

DESEMPENHO ENTRE MÉTODOS DE MEDIDA DE ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR NA CULTURA DA SOJA

Álex Júnior Zanchet Bordignon¹, Alexandre Ortega Gonçalves², Evandro Henrique Figueiredo Moura da Silva³, Fábio Ricardo Marin⁴

¹Graduando em Engenharia Agrônômica, ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo, alex.bordignon@usp.br; ²Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo, alexandre.ortega@embrapa.br, ³Mestrando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo, ehfmsilva@usp.br; ⁴Professor Associado do Departamento de Engenharia de Biosistemas, ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo, fabio.marin@usp.br.

RESUMO: A cultura da soja ocupa atualmente todas as regiões do Brasil, sendo sujeita às intempéries climáticas de cada região. Recorre-se à modelagem agrícola para projetar o comportamento das lavouras possibilitando tomada de decisão antecipada. A qualidade dos dados pode distinguir uma decisão em assertiva ou errônea. Na tentativa de contribuir na confiabilidade dos dados, este trabalho empenhou-se na variável IAF (Índice de área foliar), devido sua relevância na produtividade e evapotranspiração. Buscou-se testar a eficiência do método de estimativa de IAF em relação ao método direto, por meio do aparelho LAI-2200C. Foram adotados os indicadores estatísticos: coeficiente de determinação, raiz do erro médio quadrático e índice de concordância de Willmott; que em conjunto, permitem testar precisão e acurácia. O resultado dos testes revelou correlação satisfatória entre os métodos. A altura da planta foi, então, utilizada, através da regressão linear como estratégia de melhorar a correlação. Os indicadores, Willmott e raiz do erro médio quadrático não sofreram alterações significativas, o coeficiente de determinação, entretanto, mostrou-se bastante satisfatório sendo elevado para 0,96. É provável que não houvesse maiores incrementos nos demais testes devido à forma de obtenção de dados pelo aparelho, a qual não faz distinção entre folhas, ramos e tecidos mortos. Fato que sujeita a curva a muitas interferências justificando a acurácia inferior à precisão. Recomenda-se realização de trabalhos similares, tanto na cultura da soja quanto em outras culturas, a fim de entender melhor as interferências, e, para que se busquem alternativas para contorná-las.

PALAVRAS-CHAVE: IAF, *Glycine Max*, Modelagem de culturas.

PERFORMANCE AMONG METHODS OF MEASUREMENT OF FOLIAR AREA INDEX IN SOYBEAN CULTURE

ABSTRACT: Regarding the current climatic pressure, the soybean crop, nowadays spread all over Brazil, suffers the effects of bad weather of each region. Agricultural modeling is used to project the behavior of crops allowing early decision making. However, for a good decision-making it is necessary that the data be accurate. In an attempt to contribute to the reliability of the data, this work focused on the LAI variable, due to its relevance in productivity and evapotranspiration. It was sought to test the efficiency of the LAI estimation method by LAI-2200C in relation to the measured method. For this purpose we used the tests, coefficient of determination, root mean square error and Willmott concordance index, which together allow to test precision and

accuracy. The results of the tests revealed a satisfactory correlation between the methods. The height was then used to further improve the correlation. The statistical tests of Willmot and root mean square error did not change significantly, the coefficient of determination however, was quite satisfactory being raised to 0.96. It is probable that there were no greater increases in the other tests due to the way the apparatus obtains the data, which does not distinguish between leaves, branches and dead tissues. A fact that subjects the curve to many interferences and justifies the accuracy less than the precision. It is recommended to carry out similar work, both in soybean culture and in other crops, in order to better understand the interferences, and seek solutions to circumvent them.

KEY-WORDS: LAI, *Glycine max*, Crop Model.

INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max* [L.]) possui a maior área plantada no Brasil, sendo distribuída desde latitudes de 28° no Rio Grande do Sul até 0° em Roraima. Essa distribuição espacial, junto com a tendência de uso de cultivares precoces eleva a suscetibilidade da cultura às instabilidades do clima. Ao mesmo tempo, o nível de tecnificação da cultura chegou a um patamar, que modelos de previsão de safra estão ganhando mercado como forma de prever o comportamento da cultura e melhorar o planejamento das empresas. Nesta direção a modelagem da cultura em função do clima tornou-se fundamental (PELLEGRINO et al, 2007; MARIN e NASSIF, 2013).

Modelos têm como vantagem a rapidez de resultados e o baixo custo do método (CORRÊA et al, 2011). Entretanto, para serem precisos, necessitam ser aferidos com dados de ensaios reais. Dentre as características relevantes a serem medidas está o Índice de Área Foliar (IAF), sendo razão da área foliar levando-se em conta apenas uma das faces das folhas e a área do terreno ocupada (WATSON, 1947; MÜLLER, 1981).

Os meios de determinação do IAF podem ser divididos em dois grupos: os métodos diretos (como o uso de planímetro, integradores de área e relações específicas) e os métodos indiretos (como massa seca e equipamentos eletrônicos). Alguns modelos também foram desenvolvidos como alternativa de determinação do IAF no milho (FANCELLI e DOURADO-NETO, 1999; MANFRON et al, 2003; MÜLLER et al, 2005). Independente da escolha do método, o erro deve ser mínimo, pois a interpretação dos fenômenos envolvidos no sistema depende da exatidão obtida na sua descrição (CORRÊA, 2008). Assim, uma das formas de medir a eficácia dos métodos e discutir possíveis fontes de erro é compará-los entre si.

Para a avaliação desses modelos a adoção do coeficiente de determinação (R^2) como único critério de definição da qualidade do método é pouco razoável, uma vez que esse método não estabelece o tipo e a magnitude das diferenças entre um valor padrão e um valor previsto por modelos de estimativa (BARROS et al., 2009). Assim, a análise dos índices de concordância de Willmont (d), e a raiz do erro médio quadrático (REMQ) auxiliam a interpretação dos resultados.

Esse trabalho objetivou-se em avaliar o desempenho do método de estimativa de IAF através do aparelho eletrônico LAI-2200C em relação ao método direto de medida.

MATERIAL E MÉTODOS

A avaliação foi conduzida no município de Piracicaba-SP, na área de pesquisa do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura

“Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), situado na Fazenda Areão (latitude 22° 41’ 53’’ S, longitude 47° 38’ 35’’ W e altitude de 538 m). Para determinar a variação temporal do Índice de Área Foliar e estimá-lo durante o ciclo da cultura, foi realizado experimento com oito repetições e dois tratamentos. O primeiro tratamento foi denominado de medida direta e consistiu em medições biométricas de área foliar e altura da planta. A área foliar foi obtida através do software “Quant”, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (Oliveira et al, 2007), que realizaram o cálculo de área a partir de folhas de soja coletadas e digitalizadas. O segundo tratamento, aqui denominado de medida indireta, consistiu na estimativa do IAF através do equipamento eletrônico LAI-2200C (LAI-2200C, Li-Cor®).

O experimento foi em uma lavoura de soja com o material genético BRS399. Com o objetivo de determinar a variação temporal do IAF para a calibração do método, os dados foram coletados ao longo do ciclo da cultura e cada repetição foi constituída de uma área de 1,0 m de comprimento e 0,45 m de largura (espaçamento entrelinhas) e uma população de 444 mil plantas por hectare. Para o método direto, coletaram-se cinco plantas de soja, na área delimitada, para amostrar o dossel e a área de projeção no solo foi determinada através da relação entre o espaçamento de plantio e a população de plantas. Nesse tratamento o IAF foi determinado pela razão entre a área foliar e a área de projeção do dossel. Para o segundo tratamento, com o uso do medidor eletrônico, coletou-se 1 ponto denominado *above* (acima do dossel) e 4 pontos *bellow* (abaixo do dossel).

A adubação foi realizada no sulco de plantio, com 196 kg.ha⁻¹ de superfosfato simples (18% P₂O₅, 16% Ca, 8% S, Yara), sistema de plantio adotado foi o convencional. Utilizou-se o sistema de irrigação por aspersão do tipo pivô central com manejo de irrigação por meio de balanço hídrico da cultura com dados obtidos em uma estação agrometeorológica automática instalada na mesma área experimental.

Os dados obtidos pelo LAI-2200C foram comparados estatisticamente aos obtidos pela medição direta de IAF para determinação de eficiência de modelagem. Aplicou-se os testes estatísticos R² (Coeficiente de determinação) (Equação 1), DMA (desvio médio absoluto, Equação 2), RQME (raiz do erro quadrático médio, (Equação 3), índice de concordância D-Wilmott (Equação 4).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2} y_i \quad (1)$$

em que R² é o coeficiente de determinação, y_i o valor observado, \hat{y}_i o valor simulado de y_i, \bar{y} a média dos valores observados.

$$REM Q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

em que REMQ é a raiz do erro médio quadrático, y_i o valor observado, \bar{y} a média dos valores observados n o número de períodos.

$$D = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|M_i - \bar{M}| + |E_i - \bar{M}|)^2} \right] \quad (3)$$

em que D é o índice de concordância de Willmott, M_i é o valor medido de ordem i, E_i é o valor estimado de ordem i, \bar{M} é a média dos valores medidos, e n o número dos valores medidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra os IAF estimados (LAI) pelo equipamento LAI-2200C em relação aos IAF medidos ao longo do ciclo da cultura da soja. Observa-se, nessa figura, que o IAF quando estimado pelo medidor eletrônico apresentou pouca acurácia, uma vez que os pontos estão distantes da linha 1:1. O mesmo comportamento foi observado no indicador estatístico REQM, representado na tabela 1, que pode ser utilizado como um indicador de acurácia e eficiência de modelagem (WILMOTT, 1982; MENTZER e BIENSTOCK, 1998). Com relação a indicadores de precisão, como o coeficiente de determinação R^2 , o valor calculado apresentou um bom desempenho e é demonstrado na Tabela 1. Este coeficiente, no entanto, segundo Legates et al (1999) tem como limitação a padronização das diferenças entre as médias e variâncias observadas e previstas, uma vez que só avalia relações lineares entre as variáveis.

LAI x IAF

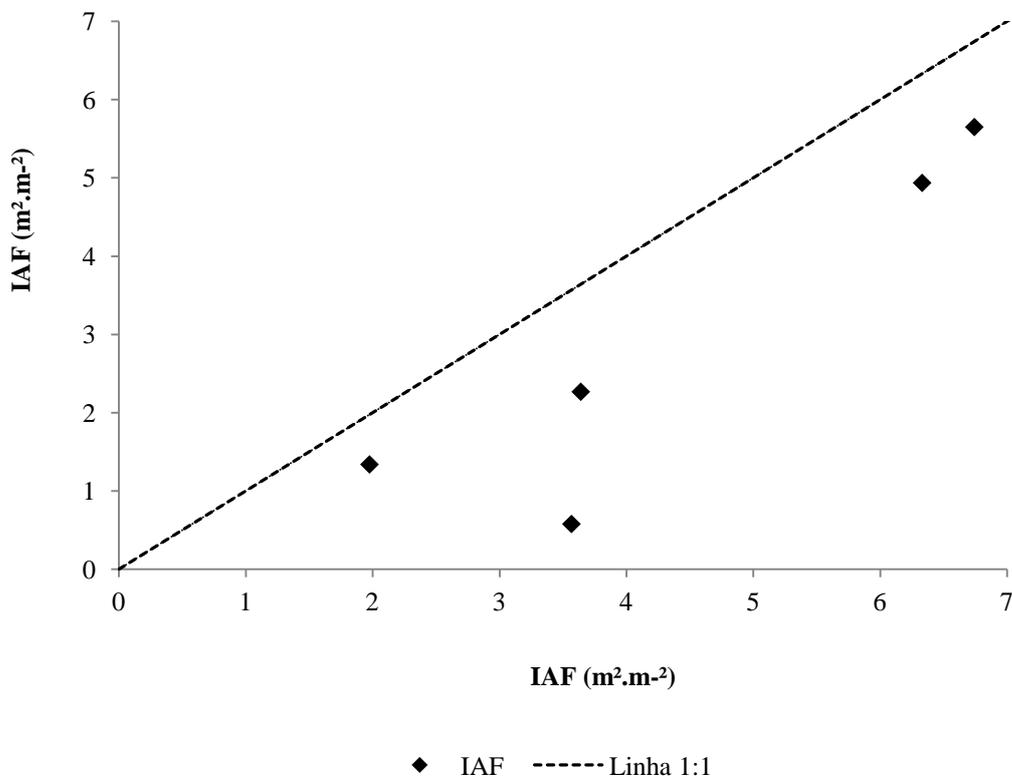


Figura 1 Gráfico de dispersão do IAF medido e o IAF estimado (LAI).

Ainda com relação aos dados da Figura 1, o índice de concordância (D) proposto por Wilmott (1982) faz essas considerações sobre a acurácia e a precisão da simulação. Tal índice é superior ao REQM por fazer ponderações quanto ao tipo da diferença do erro, no sentido de discriminar qual porção desse erro é sistemático ou não sistemático. Através do índice D calculado, como apresentado na tabela 1, pode-se observar um bom desempenho de modelagem.

Apesar de ter-se obtido eficiência de modelagem satisfatória pelo índice D, buscou-se uma maneira de melhorar a correlação entre os dados medidos e estimados. A teoria do equipamento trabalha com noções de probabilidade, isso é, o LAI-2200C mede a probabilidade da radiação não ser interceptada ($P(\Theta)$) pelo dossel através da Equação 4 (Li-Cor, 2013).

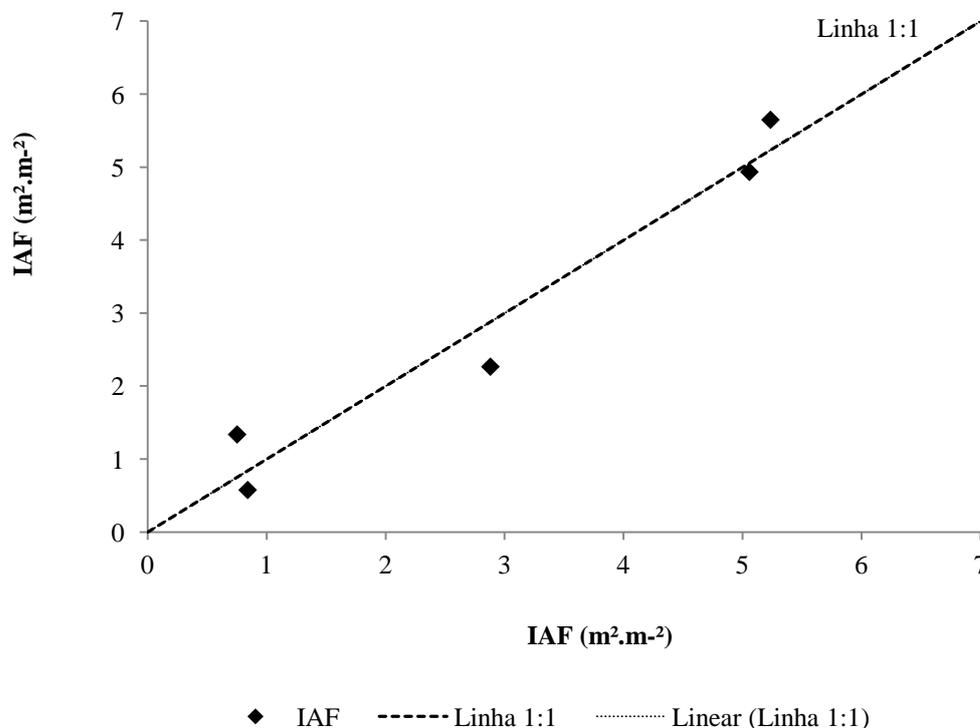
$$P(\Theta) = e^{(-G(\Theta)\mu S(\Theta))} \quad (4)$$

Onde $G(\Theta)$ é a fração de folhagem projetada, μ a densidade foliar, $S(\Theta)$ a distância percorrida do topo do dossel a superfície do solo. O $S(\Theta)$ é, portanto, uma relação entre a altura do dossel e o cosseno do ângulo definido entre a reta de projeção do dossel e a sua normal (Jones, 1992).

Por meio da relação de Miller (1967) o IAF pode ser definido pela relação entre a altura e a densidade foliar da planta. Quando essa relação é conduzida junto com a Equação 4, o IAF pode ser calculado pela relação de probabilidade e jogo de ângulos. Essa estratégia matemática torna possível o cálculo do IAF, pelo medidor eletrônico, sem a necessidade de utilizar a altura da planta como dado de entrada.

Tal embasamento teórico conduziu esse estudo a investigar melhor a relação entre o IAF medido e o IAF estimado. Para tal, assumiu-se a hipótese: a adoção da altura do dossel (h) como variável de entrada na simulação poderia melhorar os resultados obtidos. Essa relação já foi trabalhada por Manfron et al (2003). Realizou-se uma análise gráfica (Figura 2) das medidas de IAF estimado (LAI) em função da altura da planta, obteve-se a função quadrática $LAI = -0,0759.h^2 + 0,9512.h + 0,3004$, com os parâmetros empíricos determinados por análise de regressão. Esse modelo representou satisfatoriamente a variação temporal do índice de área foliar estimado.

IAF x (LAIxh)



Como apresentado na Tabela 1, a regressão com a inserção da variável altura na simulação não apresentou variação significativa para o índice de concordância. No entanto, o R^2 apresentou um melhor desempenho, dessa maneira, a altura contribuiu positivamente para aferir a precisão da modelagem. Este coeficiente revela que este método em soja, é tão bom quanto o método de disco de folhas (muito utilizado também) em culturas como guajuru, pinha, acerola e beterraba. (CUNHA et al, 2010; DOMBROSKI et al, 2010; LUCENA et al, 2011; MARROCOS et al, 2010; PIEROZAN e KAWAKAMI, 2013). Ainda no método de disco de folhas, na cultura da soja, Pierozan Junior e Kawakami (2013) atingiram valor de R^2 similar (0,94). Assim como observado no índice de concordância, o REMQ também não apresentou um melhor desempenho, levando à conclusão de que a altura não contribuiu significativamente na aferição da curva em relação à acurácia.

Tabela 1 Comparação entre os testes estatísticos com e sem modelagem com altura para

Teste Estatístico	IAF medido x IAF estimado	IAF medido x IAF estimado + altura
R^2	0,84	0,96
REQM	21,344	17,693
D	0,856	0,877

A modelagem das curvas de IAF medido com a proposta de adequação do IAF estimado pela regressão linear (correlacionado com altura) pode ser observado na Figura 3. Vale salientar que, apesar de já correlacionado com a altura, em relação ao início do desenvolvimento da cultura, a curva de IAF estimado subestima o IAF em relação à curva medida. Em seguida há mais três inversões das curvas, aos 32, 58 e 84

Figura 3 Variação do IAF estimado (LAI) correlacionado com a altura da planta em relação ao IAF medido.

dias após a emergência. Essas inversões justificam os valores dos testes de Willmot e REQM (tabela 1) que, apesar de razoáveis, pouco se elevaram com a correlação com a altura.

Varição do IAF medido e estimado com altura (LAI,H)

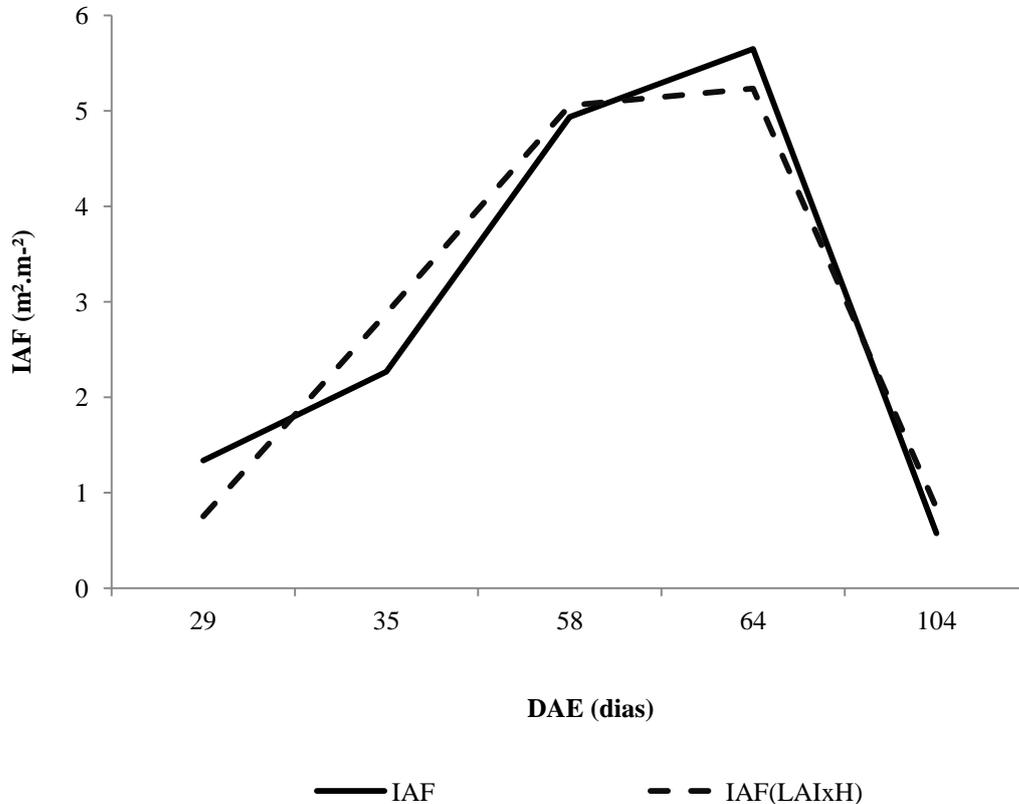


Figura 4 Variação do IAF estimado (LAI) correlacionado com a altura da planta em relação ao IAF medido, ao longo do ciclo da cultura da soja.

Portanto, apesar da altura melhorar a correlação entre as curvas, os testes estatísticos apontam que ainda podem haver outros fatores influenciando as medições do aparelho, principalmente nas fases reprodutivas da cultura. Segundo é apresentado na teoria do aparelho (Li-Cor, 2013), notou-se que o método, através de um filtro de luz rejeita a radiação com comprimento de onda superior a 490 nm. Essa estratégia é adotada pelo aparelho para minimizar erros de leitura, visto que nesse espectro a reflectância e transmitância são mínimas. No entanto, o pressuposto teórico de considerar a folha como um corpo negro, aumenta a incerteza do método, isso é: não ocorre transmitância e nem reflectância pela superfície vegetal. Por uma relação lógica, é fácil perceber que tal pressuposto infere que as demais estruturas do vegetal, como hastes e vagens são consideradas como área foliar, essa dedução também foi discutida no estudo de Malone et al (2002). No presente estudo, o uso da altura na modelagem, funcionou como um ponderador dessa interferência, uma vez que, a altura do dossel está relacionada aos órgãos de sustentação e de reprodução (vagens) e conseqüentemente as suas respectivas intercepções de radiação. Outra fonte de incerteza da teoria é relatada por Welles e Norman (1991), o método não consegue distinguir tecido senescente ou morto de tecido vivo, aumentando assim, a proporção de erro na leitura de IAF.

Sbrissia et al (2008) ao compararem o método utilizando aparelho LAI-2000 aos métodos direto destrutivo de IAF e o indireto destrutivo utilizando a população de perfilhos e a média do IAF dos perfilhos, em capim-marandu (*Urochloa brizantha*),

identificaram uma superestimação das medições realizadas pelo aparelho LAI-2000 em relação aos outros métodos. O aparelho é precursor do LAI-2200C com funcionamento similar e de mesma metodologia. O estudo também aponta, que dentro de certos limites, a altura influenciou no grau desses desvios. Sendo este trabalho outra indicativa de que outras partes das plantas, mesmo de outras culturas, influenciam os resultados do aparelho causando desvios no real e superestimações.

Uma solução satisfatória para estes desvios foi encontrada por Andrade (2016) ao gerar a curva de IAF real, medido através de análises destrutivas na cultura do pinhão-manso. A curva de IAF medido foi comparada à curva de IAF estimado pelo aparelho LAI-2200C a qual foi gerada por dados medidos concomitantemente às medições destrutivas. Finalmente foram gerados coeficientes para aferir os dados obtidos pelo aparelho com base nos dados de IAF medido. Esta alternativa mostra-se promissora, pois, uma vez traçado o IAF do ciclo da cultura por medições diretas, poder-se-á obter dados melhores pelo método estimado; um método mais prático. É preciso atentar-se que, para melhor precisão e confiabilidade nesta alternativa, mais trabalhos deveriam ser realizados seguindo esta linha, pois como já mencionado no parágrafo anterior, existem vários fatores interferindo.

Visando melhorar o entendimento sobre estes fatores, recomendam-se mais estudos como este na cultura da soja e que se estendam sobre outras culturas. É de se esperar que culturas morfológicamente próximas à soja, por exemplo o feijão, obtenham correlação similar. Em culturas como milho e trigo por outro lado, seriam esperados resultados de correlação mais precisa, uma vez que há nessas culturas maior proporção de folhas em relação a outras estruturas quando comparadas com a cultura da soja.

CONCLUSÕES

- 1) O método de estimativa de IAF pelo aparelho LAI-2200C apresentou boa correlação com o método de medida.
- 2) A altura pode ser usada como forma de melhorar a precisão dos dados obtidos pelo método de estimativa de IAF.
- 3) Trabalhos similares devem ser realizados buscando soluções para reduzir as interferências geradas pelos tecidos vegetais estranhos ao IAF.
- 4) O aparelho LAI-2200C é uma boa opção para determinação da área foliar da cultura da soja, desde que seus dados sejam aferidos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Grupo de Experimentação e Pesquisa em Modelagem de Sistemas Agrícolas (GEPEMA) e ao Grupo de Pesquisa e Extensão em Meteorologia dos Cultivos Agrícolas (AGRIMET) pela disponibilização dos aparelhos e ao Departamento de Engenharia de Biossistemas Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- ESALQ-USP por todo o apoio oferecido.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, I. P. S. **Influência da irrigação e da adubação nitrogenada na produção e qualidade do óleo das sementes de pinhão-manso**. 2016. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.
- BARROS, V. R.; SOUZA, A. P.; FONSECA, D. C.; SILVA, L. B. D. Avaliação da evapotranspiração de referência na Região de Seropédica, Rio de Janeiro, utilizando lisímetro de pesagem e modelos matemáticos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n.2, p.198-203, 2009.
- CORRÊA, S. T. R. Adaptação do modelo LINTUL (Light Interception and Utilization) para estimação da produtividade potencial da cultura de soja. 2008. **Tese de Doutorado**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.
- CORRÊA, S. T. R. et al. Aplicações e limitações da modelagem em agricultura: Revisão. **Revista de Agricultura, Piracicaba**, v. 86, n. 1, p. 1-13, 2011.
- CUNHA, J. L. X. L.; NASCIMENTO, P. G. M. L.; MESQUITA, H. C.; SILVA, M. G. O.; DOMBROSKI, J. L. D.; SILVA, I. N. Comparação de métodos de área foliar em *Chrysobalanus icaco* L. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 6, n. 3, p. 22-27, 2010.
- DOMBROSKI, J. L. D.; RODRIGUES, G. S. O.; BATISTA, T. M. V.; LOPES, W. A. R.; LUCENA, R. R. M. Análise comparativa de métodos de determinação de área foliar em pinha (*Annona squamosa* L.). **Revista Verde**, v. 5, n. 3, p. 188-194, 2010.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. Tecnologia da produção de milho. **Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz**, 1999. 360 p.
- JONES, H. G. **Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology**. Cambridge university press, 2013.
- LEGATES, D. R.; MCCABE, G. J. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. **Water resources research**, v. 35, n. 1, p. 233-241, 1999.
- LI-Cor, Inc. (2013): LAI-2200C Plant Canopy Analyzer, **Instruction Manual. Lincoln, NE**.
- MALONE, S.; HERBERT, D. A.; HOLSHOUSER, D. L. Evaluation of the LAI-2000 plant canopy analyzer to estimate leaf area in manually defoliated soybean. **Agronomy Journal**, v.94, n.5, p.1012-1019, 2002.
- LUCENA, R. R. M.; BATISTA, T. M. V.; DOMBROSKI, J. L. D.; LOPES, W. A. R.; RODRIGUES, G. S. O. Medição de área foliar de aceroleira. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 40-45, 2011.
- MANFRON, P. A. et al. Modelo do índice de área foliar da cultura do milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 2, p. 333-342, 2003.

- MARIN, F.; NASSIF, D. SP. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 232-239, 2013.
- MARROCOS, S. T. P.; DANTAS, M. S. M.; DOMBROSKI, J. L. D.; LUCENA, R. R. M.; BATISTA, T. M. V. Análise comparativa de métodos de estimativa de área foliar em beterraba. **Revista Verde**, v. 5, n. 5, p. 140-146, 2010.
- MÜLLER, A. G; et al. "Estimativa do índice de área foliar do milho a partir da soma de graus-dia." **Revista Brasileira de Agrometeorologia** 13.1 (2005): 65-71.
- MÜLLER, L. Fisiologia. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.L. **A soja no Brasil. Campinas**, 1981. p. 109 - 129.
- OLIVEIRA, M. L. R. et al. Estimativa da desfolha e o índice de área foliar no patossistema soja-ferrugem asiática utilizando o programa QUANT. 2007.
- PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; MARIN, F. R. Mudanças climáticas globais e a agricultura no Brasil. **Revista Multiciência**, v. 8, p. 139-162, 2007.
- PIEROZAN JUNIOR, C.; KAWAKAMI, J. Efficiency of the leaf disc method for estimating the leaf area index of soybean plants. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 4, p. 487-493, 2013.
- SBRISSIA, A. F. et al. Comparação de três métodos para estimativa do índice de área foliar em pastos de capim-marandu sob lotação contínua. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 2, p. 212-220, 2008.
- WATSON, D. Jh. Comparative physiological studies on the growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, v. 11, n. 41, p. 41-76, 1947.
- WELLES, J. M.; NORMAN, J. M. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. **Agronomy Journal**, v.83, n.5, p.818-825, 1991.
- WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 63, n. 11, p. 1309-1313, 1982.