

ESTIMATIVA DO IAF DE CAFEIEIRO A PARTIR DO VOLUME DE FOLHAS E ARQUITETURA DA PLANTA

João Paulo Rodrigues Alves Delfino Barbosa¹, Giordane Augusto Martins²,
Rafael Teixeira Ferreira³, João Paulo Pennacchi⁴, Vinícius Fernandes de Souza⁵, Angela Maria Soares⁶

(Recebido: 22 de agosto de 2011; aceito 3 de fevereiro de 2012)

RESUMO: Os métodos de estimativa do índice de área foliar (IAF) utilizados para cafeeiros (*Coffea arabica* L.) apresentam limitações relacionadas à representação de particularidades da cultura que afetam o IAF no tempo e no espaço. Desenvolveu-se este trabalho objetivando propor um método de estimativa do IAF de forma a reduzir essas limitações. Foram utilizados cafeeiros em fase produtiva, de cultivos da região de Lavras-MG, das variedades Mundo Novo e Catuaí, coletados durante a estação seca e a estação chuvosa de 2010 a 2011. Nessas plantas avaliou-se a altura a partir do nível do solo, comprimento total de ramos plagiotrópicos, o comprimento da região sem folhas na copa e o IAF. Esses dados foram utilizados para estimar o volume de folhas das plantas e, posteriormente, para a obtenção de equações que descrevem o comportamento do IAF em função do volume de folhas. Verificaram-se três ajustes das variações de IAF em função do volume de folhas: comportamento linear, expolinar e sazonal. Os três modelos apresentaram estimativas realistas, quando aplicados em cafeeiros do município de Três Pontas-MG. Potencialmente, os modelos podem ser aplicados na estimativa do IAF de uma planta isolada ou para parcelas homogêneas. Possuem a vantagem de uma representação mais realista da forma da planta no tempo e no espaço em comparação com métodos semelhantes. Com o método proposto, espera-se atender demandas de modelos de previsão de produtividade de cafeeiros, reduzindo as limitações observadas nos métodos comumente utilizados para a determinação do IAF.

Termos para indexação: Biometria, índice de área foliar, modelagem, volume do dossel.

ESTIMATING THE IAF OF COFFEE FROM THE VOLUME OCCUPIED BY LEAVES AND PLANT ARCHITECTURE

ABSTRACT: The methods used for estimating the leaf area index (LAI) of coffee (*Coffea arabica* L.) show limitations related to the representation of some aspects of coffee crops, affecting the LAI in time and space. This work was developed to propose a method for assessing the LAI of coffee aiming to reduce those limitations. We studied plants in the production phase of the Mundo Novo and Catuaí varieties, in plantations located in Lavras-MG, during the dry season and rainy season from 2010 to 2011. The height, total length of primary branches, the length of the region without leaves in the canopy and the LAI of those plants were evaluated. These data were used to estimate the volume occupied by leaves and, subsequently, to obtain equations that describe the behavior of LAI in relation to this volume. There were three equations that described the LAI variations in relation to the volume occupied by leaves: linear, expolinar and seasonal. These three models showed realistic estimates when applied to plants from plantations located in Três Pontas-MG. Potentially, this method can be applied for estimating the LAI of a plant or canopies. It has the advantage of a more realistic representation of the shape of the plant in time and space compared to similar methods. With the proposed method is expected to meet the demands of productivity forecasting models for coffee, reducing the limitations observed in the commonly used methods for LAI determination.

Index terms: Biometry, Canopy volume, Leaf area index, Modeling.

¹Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Biologia/DBI - Setor de Fisiologia Vegetal Lavras - MG - 37200-000 - Cx. P. 3037 - jp.barbosa@dbi.ufla.br

²Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Biologia/DBI - Setor de Fisiologia Vegetal Lavras -MG - 37200-000 - Cx.P. 3037 - giordanemartins@gmail.com

³Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Biologia/DBI - Setor de Fisiologia Vegetal Lavras - MG - 37200-000 - Cx.P. 3037 - rafaelteixeiraferrera@gmail.com

⁴Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Biologia/DBI - Setor de Fisiologia Vegetal Lavras - MG - 37200-000 - Cx.P. 3037 - jppennacchi@yahoo.com.br

⁵Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Biologia/DBI - Setor de Fisiologia Vegetal Lavras - MG - 37200-000 - Cx.P. 3037 - viniciusfernandes11@yahoo.com.br

⁶Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Biologia/DBI - Setor de Fisiologia Vegetal Lavras - MG - 37200-000 - Cx.P. 3037 - amsoares@dbi.ufla.br

1 INTRODUÇÃO

O índice de área foliar (IAF) é definido pela razão da área foliar e a área do terreno ocupada pela planta (WATSON, 1952). 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, e também o conhecimento dessa variável é necessário para a validação de dados de produção e cobertura vegetal, obtidos por técnicas de sensoriamento remoto (BARROS et al., 1973; LUNZ, 2006; SASAKI et al., 2008; WATSON, 1952).

A estimativa dessa variável por métodos não destrutivos, de baixo custo e de fácil operação e que considere a variação temporal do IAF, durante o ciclo de uma cultura, pode garantir assertividade na predição da produtividade (GALVANI et al., 2000; POCOCK; EVANS; MEMMOTT, 2010; WATSON, 1952; WHITE et al., 2010). Em cafeeiros, variações no volume de folhas associadas à particularidades da fenologia, variedades cultivadas, técnicas de manejo e cultivo bem como respostas à disponibilidade de recursos ambientais podem influenciar na dinâmica do IAF, ao longo do tempo (CAMARGO; CAMARGO, 2001; RAKOCEVIC; ANDROCIOLI FILHO, 2011).

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. Em geral, esses métodos são desenvolvidos a partir de estudos de penetração da radiação no dossel, técnicas de sensoriamento remoto e apresentam limitações que fornecem valores subestimados de IAF (BLANCO; FOLEGATTI, 2003; CARUZZO; ROCHA, 2000; SASAKI et al., 2008; SCHLEPPI; THIMONIER; WALTHERT, 2011). No caso do cafeeiro, a utilização desses métodos pode ser limitada possivelmente devido à forma geométrica das plantas, resultante da interação genótipo-ambiente, e a variação da distribuição de folhas ao longo do tempo, associada principalmente à fenologia e manejo da cultura (MARCON, 2009; RAKOCEVIC; ANDROCIOLI FILHO, 2011).

A busca por métodos indiretos que estimem o IAF de uma planta de café, de forma precisa e não destrutiva, tem adquirido uma grande importância no cenário de pesquisas em cafeicultura. Alguns trabalhos apresentam métodos bastante específicos para plantas de café (FAVARIN et al., 2002; REY; ALVAREZ, 1991). De acordo com Marcon (2009), métodos que se baseiam em relações biométricas da área foliar com o volume e a área do dossel e, conseqüentemente, com a altura e o diâmetro inferior do dossel, podem ser utilizados para a estimativa do IAF em cafeeiros com precisão satisfatória. Dentre esses métodos, o proposto por Favarin et al. (2002) permite a estimativa da área foliar de uma planta isolada através de equações que descrevem essa característica, em função da forma da copa do cafeeiro. Contudo, uma das limitações dessas propostas é a representação geométrica do cafeeiro, geralmente tratado como um cone, enquanto, na realidade, possui variedade de formas dependendo do espaçamento, variedade cultivada, tipo de solo, topografia e manejo da lavoura. Assim, a aplicação desses métodos é restrita.

Um aspecto que também influencia fortemente o IAF de cafeeiros é a bienalidade e a sazonalidade, o que acrescenta mais complexidade ao problema, e limita o uso de métodos para estimativas indiretas. Essas particularidades afetam a quantidade de frutos produzidos nos ramos plagiotrópicos, em anos alternados, que resultam em diferentes forças de drenos e diferente alocação de fotoassimilados e nutrientes na planta. Desse modo, o crescimento vegetativo e, por consequência, o volume foliar são alterados em ciclos de dois anos (CAMARGO; CAMARGO, 2001; LUNZ, 2006). Além disso, existe uma resposta de retroalimentação do IAF, pois elevados valores dessa variável podem resultar em autossombreamento, com efeito sobre o balanço de carbono dos cafeeiros, resultando desde modificações morfofisiológicas das folhas até o número de folhas por ramos (CÉSAR et al., 2010).

Observa-se, portanto, que inexistem métodos de estimativa que considerem as particularidades da cultura do café que afetam o IAF no tempo e no espaço, e permitam estimar essa variável não só para plantas isoladas, mas também para cada linha de plantio e extrapolar esse valor para toda a área de um cultivo. Diante disso, este trabalho foi desenvolvido

com o objetivo de propor um método de estimativa do IAF em cafeeiros a partir de relações entre esse índice e o volume de folhas das plantas e do dossel. Com o método proposto, espera-se atender às demandas de modelos de previsão de produtividade de cafeeiros, reduzindo-se as limitações observadas nos métodos comumente utilizados para a determinação do IAF.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do método de estimativa de IAF, inicialmente foram utilizadas plantas de café (*Coffea arabica* L.) em fase produtiva, das variedades Mundo Novo Acaiaí (15 anos, espaçamento de 4,0 x 0,7 m, aproximadamente 3500 plantas.ha⁻¹) e Catuaí Amarelo (8 anos, espaçamento de 3,7 x 0,6 m, aproximadamente 4500 plantas.ha⁻¹), de cultivos da região de Lavras-MG. Nessa etapa, foram selecionadas 10 plantas de cada variedade ao acaso, sendo 5 plantas coletadas durante a estação seca (abril a setembro de 2010) e as restantes da amostra foram coletadas durante a estação chuvosa

(janeiro a abril de 2011), compondo uma amostra de 20 plantas.

Nessas plantas, em cada período de coleta, foram realizadas avaliações biométricas em cinco posições i , distintas no perfil da planta, como indicadas na Figura 1. Portanto, foram obtidos valores de altura a partir do nível do solo (h_i), de comprimento total de ramos plagiotrópicos (R_i) e comprimento da parte do ramo plagiotrópico desde o ramo ortotrópico até o primeiro par de folhas interno do ramo, ou seja, comprimento da região sem folhas na copa (r_i).

Após a obtenção dos valores das características biométricas, procedeu-se à esfolha total da planta, para a obtenção do IAF. Em uma amostra de 50 folhas foi determinada a área foliar definida pelo produto das dimensões comprimento e largura e o fator de correção 0,667, conforme apresentado em Barros et al. (1973). A massa seca da amostra de folhas e do total das folhas da planta foi determinada após as folhas permanecerem em estufa de circulação forçada de ar a 75°C, até peso constante.

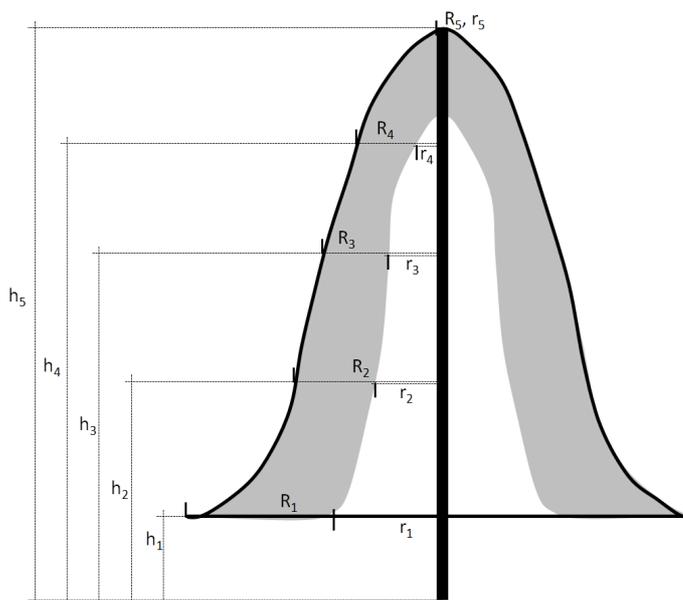


FIGURA 1 – Esquema representativo de um cafeeiro em corte transversal (perfil) e posicionamento das características biométricas obtidas para estimativa do volume de folhas: h_i - altura da planta a partir do nível do solo em cada posição i ; R_i - comprimento total de ramos plagiotrópicos em cada posição i ; r_i - comprimento da parte do ramo plagiotrópico desde o ramo ortotrópico até o primeiro par de folhas interno do ramo, ou seja, comprimento da região sem folhas em cada posição i . Nesse estudo, foram utilizadas 5 posições, portanto i variou de 1 a 5. A área cinza indica a região da copa ocupada por folhas. As medidas foram realizadas em metros.

A área foliar total de cada planta foi determinada pela razão entre o produto da área da amostra de folhas e da massa seca total, pela massa seca da amostra obtida. O IAF foi calculado pela razão entre a área foliar total e a área do terreno ocupada pela planta. Para esse cálculo levou-se em consideração o espaçamento de cada lavoura em que as plantas foram amostradas.

Os valores de R_i e r_i , com as respectivas alturas h_i , de cada planta, foram utilizados para obtenção de duas expressões que descrevessem o perfil da copa do cafeeiro ocupado pelos ramos plagiotrópicos e a área da região interna da planta sem folhas. Para normalizar a variação de altura entre as plantas, cada R_i e r_i foram divididos por h_5 . As equações obtidas foram utilizadas para determinação do volume total da planta e o volume dos ramos plagiotrópicos sem folhas, sendo o volume de folhas de cada cafeeiro obtido pela diferença entre o volume total da planta e o volume sem folhas. A determinação dessas variáveis foi feita a partir da integral dessas equações ao longo da altura da planta, que permitiu gerar sólidos de revolução, representando o volume total da planta e o volume da porção sem folhas.

Esse procedimento foi realizado para cada planta e para toda a amostra, com objetivo de verificar a variabilidade entre plantas e assim validar as equações obtidas para um determinado plantio, com particularidades de manejo e sob influência da sazonalidade. Foi realizada uma análise de regressão entre os valores de volume de folhas, observado (planta) e estimado (amostra), com o valor de IAF observado. A equação obtida nessa análise de regressão foi utilizada para estimar os valores de IAF de dois cafeeiros, em fase produtiva (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí Amarelo, 10 anos, 4,0 x 0,6 m, 4000 plantas.ha⁻¹ e *Coffea arabica* L. cv. Mundo Novo Acaiá, 14 anos, 4,5 x 0,75 m, 3000 plantas.ha⁻¹) do município de Três Pontas-MG, a fim de se verificar a validade das equações ajustadas quanto à precisão para determinação dos valores de IAF.

Todos os parâmetros das equações obtidas através das análises de regressão foram testados quanto à significância pelo teste t, a $P < 0,05$, e a validade das equações ajustadas foi verificada pelo teste F, a $P < 0,01$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As equações obtidas para a amostra (20 plantas), pelo ajuste da altura (h_i) em função do comprimento total de ramos plagiotrópicos normalizado ($R_i \cdot h_5^{-1}$) e do comprimento da região sem folhas normalizado ($r_i \cdot h_5^{-1}$), foram polinomiais de terceiro grau (Equações 1 e 2). Tais expressões, integradas no intervalo de h_1 a h_5 , permitiram estimar a área total, a área sem folhas e a área ocupada por folhas, no perfil das plantas de café estudadas (Figura 2).

A equação associada à forma externa do cafeeiro (Equação 1) apresentou maior coeficiente de determinação ($R^2 = 0,70$), em comparação ao obtido para a equação que descreveu a parte interna da copa, onde não se observou a presença de folhas ($R^2 = 0,47$). Os parâmetros de ambas as equações foram significativos pelo teste t e as relações são válidas, com valores do teste F de 74,2 e 21,05, respectivamente.

$$h_i = 46,9 \cdot x^3 - 43,36 \cdot x^2 + 6 \cdot x + 2,4 \quad (1)$$

$$\text{onde: } x = R_i \cdot h_5^{-1}$$

$$h_i = 15,5 \cdot x^3 - 5,13 \cdot x^2 - 4,7 \cdot x + 2,3 \quad (2)$$

$$\text{onde: } x = r_i \cdot h_5^{-1}$$

Além da obtenção dessas equações, que permitiram descrever a forma do perfil da amostra estudada, o procedimento de análise de dados permitiu estimar a área de folhas, em cada planta avaliada (Figura 3). As análises de regressão entre alturas e comprimentos normalizados individualmente, resultaram em outras expressões associadas à forma da planta, que variaram de equações polinomiais de primeiro a quinto graus, e equações exponenciais. Esses diferentes ajustes obtidos para o conjunto das 20 plantas de café avaliadas refletem a variedade e a complexidade de formas da copa do cafeeiro que podem ocorrer em função das variedades cultivadas, espaçamento, idade, época do ano e formas de condução da lavoura (CAMARGO; CAMARGO, 2001; FAVARIN et al., 2002; RAKOCEVIC; ANDROCIOLI FILHO, 2011), reafirmando que a representação geométrica da copa de cafeeiros como um cone pode ser considerada inapropriada em muitas situações.

As expressões que representam as relações para uma planta (Figuras 3A e 3B) apresentaram elevados

valores do coeficiente de determinação (R^2 variando entre 0,84 e 0,99), sendo todos os parâmetros significativos pelo teste t e válidas pelo teste F. Nota-se que existe variabilidade na distribuição das folhas ao longo do perfil da planta, quando são comparados valores observados com os valores estimados, através das expressões obtidas para a amostra (Figuras 3C e 3D).

A variabilidade da forma das copas e da geometria da região sem folhas, definida pelo fator genético e pelas condições de cultivo e ambiente, refletiu-se em maior variabilidade dos volumes total e da região sem folhas, observados em relação aos

estimados pelas equações obtidas para a amostra (Figuras 4A e 4B). No entanto, a variabilidade observada para o volume de folhas foi bastante semelhante à que foi estimada, indicando que essa variável pode ser mais representativa, em termos de estabilidade e sensibilidade a estes fatores, como pode ser observado na Figura 4C. Dessa forma, a análise de regressão mostrou que as equações obtidas possuem boa capacidade para estimar o volume de folhas de uma planta e de um conjunto de plantas e que essa variável pode ser utilizada na estimativa de outras variáveis biométricas.

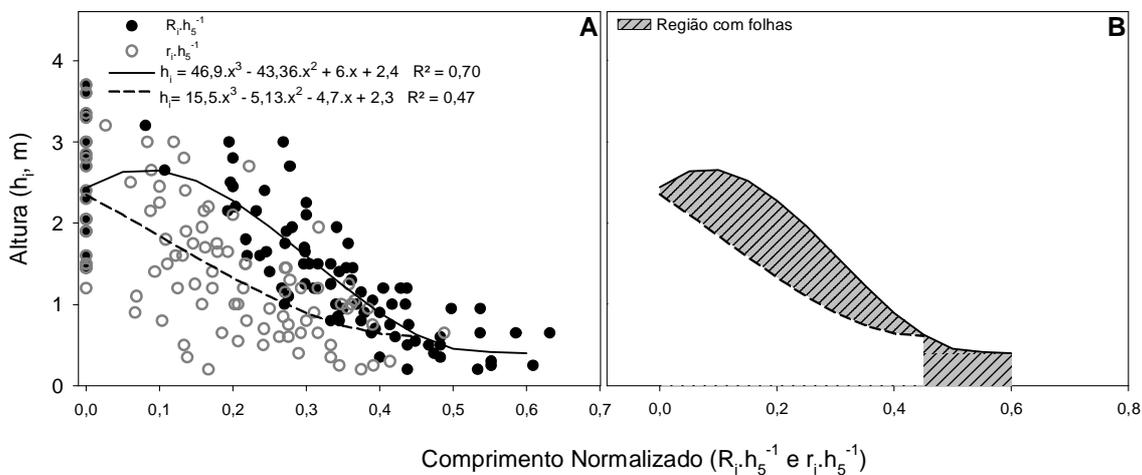


FIGURA 2 – A: equações de regressão e coeficientes de determinação entre altura (h_i) e comprimento normalizado total ($R_i \cdot h_5^{-1}$) e sem folhas ($r_i \cdot h_5^{-1}$) dos ramos plagiotrópicos de 20 cafeeiros da região de Lavras-MG. **B:** área obtida pela integral das curvas ajustadas em A, com destaque para a região do perfil da planta ocupada por folhas. Os parâmetros das equações ajustadas foram significativos pelo teste t a $P < 0,05$ e os ajustes considerados válidos pelo teste F a $P < 0,01$.

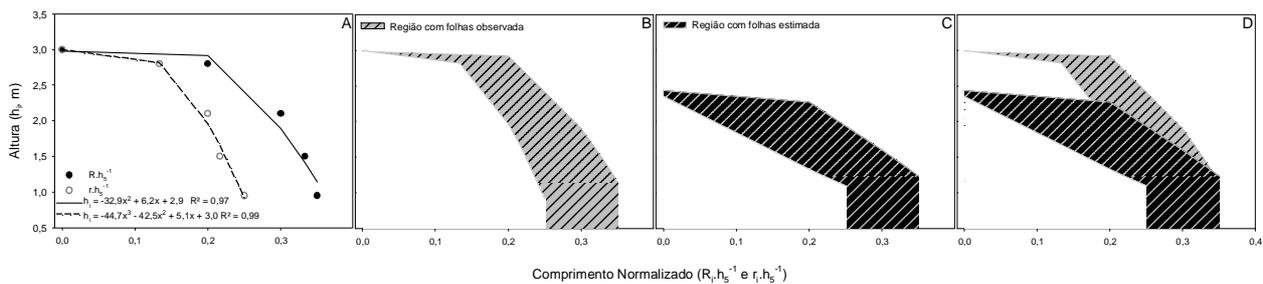


FIGURA 3 – Áreas observadas e estimadas para uma planta amostrada. A: ajuste das equações entre altura (h_i) e comprimento normalizado total ($R_i \cdot h_5^{-1}$) e sem folhas ($r_i \cdot h_5^{-1}$) dos ramos plagiotrópicos, de uma planta na época seca (agosto de 2010). **B:** região ocupada por folhas, observada através da integral das curvas ajustadas em A. **C:** integral das curvas ajustadas para a amostra com dados de entradas da planta em questão, destacando a região com folhas estimada. **D:** representação da região com folhas observada (claro) e estimada (escuro). Os parâmetros das equações ajustadas foram significativos pelo teste t a $P < 0,05$ e os ajustes considerados válidos pelo teste F a $P < 0,01$.

A análise de regressão entre o IAF e o volume de folhas permitiu obter três equações distintas, válidas e com parâmetros significativos. A primeira equação representa uma relação linear entre as variáveis (Figura 5A), portanto, descreve um aumento de IAF diretamente proporcional ao volume de folhas. Outros pesquisadores, trabalhando com espécies herbáceas (BLANCO; FOLEGATTI, 2003; GALVANI et al., 2000) ou em dossel de plantas lenhosas, como o eucalipto (WHITE et al., 2010) ou florestas nativas (RYU et al., 2010; SANCHES et al., 2008; SASAKI et al., 2008; SCHLEPPI; THIMONIER; WALTHERT, 2011), também observaram tendência linear de aumento de IAF em função da quantidade de folhas, de forma direta ou indireta. Indiretamente, essa relação foi observada através de medições da quantidade de radiação difusa abaixo do dossel. As equações ajustadas por Favarin et al. (2002), específicas para café, também refletem uma estreita relação linear, diretamente proporcional, entre IAF e características relacionadas à quantidade de folhas na planta, como massa seca de folhas, número de folhas por planta e volume do dossel.

A segunda equação descreve uma relação expolinear, com maior coeficiente de determinação em relação ao primeiro ($R^2 = 0,89$). Inicialmente, tem-se um aumento linear seguido pela estabilização do IAF, em função do aumento do volume de folhas. Após atingir um IAF com valor em torno de $5 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, o incremento nos valores de volume de folhas refletiriam em pouco aumento do IAF. Esse fato pode ser associado ao aumento do comprimento dos entrenós dos ramos plagiotrópicos, ou ao número de

ramos no perfil da planta, não significando necessariamente uma elevação no número de folhas dentro do perfil do café (GOMES; LIMA; CUSTÓDIO, 2007; LUNZ, 2006). É interessante observar que a equação proposta é sensível a essa característica da fenologia do café.

A partir desse segundo modelo, foi possível observar a variação sazonal dos valores de IAF, em função do volume de folhas (Figura 5B). A análise dos valores obtidos para a estação seca e a estação chuvosa foram utilizados para propor equações específicas para cada estação, procurando assim verificar as diferenças associadas às condições ambientais e de manejo, que variam ao longo do ano e modificam a quantidade de folhas na planta (CAMARGO; CAMARGO, 2001; MARCON, 2009). As equações obtidas descrevem o incremento do IAF em função do aumento do volume de folhas por relações lineares distintas para cada estação ($F = 88,4$ e $20,6$ para as estações seca e chuvosa, respectivamente) com parâmetros significativos e com valores de coeficiente de determinação de $0,83$ e $0,53$ para as épocas seca e chuvosa, respectivamente. Esse resultado evidencia a importância de se considerar, nos métodos de estimativa de IAF, variáveis que refletem as variações espaciais e temporais da distribuição de folhas no perfil da planta. Durante a época seca, a elevação dos valores da porção do dossel ocupada por folhas é muito significativa na elevação do IAF, contudo, na época chuvosa, o incremento do volume parece ter uma menor importância na distribuição de folhas pela área do terreno ocupada pela planta.

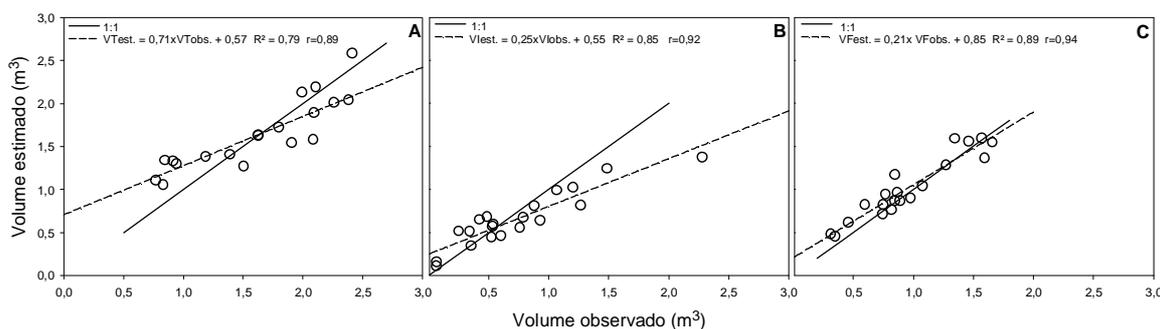


FIGURA 4 – Relações entre os volumes estimados e observados de vinte cafés em Lavras-MG. **A:** Volume total da planta, **B:** Volume da região sem folhas, **C:** Volume de folhas. Os parâmetros das equações ajustadas foram significativos pelo teste t a $P < 0,01$.

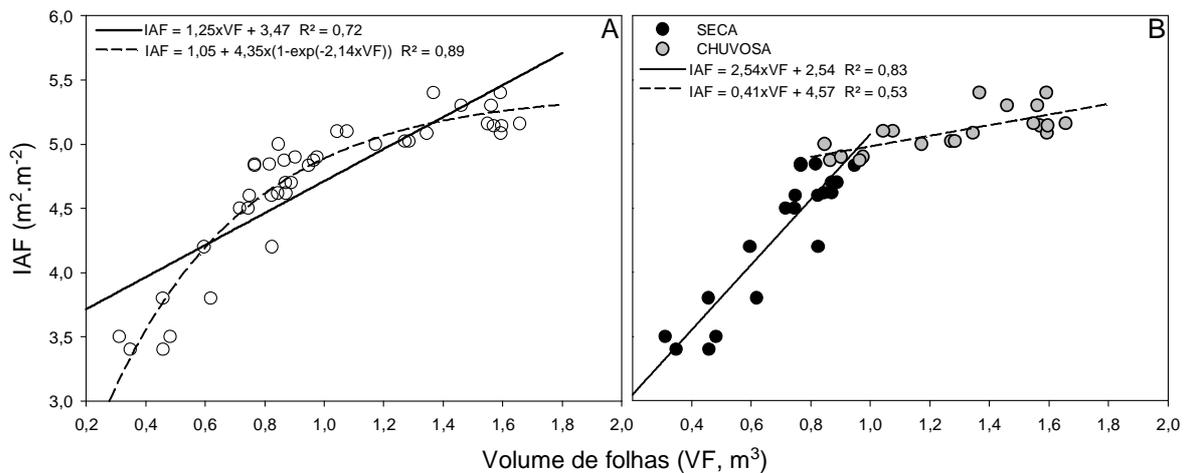


FIGURA 5 – Relações entre IAF e volume de folhas de cafeeiros. **A:** Modelos linear e Expolinar para vinte plantas, considerando-se os volumes observados para cada planta e os estimados pela equação geral apresentada na Figura 2. **B:** Modelos para as épocas seca (símbolos escuros) e chuvosa (símbolos claros).

Os resultados referentes à aplicação das equações obtidas em plantas de lavouras do município de Três Pontas-MG, indicaram que os modelos propostos são adequados para a estimativa do IAF (erros de determinação menores que 10%) (Tabela 1). As maiores diferenças entre os dados observados e os estimados foram observadas para as equações que consideraram a variação sazonal do IAF.

A proposta das equações que caracteriza um método não destrutivo de estimativa de IAF está em acordo com o estudo de Favarin et al. (2002), que encontraram melhores resultados quando foram utilizados métodos não destrutivos, baseados no volume e área lateral do dossel. Também encontraram bons resultados para métodos baseados em massa de matéria seca e número total de folhas, porém, esses apresentavam a desvantagem de maior possibilidade de erro na obtenção de dados. Marcon (2009) também encontrou melhores resultados com modelos baseados na área lateral do dossel e nas medidas de altura e largura da planta.

4 CONCLUSÕES

Os modelos propostos apresentaram comportamentos adequados para a estimativa do IAF, através de método não destrutivo e considerando-se a sua variação no espaço e no tempo. Essa estimativa mostra-se de fácil operacionalização, uma vez que necessita apenas de medidas de altura e de raio de

cada planta e do espaçamento da lavoura. Além disso, a partir da análise de um número significativo de plantas, que representem a população como um todo, é possível estimar-se o IAF de toda essa população de plantas.

5 AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, R. S. et al. Determinação de área de folhas do café (*Coffea arabica* L. cv. 'Bourbon Amarelo'). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 20, p. 44-52, 1973.
- BLANCO, F.F.; FOLEGATTI, M. V. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 21, n. 4, p. 666-669, 2003.
- 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.
- CARUZZO, A.; ROCHA, A. H. Estimativa do índice de área foliar (IAF) em regiões de pastagem e floresta com um método indireto ('gap fraction') durante o experimento AMB/LBA-1999. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2000. p. 2478-2485.

- CÉSAR, F. et al. Morfofisiologia foliar de cafeeiro sob diferentes níveis de restrição luminosa. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 3, p. 262-271, 2010.
- FAVARIN, J. L. et al. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 769-773, jun. 2002.
- GALVANI, E. et al. Estimativa do índice de área foliar e da produtividade de pepino em meio protegido: cultivos de inverno e de verão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 8-13, 2000.
- GOMES, N. M.; LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. P. Crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro irrigado no sul do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, p. 564-570, 2007.
- LUNZ, A. M. P. **Crescimento e produtividade do cafeeiro sombreado e a pleno sol**. 2006. 143 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2006.
- MARCON, M. **Modelos matemáticos para a estimativa da área foliar de um cafeeiro por meio de análise de imagens**. 2009. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- POCOCK, M. J. O.; EVANS, D. M.; MEMMOTT, J. The impact of farm management on species-specific leaf area index (LAI): farm-scale data and predictive models. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 135, n. 4, p. 279-287, 2010.
- 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 cafeto em vivero a partir de sus medidas lineares. **Agrotecnia de Cuba**, Habana, v. 23, n. 3/4, p. 69-74, 1991.
- RYU, Y. et al. How to quantify tree leaf area index in an open savanna ecosystem: a multi-instrument and multi-model approach. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 150, p. 63-76, 2010.
- SANCHES, L. et al. Índice de área foliar em floresta de transição Amazônia cerrado em diferentes métodos de estimativa. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 57-69, 2008.
- SASAKI, T. et al. 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.
- SCHLEPPI, P.; THIMONIER, A.; WALTHERT, L. Estimating leaf area index of mature temperate forests using regressions on site and vegetation data. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 261, p. 601-610, 2011.
- WATSON, D. J. The physiological basis of variation in yield. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 4, p. 101-144, 1952.
- WHITE, D. et al. Observed and modelled leaf area index in *Eucalyptus globulus* plantations: tests of optimality and equilibrium hypotheses. **Tree Physiology**, Oxford, v. 30, p. 831-844, 2010.