação solar, LAI_s , pode ser calculada como uma fração de LAI_{tot} total como:

$$LAI_s = (1 - e^{-kLAI})/k \quad (03)$$

onde k é a transmitância ou porosidade da copa da árvore, ou seja, o quanto permite passar de luminosidade - uma função da orientação da folha em relação à superfície da terra e à altura solar (KJELGREN & MONTAGUE, 1998). Assim, a quantidade da área protegida da folha é:

$$LAI_{sh} = LAI_{tot} - LAI_s \quad (04)$$

As taxas de transpiração podem ser calculadas para cada camada como (GREEN, 1993):

$$\lambda E = \frac{\nabla R_n^{s,sh} + \frac{\rho c_p e_a}{r_a}}{\nabla + \gamma \left(2 + \frac{r_s^{s,sh}}{r_a} \right)} \quad (05)$$

onde γ é o calor latente da vaporização(J/g), E é a taxa de transpiração(g/sm² por área da folha), R é a densidade do fluxo de radiação ao sol e a sombra (W/m²), e é o nível de cobertura do déficit de pressão do vapor no ar(Pa), R_a é total da camada de resistência limite de vapor e movimento de calor da folha da árvore(s/m²), $R_{s,x}$ é a média da resistência das folhas na luz do sol e nas camadas de sombra (s/m), ∇ é a diferença da curva de pressão do vapor saturado (Pa/K), g é constante psicrométrica

(66,2Pa), r é a densidade do ar (g/m^3), C_p é a capacidade de calor específico a pressão constante (J/kg).

As variáveis r_s , ($1/\text{g}_s$) e e_a podem ser medidas diretamente; a radiação líquida R_n pode ser calculada pela radiação global de onda curta para as camadas ensolaradas e camadas sombreadas separadamente (KJELGREN & MONTAGUE, 1998). Quando o propósito é calcular r_a , usa-se a seguinte fórmula empírica, proposta por Landsberg e Powell (1973):

$$r_a = 59 p^{0,56} \left(\frac{d}{u} \right)^{0,5} \quad (06)$$

onde d é a dimensão característica da folha, u é o nível de cobertura da velocidade do vento e p é a dimensão do número derivado da relação total da área da silhueta da copa perpendicular à direção horizontal do vento (KJELGREN & MONTAGUE, 1998).

Em estudos recentes, Dornelas *et al.* (2006) destacam a importância da utilização de métodos de radiação para estimar a evapotranspiração em climas brasileiros, visto que a radiação solar é um dos principais elementos atuantes na perda de água através dos vegetais. Em seu estudo utiliza a equação de Angström-Prescott, que correlaciona a radiação R_s com a razão de insolação (n/N), por meio da expressão:

$$\frac{R_s}{R_a} = a + b \left(\frac{n}{N} \right) \quad (07)$$

onde R_s é a radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); n representa as horas de insolação real (h d^{-1}); N é a duração máxima possível do brilho solar (h d^{-1}); R_a é radiação extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); a é o coeficiente que expressa a fração da radiação extraterrestre, que atinge a terra em dias totalmente nublados, correspondente à fração difusa; b é o coeficiente complementar que expressa o total de radiação solar global.

O saldo da radiação é calculado com os dados de R_s observados e estimados pelos coeficientes a e b , obtidos e avaliados com os valores médios anuais 0,25 e 0,50, respectivamente, sugeridos pela FAO (ALLEN *et al.*, 1998). Utilizou-se a metodologia da FAO (ALLEN *et al.*, 1998) para se calcular a evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith-FAO:

$$ET_o = \frac{\left[0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) u_2 (e_s - e_a) \right]}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (08)$$

em que ET_o é a evapotranspiração de referência (mm d^{-1}); R_n é a radiação líquida ou saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo, assumido o valor igual a zero; T é a temperatura média do ar diária, medida a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$); u_2 é a velocidade do vento, medida a 2 m de altura (m s^{-1}); Δ é a declividade da curva de pressão de vapor ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); e_s é a pressão de saturação de vapor (kPa); e_a é a pressão de vapor real (kPa); γ é a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

2.2.4 Vento

Segundo Brown & Dekay (2000), existem três princípios que definem a movimentação do ar: o resultado do atrito onde o ar se movimenta mais lentamente próximo à superfície da terra do que na atmosfera; o resultado da inércia onde o ar tende a se movimentar na mesma direção que seguia antes de encontrar um obstáculo; e o resultado da pressão, onde flui das zonas de alta para as de baixa pressão.

As cidades modificam a rugosidade do terreno, gerando novos microclimas, a partir dos obstáculos encontrados pelos ventos ali predominantes; com o movimento do ar comprometido, acaba contribuindo para o aquecimento dos grandes centros.

Tecnicamente, a avaliação dos efeitos do vento é difícil de ser feita devido ao comportamento da composição urbana ante o fenômeno eólico. Bueno (1998) considera a velocidade do vento um fator coadjuvante no sombreamento, mas de difícil medição por falta de equipamentos adequados. A temperatura do ar e a velocidade do vento dependem da ação das correntes presentes na área.

Pesquisadores constataram que as correntes de ar e os efeitos climáticos dependem da estrutura da superfície da cidade e das condições do tempo (TERJUNG & LOUIE, 1974). Em estudos realizados na cidade de Salvador, Nery *et al.* (2006) observaram que as áreas de alta densidade reduzem a circulação do ar e modificam a direção dos ventos dominantes. Em outro estudo realizado na Alemanha, Nobile (2003) concluiu que as áreas verdes e parques lineares servem para conduzir ar mais fresco dos arredores para os centros, contribuindo para o balanço da energia térmica nos centros das cidades.

Dimoudi e Nikolopoulou (2003) simularam a capacidade da velocidade do ar em distribuir as temperaturas das áreas verdes nas regiões mais áridas da cidade. O maior efeito é a redução da temperatura nas áreas próximas a essas áreas, mas isso depende da morfologia urbana.

Algumas pesquisas ressaltam a importância da vegetação no controle das correntes de ar, associadas às características de filtragem, redirecionamento ou obstrução do caminho do vento e redução da sua velocidade. Em Teresina, Lopes (2006) constatou que os espaços abertos com vegetação arbórea reduzem a velocidade dos ventos ao nível do usuário.

A utilização da vegetação como quebra-vento é destacada por Lechner (1990) em três momentos: redirecionamento do ar para as áreas superiores, criando turbulências e absorvendo a energia do ar por atrito e de acordo com a altura e densidade da copa das árvores. Boutet (1987) constatou a eficiência dos agrupamentos arbóreos em mais de 50% da velocidade do vento em relação a espaços abertos. Watanabe *et al.* (2006) concluíram que a eficiência na redução da velocidade dos

ventos depende da disposição dos indivíduos arbóreos nos espaços abertos. Em regiões de clima quente, o efeito da redução da velocidade do vento pelas árvores não é muito desejável. Segundo Yochida *et al.* (2006), a falta de brisa ao nível do usuário causa desconforto.

Partindo do princípio de que a vegetação funciona como um obstáculo para o fluxo de ar, Vogt *et al.* (2003) constataram que esse efeito é somente parcial. Quando a velocidade do vento é baixa, as correntes de ar penetram pelas copas das árvores, mas quando a velocidade do ar é alta, o fluxo de ar tende a circundá-las.

2.3 Arborização em áreas urbanas e o conforto térmico

Vários estudos referentes à arborização urbana vêm sendo apresentados com diferentes metodologias em função de diferentes combinações de objetivos (MACEDO, 1992; MILANO, 1994; BUENO, 1998; BUENO-BARTHOLOMEI, 2003; MORENO, 2006; PEZZUTO, 2005). Um dos objetivos freqüentemente enfocados é a formação da paisagem urbana relacionada com o clima e cultura local. Toda paisagem surge da sombra, da interceptação da luz e do calor da radiação solar, cujos efeitos estão estreitamente relacionados com o conforto ambiental.

Segundo Givoni (1991), a implantação de indivíduos e agrupamentos arbóreos, assim como as áreas verdes, deve priorizar as sombras para a regulação da radiação e da ventilação para obter o ganho de calor através da radiação. Sattler *et al.* (1987) consideram que o estudo da sombra permite a aplicação desses conceitos na avaliação do conforto ambiental, térmico e luminoso.

Macedo (1992) afirma que se podem organizar espaços exclusivamente por intermédio da vegetação utilizando árvores e arbustos para a composição dos vedos ou planos verticais, a fim de produzir uma paisagem que vislumbre o conforto ambiental.

Esses espaços determinados pela vegetação – clareiras, bosques, gramados, viveiros, reservas naturais, entre outros – têm sua configuração segundo a estrutura do elemento vegetal utilizado – sua forma e quantidade, critérios de assentamento, predominância, altura, textura, cor, e transparência. Segundo o autor, a disposição de elementos arbóreos interfere no campo visual do transeunte, por exemplo, se estiver em um gramado ou em um caminho, terá uma visão mais ampla do que em um bosque (Figura 8). No caso de indivíduos arbóreos isolados, uma árvore tem pouca importância em espaços livres de grande e médio porte, mas se estiver num pequeno pátio, pode se tornar um elemento estrutural.

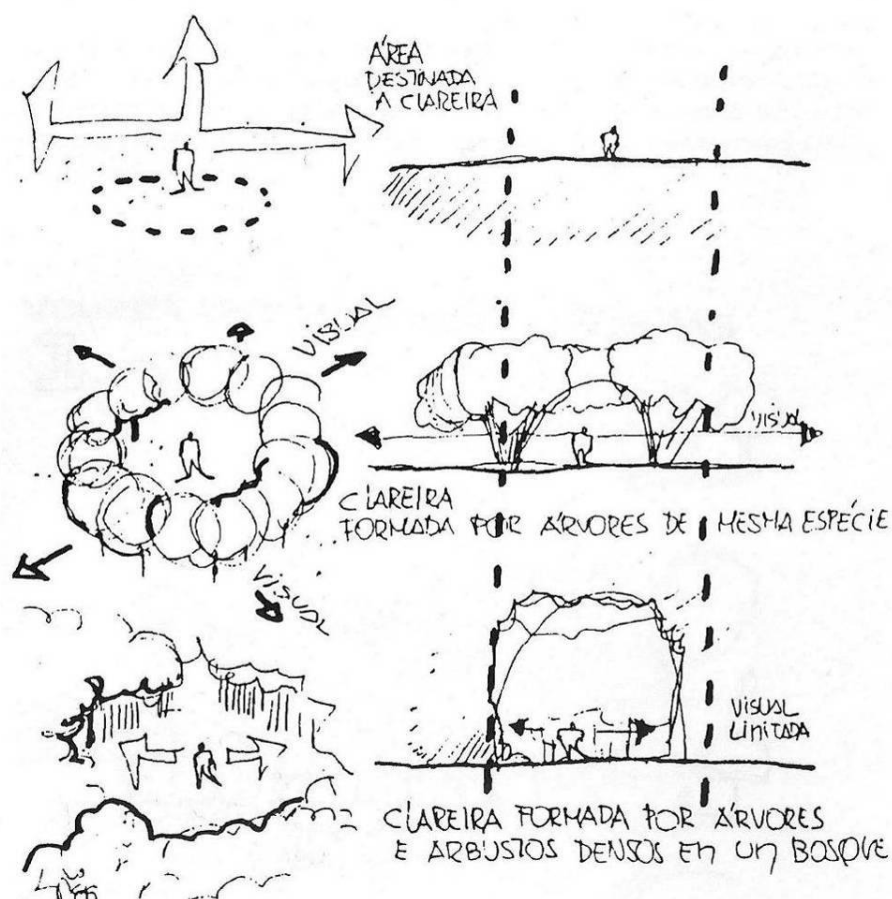


Figura 8 – Vegetação como elemento de projeto
Fonte: Macedo (1992)

Peixoto *et al.* (1995) caracterizou a disposição de indivíduos arbóreos baseado na produção de sombra, onde pode-se entender por sombra a interceptação da luz e do calor da radiação solar, cujos efeitos estão estreitamente relacionados com o conforto ambiental. A tabela 1 apresenta uma listagem de fatores que, em diferentes combinações, influenciam o resultado final de conforto.

TABELA 01- características do ambiente natural e das espécies ligadas a arborização urbana.

Características ligadas ao ambiente natural		
Composição	• Puras • Mistas	• Homogêneas • Heterogênea
Densidade	• Indivíduos isolados • Indivíduos parcialmente isolados	• Agrupados em conjuntos rarefeitos • Agrupados em conjuntos densos
Área ocupada	Tamanho (m ² - ha)	forma: linear circular oval
Disposição dos indivíduos	• isolados • pontuais • casuais	• difuso • intersectantes • aglomerados
Características ligadas à espécie		
Copa	Densidade Tamanho da copa	
Textura	Folhagem	
Disposição dos elementos da árvore	Ramificação do tronco Ramificação e disposição da ramagem e galhada	
Fisio-ecológicas morfológicas e características	Flor, fruto e semente Caule Folha	Sazonalidade Fenologia

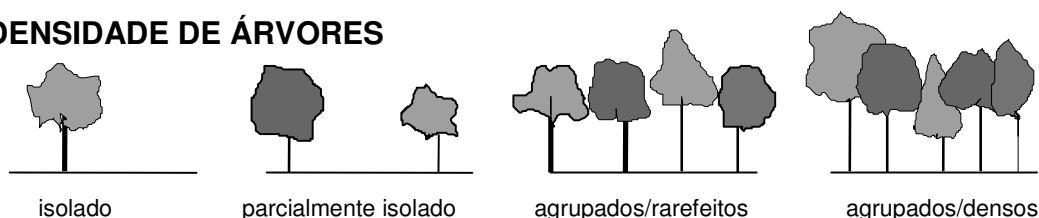
Fonte: PEIXOTO *et al.* (1995)

Em relação a aspectos da forma, os autores consideraram 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. Junto a essas características de forma foram também consideradas as características peculiares a cada elemento componente da árvore.

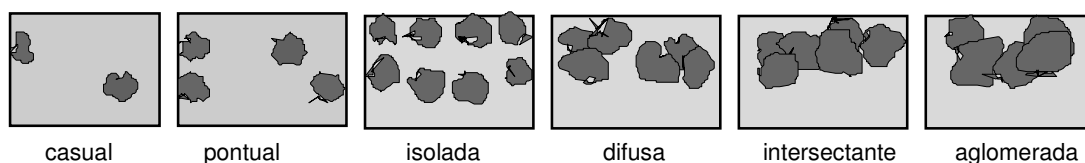
Além disso, a forma, o tamanho e a espessura das folhas, ou a presença de pelos cuticulares e densidade dos mesófilos, interferem na quantidade e qualidade de luz transmitida. O mesmo acontece com o caule (como diâmetro, cor, rugosidade e altura) ou com os elementos de reprodução (como cor, tamanho, forma e disposição de flores, frutos e sementes).

Observando que nas cidades, os indivíduos arbóreos costumam ocorrer em formas combinadas e, de acordo como os arranjos no meio urbano, o resultado relativo ao conforto será específico, Peixoto *et al.* (1995) concluíram que a disposição, a densidade e a forma influem em função dos arranjos resultantes, (figura 9).

DENSIDADE DE ÁRVORES



DISPOSIÇÃO DOS INDIVÍDUOS



FORMA

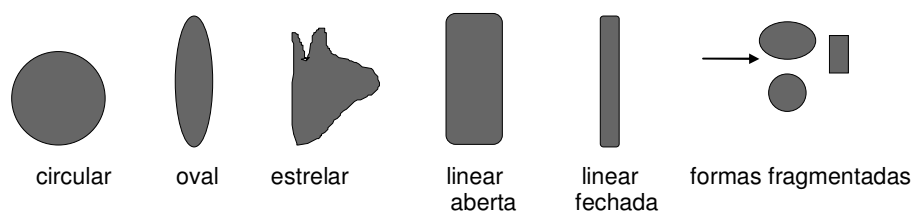


Figura 9 - Características ligadas a densidade, disposição e forma de conjuntos arbóreos
Fonte: PEIXOTO et al. (1995)

Vale salientar que a principal consideração dos autores nesses arranjos foi o 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).

Para que um planejamento de conforto térmico no ambiente urbano seja satisfatório, é necessária a observação do clima em relação aos elementos determinantes: os espaços construídos, a composição das superfícies, a disposição de seus elementos e a densidade de atividades/construções modificando o ambiente natural.

Nessa mesma linha de pensamento, Lechner (1990) define algumas diretrizes de implantação de árvores em relação à edificação de acordo com o clima. A combinação de elementos paisagísticos, tais como árvores, arbustos, forração, trepadeiras e elementos construídos, tais como pergolados, espelhos d'água, fontes, entre outros, favorece o conforto. Nessa pesquisa, destacam-se a utilização de árvores e arbustos para o sombreamento dos caminhos e o controle do movimento do ar.

Givoni (1991) destaca que a radiação – principal fonte de ganho de calor –, a umidade e o vento, são variáveis climáticas muito importantes na sensação de bem-estar das pessoas em ambientes externos.

Na avaliação do conforto térmico em ambientes externos, deve-se considerar a taxa de metabolismo, a vestimenta e a radiação solar. O efeito combinado dos fatores climáticos e da atividade exercida pelo usuário aponta respostas fisiológicas, principalmente no resultado das taxas de sudorese, além da consideração de fatores psicológicos na complexidade dessa análise, (LOIS & LABAKI, 2001).

Givoni et al. (2003) propuseram a equação 11 para avaliar a sensação térmica das pessoas em função dos parâmetros ambientais em espaços externos através da equação:

$$TS = 1,7 + 0,1118 \times Ta + 0,0019 \times SR + 0,322 \times WS + 0,0054 \times ST \quad (09)$$

Onde: TS é a sensação térmica, T_a é a temperatura do ar à sombra ($^{\circ}\text{C}$), SR é a radiação solar horizontal (W/m^2), WS é a velocidade do ar (m/s), RH é a umidade relativa (%), ST é a temperatura da superfície ao redor ($^{\circ}\text{C}$).

Para a sensação térmica (TS) ser confortável, o valor deve estar entre 5 a 7; para desconfortável, abaixo de 5.

Essa pesquisa avaliou, numa área externa, três situações - sob a sombra de uma árvore, ao sol, e ao sol protegido do vento – e, em diferentes épocas do ano, a resistência térmica da vestimenta de 1,1 clo¹ para primavera e outono, 0,65 clo para verão, e 1,67 clo para inverno. Os autores concluíram que o conforto térmico é uma condição necessária, mas não suficiente, para uma sensação “positiva” harmonizando com o ambiente.

Através de um estudo comparativo sobre as conformações urbanas e o conforto térmico em ambientes externos, Ahmed (2003) estabelece um critério de zona de conforto em zona tropical urbana no verão, para pessoas que desempenham uma atividade exercida de 1 Met² e roupas com resistência térmica de 0,5 clo. Essa pesquisa concluiu que o desenho urbano, em relação ao conforto térmico em áreas externas, deveria criar ou prover uma grama térmica razoável, ao invés de tentar criar uma condição térmica fixa (Figura 10).

¹ clo: unidade de resistência térmica da vestimenta, 1 clo = 0,155m² °C/W

² Met: unidade de taxa de metabolismo, função da atividade, 1 met = 58,2W/m²

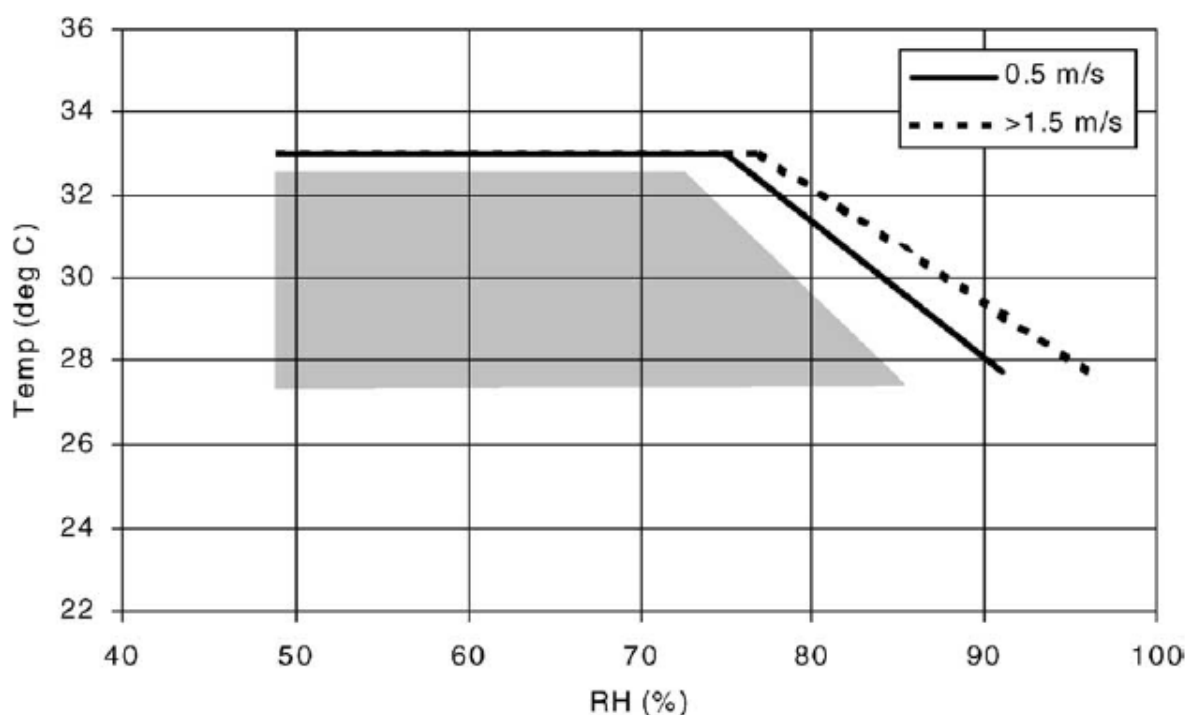


Figura 10 – Zona de conforto para verão em ambientes externos
Fonte: AHMED (2003)

Moreno (2006) adaptou o gráfico de Ahmed (2003) para o clima tropical de altitude, através dos índices de amplitude térmica, da umidade média relativa, e, através de questionários, com a vivência das pessoas no que se refere às condições climáticas. Nessa pesquisa foi considerada a sensação térmica de 1 a -1 para a delimitação da zona de conforto, assim como a gradação de confortável, aceitável conforto, tolerável conforto e desconfortável inserida nessa zona (figura 11).

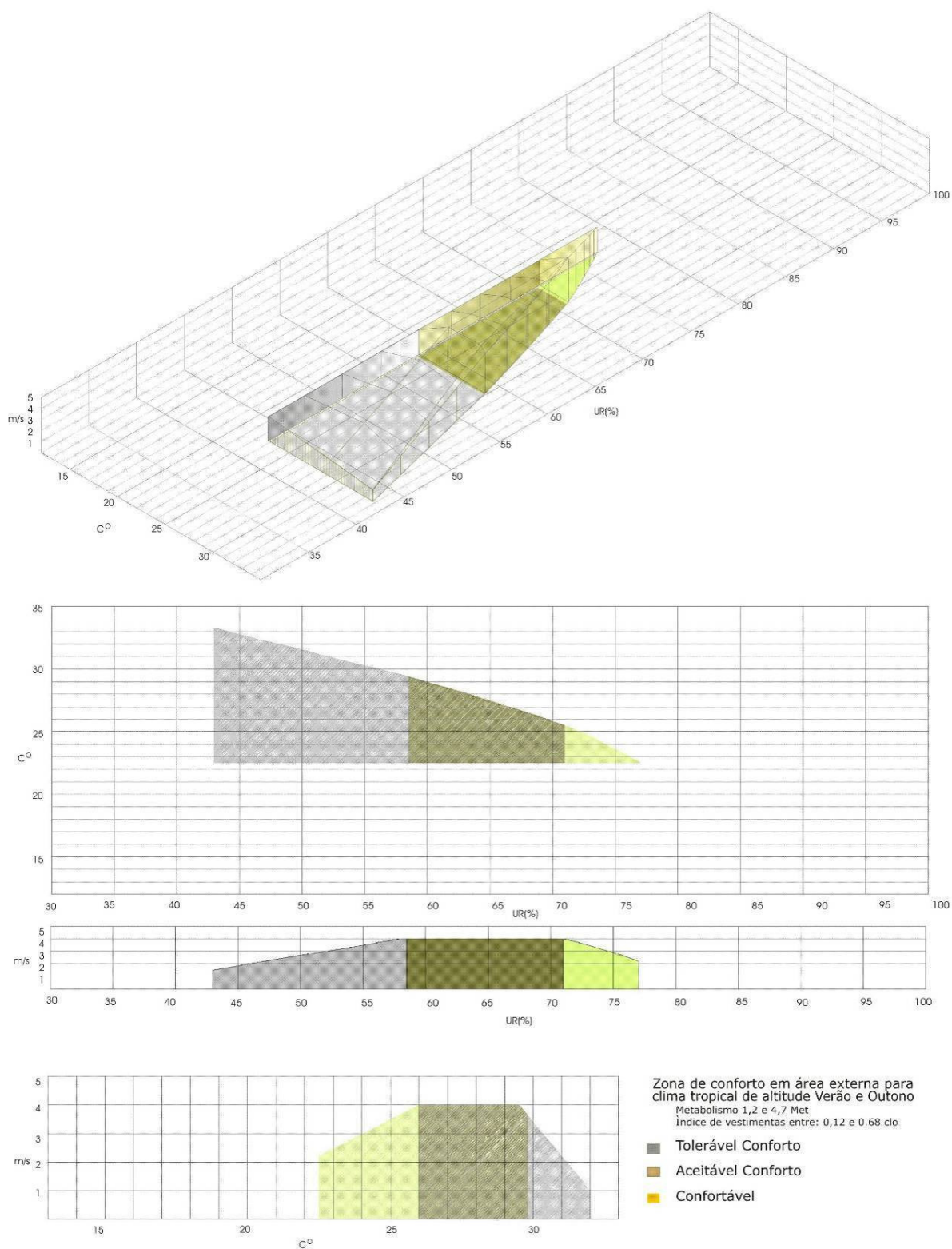


Figura 11 – Zona de conforto para clima Tropical de Altitude

3 METODOLOGIA

Este estudo avaliou o raio de influência no microclima por diferentes espécies arbóreas através do cruzamento de dados sobre o percentual de atenuação da radiação solar pelo método de Bueno-Bartholomei (1998; 2003), a taxa de evapotranspiração dos indivíduos arbóreos pelo método Penman-Monteith (FAO-56), a variação da temperatura do ar e da umidade em diferentes distâncias, e o cálculo do conforto térmico em ambientes externos pelo método de Moreno (2006).

Esta pesquisa dá continuidade ao estudo sobre atenuação da radiação solar por diferentes espécies arbóreas desenvolvido por Bueno-Bartholomei (1998; 2003). O delineamento foi experimental, tendo os resultados sido manipulados de acordo com a variação da distância entre os pontos de medição em relação ao tronco de cada indivíduo arbóreo. Com o objetivo de obter uma comprovação em campo, por diferentes espécies arbóreas e pela influência da disposição de indivíduos e agrupamentos, em ambientes externos, para o conforto térmico, foram avaliadas cinco espécies arbóreas – Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.), Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.), Jambolão (*Syzygium cumini* L.), Mangueira (*Mangifera indica* L.), e Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.). Para o desenvolvimento desse estudo, foram cumpridas as seguintes etapas:

- Seleção das escalas;
- Levantamento e seleção das espécies, indivíduos e agrupamentos arbóreos a serem amostrados;
- Medições de campo (teste e válidas);

- Análise dos resultados obtidos.

3.1 Seleção da escala

As escalas adotadas nesta pesquisa foram microclimática e instantâneas, que permitem avaliar as condições de tempo e não do clima de um determinado local. No caso, o grau de influência “*in loco*” da atenuação da radiação solar e da variação da temperatura e da umidade por indivíduos e agrupamentos arbóreos.

Segundo Monteiro (1976), Caudrat & Pita (1997) e Bueno-Bartholomei (2003), as árvores situadas em um raio de, aproximadamente 1km, sofrem influência dos dados climáticos (radiação solar, temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar e velocidade do vento), das escalas macroclimáticas e mesoclimáticas. Por exemplo, se uma frente fria chega à cidade, todas as árvores sofrerão sua influência.

Nessa pesquisa foi adotada a escala de clima local, a mesma adotada na pesquisa de Bueno-Bartolomei (2003), onde os indivíduos arbóreos sofrem influências do entorno imediato. Nessa escala devem ser consideradas as mesmas condições do entorno – ausência de sombra das edificações ou outras árvores; topografia do terreno não muito acidentada; uniformidade das condições em torno das árvores relacionada à ausência de pavimentação e construções próximas; padronização da superfície nos pontos de medição - e de tempo – a céu aberto, sem ou com poucas nuvens.

3.2 Seleções dos indivíduos e agrupamentos arbóreos

Nessa etapa, para a escolha dos indivíduos e agrupamentos arbóreos, foram considerados dois aspectos simultâneos: fatores físicos relacionados ao meio e as espécies selecionadas.

3.2.1 Seleção das espécies e dos locais de medição

Na seleção dos locais de medição, observou-se os seguintes aspectos:

- Disposição isolada dos indivíduos e agrupamentos arbóreos avaliados, livres de interferência de elementos externos, tais como árvores e edificações;
- Topografia do terreno pouco acidentada;
- Uniformidade do piso em torno das árvores e dos pontos de medição, ou seja, a ausência de pavimentação e, preferencialmente, a presença de uma cobertura vegetal rasteira;
- Local seguro, tal como o Campus da Unicamp, afastando o pesquisador do perigo de roubo e assaltos.
- Local acessível e, ao mesmo tempo, sem a interferência de terceiros nos equipamentos;

Para seleção das espécies arbóreas foram considerados:

- As comumente encontradas na região da cidade de Campinas;
- As que estiverem em idade adulta;
- As que estiverem seguindo as características específicas de cada espécie.
- As que estiverem disponíveis nos locais de medição.

A tabela 03 apresenta os locais de medição das espécies selecionadas.

TABELA 03 – Locais de medição

Espécie Arbórea	Localização	Disposição
IPE- AMARELO (<i>Tabebuia chrysotricha</i> (Mart. ex DC.) Stand.)	UNICAMP	Isolada
JACARANDÁ (<i>Jacarandá mimosaeifolia</i> D.Don.)	UNICAMP	isolada
JAMBOLÃO (<i>Syzygium cumini</i> L.)	UNICAMP	isolada
MANGUEIRA (<i>Mangifera indica</i> L.)	UNICAMP	isolada
CHUVA DE OURO (<i>Senna siamea</i> L.)	UNICAMP	agrupamento

3.2.2 Caracterização das espécies selecionadas e analisadas

De acordo com o levantamento de campo das espécies escolhidas, os indivíduos arbóreos selecionados apresentaram as seguintes características:

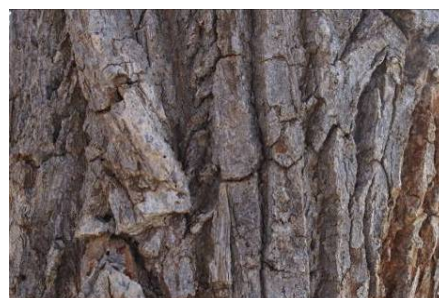
A) IPE- AMARELO (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.)



Árvore analisada



Folhas



Tronco

Figura 12 – Espécie analisada: Ipê-Amarelo
(*Tabebuia Chrysotricha* (Mart. Ex DC.) Stand.)

- Altura aproximada da árvore: 8,31 metros
- Altura do fuste: 3,11 metros
- Diâmetro do Tronco: 34 cm
- Cor do Tronco: acinzentado
- Rugosidade do Tronco: muito rugoso
- Diâmetro da Copa: 7,12 metros
- Densidade da Copa: media
- Comprimento da Folha: 7 cm
- Largura da Folha: 5,8 cm
- Cor da Folha: verde claro
- Informações ecológicas: Caducifolia

B) JACARANDÁ (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.)



Árvore analisada



Folhas



Tronco

Figura 13 – Espécie analisada: Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.)

- Altura aproximada da árvore: 10,77 metros
- Altura do fuste: 54 cm
- Diâmetro do Tronco: 80,19 cm
- Cor do Tronco: acinzentado
- Rugosidade do Tronco: pouco rugoso
- Diâmetro da Copa: 8,57 metros
- Densidade da Copa: media
- Comprimento da Folha (Folículos): 1,40 cm
- Largura da Folha: 0,40 cm
- Cor da Folha: verde claro.
- Informações ecológicas: Caducifolia

C) JAMBOLÃO (*Syzygium cumini* L.)



Árvore analisada



Folhas



Tronco

Figura 14 – Espécie analisada: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

- Altura aproximada da árvore: 8 m
- Altura do fuste: 1,75 metros
- Diâmetro do Tronco: 43 cm
- Cor do Tronco: marrom claro
- Rugosidade do Tronco: rugoso
- Diâmetro da Copa: 9,27 metros
- Densidade da Copa: Densa
- Comprimento da Folha: 15 cm
- Largura da Folha: 6,0 cm
- Cor da Folha: verde escuro
- Informações ecológicas: Perenifólia

D) MANGUEIRA (*Mangifera indica* L.)



Árvore analisada



Folhas



Tronco

Figura 15 – Espécie analisada: Mangueira (*Manguiфера indica* L.)

- Altura aproximada da árvore: 8,48 m
- Altura do fuste: 1,70 metros
- Diâmetro do Tronco: 48 cm
- Cor do Tronco: marrom claro
- Rugosidade do Tronco: pouco rugoso
- Diâmetro da Copa: 9,52 metros
- Densidade da Copa: Densa
- Comprimento da Folha: 30 cm
- Largura da Folha: 5,5 cm
- Cor da Folha: verde escuro
- Informações ecológicas: Perenifólia

E) CHUVA DE OURO (*Senna siamea* L.)



Árvore analisada



Folhas



Tronco

Figura 16 – Espécie analisada: Chuva-de-ouro (*Senna Siamea* L.)

- Altura aproximada da árvore: 9,75 m
- Altura do fuste: 2,16 m
- Diâmetro do Tronco: 30 cm
- Cor do Tronco: marrom claro
- Rugosidade do Tronco: pouco rugoso
- Diâmetro da Copa: 5,15 m
- Densidade da Copa: média
- Comprimento da Folha: 8,5 cm
- Largura da Folha: 5,5 cm
- Cor da Folha: verde médio
- Informações ecológicas: Caducifolia

Características do agrupamento segundo Peixoto et al. (1996):

- Composição: Pura/ Heterogenia
- Densidade: agrupamentos rarefeitos
- Disposição dos indivíduos: isolada
- Forma: estrelar
- Número de indivíduos: 5 árvores
- Distância média entre elas: 8 metros

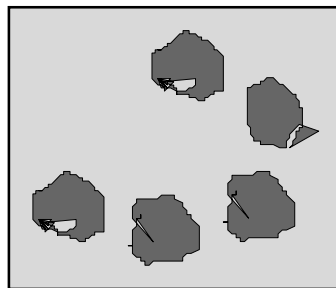


Figura 17 – Forma do agrupamento

3.3 Medições de campo

3.3.1 Levantamento dos parâmetros ambientais

A) Experimento 01

A coleta de dados foi feita através de levantamento dos parâmetros ambientais de cada indivíduo arbóreo: temperatura do ar, temperatura de globo, umidade relativa do ar, velocidade do vento, em 4 posições em relação ao indivíduo ou agrupamento arbóreo - na sombra, no sol a 10m, 25m e 50m (figura 18). A radiação solar é medida em duas situações: sombra e sol, sendo que os dados são registrados de 10 em 10 minutos, durante 12 horas – período das 6h às 18h.

Cada ponto de medição possui um tripé com (figura 19):

- um registrador de temperatura e umidade, modelo Testo 175-H1;
- um sensor de temperatura, modelo testo 0613 171, colocado no interior de um globo cinza, que simula a sensação de um indivíduo com vestimenta;
- um registrador de temperatura, modelo testo 175-T2, conectado ao sensor de temperatura.

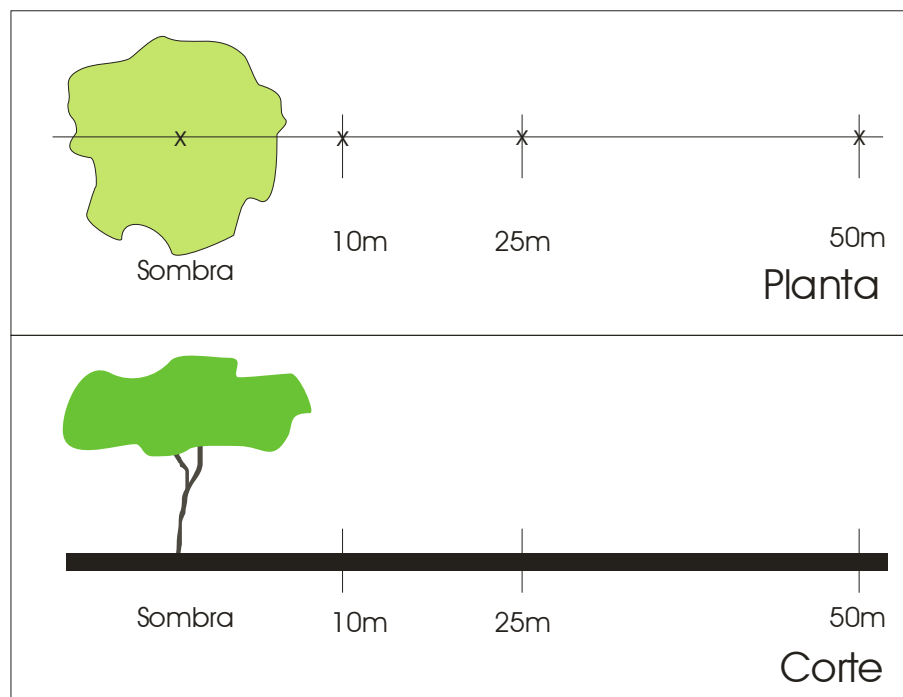


Figura 18 – Posicionamento dos registradores: experimento 01.



Figura 19 – Tripé fixado com registradores protegidos

Os registradores foram posicionados dentro da cobertura de pratos plásticos, na cor branca, a fim de protegê-los da insolação excessiva e, ao mesmo tempo, permitir a ventilação. Este cuidado com os equipamentos é fundamental para garantir a confiabilidade dos dados registrados.



Figura 20 – Primeiro tripé utilizado com registradores e globo proteções

Inicialmente, a montagem do tripé para a medição dos parâmetros ambientais foi feita da seguinte maneira (Figura 20):

- um registrador de temperatura e umidade, modelo Testo 175-H1, leituras de 10 em 10 minutos;
- um termopar, tipo Minipa MTK 01, colocado no interior do globo cinza;
- um termômetro digital, modelo Instruterm TH 090, conectado ao termopar com leituras de hora em hora.

Após teste com essa montagem, o termopar foi substituído pelo sensor de temperatura e a proteção plástica do globo foi removida.

O registro da velocidade do ar foi feito através de anemômetro/termômetro digital Testo 445 com sensor 0635-1549, protegido por uma caixa de isopor acoplada a um tripé (figura 21).



Figura 21 – Anemômetro digital Testo 445 com o sensor 0635-1549 acoplado

A radiação solar é registrada através de solarímetros de tubo, modelo TSL-DELTA-T Devices, conectados a um integrador de coleta automática dos dados, modelo DL2 - DELTA-T Devices (Figura 22 e 23). Este equipamento registra a radiação incidente na faixa de 350nm a 2500nm e sua resposta espectral abrange a região do visível ao infra-vermelho de onda curta.



Figura 22 – Solarímetro de tubo, Delta-T TSL



Figura 23 – Registrador Delta DL2 Datalogger

O solarímetro e o tripé com os registradores de temperatura do ar/umidade e temperatura de globo, situados à sombra, têm sua posição alterada três vezes ao dia (às 9h, 12h e 15h) acompanhando o sombreamento da copa da árvore.

B) Experimento 02



Figura 24 – Posicionamento dos registradores: experimento 02

A coleta de dados foi feita através de levantamento dos parâmetros ambientais de cada indivíduo arbóreo: temperatura do ar e umidade relativa do ar, em 6 posições fixas – a 2,5m, 5m, 7,5m, 10m, 12,5m, 15m - em relação ao indivíduo ou agrupamento arbóreo (figura 24). Os dados foram registrados de 10 em 10 minutos, durante 12 horas – período das 6 h às 18h.

Em cada ponto de medição possui um tripé com um registrador de temperatura e umidade protegido, modelo Testo 175-H1. Durante os três dias de medição, os

equipamentos são posicionados nas mesmas distâncias em diferentes direções: norte, leste e oeste.

C) Levantamento Fotográfico

Para o cálculo do fator de extensão do céu foi utilizada uma lente grande angular com efeito *eye-fish* (olho-de-peixe), Optex OZL-225 de 37 mm, acoplada a uma câmera fotográfica digital, cybershots 5.1 megapixels. A foto foi tirada na posição ortogonal à uma altura média de 1,50m em relação ao chão e debaixo da copa da árvore, segundo o método de Tsutsumi *et. al.* (2003), (figura 25). A partir da imagem gerada, o fator de folha verde, *Green Leaf Factor*, é obtido a partir da relação da área das folhas com o círculo da fotografia. O ponto central da foto é o local onde foi tirada a foto.

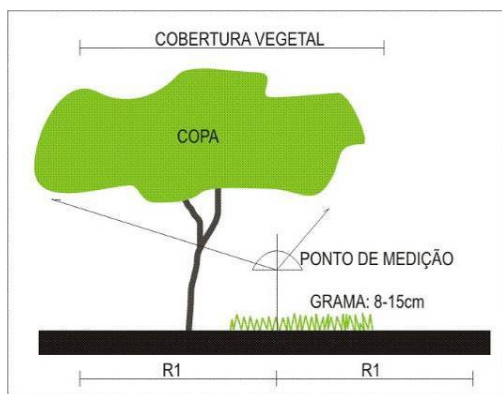


Figura 25– Posicionamento da Câmera com a lente olho de peixe (Eye-fish)

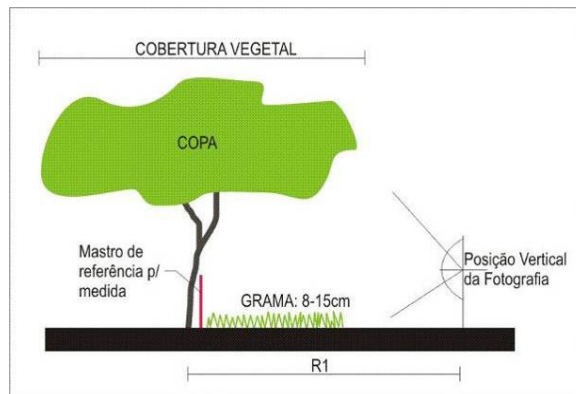


Figura 26– Posicionamento da Câmera para o levantamento das dimensões da árvore

Para o levantamento fotográfico das características dos indivíduos e agrupamentos arbóreos, foi utilizada uma câmera fotográfica digital Alfa-100, Sony, lente 35-80 mm, 10.1 megapixel. Para calcular as dimensões das árvores pelo método de triangulação e perfil de borda, um mastro de referência a 1 metro é posicionado

próximo ao tronco da árvore e a foto é tirada a uma determinada distância (figura 26). A partir dessas imagens, foram estimadas as dimensões dos indivíduos e agrupamentos arbóreos.

3.3.2 Métodos de Tratamento

O cruzamento de dados do experimento 1 e 2 - temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento – foram aplicados à zona de conforto para clima tropical de altitude em áreas externas por Moreno (2006). A zona de conforto desse método considera três situações: confortável, aceitável conforto, tolerável conforto. Os resultados, que fiquem fora da zona de conforto, são considerados desconfortáveis, tabela 04.

TABELA 04 – Intervalo para as variáveis temperatura do ar (Ta), umidade relativa do ar (Ur) e temperatura de globo (Tg) relacionadas à velocidade do vento

Classificação		Ta (°C)	Ur (%)	Tg (°C)
Confortável		25 a 26	77 a 71	24 a 27,9
Razoavelmente confortável	Aceitável Conforto	26 a 28,4	70 a 58,5	28 a 32,7
	Tolerável Conforto	28,5 a 33,5	58,6 a 43	32,8 a 39
Desconfortável		Acima de 33,6	Abaixo de 42	Acima de 39,1

Fonte: Moreno (2006)

Segundo a autora, a interpolação entre a sensação térmica e a sensação em relação à temperatura de globo resultou três intervalos: confortável, razoavelmente confortável e desconfortável.

A partir dos dados coletados nos experimentos 1 e 2, foram realizados testes estatísticos de variâncias e de comparação de médias (*Tukey*), com o auxílio do software estatístico MINITAB, para identificar a investigação do raio de influência significativo de cada espécie arbórea.

A porcentagem de radiação atenuada pelos indivíduos arbóreos e os agrupamentos foram obtidos pela metodologia de Bueno-Bartholomei (1998; 2003), que consiste em fazer medições das variáveis climáticas e da radiação solar a sombra e ao sol simultaneamente, de acordo com a expressão (10):

$$AT = (S_{\text{sol}} - S_{\text{sombra}} / S_{\text{sol}}) \times 100 \quad (10)$$

onde, AT é atenuação da radiação solar (%); S_{sol} é a área do gráfico, que fornece a energia total incidente (kW.h/m^2), coletado pelo solarímetro ao sol, no intervalo de tempo considerado (o dia todo); e S_{sombra} é a área do gráfico, que fornece a energia total incidente (kW.h/m^2), coletado pelo solarímetro à sombra, no intervalo de tempo considerado (o dia todo).

Para a análise adequada das atenuações de radiação solar, foram calculados os erros padrões das médias dessas atenuações pela seguinte fórmula (TOPPING, 1972):

$$\alpha = \sigma / \sqrt{n} \quad (11)$$

onde, α é o erro padrão médio; σ é o desvio padrão médio; e N é o número de elementos.

A estimativa da transpiração máxima para indivíduos arbóreos isolados foi calculada pelo o modelo de Penman-Monteith (Monteith, 195), adaptado para folhas hipoestomáticas, conforme apresenta a equação (12) para um intervalo de tempo de 10min, num período de 12h.

$$T = AF \frac{s.Rnf + 600.p.cp.\frac{\Delta_e}{ra}}{\lambda \left[s + \gamma \left(2 + \frac{rc}{ra} \right) \right]} \quad (12)$$

onde, T é a transpiração máxima das árvores ($\text{Kg}^{-1} \text{ árvore} 10 \text{ min}^{-1}$), AF a área foliar (m^2); a R_{nf} o saldo de radiação efetivo da copa ($\text{MJ m}^{-2} \text{ de folha } 10 \text{ min}^{-1}$); r_a a resistência aerodinâmica à difusão de vapor (s m^{-1}); ρ é a densidade de ar (kg m^{-3}); c_p é o calor específico do ar seco ($\text{J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$), λ é o calor latente de vaporização da água (MJ kg^{-1}); γ é o coeficiente psicrométrico ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); Δe é o déficit de pressão de vapor de água no ar (kPa).

A energia radiante absorvida pelas árvores (R_{nf}) foi calculada pela diferença de radiação solar medida simultaneamente a sombra e ao sol através dos solarímetros de tubo.

Segundo Landsberg & Powell (1973), a resistência aerodinâmica (r_a) de uma planta isolada ou agrupamento é em função da velocidade do vento, da razão entre a área frontal e a área foliar, bem como a dimensão das folhas. A equação (13) adaptada por Landsberg & Jones (1981) é apresentada:

$$r_a = 58 \cdot \rho^{0.56} \left(\frac{\delta}{u} \right)^{0.5} \quad (13)$$

onde, ρ é a razão entre a área foliar e a área frontal de cada árvore na direção do vento predominante; u é o vento medida na altura média das copas (m/s); δ é uma dimensão características das folhas dada pela raiz quadrada da área média das folhas da árvore (afm).

O valor de A_{mf} foi calculado por amostragem onde foram coletadas 20 folhas de cada espécie arbórea. A média da medida máxima do comprimento (C) e da largura (L) das folhas foi multiplicada pelo coeficiente 0,7, de acordo com Angelocci (1993) e Marin *et al.* (2003). Os autores calcularam esse coeficiente de variação das medidas de largura e altura da folha após uma pesquisa de campo na qual foi analisada a dimensão de todas as folhas de três árvores da mesma espécie, Lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tan.).

A tabela 05 apresenta os valores de ρ e δ das árvores estudadas.

TABELA 05 – Valores de ρ e δ das árvores estudadas.

Espécies Arbóreas	Área foliar (m²)	Área frontal (m²)	ρ	δ
IPE- AMARELO (<i>Tabebuia chrysotricha</i> (Mart. ex DC.) Stand.)	32.77	37.02	0.8852	0.0533
JACARANDÁ (<i>Jacaranda mimosaeifolia</i> D. Don.)	16.44	37.02	0.4441	0.0063
JAMBOLÃO (<i>Syzygium cumini</i> L.)	18.55	37.02	0.5010	0.0794
MANGUEIRA (<i>Mangifera indica</i> L.)	62.14	57.94	1.0726	0.1075
CHUVA DE OURO (<i>Senna Siamea</i> L.)	67.65	64.55	1.0481	0.0452

De acordo com a proposição de Pereira et. al. (2006), a resistência aerodinâmica à difusão de vapor se baseia no enfoque de Monteith (1965), descrição do “modelo da grande folha” (*big-leaf model*). Esse modelo assume a cobertura vegetal como se fosse uma única grande folha, com um determinando valor de R_{nf} e r_f . Descreve-se o balanço de energia dessa cobertura pela equação (14):

$$R_{nf} = H + \lambda E \quad (14)$$

onde, R_{fn} é o saldo de radiação efetivo da cobertura vegetal ($W\ m^{-2}$ de folha), H é a densidade de fluxo de calor sensível entre a vegetação e a atmosfera ($W\ m^{-2}$ de folha), dado pela equação (15); λE é a densidade de fluxo de calor latente proveniente da copa ($W\ m^{-2}$ de folha), dado pela equação (16).

$$H = \frac{\rho \cdot c_p (T_f - T_{ar})}{r_a} \quad (15)$$

$$\lambda E = \frac{\rho \cdot c_p \cdot (e_f - e_{ar})}{\gamma (r_c + 2r_a)} \quad (16)$$

Onde, T_f é a temperatura da grande folha ($^{\circ}\text{C}$); T_{ar} é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$); e_r é a pressão atual de vapor da cavidade estomática (kPa), considera igual a pressão de saturação de capo à temperatura da folha; e_{ar} é a pressão atual de vapor de ar turbulento (kPa); γ é o coeficiente psicrométrico ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); r_f é a resistência à difusão de vapura da “grande folha” (s m^{-1}).

Substituindo-se as equações (15) e (16) na equação (17), tem-se:

$$R_{nf} = \frac{\rho \cdot cp (T_f - T_{ar})}{ra} + \frac{\rho \cdot cp (e_f - e_{ar})}{\gamma (rc + 2ra)} \quad (17)$$

Considerando que não haja restrições hídricas, existem evidências de que a temperatura média das folhas do dossel seja próxima do ar devido ao processo transpiratório onde há perda de energia na forma de calor latente. Logo, resume-se a equação (17) em (18), evidenciando R_f , obtêm a equação (19):

$$R_{nf} = \frac{\rho \cdot cp \cdot \Delta e}{\gamma \cdot (r_f + 2ra)} \quad (18)$$

$$r_f = \frac{\rho \cdot cp \cdot \Delta e}{\gamma \cdot R_{nf}} - 2ra \quad (19)$$

Para comparar a estimativa de transpiração das árvores isoladas, foi calculada a evapotranspiração de referência (ET_o). A equação de Penman-Monteith na forma parametrizada (20) para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) utilizada foi:

$$ET_o = \frac{s \cdot (R_n - G)}{(s + \gamma^*) \lambda} + \frac{600 \cdot \rho \cdot cp \cdot \Delta e}{\lambda \cdot ra \cdot (s + \gamma^*)} \quad (20)$$

onde, ET_o é evapotranspiração de referência ($\text{mm}10\text{min}^{-1}$); R_n é o saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} 10\text{min}^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} 10\text{min}^{-1}$), considerando o período

diurno; ρ a densidade do ar (kg m^3); c_p é o calor específico do ar ($\text{J Kg}^{-1} \text{K}^{-1}$); Δe é o déficit e pressão de vapor de ar (kPa), dado por (21):

$$\Delta e = e_s - e_a \quad (21)$$

Sendo, e_a a pressão atual de vapor do ar (kPa) e e_s a pressão de vapor de saturação (kPa) determinada a cada 10 min. pelas equações (23) e (24):

$$e_a = \frac{e_s \cdot UR}{100} \quad (22)$$

$$e_s = 0.6110 \frac{(7.5.T)}{(273.3+T)} \quad (23)$$

Sendo, s a declividade da curva de pressão de vapor determinada pela expressão (24):

$$s = \frac{4098.e_s}{(T + 273.3)^2} \quad (24)$$

sendo, T a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$); γ^* o coeficiente psicrométrica modificada ($\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$), dada pela relação(25):

$$\gamma^* = \gamma.(1 + 0.33.U_2) \quad (25)$$

sendo, U_2 a velocidade medida a 2m e γ o coeficiente psicrométrico ($0,066\text{Pa}^{\circ}\text{C}^{-1}$); r_a a resistência aerodinâmica (s m^{-1}), obtida pela relação (26):

$$r_a = \frac{208}{u_2} \quad (26)$$

3.4 Testes

3.4.1 Teste da Metodologia

Para verificar a validade da metodologia do experimento 1, avaliação do raio de influência da vegetação, foi realizada uma medição experimental no indivíduo arbóreo da espécie Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.). Nesse teste, foram coletados dados dos parâmetros ambientais em distâncias diferentes (à sombra, 10m, 25m e 50m) e durante 3 dias, 14 a 16 de fevereiro de 2007. No período de 8 horas (das 9h até 17h), a temperatura do ar, umidade e radiação solar foram coletadas de 10 em 10 minutos, e a temperatura de globo e a velocidade do vento, de hora em hora.

Verificou-se que a temperatura do ar à sombra são sempre inferiores em relação às ao sol (10m, 25m e 50m). Através do cálculo do desvio médio padrão observou-se uma variação de 0,6 °C a 1,13 °C ao longo do dia e que as maiores diferença das temperaturas ocorrem no período das 13h10min até às 14h10min (figura 27).

Entretanto, a umidade relativa do ar à sombra apresenta valores mais elevados do que os pontos situados ao sol (10m, 25m e 50m). Pelo cálculo do desvio médio padrão, observou-se uma variação de decrescente ao longo do dia de 8,15 a 2,5% (figura 28).

A temperatura de globo comporta-se de maneira semelhante à temperatura do ar, onde os dados obtidos à sombra são inferiores àqueles registrados ao sol (10m, 25m e 50m) porém os valores do ponto de medição situado a 10m são próximos daqueles encontrados à sombra.

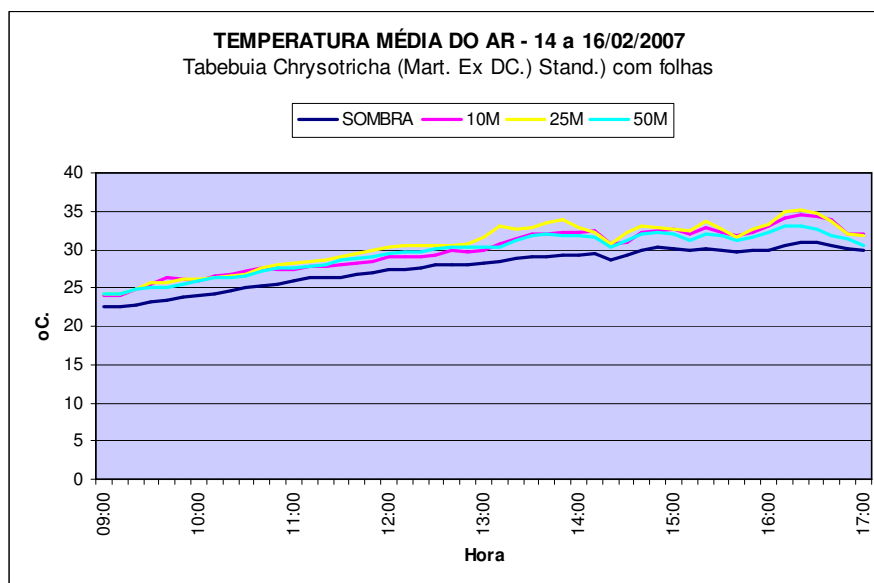


Figura 27 – Temperatura média do ar: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* Mart. ex DC.) Stand.)

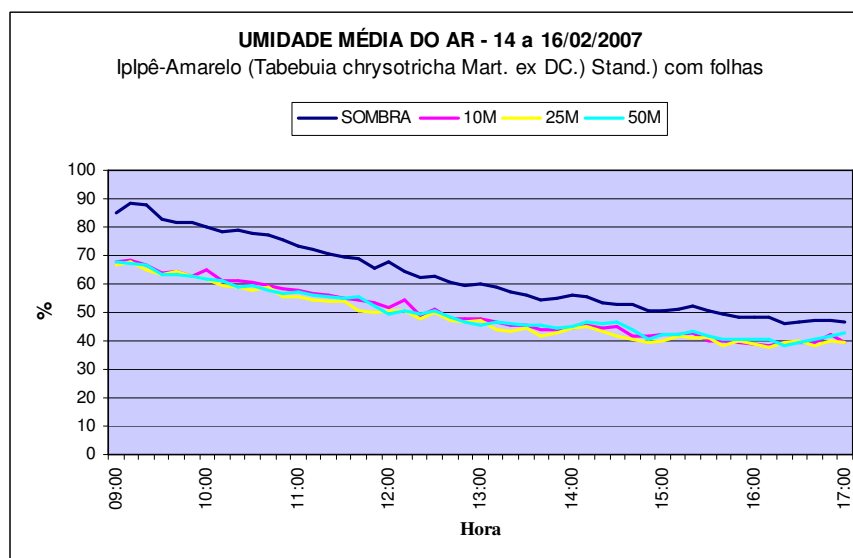


Figura 28 – Umidade Relativa do ar média: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* Mart. ex DC.) Stand.)

Através do cálculo do desvio médio padrão, observou-se uma variação de 0,31°C a 1,17 °C ao longo do dia, registrando-se as maiores diferença da temperatura do ar no período das 13h10min até às 14h10min, e o momento de maior alteração às 12h (Figura 29).

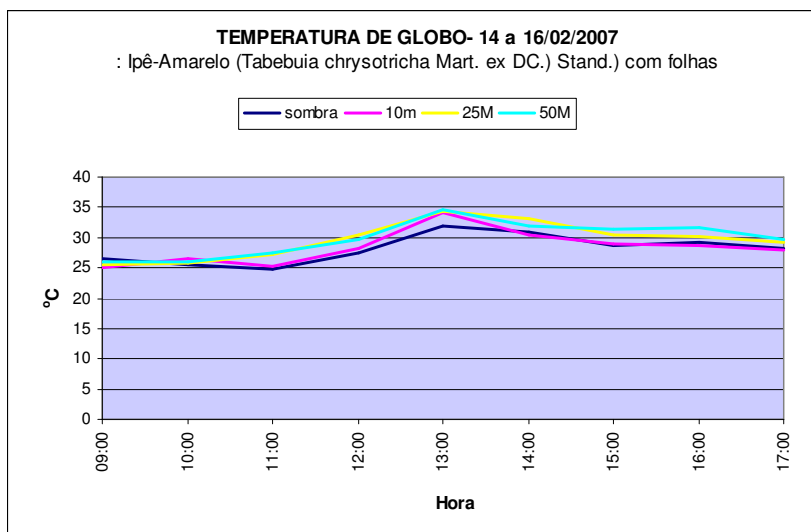


Figura 29 – Temperatura de Globo: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* Mart. ex DC.) Stand.)

A velocidade do vento mais alta verificada foi de 2,09 m/s, às 12h, no ponto situado à 10m, e a mais baixa foi de 0,45 m/s, às 15h, na sombra, (Figura 30). Como o vento é uma variável que oscila muito, para os próximos experimentos adotou-se apenas um ponto de medição, situado a 25m em relação ao tronco da árvore, com registro de 10 em 10 minutos ao longo do dia.

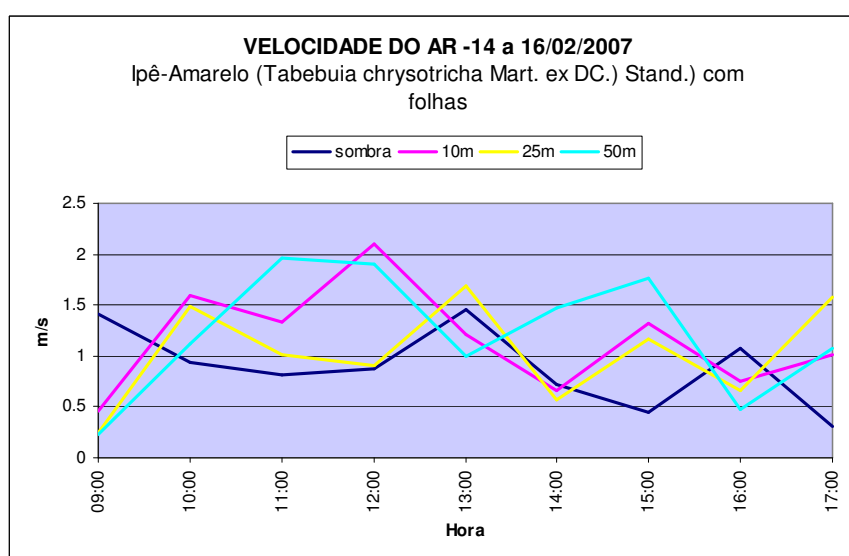


Figura 30 – Médias Diárias da Velocidade do Vento: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* Mart. ex DC.) Stand.)

Verifica-se que os valores das médias diárias: da temperatura do ar à sombra são os mais baixos, e a 25 m, os mais altos; da umidade relativa do ar, os valores a 25m, mais baixos, e os a 10m, mais altos; e da temperatura de globo e velocidade do vento, os valores a sombra, mais baixos, e os a 50m, mais altos, (Tabela 06).

TABELA 06 – Média diárias dos parâmetros ambientais dos dias 14-16/fev/2007

Ponto	Temperatura do ar (°C)	Umidade do ar (%)	Temperatura de Globo (°C)	Velocidade do vento (m/s)
Sombra	27,96	53,17	28,11	0,88
10 m	30,20	60,58	28,33	1,16
25m	30,50	50,05	29,61	1,03
50m	29,23	50,14	29,83	1,22

A radiação média incidente foi ao sol foi de 0,11766 Km.h/m² e à sombra, 0,081921 Km.h/m², resultando num percentual de 85,6% de radiação atenuada, (Figura 31 e TABELA 07).

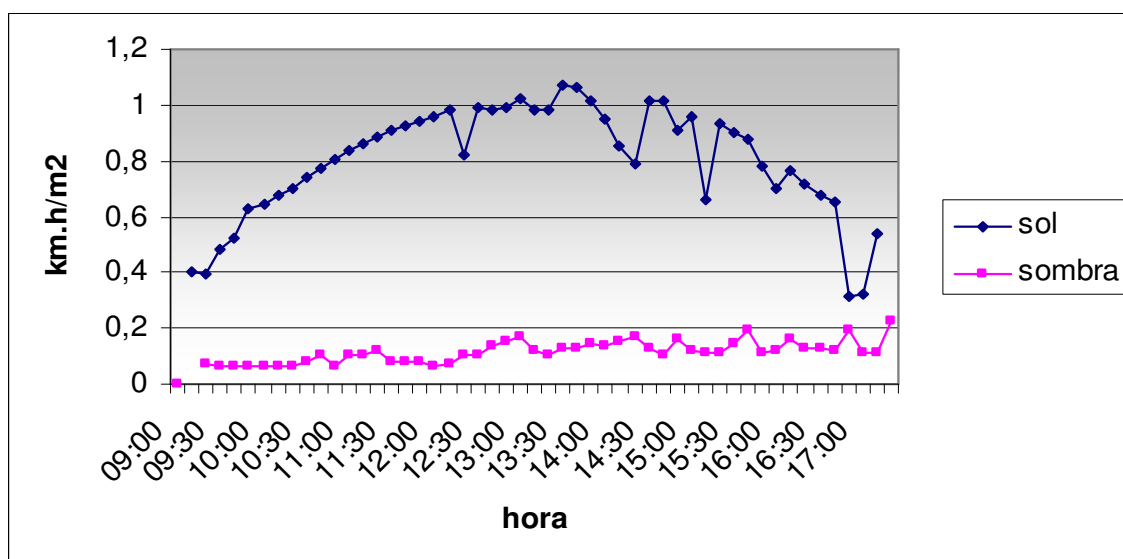


Figura 31 – Atenuação da Radiação Solar: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* Mart. ex DC.) Stand.)

TABELA 07 – Atenuação da Radiação Solar: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* Mart. Ex DC.) Stand.)

Data	Energia Total Incidente (km.h/m ²) – sol	Energia Total Incidente (km.h/m ²) - sombr	Atenuação da Radiação Solar (%)
14-16/02/2007	0,11766	0,081921	85,6

A partir dos resultados obtidos, verificou-se a necessidade de se realizar medições com duração de 12 (doze) horas, para uma cobertura melhor do dia. Dessa forma, o solarímetro é capaz de captar toda a radiação que incide na superfície desde o nascer ao pôr do sol. O período das medições de temperatura do ar, umidade, temperatura radiante e velocidade do vento também passou a ser de 12 (doze) horas diárias.

Nesse teste, foi calculado o VME (Voto Médio Estimado) e PEI (Percentual de Insatisfeitos) através do software 2.03 (Ruas, 2002) de hora em hora, utilizando os seguintes parâmetros:

- vestimenta: tênis, meia, calça jeans, camiseta;
- atividade: caminhada leve.

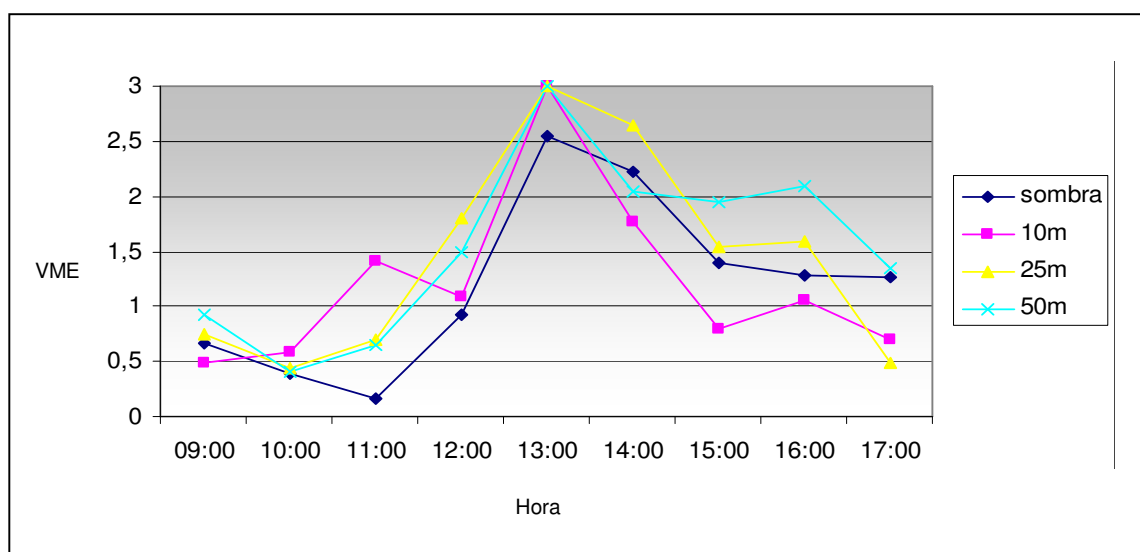


Figura 32 – VME x Hora para espécie: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* Mart. ex DC.) Stand.)

O resultado desse cálculo mostrou que todos os pontos situados ao sol, por volta das 13h, ultrapassam o valor 3 de VME e 100% de Insatisfeito. As melhores condições de conforto térmico observadas foram à sombra, no período da manhã, e a 10m, no período da tarde (Figura 32).

Devido à falta de transeuntes nos locais de medição, foram entrevistados dois indivíduos (um homem e uma mulher), tornando esse cálculo insatisfatório.

3.4.2 Teste dos registradores

Para checar a validade dos dados coletados pelos registradores, foram feitos dois testes, no laboratório e no campo.

Em laboratório, os registradores foram colocados lado a lado, para coleta de dados, durante quatro dias – 9 a 12 fevereiro de 2007 (Figuras 33 e 34). Verificou-se que não havia diferença relevante na temperatura e umidade registrada, exceto em um registrador, aquele utilizado no ponto a 50m, que indicou uma umidade acima dos demais, em cerca de 10%. Essa diferença foi compensada nas medições realizadas nos meses de fevereiro e março em que utilizou esse registrador. Este teste foi repetido ao final de cada série de medidas, para identificar a margem de erro dos registradores e uma possível substituição desses equipamentos por novos.

Foi realizada em campo, durante três dias (18 a 20 de abril de 2007), foi realizada uma medida teste em um indivíduo arbóreo da espécie Jambolão (*Syzygium cumini* L.), onde novos registradores, colocados nos pontos sombra, 10m, 25m e 50m, foram trocados de posição aleatoriamente, a cada dia de medição. Observou-se que o comportamento da umidade, temperatura do ar e de globo foram semelhantes aos dados anteriormente coletados.

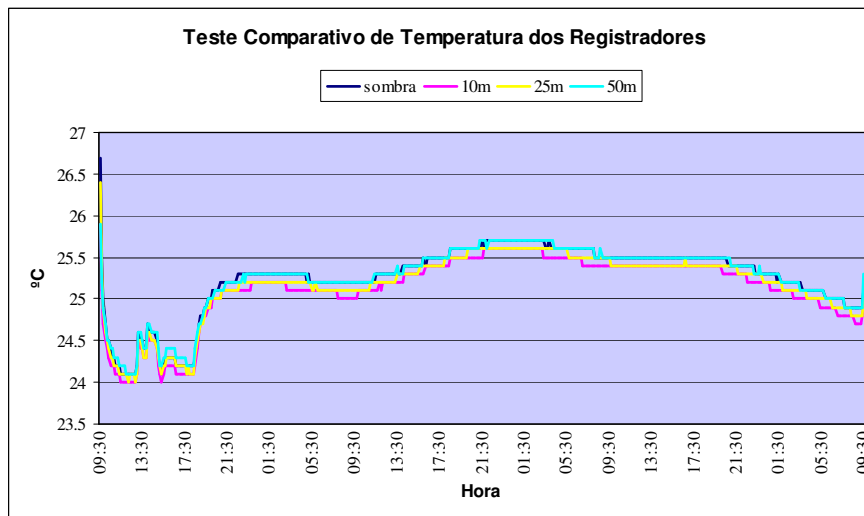


Figura 33 – Resultado das medições teste de temperatura do ar

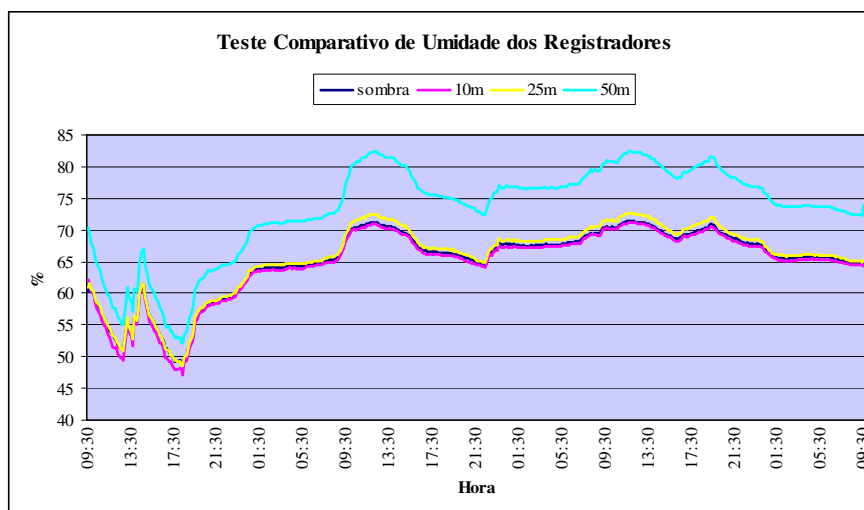


Figura 34 – Resultado das medições teste de umidade

3.4.3 Teste das variáveis climáticas em distâncias próximas à árvore

Durante as medições do experimento 01, observou-se um comportamento interessante relacionado à umidade, na distância de 10m em relação ao tronco da árvore, em que a umidade é alta, cerca de 100%, durante grande parte da manhã.

Para testar a relação da umidade e temperatura em diferentes distâncias em relação à árvore, foram colocados seis registradores, acoplados ao tripé e com as proteções devidas, nas posições 2,5 m, 5 m, 7,5m, 10m, 12,5m e 15 m.

A partir dos dados coletados, constatou-se que a variação da temperatura é mínima, mas as alterações da umidade são bem consideráveis (Figura 35 e 36). Na distância de 7,5 metros do tronco da árvore, a umidade permanece saturada quase todo o período da manhã e também fica alta ao longo do dia. Concluiu-se que a umidade pode camuflar o valor real da atenuação da temperatura do ar.

Para melhor verificar esse comportamento específico, o experimento foi realizado em todos os indivíduos e agrupamentos arbóreos, no período de 3 dias, durante 12 horas (das 6h às 18h) e em direções diferentes (leste, oeste e norte).

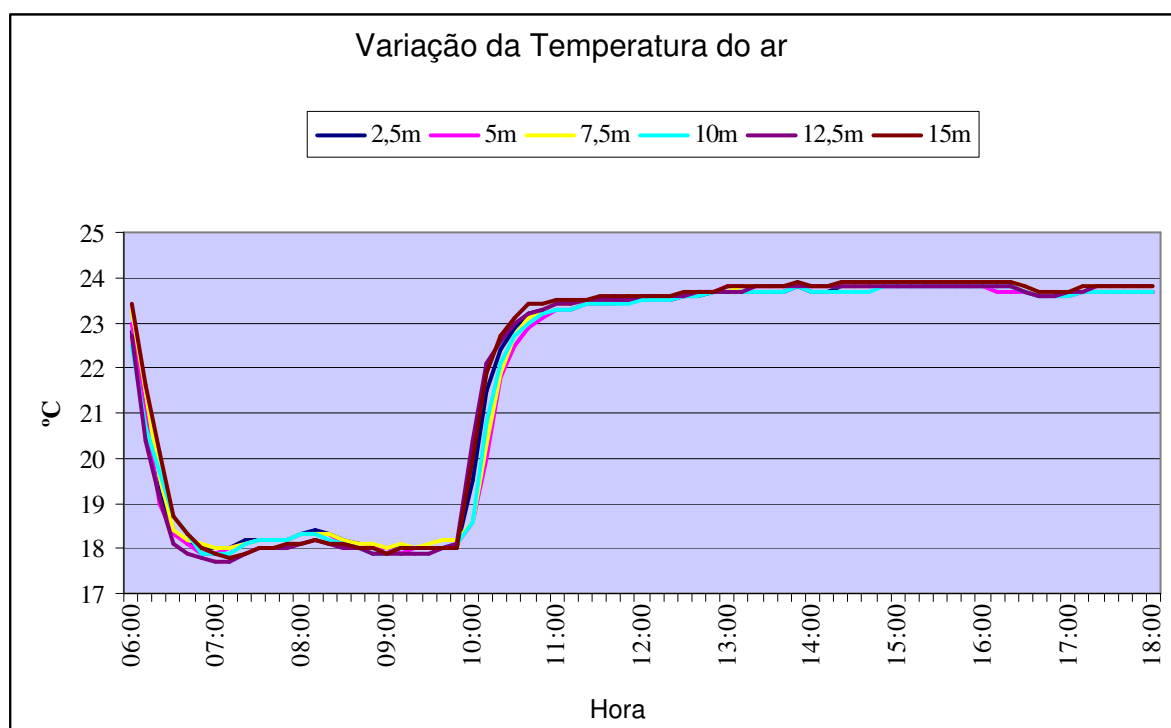


Figura 35 – Variação da temperatura em diferentes distâncias

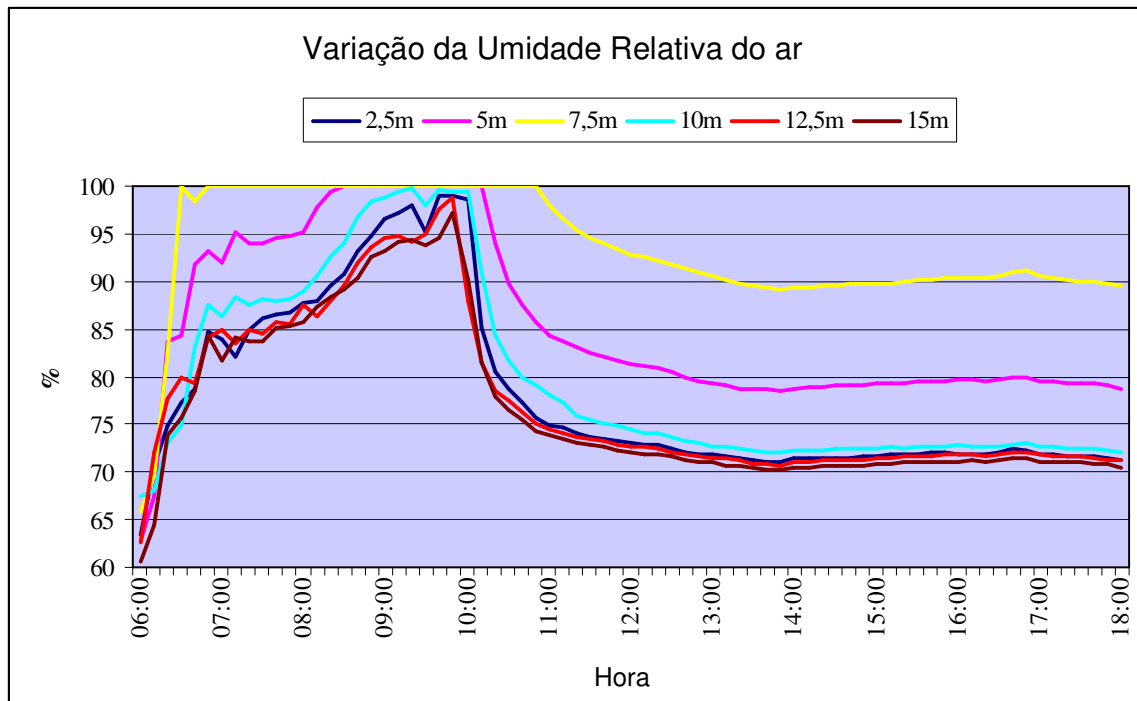


Figura 36 – Variação da umidade em diferentes distâncias

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Segundo a metodologia descrita anteriormente (item 3), os dados obtidos e sua análise são apresentados a seguir:

4.1 Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.)

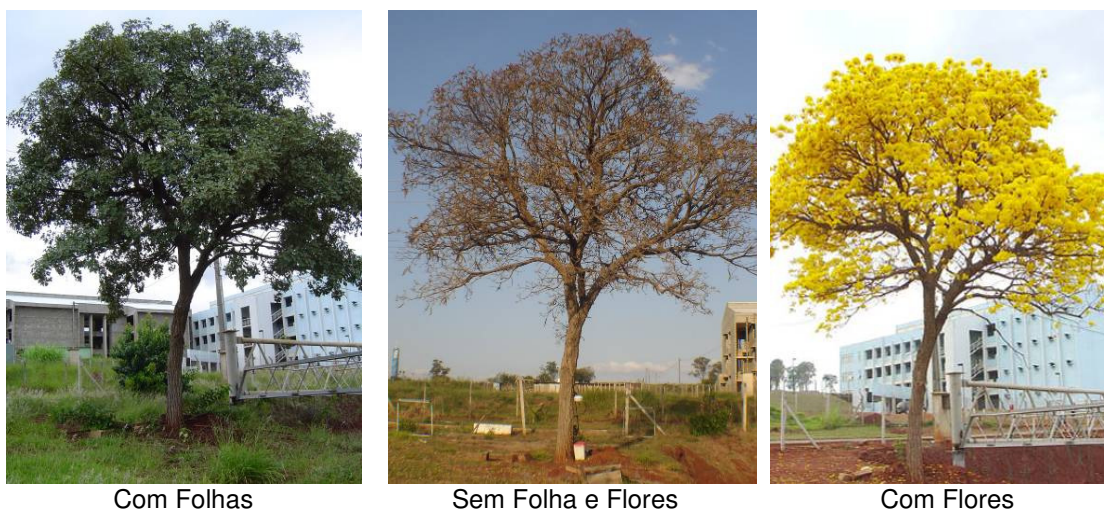


Figura 37 – Espécie analisada: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.)

O levantamento de dados do experimento 01 – radiação solar, temperatura do ar, temperatura de globo, umidade e velocidades do vento –, foi realizado em três etapas distintas: com folhas (27 a 29 de março de 2007); sem folhas (12 a 14 de setembro de

2007); e com flores (21 a 23 de agosto de 2007), (Figura 37). O índice de área foliar (IAF) nas três situações – com folhas, sem folhas, com flores–, foi calculado através das fotos tiradas na posição ortogonal, com lentes efeito olho de peixe, e encontrou-se, respectivamente, 85,35%, 46,61% e 41,31% (Figura 38). A Tabela 07 apresenta os valores de energia total incidente, atenuação da radiação solar e erro padrão das médias das atenuações (α). Os gráficos das médias diárias da radiação solar, da temperatura do ar, da umidade relativa, da temperatura de globo e da velocidade do vento, nas três situações, serão mostrados, respectivamente, pelas figuras de 39 a 41, 42 a 44, 45 a 47, 48 a 50, e 51 a 53.

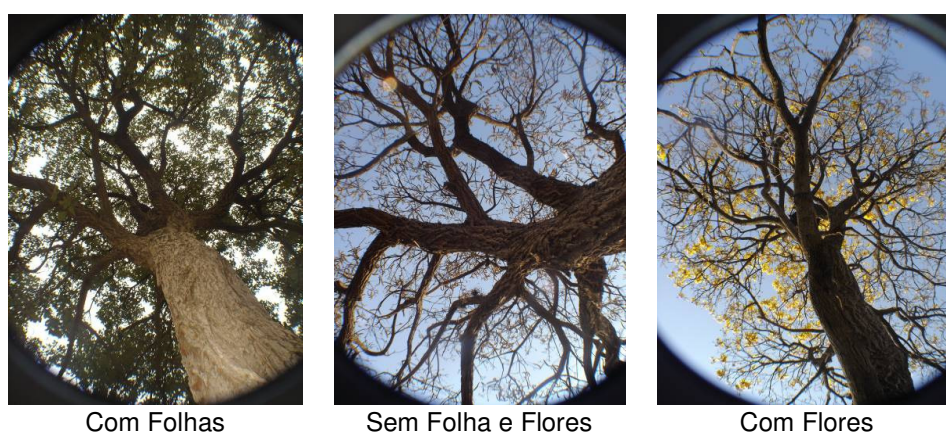


Figura 38 – Foto: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.)

TABELA 07 – Atenuação da radiação solar: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.)

Data		Energia Total Incid. (kw h/m ²) – sol	Energia Total Incid. (kw h/m ²) – sombra	Atenuação da Radiação Solar(%)
Com Folhas	26/03/2007	0, 502	0, 104	79,19
	27/03/2007	0, 504	0, 085	82,99
	28/03/2007	0, 513	0, 088	82,86
			Média (c/ Folhas)	81,68
			α	± 1,24
Sem Folhas	15/08/2007	0, 413	0, 232	43,95
	16/08/2007	0, 433	0, 227	47,53
	17/08/2007	0, 412	0, 218	47,70
			Média (s/ Folhas)	46,14
				± 1,10
Com Flores	21/08/2007	0, 401	0, 203	49,28
	22/08/2007	0, 412	0, 194	52,80
	23/08/2007	0, 419	0, 201	52,09
			Média (c/ Flores)	51,39
			α	± 1,07

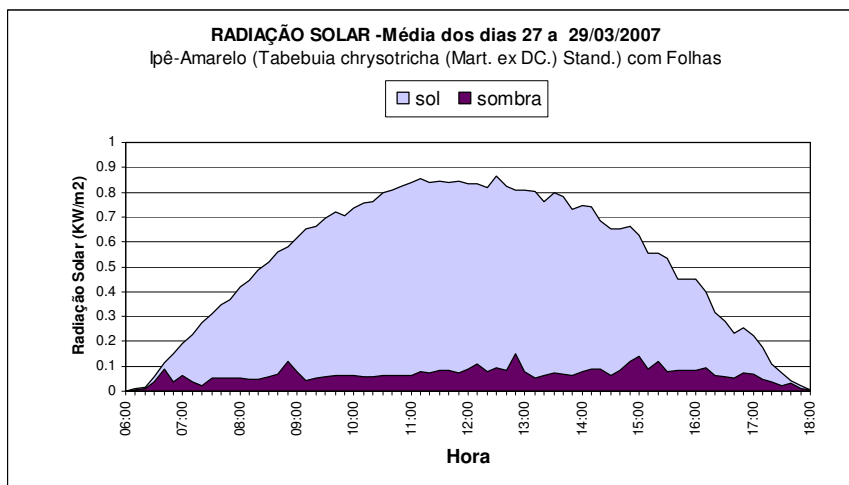


Figura 39 – Atenuação da radiação: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) com folhas

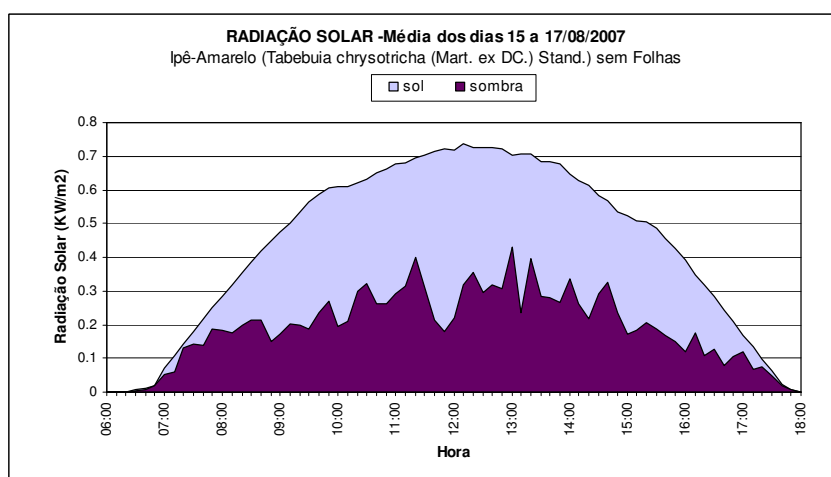


Figura 40 – Atenuação da radiação: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) sem folhas

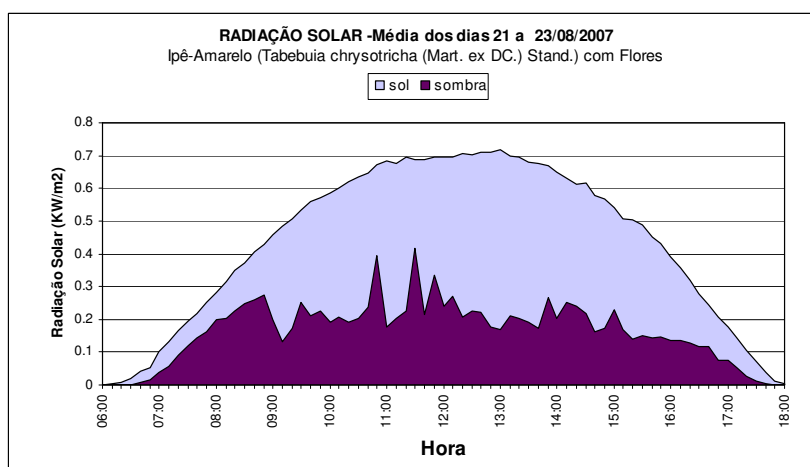


Figura 41 – Atenuação da radiação: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) com flores

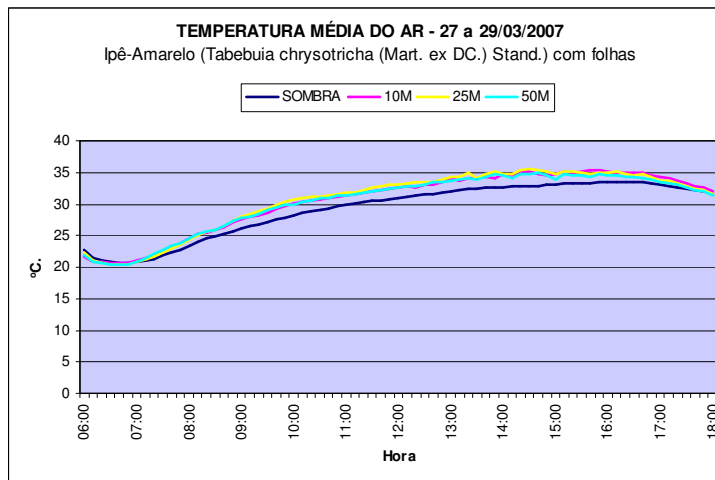


Figura 42 – Temperatura média do ar: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) com folhas

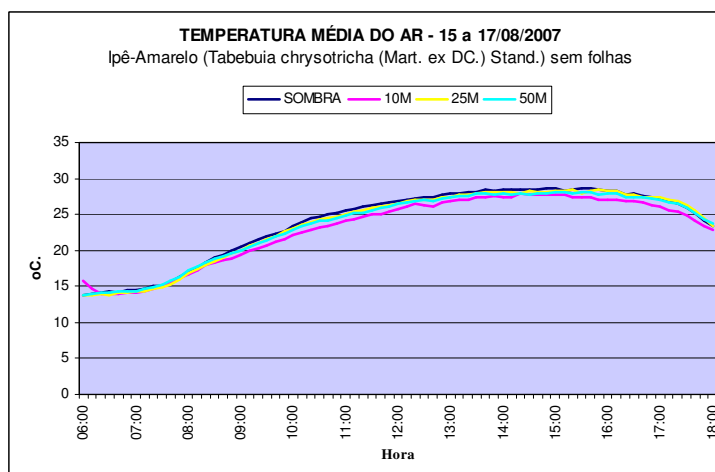


Figura 43 – Temperatura média do ar: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) sem folhas

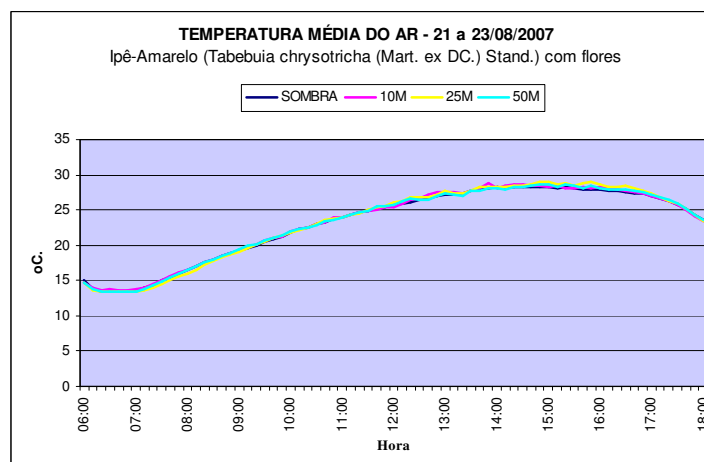


Figura 44 – Temperatura média do ar: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) com flores

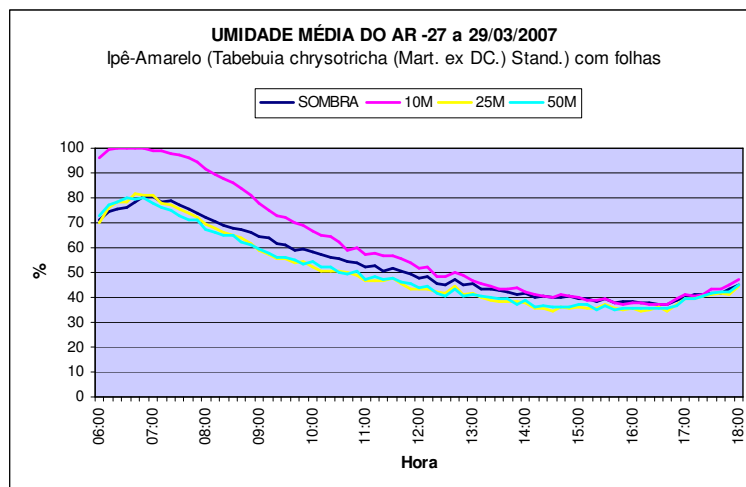


Figura 45 – Umidade média do ar: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) com folhas

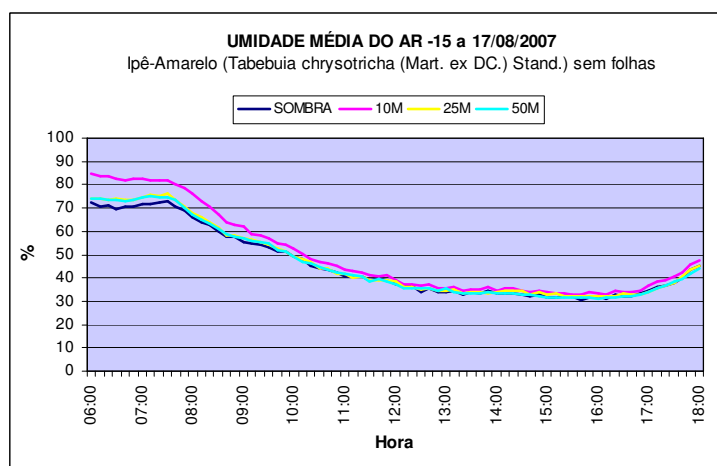


Figura 46 – Umidade média do ar: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) sem folhas

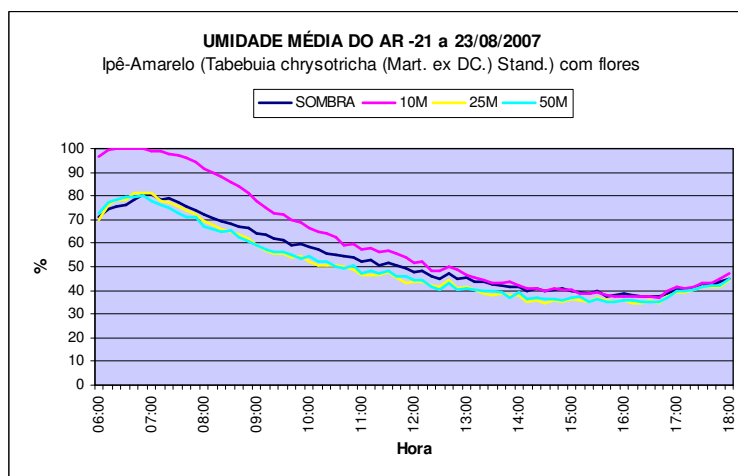


Figura 47 – Umidade média do ar: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) com flores

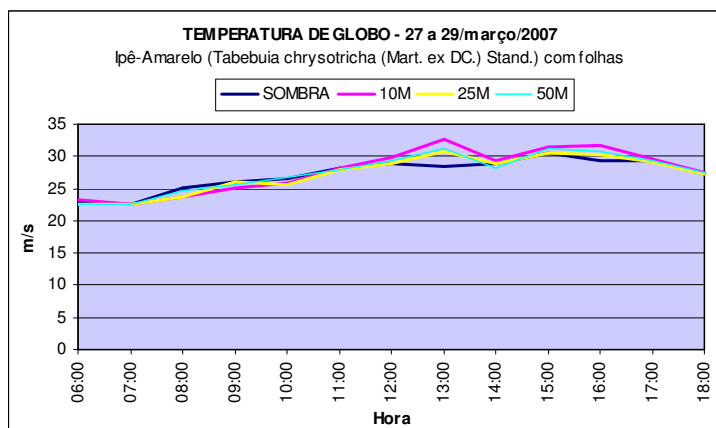


Figura 48 – Temperatura média de globo: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) com folhas

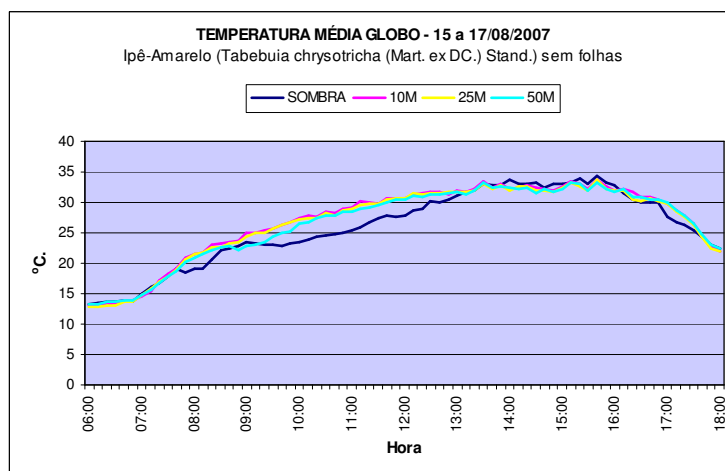


Figura 49 – Temperatura média de globo: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) sem folhas

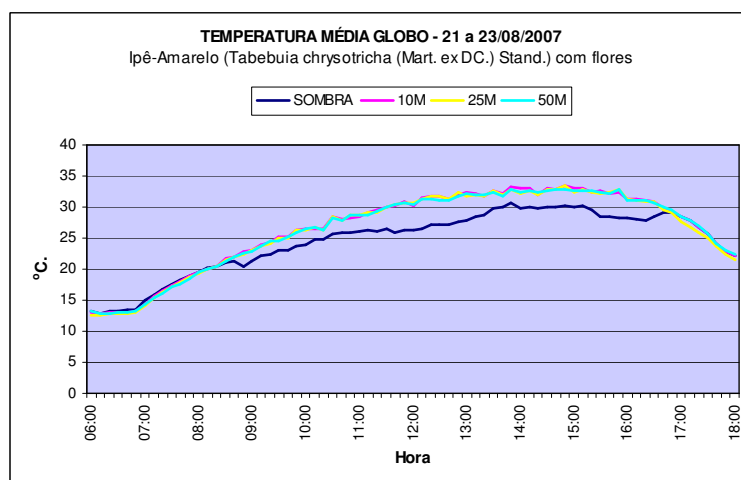


Figura 50 – Temperatura média de globo: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) com flores

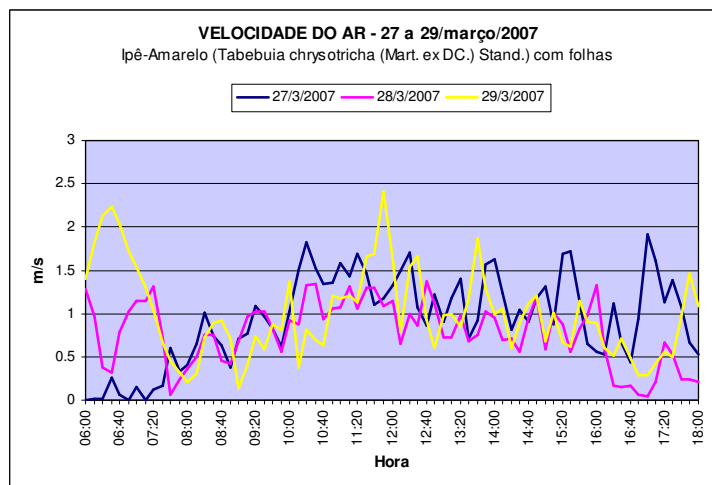


Figura 51 – Velocidade do ar: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) com folhas

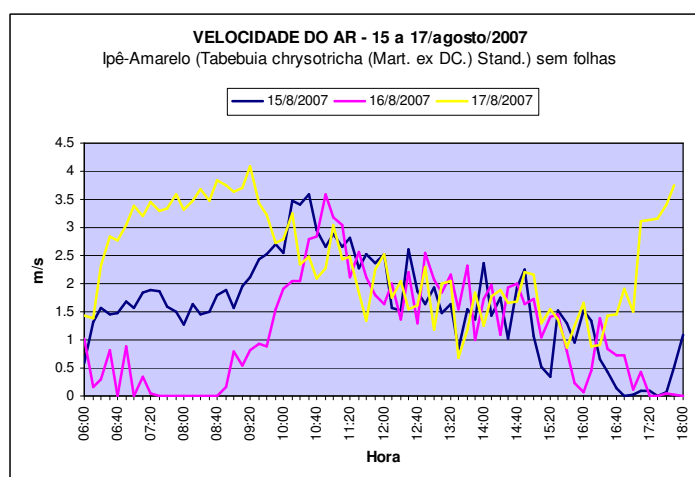


Figura 52 – Velocidade do ar: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) sem folhas

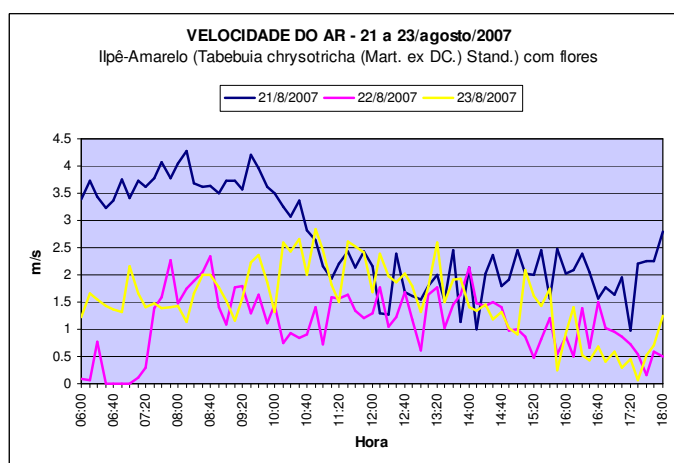


Figura 53 – Velocidade do ar: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) com flores



As tabelas 09 a 14 indicam as médias diárias e as medidas das máximas e mínimas da temperatura do ar e de globo, e da umidade relativa.

TABELA 09 – Médias diárias de temperatura do ar: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.)

DATA		SOMBRA	10m	25m	50m
Com Folhas	27/3/2007	28.6	29.6	30.0	29.5
	28/3/2007	29.3	30.9	31.1	31.4
	29/3/2007	29.6	30.9	30.8	31.0
MEDIA		29.2	30.5	30.6	30.7
Sem Folhas	15/8/2007	24.5	24.3	24.0	24.0
	16/8/2007	23.6	23.5	22.9	23.2
	17/8/2007	23.4	26.5	23.8	23.3
MEDIA		23.8	24.8	23.6	23.5
	21/8/2007	22.0	21.9	22.4	22.5
	22/8/2007	22.0	22.2	22.1	22.1

TABELA 11 – Médias diárias de umidade relativa do ar: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.)

DATA		SOMBRA	10m	25m	50m
Com Folhas	27/3/2007	57.9	67.8	54.2	54.8
	28/3/2007	53.0	59.9	49.5	50.2
	29/3/2007	48.51	54.0	46.4	45.4
MEDIA		53.2	60.6	50.0	50.1
Sem Folhas	15/8/2007	45.5	46.7	44.9	44.2
	16/8/2007	44.7	50.2	46.1	45.3
	17/8/2007	48.5	52	48.4	48.6
MEDIA		46.2	49.6	46.5	46.0
Com Flores	21/8/2007	58.7	68.0	58.6	58.1
	22/8/2007	55.7	62.1	56.3	55.7
	23/8/2007	46.0	52.0	47.5	48.0
MEDIA		53.5	60.7	54.1	53.9

TABELA 12 – Médias da umidade relativa do ar máximas e mínimas: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand)

DATA		SOMBRA		10m		25m		50m	
		MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
Com Folhas	27/3/2007	86.0	40.2	99.9	40.4	87.6	36.4	83.8	38.9
	28/3/2007	83.0	34.4	99.9	33.3	85.4	30.3	84.8	31.3
	29/3/2007	77.3	35.1	99.9	34.6	79.0	32.5	81.1	31.6
MEDIA		82.1	36.6	99.9	36.1	84.0	33.1	83.2	33.9
Sem Folhas	15/8/2007	68.2	31.0	78.0	34.5	67.2	33.9	68.3	32.6
	16/8/2007	85.9	24.2	99.9	25.5	92.9	25.7	88.0	24.9
	17/8/2007	72.7	33.8	82.1	35.6	75.8	33.4	75.2	34.0
MEDIA		75.6	30.0	87.0	32.0	78.6	31.0	77.2	30.5
Com Flores	21/8/2007	86.7	39.9	99.9	41.1	88.4	38.7	90.6	37.7
	22/8/2007	96.8	33.9	100.0	36.2	96.4	34.2	99.9	33.4
	23/8/2007	92.4	26.5	100.0	27.7	94.9	26.4	99.2	26.3
MEDIA		92.0	33.4	100.0	35.0	93.2	33.1	96.6	32.5

TABELA 13 – Médias diárias de temperatura de globo: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand)

DATA		SOMBRA	10m	25m	50m
Com Folhas	27/3/2007	27.1	23.3	26.6	26.8
	28/3/2007	27.1	27.5	27.4	28.1
	29/3/2007	27.5	27.9	27.8	27.5
MEDIA		27.2	26.2	27.3	27.5
Sem Folhas	15/8/2007	26.5	27.2	26.9	26.5
	16/8/2007	25.5	27.0	26.7	26.5
	17/8/2007	25.5	26.7	26.8	26.7
MEDIA		25.8	27.0	26.8	26.6
Com Flores	21/8/2007	23.1	25.0	25.0	25.1
	22/8/2007	23.9	25.8	25.5	25.5
	23/8/2007	26.5	28.7	28.9	28.5
MEDIA		24.5	26.5	26.5	26.4

TABELA 14 – Médias das temperaturas de globo máximas e mínimas: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand

DATA		SOMBRA		10m		25m		50m	
		MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
Com Folhas	27/3/2007	30.7	21.0	33.5	21.0	30.7	21.0	32.3	21.5
	28/3/2007	31.7	23.2	32.5	23.4	31.9	23.1	32.5	23.1
	29/3/2007	29.9	23.4	33.6	21.4	32.8	22.1	31.9	22.2
MEDIA		30.8	22.5	33.2	21.9	31.8	22.1	32.2	22.3
Sem Folhas	15/8/2007	35.2	13.6	34.1	10.7	33.8	13.7	34.7	14.0
	16/8/2007	34.9	11.2	34.5	11.2	34.3	10.7	32.9	11.4
	17/8/2007	34.2	13.9	36	13.7	35.3	13.3	35.0	13.5
MEDIA		30.7	16.7	31.8	16.7	34.5	12.6	34.2	13.0
Com Flores	21/8/2007	33.6	14.1	33.9	14.0	33.2	13.8	33.0	14.1
	22/8/2007	29	10.5	32.9	10.1	32.8	10.0	33.2	10.6
	23/8/2007	31.9	12.9	37.3	12.5	38.2	12.0	36.7	12.6
MEDIA		31.5	12.5	34.7	12.2	34.7	11.9	34.3	12.4

Na situação com folhas se encontrou, às 14h20min, uma diferença máxima de 1,6°C, na temperatura do ar; e, às 7h, uma diferença máxima de 18,90% na umidade relativa.

A partir da análise das variâncias e comparação de médias (*Tukey*), constataram que não há evidência, ao nível de 5% de significância, para se rejeitar a hipótese de que temperatura do ar e de globo e a umidade do ar é a mesma em cada distância, à sombra (nenhuma distância), 10m, 25m e 50m. Então essas variáveis não foram influenciadas nas diferentes distâncias em relação ao indivíduo arbóreos: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.), na situação com folhas.

Na situação sem folhas encontrou-se, às 15h50min, uma diferença entre os pontos de medição de 0,58°C na temperatura do ar; às 6h, 4,16% na umidade relativa; e, às 11h10min, 1,39 °C na temperatura de globo.

A partir da análise das variâncias e comparação de médias (*Tukey*), constou que não há evidência, ao nível de 5% de significância, para se afastar a hipótese de que temperatura do ar e a umidade do ar é a mesma em cada distância, à sombra (nenhuma distância), 10m, 25m e 50m. Entretanto, houve evidência, ao nível de 5% de significância, para rejeitar a hipótese de que a temperatura de globo é a mesma em

cada distância. Ou seja, o resultado obtido demonstrou sendo ela diferente nas distâncias de 10m e 25m em relação à sombra, nessas distâncias a temperatura do globo é maior do que na sombra. Portanto, na situação sem folhas da espécie Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.), apenas a temperatura de globo e a velocidade do vento são influenciadas pelas distâncias, em relação ao indivíduo arbóreo.

Na situação com flores encontrou-se, às 15h50min, uma diferença na temperatura do ar de 0,76°C entre os pontos de medição; às 8h30min, 13,42% na umidade relativa; e, às 12h10min, 3,68 °C na temperatura de globo.

Procedida à análise das variâncias e comparação de médias (*Tukey*), as análises verificaram que não há evidência, ao nível de 5% de significância, para se rejeitar a hipótese de que temperatura do ar e de globo e a umidade do ar é a mesma em cada distância, à sombra (nenhuma distância), 10m, 25m e 50m. Essas variáveis não foram influenciadas nas diferentes distâncias em relação ao indivíduo arbóreos Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) na situação com flores.

Os gráficos da zona de conforto para clima tropical de altitude definida da espécie Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) são apresentados para as três situações: com folhas, com flores e sem folhas (figuras 54 a 56). Na construção deste gráfico foram considerados os valores de 1 a -1, correspondentes à sensação térmica, delimitando a zona de conforto assim como a gradação de Confortável (C), Aceitável Conforto (AC), Tolerável Conforto (TC) e Desconfortável (D) inserida nessa zona. A área classificada como confortável no gráfico está representada pela cor amarela, a aceitável conforto pela cor marrom e a tolerável conforto pela cor cinza.

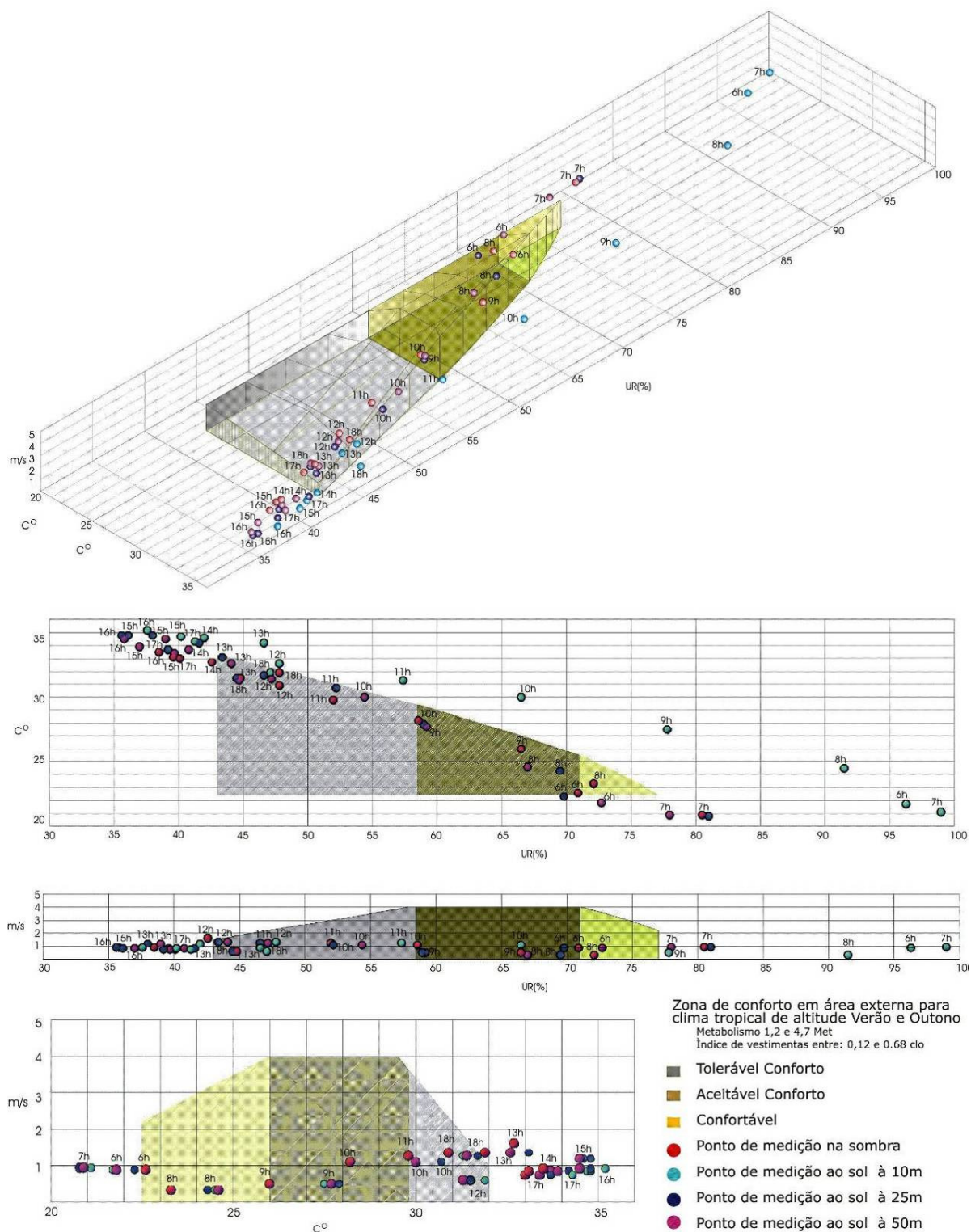


Figura 54 - Resultado para Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) na situação com folhas – Zona de conforto clima tropical de altitude.

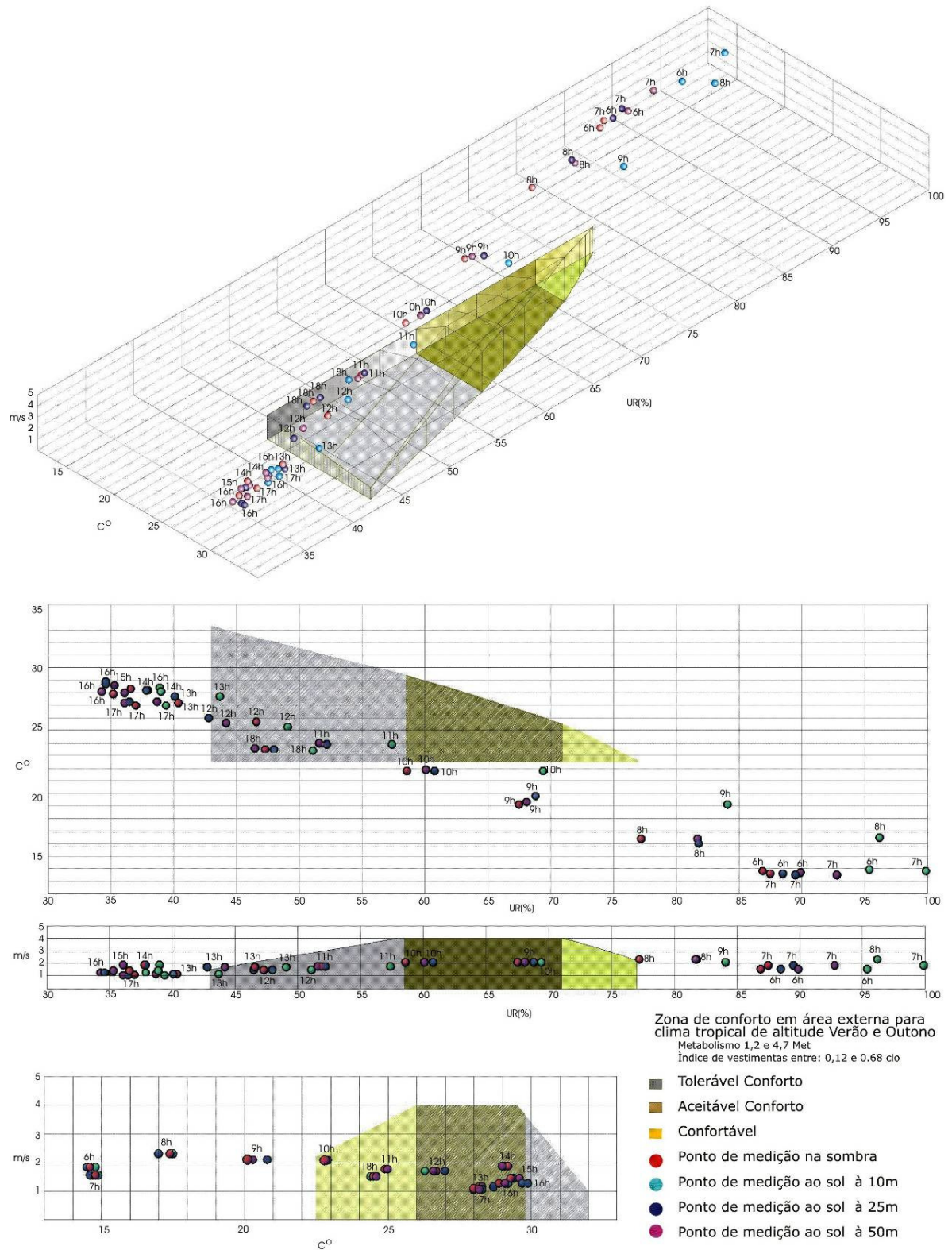


Figura 55 - Resultado para Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) na situação com flores – Zona de conforto clima tropical de altitude.

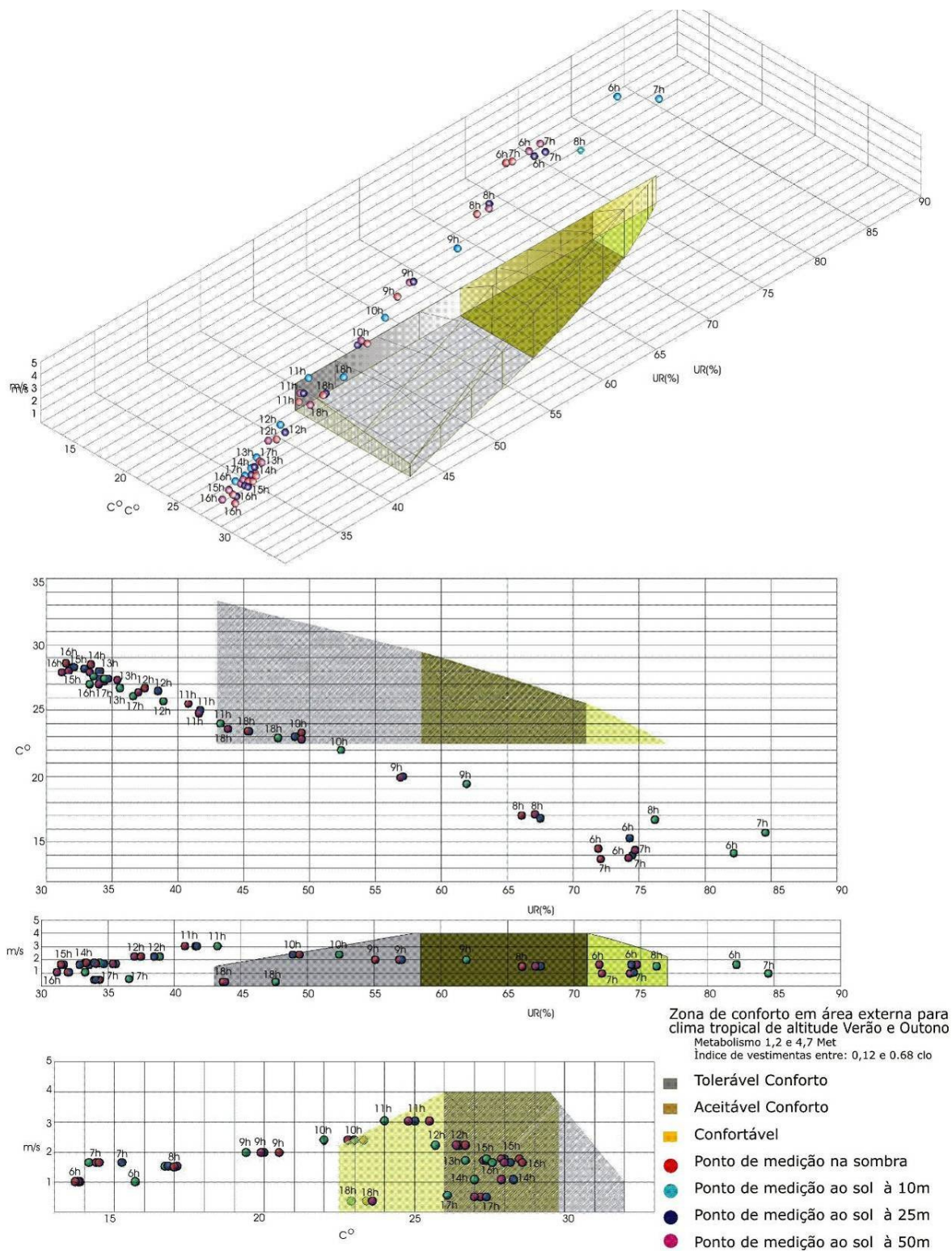


Figura 56 – Resultado para Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) na situação sem folhas – Zona de conforto clima tropical de altitude.

Observou-se uma maior contribuição ao conforto, no gráfico da Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) na situação com folhas. Os valores se acham pela manhã, nos pontos situados à sombra, a 25m e a 50 m, se acham dentro da zona de conforto. Já na situação sem folhas, foram encontradas as piores condições de conforto.

TABELA 15 – Zona de conforto: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) com folhas
Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha*) com folhas

hora	Var (m/s)	sombra			10m			25m			50m		
		C/RC	TBS (°C)	UR (%)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)
06:00	0.89	C	22.6	70.9	D	21.7	96.3	D	22.3	69.8	D	21.8	72.7
07:00	0.94	D	20.9	80.5	D	21.1	99	D	20.8	81	D	20.9	78
08:00	0.33	C	23.3	72.1	D	24.5	91.5	AC	24.3	69.5	AC	24.6	67
09:00	0.50	AC	26	64.2	D	27.5	77.8	AC	27.9	59	AC	27.7	59.2
10:00	1.10	AC	28.2	58.6	D	30	66.5	TC	30.7	52.2	TC	30	54.4
11:00	1.27	TC	29.8	52	D	31.3	57.4	TC	31.7	46.6	TC	31.4	47.2
12:00	1.36	TC	30.9	47.8	D	32.6	51.5	TC	33.1	43.4	TC	32.6	44.1
13:00	0.87	TC	31.9	45.3	D	34.1	46.6	D	34.2	41.6	D	33.7	40.8
14:00	1.19	D	32.7	41.6	D	34.6	42	D	34.8	38	D	34.5	39
15:00	0.85	D	33.1	39.6	D	34.7	40.2	D	34.8	36.1	D	33.9	37
16:00	0.93	D	33.5	38.5	D	35.2	37.6	D	34.8	35.6	D	34.5	35.8
17:00	0.75	D	33	40.1	D	34.3	41.3	D	33.7	39.2	D	33.4	39.7
18:00	0.60	D	31.5	44.8	D	31.9	47.1	D	31.5	44.5	D	31.3	44.7

TABELA 16 – Zona de conforto: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) sem folhas
Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha*) sem folhas

hora	Var (m/s)	sombra			10m			25m			50m		
		C/RC	TBS (°C)	UR (%)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)
06:00	1.56	D	13.8	86.9	D	13.9	95.4	D	13.6	88.5	D	13.7	89.9
07:00	1.85	D	13.6	87.5	D	13.8	99.9	D	13.5	89.5	D	13.5	92.8
08:00	2.32	D	16.4	77.22	D	16.5	96.2	D	16	81.8	D	16.4	81.7
09:00	2.11	D	19.1	67.5	D	19.1	84.1	D	19.1	68.8	D	19.3	68.1
10:00	2.09	TC	21.8	58.6	D	21.8	69.4	TC	21.8	60.8	TC	21.9	60.1
11:00	1.78	D	23.9	51.9	D	23.9	57.4	D	23.9	52.2	D	24	51.6
12:00	1.71	D	25.7	46.6	D	25.3	49.1	D	26	42.8	D	25.6	44.2
13:00	1.152	D	27.2	40.4	D	27.5	43.7	D	27.7	40.1	D	27.3	38.7
14:00	1.89	D	28.2	37.8	D	28.1	39	D	28.2	37.9	D	28	36.1
15:00	1.45	D	28.30	36.6	D	28.4	38.9	D	28.9	35.9	D	28.6	35.3
16:00	1.27	D	27.9	35.2	D	28.2	37.9	D	28.7	34.6	D	28.1	34.3
17:00	1.07	D	27	37	D	27	39.4	D	27.3	36.5	D	27.2	36.1
18:00	1.51	TC	23.5	47.3	TC	23.4	51.1	TC	23.5	48	TC	23.6	46.5

TABELA 17 – Zona de conforto: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) com flores

Ipê-Amarelo (<i>Tabebuia chrysotricha</i>) com flores													
		sombra			10m			25m			50m		
hora	Var (m/s)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)
06:00	1.01	D	13.7	72.1	D	15.7	84.6	D	13.8	74.1	D	13.8	74.2
07:00	1.65	D	14.5	71.9	D	14.16	82.2	D	14.2	74.3	D	14.4	74.7
08:00	1.52	D	17	66.1	D	16.7	76.2	D	16.8	67.5	D	17.1	67.1
09:00	1.99	D	20.5	55.1	D	19.4	61.9	D	20	57.1	D	19.9	56.9
10:00	2.41	D	23.3	49.4	D	22	52.4	D	23	48.9	D	22.8	49.4
11:00	3.04	TC	25.5	40.8	TC	24	43.3	TC	25	41.7	TC	24.8	41.6
12:00	2.23	TC	26.7	37.5	TC	25.7	38.9	D	26.5	38.5	D	26.4	37
13:00	1.73	D	28	34.1	TC	26.7	35.6	D	27.4	34.7	D	27.3	35.4
14:00	1.78	D	28.5	33.4	D	27.4	34.4	D	28	34	D	27.9	33.3
15:00	1.65	D	28.6	31.5	D	27.6	33.6	D	28.2	32.9	D	28	31.7
16:00	1.08	D	28.3	32	D	27	33.3	D	28.3	32.1	D	27.9	31.1
17:00	0.54	D	27.2	34.4	D	26.1	36.6	D	27.4	34.1	D	27	34
18:00	0.36	TC	23.4	45.3	TC	22.9	47.6	TC	23.4	45.4	TC	23.6	43.8

As tabelas 14 a 16 apresentam o resumo do resultado dos gráficos, cujas áreas classificadas como confortável (C), aceitável conforto (AC) e tolerável conforto (TC) são representadas respectivamente pelas cores amarela, marrom e cinza.

Na situação com folhas, foi encontrada a maior atenuação da temperatura do ar, cerca de 2,5°C; na situação com flores registraram-se os maiores valores de aumento da umidade do ar em todos os pontos, mantendo-se ela acima de 60% em todos os quatro pontos até as 10h. A melhor condição de conforto foi encontrada às 8h à sombra das folhas da Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.). A situação mais crítica de aridez e temperatura elevada, verificou-se às 16h, a 50 m da Tabebuia, na situação sem folhas. Observou-se que em todos os pontos medidos e em todas as situações, o estado mais árido e quente é às 16h.

No experimento 02, o levantamento de dados da temperatura e umidade foi realizado em uma etapa: situação com folhas (18 a 20 de maio de 2008). As tabelas 18 e 19 apresentam os resultados da temperatura do ar, e a tabela 20 e 21, a umidade relativa do ar.

TABELA 18 – Média diária da temperatura: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.)

DIA	2,5m	5m	7,5m	10m	12,5m
18/4/2007	21.67	21.64	21.62	21.67	21.51
19/4/2007	24.40	24.22	24.51	24.49	24.28
20/4/2007	21.84	21.78	21.87	21.79	21.83
MEDIA	22.64	22.55	22.66	22.65	22.54

TABELA 19 – Máximas e Mínimas da temperatura: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.)

DIA	2,5m		5m		7,5m		10m		12,5m	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
18/4/2007	26.10	15.90	26.20	15.80	26.60	15.80	26.60	15.90	26.30	15.70
19/4/2007	29.40	15.80	29.50	15.60	29.50	15.50	29.90	15.40	29.50	15.30
20/4/2007	23.80	18.00	23.80	17.90	23.90	18.00	23.80	17.90	23.80	17.70
MEDIA	26.43	16.57	26.47	16.43	26.57	16.47	26.40	16.43	26.30	16.23

TABELA 20 – Média diária da umidade relativa: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.)

DIA	2,5m	5m	7,5m	10m	12,5m
18/4/2007	63.84	64.82	64.09	64.48	66.16
19/4/2007	62.09	62.90	63.26	62.30	63.21
20/4/2007	77.88	85.37	93.51	79.43	77.32
MEDIA	67.94	71.03	73.62	68.74	68.90

TABELA 21 – Máximas e Mínimas da umidade relativa: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.)

DIA	2,5m		5m		7,5m		10m		12,5m	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
18/4/2007	75.10	52.90	77.60	0.25	76.00	46.10	76.00	51.30	78.50	52.00
19/4/2007	94.20	42.30	98.50	0.00	99.90	38.60	94.10	43.20	94.10	43.90
20/4/2007	98.90	63.40	99.90	0.00	99.90	65.90	99.80	67.50	98.80	62.70
MEDIA	84.37	55.63	90.07	57.27	94.83	58.17	85.33	55.90	85.33	55.80

A seguir, o gráfico da temperatura e umidade relativa do ar (Figura 57 e 60). As tabelas 22 e 23 apresentam os resultados da equação da reta das figuras 56 e 58. Comparando a variação dos dados encontrados a 2,5m (sombra) com as demais distâncias, observou-se que não há evidência, ao nível de 5% de significância para se rejeitar a hipótese de que a temperatura do ar e a umidade do ar é a mesma em cada distância. O ponto situado a 7,5m é o mais úmido e o mais quente, segundo a os valores encontrados na equação da reta.

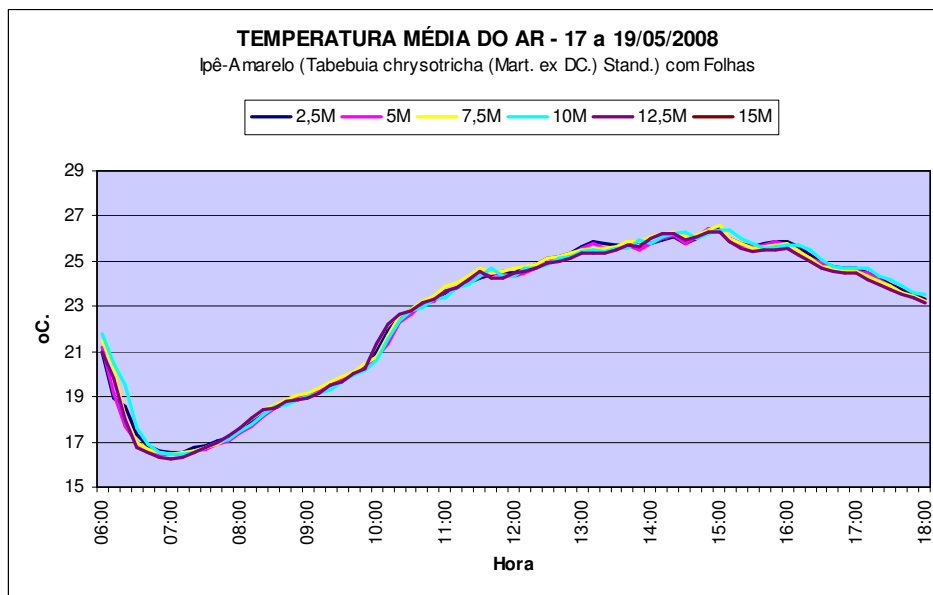


Figura 57 – Temperatura do ar: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.)

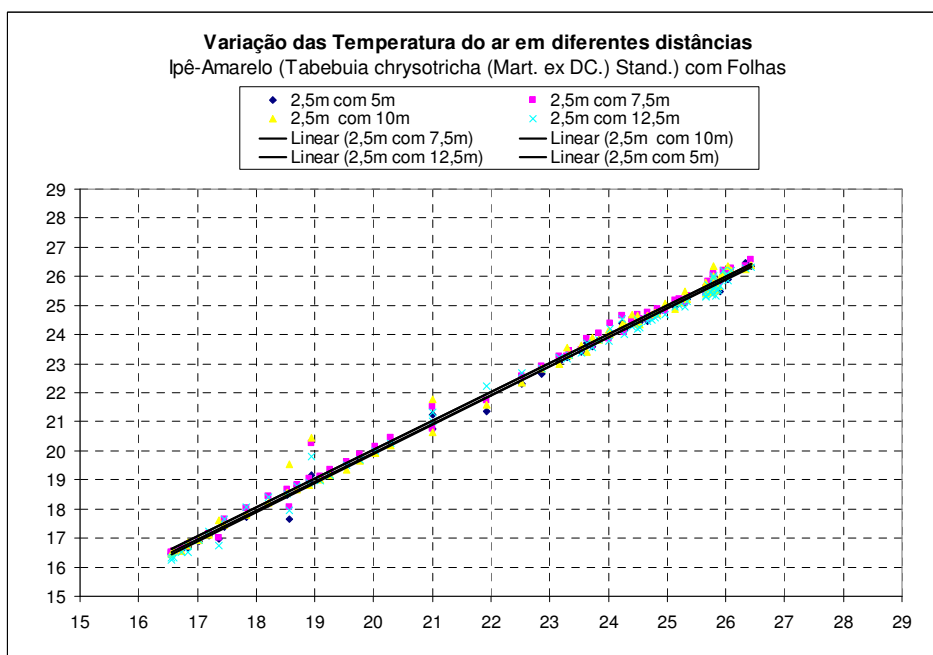


Figura 58 – Variação da temperatura do ar: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.)

TABELA 22 – Variação da temperatura do ar: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.)

Comparação	a	b	r ²
2,5m c/ 5m	1.0058	0.2237	0.9978
2,5m c/ 7,5m	0.9961	0.1162	0.9950
2,5m c/ 10m	0.9923	0.1841	0.9928
2,5m c/ 12,5m	0.9912	0.0997	0.9951

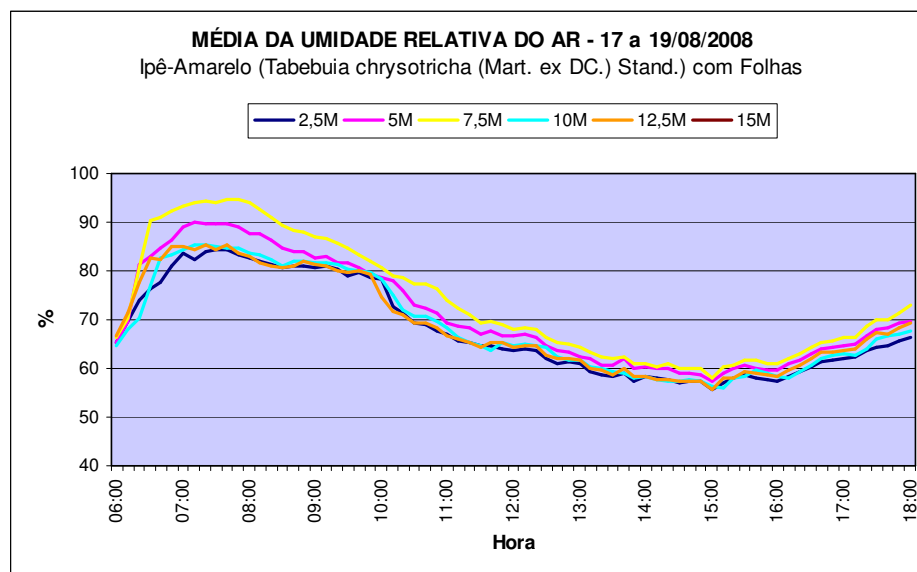


Figura 59 – Umidade relativa do ar: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.)

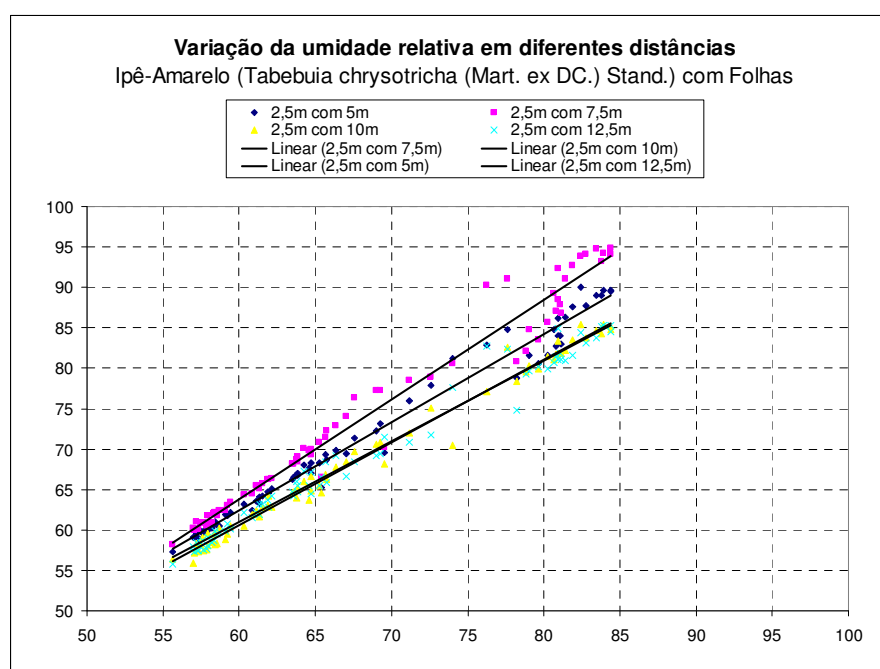


Figura 60 – Umidade relativa do ar: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.)

TABELA 23 – Variação da umidade relativa do ar: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.)

Comparação	a	b	r2
2,5m c/ 5m	1.0901	3.0317	0.9822
2,5m c/ 7,5m	1.2296	0.9913	0.9716
2,5m c/ 10m	1.0248	0.8883	0.9883
2,5m c/ 12,5m	0.9993	1.0078	0.9808

A figura 61 apresenta os resultados da análise comparativa entre temperatura e umidade. A tabela 24 mostra os resultados de conforto térmico, onde todas as distâncias indicaram um aceitável conforto depois das 11 horas e confortável na distância 7,5m, às 11 horas e 18 horas.

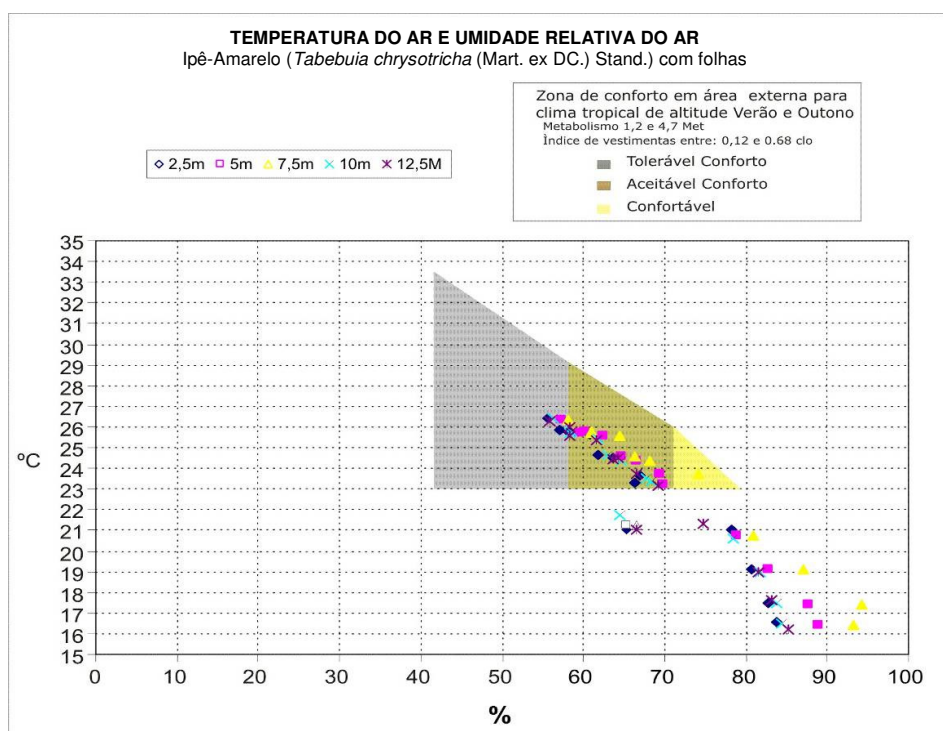


Figura 61 – Umidade relativa do ar: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.)

TABELA 24 – Zona de conforto: Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.)

Ipê-Amarelo (<i>Tabebuia chrysotricha</i> (Mart. ex DC.) Stand.) com folhas										
hora	2,5m		5m		7,5m		10m		12,5m	
	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)
06:00	65.40	21.00	65.23	21.23	66.43	15.70	64.53	21.76	66.53	21.00
07:00	83.76	16.56	88.96	16.43	93.26	14.16	84.33	16.46	85.13	16.23
08:00	82.80	17.46	87.73	17.40	94.16	16.70	83.80	17.46	83.10	17.63
09:00	80.80	19.10	82.73	19.10	87.06	19.40	81.76	19.00	81.43	18.96
10:00	78.20	21.00	78.80	20.73	80.83	22.00	78.40	20.63	74.83	21.33
11:00	67.03	23.63	69.40	23.70	74.03	24.00	68.36	23.40	66.60	23.70
12:00	63.56	24.50	66.53	24.36	68.13	25.70	64.76	24.36	64.23	24.50
13:00	60.83	25.66	62.43	25.60	64.50	26.70	61.83	25.40	61.53	25.33
14:00	58.50	25.98	60.26	25.76	60.93	27.40	58.50	25.76	58.40	26.00
15:00	55.63	26.43	59.26	26.33	58.61	27.60	56.36	26.40	55.80	26.30
16:00	57.16	25.86	59.56	26.13	60.96	27.00	58.56	25.70	58.40	25.60
17:00	61.90	24.66	64.73	24.56	66.26	26.10	63.06	24.66	63.73	24.46
18:00	66.36	23.30	69.8	23.20	72.86	22.90	67.73	23.53	69.16	23.16

4.2.2 JACARANDÁ (*Jacaranda mimosaefolia* D. Don)

As medições dos dados de radiação solar, temperatura do ar, temperatura de globo, umidade e velocidade do vento foram realizadas nos dias 21, 22 e 27 de maio de 2008.

A Tabela 25 indica os valores de energia total incidente, atenuação da radiação solar e erro padrão das médias das atenuações (α). A figura 62 mostra o gráfico dos valores encontrados da radiação incidente e atenuada.

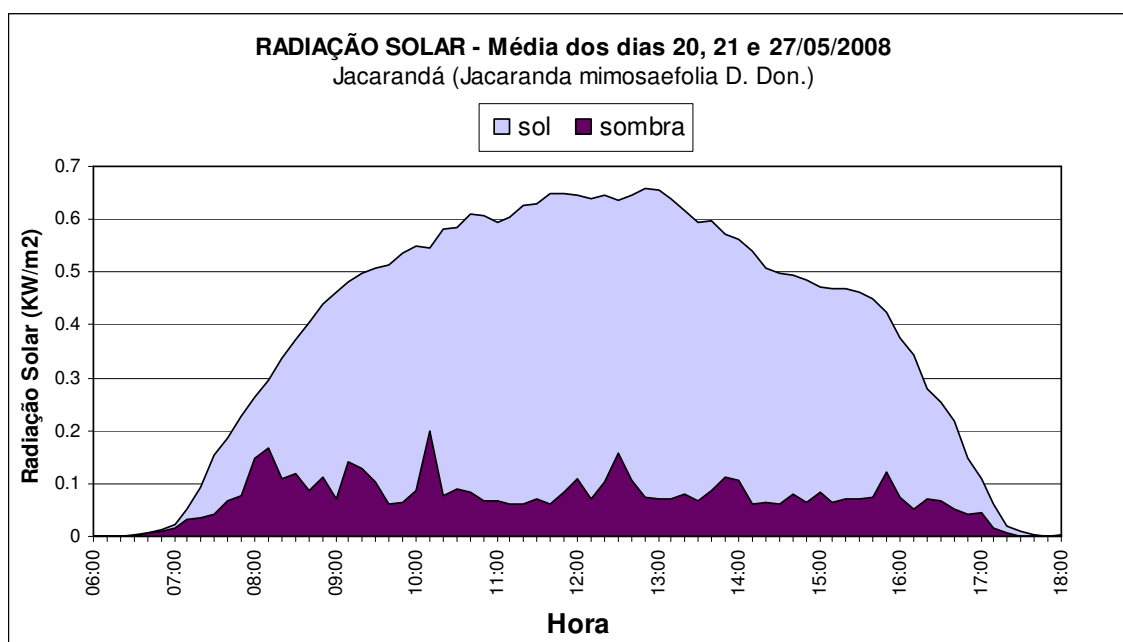


Figura 62 – Atenuação da radiação: Jacarandá (*Jacaranda mimosaefolia* D. Don.)

TABELA 25 – Atenuação da radiação solar: Jacarandá (*Jacaranda mimosaefolia* D. Don.)

Data	Energia Total Incidente (kw.h/m ²) – sol	Energia Total Incidente (kw.h/m ²) - sombra	Atenuação da Radiação Solar (%)
20/05/2008	0.3478	0.1318	62,12
21/05/2008	0.3499	0.1202	65,66
27/05/2008	0.3550	0.1286	63,77
		MÉDIA	63,84
		α	± 1.77

Através da foto da copa da árvore, tirada com lentes olho de peixe, foi encontrado um percentual de área foliar (IAF) igual a 58,51% (figura 63).

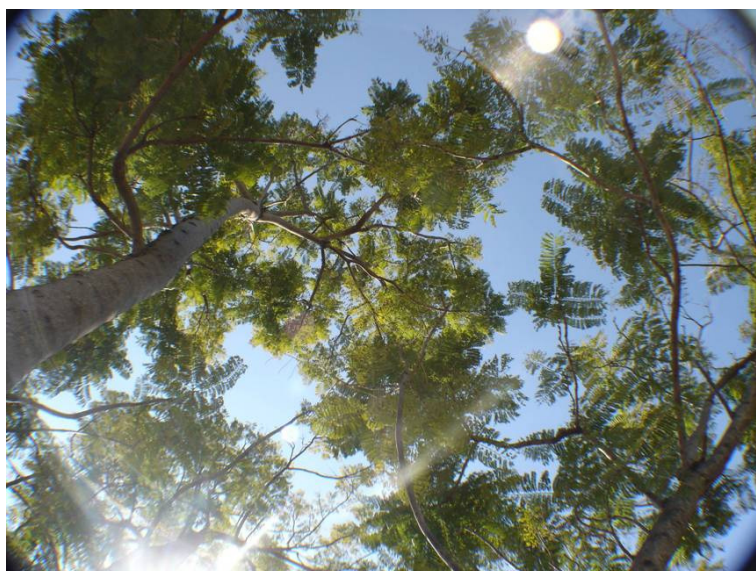


Figura 63 – Foto efeito olho de peixe: Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.)

Os gráficos (figura 64 a 66) apresentam as médias da umidade, temperatura do ar e globo.

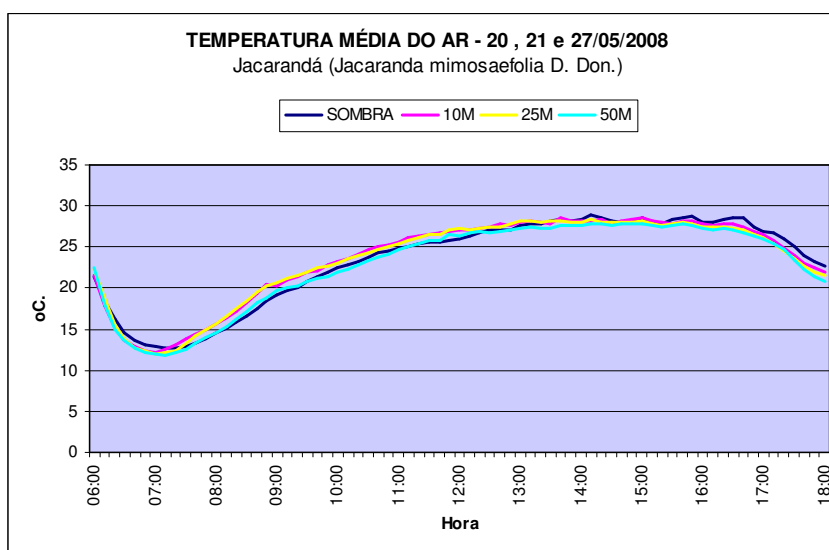


Figura 64 – Temperatura média do ar: Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.)

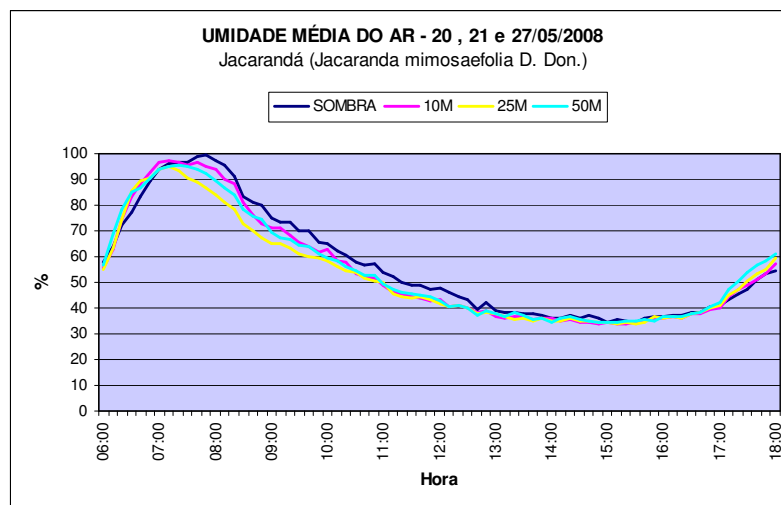


Figura 65 – Umidade do ar média: Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.)

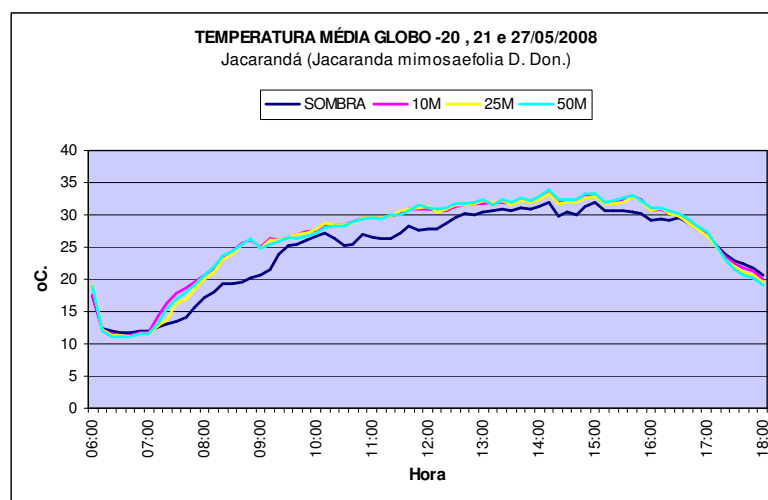


Figura 66 – Temperatura média de globo: Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.)

As tabelas 26 a 31 apresentam as médias diárias e medidas das máximas e mínimas da temperatura do ar e de globo e umidade. A figura 67 indica a velocidade do vento.

TABELA 26 – Médias diárias de temperatura do ar: Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.)

DATA	SOMBRA	10m	25m	50m
18/04/2007	25.78	27.11	26.46	26.93
19/04/2007	26.33	27.63	27.01	27.00
20/04/2007	25.98	27.07	26.94	27.18
MÉDIA	26.03	27.27	26.80	27.03

TABELA 27 – Máximas e mínimas da temperatura do ar: Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.)

DATA	SOMBRA		10m		25m		50m	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
20/5/2008	29.5	13	29.2	12.7	29.5	12.3	27.4	11.7
21/5/2008	29.3	12.6	28.5	12.0	28.8	12.0	28.7	12.0
27/5/2008	29.3	12.6	28.5	12.0	27.4	11.7	27.6	11.8
MEDIA	29.3	12.7	28.7	12.2	28.5	12.0	27.9	11.8

TABELA 28 – Médias diárias da umidade do ar: Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.)

DATA	SOMBRA	10m	25m	50m
20/5/2008	60.0	66.2	58.2	56.4
21/5/2008	60.6	67.0	58.6	57.0
27/5/2008	62.2	69.5	58.9	57.8
MEDIA	60.9	67.5	58.5	57.0

TABELA 29 – Máximas e mínimas da umidade do ar: Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.)

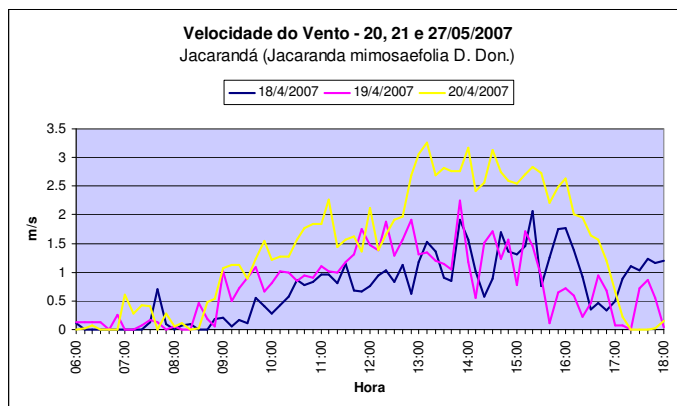
DATA	SOMBRA		10m		25m		50m	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
20/5/2008	99.9	32.9	99.9	31.7	95.3	33.2	98.5	31.5
21/5/2008	99.9	31.3	98.6	31.3	92.6	30.8	94.8	30.0
27/5/2008	99.5	35.7	99.9	35.7	97.9	35.9	99.9	38.4
MEDIA	99.7	33.3	99.4	32.9	95.2	33.3	97.7	33.3

TABELA 30 – Médias diárias da temp. de Globo: Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.)

DATA	SOMBRA	10m	25m	50m
20/5/2008	26.2	27.8	27.7	27.6
21/5/2008	23.8	26.5	26.7	26.5
27/5/2008	24.0	25.3	24.6	25.3
MEDIA	24.7	26.5	26.3	26.5

TABELA 31 – Máximas e mínimas da temp. de globo: Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.)

DATA	SOMBRA		10m		25m		50m	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
18/04/2007	29.9	18.6	32.7	18.5	32.3	18.5	33.3	18.3
19/04/2007	30.7	19.7	32.2	19.4	32.2	19.4	32.8	19.4
20/04/2007	30.1	19.2	32.1	18.9	33.3	18.6	33.5	18.6
MEDIA	30.2	19.2	32.3	18.9	32.6	18.8	33.2	18.8

Figura 67 - Velocidade do ar: Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.)

Comparando as temperaturas do ar registradas ao sol em relação à sombra, há evidência para se afastar a hipótese de que são as mesmas ao nível de 5 % de significância. Através do teste de *Tukey*, o resultado obtido foi o de que a temperatura do ar é diferente nas distâncias de 10m, 25m e 50m em relação à sombra, sendo que nessas distâncias a temperatura é maior do que na sombra.

Cotejando as umidades relativas registradas à sombra com as ao sol, há evidência para se rejeitar a hipótese de que são as mesmas ao nível de 5 % de significância. Pelo teste de *Tukey*, verificou-se que a umidade do ar é diferente nas distâncias de 10m e 50m em relação a sombra, sendo que a 10m a umidade é maior do que na sombra e a 50m a umidade é menor do que na sombra. Também se constatou que a umidade nas distâncias de 25m e 50m tem diferença significativa com relação à 10m, sendo que nessas distâncias a umidade é menor em relação a 10m.

Em relação à temperatura de globo, há evidência para se rejeitar a hipótese de que ela é a mesma ao nível de 5% de significância. Através do teste de *Tukey*, o resultado mostrou que a temperatura do globo é diferente nas distâncias de 10m, 25m e 50m em relação à sombra, sendo que nessas distâncias a temperatura é maior do que na sombra.

O gráfico da zona de conforto para clima tropical de altitude definida por Moreno (2006) da espécie Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.) é apresentado pela figura 68 e tabela 32. A área classificada como confortável (C) no gráfico esta representada pela cor amarela, a aceitável confortável (AC) pela cor marrom e a tolerável conforto (TC) pela cor cinza. As distâncias que apresenta melhores condições de conforto são 10m e 25m no período de 10h às 11h.

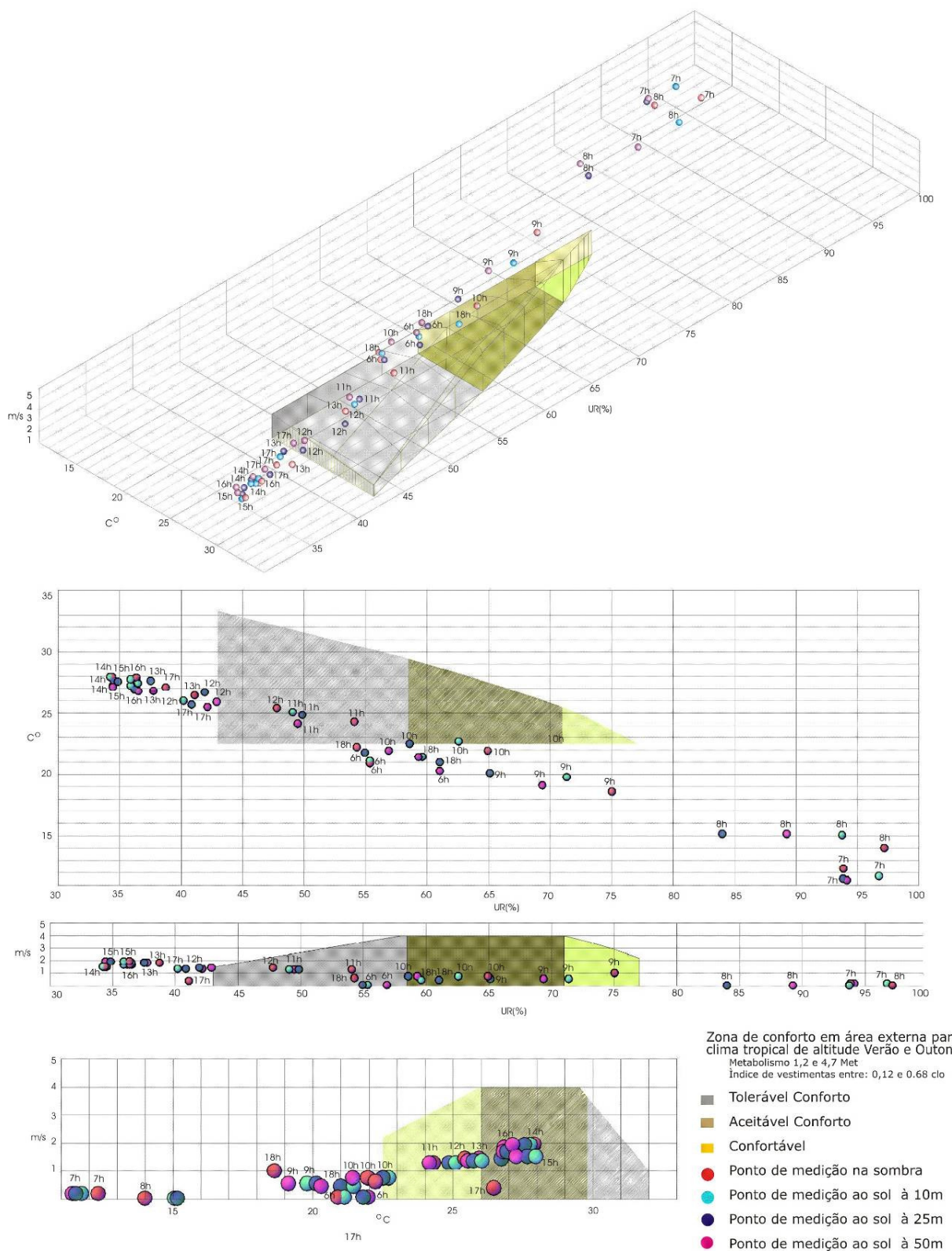


Figura 68 – Resultado para Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.) – Zona de conforto clima tropical de altitude.

TABELA 32 – Zona de conforto: Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.)

Jacarandá (<i>Jacaranda mimosaeifolia</i>)													
		sombra			10m			25m			50m		
hora	Var (m/s)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)
06:00	0.08	D	21.40	57.53	D	21.63	55.37	D	22.30	54.97	D	22.47	56.90
07:00	0.20	D	12.83	93.87	D	12.23	96.77	D	12.03	93.83	D	11.90	94.17
08:00	0.04	D	14.50	97.20	D	15.57	93.77	D	15.67	84.00	D	14.60	89.27
09:00	0.76	D	19.13	75.03	D	20.30	71.37	D	20.63	65.10	D	19.63	69.37
10:00	0.77	D	22.47	64.93	AC	23.20	62.60	AC	23.00	58.60	TC	21.93	59.33
11:00	1.30	TC	24.80	54.10	TC	25.60	49.10	TC	25.37	49.87	TC	24.67	49.50
12:00	1.45	TC	25.93	47.80	D	27.10	43.43	D	27.23	41.93	D	26.43	42.90
13:00	1.85	D	27.60	38.77	D	27.93	36.50	D	28.13	37.53	D	27.33	37.77
14:00	1.97	D	28.40	36.37	D	28.27	35.90	D	28.07	34.87	D	27.63	34.47
15:00	1.54	D	28.47	34.40	D	28.47	34.23	D	28.17	34.53	D	27.77	34.47
16:00	1.71	D	28.07	36.40	D	27.77	35.90	D	27.43	36.20	D	27.30	36.53
17:00	0.41	D	26.97	41.10	D	26.53	40.20	D	26.23	40.87	D	26.03	42.17
18:00	0.46	TC	21.40	57.53	TC	21.97	57.27	TC	21.50	59.63	TC	20.80	61.07

No experimento 02, o levantamento de dados da temperatura e umidade foram realizado no período de 18 a 20 de maio de 2008. As tabelas 33 e 36 apresentam os resultados da temperatura do ar e a tabela 20 e 21, umidade relativa do ar.

TABELA 33 – Média diária da temperatura do ar: Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.)

DIA	2,5m	5m	7,5m	10m	12,5m	15m
18/4/2007	21.85	21.66	21.80	21.86	21.78	21.80
19/4/2007	24.53	24.64	24.59	24.60	24.37	24.59
20/4/2007	24.32	24.61	24.58	24.32	24.29	24.11
MEDIA	23.57	23.63	23.66	23.59	23.48	23.50

TABELA 34 – Máximas e Mínimas da temperatura do ar: Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.)

DIA	2,5m		5m		7,5m		10m		12,5m		15m	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
18/4/2007	26.30	15.90	26.30	15.80	26.80	16.00	26.20	15.90	26.80	15.90	26.80	16.00
19/4/2007	30.00	15.60	29.50	15.50	29.30	15.60	29.40	15.50	28.90	15.40	29.30	14.90
20/4/2007	29.80	15.30	30.10	15.20	29.90	15.20	29.80	15.10	29.70	15.10	29.70	14.90
MEDIA	28.30	15.60	28.50	15.53	28.40	15.63	28.17	15.53	28.17	15.53	28.30	15.53

TABELA 35 – Média diária da umidade relativa do ar: Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.)

DIA	2,5m	5m	7,5m	10m	12,5m	15m
18/4/2007	66.11	65.35	64.92	64.29	66.03	68.84
19/4/2007	64.92	62.37	62.82	62.05	64.56	67.93
20/4/2007	62.19	59.44	60.02	60.00	61.45	64.99
MEDIA	64.40	62.39	62.58	62.11	64.01	67.26

TABELA 36 – Máximas e Mínimas da umidade relativa: Jacarandá Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.)

DIA	2,5m		5m		7,5m		10m		12,5m		15m	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
18/4/2007	80.80	51.40	77.80	0.25	76.70	52.30	76.70	51.80	78.70	51.30	82.30	55.80
19/4/2007	99.90	40.40	94.80	46.50	96.80	43.00	94.60	42.60	97.00	44.30	99.90	46.50
20/4/2007	99.90	30.90	93.40	34.20	97.10	33.60	93.20	31.30	97.50	33.20	99.90	34.20
MEDIA	93.53	42.33	86.90	43.00	89.03	43.20	90.57	43.20	90.57	43.23	94.03	47.03

A seguir, o gráfico da temperatura do ar e umidade, figuras 69 a 72. Comparou-se a variação dos dados encontrados a 2,5m (sombra) com as demais distâncias, observou-se que não há evidência, ao nível de 5% de significância, para se rejeitar a hipótese de que temperatura do ar é a mesma em cada distância. Também notou-se que há evidência ao nível de 0,95 para afastar a hipótese de que a umidade é a mesma em cada distância. Através do teste de Tukey, as médias foram significantes diferentes entre si, são 7,5m e 15m, assim como 10m e 15m. O ponto situado a 7,5m é o mais quente e o situado à 15m, o mais úmido, segundo os valores encontrados na equação da reta, (tabela 37 e 38)

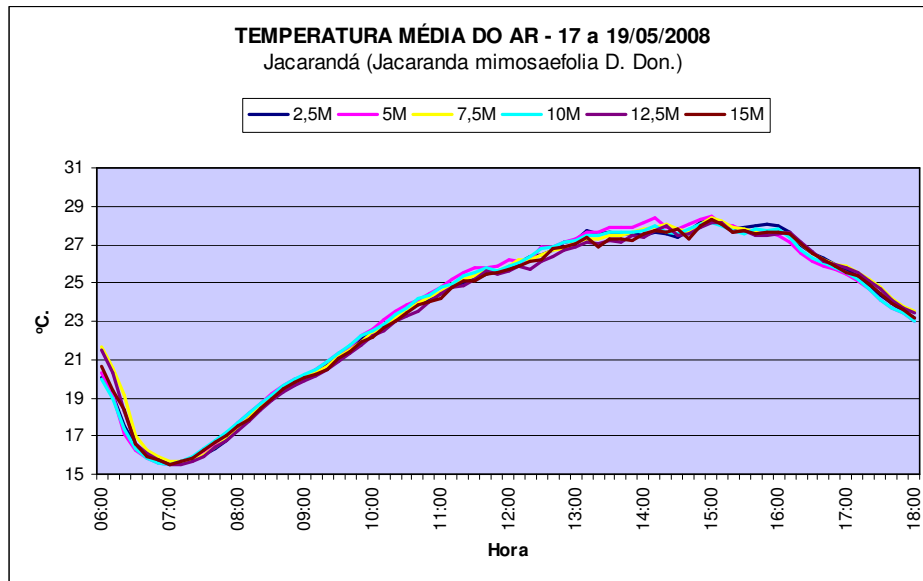


Figura 69 – Temperatura do ar: Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.)

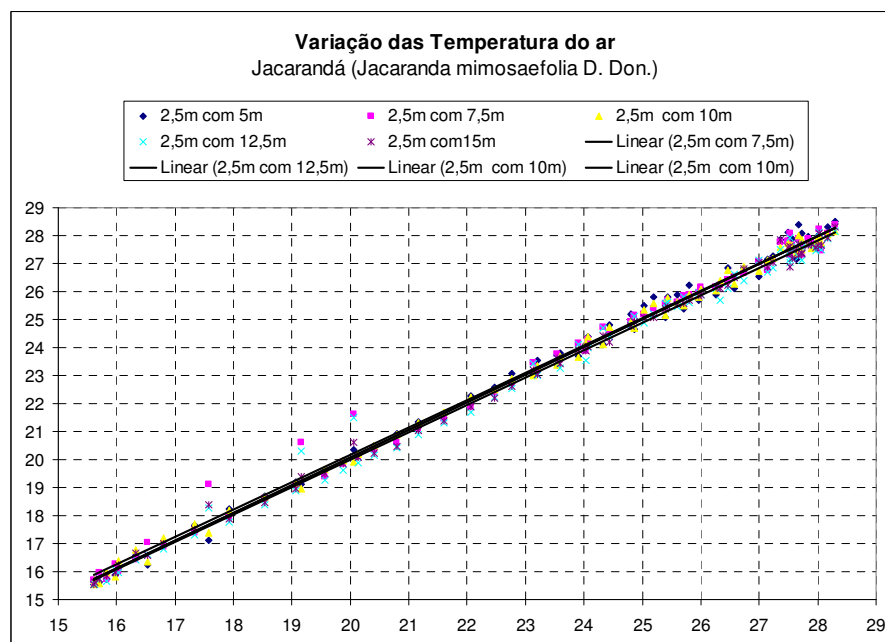


Figura 70 – Variação da temperatura do ar: Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.)

TABELA 37 – Variação da temperatura do ar: Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.)

Comparação	a	b	r ²
2,5m c/ 5m	1.0012	0.0377	0.9952
2,5m c/ 7,5m	0.9742	0.6996	0.9927
2,5m c/ 10m	0.9877	0.3127	0.9927
2,5m c/ 12,5m	0.9778	0.4371	0.9934
2,5m c/ 15m	0.9760	0.4988	0.9975

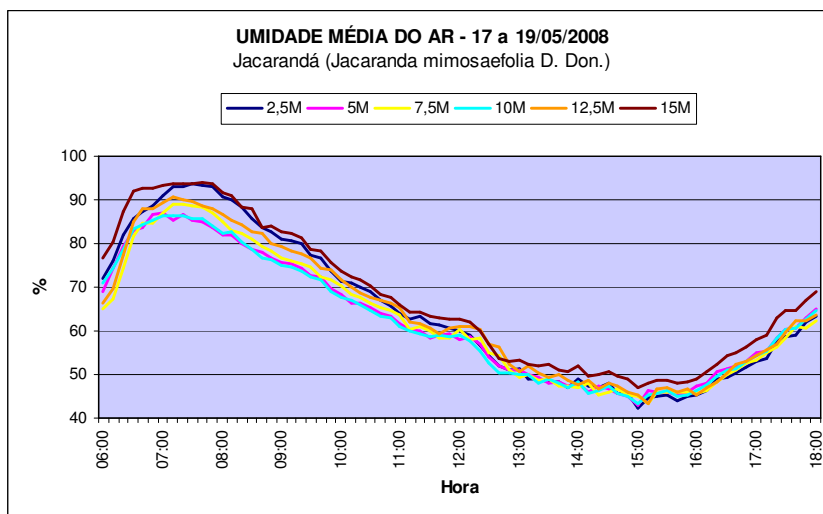


Figura 71 – Umidade relativa do ar: Jacarandá (*Jacaranda mimosaeolia* D. Don.)

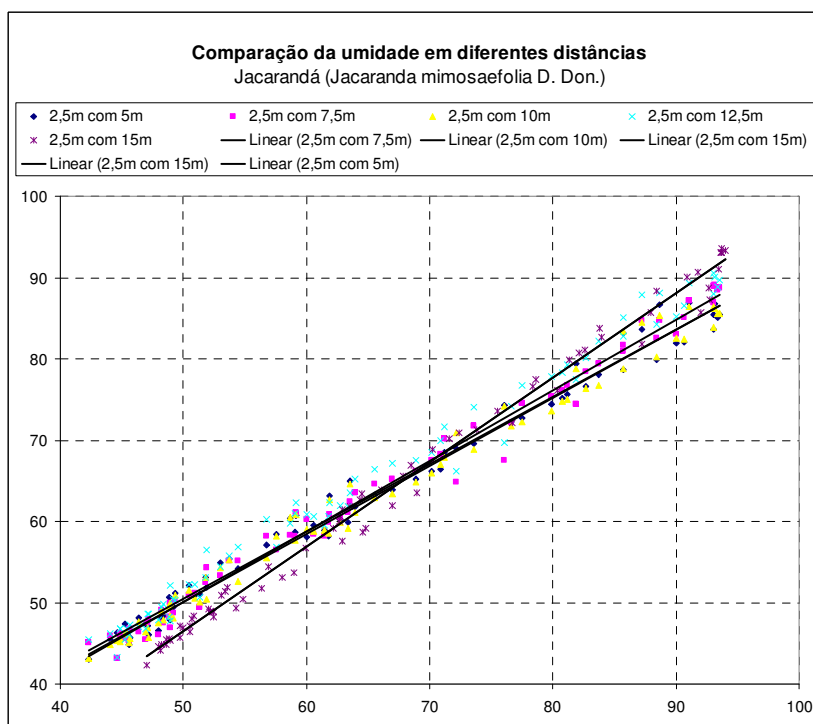


Figura 72 – Variação da umidade relativa do ar: Jacarandá (*Jacaranda mimosaeolia* D. Don.)

TABELA 38 – Variação da umidade relativa do ar: Jacarandá (*Jacaranda mimosaeolia* D. Don.)

Comparação	a	b	r2
2,5m c/ 5m	0.8294	8.9742	0.9879
2,5m c/ 7,5m	0.8694	6.5920	0.9896
2,5m c/ 10m	0.8377	8.1612	0.9886
2,5m c/ 12,5m	0.8961	6.2991	0.9883
2,5m c/ 15m	1.0382	5.4224	0.9919

A figura 73 apresenta resultados da zona de conforto para uma análise comparativa entre temperatura e umidade. A tabela 39 mostra os resultados de conforto térmico, onde todas as distâncias apresentaram um aceitável conforto depois das 11h e às 18h, e tolerável conforto entre 13h e 17h.

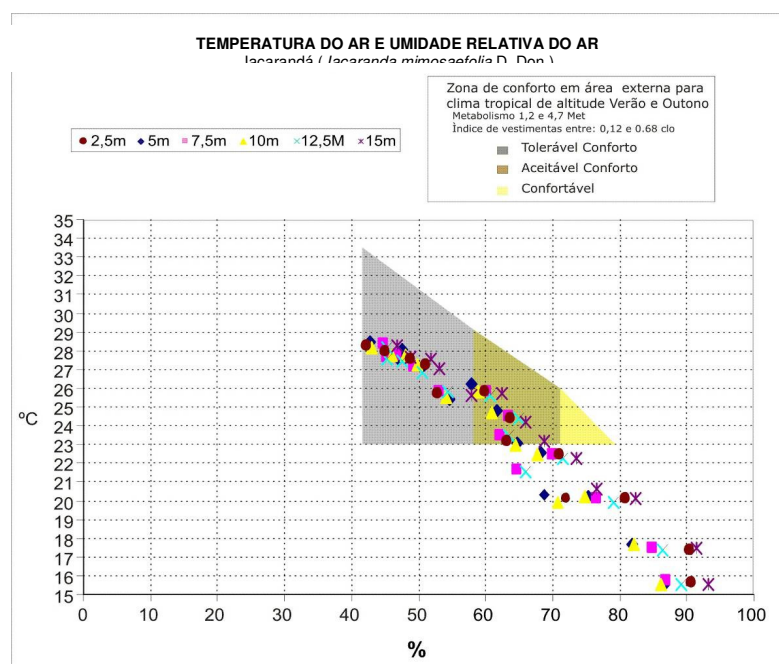


Figura 73 – Resultado para Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.) – Zona de conforto clima tropical de altitude.

TABELA 39 – Zona de conforto: Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.)

Jacarandá (<i>Jacaranda mimosaeifolia</i> D. Don.)										
hora	2,5m		5m		7,5m		10m		12,5m	
	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)
06:00	72.13	20.07	68.93	20.33	64.90	21.63	70.87	19.93	66.20	21.50
07:00	91.03	15.60	86.90	15.53	87.10	15.70	86.40	15.53	89.30	15.53
08:00	90.67	17.33	82.10	17.67	85.13	17.40	82.37	17.70	86.57	17.30
09:00	81.13	20.13	75.60	20.17	76.73	20.13	75.03	20.20	79.27	19.90
10:00	71.23	22.47	68.47	22.57	70.23	22.40	67.83	22.50	71.67	22.23
11:00	63.93	24.43	61.83	24.80	63.57	24.53	61.03	24.73	65.20	24.40
12:00	60.00	25.80	58.07	26.23	60.27	25.87	59.03	25.87	60.87	25.60
13:00	51.37	27.23	51.03	27.27	49.47	27.13	50.07	27.20	50.63	26.83
14:00	48.90	27.50	47.83	28.10	46.87	27.80	48.33	27.73	47.70	27.40
15:00	42.33	28.30	43.00	28.50	45.03	28.40	43.20	28.17	45.40	28.17
16:00	45.30	28.00	47.33	27.50	45.53	27.67	46.20	27.77	45.47	27.57
17:00	53.03	25.70	54.90	25.40	53.37	25.83	54.27	25.50	54.43	25.80
18:00	63.50	23.13	64.93	23.03	62.40	23.47	64.60	23.00	63.53	23.43

4.2.3 Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

As medições dos dados de radiação solar, temperatura do ar, temperatura de globo, umidade e velocidades do vento foram realizadas nos dias 20, 21 e 27 de abril de 2007.

A Tabela 40 apresenta os valores de energia total incidente, atenuação da radiação solar e erro padrão das médias das atenuações (α). A figura 74 mostra o gráfico dos valores encontrados da radiação incidente e atenuada.

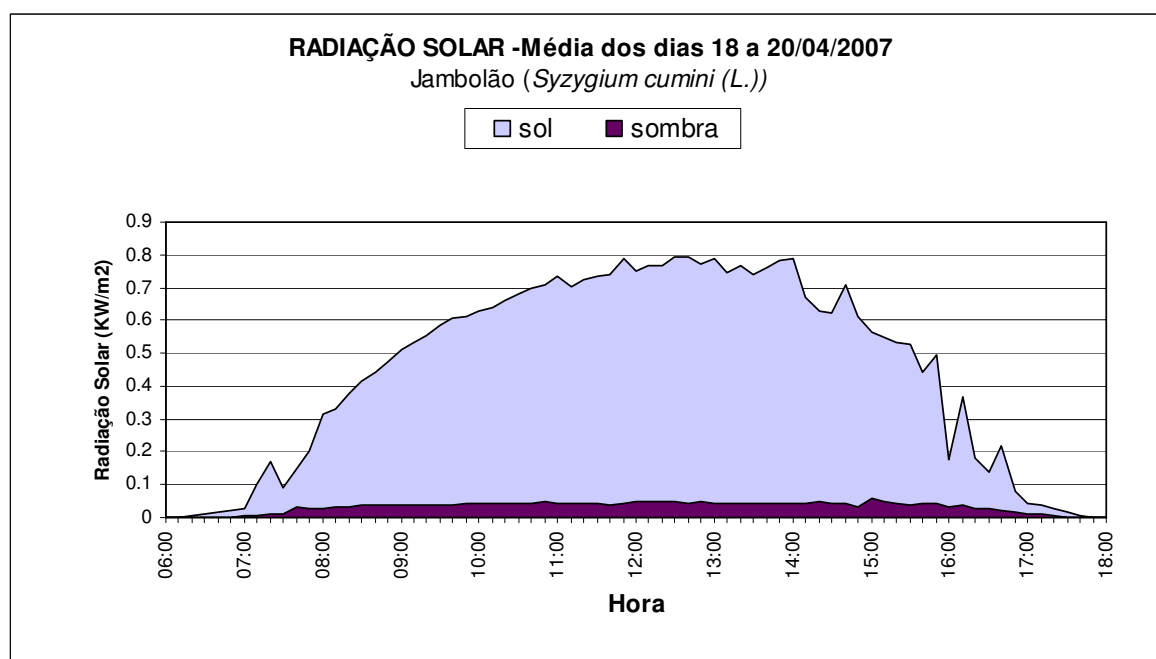


Figura 74 – Atenuação da radiação: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

TABELA 40 – Atenuação da Radiação Solar: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

Data	Energia Total Incidente (kw.h/m ²) – sol	Energia Total Incidente (kw.h/m ²) - sombra	Atenuação da Radiação Solar (%)
20/04/2007	0.4042	0.0458	88.7
21/04/2007	0.3365	0.0358	89,3
27/04/2007	0.3980	0.0427	89,2
MÉDIA			89,1
α			± 0.21

Através da foto tirada da copa da árvore, com lentes olho de peixe, foi encontrado um percentual de área foliar igual a 92,11%, figura 75.



Figura 75 – Foto com o efeito olho de peixe: Jambolão (*Syzygium cumini* L.) (IAF:92,11%)

Os gráficos, figuras 76 a 79, apresentam as médias da umidade, da temperatura do ar e globo. A figura 69 informa a velocidade do ar dos dias 18 a 29 de abril de 2007.

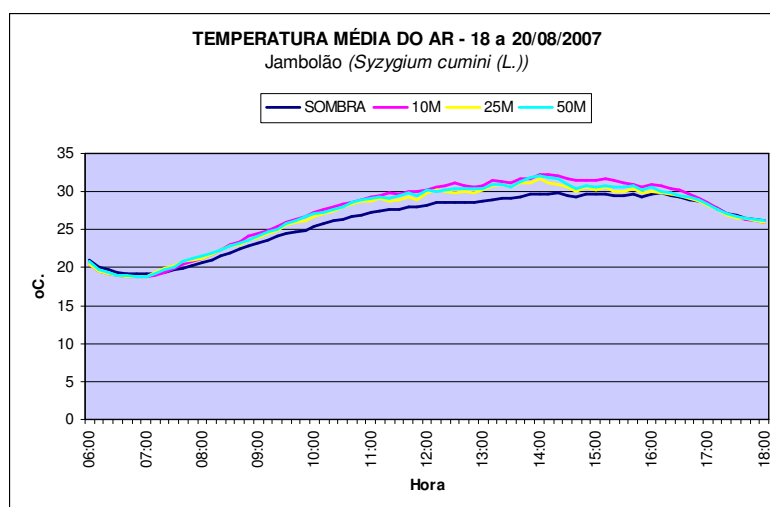


Figura 76 – Temperatura Média do ar: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

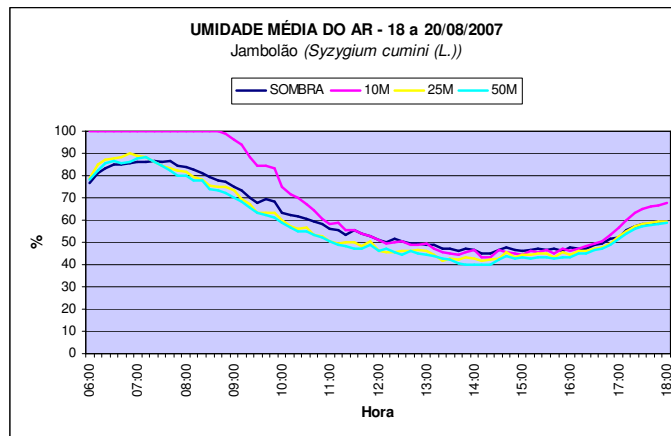


Figura 77 – Umidade do ar média: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

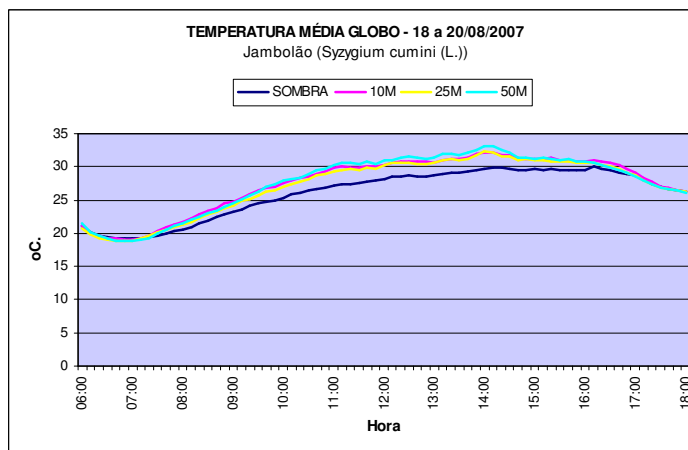


Figura 78 – Temperatura Média de Globo: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

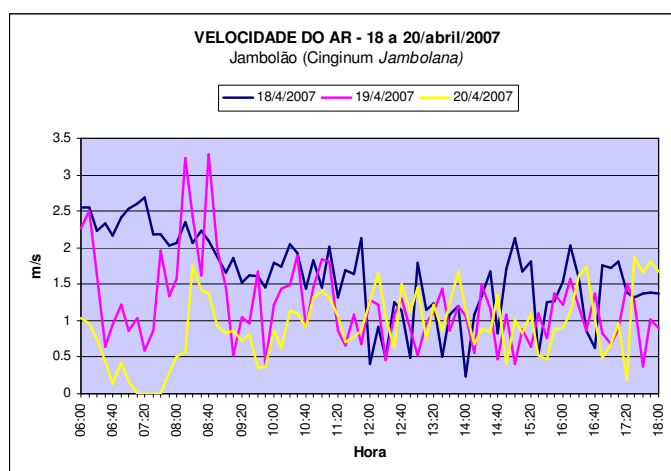


Figura 79 - Velocidade do ar: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

As tabelas 41 a 46 apresentam as médias diárias e medidas das máximas e mínimas da temperatura do ar e de globo e umidade.

TABELA 41 – Médias diárias de temperatura do ar: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

DATA	SOMBRA	10m	25m	50m
18/04/2007	25.8	27.1	26.5	26.9
19/04/2007	26.3	27.6	27.0	27.0
20/04/2007	26.0	27.1	26.9	27.2
MEDIA	26.0	27.2	26.8	27.0

TABELA 42 – Máximas e mínimas da temperatura do ar: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

DATA	SOMBRA		10m		25m		50m	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
18/04/2007	29.8	18.5	32.4	18.2	31.1	18.3	32.5	18.4
19/04/2007	31.1	19.6	32.8	19.1	32.1	19.3	31.9	19.5
20/04/2007	29.9	19	32	18.6	32.2	18.5	33	18.5
MEDIA	30.3	19.0	32.4	18.6	31.8	18.7	32.5	18.8

TABELA 43 – Médias diárias da umidade do ar: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

DATA	SOMBRA	10m	25m	50m
18/04/2007	60.0	66.2	58.2	56.4
19/04/2007	60.6	67.0	58.6	57.0
20/04/2007	62.2	69.5	58.9	57.8
MEDIA	60.9	67.6	58.6	57.1

TABELA 44 – Máximas e mínimas da umidade do ar: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

DATA	SOMBRA		10m		25m		50m	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
18/04/2007	88.4	42.2	100	41.5	89.3	40.0	87.5	38.7
19/04/2007	88.4	42.3	100	41.0	90.5	39.2	88.8	38.8
20/04/2007	89.8	45.0	100	43.5	91.6	41.7	92.3	39.6
MEDIA	88.9	43.2	100	42.0	90.5	40.3	89.5	39.0

TABELA 45 – Médias diárias da temperatura de Globo: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

DATA	SOMBRA	10m	25m	50m
18/04/2007	25.8	27.4	26.8	27.34
19/04/2007	26.3	27.7	27.2	27.62
20/04/2007	26.0	27.3	27.5	27.8
MEDIA	26.0	27.5	27.2	27.6

TABELA 46– Máximas e mínimas da temperatura de globo: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

DATA	SOMBRA		10m		25m		50m	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
18/04/2007	29.9	18.6	32.7	18.5	32.3	18.5	33.3	18.3
19/04/2007	30.7	19.7	32.2	19.4	32.2	19.4	32.8	19.4
20/04/2007	30.1	19.2	32.1	18.9	33.3	18.6	33.5	18.6
MEDIA	30.2	19.2	32.3	18.9	32.6	18.8	33.2	18.8

Comparando as temperaturas do ar registradas ao sol em relação à sombra, há evidência para se rejeitar a hipótese de que são as mesmas ao nível de 5 % de significância. Pelo teste de Tukey, comprovou-se que a temperatura do ar é diferente nas distâncias de 10m, 25m e 50m em relação à sombra, sendo que nesses pontos a temperatura é maior do que na sombra.

Equiparando as umidades relativas registradas à sombra com as ao sol, há evidência para se rejeitar a hipótese de que são as mesmas ao nível de 5 % de significância. Através do teste de *Tukey*, o resultado obtido foi de que a umidade do ar é diferente nas distâncias de 10m e 50m em relação à sombra, sendo que a 10m a umidade é maior do que na sombra e a 50m a umidade é menor do que na sombra. Também se apurou que a umidade, nas distâncias de 25m e 50m, tem diferença significativa com relação à 10m, sendo que a umidade é menor em relação a 10m. Em relação à temperatura de globo, há evidência para se afastar a hipótese de que ela é a mesma ao nível de 5% de significância. Pelo teste de *Tukey*, observou-se que a temperatura do globo é diferente nas distâncias de 10m, 25m e 50m em relação à sombra, sendo que nessas distâncias a temperatura é maior do que na sombra.

Os gráficos da zona de conforto térmico para clima tropical de altitude da espécie Jambolão (*Syzygium cumini* L.), são apresentados pela figura 80 e tabela 47. A área classificada como confortável (C) no gráfico esta representada pela cor amarela, a aceitável confortável (AC) pela cor marrom e a tolerável conforto (TC) pela cor cinza. Os pontos mais confortáveis são a 10m e 25m.

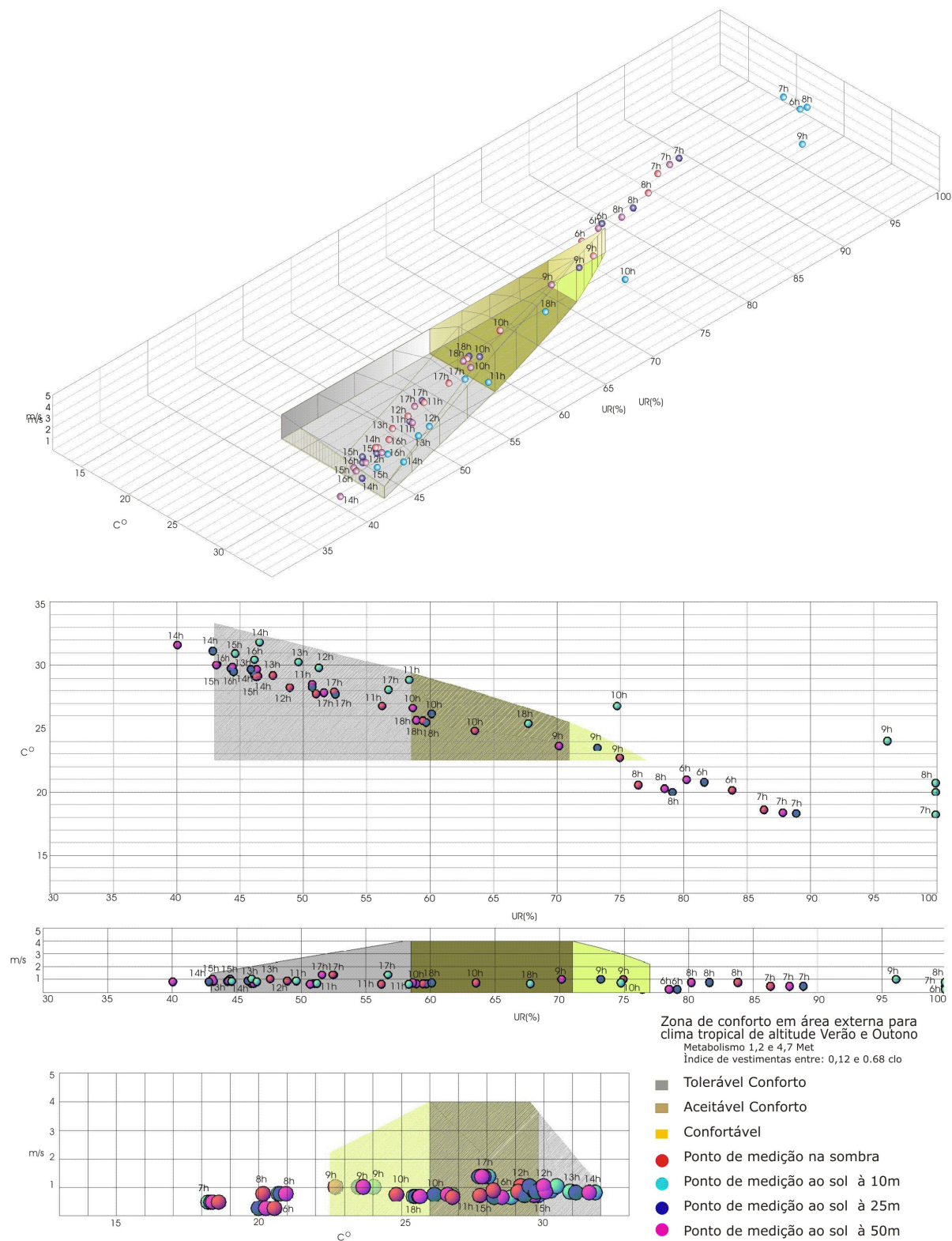


Figura 80 – Resultado para Jambolão (*Syzygium cumini* L.)– Zona de Conforto Clima Tropical de Altitude

TABELA 47 – Zona de conforto: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

Jambolão (<i>Syzygium cumini</i> (L.))													
		sombra			10m			25m			50m		
hora	Var (m/s)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)
06:00	0.26	D	21.06	85.70	D	20.50	99.96	D	20.5	90.13	D	20.76	86.30
07:00	0.48	D	19.1	84.63	D	18.73	99.90	D	18.83	82.03	D	18.86	79.90
08:00	0.78	D	20.66	77.06	D	21.20	99.03	D	21.26	74.86	D	21.46	72.50
09:00	1.01	D	23.2	68.20	D	24.53	83.10	D	24.00	63.20	D	24.16	61.30
10:00	0.75	D	25.33	58.33	AC	27.30	60.83	AC	26.66	52.90	D	27.13	51.96
11:00	0.65	TC	27.3	52.80	TC	29.36	52.96	TC	28.76	50.43	TC	29.03	48.73
12:00	0.71	TC	28.26	49.56	D	30.30	48.63	D	29.83	46.40	D	30.16	45.00
13:00	0.89	D	28.73	47.33	D	30.76	45.40	D	30.16	43.10	D	30.36	40.16
14:00	0.82	D	29.66	46.53	D	32.30	44.83	D	31.63	43.23	D	32.10	42.73
15:00	0.85	D	29.60	46.06	D	31.43	47.33	D	30.23	45.50	D	30.56	43.30
16:00	1.04	D	29.70	51.46	D	30.96	53.20	D	30.00	49.50	D	30.50	49.03
17:00	1.37	D	28.40	59.23	D	28.56	66.56	D	28.23	59.23	D	28.33	58.36
18:00	0.68	D	26.13	59.46	D	25.93	67.73	D	26.00	59.70	D	26.16	58.93

No experimento 02, o levantamento de dados da temperatura e umidade foi realizado nos dias 29 a 31 de março de 2008. As tabelas 48 e 49 mostram os resultados da temperatura do ar, e as tabelas 50 e 51, a umidade relativa do ar.

TABELA 48 – Média diária da temperatura do ar: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

DIA	2,5m	5m	7,5m	10m	12,5m	15m
29/3/2008	26.06	26.03	26.71	26.89	27.06	26.56
30/3/2008	24.42	24.55	24.85	25.44	25.63	25.30
31/3/2008	25.39	25.37	25.96	26.05	26.03	25.88
MEDIA	25.29	25.32	25.84	26.13	26.24	25.91

TABELA 49 – Máximas e Mínimas da temperatura do ar: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

DIA	2,5m		5m		7,5m		10m		12,5m		15m	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
29/3/2008	29.30	20.40	29.40	20.10	29.80	20.00	30.50	20.00	30.50	20.30	29.60	19.90
30/3/2008	26.80	18.70	27.40	19.00	0.00	0.00	28.50	19.50	28.70	19.70	28.30	18.70
31/3/2008	30.30	19.40	31.50	19.10	32.80	19.10	32.30	18.80	31.70	19.10	31.70	18.70
MEDIA	28.10	19.67	28.87	19.57	31.00	19.60	29.97	19.77	29.73	20.23	29.60	19.60

TABELA 50 – Média diária da umidade relativa do ar: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

DIA	2,5m	5m	7,5m	10m	12,5m	15m
29/3/2008	65.62	64.11	erro	60.42	67.49	64.68
30/3/2008	65.05	62.80	erro	59.43	erro	63.07
31/3/2008	75.97	72.55	70.71	69.53	70.93	74.72
MEDIA	68.88	66.48	70.71	63.13	69.21	67.49

TABELA 51 – Máximas e Mínimas da umidade relativa do ar: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

DIA	2,5m		5m		7,5m		10m		12,5m		15m	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
29/3/2008	96.60	47.30	88.90	0.25	82.90	0.00	82.90	46.00	0.00	0.00	91.50	50.80
30/3/2008	86.00	56.70	78.20	54.10	0.00	0.00	75.90	50.80	0.00	0.00	82.50	54.10
31/3/2008	99.90	54.00	98.30	52.60	99.50	46.80	98.10	47.50	97.90	49.70	99.90	52.60
MEDIA	94.17	55.20	88.17	52.60	99.50	46.80	97.90	51.30	97.90	49.70	91.30	54.23

A seguir, o gráfico da temperatura do ar e umidade relativa do ar (figura 81 a 84). Cotejando a variação dos dados encontrados a 2,5m (sombra) com as demais distâncias, observou-se que não há evidência, ao nível de 5% de significância para se por de lado a hipótese de que a temperatura do ar e a umidade do ar é a mesma em cada distância. O ponto situado à 7,5m é quente e o situado à 12,5m, o mais úmido, segundo os valores encontrados na equação da reta (tabela 52 e 53).

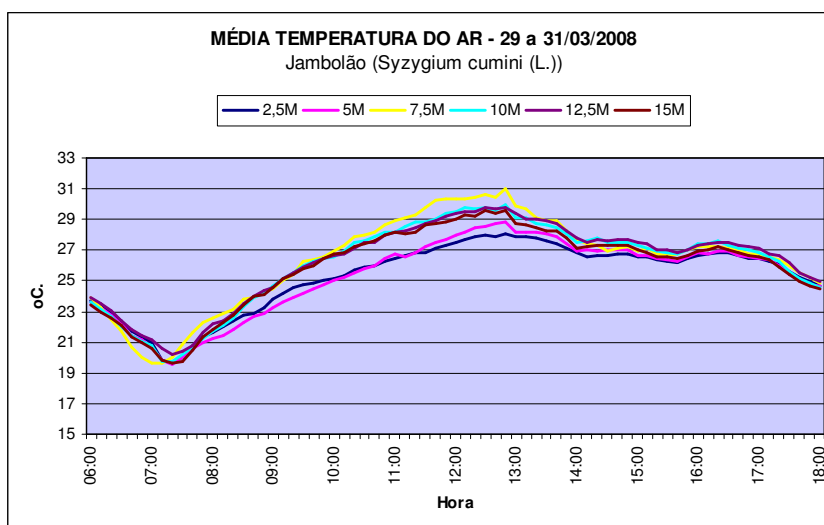
Figura 81 – Temperatura do ar: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

TABELA 52 – Variação da temperatura do ar: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

Comparação	a	b	r ²
2,5m c/ 5m	1.1027	2.5698	0.991
2,5m c/ 7,5m	1.2474	5.2167	0.910
2,5m c/ 10m	1.2095	4.4627	0.960
2,5m c/ 12,5m	1.1516	2.8839	0.975
2,5m c/ 15m	1.1612	3.4579	0.954

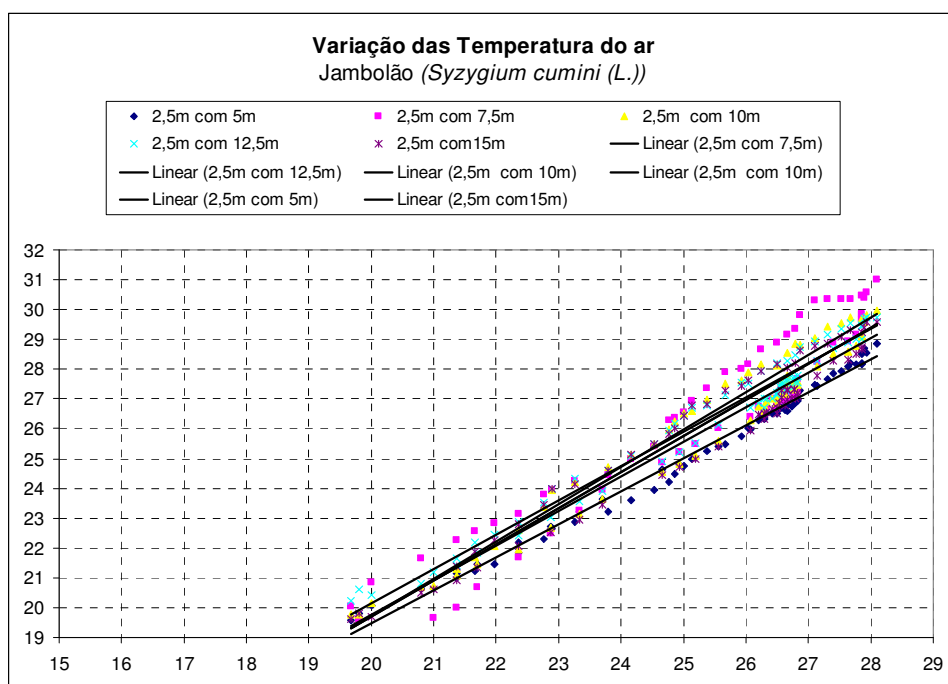


Figura 82 – Variação da temperatura do ar: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

TABELA 53 – Variação da umidade relativa do ar: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

Comparação	a	b	r ²
2,5m c/ 5m	0.9323	2.2633	0.991
2,5m c/ 7,5m	1.2015	12.0560	0.838
2,5m c/ 10m	0.8801	2.5065	0.945
2,5m c/ 12,5m	1.0180	0.8071	0.806
2,5m c/ 15m	1.0359	1.0310	0.944

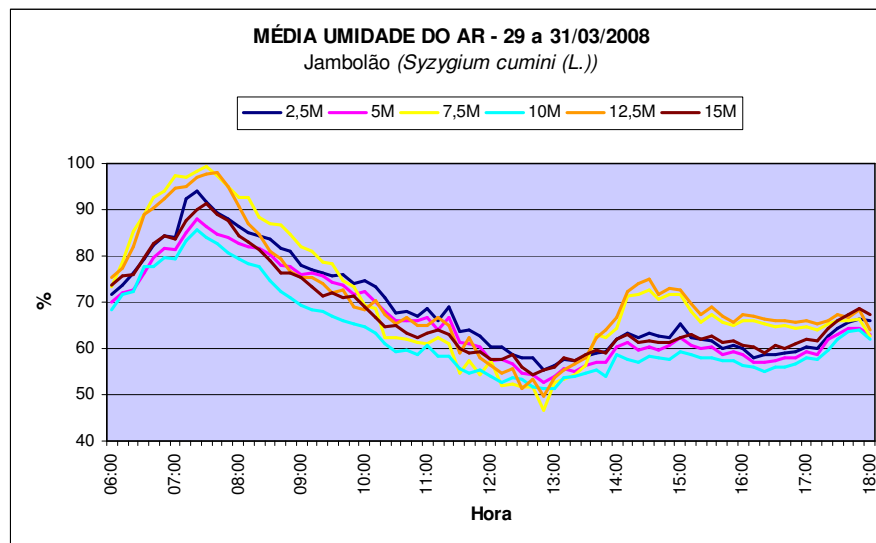


Figura 83 – Umidade relativa do ar: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

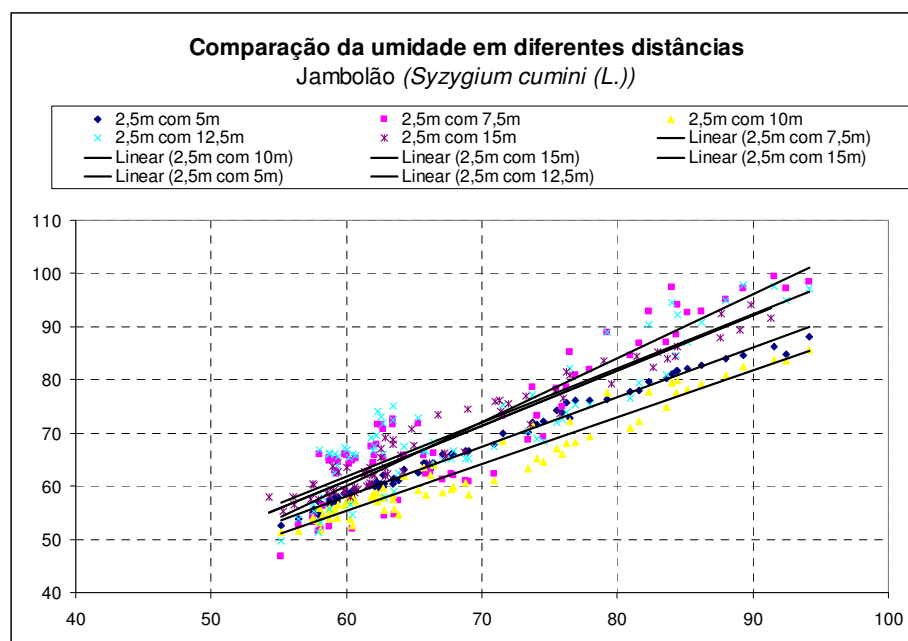


Figura 84 – Variação da umidade relativa do ar: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

A figura 85 apresenta resultados da análise comparativa entre temperatura e umidade. A tabela 54 mostra os resultados de conforto térmico, que em todas as distâncias apresentaram um aceitável conforto às 6h e 12 h e depois das 16 h. Os pontos mais confortáveis são a 5m e a 10m.

TABELA 54 – Zona de conforto: Jambolão (*Syzygium cumini* L.)

Jambolão (<i>Syzygium cumini</i> L.)												
HORA	2,5m		5m		7,5m		10m		12,5m		15m	
	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)
6:00	71.57	23.70	69.90	23.63	73.30	23.95	68.50	23.63	75.40	23.90	73.53	23.43
7:00	84.00	21.00	81.17	20.67	97.40	19.65	79.37	20.73	94.60	21.17	83.67	20.60
8:00	86.20	21.67	82.67	21.23	92.80	22.55	79.30	21.70	90.70	22.17	84.43	21.87
9:00	77.97	23.80	76.10	23.23	82.00	24.45	69.37	24.70	75.40	24.60	75.40	24.60
10:00	74.53	25.13	72.20	25.00	69.40	26.95	64.57	26.60	68.40	26.70	68.97	26.77
11:00	68.77	26.50	66.73	26.73	61.10	28.90	60.73	28.13	65.10	28.20	63.47	28.17
12:00	60.30	27.53	57.30	27.93	57.40	30.35	53.93	29.53	56.50	29.37	57.60	29.07
13:00	56.47	27.87	53.83	28.17	52.80	29.85	51.47	29.13	53.80	29.43	56.13	28.73
14:00	62.00	26.83	60.33	26.97	64.40	27.65	58.53	27.47	66.60	27.80	62.07	27.10
15:00	65.30	26.57	62.47	26.70	71.70	26.95	59.20	27.30	72.80	27.53	62.50	27.07
16:00	59.90	26.67	58.57	26.80	66.00	27.25	56.47	27.37	67.20	27.30	60.57	26.97
17:00	60.40	26.50	59.30	26.50	64.70	26.75	57.90	26.87	66.10	27.13	61.87	26.53
18:00	66.17	24.67	63.17	24.63	62.80	24.85	62.03	24.57	64.10	24.90	67.27	24.43

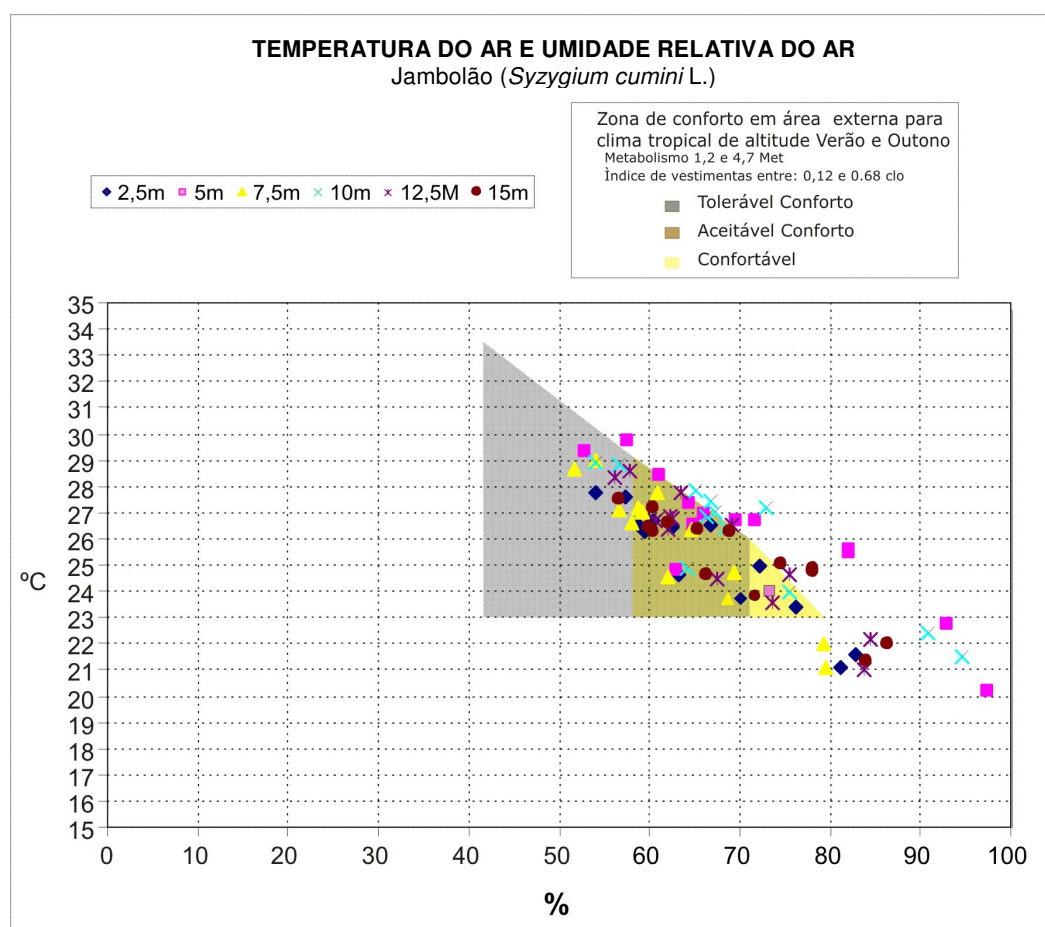


Figura 85 – Resultado para Jambolão (*Syzygium cumini* L.) – Zona de Conforto Clima Tropical de Altitude.

4.2.4 Mangueira (*Mangifera indica* L.)

As medições dos dados de radiação solar, temperatura do ar, temperatura de globo, umidade e velocidades do vento foram realizadas nos dias 5, 6 e 10 de julho de 2007. A figura 86 indica o gráfico da atenuação da radiação, e a tabela 55 apresenta os valores de energia total incidente, atenuação da radiação solar e erro padrão das médias das atenuações (α).

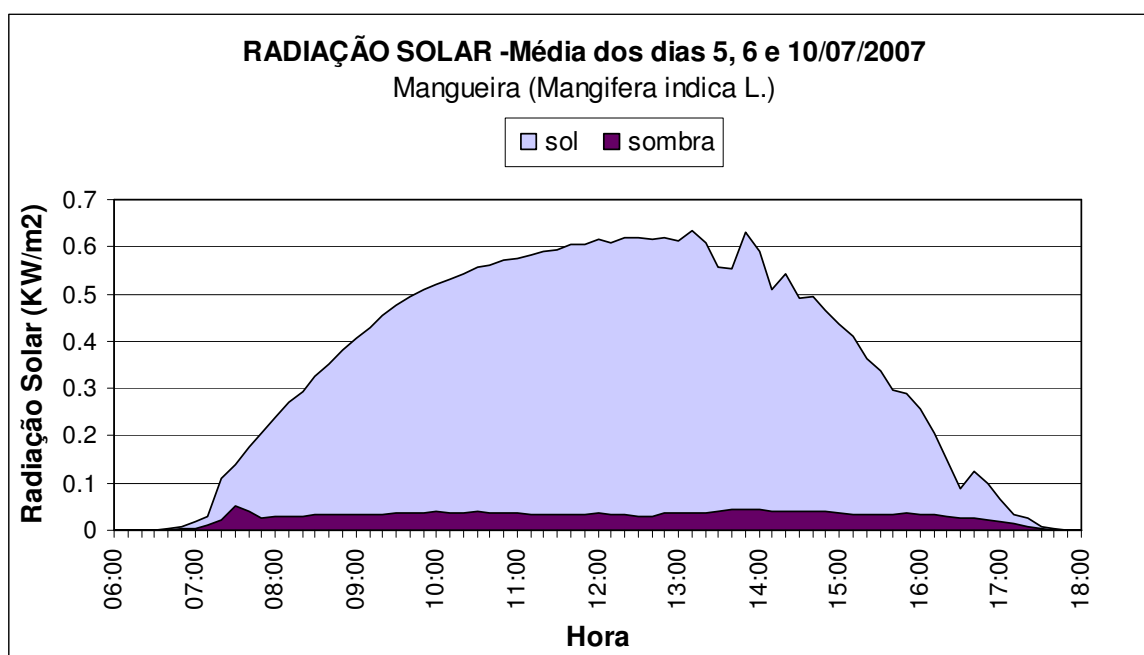


Figura 86 – Atenuação da radiação: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

TABELA 55 – Atenuação da Radiação Solar da Mangueira (<i>Mangifera indica</i> L.)			
Data	Energia Total Incidente (kw.h/m ²)	Energia Total Incidente (kw.h/m ²)	Atenuação da Radiação Solar (%)
	- sol	- sombra	
5/7/2007	0.3305	0.0309	90,6
6/7/2007	0.3187	0.0468	85,3
10/7/2007	0.3390	0.0342	89,9
MÉDIA			88,6
α			± 1.67



Figura 87 – Foto com o efeito olho de peixe: Mangueira (*Mangifera indica* L.) (IAF:95,09%)

Através da foto tirada da copa da árvore com lentes olho de peixe, foi encontrado um percentual de área foliar igual a 92,11% (figura 87). As figuras 88 a 90 apontam as médias da umidade relativa do ar, temperatura do ar e globo. A figura 91 apresenta a velocidade do ar nos dias 5, 6 e 10 de julho de 2007.

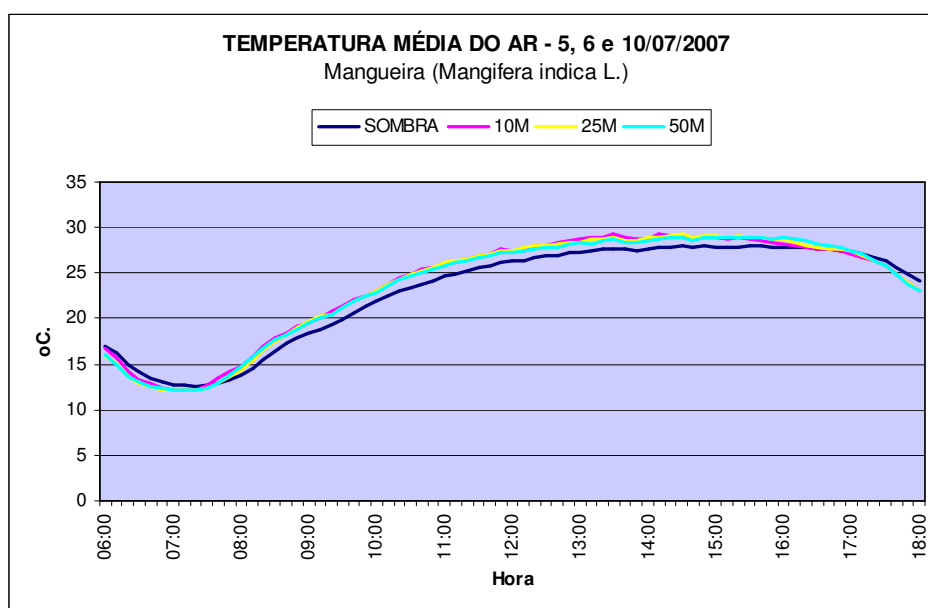


Figura 88 – Temperatura Média de ar: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

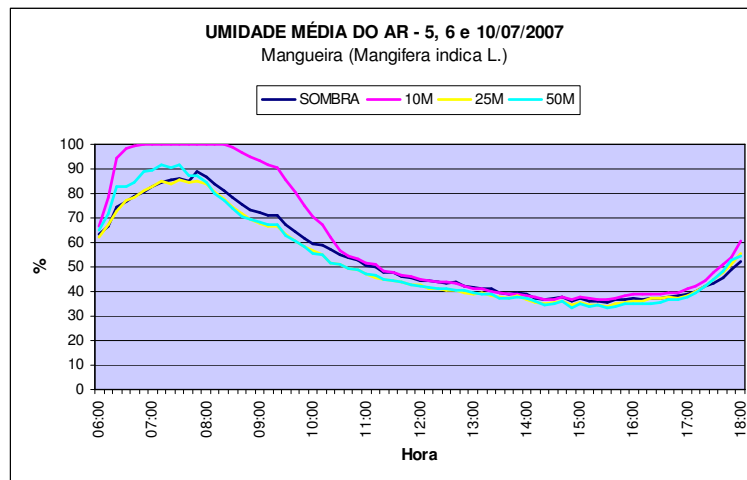


Figura 89 – Umidade Média do ar: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

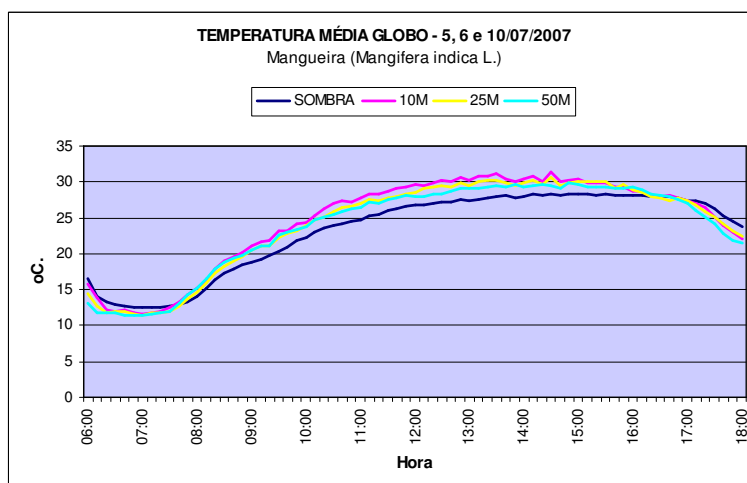


Figura 90 – Temperatura Média de Globo: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

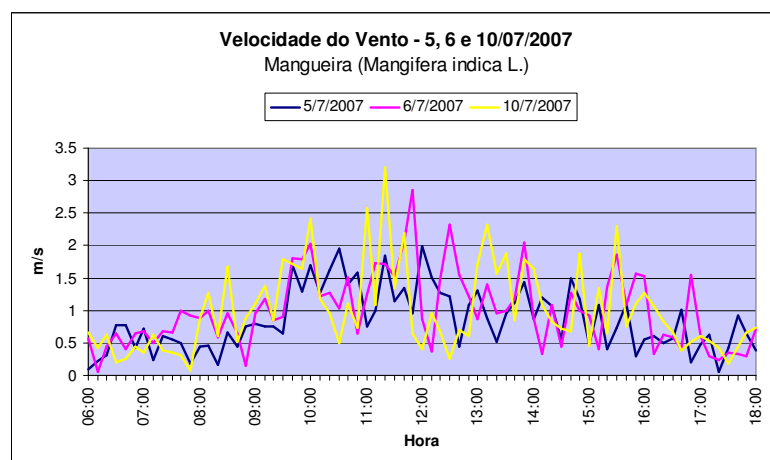


Figura 91 – Velocidade do ar: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

As tabelas 56 a 61 apresentam as médias diárias e medidas das máximas e mínimas da temperatura do ar, de globo e da umidade.

TABELA 56 – Médias diárias de temperatura do ar: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

DATA	SOMBRA	10m	25m	50m
5/7/2007	22.6	23.3	23.3	23.2
6/7/2007	23.3	24.2	24	24.0
10/7/2007	23.1	23.5	23.6	23.6
	23.0	23.7	23.6	23.6

TABELA 57 – Máximas e Mínimas da temperatura do ar: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

DATA	SOMBRA		10m		25m		50m	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
5/7/2007	28.0	11.9	29.4	11.3	29.6	11.4	29.2	11.4
6/7/2007	28.1	13.4	30.1	13.3	29.4	13.1	29.5	13.2
10/7/2007	28.1	12.4	29.5	11.8	29.3	11.6	28.8	11.7
MEDIA	28.1	12.6	29.7	12.1	29.4	12.0	29.2	12.1

TABELA 58 – Médias diárias da umidade do ar: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

DATA	SOMBRA	10m	25m	50m
5/7/2007	54	61.1	52.6	53.4
6/7/2007	54.4	59.1	51.3	54.5
10/7/2007	53.7	61.7	52.7	52.8
MEDIA	54.0	60.6	52.2	53.6

TABELA 59 – Máximas e Mínimas da umidade do ar: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

DATA	SOMBRA		10m		25m		50m	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
5/7/2007	88.5	34.8	100.0	34.4	84.5	32.8	90.8	32.1
6/7/2007	93.0	31.1	99.9	30.5	87.7	30.9	93.6	28.7
10/7/2007	86.4	38.3	100.0	38.5	88.7	36.6	91.3	37.1
MEDIA	89.3	34.7	100.0	34.5	87.1	33.4	91.9	32.6

TABELA 60 – Médias diárias de temperatura de Globo: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

DATA	SOMBRA	10m	25m	50m
5/7/2007	22.8	24.3	24.0	23.7
6/7/2007	23.6	25.3	24.5	23.9
10/7/2007	23.1	24.3	23.9	23.8
MEDIA	23.2	24.6	24.1	23.8

TABELA 61 – Máximas e mínimas da temperatura de Globo: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

DATA	SOMBRA		10m		25m		50m	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
5/7/2007	28.5	11.7	31.6	10.9	30.6	10.7	31.7	10.5
6/7/2007	28.6	13.4	32.8	12.9	32.1	12.6	30.5	12.2
10/7/2007	28.4	12.1	30.6	10.8	30.8	10.5	30.1	10.4
MEDIA	28.5	12.4	31.7	11.5	31.2	11.3	30.8	11.0

Comparando as temperaturas do ar registradas ao sol em relação à sombra, há evidência para se rejeitar a hipótese de que são as mesmas ao nível de 5% de significância. Através do teste de *Tukey*, o resultado obtido foi de que a temperatura do ar é maior nas distâncias de 10m, 25m e 50m em relação à sombra, sendo que nessas distâncias a temperatura é maior do que na sombra.

Comparando as umidades relativas registradas à sombra com as ao sol, há evidência para se rejeitar a hipótese de que são as mesmas ao nível de 5% de significância. O teste de *Tukey* mostrou que a umidade do ar é maior na distância de 10m em relação à sombra, sendo que a 10m a umidade é maior do que na sombra. Também obtiveram que a umidade nas distâncias de 25m e 50m tem diferença significativa com relação a 10m, mas não há diferença em relação à sombra

Em relação à temperatura de globo, há evidencia para ajustar a hipótese de que ela é a mesma ao nível de 5% de significância. Através do teste de *Tukey*, o resultado obtido foi o de que a temperatura de globo é diferente na distância de 10m, em relação à sombra, sendo que a temperatura é maior do que na sombra.

Os gráficos da zona de conforto térmico para clima tropical de altitude definida da espécie Mangueira (*Mangifera indica* L.) são apresentados pela figuras 92. A área classificada como confortável no gráfico esta representada pela cor amarela, a de aceitável conforto pela cor marrom e a de tolerável conforto pela cor cinza. O ponto mais confortável é o a 10 m.

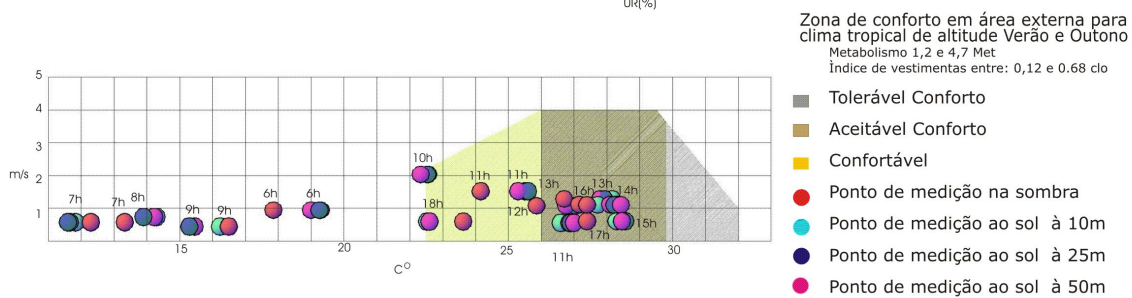
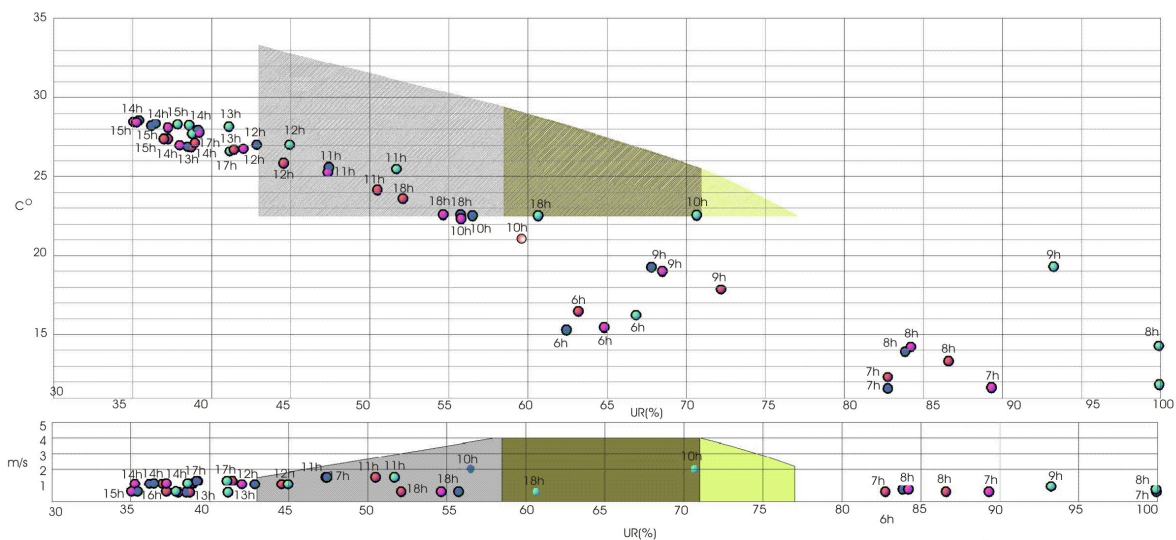
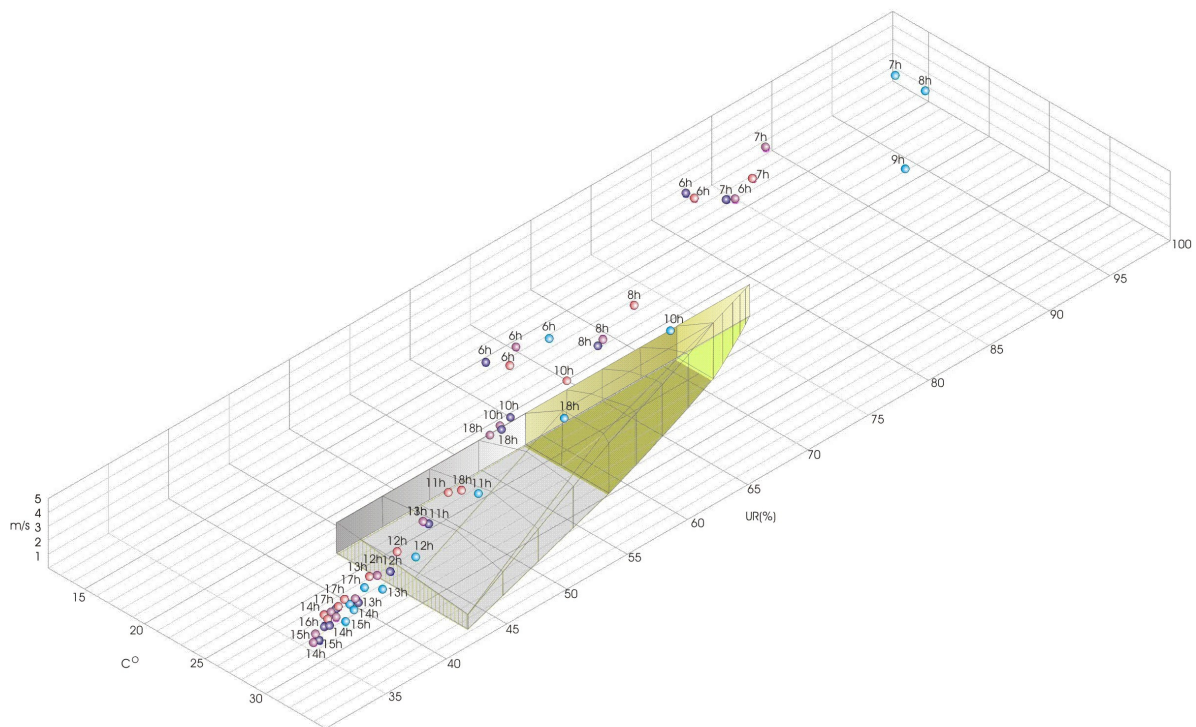


Figura 92 – Resultado para Mangueira (*Mangifera indica* L.)– Zona de Conforto
Clima Tropical de Altitude.

TABELA 61 – Zona de conforto: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

Mangueira (<i>Mangifera indica</i> L.)													
		sombra			10m			25m			50m		
hora	Var (m/s)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)
06:00	0.26	D	21.06	85.70	D	20.50	99.96	D	20.5	90.13	D	20.76	86.30
07:00	0.48	D	19.1	84.63	D	18.73	99.90	D	18.83	82.03	D	18.86	79.90
08:00	0.78	D	20.66	77.06	D	21.20	99.03	D	21.26	74.86	D	21.46	72.50
09:00	1.01	D	23.2	68.20	D	24.53	83.10	D	24.00	63.20	D	24.16	61.30
10:00	0.75	D	25.33	58.33	AC	27.30	60.83	D	26.66	52.90	D	27.13	51.96
11:00	0.65	TC	27.3	52.80	TC	29.36	52.96	TC	28.76	50.43	D	29.03	48.73
12:00	0.71	TC	28.26	49.56	TC	30.30	48.63	D	29.83	46.40	TC	30.16	45.00
13:00	0.89	D	28.73	47.33	D	30.76	45.40	D	30.16	43.10	D	30.36	40.16
14:00	0.82	D	29.66	46.53	D	32.30	44.83	D	31.63	43.23	D	32.10	42.73
15:00	0.85	D	29.60	46.06	D	31.43	47.33	D	30.23	45.50	D	30.56	43.30
16:00	1.04	D	29.70	51.46	D	30.96	53.20	D	30.00	49.50	D	30.50	49.03
17:00	1.37	D	28.40	59.23	D	28.56	66.56	D	28.23	59.23	D	28.33	58.36
18:00	0.68	TC	26.13	59.46	AC	25.93	67.73	TC	26.00	59.70	TC	26.16	58.93

No experimento 02, o levantamento de dados da temperatura e umidade foi efetuado nos dias 18 a 20 de maio de 2008. As tabelas 63 e 64 apresentam os resultados da temperatura do ar, e as tabelas 65 e 66, a umidade relativa do ar.

TABELA 63 – Média diária da temperatura do ar: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

DIA	2,5m	5m	7,5m	10m	12,5m	15m
18/4/2007	21.85	21.66	21.80	21.86	21.78	21.80
19/4/2007	24.53	24.64	24.59	24.60	24.37	24.59
20/4/2007	24.32	24.22	24.86	24.47	24.52	24.62
MEDIA	23.57	23.51	23.75	23.64	23.56	23.67

TABELA 64 – Máximas e Mínimas da temperatura do ar: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

DIA	2,5m		5m		7,5m		10m		12,5m		15m	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
18/4/2007	26.30	15.90	26.30	15.80	26.80	16.00	26.20	15.90	26.80	15.90	26.80	16.00
19/4/2007	30.00	15.60	29.50	15.50	29.30	15.60	29.40	15.50	28.90	15.40	29.30	16.40
20/4/2007	29.80	15.30	27.30	16.50	28.60	16.90	28.50	16.40	28.40	16.40	28.90	16.40
MEDIA	28.30	15.60	27.70	15.97	27.90	16.20	27.80	15.97	27.80	15.93	28.13	16.03

TABELA 65 – Média diária da umidade relativa do ar: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

DIA	2,5m	5m	7,5m	10m	12,5m	15m
18/4/2007	66.11	65.35	64.92	64.29	66.03	68.84
19/4/2007	64.92	62.37	62.82	62.05	64.56	67.93
20/4/2007	65.62	62.87	61.58	61.74	63.59	66.03
MEDIA	65.55	63.53	63.10	62.69	64.73	67.60

TABELA 66 – Máximas e Mínimas da umidade relativa do ar: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

DIA	2,5m		5m		7,5m		10m		12,5m		15m	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
18/4/2007	80.80	51.40	77.80	0.25	76.70	52.30	76.70	51.80	78.70	51.30	82.30	55.80
19/4/2007	99.90	40.40	94.80	46.50	96.80	43.00	94.60	42.60	97.00	44.30	99.90	46.50
20/4/2007	98.50	46.40	91.20	46.90	88.60	48.60	89.80	43.30	92.40	47.70	98.00	46.90
MEDIA	92.13	46.93	86.17	47.73	86.40	48.30	88.30	48.03	88.30	48.50	92.90	51.47

A seguir, os gráficos da temperatura do ar e umidade relativa do ar (figuras 93 a 96). Comparando a variação dos dados encontrados a 2,5m (sombra) com as demais distâncias, observou-se que não há evidência, ao nível de 5% de significância, para se rejeitar a hipótese de que temperatura do ar é a mesma em cada distância. Em relação à umidade, ao nível de confiança de 95%, há evidências para rejeitar a hipótese de que as médias da umidade são as mesmas em diferentes distâncias. Pelo teste de *Tukey*, concluiu-se que a temperatura do ar entre os pontos analisados (7,5m, 10m e 15m) são significativamente diferentes entre si. O ponto situado a 15m é o mais quente e o mais úmido, segundo a os valores encontrados na equação da reta (tabelas 66 e 67).

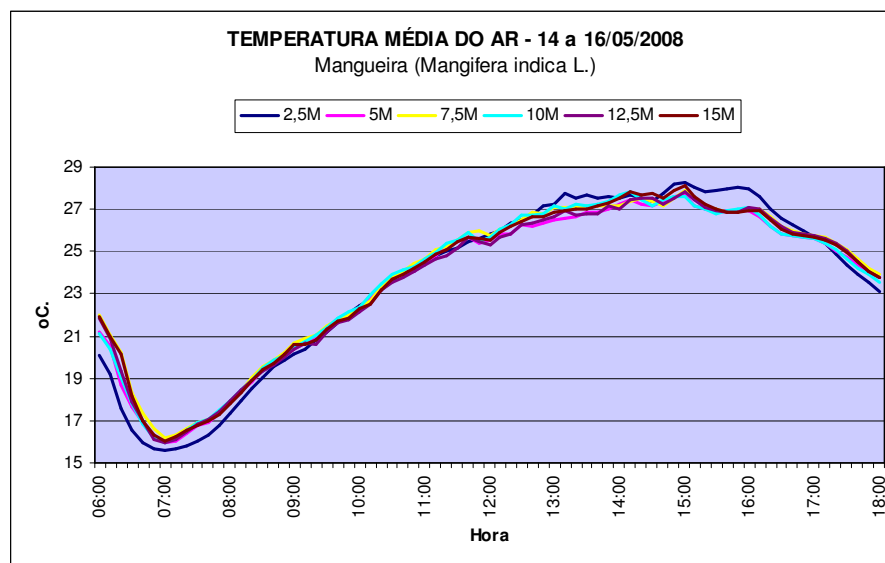


Figura 93 – Temperatura do ar: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

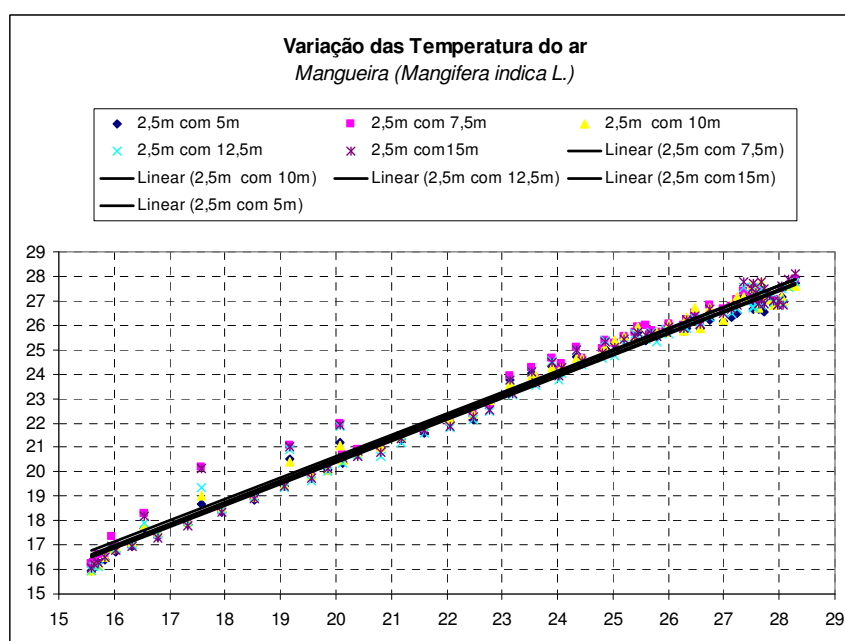


Figura 94 – Variação da temperatura do ar: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

TABELA 67 – Variação da temperatura do ar: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

Comparação	a	b	r^2
2,5m c/ 5m	0.8806	2.7551	0.9915
2,5m c/ 7,5m	0.8718	3.2035	0.9848
2,5m c/ 10m	0.8914	2.6325	0.9916
2,5m c/ 12,5m	0.8799	2.8203	0.9872
2,5m c/ 15m	0.8876	2.7525	0.9845

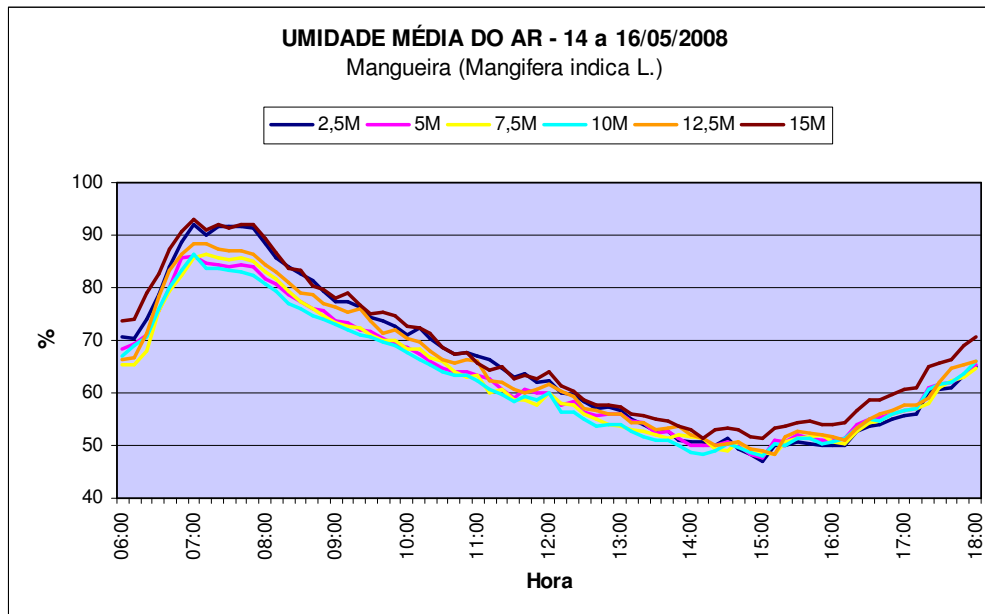


Figura 95 – Umidade relativa do ar: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

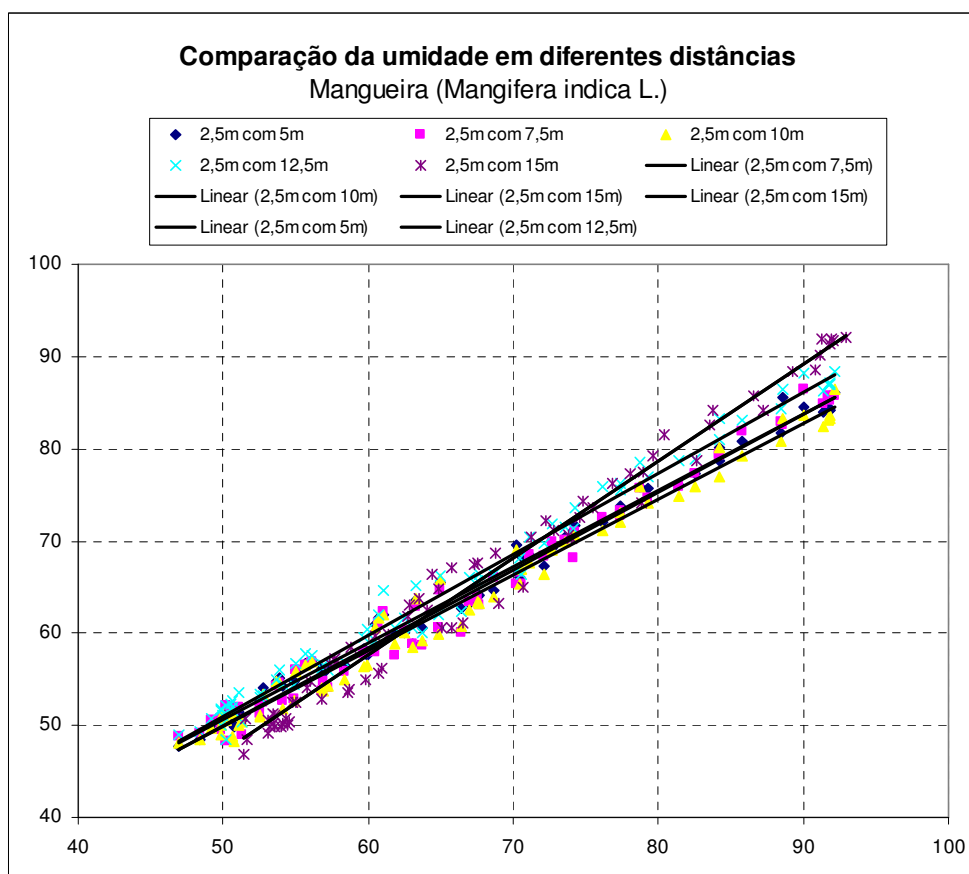


Figura 96 – Variação da Umidade relativa do ar: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

TABELA 68 – Variação da umidade relativa do ar: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

Comparação	a	b	r2
2,5m c/ 5m	0.8275	9.2889	0.9894
2,5m c/ 7,5m	0.8434	7.8191	0.9894
2,5m c/ 10m	0.8208	8.8941	0.9816
2,5m c/ 12,5m	0.8799	7.0508	0.9871
2,5m c/ 15m	1.0543	5.7256	0.9813

A figura 97 apresenta resultados da análise comparativa entre temperatura e umidade. A tabela 69 mostra os resultados para conforto térmico: todas as distâncias indicam aceitável conforto entre 11h, 12h e 18h, e olerável conforto das 14h até as 17h.

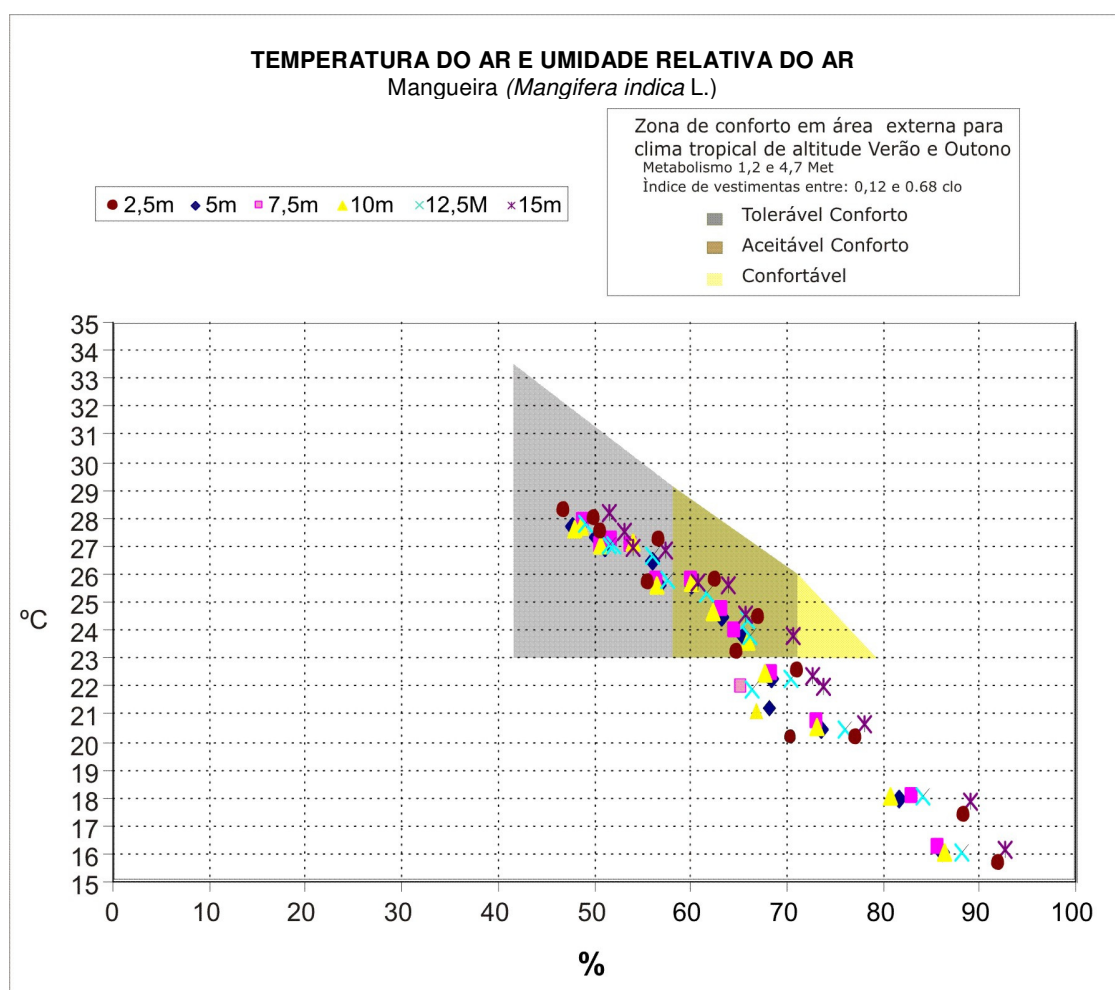


Figura 97– Umidade relativa do ar: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

TABELA 69 – Zona de conforto: Mangueira (*Mangifera indica* L.)

Mangueira (<i>Mangifera indica</i> L.)												
HORA	2,5m		5m		7,5m		10m		12,5m		15m	
	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)
6:00	70.57	20.07	68.33	21.17	65.27	21.97	66.87	21.10	66.33	21.83	73.83	21.90
7:00	92.13	15.60	86.17	15.97	85.73	16.20	86.50	15.97	88.30	15.93	92.90	16.03
8:00	88.47	17.33	81.73	17.87	83.00	17.93	80.83	17.97	84.27	17.97	89.30	17.80
9:00	77.33	20.13	73.70	20.37	73.27	20.67	73.10	20.47	76.23	20.37	78.07	20.57
10:00	71.07	22.47	68.57	22.17	68.50	22.37	67.70	22.37	70.43	22.17	72.80	22.27
11:00	67.03	24.43	63.23	24.43	63.33	24.67	62.47	24.63	66.00	24.37	65.77	24.53
12:00	62.50	25.80	60.03	25.57	60.17	25.73	60.07	25.70	61.67	25.30	64.03	25.57
13:00	56.80	27.23	56.13	26.47	53.80	27.07	54.00	27.13	56.10	26.67	57.33	26.83
14:00	50.60	27.50	50.13	27.27	51.73	27.17	48.73	27.67	51.93	27.00	53.13	27.50
15:00	46.93	28.30	47.73	27.70	48.77	27.90	48.03	27.63	49.03	27.80	51.47	28.13
16:00	49.90	28.00	51.07	26.97	50.70	27.03	50.73	27.07	51.57	27.07	53.97	26.97
17:00	55.70	25.70	56.80	25.60	56.57	25.77	56.60	25.60	57.77	25.73	60.73	25.67
18:00	64.93	23.13	65.43	23.73	64.63	23.90	65.90	23.57	66.13	23.73	70.63	23.73

4.2.5 Chuva de ouro (*Senna siamea* L.)

As medições dos dados de radiação solar, temperatura do ar, temperatura de globo, umidade e velocidade do vento foram realizadas nos dias 17 24 e 25 de julho de 2007.

A figura 98 e a tabela 70 apresentam os valores de energia total incidente, atenuação da radiação solar e erro padrão das médias das atenuações (α). Através da foto da figura 99, encontrou-se uma área foliar igual a 78,26%.

TABELA 70 – Atenuação da Radiação Solar: Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.)

Data	Energia Total Incidente (km.h/m ²) - sol	Energia Total Incidente (km.h/m ²) - sombra	Atenuação da Radiação Solar (%)
17/4/2007	0.4609	0.1185	74.3
24/4/2007	0.3773	0.1025	72.8
25/4/2007	0.3719	0.1281	65,5
		MÉDIA	70.9
		α	± 2.7

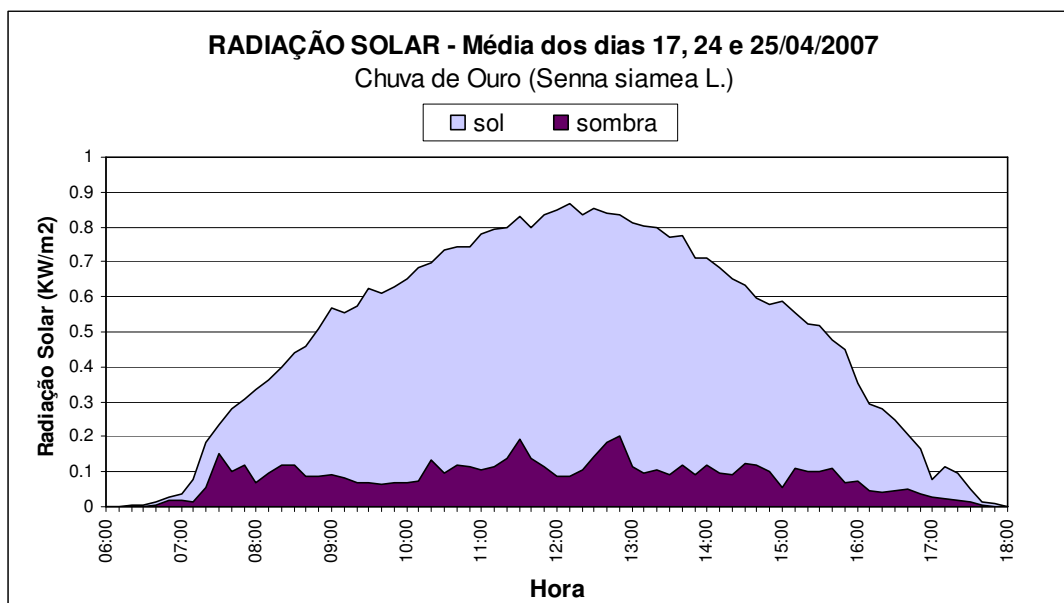


Figura 98 – Atenuação da radiação solar: Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.)



Figura 99 – Foto com o efeito olho de peixe: Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.) (IAF:78,26%)

Os gráficos, figuras 100 a 103, apresentam as médias da umidade, temperatura do ar, de globo e a velocidade do vento nos dias 5, 6 e 10 de julho de 2007.

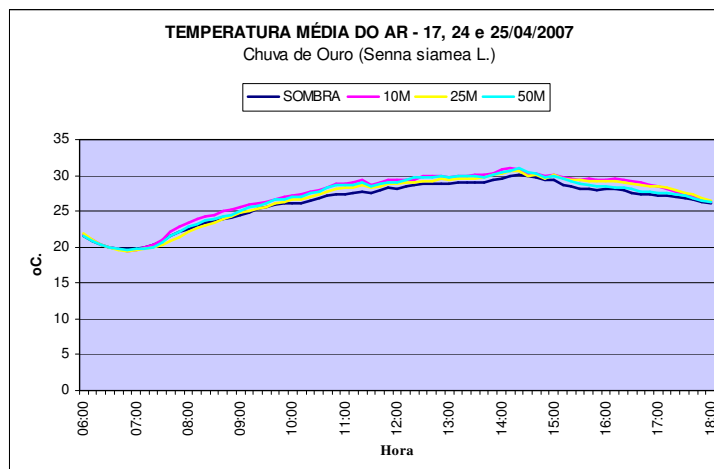


Figura 100 – Média da temperatura do ar: Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.)

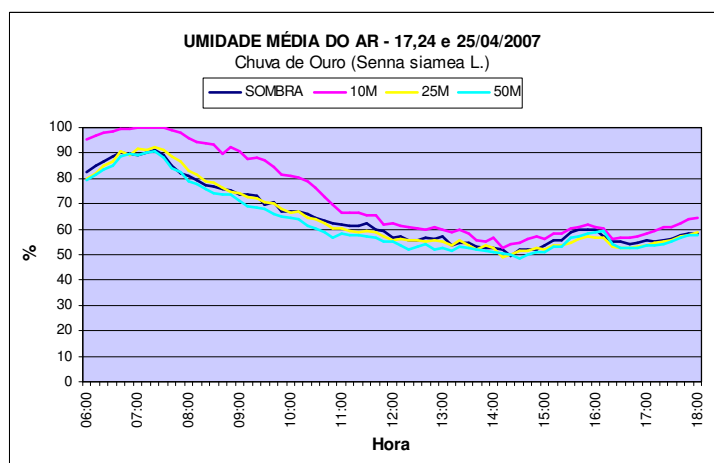


Figura 101 – Média da umidade do ar: Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.)

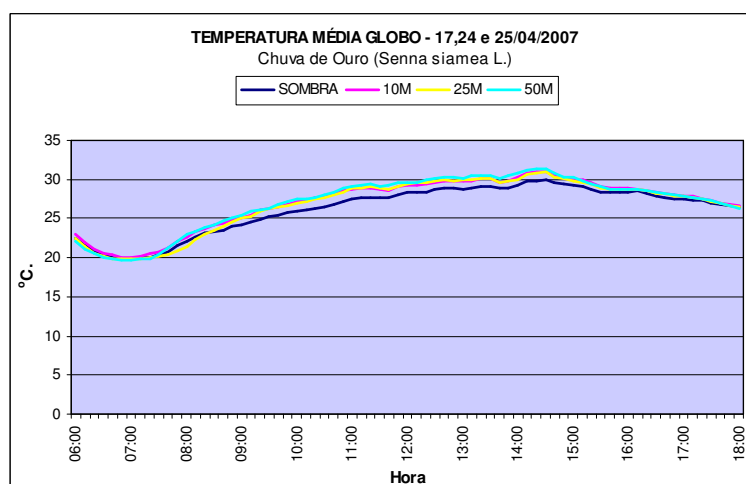


Figura 102 – Média da temperatura de globo: Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.)

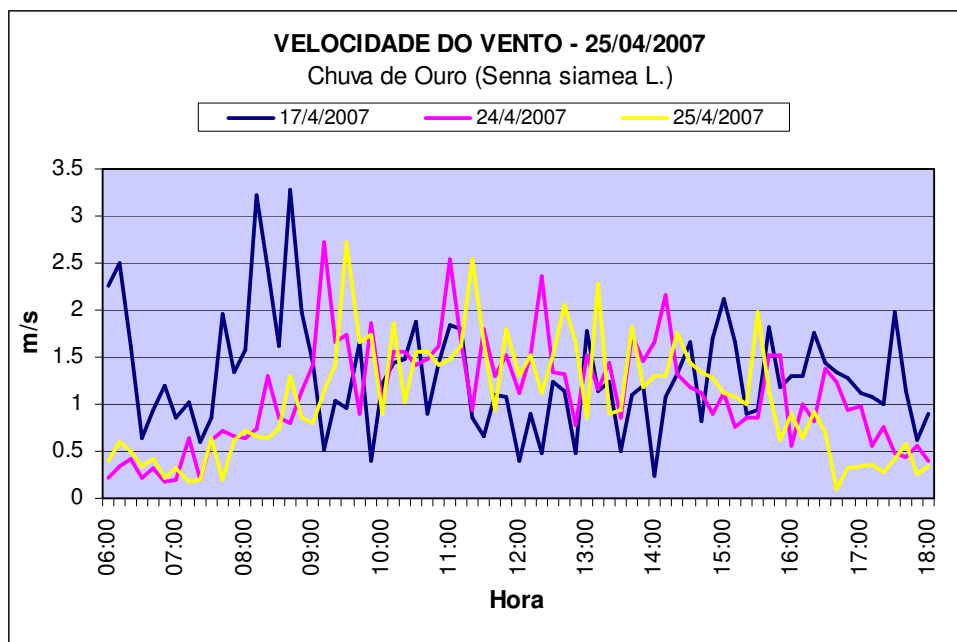


Figura 103 – Velocidade do ar: Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.)

As tabelas 71 a 76 apresentam as médias diárias e medidas das máximas e mínimas da temperatura do ar e de globo e umidade.

TABELA 71 – Médias diárias de temperatura do ar: Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.)

DATA	SOMBRA	10m	25m	50m
17/4/2007	24.3	25.8	25.5	25.7
24/4/2007	26.7	27.7	27.0	27.6
25/4/2007	26.6	27.3	26.9	27
MEDIA	25.9	26.9	26.5	26.8

TABELA 72- Máximas e Mínimas temperatura do ar: Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.)

DATA	SOMBRA		10m		25m		50m	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
17/4/2007	29.9	19.9	30.6	19.9	30.0	19.8	30.0	19.9
24/4/2007	30.4	19.2	31.6	19.1	31.2	19.0	31.5	19.0
25/4/2007	30.8	20.2	32.2	20.1	31.7	19.9	31.6	19.9
MEDIA	30.4	19.8	31.4	19.7	30.9	19.5	31.0	19.6

TABELA 73 – Médias diárias da umidade do ar: Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.)

DATA	SOMBRA	10m	25m	50m
17/4/2007	62.0	72.7	61.6	60.4
24/4/2007	65.3	73.1	64.0	61.9
25/4/2007	67.9	76.8	67.1	66.1
MEDIA	65.0	74.2	64.2	62.8

TABELA 74 – Máximas e mínimas da umidade do ar: Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.)

DATA	SOMBRA		10m		25m		50m	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
17/4/2007	87.3	43.9	100.0	48.8	88.3	45.0	86.1	44.8
24/4/2007	95.1	49.2	100.0	53.0	96.8	46.6	95.6	46.7
25/4/2007	92.4	53.0	100.0	53.3	95.6	50.5	94.1	48.2
MEDIA	91.6	48.7	100.0	51.7	93.5	47.3	91.9	46.5

TABELA 75 – Médias diárias de temperatura de globo: Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.)

DATA	SOMBRA	10m	25m	50m
17/4/2007	25.3	26.0	25.8	26.0
24/4/2007	26.8	27.7	27.4	27.7
25/4/2007	26.6	27.3	27.1	27.4
MEDIA	26.2	27.0	26.7	27.0

TABELA 76 – Máximas e mínimas da temperatura de globo: Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.)

DATA	SOMBRA		10m		25m		50m	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
17/4/2007	29.4	19.9	30.5	20.1	30.3	20.0	30.6	19.7
24/4/2007	31.0	19.3	32.1	19.6	31.6	19.1	31.8	19.1
25/4/2007	30.8	20.2	32	20.4	31.8	20.1	32.3	20.0
MEDIA	30.4	19.8	31.5	20.0	31.2	19.7	31.5	19.6

Equiparando as temperaturas do ar registradas ao sol em relação à sombra, há evidência para se rejeitar a hipótese de que são as mesmas ao nível de 5% de significância. Através do teste de Tukey, o resultado obtido foi o de que a temperatura do ar é diferente nas distâncias de 10m, 25m e 50m em relação à sombra, sendo que nessas distâncias a temperatura é maior do que na sombra.

Comparando as umidades relativas registradas à sombra com as ao sol, há evidência para se ajustar a hipótese de que são as mesmas ao nível de 5% de

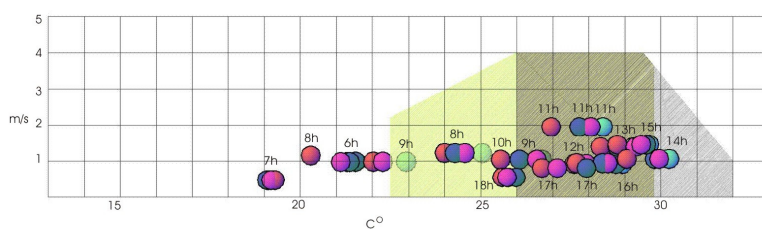
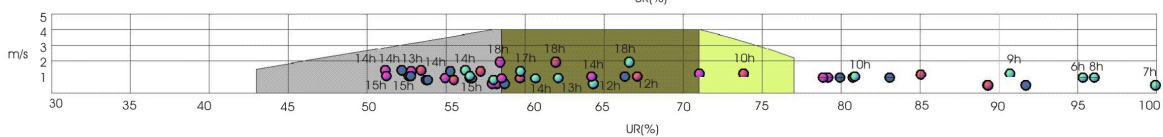
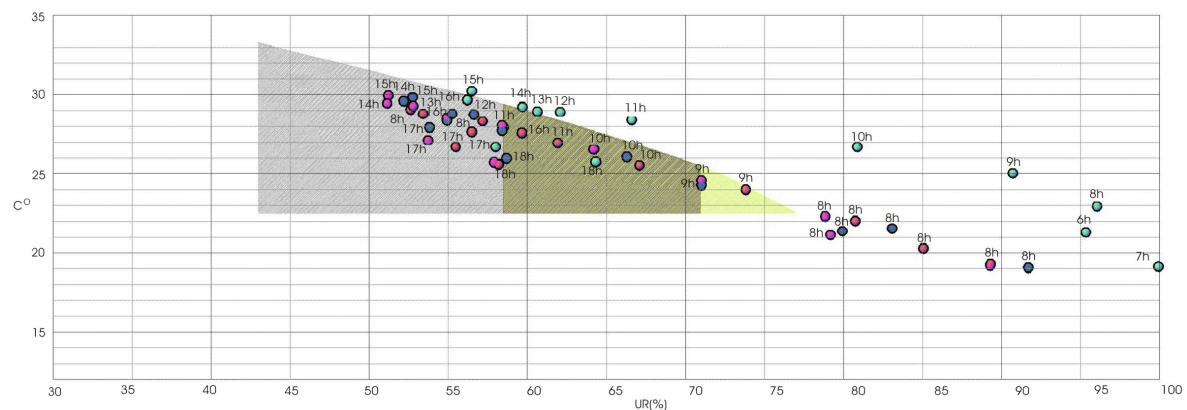
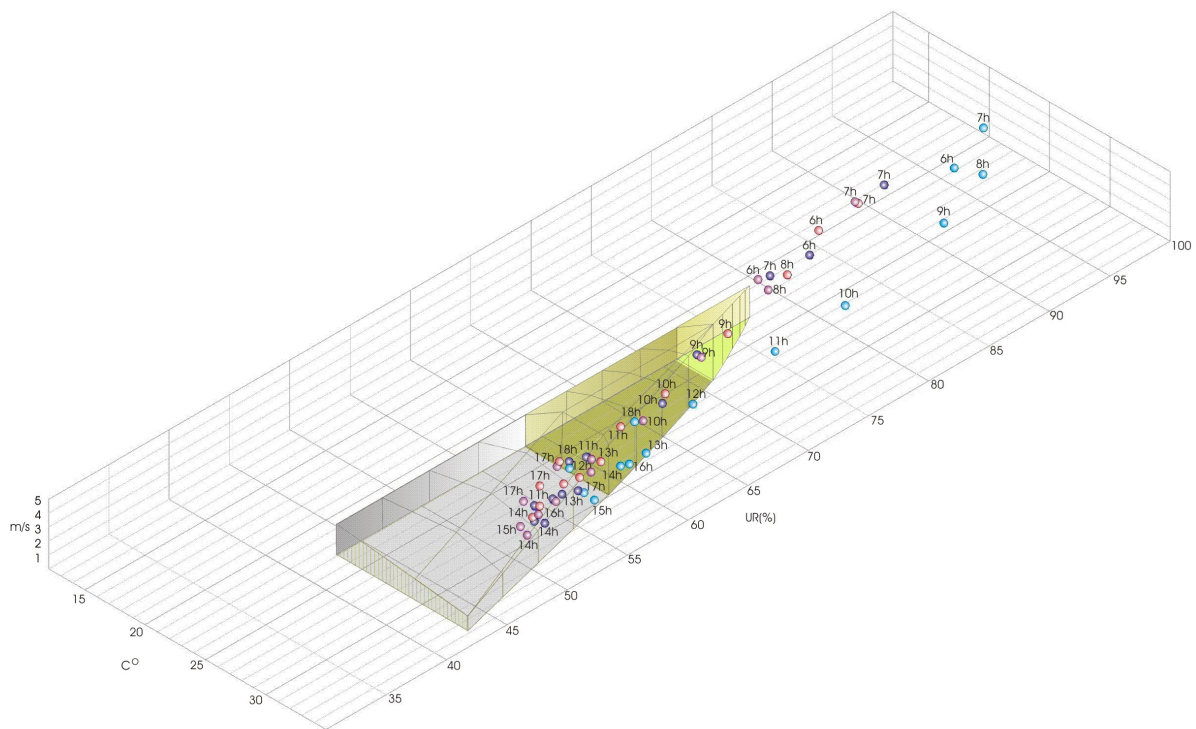
significância. O teste de Tukey indicou que a umidade do ar é diferente na distância de 10m em relação a sombra, sendo que a 10m a umidade é maior do que na sombra. Também se verificou que a umidade nas distâncias de 25m e 50m tem diferença significativa com relação a 10m, sendo que nessas distâncias a umidade é menor em relação a 10m.

Em relação à temperatura de globo, há evidência para se rejeitar a hipótese de que ela é a mesma ao nível de 5% de significância. Segundo o resultado obtido pelo teste de Tukey, a temperatura do globo é maior nas distâncias de 10m, 25m e 50m em relação à sombra, sendo que nessas distâncias a temperatura é maior do que na sombra.

Os gráficos da zona de conforto para clima tropical de altitude, da espécie Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.), são apresentados pela figuras 104 e tabela 77. A área classificada como confortável no gráfico está representada pela cor amarela; a de aceitável conforto pela cor marrom e a de tolerável conforto pela cor cinza. O ponto mais confortável é aquele situado à sombra.

TABELA 77 – Zona de conforto: Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.)

Jambolão (<i>Syzygium cumini</i> (L.))													
		sombra			10m			25m			50m		
hora	Var (m/s)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)	C/RC	TBS (°C)	UR (%)
06:00	0.97	D	82.5	21.5	D	95.34	21.8	D	79.94	21.88	D	79.2	21.63
07:00	0.47	D	89.33	19.83	D	99.94	19.62	D	91.72	19.58	D	89.3	19.7
08:00	0.98	D	80.76	22.53	D	96.06	23.44	D	83.1	22.04	D	78.86	22.8
09:00	1.23	C	73.83	24.4	D	90.72	25.54	C	74.12	24.78	C	71.03	25.06
10:00	1.05	AC	67.1	26.06	D	80.88	27.22	AC	66.3	26.58	AC	64.23	27.06
11:00	1.96	AC	61.96	27.46	D	66.6	28.9	TC	60.28	28.24	TC	58.43	28.56
12:00	0.94	TC	56.53	28.16	D	62.12	29.4	TC	55.86	28.88	TC	54.96	29.03
13:00	1.40	TC	57.2	28.83	D	59.72	29.74	TC	55.28	29.3	TC	52.8	29.80
14:00	1.07	TC	52.66	29.56	D	56.52	30.74	TC	52.78	30.34	TC	51.23	30.46
15:00	1.45	TC	53.43	29.3	D	56.24	30.18	TC	52.22	30.1	TC	51.16	29.96
16:00	0.93	AC	59.7	28.1	TC	60.68	29.44	TC	56.66	29.26	TC	58.53	28.43
17:00	0.67	TC	55.5	27.2	TC	58.02	28.4	TC	53.86	28.44	TC	53.76	27.63
18:00	0.56	AC	58.23	26.1	AC	64.34	26.28	AC	58.72	26.48	TC	57.93	26.23



Zona de conforto em área externa para
clima tropical de altitude Verão e Outono
Metabolismo 1,2 e 4,7 Met
Índice de vestimentas entre: 0,12 e 0,68 clo

- Tolerável Conforto
- Aceitável Conforto
- Confortável
- Ponto de medição na sombra
- Ponto de medição ao sol à 10m
- Ponto de medição ao sol à 25m
- Ponto de medição ao sol à 50m

Figura 104 – Resultado para Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.)– Zona de Conforto Clima Tropical de Altitude.

No experimento 02, o levantamento de dados da temperatura e umidade foi realizado nos dias 14 a 16 de maio de 2008. As tabelas 78 e 79 apresentam os resultados da temperatura do ar, e as tabelas 80 e 81, a umidade relativa do ar.

TABELA 78 – Média diária da temperatura do ar: Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.)

DIA	2,5m	5m	7,5m	10m	12,5m
14/05/2008	21.57	21.67	21.70	21.78	21.51
15/05/2008	22.06	22.16	22.48	22.17	22.14
16/05/2008	23.66	24.11	24.62	24.42	24.66
MEDIA	22.43	22.65	22.93	22.79	22.77

TABELA 79 – Máximas e Mínimas da temperatura do ar: Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.)

DIA	2,5m		5m		7,5m		10m		12,5m	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
14/05/2008	26.10	14.20	25.50	14.30	25.90	14.00	26.40	13.70	26.10	13.70
15/05/2008	26.00	14.30	25.60	14.10	26.40	14.20	27.10	14.10	26.70	14.00
16/05/2008	26.90	15.50	27.40	15.70	29.20	15.80	28.60	15.80	28.90	15.70
MEDIA	26.10	14.77	26.03	14.80	26.43	14.73	26.60	14.67	26.50	14.57

TABELA 80 – Média diária da umidade relativa do ar: Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.)

DIA	2,5m	5m	7,5m	10m	12,5m
14/05/2008	66.84	67.54	69.22	66.84	68.21
15/05/2008	61.06	61.05	69.22	61.78	62.93
16/05/2008	64.85	63.47	61.25	62.32	62.14
MEDIA	64.25	64.02	66.56	63.64	64.42

TABELA 81 – Máximas e Mínimas da umidade relativa do ar: Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.)

DIA	2,5m		5m		7,5m		10m		12,5m	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
14/05/2008	93.10	48.70	95.20	0.25	93.40	44.50	93.40	46.80	93.70	48.30
15/05/2008	89.60	43.20	96.30	0.00	99.90	44.50	94.70	43.20	98.40	43.20
16/05/2008	97.10	47.40	99.90	0.00	93.60	47.20	91.60	46.30	93.80	45.20
MEDIA	90.63	47.57	97.13	46.53	96.17	45.57	93.30	47.63	93.30	47.27

A seguir, são apresentados os gráficos da temperatura do ar e da umidade relativa do ar (figuras 105 a 108), comparando a variação dos dados encontrados a 2,5m (à sombra) com as demais distâncias. Observou-se que não há evidência, ao nível de 5% de significância, para se rejeitar a hipótese de que temperatura do ar e de globo

e a umidade do ar é a mesma em cada distância. O ponto situado a 7,5m é o ponto mais quente e mais úmido, segundo os valores encontrados na equação da reta, (tabelas 82 e 83).

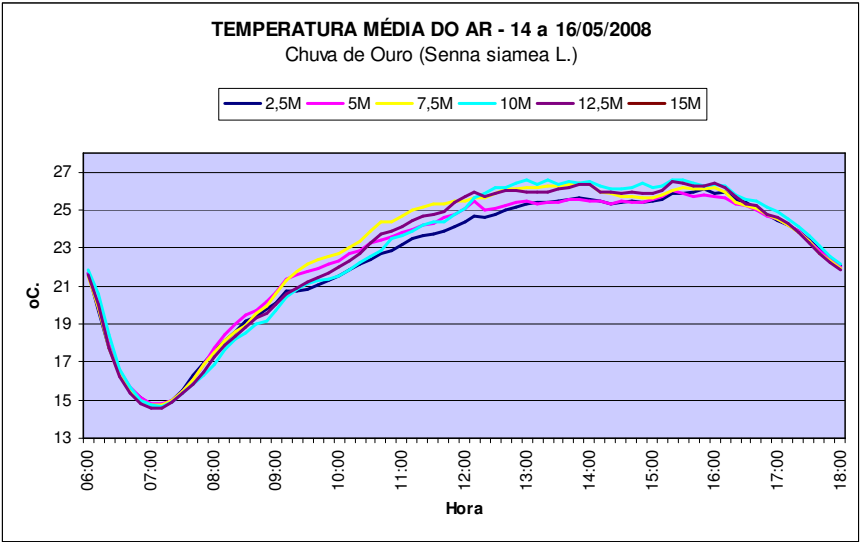


Figura 105 – Temperatura do ar: Chuva de Ouro (Senna siamea L.)

TABELA 82 – Variação da temperatura do ar: Chuva de Ouro (Senna siamea L.)

Comparação	a	b	r ²
2,5m c/ 5m	0.9885	0.4786	0.9896
2,5m c/ 7,5m	1.0558	0.7454	0.9759
2,5m c/ 10m	1.1044	1.982	0.9903
2,5m c/ 12,5m	1.0880	1.6346	0.9896

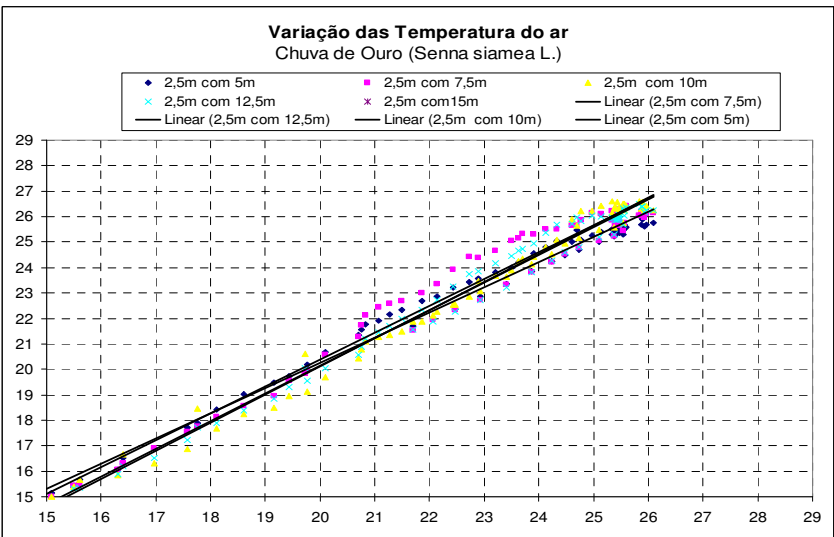


Figura 106 – Variação da temperatura do ar: Chuva de Ouro (Senna siamea L.)

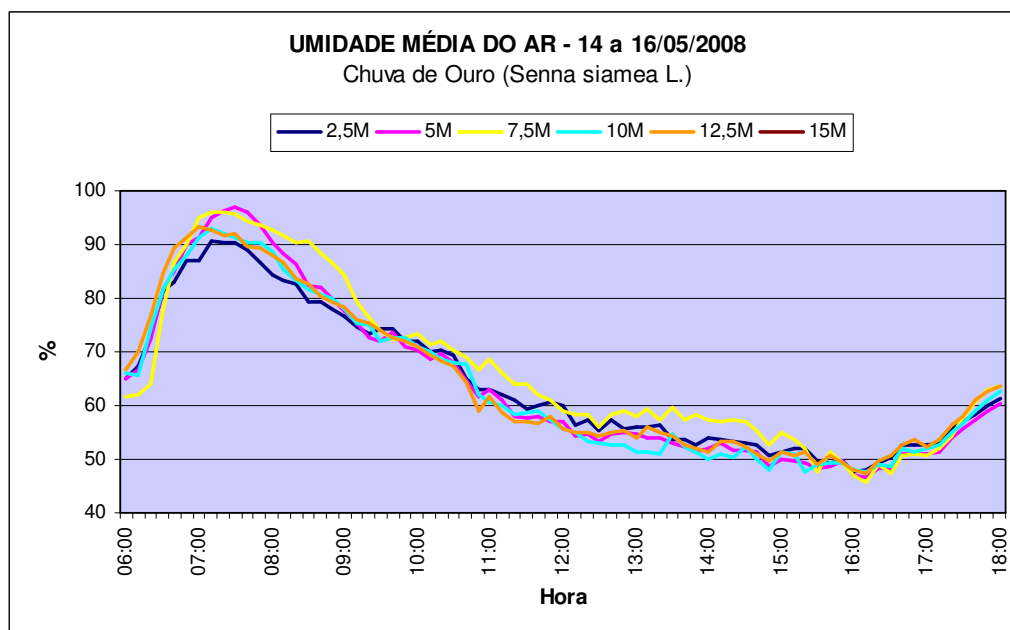


Figura 107 – Umidade relativa do ar: Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.)

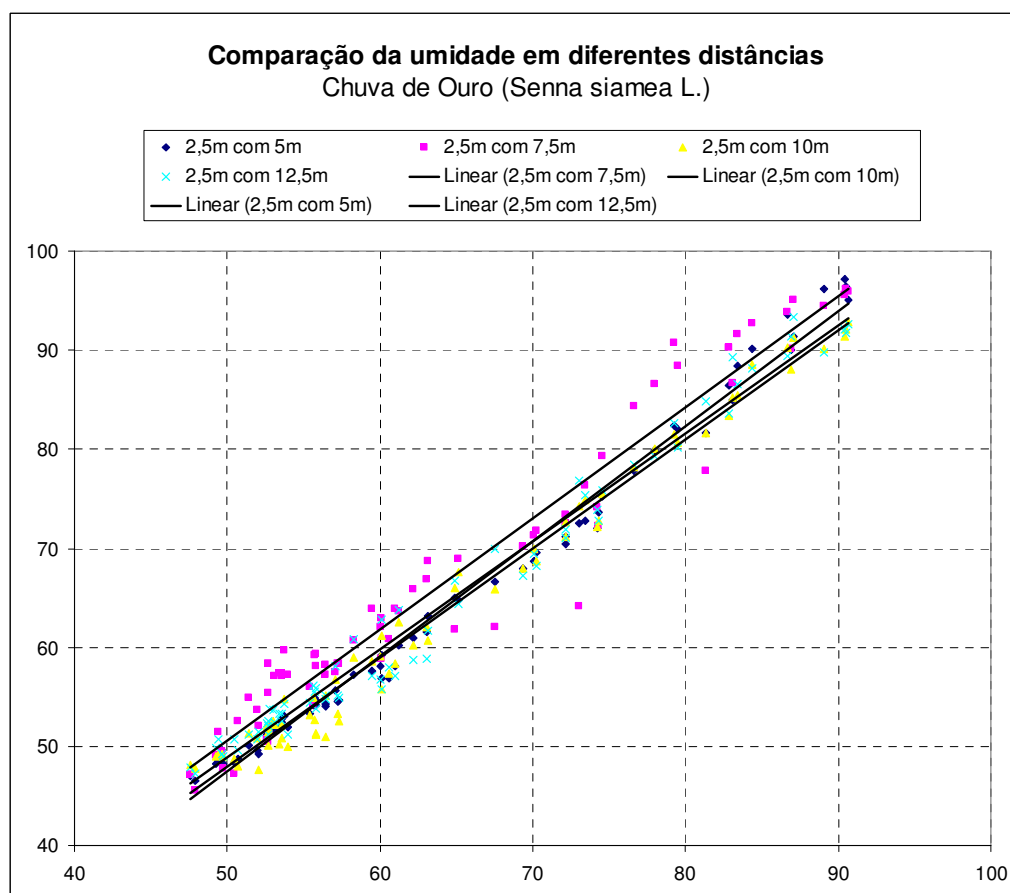


Figura 108 – Variação da Umidade relativa do ar: Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.)

TABELA 83 – Variação da umidade relativa do ar: Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.)

Comparação	a	b	r ²
2,5m c/ 5m	1.1615	10.613	0.9903
2,5m c/ 7,5m	1.1228	5.5838	0.9522
2,5m c/ 10m	1.1025	7.1976	0.9858
2,5m c/ 12,5m	1.0906	5.6531	0.9825

A figura 109 mostra os resultados da análise comparativa entre temperatura e umidade. A tabela 84 apresenta os resultados de conforto térmico, sendo que em todas as distâncias encontraram-se dentro da zona de conforto no período das 11h às 17h. Os pontos mais confortáveis são a 2,5m e a 7,5m.

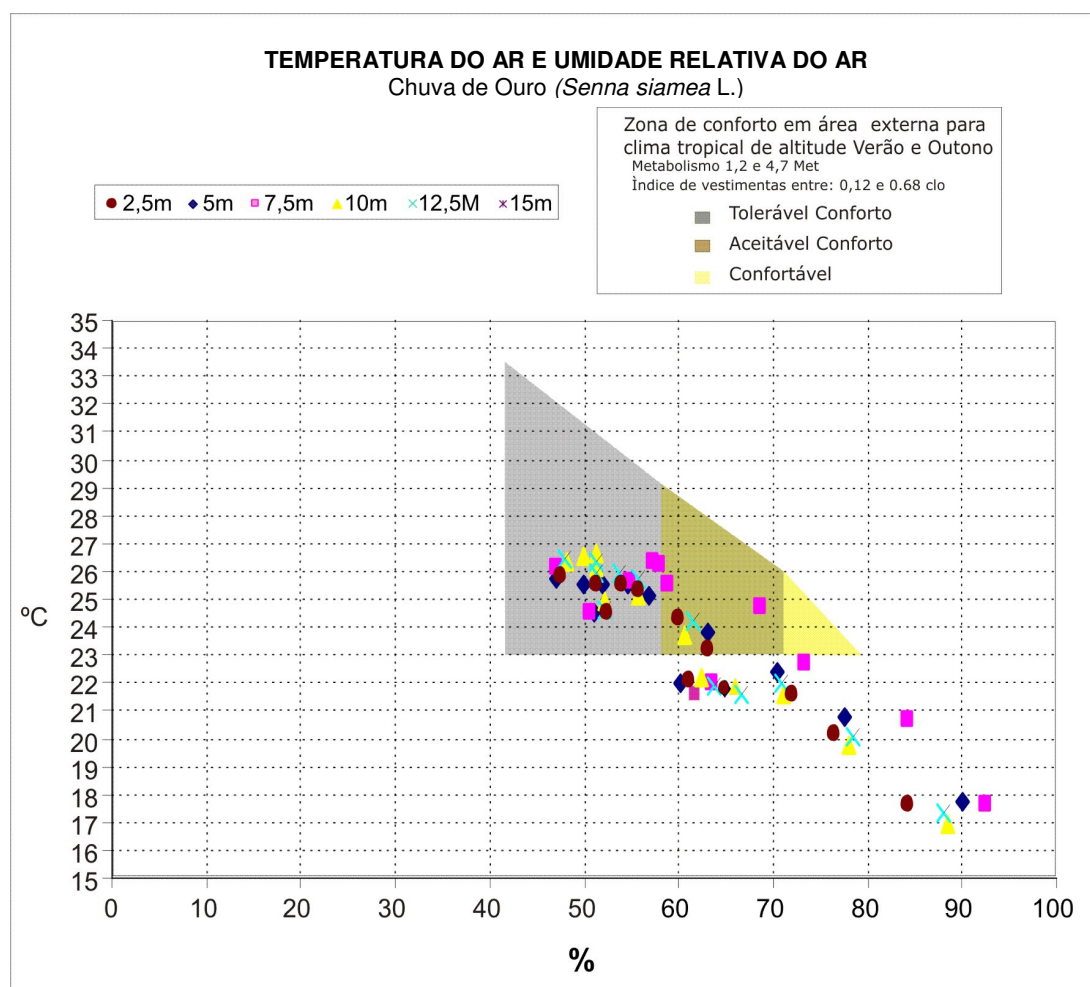


Figura 109 – Umidade relativa do ar: Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.)

TABELA 84 – Zona de conforto: Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.)

Chuva de Ouro (<i>Senna siamea</i> L.)										
HORA	2,5m		5m		7,5m		10m		12,5m	
	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)	UR (%)	TBS (°C)
06:00	64.90	21.70	65.00	21.70	61.77	21.53	65.97	21.87	66.73	21.57
07:00	87.07	14.77	91.43	14.83	95.07	14.73	91.23	14.70	93.30	14.60
08:00	84.40	17.57	90.20	17.70	92.70	17.53	88.57	16.87	88.17	17.23
09:00	76.60	20.10	77.77	20.67	84.37	20.57	78.13	19.70	78.47	20.03
10:00	72.13	21.50	70.47	22.33	73.43	22.70	71.13	21.50	71.00	21.97
11:00	63.17	23.20	63.17	23.80	68.73	24.67	60.70	23.67	61.70	24.17
12:00	60.07	24.33	56.83	25.07	58.87	25.50	55.77	25.10	55.80	25.70
13:00	55.83	25.33	54.60	25.50	58.10	26.20	51.30	26.60	53.83	25.97
14:00	54.00	25.53	51.97	25.47	57.30	26.33	50.00	26.50	51.27	26.33
15:00	51.43	25.47	50.07	25.53	54.87	25.63	51.30	26.17	51.27	25.90
16:00	47.57	25.87	47.00	25.70	47.17	26.17	48.13	26.33	47.93	26.40
17:00	52.57	24.47	51.17	24.50	50.77	24.53	52.13	24.93	52.33	24.60
18:00	61.23	22.07	60.23	21.97	63.67	21.93	62.53	22.13	63.83	21.87

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar os dados obtidos, em especial a tabela 85, observa-se que entre as espécies estudadas, aquela que apresenta melhor desempenho quanto à atenuação da radiação é o Jambolão (*Syzygium cumini* L.) com 89,1%, seguido pela Mangueira (*Mangifera indica* L.) 88,6% de atenuação. O Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) espécie decídua, indica uma boa atenuação da radiação na época com folhas, 81,7%; já na época sem folhas apresenta a menor, 46,1%.

Em relação à área foliar medida, o maior resultado obtido é a Mangueira (*Mangifera indica* L.), com 95.09%, seguido pelo Jambolão (*Syzygium cumini* L.), com 92.11%, de atenuação. O Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.), espécie decídua, possui um comportamento interessante em relação à área foliar na época com folhas, 85.35%; mas na época sem folhas apresenta o menor valor, 41.31%.

Comparando todos os resultados atenuação da radiação e área foliar de das árvores estudadas, figura 107, as espécies Jambolão (*Syzygium cumini* L.), Mangueira (*Mangifera indica* L.) e Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) na situação com folhas possuem os melhores resultados. A espécie com os menores valores foi Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) na situação com flores e sem folhas.

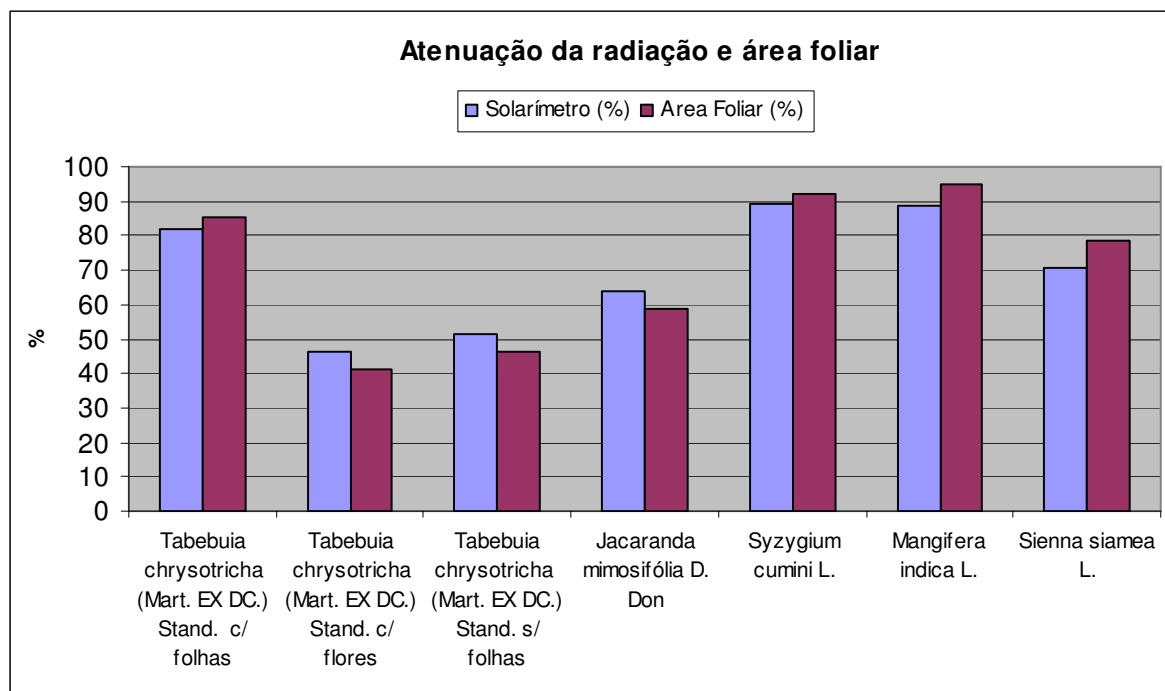


Figura 107 – Comparação dos resultados de atenuação da radiação e área foliar

TABELA 85 – Atenuação da Radiação solar nas árvores analisadas

Indivíduos arbóreos analisadas		Radiação (%)	Erro Padrão (α)
Ipê-Amarelo (<i>Tabebuia chrysotricha</i> (Mart. ex DC.) Stand.)	Com folhas	81,7	$\pm 1,24$
	Sem folhas	46,1	$\pm 1,10$
	Com flores	51,4	$\pm 1,07$
Jacarandá (<i>Jacaranda mimosaeifolia</i> D. Don.)		63,8	$\pm 1,77$
Jambolão (<i>Syzygium cumini</i> L.)		89,1	$\pm 0,21$
Mangueira (<i>Mangífera indica</i> L.)		88,6	$\pm 1,67$
Agrupamento: Chuva de Ouro (<i>Senna siamea</i> L.)		70,9	$\pm 1,30$

TABELA 86 – Área foliar das árvores analisadas

Indivíduos arbóreos analisadas		Area Foliar (%)
Ipê-Amarelo (<i>Tabebuia chrysotricha</i> (Mart. ex DC.) Stand.)	Com folhas	85.35
	Sem folhas	41.31
	Com flores	46.61
Jacarandá (<i>Jacaranda mimosaeifolia</i> D. Don.)		58.51
Jambolão (<i>Syzygium cumini</i> L.)		92.11
Mangueira (<i>Mangífera indica</i> L.)		95.09
Agrupamento: Chuva de Ouro (<i>Senna siamea</i> L.)		78.26

A tabela 87 e figura 108 mostram a variação da temperatura média diária nos pontos de medição em relação a árvore. A diferença entre as médias diárias das

temperaturas ao sol e à sombra é cerca de 1°C. Por meio de uma análise estatística não houve evidência, ao nível de 5% de significância, para rejeitar a hipótese de que a temperatura do ar é a mesma em cada distância nas espécies Mangueira (*Mangifera indica* L.) e Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) nas situações com folhas, sem folhas e com flores. O indivíduo isolado da espécie Jambolão (*Syzygium cumini* L.) e no agrupamento com Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.) houve evidência, ao nível de 5% de significância, para afastar a hipótese de que a temperatura do ar é a mesma em cada distância. Através do teste *Tukey* a temperatura do ar é considerada diferente ao sol, nas distâncias de 10m, 25m e 50m, em relação à sombra. Nessas distâncias a temperatura é maior do que à sombra.

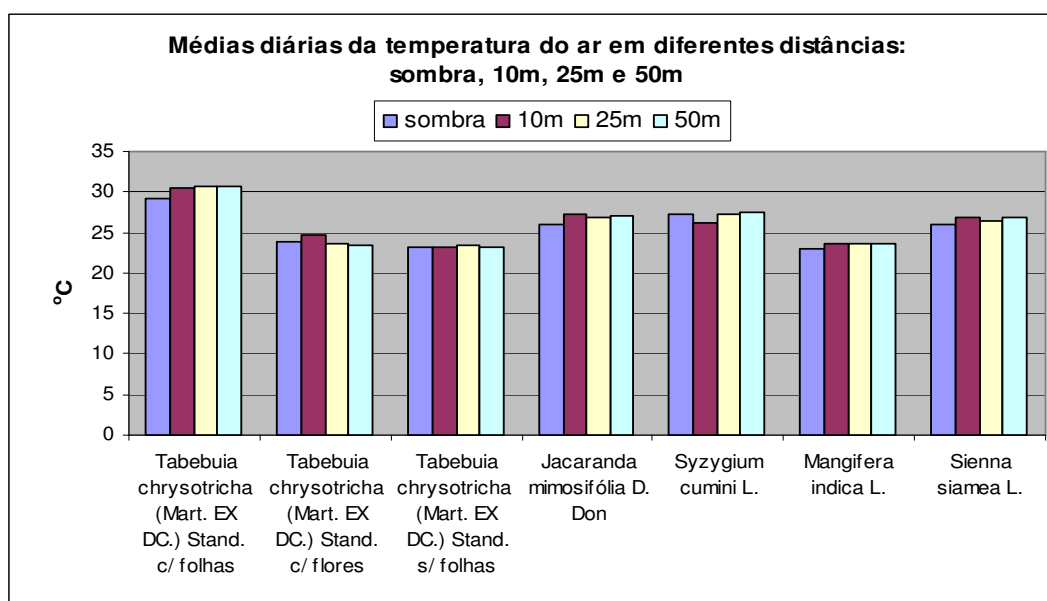


Figura 108 – Comparação dos resultados de temperatura do ar em diferentes distâncias

TABELA 87 – Quadro resumo das médias diárias da temperatura do ar

Indivíduos arbóreos analisadas		Sombra	10m	25m	50m
Ipê-Amarelo (<i>Tabebuia chrysotricha</i> (Mart. ex DC.) Stand.)	Com folhas	29.2	30.5	30.6	30.7
	Sem folhas	23.8	24.8	23.6	23.5
	Com flores	23.1	23.2	23.3	23.2
Jacarandá (<i>Jacaranda mimosaeifolia</i> D. Don.)		26.0	27.3	26.8	27.0
Jambolão (<i>Syzygium cumini</i> L.)		27.2	26.2	27.3	27.5
Mangueira (<i>Mangifera indica</i> L.)		23.0	23.7	23.6	23.6
Agrupamento: Chuva de Ouro (<i>Sienna siamea</i> L.)		25.9	26.9	26.5	26.8

Comparando os resultados da temperatura do ar numa distância de até 15m não houve evidência, ao nível de 5% de significância, para se rejeitar a hipótese de que a temperatura do ar é a mesma em cada distância em todas as espécies (Tabela 88 e Figura 109).

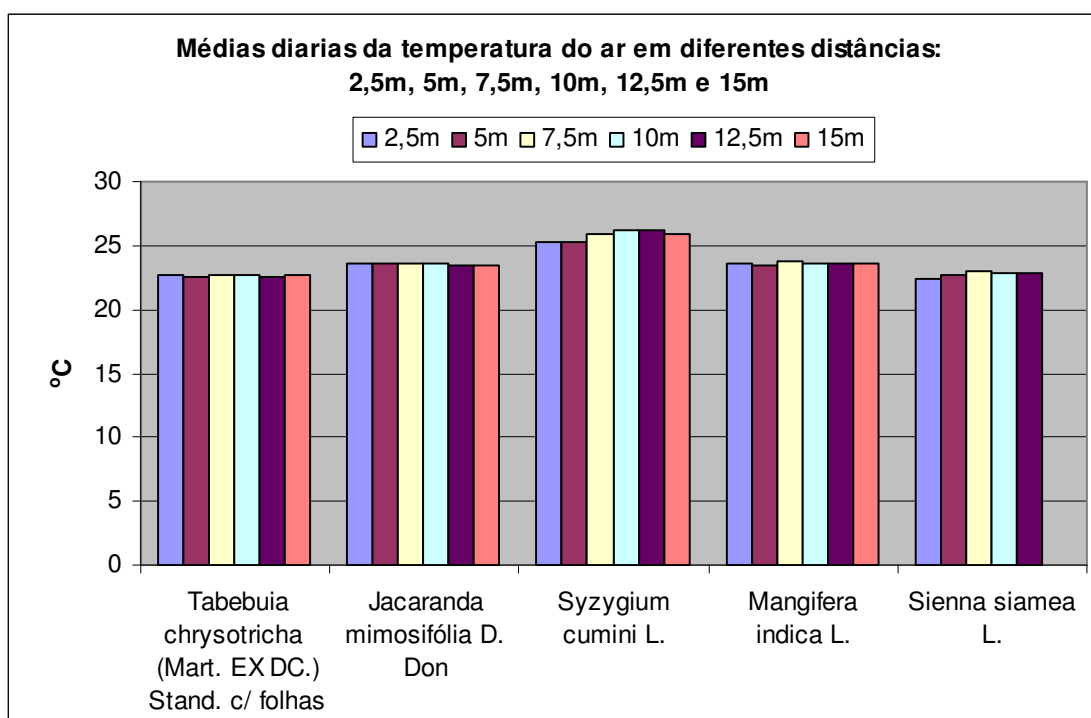


Figura 109 – Comparação dos resultados de temperatura do ar em diferentes distâncias até 15m

TABELA 88 – Quadro resumo das médias diárias da temperatura do ar até 15m

Indivíduos arbóreos analisadas	2,5m	5m	7,5m	10m	12,5m	15m
Ipê-Amarelo (<i>Tabebuia chrysotricha</i> (Mart. ex DC.) Stand.)	22.64	22.55	22.66	22.65	22.54	22.64
Jacarandá (<i>Jacaranda mimosaeifolia</i> D. Don.)	23.57	23.63	23.66	23.59	23.48	23.50
Jambolão (<i>Syzygium cumini</i> L.)	25.29	25.32	25.84	26.13	26.24	25.91
Mangueira (<i>Mangifera indica</i> L.)	23.57	23.51	23.75	23.64	23.56	23.67
Agrupamento: Chuva de Ouro (<i>Senna siamea</i> L.)	22.43	22.65	22.93	22.79	22.77	-

As tabelas 89 e 90 e figuras 110 e 111 apontam a variação da média diária da umidade relativa do ar nos pontos de medição para cada espécie arbórea. A umidade relativa do ar, em todas as espécies, é mais alta a 10m ficando saturada no início da

manhã. Pela análise estatística dos resultados da umidade concluiu-se que há evidência, ao nível de 5% de significância, para se rejeitar a hipótese de que a umidade do ar é a mesma em cada distância nas espécies Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.), Jambolão (*Syzygium cumini* L.), Mangueira (*Mangifera indica* L.) e no agrupamento com Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.). O teste *Tukey* indicou que a umidade relativa do ar é diferente na distância de 10m em relação à sombra, sendo que nessa distância a umidade é maior do que na sombra.

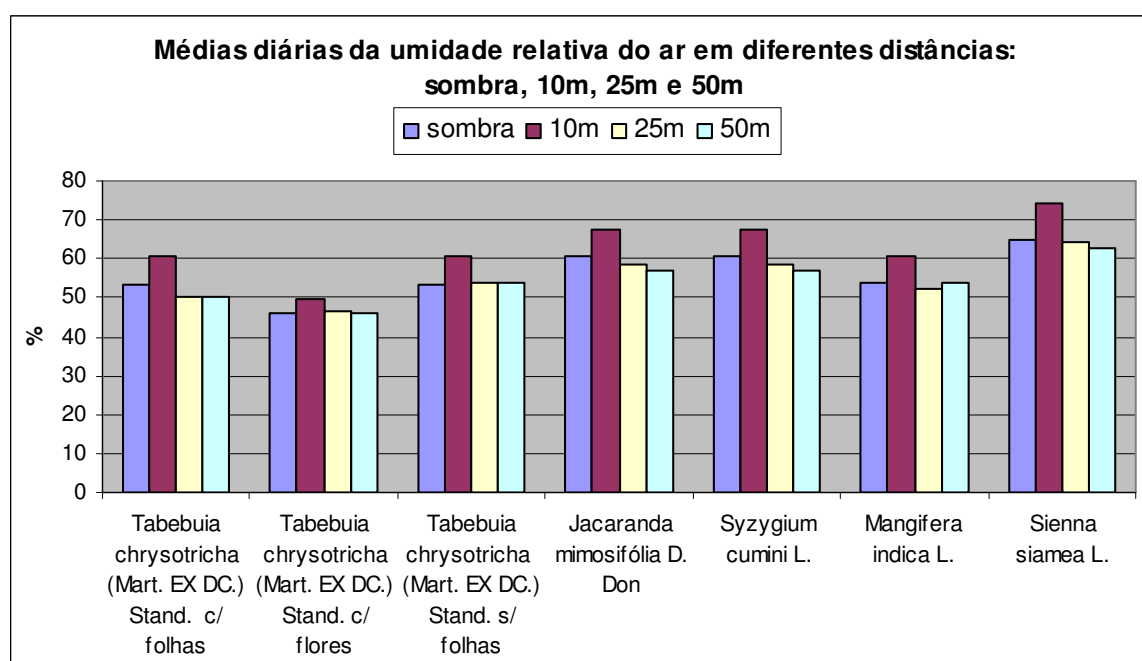


Figura 110 – Comparação dos resultados de temperatura do ar em diferentes distâncias

TABELA 88 – Quadro resumo das médias diárias da umidade

Indivíduos arbóreos analisadas		Sombra	10m	25m	50m
Ipê-Amarelo (<i>Tabebuia chrysotricha</i> (Mart. ex DC.) Stand.)	Com folhas	53.2	60.6	50.0	50.1
	Sem folhas	46.2	49.6	46.5	46.0
	Com flores	53.5	60.7	54.1	53.9
Jacarandá (<i>Jacaranda mimosaeifolia</i> D. Don.)		60.9	67.5	58.5	57.0
Jambolão (<i>Syzygium cumini</i> L.)		60.9	67.6	58.6	57.1
Mangueira (<i>Mangifera indica</i> L.)		54.0	60.6	52.2	53.6
Agrupamento: Chuva de Ouro (<i>Senna siamea</i> L.)		65.0	74.2	64.2	62.8

Através da análise estatística dos resultados da umidade relativa do ar concluiu-se que há evidência, ao nível de 5% de significância, para se por de lado a hipótese de que a temperatura de globo é a mesma em cada distância nas espécies Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.) e Mangueira (*Mangifera indica* L.). Segundo o teste de Tukey, as médias se formam significamente diferentes entre si são 7,5m e 15m, assim como 10m e 15m.

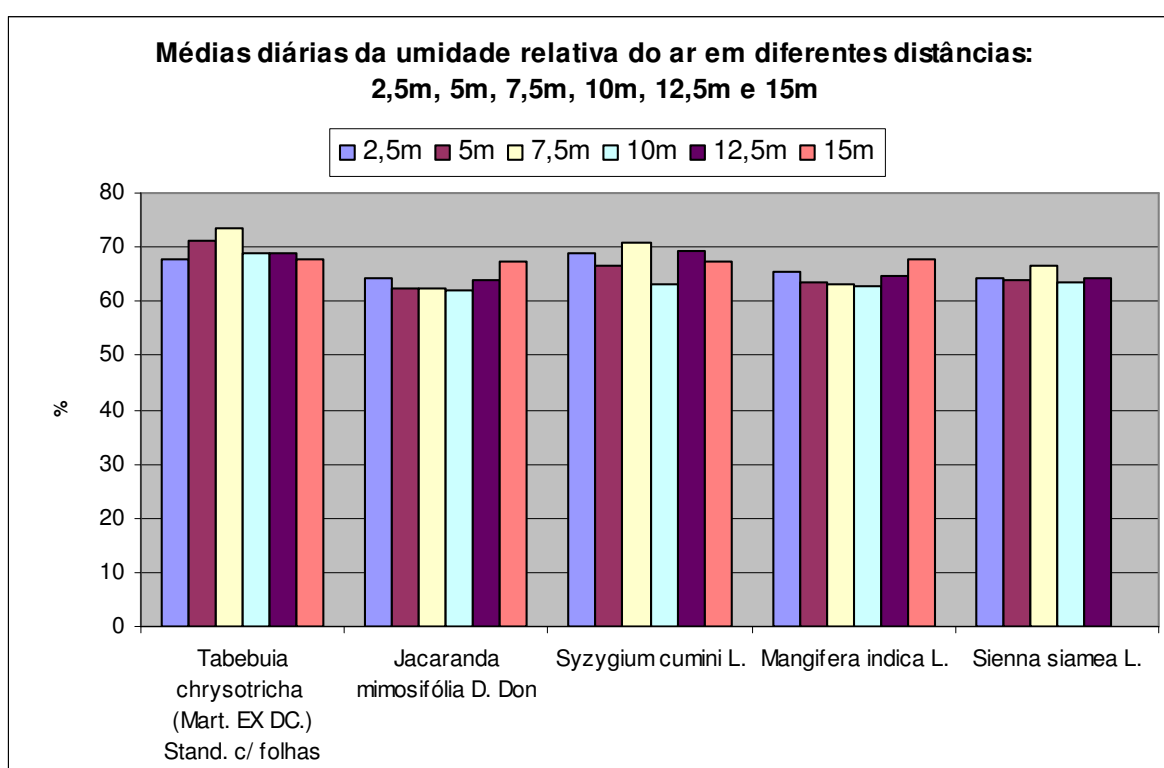


Figura 111 – Comparação dos resultados de temperatura do ar em diferentes distâncias até 15m

TABELA 89 – Quadro resumo das médias diárias da umidade relativa do ar até 15m

Indivíduos arbóreos analisadas	2,5m	5m	7,5m	10m	12,5m	15m
Ipê-Amarelo (<i>Tabebuia chrysotricha</i> (Mart. ex DC.) Stand.)	67.94	71.03	73.62	68.74	68.90	67.94
Jacarandá (<i>Jacaranda mimosaeifolia</i> D. Don.)	64.40	62.39	62.58	62.11	64.01	67.26
Jambolão (<i>Syzygium cumini</i> L.)	68.88	66.48	70.71	63.13	69.21	67.49
Mangueira (<i>Mangifera indica</i> L.)	65.55	63.53	63.10	62.69	64.73	67.60
Agrupamento: Chuva de Ouro (<i>Sienna siamea</i> L.)	64.25	64.02	66.56	63.64	64.42	-

A tabela 90 e as figuras 112 mostraram os resultados das médias diárias da temperatura de globo. Por meio de uma análise estatística dos resultados da temperatura de globo concluiu-se que há evidência, ao nível de 5% de significância, para rejeitar a hipótese de que a temperatura de globo é a mesma em cada distância em quase todas as espécies.

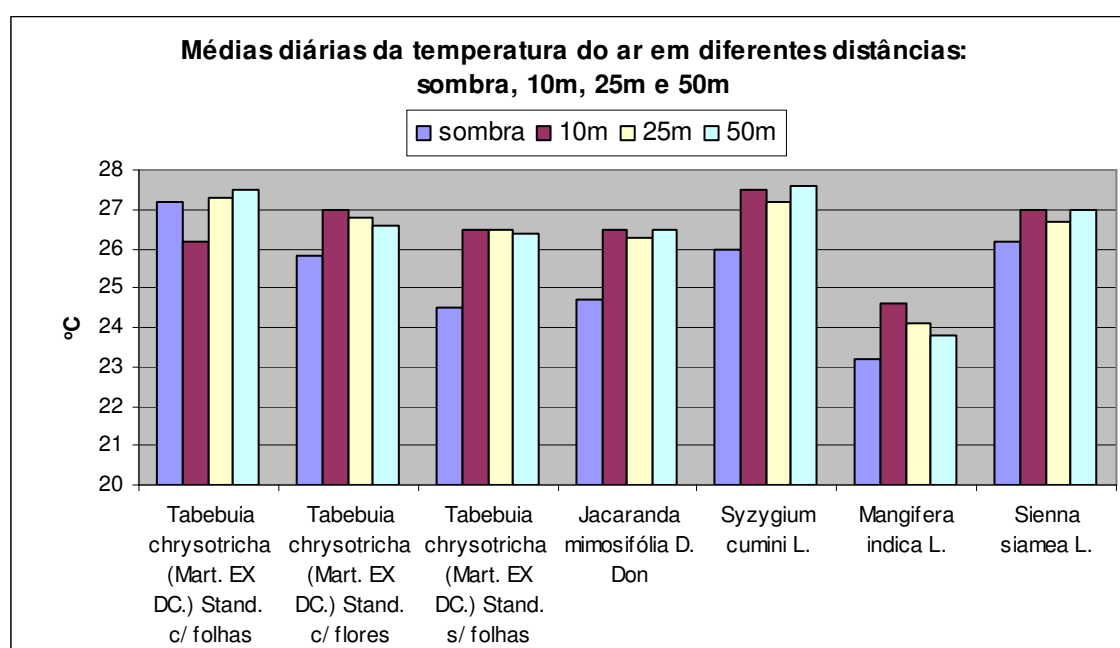


Figura 112 – Comparação dos resultados de temperatura do ar em diferentes distâncias

TABELA 90 – Quadro resumo das médias diárias da temperatura de globo

Indivíduos arbóreos analisadas		Sombra	10m	25m	50m
Ipê-Amarelo (<i>Tabebuia chrysotricha</i> (Mart. ex DC.) Stand.)	Com folhas	27.2	26.2	27.3	27.5
	Sem folhas	25.8	27.0	26.8	26.6
	Com flores	24.5	26.5	26.5	26.4
Jacarandá (<i>Jacaranda mimosaeifolia</i> D. Don.)		24.7	26.5	26.3	26.5
Jambolão (<i>Syzygium cumini</i> L.)		26.0	27.5	27.2	27.6
Mangueira (<i>Mangifera indica</i> L.)		23.2	24.6	24.1	23.8
Agrupamento: Chuva de Ouro (<i>Senna siamea</i> L.)		26.2	27.0	26.7	27.0

O teste *Tukey* resultou para Jambolão (*Syzygium cumini* L.) e agrupamento com Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.), que a temperatura de globo é diferente nas distâncias 10m, 25m e 50m em relação à sombra; quanto a Mangueira (*Mangifera indica* L.), a temperatura de globo é diferente na distância de 10m em relação à sombra; e, Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.), na situação sem flores, a temperatura do globo é diferente nas distâncias de 10m e 25m em relação à sombra.

Cotejando os resultados de conforto térmico para as espécies analisadas pelo método gráfico de Moreno (2006), conclui-se que o agrupamento Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.) proporciona melhores condições de conforto térmico, ao longo do dia, à sombra e nos pontos 25m e 50m, seguido por Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.), na situação com folhas (Tabela 91 e Figura 112). A Mangueira (*Mangifera indica* L.) proporciona melhores condições de conforto no ponto a 10m, seguido pelo o agrupamento com Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.) e Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.), na situação com flores. A espécie que proporcionou a menor condição de conforto foi Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.), na situação sem folhas.

TABELA 91 – Resumo das contribuições de conforto

Indivíduos arbóreos analisadas		Sombra	10m	25m	50m
Ipê-Amarelo (<i>Tabebuia chrysotricha</i> (Mart. ex DC.) Stand.)	Com folhas	7h	-	5h	5h
	Sem folhas	2h	1h	2h	2h
	Com flores	3h	3h	2h	2h
Jacarandá (<i>Jacaranda mimosaeifolia</i> D. Don.)		2h	2h	2h	1h
Jambolão (<i>Syzygium cumini</i> L.)		2h	2h	2h	1h
Mangueira (<i>Mangifera indica</i> L.)		3h	4h	2h	2h
Agrupamento: Chuva de Ouro (<i>Senna siamea</i> L.)		10h	3h	10h	10h

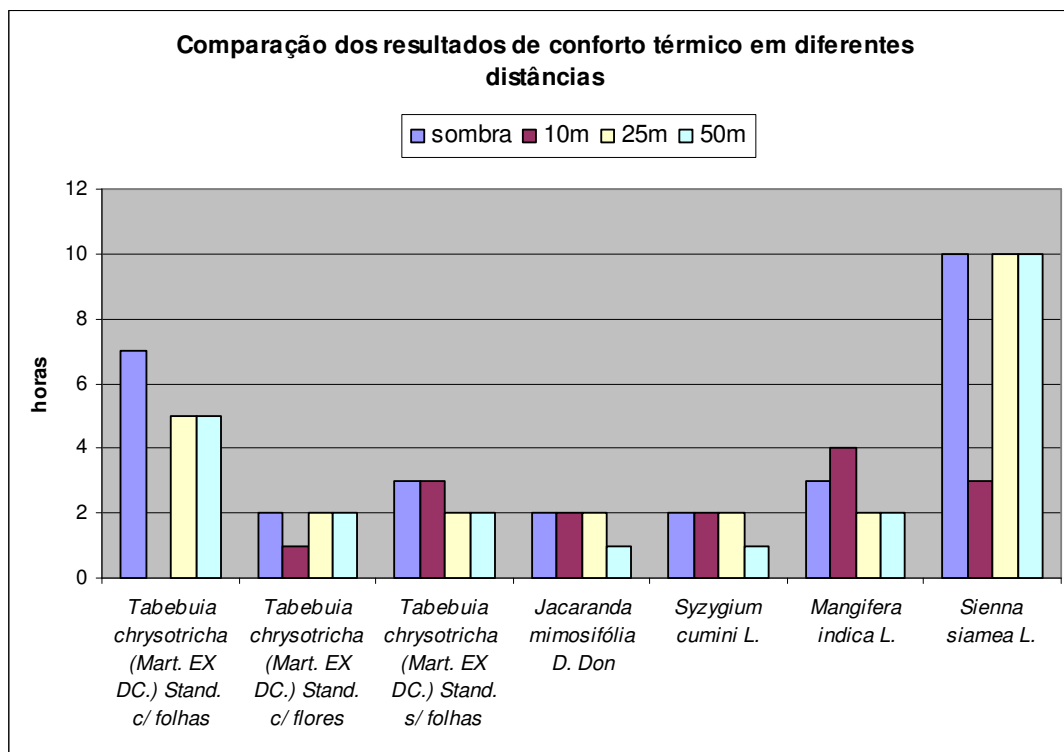


Figura 112 – Comparação dos resultados de temperatura do ar em diferentes distâncias

Comparando o conforto térmico numa distância de até 15m, conclui-se que todas as espécies analisadas proporcionam condições confortáveis no período das 11h às 17h. A espécie Jambolão (*Syzygium cumini* L.) apresentou as melhores condições de conforto, contrapondo-se ao agrupamento com Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.), que apresentou as piores condições nessa distância.

A tabela 92 e figura 113 apresenta os valores encontrados na transpiração das árvores analisadas. Observa-se que a Jambolão (*Syzygium cumini* L.) é a espécie que mais transpira (101.14 l/dia) e a espécie que menos transpirou foi Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.) nas condições sem folhas e com flores (13.13l/dia e 16.27l/dia). O agrupamento com Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.) e o indivíduo arbóreo Jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.) possuem taxas próximas a 30 l/dia, valores iguais a mais da metade daqueles encontrados nas espécies Jambolão (*Syzygium cumini* L.), Mangueira (*Mangifera indica* L.) e Ipê-Amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Stand.), na época com folhas.

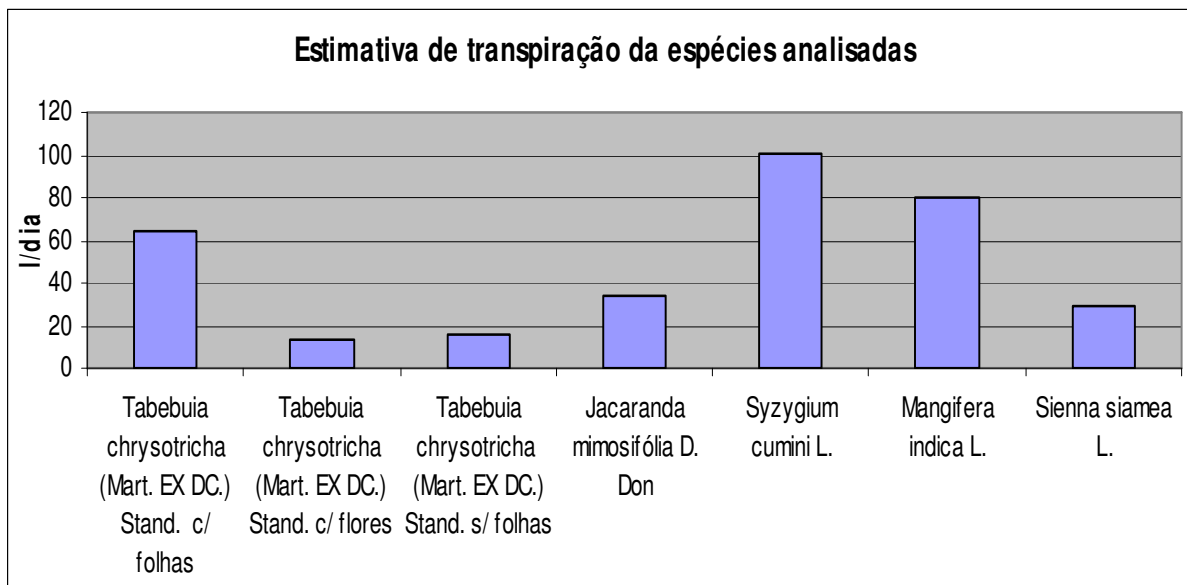


Figura 112 – Estimativa de transpiração nas diferentes espécies arbóreas

TABELA 92 – Taxa de Transpiração

Indivíduos arbóreos analisadas		Transpiração (l/dia)
Ipê-Amarelo (<i>Tabebuia chrysotricha</i> (Mart. ex DC.) Stand.)	Com folhas	63.70
	Sem folhas	13.30
	Com flores	16.27
Jacarandá (<i>Jacaranda mimosaeifolia</i> D. Don.)		33.93
Jambolão (<i>Syzygium cumini</i> L.)		101.14
Mangueira (<i>Mangifera indica</i> L.)		80.31
Agrupamento: Chuva de Ouro (<i>Senna siamea</i> L.)		29.45

Devido à grande variação da umidade em relação à temperatura nas diferentes distâncias, pode-se concluir que a umidade relativa do ar é a variável com maior influência nas condições de conforto térmico.

Os diferentes comportamentos dos indivíduos e agrupamentos arbóreos dependem de características específicas de cada espécie, tais como estrutura e densidade da copa, tamanho, forma e cor das folhas.

Os agrupamentos arbóreos exercem influência numa escala maior do que uma única árvore. Ou seja, a disposição de elementos arbóreos pode aumentar a

capacidade de redução da temperatura do ar e a atenuação da radiação incidente, bem como intensificar as sensações de conforto térmico ao usuário num determinado raio. Além disso, tem uma grande importância na composição de espaços externos, pois a definição do plano de massa arbóreo serve como um instrumento para o desenho da paisagem que visa à requalificação do ambiente construído.

As árvores, quando alinhadas, podem criar caminhos sombreados para a circulação de pessoas, bicicletas e automóveis. Recomenda-se o uso de espécies que proporcionem melhores condições de conforto térmico nesses lugares. Em áreas de estacionamento de carros, recomenda-se a implantação de árvores agrupadas linearmente de espécies que possuam uma boa atenuação da radiação solar.

Em espaços de grande e médio porte destinados a atividades específicas de lazer e esportes – parques, bosques, grandes praças – recomenda-se a implantação de agrupamentos arbóreos com espécies que possuam uma boa atenuação da radiação para o sombreamento de bancos, bebedouros e brinquedos infantis.

Em espaços de grande porte destinados à preservação e requalificação do ambiente – parques lineares, reservas ecológicas – recomenda-se o uso de espécies com altas taxas de transpiração. Elas possuem maior capacidade de mitigação da temperatura do ar nas áreas próximas edificadas, além de ter uma grande contribuição no ciclo hidrológico das cidades.

Vale salientar a importância da observação das condições do piso – permeável ou impermeável – das edificações existentes e as que serão executadas, da infraestrutura existente no lugar – iluminação, sinalização – e as condições de conforto térmico do lugar e do entorno para o plantio da espécie adequada. Além disso, devem-se implantar diferentes espécies arbóreas para proporcionar à paisagem uma variedade de cores, de transparência, de textura e de movimento, bem como preservar a diversidade da flora.

Os indivíduos arbóreos isolados são também essenciais na composição do ambiente, mas devem ser considerados como componentes complementares, um detalhe ou um marco. Por ter uma boa resposta em relação ao conforto térmico em uma micro-escala, recomenda-se a utilização de indivíduos isolados em pequenas áreas como pátio interno, praçinhas e próximas a edificações – recuo frontal, lateral, quintal.

Em pátios internos, recomenda-se o uso de espécies que proporcionem boas condições de conforto térmico, criem um ambiente agradável para atividades ao ar livre - descanso, refeições, brinquedos – e, também, auxiliem no controle das temperaturas internas e externas à edificação.

Em pequenas praças, deve-se observar o entorno. Se houver poucas árvores implantadas nas calçadas próximas ao local, recomenda-se o uso de espécies com alta taxa de transpiração, aumentando assim a capacidade de redução da temperatura do ar e umidificação do local. Se houver muitas árvores implantadas por perto, recomenda-se o uso de espécies que proporcione boas condições de conforto térmico.

Em locais próximos às edificações, recomenda-se a implantação de espécies com boa atenuação da radiação solar. Isso foi sugerido com a finalidade de intensificar o sombreamento das fachadas ensolaradas e reduzir os gastos com energia para resfriamento de ambientes interno.

É necessário implantar árvores em pequenas áreas no meio urbano por suas características de termo-regulação numa micro-escala – auxiliando na termoregulação do ambiente, na redução dos gastos energéticos, na permeabilidade do solo – e numa macro-escala – reduzindo o efeito das ilhas de calor.

Os resultados de estudos como este devem ser divulgados de modo a contribuir para a melhoria da qualidade de vida da população e influenciar o planejamento de áreas verdes e arborização de centros urbanos. Também possibilita uma interpretação

do comportamento da umidade relativa, a relação entre a evapotranspiração e a umidade ao longo do dia.

Algumas sugestões para trabalhos futuros são:

- Pesquisa e levantamento de dados em campo em número maior de indivíduos das espécies já analisadas;
- Pesquisa e levantamento de dados em campo de diferentes espécies arbóreas e tipos de agrupamentos arbóreos ainda não estudados;
- Desenvolvimento de um método mais eficiente de determinação do índice de área foliar (IAF) para ambiente construído, através de imagens esféricas.
- Cálculo do balanço energético proporcionado por indivíduo e agrupamento arbóreo;
- Cálculo dos gastos com transpiração e calor latente ao longo do dia, para o melhor aproveitamento dos benefícios das árvores no ambiente construído.
- Caracterização do controle da velocidade do vento de espécies arbóreas específicas e agrupamentos arbóreos, correlacionando-as com a melhoria do microclima devido às características ligadas ao ambiente natural – composição, densidade, área ocupada, disposição dos indivíduos – e às espécies arbóreas – copa, textura, disposição dos elementos da árvore, fisiológicas morfológicas e características.
- Elaboração de um modelo que explique o comportamento das espécies analisadas em função de suas características morfológicas, e que permita simulações para as demais espécies.

6. CONCLUSÃO

Pelo levantamento dos dados de campo e pelas análises estatísticas dos resultados obtidos, pode-se concluir que a arborização contribui significativamente para a melhoria do microclima, em ambientes externos, mesmo ao sol.

Diretamente, a radiação solar atenuada pelas árvores é capaz de reduzir a temperatura do ar e de globo dos ambientes externos; indiretamente, a evapotranspiração da vegetação é responsável pela umidificação local. A maior contribuição para o conforto foi do agrupamento de Chuva de Ouro (*Senna siamea* L.) na sombra e nas distâncias 10m, 25m e 50m, comprovando que a disposição dos elementos arbóreos é capaz de intensificar o trabalho de termoregulação da vegetação. Em todos os indivíduos isolados, constatou-se que a uma distância em torno de 15m do tronco, o conjunto de variáveis ambientais proporciona conforto térmico mesmo ao sol.

Os resultados obtidos mostram que espécies arbóreas com a maior atenuação da radiação e maiores taxas de evapotranspiração são aquelas que têm maior capacidade de redução da temperatura do microclima urbano. Esta característica da vegetação deve ser levada em conta pelos profissionais do ambiente construído para melhoria do conforto térmico em ambientes externos. Isso reduz os gastos energéticos com resfriamento de ambientes internos e garante maior qualidade de vida às pessoas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, K.S.; Comfort in urban spaces: defining outdoor thermal comfort for the tropical urban environments. **Energy and Buildings**, Londres, n. 35, p. 103-110. 2003.

AKBARI, H.; LEVINSON, R.; MILLER, W.; BERDAHL, P.; Cool colored roofs to save energy and improve air quality. *In*: PROC. INTERNATIONAL CONFERENCE PASSIVE AND LOW ENERGY COOLING FOR THE BUILT ENVIRONMENT, Santorini, Greece. **Proceedings...** 2005.

AKBARI, H.; TAHA, H.; The impact of trees and white surfaces on residential heating and cooling energy use in four Canadian cities. **Energy, the International Journal**, Oxford, , v. 17, n. 2, p. 141-149, 1992.

AKBARI H.; KURN, D. M. KURN, BRETZ, S. E.; HANFOLD W. J. Peak power and cooling energy savings of shade trees. **Energy and Buildings**, Londres, 25. p. 139-148, 1977.

ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O; A PENMAN for all seasons. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 112, n. 4, p. 348-368, 1986.

ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O.; FAO- 24 Reference Evapotranspiration Factors. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 117, n. 5, p. 758-773, 1991.

ANGELOCCI, L. R. . Transpiração diária, área foliar, demanda evaporativa e disponibilidade hídrica em macieiras. *In*: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, RESUMOS, 1993, Porto Alegre. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. PORTO ALEGRE, RS, 1993. p. 0-0.

ASAEDA, T.; CA, V. T.; The subsurface transport of heat and moisture and its effects on the environment: a numerical model. **Boundary Layer Meteorology**, v. 65, p. 159-179, 1993.

BAJWA, M. M.; Role of Integrate landscape designed in energy conservation in detaches dwellings in the Arabian Gulf region. **Renewable Energy**, Oxford, v. 6, n. 2, p. 139-150, 1995.

BERNATZKY, A.; The Contribution of trees and green space to a town climate. **Energy and Buildings**, v. 5, n. 1, p. 1-10, 1982.

BEVEN, K. A.; Sensitivity Analyses of the PENMAN-MONTEITH actual evapotranspiration estimates. **Journal of Hydrology**, v. 44, p. 169-190, 1979.

BLANEY, H.F.; CRIDDLE, W. D.; Determining water requirements in irrigated areas from climatologically and irrigation data. **U.S. Department Agriculture Soil Conservation Service SCS-TP-96**, p. 44, 1950.

BOUTET, T. S.; **Controlling air movement**. 2 ed. USA: RR Donnelley & Sons Company, 1987. 318 p.

BRETZ, S.; AKBARI, H; ROSENFELD, A. Practical issues for using solar-refletive materials to mitigate urban heat islands. **Atmospheric Environmental**, Berkeley, v. 32, No. 1, p.95-101, 1998.

BROWN, G.Z., DEKAY, M.; **Sun, Wind, & Light: Architectural Design Strategies**. 2 ed. Auflage: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2000. 381 p. v. XIX.

BUDYKO, M.I.; **Climate and Life**. New York: Academic Press, 1974. v. 508.

BUENO, C. L.; **Estudo da atenuação da radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas**. Campinas, SP, 1998. 177 f. Dissertação (Mestrado); Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campinas.

BUENO-BARTHOLOMEI, C. L.; **Influencia da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído**. Campinas, SP, 2003. 189 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Campinas.

CANTO, A.C.; SILVA, S. E. L.; Comportamento de espécies florestais em povoamento puro na região de Manaus-AM. **Ciências Agrárias - UA**, Manaus, AM, v. 3, p. 37-48, 1994.

CANTUARIA, G.A.C.; Microclimate Impact of Trees in Suburban Brasília *In: PLEA - INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE*, 17., 2000, Cambridge, UK. **Proceedings...** Cambridge, UK: James & James, 2000. <http://www.arct.cam.ac.uk/plea2000/>. Acesso em: julho de 2006.

CARDELINO, C. A.; CHAMEIDES, W. L.; Natural Hydrocarbons, urbanization and urban ozone **Journal of Geophysical Research**, v. 95, n. 13, p. 971-979, 1990.

CARVALHO, R. I.; **A Dinâmica da Dormência e do conteúdo de Carboidratos e Proteínas em gemas vegetativas em ramos de um e dois anos de macieira com ou sem frio suplementar.** Curitiba, PR, 2001. 2001 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

CAUDRAT, J. M.; PITA, M. F. **Climatologia.** Madrid: Ediciones Cátedra S.A., 1997. 496p.

CAVALHEIRO, F.; Arborização urbana: planejamento, implantação e condução *In: II CONGRESSO BRASILEIROS DE ARBORIZAÇÃO URBANA*, 1994, São Luís, Maceió. **Anais...** Brasil, 1994. p. 200-207.

CHING, J. K. S.; CLARKE, J. S.; GODOWITCH, J. M.; Modulation of heat flux by different flux scales of advection in an urban environment **Boundary Layer Meteorology**, v. 25, p. 171-191, 1983.

CUNHA, L. J. B. F.; FERREIRA, A. L. A.; PEDRINI, A.; A valorização do espaço de estacionamento através do sombreamento arbóreo. *In: ENCAC E ELACAC - ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, VII e IV., 2005, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005. p. 541-547. CD rom.

DIMOUDI, A. NIKILOPOULOU, M.; Vegetation in the urban environment: Microclimatic analysis and benefits. **Energy and Buildings**, Inglaterra, v. 35, n. 1, p. 69-76, 2003. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/enbuild>> Acesso em: abril 2006.

DOOREMBOS, J.; PRUITT, W.O.; Crop water requirements. **Irrigation and Drainage**, Rome, v. 24, p. 144, 1977.

DORNELAS, K. D. S.; SILVA, C. L.; OLIVEIRA, C. A. S.; Coeficientes médios da equação de Angström - Prescott, radiação solar e evapotranspiração de referência em Brasília. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 8, p. 1213-1219, 2006.

DOUGLAS, I.; **The Urban environment.** Victoria, Australia: Edward Arnold, 1987. 229 p.

DUARTE, D.; SERRA, G.; Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental. *In: ENCONTRO NACIONAL E ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, VI e III., 2001, Águas de São Pedro, SP. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2001. CD rom.

FARIA, J. R. G.; SOUZA, L. C. L.; Caracterização do campo térmico intra-urbano. *In: JOSÉ FERNANDO GOMES MENDES; ANTÔNIO NÉLSON RODRIGUES DA SILVA; LÉA CRISTINA LUCAS DE SOUZA; RUI ANTÔNIO RODRIGUES RAMOS.*

Contribuições para o desenvolvimento sustentável em cidades portuguesas e brasileiras. 1 ed. Coimbra: Almedina, 2004. 1. p. 43-52.

FONTES, M. S. G. C. ; DELBIN, S. Caracterização microclimática dos espaços livres do campus da UNESP de Bauru-SP. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE PAISAGISMO EM ESCOLAS DE ARQUITETURA E URBANISMO NO BRASIL*, VII., 2004, Belo Horizonte. **Anais...** : ENEPEA, 2004.

FONTES, M. S. G. C.; DELBIN, S.; A qualidade Climática dos Espaços públicos urbanos: um estudo de caso na Cidade de Bauru-SP. *In: ENCONTRO NACIONAL E ENCOTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, V e III, 2001, Águas de São Pedro, SP. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2001. CD rom.

GIRIDHARAN, R.; LAU, S. S. Y.; GANESAN, S.; GIVONI, B.; Impact of on-site variables on the influence of vegetation in lowering outdoor temperature in High-rise high-density environments. *In: PLEA2006 - CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE*, 23., 2006, Geneva, Switzerland. **Proceeding...** Switzerland, 2006. Disponível em: <<http://www.unige.ch/cuepe/html/plea2006/proceedings.php>> Acesso em: julho de 2007.

GIVONI, B.; Noguchi M.; Saaroni H.; Pochter O.; Feller N.; Becker S.; Outdoor comfort research issues. **Energy & Buildings**, n.35, v. 1, p. 77-86; 2003.

GIVONI, B.; **Passive and low energy cooling of buildings**. 1 ed. New York, EUA: New York : J. Wiley, 1994. 263 p.

GIVONI, B.; Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Building**, Amsterdam, v. 18, 1992.

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

GREEN, S.; The climatic influence of green areas, their properties as air filters and noise abatement Agents. **Agriculture Meteorology**, v. 64, p. 201-221, 1993.

GRIMMOND, C. S. B.; OKE, T. R.; STEYN, D. G.; Urban water balance: a model for daily totals. **Water Resources Research**; v. 22, p. 1397-1403, 1986.

GRIMMOND, C. S. B.; SOUCH, C. HUBBLE, M. D.; Influence of tree cover on summertime surface energy balance fluxes. **Climate Research**, San Gabriel Valley, Los Angeles, v. 6, p. 45-57, 1996.

HAGER, P.; HOLLAND, S.; BECKETT, D.; Enhancing the learning and employability of graduates: The role of generic skills. **Business Higher Education Round Table B-HERT Position**, n.9., p. 1-16, 2002. Disponível em: <<http://www.bhert.com/Position%20Paper%20No%209.pdf>> Acesso em: julho de 2007.

HALL, M. J. **Urban Hydrology**. London: Elsevier Applied Science, 1984. 299 p.

HALVORSON, H.; POTTS, D.; Water Requirements of Honeylocust (*Gleditsia Triacanthos* f. *inermis*) in the urban forest. **USDA Forest Service Research Paper**, p. 487, 1981.

HAMON, W. R.; Equation for estimating potential evapotranspiration in terms of a temperature function and day length: Methods for estimating evapotranspiration. *In*: IRRIGATION AND DRAINAGE SPECIALTY CONFERENCE, 1966, New York, NY. **Proceeding...** New York: ASCE, 1966.

HERMANN, D.F.; Evapotranspiration Research Priorities for next decade - Irrigation. **Transaction of the ASAE**, São Joseph, v. 31, n. 2, p. 497-502, 1988.

HEILMAN, J.; BRITTIN, C.; ZAJICEK, J.; Water Use by Shrubs as affected by energy exchange with building walls. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 48, p. 345-357, 1989.

HUANG, J.H.; AKBARI, H.; TAHA, H.; ROSENFELD, A.; The potential of vegetation in reducing summer cooling loads in residential buildings. **Journal of Climate Appling Meteorology**, v. 26, p. 1103-1106, 1987.

JENSEN, M.E.; HAISE, H. R.; Estimating Evapotranspiration from solar radiation. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, New York, v. 4, p. 15-41, 1963.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G.; Evapotranspiration and Irrigation water requirements. **ASCE- Manuals and Reports on Engineering Practice**, n. 79, p. 332, 1991a.

JENSEN, M.E; HOWELL, T. A.; SCHNEIDERL, A.D.; History of Lysimeter Design and Use for Evapotranspiration Measurements *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LYSIMETRY, 1991, Honolulu, Hawaii. **Proceedings...** New York: ASCE - American Society of Civil Engineering, 1991b. p. 456.

JENSEN J.R.; **Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective** 2 ed. Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000. 316 p.

JENSEN, R. R.; J. R. BOULTON; HARPER, B. T.; The relationship between urban leaf area an household energy usage in Terre Haute, Indiana, USA. **Journal of Arboriculture** 29(4): 226-23. 2003. Disponível em: <http://www.decagon.com/info/Canopy_News02.pdf> Acesso em: 15 abril. 2006.

JURY, W. A.; TANNER, C. B.; Advection Modification of the PRIESTLEY-TAYLOR evapotranspiration Formula. **Agronomy Journal**, v. 67, p. 840-842, 1975.

KATZSCHNER, L.; The Contribution of Urban Climate Studies to a New Urbanity. *In: ENCONTRO NACIONAL E LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, VIII e IV., 2005, Maceió. **Anais...** ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2005. p. 912-920.

KJELGREN, R., RUPP, L.A.; Establishment in treeshelter I: shelter reduce growth, in water use, and hardiness but not drought avoidance. **Hort Science**, v. 32, n. 7, p. 1281-1283, 1997.

KONYA, A.; **Design primer for hot climates**. London: The Architectural Press, 1980.

LABAKI, L. C., SANTOS, R. F.; **Conforto térmico em cidades: efeito da arborização no controle da radiação solar**. Projeto FAPESP. Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP.

LANDSBERG, J.; POWELL, D.; Surface exchange characteristics of leaves subject to mutual interference. **Agricultural Meteorology**, v. 13, p. 169-184, 1973.

LECHNER, N.; **Heating, cooling, lighting: design methods for architects**. 2 ed. Canadá: John Willey & Sons, 1990. 648 p.

LIMA, F. K. G. M.; ROMERO, M. A. B.; Espaços Residuais Públicos: um estudo morfológico e bioclimático em bairro de renda média-baixa em Teresina. *In: ENCONTRO NACIONAL E LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, VII e IV., 2005, Maceió, AL. **Anais...** Maceió, AL: ANTAC, 2005. CD rom.

LLANDERT, L. R. A.; **Zonas verdes y espacios libres en la ciudad**. Madrid: Instituto de Estudios de Administración Local, 1982. 538 p.

LOIS, E.; LABAKI, L. C.; Conforto térmico em espaços externos: uma revisão. *In: ENCONTRO NACIONAL E ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, VI e III., 2001, São Pedro, SP. São Pedro, SP: ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2001.

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

LOMBARDO, M. A.; Ilha de calor de São Paulo. **Ambiente: revista CETESB de tecnologia**, v. 2, p. 14-8, 1988.

LOPES, P. M. O.; **Obtenção de regimes microclimáticos em regiões montanhosas com dados de sensores orbitais e integração de modelos distribuídos**. São José dos Campos, SP, 2006. 230 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

LORENZI, H.; **Arvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2003. 368 p.

LORENZI, H.; **Arvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2002. 368 p. v. 1 e 2.

MACEDO, S. S.; A vegetação como elemento de projeto. **Paisagem e Ambiente - Ensaios**, FAUUSP, São Paulo, v. IV, 1992.

MACEDO, S. S.; MESQUITA, P. R.; Ética e Estética o Destino do Litoral. **Paisagem e Ambiente - Ensaios**, FAUUSP, São Paulo, v. III, 1989.

MAKKINK, G. F.; Ekzamento de la formulo de Penman. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 5, p. 290-305, 1957.

MARIN, F. R. ; ANGELOCCI, Luiz Roberto ; NOVA, Nilson Augusto Villa . Estimativa da transpiração máxima de lima ácida 'Tahiti' pelo modelo de Penman-Monteith. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria/RS, v. 11, n. 2, p. 237-243, 2003.

MASCARÓ, J. J.; GIACOMIN, S. D.; CUADROS, S.; Ambiência urbana e arborização pública. *In: ENCAC E ELACAC - ENCONTRO NACIONAL E ENCONTRO LATINO AMERIANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, IX e V., 2007, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: ANTAC, 2007. CD rom.

MAYER, E.; Thermische Behaglichkeit Einflu der Luftbewegung auf das Arbeiten im Reinraum. **Reinraumtechnik**, v. 4, n. 6, p. 30-24, 1990.

MCPHERSON, E.G.; SCOTT, K. I.; SIMPSON, J. R.; Estimating Cost Effectiveness of Residential Yard Trees for Improving Air Quality in Sacramento, California, Using Existing Models. **Atmospheric Environment**, v. 32, n. 1, p. 75-84, 1998.

MCPHERSON, E.G.; A benefits-cost analysis of street tree species in Modesto, California, U.S. **Journal Arboric**, v. 29, p. 1-8, 2003.

MILANO, M. S.; Métodos de Amostragem para avaliação de Arborização de Ruas *In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, V ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA*, São Luiz. **Anais...** Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, 1994.

MOFFAT, A. S.; SCHILLER, G. E.; **A guidebook for landscape architects on maximizing the energy efficiency of landscape designs**. New York: William Morrow and Co., 1981. (Landscape Designs That Save Energy.)

MONTAGUE, T.; KJELGREN, R.; Urban Tree Transpiration over Turf and Asphalt Surfaces. **Atmospheric Environment**, v. 32, n. 1, p. 35-41, 1998.

MONTEIRO, C. A. F.; MEDONÇA, F.; **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. 192 p.

MONTEITH, J.; UNSWORTH, M.; **Principles of Environmental Physics**. London: Edward Arnold, 1990. p. 58-73.

MONTEITH, J. L.; Evaporation and Environment. **Symposium of the Society for Experimental Biology**, v.19, p.205-234, 1965

MONTGOMERY, O.L.; COLEMAN, T. L.; Soil moisture, organic matter, and iron content effect on the spectral characteristics of selected Vertisols and Alfisols in Alabama. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v.53, p. 1659-1663, 1987.

MORENO, M. M.; **Parâmetros para implantação efetiva de áreas verdes em bairros periféricos de baixa densidade**. Campinas, SP, 2006. 155 p. Dissertação (mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.

NERY, J.; ANDRADE, T.; FREIRE, T.; KATZSCHNER, L. Thermal Comfort Studies in Humid Tropical City, Salvador- Brazil. *In*: ICUC- INTERNATIONAL CONFERENCE OF URBAN CLIMATE, VI., 2006, Goteborg, Sweden. **Proceedings...** Goteborg, Sweden: IAUC Newsletter, 2006. Disponível em: <<http://www.urban-climate.org/IAUC018.pdf>>. Acesso em: abril de 2007.

NOBILE, A. A.; **Diretrizes para sustentabilidade ambiental em empreendimentos habitacionais**. Campinas, SP, 2003. 386 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.

OKE, T. R.; Towards better scientific communication in urban climate. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 84, 2005.

OKE, T.R.; SPRONKEN-SMITH, R.; JAUREGUI, E.; GRIMMOND, C. S. B.; The energy balance of central Mexico City during the dry season. **Atmospheric Environment**, v. 33, p. 3919-3930, 1999.

OKE, T. R.; **Boundary Layer Climate**. 2 ed. London: Methuen & Ltd. A., 1978. 372 p.

OKE, T. R.; The distinction between canopy and urban boundary-layer heat islands. **Atmosphere**, v. 14, p. 167-174, 1976.

PEIXOTO, M. C.; LABAKI, L.C; SANTOS, R. F.; Conforto Térmico nas Cidades: Avaliação de Efeitos da Arborização no Controle da Radiação Solar. *In*: ENTAC - ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONTRUÍDO, 1995, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Rio de Janeiro, RJ: ANTAC, 1995. p. 629-634.

PELTON, W. L.; KING, K. M.; TANNER, C. B.; An evaluation of the THORNTHWAITE method for determining potential evapotranspiration. **Agronomy Journal**, v. 52, p. 387-395, 1960.

PENMAN, H.L.; Natural Evaporation from open water. *In*: BARE, SOIL AND GRASS, 1948, London. **Proceeding...** London: Royal Society, 1948. p. 120-146.

PEREIRA, A. R. ; GREEN, S. ; VILLA NOVA, N. A.; Penman-Monteith reference evapotranspiration adapted to estimate irrigated tree transpiration. **Agricultural Water Management**, v. 83, p. 153-161, 2006.

PEZZUTO, C. C.; LABAKI, L. C.; FRANCISCO-FILHO, L. L.; Distribuição Horizontal Da Temperatura Do Ar Em Uma Região Central Na Cidade De Campinas, SP. *In*: ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE O CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 2005, Maceió. **Anais...** Brazil: ANTAC, 2005. CD ROM.

PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J.; On assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. **Monthly Weather Rev.**, v. 106, p. 81-92, 1971.

RIVERO, R.; **Arquitetura e Clima: acondicionamento térmico natural**. 2 ed. Porto Alegre: DC Luzzato. UFRGS, 1986.

SANTAMOURIS, M.; **Energy and climate in the urban built.** Londres: James & James, 2001. 402 p.

SATTTLER, M. A.; Arborização urbana e conforto ambiental. *In*: CONGRESSO DE ARBORIZAÇÃO DAS CIDADES, 1., 1992, Vitória. **Anais...** Vitoria, 1992. p. 15 - 28.

SATTTLER, M. A.; SHARPLES, S.; PAGE, J. K.; The geometry of the shading of buildings by various tree shapes. **Solar Energy**, v. 38, n. 3, p. 187-201, 1987.

SHARMA, R. D.; Comparação de métodos para coletar ovos de *Meloidogyne* spp. de raízes, incluindo uma nova técnica. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, SP, v. 9, p. 18-19, 1985.

SILVA, I. J. O.; GHELFI FILHO, H.; NÄÄS, I. A.; GARBOGGINI, I. L. A.; Redução da carga térmica de radiação através do sombreamento natural. *In*: CONGRESSO ARGENTINO DE INGENIERIA RURAL E CONGRESSO INTERNACIONAL DE INGENIERIA RURAL, 4 e 2., 1996, Neuquen. **Memorias...** Neuquem: Universidad Nacional del Comhue, Universidad Nacional de La Plata, INTA Centro Regional Patagonia Norte, 1996. p. 799 - 807.

SILVA, I. J. O.; MARTINS, J. L.; FAGNANI, M. A.; PIEDADE, S. M. S. Avaliação da Qualidade do sombreamento natural (arbóreo) em pastagem em condições de outono. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA E REUNIÃO LATINO

AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, XII e III., 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBA, 2001. p. 791-792. CD rom.

SILVA, I. J. O.; *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), São Pedro (Brasil). **Anais...** CD ROM.

SIMPSON, J. R.; MCPHERSON, E. G.; Potential of tree shade for reducing residential energy use in California. **Journal of Arboriculture**, v. 22, n. 1, p. 10-18, 1996.

SIMPSON, J.R. Urban forest impact on region cooling and heating energy use: Sacramento Country's urban forest. **Journal of Arboriculture**, v. 24, n. 4, 1998.

STEWART, J. B.; Using analysis of the combination equation to estimate evaporation: a note on the relationships between the principle forms. **Agricultural Meteorology**, 1979.

SZOKOLAY, S. V.; **Environmental Science Handbook**. Lancaster, England: The Construction Press, 1980. 77-174 p.

TERJUNG, W. H.; LOUIE, S. S. F.; A Climatic Model of Urban Energy Budgets. **Geographic Analysis**, v. 6, p. 341-367, 1974.

THOM, A. S.; Momentum, Mass and Heat Exchange of Vegetation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 98, p. 124-134, 1972.

THORNTHWAITTE, A.; An Approach to a Rational Classification of Climate. **Geographic Revue**, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

TSUTSUMI, J. G.; ISHII, A.; KATAYAMA, T.; Quantity of plants and its effect on local air temperature in an urban area. In: ICUC5 2003 (FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE,1-5), 5., 2003, Lotz, Polland. **Proceedings....** Lotz, Polland: ICUC, 2006. Disponível em: <<http://www.geo.uni.lodz.pl/~icuc5/text/indexCD.pdf>> Acesso em: 01 abril. 2006.

ULRICH, R. S.; View through a window may influence recovery from surgery. **Science**, v. 224, p. 420-421, 1984.

VASCONCELLOS, V. M. N.; REIS-ALVES, L. A.; Praça Edmundo Bittencourt - Copacabana - Rio de Janeiro - a influência da morfologia urbana no microclima de uma praça em cidade tropical quente e úmida. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2005, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005. CD rom.

VASCONCELLOS, V. M. N.; COROBELLA, O. D.; Entorno construído e microclima: influências que determinam o uso dos espaços exteriores. In: ENCAC E ELACAC -

ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO E ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, IX e V., 2007, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: ANTAC, 2007. CD rom.

VOGT, J. A.; OKE, T. R.; Thermal remote sensing of urban climate. **Remote Sensing Environment**, v. 86, p. 370-384, 2003.

WATANABE, H.; MOCHIDA, A.; IWATA, T.; HATAYA, N.; YOCHINO, H.; SASAKI, K.; Comparison of the Thermal Environment and Pollutant Diffusion within the several types of street canyon based on field observation. *In*: ICUC - INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, VI., 2006, Goteborg, Sweden. **Proceedings...** Goteborg, Sweden: IAUC Newsletter, 2006.

WHITFORD, V.; ENNOS, A.R.; HANDLEY, J.F.; City form and natural process - indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside, UK. **Landscape and Urban Planning**, v. 57, p. 91-103, 2001.

XIAO, Q.; MCPHERSON, E. G; SIMPSON, J.R.; USTIN, S. L.; Rainfall interception by Sacramento's urban forest. **Journal of Arboriculture**, v. 24, n. 4, p. 235-244, 1998.

YOCHIDA, A.; SUGIOKA, M. Development of three dimensional plant canopy model for numerical simulation of outdoor thermal environment. *In*: ICUC - INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, VI, 2006, Goteborg, Sweden. **Proceedings...** Goteborg, Sweden: IAUC Newsletter, 2006.