



## **O IMPACTO DA VEGETAÇÃO NOS MICROCLIMAS URBANOS: ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR EM DIFERENTES GRUPOS ARBÓREOS**

**Paula Shinzato (1); Denise H. S. Duarte (2); Fernanda Barros (3); Denise Moreira (3);**

(1) Arquiteta, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, [paulashinzato@yahoo.com](mailto:paulashinzato@yahoo.com)

(2) PhD, Professor da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, [dhduarte@terra.com.br](mailto:dhduarte@terra.com.br)

(3) Aluna de iniciação científica da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

Universidade de São Paulo, Departamento de Tecnologia, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética - LABAUT, São Paulo - SP, 05508-080, Tel.: (11) 3091 4538

### **RESUMO**

O objeto desta pesquisa em andamento são os efeitos da vegetação nas condições microclimáticas urbanas, partindo-se da premissa que a presença da vegetação influencia o microclima do seu entorno imediato. A partir de diferentes formas de distribuição das áreas verdes na cidade e com o uso de espécies locais, o objetivo é realizar a medição dos valores do índice área foliar - IAF para grupos arbóreos existentes em parques urbanos na cidade São Paulo. Foram definidas duas formas de medição indireta: uma utilizando o equipamento LAI-2000 *Plant Canopy Analyzer* e outra por meio da análises por fotos hemisféricas, nos meses de agosto e setembro de 2012, no Parque Tenente Siqueira Campos (Trianon). Foram obtidos valores médios para uma área do parque que abrange 22 pontos medidos e os resultados apresentaram valores de IAF médio variando entre 2,14 e 2,52. Esses dados estão sendo utilizados para complementar o banco de dados de plantas em modelos computacionais como o ENVI-*met* que verifica o efeito microclimático da vegetação urbana.

Palavras-chave: vegetação urbana, índice de área foliar, foto hemisférica, LAI-2000.

### **ABSTRACT**

The main purpose of this ongoing research is the cooling effect of vegetation in urban microclimate, considering the fact that the presence of vegetation influences the microclimate and its surroundings. Regarding different forms of distribution of green areas in cities and the specification of local species, the main objective is to measure values for leaf area index – LAI for groups of trees existing in urban parks in São Paulo. Two different forms of indirect measurement were applied: using the instrument LAI-2000 *Plant Canopy Analyzer* and another one based on hemispheric photographs analyses, during August and September 2012 at Tenente Siqueira Campos Park (Trianon Park). The average IAF were obtained for 22 measurement points inside the park and the results showed that the IAF values ranges from 2,14 to 2,52. This data is been used to complement ENVI-*met* plant databases, which helps to verify the microclimate effect of urban vegetation.

Keywords: urban vegetation, leaf area index, hemispheric photograph, LAI-2000.

## 1. INTRODUÇÃO

Muitos estudos já foram realizados a fim de verificar os benefícios provenientes da vegetação, dentre os quais se destacam: o controle da temperatura e umidade (DIMOUNDI, NIKOLOPOULOU, 2003; SAILOR, 1995; OMETO, 1981), a influência na qualidade ar (NOWAK, 2004; KUTTLER; STRASSBURGER, 1999), o resfriamento passivo de uma edificação por meio do sombreamento das árvores (HEISLER, 1986; TAHA, 1996; AKBARI, 2005), o manejo das águas (BORCKE, 2006), além do valor estético e da influência na saúde das pessoas (TAHA; AKBARI, 1992; SANTAMOURIS, 2001; ULRICH, 2003).

Em relação ao microclima, a vegetação tem um importante papel devido às suas propriedades no balanço de energia. Segundo os cálculos de Monteith (1965) para a taxa de evapotranspiração pelas plantas é possível perceber que o efeito da evapotranspiração está diretamente relacionado com a quantidade dos estômatos presentes nas superfícies das folhas. Assim quando maior a área de exposição das folhas, maior o efeito. Neste sentido os índices de área foliar - IAF têm uma relação direta com a quantidade de luz, energia e consumo de CO<sub>2</sub>.

De acordo com Chen e Black (1992) que definiram o IAF como sendo: “*half the total intercepting (non-projected) area per unit ground surface area*”. Dessa forma, esse índice é calculado considerando-se metade do total da área fotossinteticamente ativa e sua área de projeção no solo. O IAF é um número adimensional e um parâmetro-chave para se determinar uma série de processos ecológicos e fisiológicos como fotossíntese e evapotranspiração, possibilitando a previsão das taxas de trocas de energia entre vegetação e atmosfera, a curva de crescimento futuro e as diferenças na estrutura da copa devido à poluição do ar e mudança climática (ONG, 2002).

Esse estudo faz parte de uma pesquisa em andamento sobre o impacto da vegetação nos microclimas urbanos utilizando modelos preditivos como o ENVI-met. Esse modelo computacional considera a densidade foliar das plantas para simular as interações entre superfície-vegetação-atmosfera. No entanto, a medição e levantamento de novos valores de IAF serão fundamentais para complementar o banco de dados de vegetação existentes do ENVI-met e contribuir para construção de modelagens mais próximas das espécies tropicais brasileiras.

## 2. OBJETIVO

Partindo-se da premissa de que a vegetação influencia o microclima do seu entorno imediato, e que boa parte dessa influência é devida à sua densidade foliar, o objetivo deste estudo é realizar a medição dos valores de IAF para grupos arbóreos existentes em parques urbanos na cidade São Paulo.

## 3. MÉTODO

Os métodos de medição do IAF podem ser classificados em duas principais categorias: métodos destrutivos diretos e métodos não-destrutivos indiretos. O método direto baseia-se no cálculo da área média de folhas individuais coletadas e a partir destes dados, estima-se o IAF para toda a copa da árvore. O método indireto envolve cálculos a partir da atenuação da radiação pelo dossel da copa, a partir da análise da distribuição geométrica das aberturas entre as folhas (*Gap Fraction Distribution*).

Com o objetivo de levantar os valores do IAF foram definidas duas formas de medição: uma utilizando o equipamento LAI-2000 *Plant Canopy Analyzer* (LI-COR) e outra por meio da metodologia por fotos hemisféricas (WEISS *et al.*, 2004), nos meses de agosto e setembro de 2012.

### 3.1. Área de Estudo

No planejamento das medições, foram definidas duas áreas no parque Tenente Siqueira Campos (Trianon) para o levantamento do IAF: uma por apresentar uma massa densa de vegetação situada na parte central (Área 2) e outra em uma área pouco densa na entrada do parque (Área 1). Na parte central do parque, próximo à área do *playground*, a área 2 apresenta uma massa densa de vegetação, situada ao lado de uma abertura que permite a passagem livre da radiação solar. Isso possibilita a comparação dos valores medidos com o LAI 2000 abaixo da copa e imediatamente ao lado desta, em local aberto, tal como recomenda o manual da LI-COR (1992).



Figura 1: Entorno da área 1 no parque Trianon.



Figura 2: Entorno da área 2 no parque Trianon.

Em seguida foi feita uma malha ortogonal dentro das áreas 1 e 2 com espaçamento de 20 x 20m para se delimitar os pontos a serem medidos, e cada ponto corresponde a uma medição interna às copas. (Figura 3).

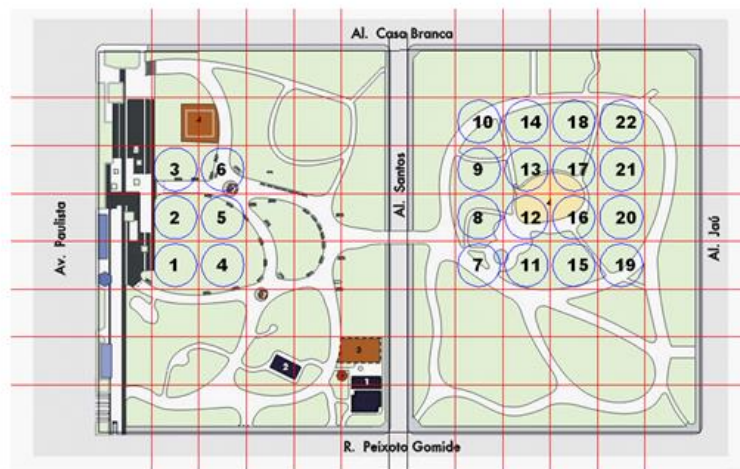


Figura 3: Posições das 22 fotos tiradas no Parque Trianon.

Fonte: Mapa do Parque Trianon. Disponível em: < <http://helenadegreas.wordpress.com> >. Acesso em junho de 2012.

### 3.2 Medições com o Equipamento LAI 2000

O LAI-2000 *Plant Canopy Analyzer* calcula o IAF pelas medidas de radiação feita com um sensor óptico acoplado a uma lente grande angular ( $148^\circ$ ). Esse sensor de luz mede simultaneamente a radiação difusa em cinco bandas angulares distintas ( $7^\circ$ ,  $23^\circ$ ,  $38^\circ$ ,  $53^\circ$ ,  $68^\circ$ ), sendo constituído de cinco fotodiodos, cujas superfícies ativas estão arranjadas em anéis concêntricos. A imagem do dossel, de forma quase hemisférica, é projetada dentro desses anéis, o que permite, para cada intervalo angular, a medição da radiação na banda e no ângulo zenital conhecido. Um filtro óptico restringe a transmissão radiativa para comprimentos de onda menores que 490 nm (LI-COR, 1992).



Figura 4: Equipamento LAI-2000 Plant Canopy Analyzer

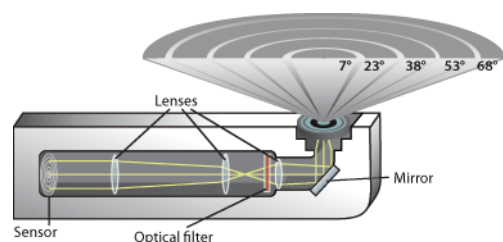


Figura 5: Estrutura interna do equipamento LAI-2000

Foram feitas medições pontuais para pré-testes de sensibilidade do equipamento LAI 2000 no entorno da Faculdade de Arquitetura da USP. A estimativa do IAF com o LAI 2000 foi feita utilizando-se o método do sensor único, ou seja, o mesmo sensor era usado para coletar as leituras fora e abaixo do dossel, além de utilizar a mesma capa restritora (90° e 180°) em ambos os casos. Essas medições-teste foram feitas em dois dias do mês julho com condições de céu diferenciados. Sob céu claro (26/07), os valores de IAF variaram de 0,72 a 1,12; enquanto que, com o céu encoberto (31/07), os valores mantiveram-se próximos, entre 1,20 e 1,26.

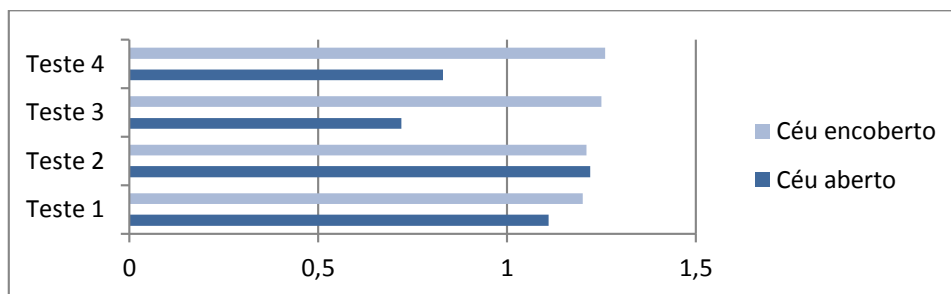


Figura 6: Valores de IAF medidos no campus da USP

Após etapa de testes no campus da USP, foram feitas as medições no Parque Trianon. Nesta etapa a capa protetora utilizada para as medições foi a de 90°, de forma a reduzir os erros no cálculo do IAF nas áreas em que possuem uma região limitada de céu totalmente desobstruído. Em cada ponto foram realizadas 4 medições embaixo da copa e uma externa. As sequências e as repetições foram programadas de acordo com os melhores resultados obtidos nas medições-teste realizadas na Cidade Universitária. Os valores do IAF obtidos em cada um dos 22 pontos de medição estão apresentados na Figura 7.

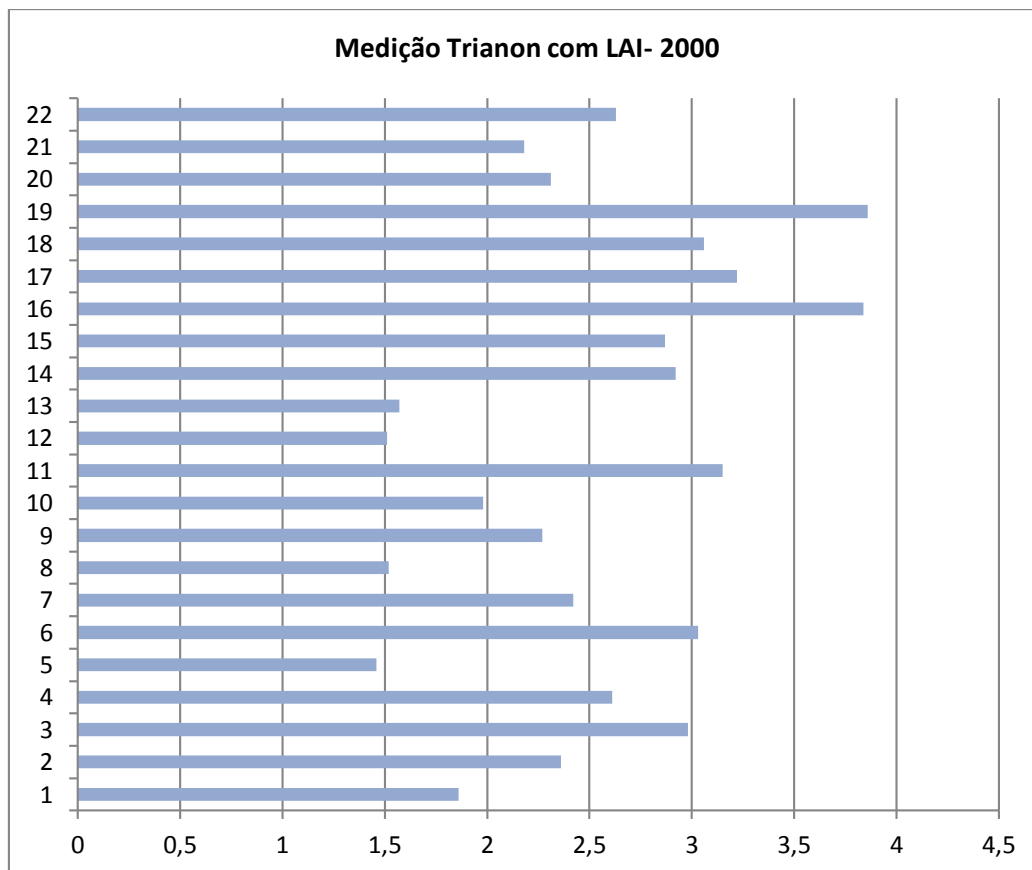
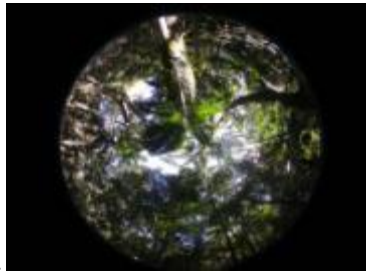


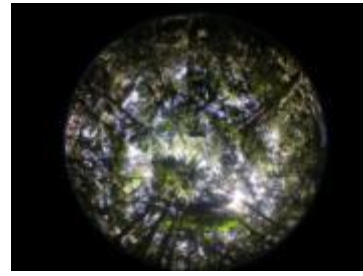
Figura 7: Valores de IAF medidos no Parque Trianon.

Os valores de IAF variaram de 1,46 a 3,86. Os pontos 5 e 19 foram os que apresentaram o menor e o maior valor de IAF medidos com o equipamento LAI 2000, respectivamente. (Figura 8 e 9). O valor médio de IAF nos 22 pontos medidos no Parque Trianon foi de 2,52.



IAF = 1,46

Figura 9: Foto Hemisférica e o menor valor de IAF (Ponto 5) nos 22 pontos medidos



IAF = 3,86

Figura 8: Foto Hemisférica e o maior valor de IAF (Ponto 12) nos 22 pontos medidos

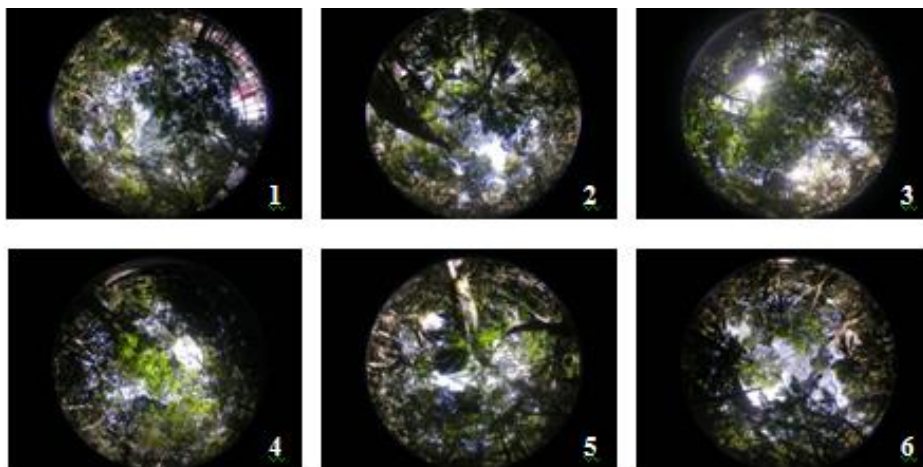
### 3.3 Medições com Fotos Hemisféricas

Nesta etapa, as fotos foram feitas com a câmera digital Nikon COOLPIX 4500 com uma lente olho de peixe Nikon FC-E8 acoplada (Figura 10). As fotos hemisféricas foram feitas no Parque Trianon no dia 15 de agosto de 2012 no período das 12h30 às 15h.



Figura 10: Câmera Nikon COOLPIX 4500 com lente olho de peixe.

Utilizando a mesma malha de 20 x 20m, apresentada na figura 3, no centro de cada célula foram tiradas fotos a uma distância de 1,70m do solo e isso significa que, para uma árvore de altura 20m, a extensão da imagem no plano horizontal é de 17m. Foram tiradas fotos com a câmera olhos de peixe para os respectivos pontos definidos no Parque Trianon e os resultados para os 22 pontos estão presentes na Figura 11.



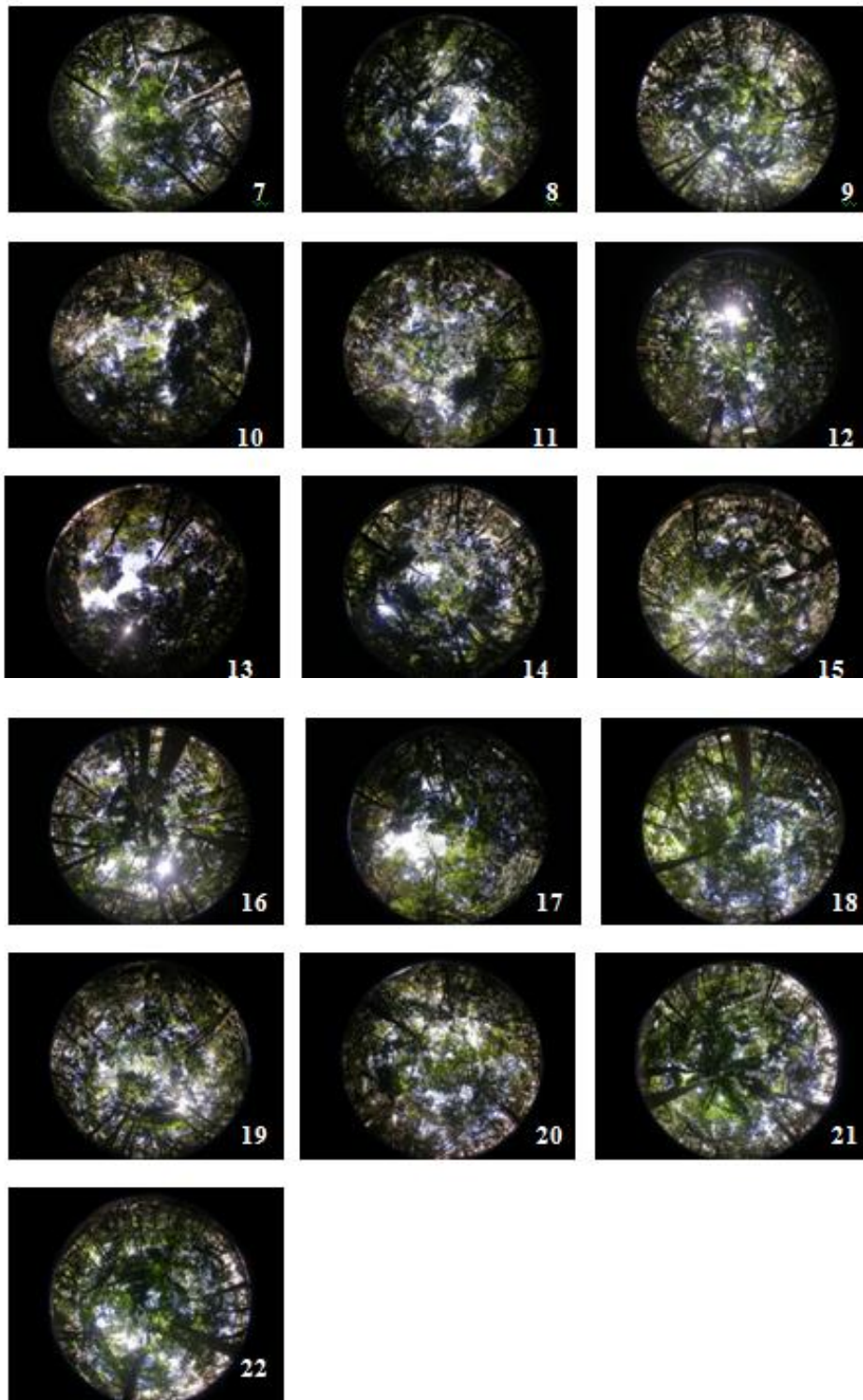


Figura 11: Resultados das 22 fotos tiradas no Parque Trianon.

Por meio das fotos é possível se obter a distribuição das folhas e quantificar o *gap fraction* de acordo com diferentes ângulos zenitais e azimutais. As fotos hemisféricas também fornecem um permanente arquivo fotográfico, mantendo-se como um registro da copa com a posição, do tamanho, da densidade e da distribuição das aberturas no dossel. Para a análise das fotografias hemisférica foi utilizado o modelos computacional *Can – Eye*<sup>1</sup> (INRA).

<sup>1</sup> Disponível em: < <https://www4.paca.inra.fr/can-eye/> >. Acesso em junho de 2012.

Esse modelo utiliza a lei da extinção da radiação dada pela Lei de Beer-Lambert, que define uma relação empírica entre a absorção da luz e as propriedades dos materiais por onde a luz passa. De acordo com a distribuição de Poisson que propõe uma adaptação na Lei de Beer-Lambert, assume que a luz é atenuada exponencialmente ao atravessar a copa de uma árvore e segundo um coeficiente de extinção  $K$ . A luz medida embaixo da copa,  $Q_i$ , está relacionada com a luz sobre a copa,  $Q_o$ , e o IAF é obtido pela seguinte equação:

$$Q_i = Q_o e^{-KIAF} \quad \text{Equação 1}$$

Antes da análise das fotos, o programa pede uma calibração da câmera em duas etapas:

1. Identificar o centro da lente olho de peixe que, em muitos casos, é diferente do centro das fotos. A identificação do centro da lente é feita pela determinação das coordenadas de três pontos na tampa da câmera em diferentes rotações. Foi colocada uma tampa cobrindo a lente olho de peixe, de forma que apenas os três furos ficassem visíveis. Com um processador de imagem do CorelDraw foram identificadas as coordenadas  $(x, y)$  dos três pontos em cada foto e montou-se uma tabela com os resultados.
2. Calibração da lente. De acordo com o manual do programa, nessa calibração foi construído um quadrado com 3 réguas perpendiculares, conforme mostra a Figura 12. Nesse estudo foram utilizadas três réguas metálicas de 30cm colocadas numa das bancadas do LAME - Laboratório de Modelos e Ensaios da FAUUSP. A câmera foi ajustada para que nas fotos as três réguas ficassem alinhadas (Figura 13). O centro da lente fica alinhado com o meio da régua paralelo à câmera. Com o prolongamento do traçado de ângulos  $(\theta_x, \theta_y)$  conforme mostra a Figura 12), a partir do centro da lente, é possível se determinar onde esses ângulos chegam nas réguas e seu posicionamento pelas coordenadas  $x$  e  $y$ . Esses valores ajudam a definir o tipo da lente de olho de peixe no programa *Can-Eye*.

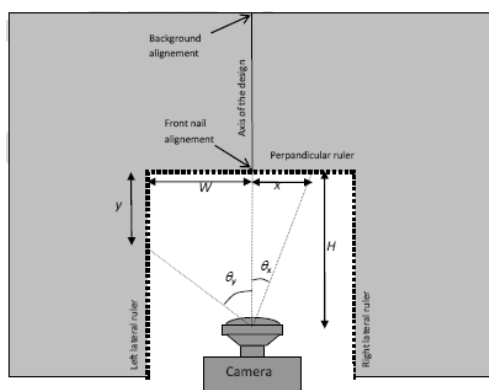


Figura 12: Esquema de montagem para a calibração da lente.  
Fonte: Manual CAN-EYE.



Figura 13: Foto tirada no LAME / FAUUSP.

Uma vez ajustado o modelo para a câmera e lente olho de peixe, foram feitos os seguintes processos (Figura 14):

- Pré- processamento da imagem (seleção/ correção/ mascaramento)
- Classificação de cores, definindo o que será considerado céu, elemento da árvore e folhas.
- Contraste e cálculo do IAF

O modelo *Can-Eye* não indica o cálculo do IAF a partir de uma única imagem. Sugere-se o uso de pelo menos 6 imagens e no máximo 20. Dessa forma foi calculado o IAF da Área 1 que corresponde as imagens 1 a 6 e em seguida da área 1 com imagens de 7 a 22. O resultados do IAF médio para a área 1 foi de 2,05, sendo que na área 2 foi de 2,23. O valor médio total dos 22 pontos foi de 2,14.

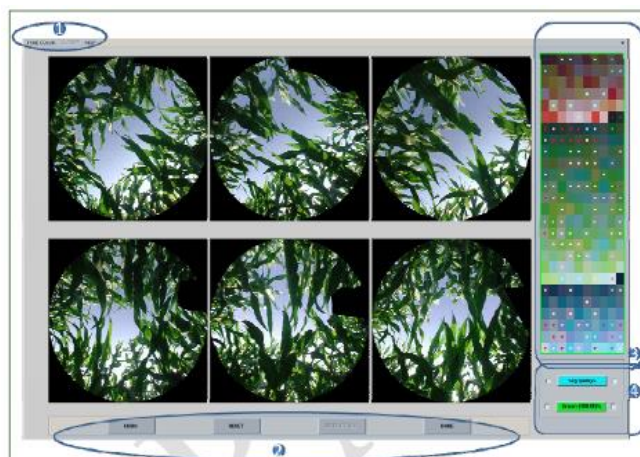


Figura 14: Classificação de cores e pré-processamento das imagens.

#### 4. RESULTADOS

A Figura 15 apresenta a comparação dos valores de IAF de acordo com a metodologia aplicada, indicando que o uso do LAI-2000 apresentou valores médios de IAF variando entre 2,38 9 (área 1) e 2,41 (área 2). Por meio das fotos hemisféricas, verificou-se que os valores médios de IAF variaram entre 2,05 (área 1) e 2,23 (área 2). A Figura 16 mostra o resultados do IAF médio considerando os valores obtidos nos 22 pontos do Parque Trianon. Utilizando o equipamento LAI-2000 o IAF médio foi de 2,52, enquanto que para a metodologia por fotos hemisféricas foi de 2,52.

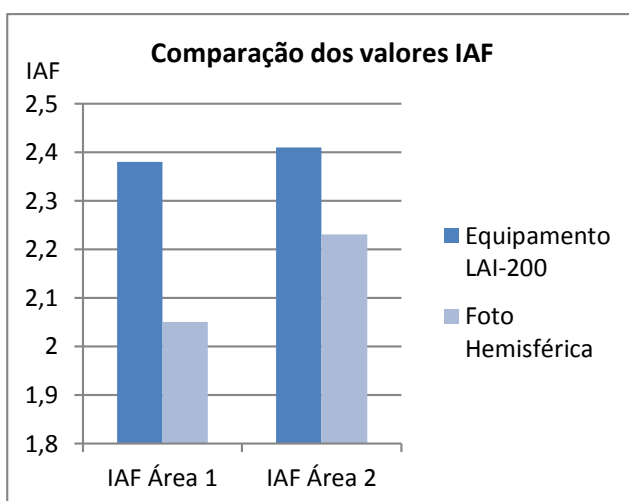


Figura 15: Comparação dos resultados do IAF para áreas 1 e 2 do Pq. Trianon.

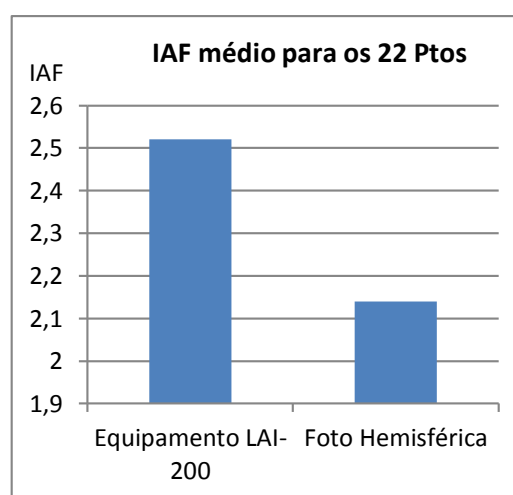


Figura 16: IAF médio para os 22 Pontos

#### 5. CONCLUSÕES

Comparando os resultados obtidos pelos dois sistemas de medição, verifica-se que os valores médios obtidos para os 22 pontos apresentaram pouca diferença, variando entre 2,14 e 2,52.

No entanto, cada sistema apresenta suas especificidades e a escolha deve considerar a condição do local de estudo. Dessa forma, observa-se que o parque Trianon tem uma distribuição mais homogênea dos grupos arbóreos e pequenos espaços entre as árvores, dificultando a medição do IAF pelo equipamento LAI-2000, uma vez que o cálculo considera medidas embaixo e fora da copa.



Além disso, o sistema por fotos hemisféricas é indicado para o cálculo médio de uma área, ficando limitado para determinar o IAF de um único indivíduo arbóreo, podendo ser feito pelo equipamento LAI-2000. De acordo com os resultados finais, percebe-se que o IAF medido pelo LAI-2000 costuma ser superior em relação aos cálculos feitos pelo *Can-Eye*, uma vez que o equipamento acaba considerando não só as folhas, mas outros elementos da vegetação como tronco, galhos, flores. Nesse caso, o modelo computacional permite o ajuste da imagem e o mascaramento de áreas indesejadas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKBARI, H. *Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation*. Lawrence Berkeley National Laboratory. 2005. Disponível em: < <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/860475-UIHWIq/860475.PDF> >. Acesso em janeiro de 2013.
- AKBARI, H. *Shade Trees Reduce building energy use and CO2 emission from power plants*. Heat Island Group, 2001. Disponível em: <<http://eetd.lbl.gov/HeatIsland/PUBS/PUBSLIST.html>> Acesso em janeiro de 2013.
- BRUSE, M. *Simulating the Effects of Urban Environmental on Microclimate with a Three-Dimensional Numerical Model*. In: Climate and Environmental Change, Conference Meeting of the Commission on climatology, Evora, 1998.
- CHEN, J. M.; BLACK, T. A.; ADAMS, R. S. *Evaluation of hemispherical photography for determining plant area index and geometry of a forest stand*. Agricultural and Forest Meteorology, v. 56, p. 129-143, 1992.
- DIMOUDI, A; NIKOLOPOULOU, M. *Vegetation in the Urban Environment: Microclimatic Analysis and Benefits*. Energy and Buildings, vol.35, n.1, 2003.
- HEISLER, G.M. *Energy savings with trees*. Journal of Arboriculture, vol.12, n.5, p.113-125, 1986.
- KUTTLER, W; STRASSBURGER A. *Air Quality measurements in a urban green area – A Case Study*. Atmospheric Environment. vol. 33, n. 24, 1999, p. 4101-4108.
- LI-COR. *LAI-2000 plant canopy analyser: Instruction manual*. Li-cor Inc. Lincoln: 1992.
- MONTEITH, J.L. *et al. The measurement and control of stomatal resistance in the field*. Journal Appy. Ecology, v. 2, 1965, p. 345-355.
- NIKOLOPOULOU, M. *Vegetation in the Urban Environment*. The Integration of Renewable Energy Sources in Buildings and the Urban Environment, (eds.) CRES, ALTENER, Atenas, 2003.
- NOWAK, D. J., *The effect of Urban Trees on Air Quality*. USDA Forest Service, Syracuse, NY. 2004.
- ONG, Boon Lay. *Green Plot Ratio: An Ecological Measure for Architecture and Urban Planning*. Landscape and Urban Planning, vol.63, p.197-211, 2002.
- OMETO, J. C. *Bioclimatologia Vegetal*. Agronômica Ceres. São Paulo, SP. 1981.
- SAILOR, D. J. *Simulated urban climate response to modifications in surface albedo and vegetative cover*. Journal of Applied Meteorology, v.34, 1995.
- SANTAMOURIS, M. *Energy and Climate in the Built Environment*. James and James, London, 2001.
- TAHA, H. *Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat*. Energy and Buildings, n.25, 1996, p. 99-103.
- ULRICH, R. *Gardens Have The Potential To Improve Health*. Science Daily, 2003. Disponível no site: <<http://www.sciencedaily.com/releases/2003/11/031124071045.htm>> Acesso em outubro 2012.
- WEISS, M. *et al. Review of methods for in situ leaf area index (LAI) determination Part II. Estimation of LAI, errors and sampling*. Agricultural and Forest Meteorology, n.121, 2004, p. 37-53.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto. Assim como o apoio da equipe de pesquisadores do LABAUT e Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALq, durante o período de medição de campo.