

O IMPACTO DA VEGETAÇÃO NOS MICROCLIMAS URBANOS: ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR - IAF PELO MÉTODO DE FOTOS HEMISFÉRICAS

Paula Shinzato (1); Daniel F. O. Yoshida (2); Denise H. S. Duarte (3)

(1) Dra., Pós-doutoranda na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo/USP, paulashinzato@yahoo.com

(2) Aluno de iniciação científica da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo/USP, daniel.yoshida@usp.br

(3) Dra., Professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo/USP, dhduarte@terra.com.br

Universidade de São Paulo, Departamento de Tecnologia da Arquitetura, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética - LABAUT, São Paulo - SP, 05508-080, Tel.: (11) 3091-8625

RESUMO

Partindo-se da premissa que a vegetação influencia o microclima do seu entorno imediato, o objetivo desta pesquisa é quantificar o índice área foliar - IAF para grupos arbóreos existentes em parques urbanos na cidade São Paulo, distinguindo-se IAF verdadeiro e efetivo. Os valores de IAF foram calculados a partir do método indireto por fotos hemisféricas e realizado em duas principais etapas: (1) definição dos pontos de medição e registro das fotos hemisféricas em campo, abaixo do dossel, com câmera digital e lente grande angular; (2) o processamento e análise das imagens hemisféricas pelo modelo *CAN – EYE*. Foram obtidos valores médios de IAF para o Parque Trianon, durante o mês de novembro de 2014, abrangendo 22 pontos medidos em duas áreas de estudo. Os resultados apresentaram valores médios de IAF efetivo (*effective LAI*) de 2,0 e IAF médio verdadeiro (*true LAI*) de 3,7, uma diferença de 54%, sendo que o que define a opção pelo uso do IAF efetivo ou verdadeiro é a sua aplicação. O IAF verdadeiro expressa melhor o potencial das atividades fisiológicas, como a taxa fotossíntese de fotossíntese e de evapotranspiração pelas folhas, e o IAF efetivo descreve com mais precisão a interceptação da radiação pela distribuição das folhas e o regime radiativo dentro e abaixo da copa.

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

ABSTRACT

Considering the fact that the presence of vegetation influences the microclimate and its surroundings, the objective of this research is to quantify the Leaf Area Index – LAI for groups of trees existing in urban parks in São Paulo, as distinguishing True LAI from Effective LAI. The LAI values were calculated using indirect method for hemispherical photographs and developed in two main phases: (1) definition of measurement points and field hemispherical photographs were taken, under the canopy, with digital camera and fisheye lenses; (2) image processing and analysis using Can-Eye model. LAI average values were obtained for Trianon Park, on November 2014, considering 22 measuring points in two areas of study. The results showed that the average Effective LAI was 2,0 and the average True LAI was 3,7, a difference of 54% and what defines the option between Effective and True LAI is its application. The True LAI better expresses the potential for physiological activities, such as photosynthesis and evapotranspiration rates by leaves, and the Effective LAI describes with more precision the radiation interception according to leaves distribution and the radiation regime inside and below the canopy.

Keywords: urban vegetation, leaf area index, hemispheric photograph.

1. INTRODUÇÃO

A presença da vegetação influencia em dois mecanismos fundamentais para a redução da temperatura nas cidades: o sombreamento e o processo de evapotranspiração (AKBARI, 2001). Além de alterar a temperatura, a vegetação também influencia na direção dos ventos, na filtragem da poluição e na proteção de pisos e fachadas externas por meio do sombreamento.

Em relação ao microclima, a vegetação tem um importante papel devido às suas propriedades no balanço de energia. Dependendo do processo de evapotranspiração e das condições climáticas locais, a cobertura vegetal e a superfície com água diminuem os picos de temperatura durante o dia. O processo de evapotranspiração compreende a perda associada de água, que ocorre pela evaporação da superfície do solo e pela transpiração estomática e cuticular da planta.

O efeito da evapotranspiração está diretamente relacionado com a resistência estomática que relaciona a quantidade dos estômatos nas folhas com uma adequada condição no solo (disponibilidade de água) e na atmosfera (disponibilidade de luz). Assim quando maior a área de exposição das folhas, maior o efeito. Neste sentido o índice de área foliar - IAF têm uma relação direta com a quantidade de luz, energia e consumo de CO₂. Segundo Chen e Black (1992) o conceito do IAF é dado por: “*half the total intercepting (non-projected) area per unit ground surface area*”.

O IAF é um número adimensional e ajuda a medir o crescimento da planta, influenciando diretamente na interceptação e absorção da luz na copa, assim como no balanço das trocas de calor e taxas de evaporação com a atmosfera. Esse índice é 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).

Se os valores de IAF oferecem um parâmetro médio da densidade foliar de uma copa, a informação sobre a estrutura da copa é dada pela medida da distribuição geométrica das aberturas (*gap fraction*). Assim *gap fraction* é definido como: “*the fraction of view in some direction from beneath a canopy that is not blocked by foliage*”. Dessa forma, representa a porcentagem de aberturas existentes no dossel, considerando que os raios solares atravessam a copa sem serem bloqueados ou tocados pelas folhas (ROSS, 1981).

Esta pesquisa busca dar continuidade aos estudos já desenvolvidos no Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética – LABAUT (SHINZATO *et al.*, 2013, SHINZATO, 2014), 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 e os valores de IAF são fundamentais para complementar o banco de dados de vegetação existentes e contribuir para construção de modelagens mais próximas às condições das cidades tropicais.

2. OBJETIVO

Considerando-se que o IAF é um importante parâmetro para avaliar o efeito da vegetação no microclima, o objetivo é quantificar o índice área foliar - IAF para grupos arbóreos existentes em parques urbanos na cidade São Paulo, distinguindo-se IAF verdadeiro e efetivo. Os valores de IAF foram quantificados no Parque Trianon, a partir do método indireto por fotos hemisféricas (WEISS, 2002), em novembro de 2014.

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*), e pode ser feito com um analisador de dossel ou por fotos hemisféricas. O analisador de dossel LAI-2000 é mais indicado para medições de IAF para árvores isoladas, enquanto o modelo Can-Eye é mais indicado para agrupamentos de árvores. Observa-se que o parque Trianon tem uma distribuição mais homogênea dos grupos arbóreos e pequenos espaços entre as árvores, favorecendo a aplicação do método por fotos hemisféricas.

Nessa pesquisa, o IAF foi quantificado pelo método indireto por fotos hemisféricas realizado em duas etapas: (1) definição dos pontos e registro das fotos hemisféricas em campo, abaixo do dossel, com a câmera

digital Canon T3i com lente grande angular Sigma 8mm; (2) o processamento e análise das imagens hemisféricas pelo modelo *CAN – EYE* (WEISS, 2004), desenvolvido pelo *National Institute of Agronomical Research – INRA*¹. O modelo quantifica as aberturas entre as folhas (*Gap fraction distribution*) de acordo com diferentes ângulos zenitais e azimutais, calculando os valores do IAF para um grupo arbóreo.

3.1. Etapa 1 – Registro das Fotos Hemisféricas

Segundo Newton (2007), as fotos hemisféricas têm uma longa história de uso na área de ecologia das plantas, nos estudos pioneiros de Anderson (1964), Becker (1971), Evan e Coombe (1959); e tem como principais objetivos de descrever a estrutura do dossel, mapear, quantificar a radiação abaixo das copas e estimar o IAF das plantas, de acordo com os estudos de Bonhomme (1970), Bonhomme *et al.* (1974) e Rich (1990). Recentemente, como resultado do desenvolvimento das câmeras digitais de alta resolução e os avanços no processamento das imagens, outros estudos foram desenvolvidos focando em padrões mais detalhados para obtenção do IAF (JONCKHEERE *et al.*, 2005; WEISS, 2004)

Nesse método indireto, as imagens são registradas por meio de câmeras com lentes grande angular abaixo da copa e fornecem um grande ângulo de visão, geralmente de 180°, resultando em uma projeção do hemisfério em um plano. Em lentes com uma perfeita projeção equi-angular (180° de campo de visão), o resultado é uma imagem circular, que mostra uma visão completa do céu em todas as direções, com o zênite no centro da imagem e o horizonte nas bordas (JONCKHEERE *et al.*, 2004).

Dessa forma 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 (JONCKHEERE *et al.*, 2004).

3.1.1 Área de Estudo

No planejamento das medições, foram escolhidas duas áreas de interesse no parque Tenente Siqueira Campos (Trianon) para o levantamento do IAF: uma por apresentar um dossel arbóreo denso, situado na parte central (área 2) e outra área com dossel menos denso, na entrada do parque (área 1).

Foram definidos 22 pontos no parque para o levantamento do IAF, em função das pesquisas anteriores do grupo (SHINZATO *et al.*, 2013; SHINZATO, 2014), a partir de uma grade ortogonal de 20 x 20m. No centro de cada célula foram as imagens hemisféricas foram registradas a 1,70m do solo, para uma árvore de altura 20m; isso significa que a extensão da imagem no plano horizontal é de 17,07m.

Cada uma dessas áreas apresenta características específicas que podem variar de acordo com as características paisagísticas do local e conforme a época do ano, resultando em diferentes valores de IAF encontrados em cada ponto.

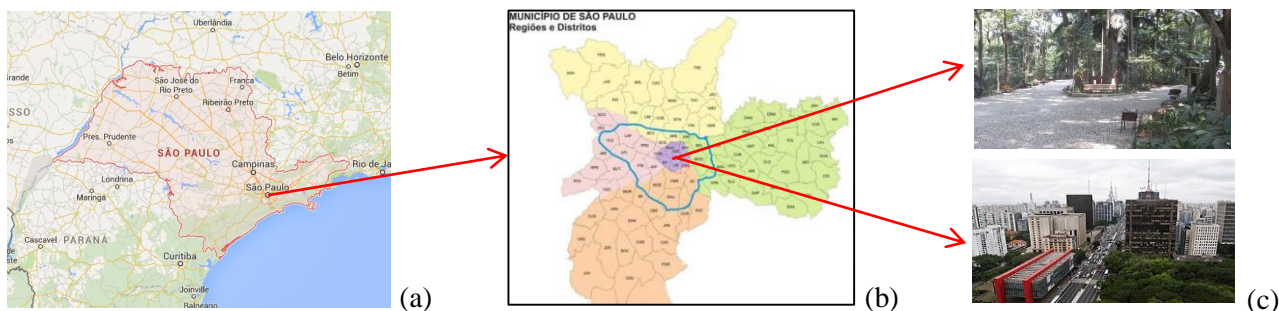


Figura 1 – Localização do Parque Trianon a partir do mapa do Estado (a) e Município de São Paulo (b).

Fonte: (a) GOOGLE; (b) CET e Prefeitura de SP; (c) LABAUT.

¹ Disponível em: < <https://www4.paca.inra.fr/can-eye> >. Acesso 14 de abril de 2015.

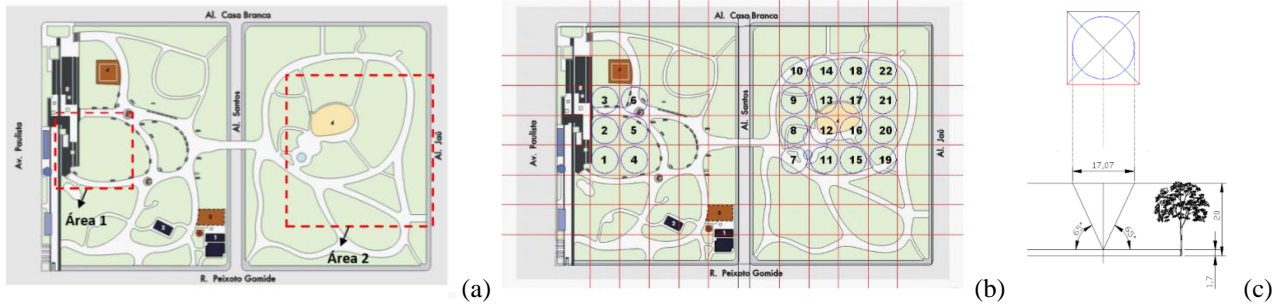


Figura 2 – (a) Indicação das duas áreas de estudo para o cálculo do IAF médio; (b) Definição dos 22 pontos para medição do IAF no Parque Trianon; (c) Esquema do cálculo da extensão da imagem no plano horizontal.

Após o período de testes e calibrações, durante o mês de novembro de 2014, foram realizados levantamentos no parque Trianon. As fotos hemisféricas foram feitas sob condições de céu parcialmente encoberto, utilizando-se uma câmera fotográfica (*Canon T3i*) com lente grande angular (*Sigma 8mm Fisheye*), com a parte superior da imagem alinhada com o norte verdadeiro, apenas para padronização no pós-processamento das mesmas. A Figura 3 mostra algumas imagens registradas abaixo do dossel e a uma altura de 1,70m do piso.

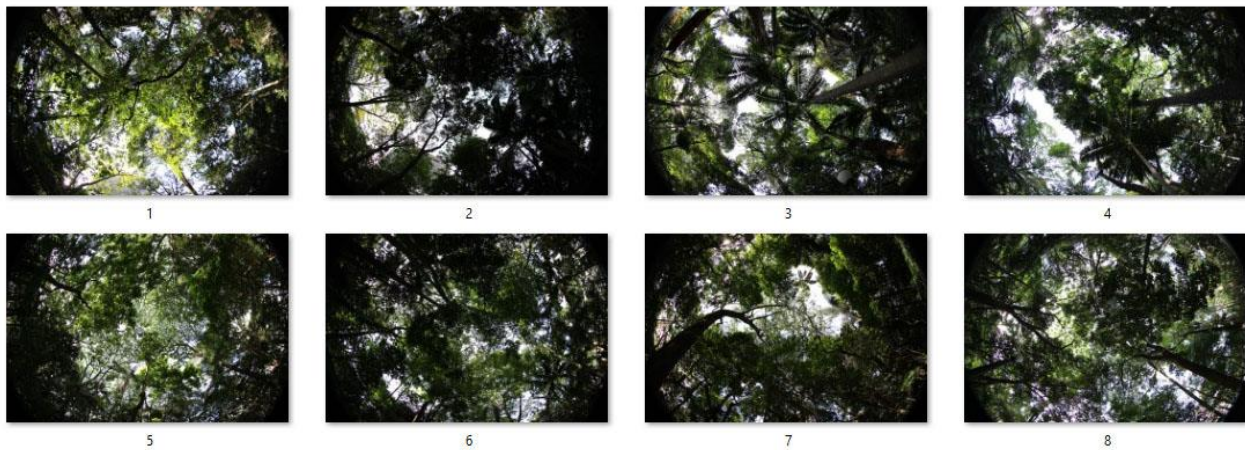


Figura 3 – Fotos hemisféricas registradas no Parque Trianon, em novembro de 2014.

3.2 Etapa 2 - Uso do Modelo *Can-Eye*

A partir das fotografias hemisféricas, modelos computacionais específicos para o processamento das imagens e cálculo do IAF foram desenvolvidos como, por exemplo, o HemiView (*Delta-T Device*), WinSCANOPY (*Regent Instrument Inc.*), Gap Light Analyser - GLA (*Forest Renewal BC*), CAN – EYE (INRA) e o Hemisfer 1.53 (*Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research - WSL*).

Nessa pesquisa foi utilizado o modelo *Can – Eye* (INRA) que calcula o valor do IAF verdadeiro (*true LAI*), assim como estima o valor efetivo do IAF (*effective LAI*). O IAF efetivo pode ser definido como: “*as one half of the total area of light intercepted by leaves per unit horizontal ground surface area based on the assumption that foliage elements randomly distributed in space*” e o IAF verdadeiro é definido como: “*as one half of total leaf area per unit surface ground area*” (ZHENG; MOSKAL, 2009). O valor verdadeiro é determinado pela lei de Poisson assumindo que as folhas estão distribuídas de forma regular no dossel, sendo válido apenas para espécies com copas homogêneas. A relação entre o IAF verdadeiro e efetivo é dada pela expressão:

$$LAI_{\text{eff}} = \lambda o LAI \quad \text{Equação 1}$$

Onde LAI indica o valor de IAF verdadeiro obtido por métodos destrutivos diretos e o LAI_{eff} é o IAF efetivo obtido por métodos indiretos, considerando uma distribuição aleatória das folhas. O valor efetivo do IAF considera ajustes no cálculo a partir do parâmetro de dispersão λo (NILSON, 1971; LEMEURE e BLAD, 1974) ou também chamado de *clumping index* (CHEN e BLACK, 1992; CHEN e CIHLAR, 1995a; CHEN, 1996).

Esse índice indica a distribuição espacial das folhas na copa e quando o valor é igual a 1 a distribuição das folhas é aleatória; para valores <1 as folhas estão distribuídas em grandes agrupamentos, existindo muita sobreposição das folhas; para valores >1, a copa tem uma distribuição mais regular das folhas (CHEN e BLACK, 1992).

De acordo com o modelo *Can-Eye*, a distribuição das folhas no dossel pode ser calculada pela seguinte equação (NILSON, 1971):

$$p(\theta) = \exp \frac{-G(\theta) \cdot \Omega \cdot L}{\cos(\theta)} \quad \text{Equação 2}$$

O IAF é calculado invertendo-se a equação 1:

$$IAF = \frac{\ln(P(\theta)) \cos(\theta)}{G(\theta)} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

P= distribuição geométrica das aberturas da copa, *gap fraction* [%]

(θ)= ângulo zenital [°]

G(θ)= coeficiente de projeção caracterizado pela distribuição do ângulo das folhas

Ω = índice de sobreposição das folhas, *clumping index*.

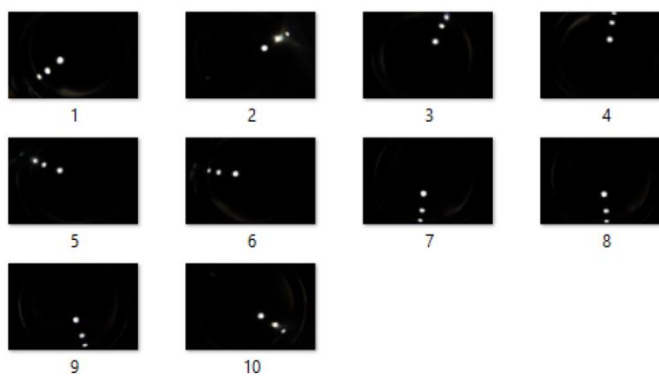
Antes da análise das fotos, o modelo exige a calibração da câmera em duas etapas:

1. Identificar o centro da lente grande angular que, em muitos casos, é diferente do centro das imagens. O processo é feito pela determinação das coordenadas de três pontos na tampa da câmera em diferentes rotações. Foi colocada uma tampa cobrindo totalmente a lente grande angular, de forma que apenas os três furos ficassem visíveis (Figura 4a). As imagens foram registradas em diferentes rotações (Figura 4b). 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.

A Figura 5 mostra o resultado gerado pelo *Can-eye* a partir da leitura das coordenadas de cada ponto. Dessa forma foi possível identificar e ajustar o centro real da lente (*actual position*) em relação ao centro teórico (*theoretical position*).



(a)



(b)

Figura 4 – (a) Tampa com três furos necessários para calibração colocada sobre a lente; (b) Série de imagens registradas em diferentes rotações da lente grande angular.

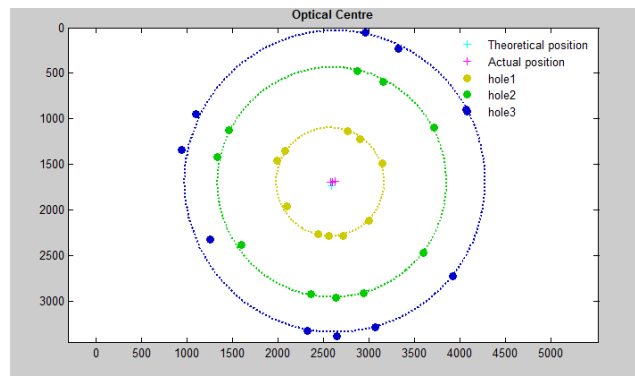


Figura 5 – Resultado do Can-Eye para processo de ajuste do centro da lente grande angular.

2. Calibração da lente. De acordo com o manual do programa, nessa fase foi construído um gabarito com 3 réguas de 30cm. O centro da lente fica alinhado com o meio da régua paralelo à câmera, com o prolongamento do traçado de ângulos (θ_x , θ_y). A partir do centro da lente, é possível determinar onde esses ângulos chegam nas réguas e seu posicionamento pelas coordenadas x e y. Esses valores ajudam a definir o tipo da lente grande angular no programa *Can-Eye*. A câmera foi ajustada para que nas fotos as três réguas ficassem alinhadas e as imagens foram registradas em duas distâncias: 30 e 34cm (Figura 6). A figura 7 mostra o resultado gerado pelo Can-eye com o desenho de anéis concêntricos, de acordo com a leitura dos pontos nas réguas pela localização das coordenadas x, y nas imagens.

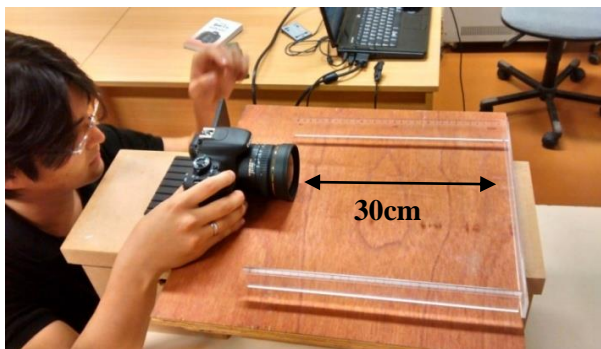


Figura 6 - Montagem do gabarito e posicionamento da câmera digital

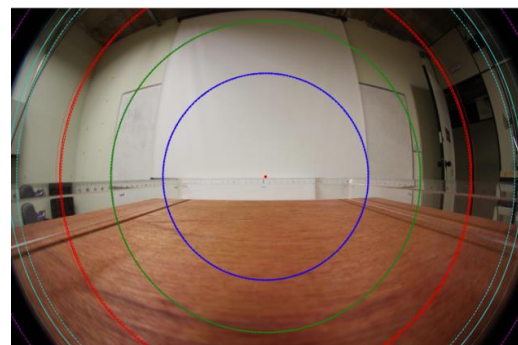


Figura 7 - Resultado do Can-Eye para processo de calibração da lente grande angular.

Após os processos de calibração da lente e câmera no modelo CAN-EYE, foi possível realizar o pré-processamento das imagens, por meio da seleção, correção e mascaramento das partes indesejadas (Figura 8a). Em seguida, foi feita a classificação de cores e por fim, o contraste das imagens em duas cores (Figura 8b). O momento mais crítico no processamento da imagem é ajustar o contraste, determinando as faixas de cores para distinguir entre as aberturas do céu e os elementos da copa.

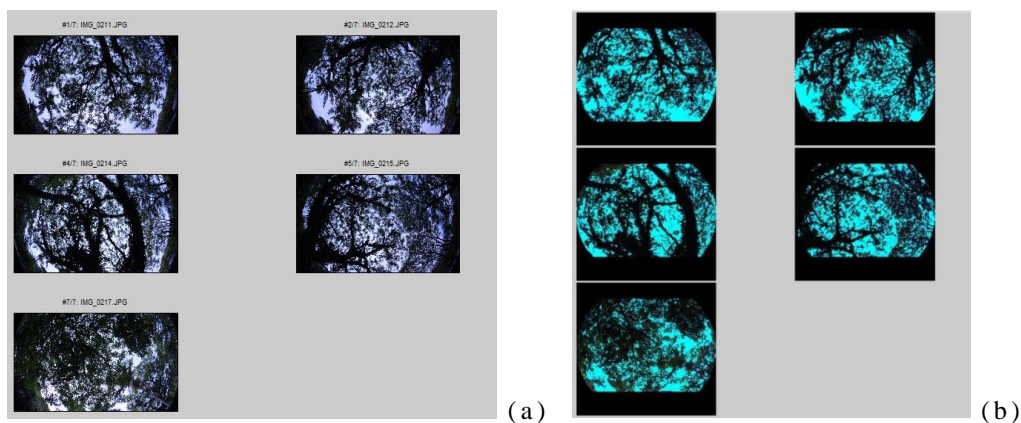


Figura 8 – (a) Pré-processamento da imagem no modelo *Can-Eye*; (b) Definição do contraste das imagens.

4. RESULTADOS

O modelo *Can-Eye* não recomenda o cálculo do IAF a partir de uma única imagem, sugerindo o uso de pelo menos 6 imagens e no máximo 20. Dessa forma foi calculado o IAF da área 1 que corresponde às imagens 1 a 6 e, em seguida, da área 2, com as imagens 7 a 22. Os resultados do IAF efetivo para a área 1 foi de 1,93 e IAF verdadeiro de 3,52; na área 2 (vegetação mais densa) o IAF efetivo foi de 2,10, sendo o IAF verdadeiro de 3,86. O valor do IAF efetivo médio dos 22 pontos foi de 2,0 e o IAF verdadeiro médio dos 22 pontos, de 3,7 (Tabela 1).

A Figura 9, mostra a comparação dos resultados de IAF obtidos em estudos anteriores (SHINZATO *et al.*, 2013; SHINZATO, 2014), durante o período agosto de 2012, em que foi utilizado o analisador de dossel LAI-2000 (*LI-COR*) e o mesmo método por fotos hemisféricas, mas com outra câmera digital (modelo Nikon COOLPIX 4500) e lente angular (Nikon FC-E8).

Tabela 1 – Resultado do IAF efetivo e verdadeiro para as áreas 1 e 2

	IAF efetivo	IAF verdadeiro
Área 1 - Can-Eye v.6.1	1,9	3,5
Área 2 - Can-Eye v.6.1	2,1	3,9
IAF Médio (22 pontos)	2,0	3,7

O LAI-2000 calcula o IAF efetivo pelas medidas de radiação feitas com um sensor óptico acoplado a uma lente grande angular (148°). Esse sensor de luz mede simultaneamente a radiação difusa em cinco bandas angulares distintas (7°, 23°, 38°, 53°, 68°), 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).

O IAF efetivo médio obtido para os mesmos 22 pontos do Parque Trianon medido pelo LAI-2000 foi de 2,5; enquanto que para o método por fotos hemisféricas foi de 2,1 (IAF efetivo médio). Comparando-se os resultados calculados pelo modelo *Can-Eye*, o IAF efetivo médio obtido em novembro de 2014 foi praticamente igual ao de agosto de 2012, houve uma pequena diferença nos valores, mesmo considerando diferentes modelos de câmeras digitais e diferentes épocas do ano. O valor do IAF médio com o 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 *Can-Eye* oferece mais recursos para o ajuste da imagem e o mascaramento de áreas indesejadas.

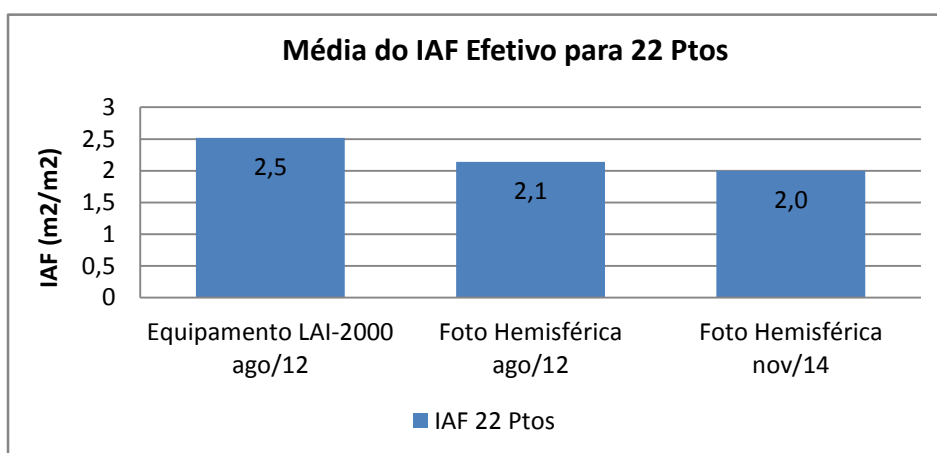


Figura 9 - Comparação dos resultados do IAF médio com LAI-2000 e método por fotos hemisféricas.

5. CONCLUSÕES

Considerando-se os resultados calculados pelo modelo *Can-Eye*, observa-se que o IAF efetivo médio é 54% menor que o IAF verdadeiro médio, uma diferença a ser considerada para diferentes aplicações. Esse dado está de acordo com os estudos anteriores que quantificaram o IAF efetivo como cerca de 50% a 65% do IAF verdadeiro (JONCKHEERE *et al.*, 2005; CHEN *et al.*, 1991; ZHENG; MOSKAL, 2009).

O que define a opção pelo uso do IAF efetivo ou verdadeiro é a sua aplicação. O IAF verdadeiro aproxima-se mais do resultado que seria obtido por um ensaio destrutivo, com coleta de folhas, uma a uma; por esse motivo, o IAF verdadeiro expressa melhor o potencial das atividades fisiológicas, como a taxa de fotossíntese e de evapotranspiração pelas folhas.

Já o IAF efetivo descreve com mais precisão a interceptação da radiação pela distribuição das folhas e o regime radiativo dentro e abaixo da copa. Nesse caso, o *clumping index* apresenta-se como um fator importante para ajustar o cálculo do IAF para uma condição do dossel com distribuição mais agrupada, irregular e muita sobreposição de folhas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKBARI, H. Shade Trees Reduce building energy use and CO₂ emission from power plants. Heat Island Group, 2001.
- ANDERSON, M.C. Studies of the woodland light climate I. The photographic computation of light condition. *Journal of Ecology*, v.52, 1964, p.27-41
- BECKER, M. *Une technique nouvelle d'utilisation des photographies hémisphériques pour la mesure du climat lumineux en forêt*. Annales des Sciences Forestières v. 28, 1971, p. 425-442.
- 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, 1991, p.129- 143.
- CHEN, J.M.; BLACK, T.A.. Defining leaf area index for non-flat leaves. *Plant, Cell and Environment* v. 15, 1992, p.421-429.
- CHEN, J. M.; CIHLAR, J..1995. *Quantifying the effect of canopy architecture on optical measurements of leaf area index using two gap size analysis methods*. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing* 33,777–787, 1995a
- CHEN, J. M.; CIHLAR, J. Retrieving leaf area index of boreal conifer forests using Landsat TM images. *Remote Sensing of Environment*, v. 55, p. 153-162, 1996.
- BONHOMMER, R. *et al.* *The use of hemispherical photographs for determining the leaf area index of young crops*. *Photosynthetica*, v.8, 1974, p.299–301.
- BONHOMME, R.; CHARTIER, P. The interpretation and automatic measurement of hemispherical photographs to obtain sun lit foliage and gap frequency. *Israel Journal of Agricultural Research* v.22, 1972, p. 53-61.
- EVANS, G.D.; COOMBE, D. E. Hemispherical and woodland canopy photography and the light climate. *Journal of Ecology*, v. 47. 1959, p.103-113.
- JONCKHEERE, E.; FLECK, S.; NACKAERTS, K.; MUYS, B.; COPPIN, P.; WEISS, M.; BARET, F. Review of methods for in situ leaf area index determination. Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.121, 2004, p.19-3.
- JONCKHEERE, E.; FLECK, S.; NACKAERTS, K.; MUYS., COPPIN, P. Assessment of automatic gap fraction estimation of forests from digital hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.132, 2005, p. 96–114.
- LEMEUR, R.; BLAD, B. L. A critical review of light models for estimating the shortwave radiation regime of plant canopies. *Agricultural Meteorology*, v.14, 1974, p.255-286.
- LI-COR. LAI-2000 plant canopy analyser: Instruction manual. Li-cor Inc. Lincoln: 1992.
- NILSON, T. *A theoretical analysis of the frequency of gaps in plant stands*. *Agricultural Meteorology*, v.8,1971, p.25–38.
- ONG, Boon Lay. Green Plot Ratio: An Ecological Measure for Architecture and Urban Planning. *Landscape and Urban Planning*, vol.63, p.197-211, 2002.
- RICH, P.M. Characterizing plant canopies with hemispherical photographs. In: N.S. Goel and J.M. Norman (eds), *Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared regions*. *Remote Sensing Reviews*, v.5, 1990, p.13-29.
- SHINZATO, Paula; DUARTE, Denise; BARROS, Fernanda; MOREIRA, Denise. *Intensity and Spatial Influence of Urban Parks: a case study in Sao Paulo, Brazil*. In: *Sustainable Building Conference 2013, Graz*. International Conference on Sustainable Buildings - Construction Products and Technologies, 2013. Trabalho selecionado entre os 10 melhores do evento Sustainable Building 2013 - Graz, Áustria.
- SHINZATO, Paula. *Impacto da vegetação nos microclimas urbanos em função das interações solo-vegetação-atmosfera* /. Tese (Doutorado em Arquitetura). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2014.
- YOK, T. P.; SIA, A. Leaf Area Index of tropical Plants. National Parks Board, 2010.
- 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.
- ZHENG, G., MOSKAL, L. M. Retrieving leaf area index (LAI) using remote sensing: Theories, methods and sensors. *Sensors*, v.9, n.4, 2009, p. 2719-2745.

AGRADECIMENTOS

Essa pesquisa teve o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq. Os autores agradecem ao grupo de pesquisa do LABAUT, pela assistência nos levantamentos de campo e à Secretaria do Verde Meio Ambiente pela autorização e apoio nos estudos do Parque Trianon.