

Índices de vegetação obtidos por imagens de satélite como estimadores do IAF e nitrogênio no algodoeiro

Ziany Neiva Brandão¹
Valdinei Sofiatti¹
Bernardo Barbosa da Silva²

¹ Embrapa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA/ CNPA
Caixa Postal 171 - Rua Oswaldo Cruz, 1143 – 58.428-095 – Campina Grande - PB, Brasil
ziany@cnpa.embrapa.br; vsofiatti@cnpa.embrapa.br

² Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/ Deptº de Meteorologia
Av Aprígio Veloso, 882 – 58.429-900 – Campina Grande - PB, Brasil
bernardo@dca.ufcg.edu.br

ABSTRACT: Spectral indices have been studied on evaluating of their sensitivity to vegetation biophysical parameters, as well as to external factors affecting canopy reflectance. Because the Leaf Area Index (LAI) is functionally linked to the canopy spectral reflectance, its retrieval from remote sensing data has stimulated many investigations in recent years. In this context, five vegetation indexes (NDVI, SAVI, RDVI, MSAVI and MTVI2) were evaluated as predictors to leaf nitrogen, leaf area index (LAI) and lint yield for irrigated cotton. Were done assessments in three different seasons when was determined the leaf nitrogen content, SPAD index and LAI during the evaluation, and lint yield on the harvest. Vegetations indexes, LAI and lint yield were estimated using TM lansat-5 images for these evaluation seasons. It was observed that leaf nitrogen content can be estimated from the chlorophyll content using SPAD index. It's possible to estimate leaf N contents using the IAF obtained by satellite images at later stages and especially during cotton flowering. All evaluated vegetation indices appeared as good predictors of leaf area index of irrigated cotton. Lint yield could be estimated with high accuracy by the IAF obtained with images from TM Landsat-5 during the flowering and fruiting stages.

Palavras-chave: Lint yield, vegetation indexes, LAI, produtividade do algodoeiro, índices de vegetação, IAF.

1. Introdução

A refletância espectral de dosséis tem sido usada como um bom estimador de variáveis biofísicas como o índice de área foliar (IAF) e a biomassa, ou outros parâmetros agrônômicos como a clorofila ou a estimativa da produtividade da cultura.

Diferentes índices de vegetação foram definidos para diferentes finalidades. Alguns índices espectrais foram propostos para capturar os processos fotoquímicos associados à fotossíntese ou clorofila, enquanto outros foram projetados para obter o IAF.

O índice de vegetação mais conhecido e amplamente usado é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), que foi desenvolvido por Rouse et al. (1974). Ele é baseado na diferença entre a absorção máxima no vermelho e à reflexão máxima no infravermelho e apresenta uma boa correlação com o crescimento das culturas, quando a cobertura vegetal varia entre 15 % e 80 % (Brandão et al., 2008). Apesar do seu uso intensivo, o NDVI satura nos casos onde o dossel é denso e em multicamadas. Para tentar corrigir esse efeito foi desenvolvido o *Renormalized Difference Vegetation Index* (RDVI) (Brandão et al., , 2008).

Outro índice bastante utilizado para minimizar a influência das propriedades óticas do solo na refletância da vegetação é o SAVI (*Soil-Adjusted Vegetation Index*), que inclui um fator de ajuste para a influência do solo no dossel, L. Tentando melhorar o SAVI no que diz respeito às diferenças na influência do solo, desenvolveram um SAVI modificado, MSAVI (*Modified Soil-Adjusted Vegetation Index*) com um fator de ajuste L intrínseco (Brandão et al., , 2008). Muitos estudos têm mostrado que a refletância das folhas no espectro visível

(particularmente a região do verde ~550 nm) está relacionada ao conteúdo de clorofila e esta, ao teor de nitrogênio (N) na planta. Assim, Haboudane et al. (2004) criaram o MTVI2 (*Second Modified Triangular Vegetation Index*), que além da faixa de 550 nm inclui também traz um fator de redução dos efeitos de contaminação do solo.

Para culturas irrigadas as concentrações de nutrientes são os fatores mais importantes no desenvolvimento das plantas. Deficiências de N influenciam a coloração da folha e a eficiência fisiológica do algodão, resultando no amarelamento ou clorose das folhas mais velhas (Brandão, 2009). Dessa forma, avaliações da refletância espectral durante o ciclo da cultura podem oferecer informações suplementares às análises laboratoriais de forma a colaborar com a recomendação da fertilização nitrogenada e o aumento da produtividade.

O objetivo desse estudo foi avaliar o potencial de cinco índices de vegetação, obtidos por imagens de satélite, na estimativa do IAF e dos teores foliares de N, bem como sua correlação com a produtividade do algodoeiro, comparando os resultados aos obtidos com as medições feitas através de clorofilômetro portátil, medidas de campo do IAF e determinação do nitrogênio foliar através de análises laboratoriais.

2. Metodologia de Trabalho:

O experimento foi conduzido em condições de campo e instalado no município de Apodi, Rio Grande do Norte. As coordenadas centrais da área experimental são 5°37'21" S e 37°48'57" W, com altitude média de 129 m. O clima da região é caracterizado como tropical quente e semi-árido com predominância BSw'h', da classificação climática de Köppen.

Foram utilizadas três imagens do Mapeador Temático do Landsat-5, obtidas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), órbita/ponto 216/64. As imagens corresponderam a três fases fenológicas distintas do algodoeiro, assim identificadas: 01/11/2008, fase de botões florais; 17/11/2008, floração; e 19/12/2008, frutificação.

Foi plantado o cultivar BRS 187 8H sob regime de irrigação. O suprimento de água às plantas e o manejo da irrigação foi baseado na demanda hídrica local com ênfase na evapotranspiração da cultura, calculada com dados da estação meteorológica local.

O experimento consistiu de uma combinação fatorial em esquema de parcela dividida no tempo, com duas doses de N, (90 e 270 kg ha⁻¹) e três épocas de avaliação (34, 50, 82 dias após a emergência (DAE)). Adotou-se delineamento de blocos casualizados com 4 repetições sendo as parcelas constituídas por 26 linhas espaçadas de 0,9 m com 30 metros de comprimento e 12 plantas por m². As doses de nitrogênio foram aplicadas na linha de plantio na forma de uréia em duas aplicações, sendo a primeira na semeadura (1/3 da dose), e o restante aos 34 dias após a emergência (DAE).

Avaliações espectrais e agrônômicas foram realizadas nas três datas das imagens, onde foram coletadas folhas e plantas para determinação de nitrogênio e área foliar do algodoeiro, respectivamente, além de realizadas medições do índice de clorofila através do clorofilômetro portátil da Minolta, o SPAD-502. Para a determinação do teor de N foliar foram colhidas de 20 plantas representativas, a 5ª folha do algodoeiro a partir do ápice foliar. O N foi dosado pelo método colorimétrico de Nessler. As medições com o SPAD-502 foram feitas obtendo-se a média de 5 leituras por planta, em 20 plantas por parcela. Para determinação da área foliar do algodoeiro, foram coletadas quatro plantas representativas por parcela. A área foliar (AF) foi determinada utilizando-se um integrador de área foliar, modelo LI-3100 do Licor equipamentos e o índice de área foliar (IAF) (cm² cm⁻²) determinado a partir da relação entre a área foliar total de cada planta e a área de solo explorada pela mesma.

Para o cálculo dos índices de vegetação e do IAF usando as imagens do TM Landsat-5, as mesmas foram calibradas e transformadas em radiância espectral através da equação (Brandão, 2009):

$$L_{\lambda i} = \left(\frac{L_i \text{ max} - L_i \text{ min}}{255} \right) \cdot ND + L_i \text{ min} \quad (1)$$

Em que:

$L_{\lambda i}$ é a energia refletida medida nas bandas 3 e 4 ($\text{W m}^{-2} \text{ ster}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$);

$L_i \text{ max}$ e $L_i \text{ min}$ são coeficientes de calibração do sensor TM Landsat-5;

ND é o número digital do pixel considerado (número inteiro de 0 a 255);

i corresponde às bandas 3, 4 do TM Landsat-5.

Em seguida os valores de radiância foram convertidos em refletância planetária (Allen et al., 2007):

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{k_{\lambda} \cdot \cos \theta} \quad (2)$$

Em que:

ρ é a refletância (W m^{-2});

L_{λ} é a energia refletida medida em cada banda ($\text{W m}^{-2} \text{ ster}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$);

k_{λ} é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$). k_{λ} é igual a 1557 e 1033 para as bandas 3 e 4;

θ é o ângulo zenital solar ($0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$). O ângulo de elevação solar (ϕ) é o complemento do ângulo zenital, e é obtido a partir dos dados de arquivos que acompanham as imagens, assim: $\theta = (\pi/2 - \phi)$.

d é a distância relativa Terra-Sol, em unidades astronômicas, varia entre 0,97 e 1,03.

Após determinada a energia solar refletida da superfície terrestre os índices de vegetação resulta de transformações lineares da refletância nas faixas espectrais compreendidas entre os canais do visível, banda 3 (620 – 690 nm) e infravermelho próximo, banda 4 (790 – 900 nm) (Rouse et al, 1974).

Os índices de vegetação NDVI, RDVI, SAVI, MSAVI e MTVI2 foram estimados através das seguintes expressões:

$$NDVI = \left[\frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \right] \quad (3)$$

$$RDVI = \left[\frac{\rho_4 - \rho_3}{\sqrt{R_4 + R_3}} \right] \quad (4)$$

$$SAVI = \left[\frac{(1+L)(\rho_4 - \rho_3)}{(\rho_4 + \rho_3 + L)} \right] \quad (5)$$

$$MSAVI = \frac{1}{2} \left[2\rho_4 + 1 - \sqrt{(2\rho_4 + 1)^2 - 8(\rho_4 - \rho_3)} \right] \quad (6)$$

$$MTVI2 = \frac{1,5 \cdot [1,0 \cdot (\rho_4 - \rho_2) - 2,5 \cdot (\rho_3 - \rho_2)]}{\sqrt{[(2 \cdot \rho_4 + 1)^2 - (6 \cdot \rho_4 - 5 \cdot \sqrt{\rho_3})] - 0,5}} \quad (7)$$

Em que:

ρ_4 , ρ_3 e ρ_2 são as refletâncias nas bandas 4, 3 e 2 do TM Landsat-5, respectivamente;

L é função da densidade da vegetação e seus valores variam entre 0 a 1 para coberturas de alta e baixa densidade, respectivamente. (Huete, 1988).

Ao final do ciclo da cultura foi feita a colheita manual do algodão em caroço sendo a produção convertida em quilos por hectare. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F) e regressão polinomial. Foram estimados os pontos de mínimo e/ou

máximo das equações por meio da primeira derivada de “Y” em relação à “X”. Foi feita a análise de correlação entre os valores obtidos para cada índice de vegetação com o IAF, o índice SPAD, a produtividade e o teor foliar de N.

3. Resultados e Discussão:

Na Figura 1 são apresentadas as relações entre o nitrogênio foliar e o índice SPAD, bem como o N foliar com o IAF, para as três datas de avaliação. Da resposta quadrática com altos coeficientes de determinação apresentados na Figura 1a, 1c e 1e, pode-se inferir que através do índice SPAD é possível determinar com alto grau de precisão os teores foliares de N, mesmo em estádios menos avançados da cultura. Os coeficientes de determinação observados para essas relações foram de 0,97, 0,89 e 0,81, aos 34, 50 e 82 DAE respectivamente.

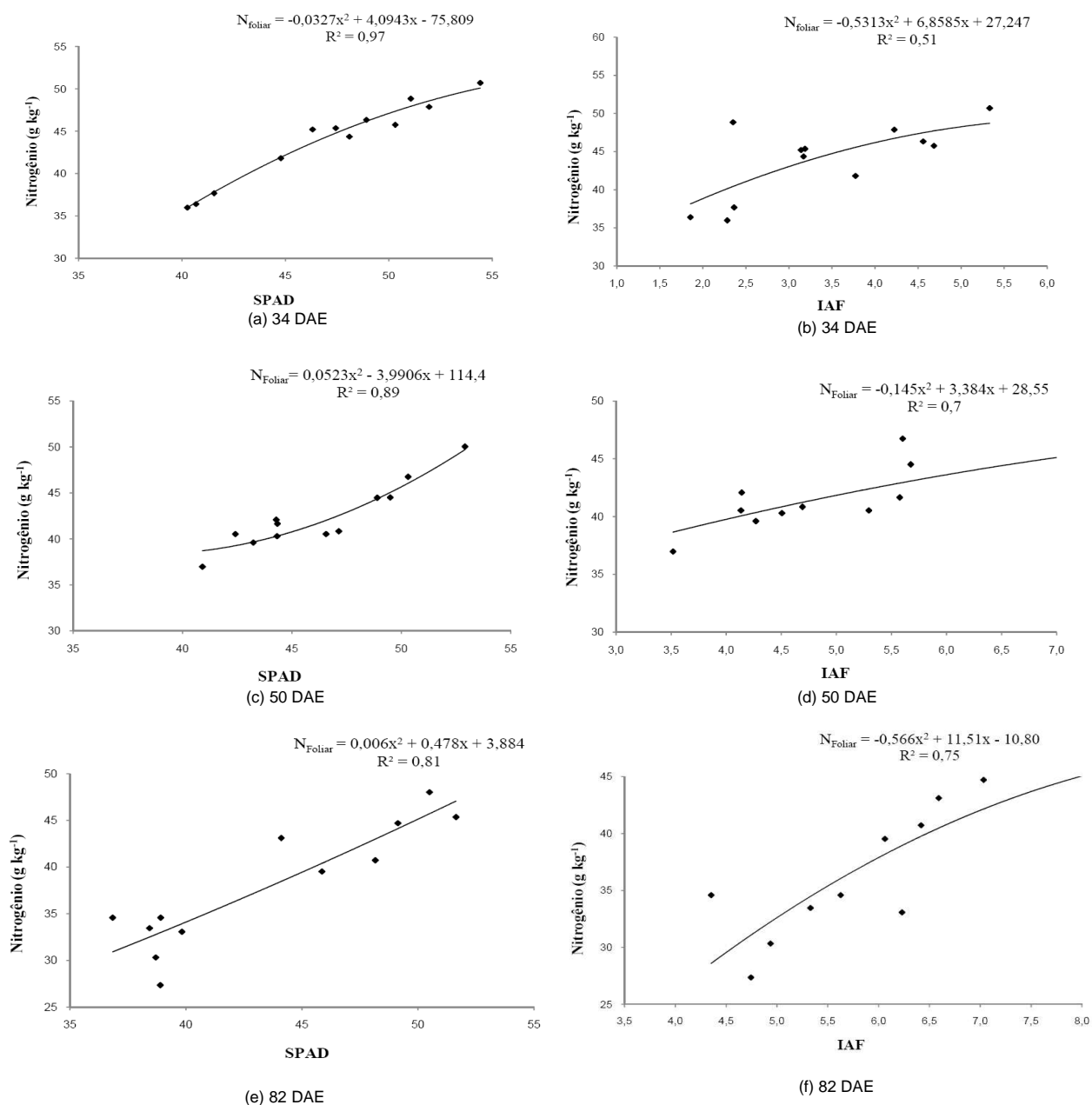


Figura 1. Teores foliares de N em função do índice SPAD e do IAF obtidos em campo para o algodoeiro aos 34, 50 e 82 dias após a emergência (DAE).

Os índices do clorofilômetro apresentaram elevada correlação com os teores foliares de N, que foram de 0,98, 0,92, e 0,90, com significância de 0,01% pelo teste t. Esses dados indicam a tendência de redução do teor foliar de N, que ocorre com o crescimento da planta. As relações entre os teores foliares de N e o índice de área foliar (IAF) seguiram o modelo polinomial quadrático em todas as épocas de avaliação, (Figura 1b, 1d e 1f). Os valores dos coeficientes de determinação obtidos para estimativa do N foliar através do IAF foram de 0,51, 0,70 e 0,75, nas medições feitas aos 34, 50 e 82 DAE, respectivamente. Apesar de baixos coeficientes de determinação nos estádios menos avançados, o IAF se mostrou um bom estimador do N foliar a partir de 50 DAE. Pode-se observar que em todas as épocas de avaliação o IAF tende à saturação com a elevação dos teores foliares de nitrogênio. Os coeficientes de correlação de Pearson para as relações entre o IAF e o N foliar foram de 0,70; 0,81 e 0,84 aos 34, 50 e 82 DAE, respectivamente.

Mesmo apresentando melhor acurácia, a dificuldade operacional de coleta de dados com o clorofilômetro manual impede seu uso em grande escala. Nesse aspecto, a utilização de sensores orbitais na determinação dos índices de vegetação como forma de estimativa dos teores foliares de N e da cobertura vegetada pode se tornar uma grande aliada dos produtores se utilizados em tempo hábil para que seja feita a correção da adubação nitrogenada.

Embora a correlação entre os índices SPAD e o teor foliar de N aos 34 DAE tenha se apresentado alta (Tabela 1), a cobertura foliar pois o algodoeiro ainda estava na fase de formação dos botões florais e não havia incorporado a segunda dose de nitrogênio. Assim, nessa fase os índices de vegetação não se apresentaram como bons estimadores do N, mas apresentaram altas correlações com o IAF da cultura, (Tabela 1).

Aos 50 e 82 DAE os IVs apresentaram relações quadráticas com os teores foliares de N, com correlações de Pearson que variaram de 0,70 a 0,80 aos 50 DAE e de 0,73 a 0,77 aos 82 DAE, como observado na Tabela 1. Aos 50 DAE, o RDVI, MSAVI e MTVI2 apresentaram tendência à saturação com altos valores de N foliar enquanto que o NDVI e o SAVI apresentaram relações quadráticas positivas (Figura 2a). Apesar da tendência à saturação, o MSAVI se mostrou o melhor índice para estimar o N foliar, com R^2 de 0,73 e correlação de Pearson de 0,80. Todos os IVs apresentaram relações quadráticas positivas aos 82 DAE (Figura 2b). Nessa fase o NVDI se apresentou como o melhor IV para a estimativa dos teores foliares de N, com $R^2=0,61$ e coeficiente de correlação de Pearson de 0,77. O N foliar nessa época variou de 27,36 até 48,03 $g\ kg^{-1}$ e não chegou a atingir à saturação em nenhum dos IVs. Diferentemente, aos 50 DAE onde o N foliar variou de 36,98 a 51,04 $g\ kg^{-1}$, à saturação foi atingida onde o N foliar foi acima de 49 $g\ kg^{-1}$ chegando a atingir o ponto de saturação para três dos IVs estudados.

Tabela 1. Valores dos coeficientes de correlação de Pearson entre os índices de vegetação** obtidos através das imagens do TM Landsat-5 e o IAF, SPAD e o teor foliar de N obtidos em campo no algodoeiro irrigado.

Correlações		NDVI	RDVI	SAVI	MSAVI	MTVI2
34 DAE	N ^{Foliar}	0,49	0,47	0,48	0,47	0,51
	SPAD**	0,52	0,52	0,52	0,51	0,55
	IAF**	0,84	0,83	0,84	0,82	0,84
50 DAE	N ^{Foliar}	0,76	0,70	0,76	0,80	0,78
	SPAD**	0,79	0,72	0,80	0,79	0,78
	IAF**	0,76	0,77	0,77	0,85	0,82
82 DAE	N ^{Foliar}	0,77	0,76	0,73	0,76	0,77
	SPAD**	0,78	0,79	0,78	0,79	0,79
	IAF**	0,88	0,87	0,86	0,87	0,87

(**) Significativo a 1 % de probabilidade pelo teste t.

O suprimento de nitrogênio afeta direta ou indiretamente o IAF, a cobertura da copa, o teor de clorofila e outros parâmetros biofísicos, que podem resultar em mudanças na

refletância do dossel podendo então ser avaliado através dos índices de vegetação (Haboudane et al., 2004). Observou-se que os índices de vegetação obtidos através das imagens do satélite cresceram com o aumento do índice de área foliar (IAF) total observado em campo, conforme apresentado nas Figuras 3a, 3b e 3c.

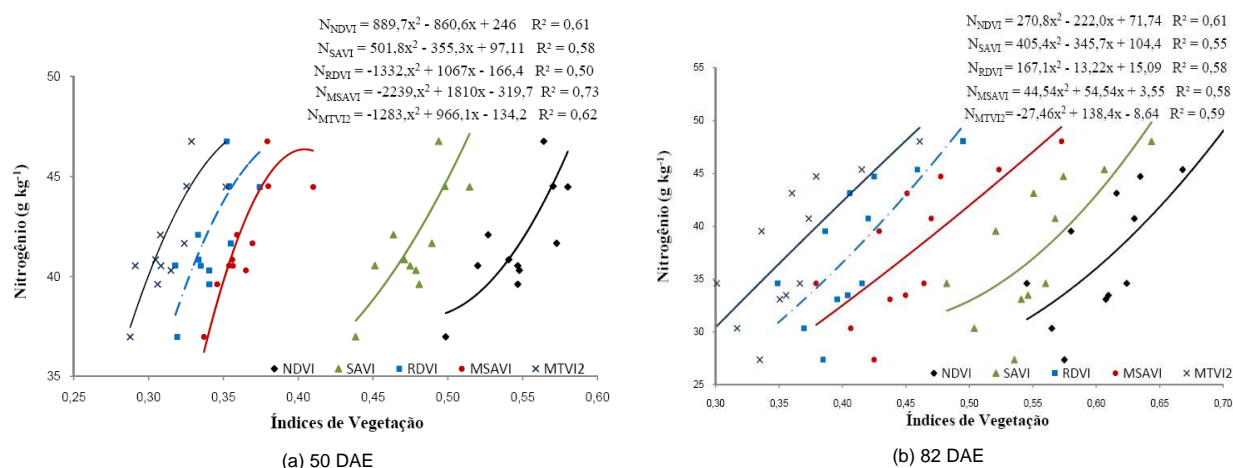


Figura 2. Equações de regressão para o teor foliar de N como função dos índices de vegetação obtidos através das imagens do TM Landsat-5, em dois estádios fenológicos, para o NDVI, SAVI, RDVI, MSAVI e MTVI2. (a) aos 50 DAE e (b) aos 82 DAE.

Aos 34 DAE todos os IVs apresentaram coeficientes de determinação superiores a 0,73, onde o NDVI se apresentou como o melhor índice para determinação do IAF, com $R^2 = 0,77$, conforme apresentado na Figura 3a, com correlação de Pearson de 0,84 (Tabela 1). O SAVI e o MTVI2 também cresceram com o aumento da área foliar, ambos apresentando coeficientes de determinação de 0,76 e correlação de 0,84, mostrando o potencial desses índices para determinação do IAF nesse estágio fenológico. É possível observar um aumento na amplitude dos valores obtidos para os índices de vegetação aos 50 DAE.

Os índices de vegetação cresceram com o aumento do IAF, R^2 de 0,69 a 0,80. Nessa época os efeitos da segunda aplicação da adubação nitrogenada se tornaram acentuados, com diferenças grandes entre altura de plantas e IAF para as doses aplicadas. Embora apresentassem R^2 não muito bons aos 50 DAE, todos os IVs mantiveram boas correlações com o IAF obtido em campo, que variaram de 0,76 a 0,85, conforme apresentado na Tabela 1. Nessa fase, o MSAVI se apresentou como o melhor índice para estimativa do IAF, com coeficiente de determinação de 0,80, com o maior coeficiente de correlação para a data que foi 0,85.

Aos 80 DAE foram obtidos os coeficientes de correlação que variaram de 0,86 a 0,88, onde todos os IVs obtidos através das imagens seguiram o modelo exponencial e atingiram os melhores coeficientes de determinação encontrados entre as três datas de avaliação, que variaram de 0,75 a 0,80. Desse modo, esse estágio fenológico se mostrou o mais adequado para a estimativa do IAF, onde o NDVI foi o índice que melhor se ajustou com $R^2=0,88$. Todos os outros índices também apresentaram bom desempenho nessa data.

A produtividade do algodoeiro está correlacionada com a quantidade de tecido fotossintético, o que pode também ser estimado a partir de refletância no IVP e na região do vermelho do espectro eletromagnético, uma vez que está associado às mudanças na cobertura vegetal do solo. Dessa forma foi avaliada a capacidade preditiva do IAF, utilizando-se os dados obtidos aos 82 DAE, em que observou-se o crescimento da produtividade com o aumento do IAF, seguindo o modelo polinomial quadrático, com coeficiente de determinação de 0,70, conforme apresentado na Figura 4a. Considerando-se a alta correlação obtida para a

produtividade em resposta ao IAF, observado como 0,83, tendo se apresentado altamente significativo no teste t, esse método de estimativa da produtividade mostrou-se adequado corroborando com a literatura (Brandão, 2009; Zhao et al., 2007).

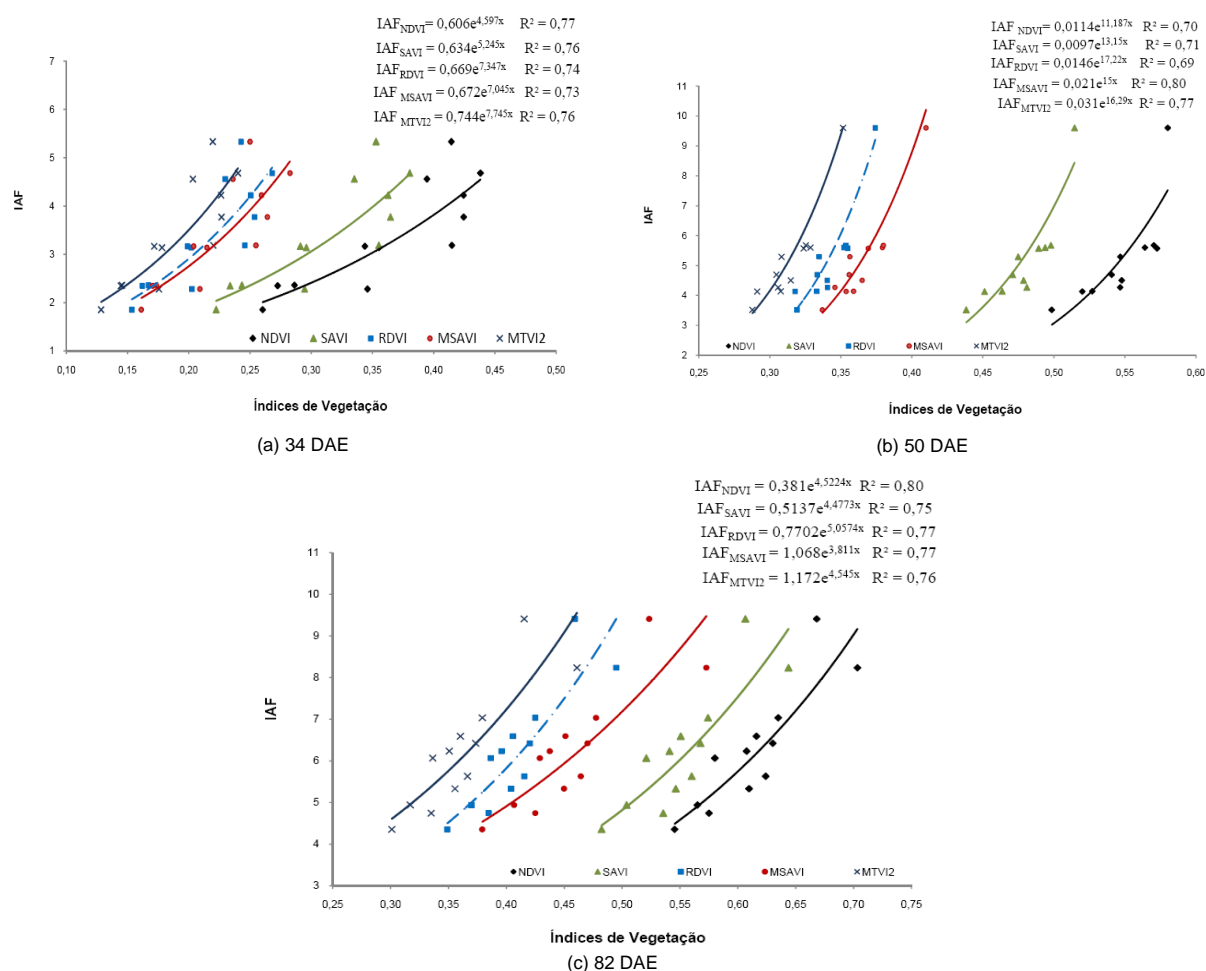


Figura 3. Equações de regressão do Índice de Área Foliar (IAF) para o algodoeiro irrigado, como função dos índices de vegetação obtidos através das imagens do TM Landsat-5, em três estádios fenológicos, para o NDVI, SAVI, RDVI, MSAVI e MTVI2. (a) aos 34 DAE. (b) aos 50 DAE. (c) aos 82 DAE.

Utilizando-se IAF obtido através do SAVI aos 82 DAE, foi estimada a produtividade do algodoeiro e testada a capacidade preditiva desse índice. O SAVI escolhido foi o amplamente utilizado na determinação do IAF em modelos de estimativas de consumo hídrico das culturas (Bezerra et al., 2008, Allen et al., 2007). A produtividade estimada por imagem de satélite cresceu com o aumento do IAF, ajustando-se ao modelo quadrático, com $R^2 = 0,90$ e alta correlação observada como 0,95, altamente significativa no teste t. A máxima produtividade quando da estimativa através de imagens de satélite foi observada quando o IAF_{Sat} foi de 2,8, enquanto que para o IAF em campo foi de 9,41. É importante observar a redução entre os índices de vegetação obtidos em campo e por satélite. É provável que essa redução seja devido ao fato que o IAF medido em campo registra o índice de área foliar somente das plantas do algodoeiro, enquanto que o IAF observado por satélite apresenta a cobertura de toda a área em estudo, sofrendo influencia do solo, plantas daninhas e fauna. Esse efeito de redução do IAF já foi reportado na literatura, onde foram constatados que o índice de área foliar em campo era de 0,88 a 2,37 vezes maior que o IAF estimado através das imagens do Landsat 7 (Brandão, 2009; Megown et al., 2004).

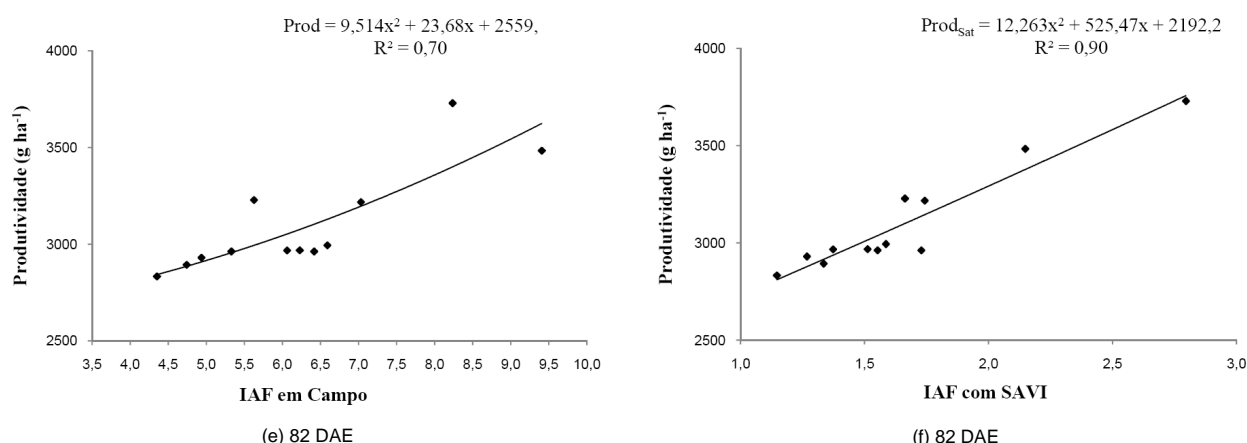


Figura 4. Estimativa da produtividade em função dos índices de área foliar obtidos em campo e através do SAVI (*Soil-Adjusted Vegetation Index*), aos 82 DAE.

4. Conclusões:

Observou-se que os teores de nitrogênio foliar podem ser estimados a partir do clorofilômetro portátil com grande precisão.

A estimativa dos teores foliares de N através do IAF obtido através de imagens de satélite pode ser feita em estádios mais avançados e em especial durante a floração do algodoeiro.

Todos os índices de vegetação obtidos por satélite e avaliados nesse estudo se apresentaram como bons preditores do índice de área foliar do algodoeiro irrigado.

A produtividade pode ser estimada com elevado grau de precisão por meio do IAF obtido com imagens do TM Landsat-5 durante os estádios de floração e frutificação.

Referências Bibliográficas

- Allen, G. R.; Tasumi, M.; Trezza, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (Metric-Model). **Journal of Irrig. and Drainage Engineering**, v. 133, p.380-394, 2007.
- Bezerra, B. G. Silva, B. B. Da, Ferreira, N. J. Estimativa da evapotranspiração real diária usando-se imagens digitais TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n. 3, p.305-317, 2008.
- Brandão, Z. N. Estimativa da produtividade e estado nutricional da cultura do algodão irrigado via técnicas de sensoriamento remoto. 2009. 152 p. (UFCG-CDU-528.835:633.51(043)/B817e). Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2009.
- Brandão, Z. N., Bezerra M. V. C., Freire E. C., Da Silva B. B. Agricultura de precisão para gerenciamento do algodão. In: AZEVÉDO, D. M. P., BELTRÃO, N. E. M. **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. Cap. 20. v.2. Ed: Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, DF. 2008. 1309 p.
- Haboudane, D., Miller, J. R., Pattey E., Zarco-Tejada P. J., Strachan, I. B. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**, v.90, p.337-352, 2004.
- Megown, R. A., Webster, M., Jacobs, S. Using Landsat TM imagery to estimate LAI in a eucalyptus plantation. **International Journal of Remote Sensing**, v.25, p. 819-838, 2004.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W., Harlan, J. C. Monitoring the vernal advancement of retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation. **NASA/GSFC, Final Report**, Greenbelt, 1974. 371 p.
- Thomas, J. R., Gausman, H. W. Leaf reflectance vs. leaf chlorophyll and carotenoid concentrations for eight crops. **Agronomy Journal**, v.69, p.799-802.1977.
- Zarco-Tejada, P. J., Miller, J. R., Morales, L., Berjón A., Agüera, J. Hyperspectral indices and model simulation for chlorophyll estimation in open-canopy tree crops. **Remote Sensing of Environment**, v.90, p.463-476, 2004.
- Zhao, D., Huang, L., Li, J., Qi, J. A comparative analysis of broadband and narrowband derived vegetation indices in predicting LAI and CCD of a cotton canopy. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 62. p. 25-33. 2007.