

## CONHECENDO O IAF DO CAFEIEIRO ARÁBICA ATRAVÉS DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA<sup>1,2</sup>

Larissa Cocato da Silva<sup>3</sup>; Mário Pereira da Silva Filho<sup>4</sup>; Fernanda Aparecida Aguiar<sup>5</sup>; Vicente Luiz Naves<sup>6</sup>; Jean Marcel Sousa Lira<sup>7</sup>; Serge Rambal<sup>8</sup>; Florent Mouillot<sup>9</sup>; João Paulo Pennacchi<sup>10</sup>; João Paulo Rodrigues Alves Delfino Barbosa<sup>11</sup>

<sup>1</sup>Trabalho financiado pela Cooperação bilateral CNPq-IRD

<sup>2</sup>Trabalho financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – Consórcio Pesquisa Café

<sup>3</sup>Bolsista Pibic/FAPEMIG, Graduanda, lari.cocato@hotmail.com

<sup>4</sup>Bolsista Consórcio Pesquisa Café, Graduando, mario\_pfilho@hotmail.com

<sup>5</sup>Bolsista Pibic/FAPEMIG, Graduanda, faguiar.ufla@hotmail.com

<sup>6</sup>Bolsista Doutorado/CNPq, Msc, naves.agro@hotmail.com

<sup>7</sup>Bolsista Pós-doutorado/CAPEs-FAPEMIG, Dsc, jmslira@hotmail.com

<sup>8</sup>Pesquisador Sênior Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, PhD, Serge.RAMBAL@cefe.cnrs.fr

<sup>9</sup>Pesquisador Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, PhD, florent.mouillot@ird.fr

<sup>10</sup>Bolsista Doutorado/CNPq, Msc, jppennacchi@gmail.com

<sup>11</sup>Professor adjunto da UFLA, Dsc, jp.barbosa@dbi.ufla.br

**RESUMO:** o objetivo deste trabalho foi relacionar a série temporal do Índice de Área Foliar (IAF) estimado pelo método proposto por Barbosa et al. (2012) ao índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) adequando um modelo de determinação do IAF através de dados de NDVI coletados em um cafezal na região de Lavras, sul de Minas Gerais. Para isso foi realizado o estudo em cafezal no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA) no período de fevereiro de 2014 a fevereiro de 2015 onde trinta plantas de *Coffea arabica* L, cv Catuaí IAC 144 foram avaliadas mensalmente com medições de altura do ramo ortotrópico e comprimento de plagiotrópicos em 5 posições na copa para estimativa do IAF, enquanto as avaliações de NDVI foram realizadas semanalmente em três posições distintas da planta. Dados mensais de precipitação (mm- Prec) e temperatura média do ar (°C- Tm) também foram coletados. Os valores de cada variável foram submetidos à análise de correlação (r). A série temporal demonstra que o IAF varia em função da temperatura e precipitação. O modelo de regressão exponencial foi o mais adequado para determinar os valores de IAF em função do NDVI. As correlações do IAF com o NDVI variam em função da posição da medida de NDVI da planta. A série temporal do IAF é uma variável útil nas práticas de manejo, enquanto NDVI pode ser utilizado para determinar o IAF em plantas de café.

**PALAVRAS-CHAVE:** Catuaí IAC 144, modelo de regressão exponencial, práticas de manejo.

## ACCESSING THE ARABIC COFFEE LAI THROUGH THE NORMALIZED DIFFERENCE OF VEGETATION INDEX

**ABSTRACT:** the aim of this work was to correlate LAI time series estimated through a method proposed by Barbosa et al. (2012) to NDVI accessing a model to obtain LAI through NDVI data at a coffee crop in Lavras, south of Minas Gerais. Therefore, a study was conducted in a coffee crop located in the campus of the University Federal of Lavras (UFLA) from February of 2014 to February of 2015. Thirty plants of *Coffea arabica* L, cv Catuaí IAC 144 were evaluated monthly to get orthotropic stem height and plagiotropic branch length in five positions in the crown of the plants to estimate LAI, whereas the NDVI measurements were carried out weekly in three distinct positions in the plants. Monthly rainfall data (mm – Prec) and mean air temperature (°C- Tm) were also obtained. The values of each variable were subjected to correlation analysis (r). The time series analysis points out that LAI varies as a function of temperature and rainfall. The exponential regression model was the best suit to determining the values of LAI in relation to NDVI. The correlation between LAI and NDVI vary in relation to positional measurement in the plant. The LAI time series is a useful parameter in crop management, whereas NDVI may be used to determine the LAI in coffee plants.

**KEYWORDS:** Catuaí IAC 144, Exponential Regression Model, Handling practices.

## INTRODUÇÃO

O índice de área foliar (IAF) é definido pela razão da área foliar e a área do terreno ocupada pela planta. É uma importante variável para a estimativa dos fluxos de água, carbono e energia e é determinante para a produção primária. Além disso, o IAF é relevante em estudos de interesse de conhecimento de fenômenos em diferentes escalas, como da folha ao dossel, fornecendo informações importantes para a parametrização de modelos de base fisiológica, para a

validação de dados de produção e cobertura vegetal obtidos por técnicas de sensoriamento remoto Watson, 1952; Barros et al., 1973; Lang & Mcmurtrie, 1992; Lunz, 2006; Sasaki et al., 2008. Apesar de sua importância, a determinação do IAF de cafeeiros não é uma tarefa simples, pois os métodos propostos são frequentemente exaustivos e, em muitos casos, é necessária a destruição de plantas. Medidas destrutivas de IAF são precisas, porém causam danos severos as plantas amostradas. A busca por métodos indiretos que estimem o IAF de uma planta de café, de forma precisa e não destrutiva, a baixo custo tem adquirido uma grande importância no cenário de pesquisas em cafeicultura. Alguns trabalhos apresentam métodos bastante específicos para plantas de café Rey & Alvarez, 1991; Favarin et al, 2002; Barbosa et al., 2012. Em cafeeiros, a dinâmica temporal do IAF pode estar associada a particularidades da fenologia, técnicas de manejo bem como respostas a variabilidade ambiental Camargo & Camargo, 2001; Rakocevic & Androcioli Filho, 2011. Portanto, um método adequado para a estimativa do IAF deve ter fácil uso e ser de baixo custo, de forma a fornecer resolução temporal adequada. Diversos estudos apontam que o IAF pode ser associado aos índices de vegetação obtidos através de dados espectrais, dentre eles o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (sigla em inglês NDVI) Coltri et al., 2009. Diante disso, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de verificar qual a relação entre a variação temporal do IAF, estimado pelo método proposto por Barbosa et al., 2012, com a variação temporal do NDVI e, a partir daí, verificar a aplicabilidade desse índice em descrever o IAF, atendendo a demanda de sua quantificação de forma não destrutiva, de baixo custo e em elevada resolução temporal, reduzindo as limitações observadas nos métodos comumente utilizados para a determinação do IAF.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em cafezal no campus da UFLA, pertencente ao setor de cafeicultura do Departamento de Agricultura. As atividades de análise de dados foram conduzidas no Laboratório de Ecofisiologia Vegetal e Funcionamento de Ecossistemas (LEFE) da Universidade Federal de Lavras (UFLA). As medidas de NDVI e trocas gasosas foram realizadas mensalmente de fevereiro de 2014 a fevereiro de 2015 em 30 indivíduos de *Coffea arabica* L cv. Catuaí IAC 144 com 6 anos de idade, cultivados em espaçamento 0,80m entre plantas e 4,0m entre linhas. As medições de NDVI foram realizadas em três posições distintas: topo da copa (NDVIT); e faces nordeste (NDVIN) e sudoeste (NDVIS) através do sensor manual GreenSeeker (Trimble, USA). Dados mensais de precipitação (mm- Prec) e a temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ - Tm) foram obtidos diariamente da estação climatológica principal de Lavras, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O IAF foi obtido através de medições da altura do ramo ortotrópico e comprimento de plagiotrópicos em 5 posições na copa, com o objetivo de estimar o volume de folhas e de ramos plagiotrópicos no dossel, de acordo com a metodologia proposta por Barbosa et al., 2012. Os resultados de cada característica medida/estimada foram analisados por meio de análise de variância e as médias analisadas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). Além disso, foi realizada análise de regressão entre os dados de NDVI e IAF. Adicionalmente, os dados foram submetidos a uma análise sistêmica, buscando-se quantificar as forças de interação entre características avaliadas. Para isso foi realizada análise de correlação ( $r$ ) e as interações entre variáveis foram analisadas por meio dos valores de  $r$  transformados para  $z$ , sendo essa uma medida da força de conexão entre as variáveis e dessas com as variáveis ambientais. Quanto maiores valores de  $z$ , maior a força de conexão entre as variáveis, indicando que a alteração de uma está modula a variação da outra. Souza et al., 2009; Bertolli et al., 2013.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A série temporal do IAF em conjunto com os dados de precipitação e temperatura mostra os meses de fevereiro, abril e outubro de 2014 com valores de IAF semelhantes e superiores aos valores observados para o período de maio a setembro de 2014 ( $P < 0,05$ ) (Figura 1). Os menores valores de IAF foram observados em agosto de 2014 e os maiores em janeiro e fevereiro de 2015. O menor IAF no mês de agosto e a gradual redução a partir de abril acompanham a diminuição das médias de temperatura e precipitação característica do inverno / estação seca. Baixas temperaturas e redução na precipitação causam a diminuição do IAF em função da perda de folhas e, conseqüentemente, menor área verde no cafezal. O IAF aumenta a partir dos meses de setembro e outubro acompanhando os aumentos da temperatura e precipitação. No período com maiores temperatura e precipitação ocorre o aumento dos lançamentos de folhas novas e maiores taxas de crescimento vegetativo.

A série temporal de IAF com a série temporal de NDVI mostra um padrão de comportamento entre as duas variáveis com diferenças em função da posição de medida do NDVI na copa do cafeeiro (Figura 2). Observou-se redução do IAF em agosto, e posterior recuperação, marcada pela emissão de folhas novas, e que foi seguida pelo incremento do NDVI, como indicado pela correlação de Pearson entre NDVI e IAF: 0,57 (face nordeste), 0,46 (topo) e 0,56 (face sudoeste). Apesar de essas relações precisarem ser mais bem exploradas com avaliações em uma série temporal maior, elas indicam que o NDVI medido nas faces do cafeeiro tem correlação significativa com o IAF.

O NDVI é um indicador mais integrativo da copa, e levou em conta a desfolha causada pela seca, queda de temperatura e colheita. Os dados de NDVI da face nordeste apresentou maior valor de  $r$  com temperatura (0,30) e o NDVI no topo da copa apresentou maior valor de  $r$  com a precipitação (0,38) em relação aos valores observados na face sudoeste (0,23 e 0,12, respectivamente), a correlação da precipitação na face nordeste (0,28) e a correlação da temperatura no topo

(0,17), sendo portando a face nordeste, aparentemente, mais sensível a variações de temperatura e o topo mais sensível as da precipitação.

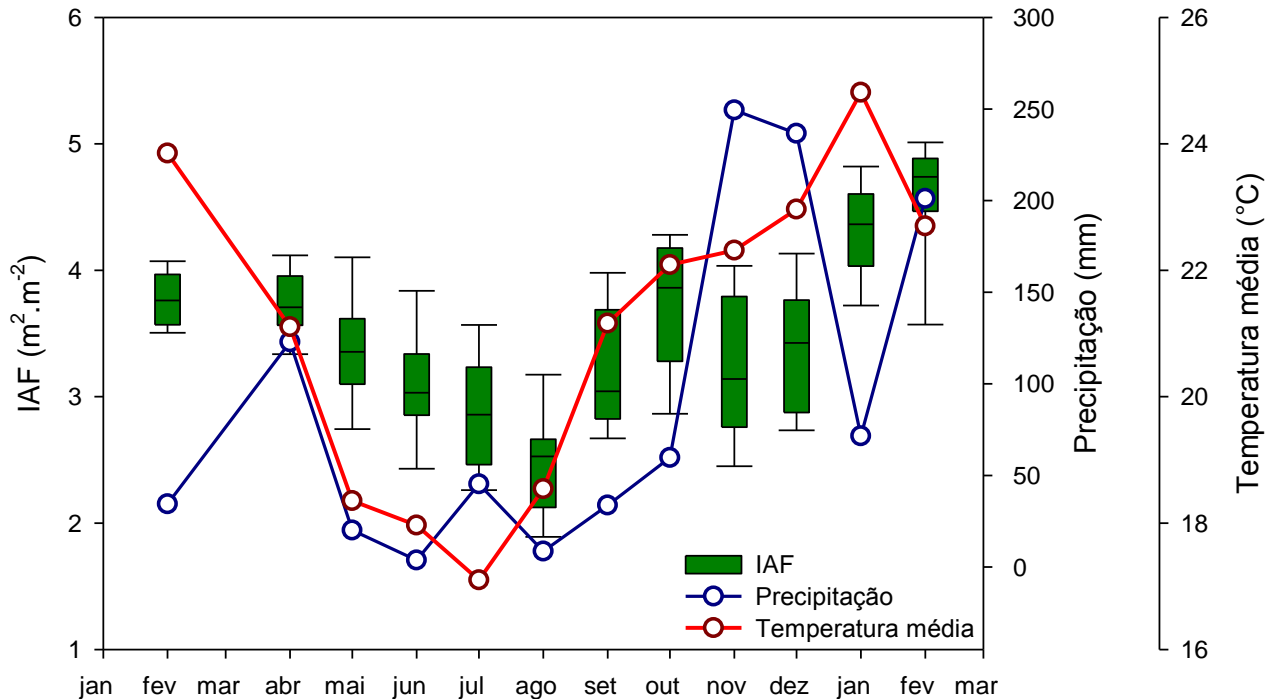


Figura 1. Valores médios mensais de IAF, da precipitação e da temperatura, de fevereiro de 2014 a fevereiro de 2015.

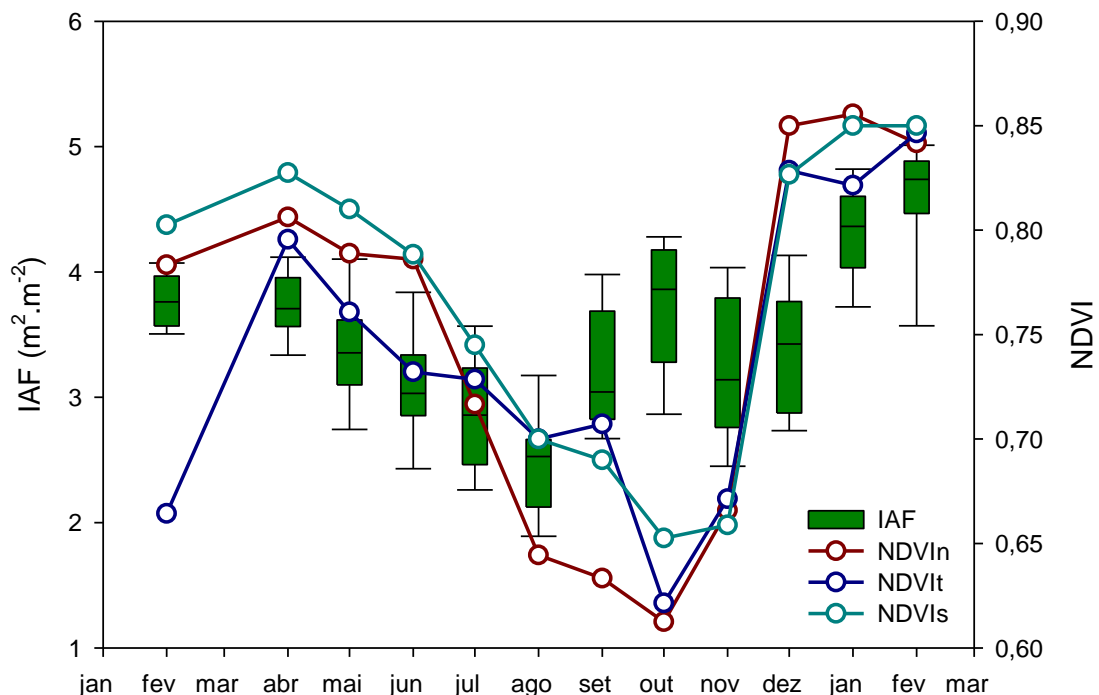


Figura 2. Série temporal de IAF e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em diferentes posições da copa dos cafeeiros: topo da copa: NDVIt; e faces nordeste e sudoeste: NDVIn, e sul: NDVIs.

Os valores de NDVI reduzem a partir do mês de abril e os menores valores são observados no mês de agosto de 2014 ( $P < 0,05$ ) assim como os dados de IAF. Como observado, as variáveis possuem uma relação direta uma vez que, dados de NDVI medem a área verde de determinada superfície, neste caso as plantas de café. Quanto mais verde as plantas maiores os valores de IAF e, conseqüentemente, o NDVI aumenta. Tal relação é evidenciada pelos valores de conectância entre NDVI e IAF, em geral, torno de 0,60, sendo maior quando medido nas faces em relação ao topo (Tabela 1). Nos meses de maio a agosto com a redução de temperatura e precipitação ocorre a perda de folhas e diminuição da área verde. A menor área verde das plantas é observada através da redução do IAF e conseqüente queda

nos valores de NDVI. No entanto, a posição da planta em que o NDVI é obtido parece influenciar a relação entre as medidas no café. Foi observado maior relação entre os NDVI<sub>n</sub> e NDVI<sub>s</sub> com o IAF do que o NDVI<sub>t</sub>. Este resultado pode estar relacionado às características da medição do NDVI, principalmente o ângulo de visada do aparelho. O modelo exponencial foi o que melhor explicou as variações de IAF em função das variações de NDVI (figura 3.) Isto porque, o NDVI satura no valor de 1,0 enquanto o IAF pode atingir valores maiores do que os observados neste estudo. Tal fato pode ser um fator limitante para o uso do NDVI como proxy para avaliar o IAF. Contudo, na faixa de valores avaliados o emprego do NDVI nas faces nordeste ou sudoeste é uma alternativa viável. Observou-se também que IAF parece ser mais modulado pelas variações mensais de temperatura (valor z de 0,93), enquanto os valores de NDVI, independentemente da posição de medida, não apresentaram elevada conexão às variações de temperatura ou de precipitação. Tal resultado aponta a necessidade de um estudo mais detalhado sobre as variações biofísicas que poderiam direcionar as variações de NDVI ao longo do tempo, relacionadas também a variação do IAF.

Tabela 1 – Valores de z obtidos para o Índice de área foliar ( $m^2 \cdot m^{-2}$ - IAF), NDVI (topo da copa: NDVI<sub>t</sub>; e faces nordeste: NDVI<sub>n</sub>, e sudoeste: NDVI<sub>s</sub>), Precipitação (mm- Prec) e temperatura média do ar ( $^{\circ}C$ - Tm), para os meses de fevereiro de 2014 a fevereiro de 2015.

	IAF	Tm	Prec
IAF		0,930	0,363
NDVI <sub>n</sub>	0,652	0,314	0,283
NDVI <sub>t</sub>	0,494	0,174	0,398
NDVI <sub>s</sub>	0,636	0,236	0,118

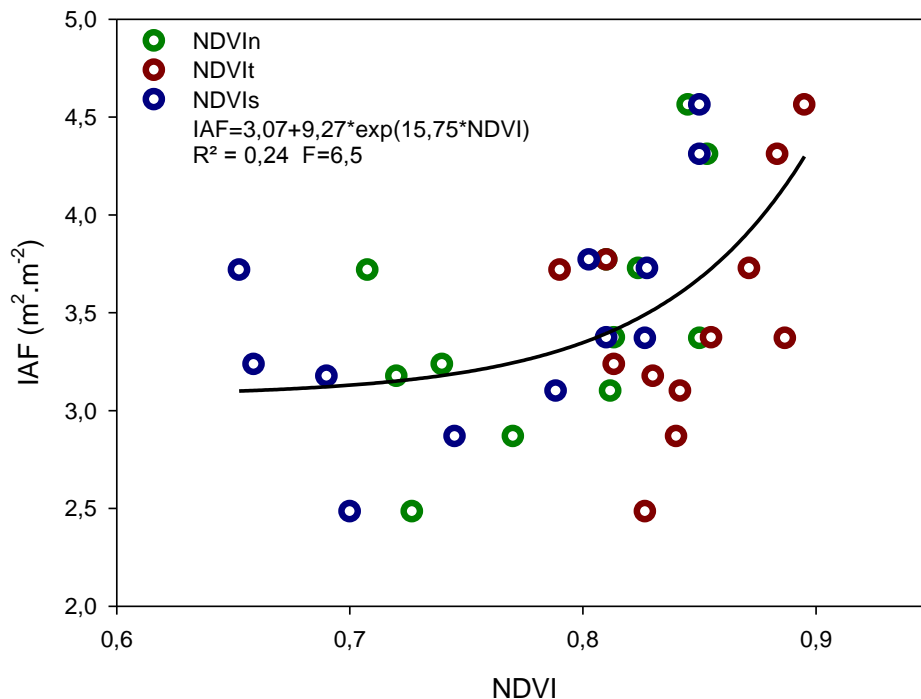


Figura 3. Regressão entre os valores de IAF em função do NDVI nas diferentes faces do cafeeiro. As equações para cada fase são respectivamente:  $IAF=0,76 \cdot \exp(1,91 \cdot NDVI_n)$   $R^2= 0,28$   $F= 5,27$   $P=0,045$  para faces nordeste;  $IAF=0,41 \cdot \exp(2,53 \cdot NDVI_t)$   $R^2= 0,15$   $F= 3,00$   $P=0,114$  para topo; e  $IAF=1,17 \cdot \exp(1,41 \cdot NDVI_s)$   $R^2= 0,28$   $F= 5,20$   $P=0,046$  para faces sul.

## CONCLUSÕES

Avaliações de NDVI podem ser utilizadas para estimar o IAF de cafeeiros no sul de Minas Gerais, com precisão satisfatória. Medições das faces da planta estão mais associadas ao IAF. Dessa forma, o NDVI caracteriza-se um bom *proxy* para quantificar o IAF ao longo do tempo, sendo uma alternativa de baixo custo, de elevada repetibilidade e pouco invasiva para se obter as variações do IAF em elevada resolução temporal.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio da FAPEMIG, que forneceu a bolsa de pós-doutorado e de iniciação científica e do Núcleo de Estudos em Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras (NECAFE), que gentilmente cedeu a área para avaliações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, J. P. R. A. D.; MARTINS, G. A.; FERREIRA, R. T.; PENNACCHI, J. P.; SOUZA, V. F.; SOARES, A. M. Estimativa do IAF de cafeeiro a partir do volume de folhas e arquitetura da planta. *Coffee Science*, 7(3):267-274. (2012).
- BERTOLLI, S. C.; VÍTOLO, H. F.; SOUZA, G. M. Network Connectance Analysis as a Tool to Understand Homeostasis of Plants under Environmental Changes. *Plants*, 2:473-488 (2013)
- CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. *Bragantia*, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.
- FAVARIN, J. L.; DOURADO NETO, D.; GARCÍA, A. G.; VILLA NOVA, N. A.; FAVARIN, M. G. G. V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 37(6):769-773. (2002).
- LANG, A. R. G.; McMURTRIE, R. E. Total leaf areas of single trees of *Eucalyptus grandis* estimated from transmittances of the sun's beam. *Agricultural and Forest Meteorology*, 58:79-92. (1992).
- LUNZ, A. M. P. Crescimento e produtividade do cafeeiro sombreado e a pleno sol. 2006, 143 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.
- RAKOCEVIC, M.; ANDROCIOLI FILHO, A. Características morfofisiológicas de *Coffea arabica* L. em diferentes arranjos: Lições de abordagem de plantas virtuais tridimensionais. *Coffee Science*, Lavras, v. 5, n. 2, p. 154-166, 2011.
- REY, R.; ALVAREZ, P. Evaluación de diferentes ecuaciones de regresión en la estimación del área foliar del café en vivero a partir de sus medidas lineares. *Agrotecnia de Cuba*, Habana, v. 23, n. 3/4, p. 69-74, 1991.
- SASAKI, T.; IMANISHI, J.; IOKI, K.; MORIMOTO, Y.; KITADA, K. Estimation of leaf area index and canopy openness in broadleaved forest using an airborne laser scanner in comparison with high-resolution near-infrared digital photography. *Landscape and Ecological Engineering*, Tokyo, v. 4, p.47-55, 2008.
- SOUZA, G. M.; RIBEIRO, R.; PRADO, C. H. B. S.; DAMINELLI, D. S. C.; SATO, A. M.; OLIVEIRA, M. S. Using network connectance and autonomy analyses to uncover patterns of photosynthetic responses in tropical woody species. *Ecological Complexity*, 6:15-26. (2009).
- WATSON, D. J. The physiological basis of variation in yield. *Advances in Agronomy*, San Diego, v. 4, p. 101-144, 1952.