

ESTIMATIVA DA ÁREA FOLIAR DE PLANTAS DE LIMA ÁCIDA 'TAHITI' USANDO MÉTODOS NÃO-DESTRUTIVOS¹

MAURÍCIO ANTONIO COELHO FILHO², LUIZ ROBERTO ANGELOCCI³, MARCOS ROBERTO BAPTISTA VASCONCELOS⁴, EUGÊNIO FERREIRA COELHO⁵

RESUMO - O objetivo desse estudo foi avaliar métodos não-destrutivos para a determinação da área foliar de plantas jovens de lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tan.), em campo. Foram utilizadas informações de variáveis biométricas de 28 plantas jovens (0,07 a 1,44 m²) e imagens digitais da área frontal de cada planta (silhueta de copa). Essas variáveis foram correlacionadas com medidas diretas (contagem total de folhas x área foliar média). Como resultado, foi possível estimar a área foliar total das plantas (AFT) com base na equação: $AFT = 88,936 \times DI - 1,4017$ ($R^2=0,75$), em que DI representa o diâmetro do caule 5 cm abaixo do ponto em que a copa foi enxertada, e a silhueta da planta em m² (IM): $AFT = 2,4951 \times IM$ ($R^2=0,72$). A área foliar dos ramos secundários das plantas (AFR) pode ser estimada mediante uma equação exponencial envolvendo o diâmetro do ramo (DR): $AFR = 0,0144e^{277,02 \times DR}$ ($R^2=0,71$). Estas metodologias podem ser utilizadas quando o interesse for por um valor médio de área foliar no pomar, não sendo indicadas quando é necessária elevada precisão, pois os erros são elevados.

Termos para indexação: biometria, silhueta da planta, *Citrus latifolia* Tan.

LEAF AREA ESTIMATIVE OF YOUNG 'TAHITI' LIME USING NON-DESTRUCTIVE METHODS

ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate non-destructive methods of estimating total leaf area of young 'Tahiti' lime (*Citrus latifolia* Tan.) plants grown in the field. Information of biometrical variables of 28 young plants (0.07 to 1.44 m²) and digitized image of front area of each plant (plant silhouette) were used. These variables were correlated to the direct measurements (leaves and average leaf area counting). As a result, it was possible to estimate total plant leaf area (AFT) based upon the equation: $AFT = 88.936 \times DI - 1.4017$ ($R^2=0.75$), where DI stands for the trunk diameter taken 5 cm below the graft and the silhouette area in m² (IM): $AFT = 2.4951 \times IM$ ($R^2=0.72$). The leaf area of secondary branches (AFR) can be estimated by an exponential equation with the branch diameter (DR): $AFR = 0.0144e^{277.02 \times DR}$ ($R^2=0.71$). These methodologies can be used for estimation of a mean value of leaf area in the orchard and should not be indicated when high accuracy is necessary for the estimative, since the absolute mean errors are large.

Index terms: biometry, plant silhouette, *Citrus latifolia* Tan.

O conhecimento de métodos para determinação direta ou estimativa da área foliar tem grande importância em estudos que envolvem análise de crescimento em plantas, fotossíntese, propagação vegetativa, ataque de pragas e doenças (Lucchesi, 1984; Benincasa, 1988), taxa transpiratória ou taxa de produção associada à capacidade de crescimento, respostas fisiológicas a fatores como condução de plantas, podas, porta-enxertos, irrigação e fertilização (Bignami & Rossini, 1996).

Dentre os diferentes usos do conhecimento da área foliar de plantas, destaca-se a estimativa da transpiração, fundamental para o manejo da irrigação localizada em fruteiras. Isso porque muitos modelos climatológicos de estimativa de transpiração, que utilizam a área foliar da planta como variável de entrada, vêm demonstrando elevada concordância com a transpiração medida (Green et al., 1995; Angelocci et al., 1997; Green & Clothier, 1999; Coelho Filho et al., 2003a). Porém, um dos principais problemas para aplicação desses modelos é a dificuldade de determinação de área foliar, principalmente quando se tratam de espécies arbóreas.

Na determinação da área foliar (AF), podem ser utilizados métodos diretos e indiretos. Dentre os muitos métodos indiretos, existem os que se baseiam em medidas de radiação solar; apresentam a vantagem de não serem destrutivos, utilizando apenas a informação da fração de radiação transmitida que não sofreu atenuação pela estrutura do dossel vegetativo. Dentre os muitos aparelhos comercializados que utilizam modelos que envolvem a fração transmitida de radiação, destacam-se: sensores quânticos, LAI 2000, Demon, Ceptômetro, sensores utilizados em fotografias hemisféricas e respostas espectrais. Utilizando a fração de luz transmitida, Villa Nova et al. (2003) propuseram uma metodologia simplificada para a determinação do índice de área foliar (IAF) em plantios com coberturas contínuas, como seringal e AF, em árvores isoladas, utilizando um simples luxímetro (IAF-LUZ) com vantagem de ser um equipamento de baixo custo e de fácil manuseio. O primeiro, LAI 2000, é

amplamente empregado em estudos de estimativa de AF e IAF em diferentes culturas (Sommer & Lang, 1994; Villalobos et al., 1995; Stenberg, 1996; Herbert & Fownes, 1997; Cutini et al., 1998; López-Serrano et al., 2000; Barclay & Trofnow, 2000; Coelho Filho et al., 2003b), porém as hipóteses implícitas no modelo utilizado (Welles & Cohen, 1996) o impedem de ser aplicado para estimativa de área foliar de plantas isoladas com pequeno porte.

Os métodos diretos estão relacionados às medidas tomadas diretamente na planta, sendo muito importante, para a qualidade da medida, uma amostragem representativa, que será maior ou menor em função do tamanho e tipo de planta. Várias dificuldades ocorrem na determinação de área foliar em espécies arbóreas, uma das quais é o porte da árvore e o número de folhas de plantas adultas, sendo extremamente trabalhosa, quando não impraticáveis.

A escolha do método a ser utilizado depende do objetivo do trabalho, do grau de precisão desejado, do tamanho da amostra, da morfologia das folhas, dos equipamentos disponíveis, dos custos envolvidos e do tempo que poderá ser despendido. De maneira geral, os métodos mais precisos são os destrutivos, com a desvantagem de impedirem a continuidade dos estudos na mesma planta.

Muitas técnicas indiretas têm sido propostas para determinação não-destrutiva de área foliar, principalmente em espécies arbóreas, dentre as quais, as técnicas que visam a minimizar o esforço da amostragem, como a determinação da área foliar, relacionando-a com variáveis biométricas, como o diâmetro de tronco ou de ramos em macieira (Holland, 1968; Barlow, 1969; Palmer, 1987; Angelocci & Valancogne, 1993). Essa técnica, apesar de simplificada, envolve suposições, como uniformidade na densidade foliar da copa, que podem implicar grande erro, dependendo da cultura.

Bignami & Rossini (1996) utilizaram a técnica não-destrutiva, de análise por computador, de imagens fotográficas em branco e preto

¹ (Trabalho 046/2004). Recebido: 16/04/2004. Aceito para publicação: 21/01/2005.

² Embrapa Mandioca e Fruticultura, Bolsista RD CNPq. Rua Embrapa s/n, Caixa Postal 007. e-mail: macoelho@cnpmf.embrapa.br.

³ Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP, bolsista do CNPq. e-mail: lrangelo@esalq.usp.br.

⁴ Estudante de Agronomia ESALQ/USP, Departamento de Engenharia Rural. e-mail: mrvvasco@esalq.usp.br.

⁵ Embrapa Mandioca e Fruticultura, Bolsista do CNPq. e-mail: ecoelho@cnpmf.embrapa.br.

de árvores de avelã, a qual permitiu a determinação da área foliar e mostrou boa correlação com a área da silhueta da cobertura, do índice de área foliar tomado em relação à projeção da copa, além de estimativa de parâmetros de tamanho da copa (altura, largura, volume), concluindo que o método pode ser utilizado, desde que ajustado.

Com a finalidade de avaliar alternativas de metodologias indiretas não-destrutivas na estimativa de área foliar em plantas jovens de lima ácida 'Tahiti' que minimizassem os esforços de uma amostragem direta, foi realizado um trabalho na área experimental de Irrigação e Drenagem da ESALQ/USP, em pomar de lima ácida 'Tahiti', espaçado em 7 x 4 m e irrigado por gotejamento.

O pomar foi plantado em junho de 2001, e os estudos foram realizados em janeiro de 2002, 7 meses após o plantio. Escolheram-se 28 plantas com portes diferenciados, com área foliar total (AFT) variando de 0,07 a 1,44 m², nas quais foram avaliados métodos indiretos de estimativa de AFT.

Como método-padrão para testar os métodos de estimativa (indiretos), a área foliar de cada planta foi determinada diretamente, contando-se o número de folhas da mesma e amostrando-se 10% delas para a estimativa da área média das folhas. Essa média foi determinada pela medida do comprimento (C) e da maior largura (L) de cada folha dessa amostra, estimando-se a área de folha pela equação:

$$AF_{folha} = 0,72.C.L \quad (1)$$

O coeficiente 0,72 para lima ácida 'Tahiti' foi obtido por Coelho Filho et al. (2003b). Com o resultado da área de cada folha amostrada, calculou-se a área média das folhas da amostra ($AF_{média}$), que, multiplicada pelo número de folhas da planta, permitiu a estimativa da área foliar total (AFT).

A amostragem de 10% das folhas (AF_{10}) foi escolhida com base em estudo preliminar envolvendo 10 plantas, avaliando-se os erros promovidos ao medir-se 2,5%, 5%, 10%, 15% e 20% das folhas, considerando-se, também, o aspecto relacionado à viabilidade de execução das medidas em um número grande de plantas, sem a perda de qualidade nas estimativas. Os erros foram calculados pelas diferenças entre a área foliar total da planta (AFT) estimada ao se utilizar cada amostragem (utilizando $AF_{média}$) e a área foliar total (AF_{100}), que foi calculada medindo-se todas as folhas (100%) das plantas avaliadas (C e L), sendo o AFT o somatório da AF ($AF = C * L$).

Os métodos indiretos utilizados basearam-se em medidas de variáveis biométricas e estudo da silhueta das plantas com uso da análise de fotografias digitais.

Foram utilizados três variáveis biométricas: medidas do diâmetro do caule, cinco centímetros abaixo (DI) e acima (DS) do ponto em que a copa foi enxertada e medida do diâmetro dos ramos adjacentes ao enxertado (DR) (ramos secundários), a cinco centímetros após a ramificação. Com as medidas, foi realizada análise de regressão entre os valores dos diâmetros dos caules e dos ramos adjacentes com a área foliar, estabelecendo-se equações que melhor explicassem as relações.

Para o estudo envolvendo imagens, foram tiradas fotos frontais

de cada uma das plantas avaliadas com uma câmera fotográfica digital. A imagem digitalizada contendo uma escala (0,3 m), foi interpretada com a utilização do "software" Siarcs (Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo) (Crestana et al., 1994), obtendo-se a área de projeção frontal (silhueta) de cada planta (m²), sendo este valor correlacionado com a área foliar total da planta, e a relação representada por uma equação de estimativa.

Para a visualização da planta na foto digitalizada, foi colocado um fundo branco atrás de cada planta. As fotos foram tiradas em dias nublados, evitando-se o brilho excessivo que pudesse comprometer a qualidade, melhorando assim o contraste entre a imagem e o fundo branco (Figura 1).

O erro absoluto (EA) e erro médio absoluto (ERA) foram os índices utilizados na comparação das estimativas obtidas com cada método testado.

O erro absoluto foi calculado como:

$$EA = \left| \frac{AFT_i - AFP_i}{AFP_i} \right| \cdot 100 \quad (2)$$

sendo AFT_i a área foliar estimada com cada um dos métodos testados, e AFP_i a área foliar estimada por um método-padrão (AF 100). Como citado anteriormente, as medidas lineares de 100% das folhas das plantas (AF_{100}) foram utilizadas como padrão para o estudo que definiu a melhor amostragem para comparações envolvendo os métodos indiretos. As medidas de 10% das folhas (AF_{10}) foi referência no estudo envolvendo os métodos indiretos (silhueta e variáveis biométricas).

O erro médio absoluto foi calculado como:

$$ERA = \frac{1}{N_i} \sum \left| \frac{AFT_i - AFP_i}{AFP_i} \right| \cdot 100 \quad (3)$$

sendo AFT_i a área foliar total de uma planta estimada com base em uma metodologia indireta; AFP_i a área foliar total da planta estimada pela metodologia padrão (AF_{10}), e AFP a área foliar média das plantas estudadas, advinda da metodologia-padrão.

O método direto que envolve a contagem de folhas multiplicada por um valor médio da área foliar ($AF_{média}$) representativo da planta foi o que mais se aproximou dos resultados destrutivos considerados como referência em planta de lima ácida 'Tahiti' adulta (Coelho Filho et al., 2003b). Segundo Whitworth et al. (1992), essa metodologia é mais robusta, sendo menos sensível aos erros de medidas. Por isso, esse método foi considerado padrão no presente estudo, por não ser destrutivo e apresentar rápida resposta e ainda tornar possível a determinação em muitas plantas, em função de se tratarem de plantas jovens.

Para que o cálculo da área foliar com base na contagem de folhas seja confiável, é necessário que o valor da $AF_{média}$ determinada seja próximo do real, sendo esperada maior aproximação com o aumento do número de folhas medidas. Os resultados da comparação entre a área

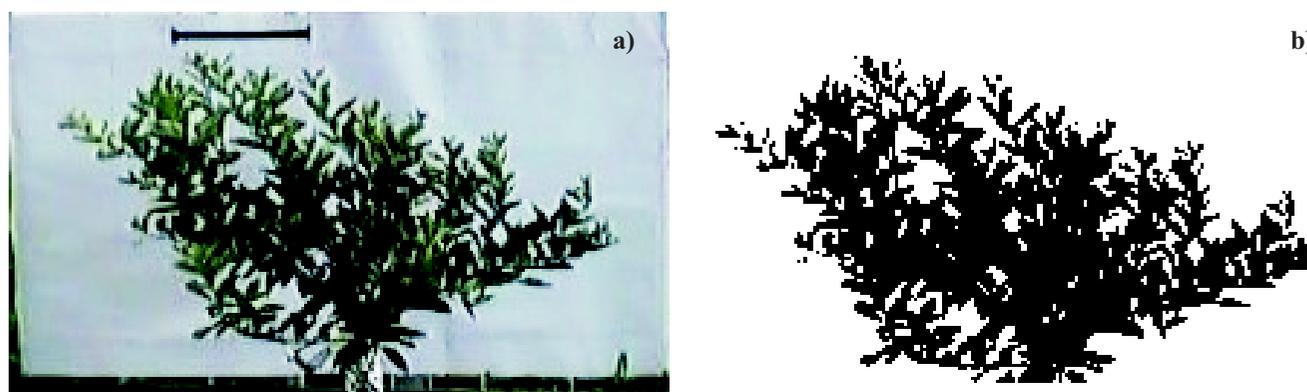


FIGURA 1 - Foto de uma planta avaliada (a) e a respectiva silhueta (b) obtida com o programa (software), Siarcs.

TABELA 1 - Comparação da área foliar total (AFT_{100}), em m^2 , de 10 plantas, com as estimativas resultantes da $AF_{média}$ calculado com amostras de 2,5 ($AF_{2,5}$), 5 (AF_5), 10 (AF_{10}), 15 (AF_{15}) e 20% (AF_{20}) de folhas. EA (%) representa os erros absolutos da estimativa com cada amostragem em relação à AF_{100} e $AF_{média}$ (cm^2). Piracicaba, 2002.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
N° folha	61	64	77	170	220	423	383	352	606	670
$AF_{média}$	12,76	17,63	23,00	23,97	25,37	12,93	13,88	17,69	14,03	12,87
AFT_{100}	0,08	0,11	0,18	0,41	0,47	0,55	0,53	0,62	0,85	0,86
AFT_{20}	0,08	0,12	0,18	0,39	0,46	0,56	0,52	0,62	0,81	0,89
EA_{20}	1,68	2,32	1,73	4,20	1,61	2,30	2,38	0,30	4,30	3,63
AFT_{15}	0,09	0,12	0,19	0,41	0,49	0,53	0,51	0,63	0,80	0,85
EA_{15}	16,91	3,76	4,75	0,18	3,87	3,65	4,07	0,69	5,47	0,99
AFT_{10}	0,06	0,11	0,19	0,41	0,47	0,55	0,52	0,65	0,84	0,9
EA_{10}	16,88	3,89	6,63	1,20	0,80	1,31	1,57	3,78	1,73	4,57
AFT_5	0,06	0,12	0,20	0,47	0,47	0,54	4,8	0,65	0,87	0,86
EA_5	24,84	4,16	12,20	14,37	0,22	1,64	10,38	4,43	2,06	0,31
$AFT_{2,5}$	0,05	0,12	0,22	0,37	0,37	0,53	0,53	0,62	0,73	0,77
$EA_{2,5}$	32,94	5,03	20,90	8,43	21,90	4,00	0,71	0,22	14,59	10,37

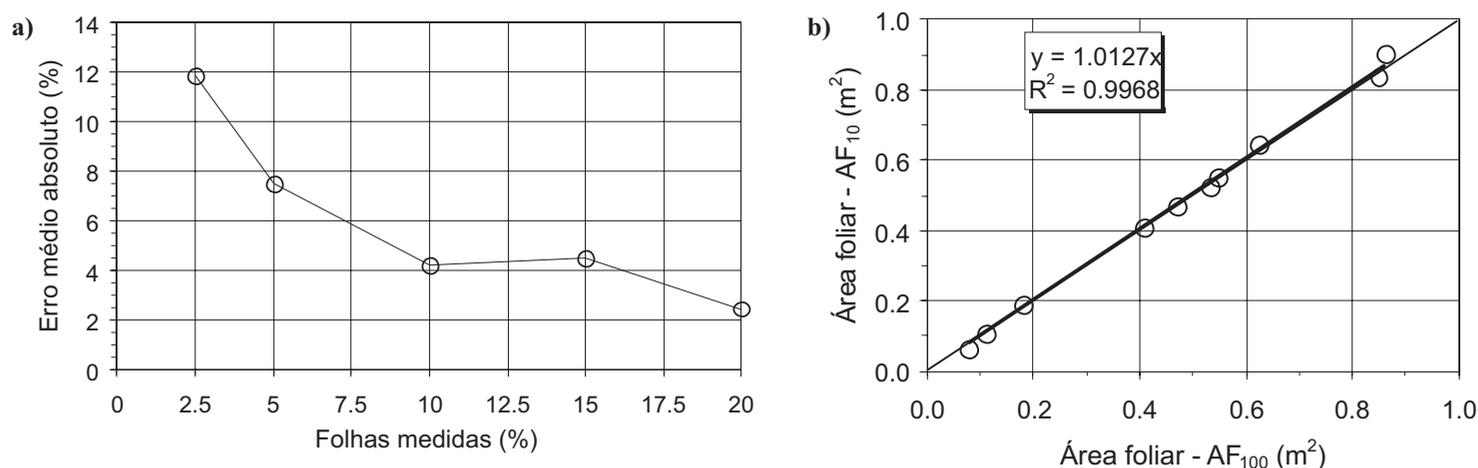


FIGURA 2 – a) erros absolutos médios para cada amostragem utilizada no cálculo da $AF_{média}$; b) relação entre AFT estimada pela utilização de um valor de $AF_{média}$ calculada pela média de 10% das folhas contadas (AF_{10}) e AFT determinada pelo somatório da AF de todas as folhas da planta AF_{100} .

foliar determinada a partir de um valor de $AF_{média}$ resultante de medidas lineares, em 2,5%, 5%, 10%, 15%, 20% e 100% do total de folhas das plantas, são apresentados na Tabela 1. Corroborando o comentário anterior, existiu uma tendência de aumento do erro com a diminuição do número de folhas amostradas (Figura 2a). Observa-se que o erro médio absoluto, obtido a partir do erro absoluto (EA) da Tabela 1, foi máximo (12%) quando foram realizadas medidas em apenas 2,5% das folhas ($AF_{2,5}$) e mínimo (2,5%) quando 20% das folhas foram medidas (AF_{20}).

Apesar de o erro médio absoluto ser relativamente pequeno para $AF_{2,5}$, verifica-se que pode chegar até 32,9% quando se analisa apenas a planta 1 (Tabela 1), refletindo nesse caso específico o pequeno número de folhas medidas (2 folhas) em função do pequeno número de folhas da planta (61 folhas). Com o aumento do número de folhas por plantas, a tendência foi de diminuição dos erros, considerando todas as amostragens. Esse resultado justifica as pequenas diferenças encontradas por Coelho Filho et al. (2003), que utilizaram uma amostragem de 2% para o cálculo da $AF_{média}$ numa planta adulta de lima ácida 'Tahiti', possuindo um total de 90.483 folhas.

Ainda na Figura 2a, verifica-se que o erro médio absoluto para AF_{10} foi baixo ($\approx 4\%$), ficando inclusive abaixo do encontrado para AF_{15} (4,5%). Apesar de o valor do erro absoluto médio encontrado também estar próximo do obtido por AF_5 (7,5%), este pareceu ser mais suscetível ao erro, como pode ser verificado nos valores de EA encontrados com AF_5 nas plantas 1; 3; 4 e 7 (Tabela 1), que são muito superiores aos do AF_{10} . Por este motivo, optou-se por utilizar AF_{10} como padrão.

Os valores de $AF_{média}$ foram variáveis entre plantas, refletindo as intensas brotações e a expansão foliar ao longo do tempo. Porém, nas plantas maiores, quando existe maior percentual de folhas expandidas (>383 folhas), a tendência foi de o valor de $AF_{média}$ ficar em média próximo

de $14 cm^2$, sendo um pouco inferior à média encontrada para plantas adultas por Coelho Filho et al. (2003b) ($16 cm^2$). Essa variação pode refletir o maior auto-sombreamento de folhas localizadas em plantas adultas e, conseqüentemente, o maior crescimento das mesmas pela menor exposição à radiação solar.

Na Figura 2b, a relação entre a área foliar total calculada a partir do somatório da AF após medidas lineares em todas as folhas (AFT_{100}), com a área foliar calculada com o uso da $AF_{média}$ resultante de medidas em apenas 10% das folhas (AFT_{10}), mostra perfeita concordância, corroborando os pequenos erros para essa amostragem na Tabela 1. Verifica-se um excelente ajuste dos pontos à reta, com o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9968$) indicando elevada concordância. Pelo coeficiente angular, foi observada, em média, uma leve tendência de superestimativa de AFT_{10} em 1,3%. Os resultados comparativos nas dez plantas asseguram que essa metodologia é adequada, como padrão, no estudo.

A Figura 3 contém os gráficos de correlação com as respectivas equações de regressão das relações entre as variáveis estudadas (diâmetro do caule e silhueta) e a área foliar das plantas. De maneira geral, todas as equações de regressão explicam ao redor de 70% da variação da variável dependente, sendo significativas ao nível de 1% de probabilidade, não sendo possível, a partir desses resultados (R^2), identificar o melhor método entre os estudados.

Com relação ao estudo envolvendo diâmetro do caule (DS e DI) (Figuras 3a e 3b), verifica-se que ocorreu maior dispersão dos pontos ($< R^2$) em relação à reta quando se utiliza o DS na estimativa da área foliar total comparado ao DI. Uma equação exponencial descreveu a relação entre os ramos secundários e a área foliar dos ramos (Figura 3c). Nesse caso, fica visível que o ajuste é menos preciso com o aumento do diâmetro

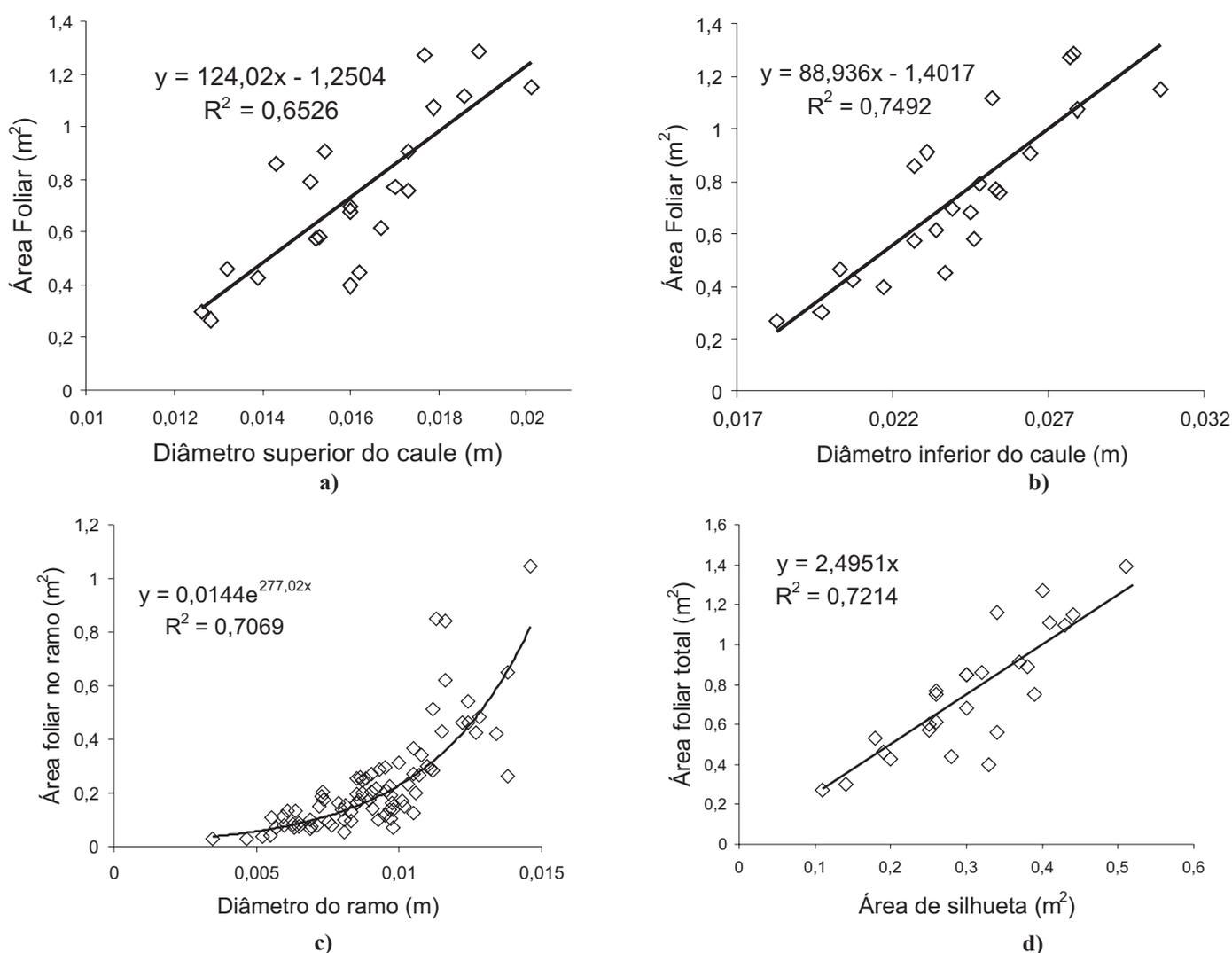


FIGURA 3 - Relação entre área foliar total (AFT) de plantas de lima ácida 'Tahiti' e o diâmetro do ramo superior ao enxerto (a), diâmetro do ramo inferior ao enxerto (b) e área da silhueta da planta (IM) (d). Relação entre área foliar total do ramo e o diâmetro dos ramos adjacentes ao enxertado (c).

do ramo. Os erros para essa relação foram maiores comparados aos encontrados para o estudo anterior (DS e DI) (Tabela 2), sendo mais indicada a utilização das medidas tomadas acima e abaixo da enxertia, em função dos melhores resultados e de ser relativamente mais fácil de realizar.

A relação entre a área da silhueta e a área foliar total (Figura 3d), obtidas a partir de imagens digitais, foi descrita por uma equação linear na qual se forçou a passagem no zero, assim como realizado por Bignami & Rossini (1996). Esse ajuste é plenamente justificável pelo fato de que, quando a silhueta é zero, a área foliar das plantas é praticamente nula. Como resultado, foi verificado um coeficiente angular ou de ajuste de 2,4951, ou seja, para o porte das plantas estudadas, a silhueta (IM) correspondeu a 40% da área foliar total da planta. É de se esperar que essa relação mude com o crescimento da planta, com a diminuição da porosidade da copa e com o conseqüente aumento da densidade de

folhas (m² de folha . m⁻³ de copa). Bignami & Rossini (1996) utilizaram silhuetas obtidas em imagens preto e branco em plantas jovens de avelã, verificando mudança na relação, apesar de existir uma correlação linear significativa entre imagem e AFT.

Ao se comparar a média da área foliar obtida pelas metodologias indiretas com as estimativas obtidas com AF₁₀, observam-se erros absolutos (EA) pequenos, sendo levemente inferiores para a área foliar estimada a partir de medidas de diâmetro acima e abaixo do enxerto (1,65%). Os erros foram de 2,95% quando se estimou AF a partir da imagem digital e de 6,99% com o diâmetro de ramos secundários (Tabela 2). Ocorreu um aumento dos erros, quando se utilizou o erro médio absoluto, sendo ao redor de 20% para IM, DS e DI, e ao redor de 30% ao utilizar o DR (Tabela 2), indicando que os métodos testados são viáveis para estudos nos quais se objetiva valor médio de área foliar em um pomar. Para casos em que se exija elevada precisão, os métodos não são

TABELA 2 - Valores médios, máximos e mínimos de área foliar de plantas de lima ácida 'Tahiti' (AFT) estimados com base na silhueta da planta (IM), diâmetro do caule inferior ao exerto (DI), superior ao enxerto (DS); e de área foliar de ramos secundários estimados com o diâmetro destes ramos (DR). Erro absoluto das médias observadas (EA), erros médios absolutos (ERA) e R² da regressão entre valores estimados e medidos.

	AFT (m ²)	IM (m ²)	EA (%)	ERA (%)	DI (m)	EA (%)	ERA (%)	DS (m)	EA (%)	ERA (%)	AFR (m ²)	DR (m ²)	EA (%)	ERA (%)
Média	0,73	0,75	2,95	19	0,74	1,65	18	0,74	1,64	21	0,23	0,21	6,99	34
Máximo	1,27	1,10			1,32			1,24			1,05	0,82		
Mínimo	0,27	0,27			0,23			0,31			0,03	0,04		
R ²		0,72			0,65			0,75				0,70		

* sendo AFT a área foliar total média das plantas (m²), calculada pela amostragem de 10% das folhas (AF₁₀); IM a área foliar total média das plantas (m²), calculada a partir da silhueta da copa; DI a área foliar total média das plantas (m²), calculada a partir do diâmetro do caule inferior ao enxerto; DS a área foliar total média das plantas (m²) calculada a partir do diâmetro do caule superior ao enxerto; DR a área foliar total média das plantas (m²), calculada a partir do diâmetro dos ramos secundários.

indicados para plantas de lima ácida 'Tahiti', pois os erros médios absolutos foram elevados (18 a 34%).

Os resultados encontrados indicam a viabilidade de estimativa de área foliar de maneira simples e rápida no campo utilizando variáveis biométricas (diâmetro de caule e ramos) ou silhueta da copa, tendo como vantagens a simplicidade na obtenção de medidas e rapidez de análise, possibilitando maior repetição de medidas e, pelo fato de não ser destrutivo, permitir o estudo temporal do crescimento da planta no campo. Este fatos podem ser aplicados em estudos comparativos, em trabalhos que não necessitem de elevada precisão dos resultados, ou no manejo de irrigação, quando se deseja um valor médio de área foliar, com a finalidade de se aplicar uma lâmina de água média representativa do pomar ou de uma região específica. Salienta-se, apenas, que as relações aqui encontradas referem-se a um estudo com plantas cuja área foliar variou de 0,07 a 1,4 m², sendo esperado que essas relações mudem para plantas maiores e que possuam morfologia diferente.

A utilização de métodos indiretos envolvendo a transmissão da radiação solar para medida de área foliar de plantas analisadas individualmente, como realizado por Coelho Filho et al. (2003) e Villa Nova et al. (2003) em plantas adultas de citros, não pode ser aplicada em plantas pequenas de citros, pois as hipóteses básicas dos modelos não são satisfeitas. Sendo assim, até a planta atingir um tamanho apropriado para estudos envolvendo métodos fundamentados na transmissão de luz, como alternativa metodológica, é necessário viabilizar a aplicabilidade de métodos indiretos, como os aqui apresentados, ou calibração dos mesmos, para plantas possuindo densidades foliares diferenciadas, que sirvam para estimar a AFT ao longo do crescimento das plantas de lima ácida 'Tahiti'.

Quando o objetivo for um valor médio de área foliar, os métodos indiretos envolvendo medidas de diâmetro de caule e de ramos e imagem da silhueta podem ser utilizados como alternativa metodológica em plantas jovens de lima ácida 'Tahiti'.

Caso se faça necessária precisão, os métodos indiretos testados não são indicados em função de os erros médios absolutos variarem de 18 a 34%.

REFERÊNCIAS

- ANGELOCCI, L.R.; VALANCOGNE, C. Leaf area and water flux in apple trees. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 67, n. 2, p. 299-307, 1993.
- ANGELOCCI, L.R.; VALANCOGNE, C.; VILLA NOVA, N.A.; PEREIRA, A.R. Relações entre fluxo de seiva de macieiras em pomar irrigado, área foliar e evapotranspiração de referência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba, 1997. **Anais**. Piracicaba: SBA, 1997. p. 716-718.
- BARCLAY, H.J.; TROFMOW, J.A. Relationship of readings from the LI-COR canopy analyzer to total one-sided leaf area index and stand structure in immature Douglas-fir. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.132, p. 121-126, 2000.
- BARLOW, H.W.B. The relation of leaf area to stem cross section. **Report of East Malling Research Station for 1968**, p.117-119, 1969.
- BENINCASA, M.M.P. **Análise do crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42p.
- BIGNAMI, C.; ROSSINI, F. Image analysis of leaf area index and plant size of young hazelnut plants. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 71, n. 1, p. 113-121, 1996.
- COELHO FILHO, M.A.; ANGELOCCI, L.R.; COELHO, E.F.; CAMPECHE, L.F.S.M.; ROJAS, J.S.D.; FOLEGATTI, M.V. Relações entre a transpiração máxima, área foliar e evapotranspiração de referência em plantas de lima ácida 'Tahiti'. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBEA, 2003a. CD-ROM.
- COELHO FILHO, M.A.; ANGELOCCI, L.R.; VILLA NOVA, N.A.; COELHO, E.F. Avaliação de métodos diretos e indiretos na estimativa de área foliar em árvores de lima ácida 'Tahiti'. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13., 2003, Juazeiro. **Anais...** Juazeiro: ABID, 2003b. CD-ROM.
- CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M.F.; JORGE, L.A.C.; RALISCH, R.; TOZZI, C.L.; TORRE, A.; VAZ, C.M.P. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.18, n.3, p.365-371, 1994.
- CUTINI, A.; MATTEUCCI, G.; MUGNOZZA, G.S. Estimation of leaf area index with the Li-Cor LAI 2000 in deciduous forests. **Forest Ecology and Management**, Zürich, v.105, p.55-65, 1998.
- GREEN, S.; CLOTHIER, B. The root zone dynamics of water uptake by a mature apple tree. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 206, p. 61-77, 1999.
- GREEN, S.R.; McNAUGHTON, K.G.; GREER, D.H.; McLEOD, D.J. Measurement of the increase par and net all-wave radiation absorption on apple tree caused by applying a reflective ground covering. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 76, p. 163-183, 1995.
- HERBERT, D.A.; FOWNES, J.H. Effects of leaf aggregation in broad-leaf canopy on estimates of leaf area index by the gap-fraction method. **Forest Ecology and Management**, Zürich, v. 97, p. 277-282, 1997.
- HOLLAND, D.A. The estimation of total leaf area on tree. **Annual Report of the East Malling Research Station for 1967**, p.101-107, 1968.
- LÓPEZ-SERRANO, F.R.; CASTILLEJOS, T.L.; MILLÁN, J.M. Lai estimation of natural pine forest using a non-standard sampling technique. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 101, p. 95-111, 2000.
- LUCCHESI, A.A. Utilização prática da análise de crescimento vegetal. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v.41, p.181-202, 1984.
- PALMER, J.W. The measurements leaf area on apple tree. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, n.62, p.5-10, 1987.
- SOMMER, K.J.; LANG, A.R.G. Comparative analysis of two indirect methods of measuring leaf area index as applied to minimal and spur pruned grape vines. **Australia Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v.21, p.197-206, 1994.
- STENBERG, P. Correcting LAI-200 estimates for the clumping of needles in shoots of conifers. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 79, p.1-8, 1996.
- VILLA NOVA, N.A.; COELHO FILHO, M.A.; ANGELOCCI, L.R.; MARIN, F.R.; RIGHI, C.A. Determinação da área foliar de árvores adultas de lima ácida 'Tahiti' e do índice de área foliar de um seringal com luxímetro de baixo custo. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13., 2003, Juazeiro. **Anais...** Juazeiro: ABID, 2003. CD-ROM.
- VILLALOBOS, F.J.; ORGAZ, F.; MATEOS, L. Non-destructive measurement of leaf area in olive (*Olea europaea*) trees using a gap inversion method. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.73, p.29-42, 1995.
- WELLES, J.M.; COHEN, S. Canopy structure measurement by gap fraction analysis using commercial instrumentation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 47, n. 302, p. 1335-1342, 1996.
- WHITWORTH, J.L.; MAUROMOUSTAKOS, A.; SMITH, M.V. A nondestructive method for estimation of leaf area in pecan. **Hortscience**, Alexandria, v. 7, p. 851, 1992.