

ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR DE CAFEIROS (*Coffea arabica* L.) ATRAVÉS DE MÉTODO NÃO DESTRUTIVO: PROPOSTA PARA MODELOS EMPÍRICOS¹

João Paulo Pennacchi², Giordane Augusto Martins³, Vinícius Fernandes de Souza², Rafael Teixeira Ferreira⁴,
André Moraes Reis⁴, João Paulo Rodrigues Alves Delfino Barbosa⁵, Daniel Naves Barbosa⁴

¹ Financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG)

² Mestrando do Programa de Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Lavras – MG, jppennacchi@yahoo.com.br

³ Pesquisador da Rede Brasileira de Pesquisas em Mudanças Climáticas REDECLIMA,

⁴ Graduando em Agronomia da Universidade Federal de Lavras – MG

⁵ Professor Dr. da Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras, MG, jp.barbosa@dbi.ufla.br

RESUMO: Modelos empíricos foram propostos com base em características biométricas do dossel de cafeeiros (*Coffea arabica* L.), como a forma geométrica da planta e o volume ocupado por folhas (VF), permitindo a determinação indireta do índice de área foliar (IAF). Os modelos foram obtidos a partir de medidas de altura e comprimento dos ramos plagiotrópicos (total e porção sem folhas), num total de cinco pares de medidas por planta, em vinte plantas, avaliadas ao longo do ano de 2010 e 2011, em diferentes cafezais do município de Lavras, e na posterior obtenção do VF no perfil dos cafeeiros. O VF foi submetido à análise de regressão com valores reais do IAF para a obtenção de equações que descrevem o comportamento do IAF em função do VF. Essa análise permitiu verificar três níveis diferentes das variações de IAF em função de VF, a partir das quais foram propostos três procedimentos para modelagem: comportamento linear, expolinear e linear-sazonal (épocas seca e chuvosa). Os três modelos desenvolvidos apresentaram estimativas bastante realistas quando aplicados em cafezais 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, de forma viável em termos operacionais em campo. Contudo, os modelos ainda possuem caráter exploratório, necessitando uma maior amostragem espaço-temporal a fim de ajustar as equações à variabilidade de forma e composição de dossel observada em termos de variedades, manejos, épocas do ano e bienalidade.

Palavras-Chave: Modelagem, Biometria, Volume do dossel, IAF.

ESTIMATING THE LEAF AREA INDEX OF COFFEE (*Coffea arabica* L.) THROUGH A NON DESTRUCTIVE METHOD: A PROPOSAL FOR EMPIRICAL MODELS

ABSTRACT: Empirical models to estimation of leaf area index (LAI) were developed on biometric characteristics of coffee plants (*Coffea arabica* L.) as the geometric shape and volume of the canopy occupied by leaves (LV). The models were obtained from measurements of height and length of primary branches (full length and length of the vegetative portion of the branch), in a total of five measurement points per plant in twenty plants, evaluated in 2010 and 2011 on coffee plantations in Lavras, Minas Gerais, Brazil. The LV was submitted to regression analysis with observed LAI values to obtain equations that described the patterns of LAI in relation to LV. This analysis has shown three different variations of LAI as with variations of LV, resulting in the following modeling procedures: linear, exponential and linear-seasonal (dry and rainy seasons). The three models showed quite realistic LAI estimates when applied to coffee plantations in Três Pontas, Minas Gerais, Brasil. Potentially, the proposed models can be applied to LAI estimations of a single plant or stands. They also can represent the variations of the shapes of coffee canopy in a more realistic way in comparison to other similar methods, considering its variations in time and space, and with a good applicability in field conditions. However the models have yet an exploratory characteristic, requiring a larger sampling in space and time to adjust the equations to the variability of coffee varieties, soil management, seasons and the alternating vegetative/reproductive cycles of coffee.

Key words: Modeling, Biometry, Canopy volume, LAI.

INTRODUÇÃO

O índice de área foliar (IAF, $m^2 \cdot m^{-2}$) é a relação funcional entre a área foliar e a área do terreno ocupada pela planta (Watson, 1952). O IAF é uma importante variável para a estimativa dos fluxos de água, carbono e energia e, portanto, se relaciona diretamente à produção primária dos vegetais. Além disso, o IAF é de grande importância para a solução de problemas de escala como, por exemplo, para se atribuir, à planta toda, o que se observa em folhas isoladas.

Dessa maneira, a estimativa correta dessa variável, em tempo real, através de métodos não destrutivos, de baixo custo e operacionais em condições diversas, pode garantir assertividade no levantamento da produtividade, além

de permitir extrapolar observações de uma folha para toda uma área de produção e fornecer informações importantes para a parametrização de modelos de base fisiológica e validação de dados obtidos por técnicas de sensoriamento remoto da vegetação (Watson, 1952; Barros et al., 1973; Lunz, 2006).

Apesar de sua importância, a determinação do IAF de cafeeiros não é uma tarefa simples, sendo geralmente evitada pelos pesquisadores. São utilizados, normalmente, dois tipos de métodos: diretos e indiretos. Contudo ambos são pouco precisos. Os métodos indiretos de estimativa, como sensoriamento remoto ou medidas da radiação difusa abaixo da copa, geralmente conduzem a valores subestimados do IAF. Isso se deve à arquitetura da planta e à forma de cultivo do cafeeiro. Por outro lado, os métodos diretos são de difícil utilização e podem necessitar de destruição da planta inteira ou de parte dela (Caruzzo e Rocha, 2000).

Dessa maneira, 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 pesquisadores já abordaram este tema e propuseram modelos bastante específicos para plantas de café (Rey & Alvarez, 1991; Favarin et al, 2002). Porém, Favarin et al. (2002) propuseram um modelo para estimativa de área foliar de uma planta isolada, não levando em considerações as influências do plantio como um todo.

Outra deficiência dos modelos já desenvolvidos é a representação geométrica da arquitetura 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. 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 modelos empíricos para estimativas indiretas. As diferentes quantidades de frutos produzidos nos ramos plagiotrópicos, em anos alternados, resultam em diferentes forças de drenos e diferentes alocações de fotoassimilados e nutrientes na planta. Desse modo, o crescimento vegetativo e, por conseqüência, o volume foliar são alterados em ciclos de dois anos (Lunz, 2006).

De acordo com Marcon (2009), medidas biométricas como o volume e a área do dossel e, conseqüentemente a altura e o diâmetro inferior do dossel, podem ser utilizados para a estimativa do IAF em cafeeiros. Uma característica que parece ser marcante, relacionada à forma dos cafeeiros, diz respeito à porção sem folhas dos ramos plagiotrópicos, que varia conforme a arquitetura da planta e pode exibir dependência do volume da planta toda e dos ramos plagiotrópicos. Utilizando essa hipótese, pode-se propor um método de estimativa do IAF a partir da relação entre este índice (calculado por método destrutivo) e o volume de um sólido de revolução delimitado pela área de ocupação de folhas na planta, ou em uma parcela homogênea. Uma vantagem dessa abordagem seria a possibilidade de aplicação não só para planta isoladas, mas também para estimar um valor médio para cada linha de plantio e extrapolar esse valor para toda a área de um cultivo, levando em consideração o espaçamento e a densidade de plantas na área.

Diante disso, este trabalho objetivou propor um método indireto, não destrutivo, generalista e suficientemente preciso para a estimativa do IAF em cafeeiros através de modelos empíricos capazes de simular variações do volume de folhas na copa ou no dossel. Esse método visa atender demandas de tomadores de decisão por uma ferramenta para auxílio na condução e previsão de produtividade de cafeeiros, e de pesquisadores por uma forma rápida e precisa para exercícios de mudança de escalas. Para isso, foram analisados parâmetros em cafezais da variedade Mundo Novo e Catuaí nas cidades de Lavras e Três Pontas, ambas na região Sul de Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

Procedimentos amostrais

Para o desenvolvimento do modelo empírico, foram utilizadas 20 plantas de café (*Coffea arabica* L.) em fase produtiva, das variedades Mundo Novo e Catuaí, de diferentes idades, cultivadas na cidade de Lavras-MG, em áreas pertencentes à Universidade Federal de Lavras (UFLA). Foram escolhidas plantas ao acaso, sendo 10 plantas coletadas entre abril e setembro de 2010 e dez plantas coletadas entre janeiro e abril de 2011, buscando-se cobrir meses típicos das épocas seca e chuvosa, respectivamente.

As avaliações biométricas realizadas em cada planta são apresentadas na Figura 1. Foram realizadas medidas de altura da planta a partir do nível da saia (H), e quatro medidas de comprimento total de ramos plagiotrópicos (R) e desde o ortotrópico até o primeiro par de folhas (r), distribuídas entre o ramo mais baixo (saia), e o ápice da planta, totalizando cinco pontos de medidas de altura e comprimentos de ramos ao longo do perfil da planta. Após medições, procedeu-se a desfolha total da planta, a fim de obter-se o valor real do IAF.

Para a determinação do IAF, após desfolha completa, foi retirada uma amostra ao acaso de cerca de 50 folhas para o dimensionamento da área foliar e da massa de matéria seca. A área foliar da amostra de folhas (Aam. _{folha}) foi determinada através da relação entre comprimento (c), largura (l) e o fator de adequação 0,667 (Barros et al, 1973) (Equação 1). A massa de matéria seca da amostra de folhas (MSam.) e do total das folhas da planta (MSt.) foi determinada após as folhas permanecerem em estufa de circulação forçada de ar, a 75°C até peso constante.

$$Aam._{folha} = (c \times l) \times 0,667 \quad (1)$$

A área foliar total (At. _{folha}) de cada planta foi determinada pela relação entre o produto da área da amostra de folhas e da massa da matéria seca total, pela massa de matéria seca da amostra (Equação 2). O IAF foi calculado pela

relação entre a área foliar total e a área do terreno ocupada pela planta (Aterr.) (Equação 3). Para este cálculo levou-se em consideração o espaçamento de cada lavoura em que as diferentes plantas foram estudadas.

$$At_{\text{folha}} = (A_{\text{am. folha}} \times MSt.) \times MS_{\text{am.}}^{-1} \quad (2)$$

$$IAF = (At_{\text{folha}}) \times (A_{\text{terr.}})^{-1} \quad (3)$$

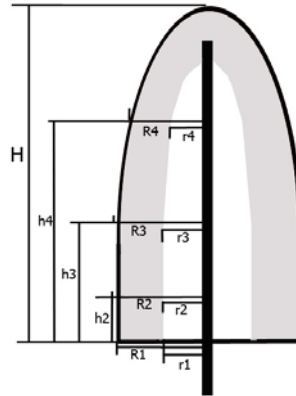


Figura 1 – Esquema representativo de um cafeeiro em corte transversal (perfil) e localização das características biométricas obtidas para estimativa do volume de folhas: H - altura da copa, Hr - altura da medida de cada r, HR - altura da medida de cada R, r - comprimento do ramo plagiotrópico a partir do ortotrópico até o primeiro par de folhas e R - comprimento total do ramo plagiotrópico.

Modelagem do IAF e análise de dados

Os valores de R e r, com suas respectivas alturas HR e Hr, de cada planta, foram utilizados para ajustar duas equações que descrevessem o perfil da copa do cafeeiro ocupado pelos ramos plagiotrópicos e a área da porção interna da planta sem folhas. Para normalizar a variação de altura entre as plantas, cada R e r foram divididos por H. Ao se integrar e gerar sólidos de revolução a partir das equações ajustadas, obteve-se o volume total da planta (VT) e o volume de ramos plagiotrópicos sem folhas (VSF). Para a determinação do volume de folhas (VF) de cada cafeeiro, foi obtida a diferença entre o volume total da planta e o volume da porção sem folhas, conforme a Equação 4. Esse procedimento de modelagem foi realizado para cada planta individualmente e para todas as plantas em conjunto, permitindo obter, para cada planta estudada, um valor de VF observado (equações ajustadas para a planta individualmente) e um VF simulado (equações ajustadas para o conjunto de 20 plantas utilizadas para descrever o perfil de cada planta individualmente).

$$VF = \int \text{Equação VT} - \int \text{Equação VSF} \quad (4)$$

Após, foi realizada uma análise de regressão entre os valores de VF, observados e simulados, com o valor de IAF observado. A equação obtida nessa análise de regressão foi utilizada para simular os valores de IAF de dois cafeeiros do município de Três Pontas, a fim de se verificar a validade do modelo pela sua precisão na determinação dos valores de IAF.

Todos os parâmetros das equações obtidas através das análises de regressão foram testados quanto a sua significância pelo teste t, a $P < 0,05$, e a validade das equações ajustadas foi verificada pelo teste F, a $P < 0,001$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de regressão em conjunto, das 20 plantas amostradas, entre altura (HR ou Hr - m) e o comprimento normalizado total ($R.H^{-1}$) e sem folhas ($r.H^{-1}$) dos ramos plagiotrópicos, resultou em equações polinomiais de terceiro grau (Equações 5 e 6) que, integradas, 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 que descreveu a forma externa do cafeeiro (Equação 5) apresentou maior coeficiente de determinação ($R^2 = 0,70$) em comparação ao obtido para a equação que descreveu a porção da copa onde não se observou a presença de folhas ($R^2 = 0,47$). No entanto, os parâmetros de ambas as equações foram significativos pelo teste t e as equações ajustadas foram válidas, apresentando valores de F de 74,2 e 21,05, respectivamente.

$$HR = 46,9.x^3 - 43,36.x^2 + 6.x + 2,4 \quad (5)$$

onde $x = R.H^{-1}$

$$Hr = 15,5.x^3 - 5,13.x^2 - 4,7.x + 2,3 \quad (6)$$

onde $x = r.H^{-1}$

Além da obtenção das equações gerais que descrevem a forma do perfil do conjunto dos cafeeiros estudados, foi realizado o cálculo das áreas de cada planta individualmente (Figura 3). As análises de regressão entre alturas e comprimentos normalizados individualmente, permitiram outros ajustes para descrever a forma das plantas, que variaram de equações polinomiais de primeiro a quinto grau, além de equações exponenciais. Esses diferentes ajustes obtidos para o conjunto das 20 plantas de café estudadas reflete a variedade de formas da copa que podem ocorrer em função das variedades cultivadas, espaçamento, idade, época do ano e formas de condução da lavoura, reafirmando que a representação cônica da copa de cafeeiros pode ser considerada como inapropriada, na maioria dos casos.

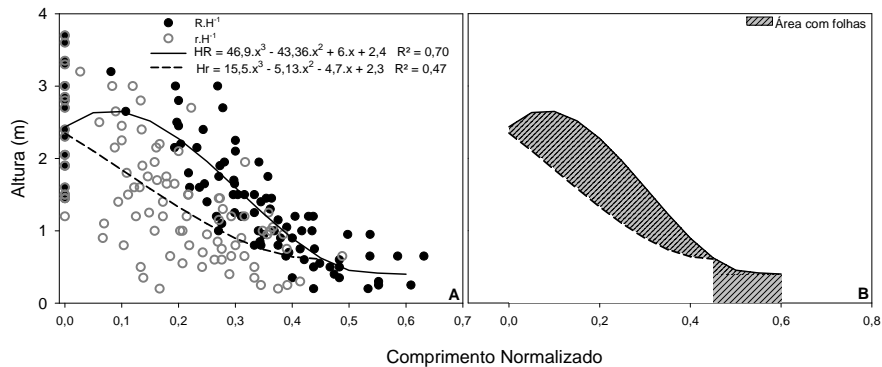


Figura 2 – A – Análise de regressão e coeficientes de determinação entre alturas (HR e Hr) e comprimento normalizado total ($R.H^{-1}$) e sem folhas ($r.H^{-1}$) dos ramos plagiotrópicos de vinte cafeeiros em Lavras, MG, durante o período amostral. Os parâmetros das equações ajustadas foram significativos pelo teste t a $P < 0,05$ e os ajustes considerados válidos pelo teste F a $P < 0,001$. B – Área obtida pela integral das curvas ajustadas em A, com destaque para a porção do perfil da planta ocupada por folhas.

Todas as equações ajustadas individualmente 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 todos os ajustes considerados válidos pelo teste F. Esses cálculos reafirmam a variedade de formas existente entre as plantas amostradas, que refletiram maiores diferenças nos volumes totais e da porção sem folhas após geração do sólido de revolução a partir das áreas observadas e simuladas (Figuras 3D, 4A e 4B). Contudo após a determinação do volume de folhas não foi possível verificar grandes variações entre aqueles observados e os simulados pelas equações gerais (Figura 4C). Sendo assim, pode-se dizer que as equações ajustadas para o conjunto de plantas possuem boa capacidade para simular o volume de folhas das plantas individuais e de conjunto de plantas.

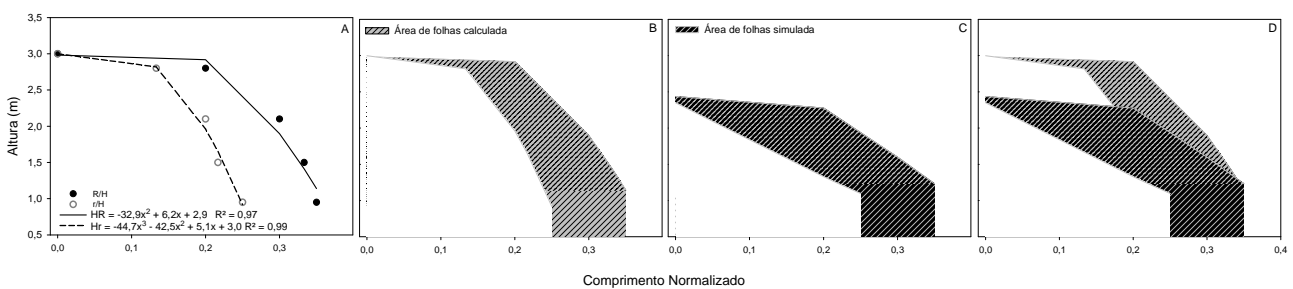


Figura 3 – Exemplo de áreas calculadas e simuladas para cada planta individualmente. A – Ajuste das equações entre alturas (HR e Hr) e comprimento normalizado total ($R.H^{-1}$) e sem folhas ($r.H^{-1}$) dos ramos plagiotrópicos de uma planta na época seca (agosto de 2010). Os parâmetros das equações ajustadas foram significativos pelo teste t a $P < 0,05$ e as equações válidas pelo teste F a $P < 0,001$. B – Integral das curvas ajustadas em A, com destaque para a porção do perfil da planta ocupada por folhas. C- Integral das curvas gerais com dados de entradas da planta do exemplo, destacando a área de folhas simulada. D – Comparação visual entre as áreas observada (claro) e simulada (escuro).

Essas equações podem ser então aplicadas para estimar o volume de folhas de uma planta, ou conjunto de plantas, de maneira bem generalista, mesmo considerando-se a variabilidade de formas entre variedades, manejos e formas de cultivo e épocas do ano. Para o cálculo do volume de folhas através dessas equações é necessário apenas obter medidas relativas à altura da copa ou do dossel (H - da saia ao ápice) e do comprimento total (R) e da porção sem folhas (r) do maior ramo plagiotrópico que formam a saia.

A análise de regressão entre o IAF e o volume de folhas (VF) permitiu verificar três níveis diferentes das variações de IAF em função de VF, permitindo propor três procedimentos para a obtenção dos modelos empíricos. Todos os procedimentos geraram equações válidas e com parâmetros significativos. O primeiro modelo resultou de um ajuste linear (Figura 5A), que descreveu o aumento constante do IAF com o aumento do volume da porção ocupada por folhas nas plantas. A equação gerada ($F = 99,24$) apresentou coeficiente de determinação de 0,72. Esse procedimento de

modelagem é coerente, pois mostra que o incremento em quantidade de folhas, para uma mesma área de terreno, elevaria o IAF.

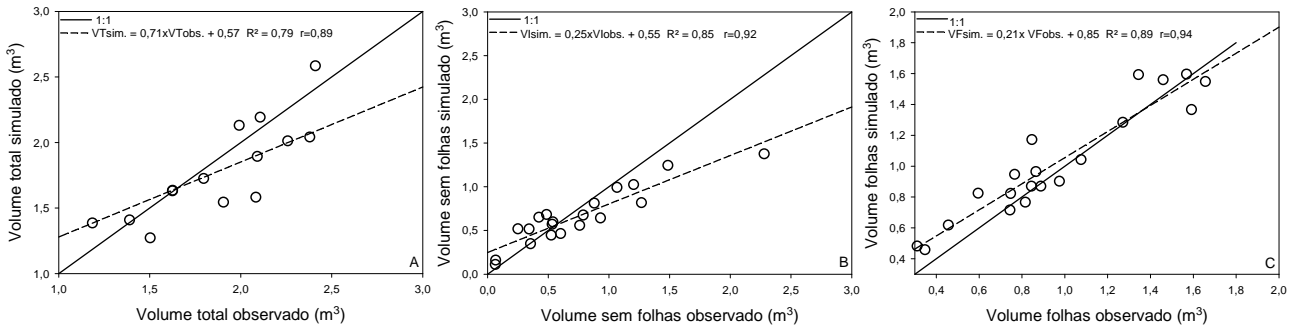


Figura 4 – Relações entre os volumes calculados e simulados de vinte cafeeiros em Lavras-MG, durante o período amostral. Os parâmetros das equações ajustadas foram significativos pelo teste t a $P < 0,05$. A – Volume total da planta, B – Volume da porção sem folhas, C – Volume de folhas. Quanto mais próximos os pontos se encontram da reta 1:1, mais a semelhança entre os valores observados e simulados para cada planta.

O segundo modelo resultou de um ajuste expolinear ($F = 145,64$), com maior coeficiente de determinação em relação ao primeiro ($R^2 = 0,89$), mas que descreveu o aumento do IAF em função do volume de forma bifásica. A primeira fase com aumento linear seguida por uma fase de estabilização, que significaria a paralisação do IAF com a elevação do volume de folhas.

A partir desse segundo modelo, foi possível observar a distribuição sazonal dos valores de IAF em função do volume (Figura 5B). Ao se separar os valores das duas estações (seca, de abril a setembro, e chuvosa, de outubro a março), foi possível propor um terceiro modelo, que descrevesse o incremento do IAF em função do aumento do volume de folhas por duas equações lineares, de forma diferente dependendo da 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.

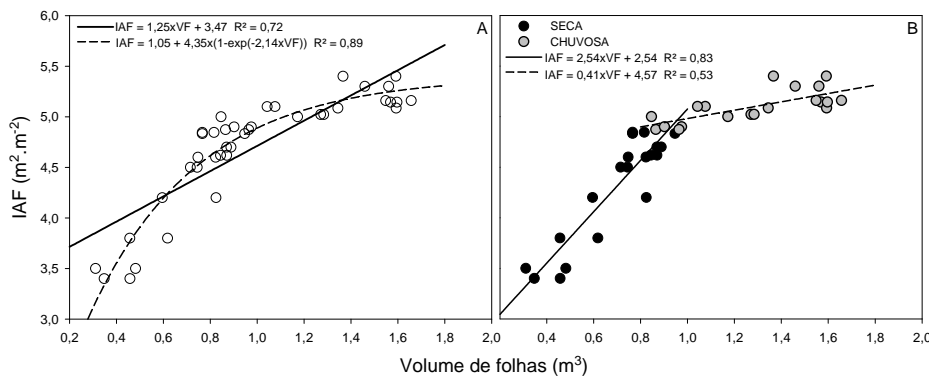


Figura 5 – Modelos ajustados para descrever o IAF em função do volume de folhas de cafeeiros. A – Modelos linear e Expolinear ajustados para vinte plantas, considerando-se os volumes observados para cada planta e os simulados pela equação geral apresentada na Figura 1. B – Modelos ajustados para as épocas seca (símbolos escuros) e chuvosa (símbolos claros).

O modelo expolinear indica que, após atingir um IAF com valor em torno de $5 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, o incremento nos valores de VF refletiriam em pouco aumento do IAF. Esse fato estaria relacionado, provavelmente, ao aumento do comprimento dos entrenós dos ramos plagiotrópicos, não significando necessariamente uma elevação no número de folhas dentro do perfil do cafeeiro. Essa hipótese é reforçada pelo terceiro modelo, que mostra a sazonalidade dos valores de IAF nos cafeeiros estudados. 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 menor peso na definição do IAF.

Para testar os modelos propostos pela análise de regressão entre IAF e VF, quanto à sua validade, eles foram aplicados em duas plantas do município de Três Pontas-MG, medidas em abril de 2011. De maneira geral, os modelos propostos foram eficientes em determinar o IAF das plantas, todos com erros de determinação menores que 10%, indicando que os três procedimentos podem ser utilizadas na determinação do IAF de cafeeiros de forma indireta e não destrutiva (Tabela 1). As maiores diferenças entre os dados observados e os simulados foram observadas para os modelos que consideraram a variação sazonal do IAF. Como era de se esperar, a aplicação do modelo obtido para a

época seca apresentou a menor capacidade de simulação dos dados observados de IAF observados no final da época chuvosa (abril de 2011).

Tabela 1 – Valores simulados de IAF em cafeeiros de Três Pontas-MG, obtidos a partir do volume de folhas e dos modelos apresentados na Figura 5. IAF OBS – Índice de Área Foliar Observado, VF entrada – Volume de folhas utilizado como dados de entrada para o modelo, Mod. Linear – IAF estimado pelo modelo com abordagem linear, Mod. Expolinar - IAF estimado pelo modelo com abordagem expolinar, Mod. Seca - IAF estimado pelo modelo obtido para a época seca, Mod. Chuva- IAF estimado pelo modelo obtido para a época chuvosa, % - diferença percentual do IAF estimado para o observado.

IAF OBS	VF entrada	IAF ESTIMADO							
		Mod. linear	%	Mod. expolinar	%	Mod. seca	%	Mod. Chuva	%
4.5	Simulado	4.6	0.3	4.7	4.0	4.9	8.5	4.7	4.5
4.7		4.6	2.3	4.8	6.1	5.0	9.1	4.9	8.6
4.5	Calculado	4.4	3.4	4.5	1.0	4.9	7.3	4.4	3.0
4.7		4.5	1.7	4.6	1.4	4.9	7.8	4.6	0.4

De uma maneira geral, ao se analisar outros trabalhos que propõem métodos de estimativa para área foliar de cafeeiros, é possível estabelecer uma comparação qualitativa desses diferentes métodos. Favarin et al. (2002), encontrou melhores resultados quando utilizou métodos não destrutivos baseados no volume e área lateral do dossel, sendo que estes mostraram fácil aplicação em condições de campo. Também encontrou bons resultados para métodos baseados em massa de matéria seca e número total de folhas, porém, estes apresentavam a desvantagem de maior possibilidade de erro na obtenção de dados. Marcon (2009) encontrou melhores resultados com modelos baseados na área lateral do dossel e nas medidas de altura e largura da planta. Esses métodos também se mostraram de fácil utilização e operacionalização em campo. Neste trabalho, em concordância com os anteriores, os métodos também se basearam em medidas físicas da planta e apresentaram resultados consistentes e com possibilidade de aplicação e facilidade de uso em condições de campo.

CONCLUSÕES

Após análise dos resultados apresentados podemos concluir que os modelos propostos apresentaram comportamentos adequados para a estimativa do IAF através de método não destrutivo. Essa estimativa se mostra 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 certo número de plantas estrategicamente escolhidas, pode-se estimar o IAF de uma população de plantas.

As equações propostas podem ser ainda testadas em um maior número de plantas e em diversas condições de manejo, com outras variedades, em diferentes épocas do ano e em outros locais de cultivo de cafeeiros, aumentando o banco de dados e trazendo maior confiabilidade aos modelos propostos. Além disso, pretende-se dar seqüência a esse estudo com enfoque para análises que considerem o comportamento bienal do cafeeiro e sua influência na variação do IAF.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG pelo apoio financeiro para participação no VII Simpósio de Pesquisa dos Cafês do Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, R.S.; MAESTRI, M.; VIEIRA, M.; BRAGA-FILHO, L.J. Determinação de área de folhas do café (*Coffea arabica* L. cv. 'Bourbon Amarelo'). **Revista Ceres**, v.20, p.44-52, 1973.
- CARUZZO, A; ROCHA, A. H. da. 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-RJ. **Anais...** Rio de Janeiro, 2000 .p. 2478-2485.
- FAVARIN, J.L.; DOURADO-NETO, D.; GARCIA Y GARCIA, A.; VILLA NOVA, N.A.; FAVRIN, M. da G.G.V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.6, p.769-773, 2002.
- LUNZ, A. M. P. Crescimento e produtividade do cafeeiro sombreado e a pleno sol. **Teses da Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, 2006. P 143.
- MARCON, M. Modelos matemáticos para a estimativa da área foliar de um cafeeiro por meio de análise de imagens/ Marlon Marcon – Lavras: UFLA, 2009. 79 p: il.

- 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.
- WATSON, D. J. The physiological basis of variation in yield. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 4, p. 101-144, 1952.