

DESENVOLVIMENTO DE MODELOS PARA A ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DO ALGODOEIRO A PARTIR DE SÉRIES TEMPORAIS DE IMAGENS DE SATÉLITE

Flavio Santos SILVA ¹

Carlos Manoel Pedro VAZ ²

Ednaldo José FERREIRA ²

Eduardo Antônio SPERANZA ³

Rafael GALBIERI ⁴

Luiz Roberto PASCHOAL ¹

RESUMO: Neste trabalho foram utilizadas séries temporais de índices de vegetação (IV), o NDVI e o EVI, obtidos das imagens do satélite MODIS por meio da plataforma SATVeg desenvolvida pela Embrapa. Foram utilizadas bases de dados de Mato Grosso, totalizando 534 talhões de produção comercial de algodão, para a obtenção de modelos de estimativa da produtividade do algodoeiro, pela correlação entre os IV's e a produtividade real. Os resultados mostraram correlações lineares positivas entre os IV's e a produtividade nas diferentes fases do ciclo da cultura. Entre os IV's testados, o EVI foi o que apresentou os modelos com os maiores coeficientes de determinação (r^2), menores erros de ajuste do modelo e a uma distribuição mais equilibrada dos erros para as diferentes faixas de produtividade. Os modelos gerados possibilitam a estimativa da produtividade do algodoeiro a partir de 75 dias após o plantio, com erro aproximado de 40 arrobas/ha, o que equivale a um erro relativo de aproximadamente 15%. De um modo geral, considera-se que o procedimento proposto e os modelos gerados possuem bom potencial de aplicação prática.

PALAVRAS-CHAVE: Algodão; SATVeg; EVI; NDVI; Sensoriamento remoto.

¹ Graduando em Engenharia Agrônômica, Centro Universitário Central Paulista - UNICEP, 13563-470, São Carlos, São Paulo, Brasil. E-mail: fl_santos02@hotmail.com

² Pesquisador, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Instrumentação, 13560-970, São Carlos, São Paulo, Brasil. E-mail: carlos.vaz@embrapa.br

³ Analista, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, Embrapa Agricultura Digital, 13083-886, Campinas, São Paulo, Brasil. E-mail: eduardo.speranza@embrapa.br

⁴ Pesquisador, Instituto Mato-grossense do Algodão - IMAmt, 78365-000 Sapezal, Mato Grosso, Brasil. E-mail: rafaelgalbieri@imamt.org.br

Introdução

O algodão é uma cultura de grande importância econômica para o Brasil, que é o quarto produtor mundial, atingindo na safra 2019/2020 um total de 3 milhões de toneladas de pluma, atrás apenas da Índia, China e EUA. Na última safra, exportou cerca de 2,1 milhões de toneladas de algodão em pluma. O Centro-Oeste é a principal região produtora de algodão no país e o Mato Grosso é o principal estado produtor, com cerca de 2,1 milhões de toneladas na safra 2019/2020, o que representa 70% da produção nacional (CONAB, 2021).

A produção do algodoeiro está relacionada com a quantidade de tecido fotossintético, índice de área foliar e biomassa. Dessa forma, os índices de vegetação (IV) obtidos por sensoriamento remoto (SR) podem ser utilizados para a obtenção de modelos de estimativa da produtividade (Baio et al., 2018). Nessas aplicações, imagens são obtidas em um determinado momento do ciclo vegetativo da cultura (Brandão et al., 2014 sugere que o melhor momento é em torno de 70 dias após a emergência, com o aparecimento do primeiro botão floral) e os IV são correlacionados com a produtividade, gerando modelos matemáticos que podem ser utilizados para a estimativa da produtividade. No trabalho de Baio et al. (2018) as imagens foram obtidas entre 80 e 120 dias após o plantio (DAP). Em função de limitações que podem ocorrer, como o aparecimento de nuvens, alguns trabalhos têm sugerido a utilização de séries temporais das imagens, ao invés de imagens em um único momento do ciclo da cultura (Meng et al., 2017), gerando modelos mais robustos e confiáveis.

O SR é uma técnica de observação à distância que mede a reflexão da radiação eletromagnética refletida pela superfície terrestre. Na área agrícola essa técnica pode ser aplicada no monitoramento espacial e temporal das culturas, permitindo medir o vigor vegetativo e a identificação de estresses hídricos, nutricionais e danos causados por doenças e pragas. Diversos IV's têm sido utilizados no SR, sendo o NDVI (Índice de vegetação da diferença normalizada) que utiliza as diferenças normalizadas entre as bandas do infravermelho próximo (IVP) e vermelho (V), provavelmente o mais utilizado. Outros índices como o NDRE (diferença normalizada do vermelho limítrofe), que utiliza as diferenças normalizadas entre as bandas do IVP e o vermelho limítrofe, e o EVI (Índice de realce da vegetação) que utiliza a razão da diferença entre as faixas do IVP e V e uma combinação ponderada entre IVP, V e banda do azul (A) permitindo atenuar os efeitos do solo e da atmosfera. As aplicações do SR na agricultura são bastante amplas, podendo ser utilizado para a identificação de pragas,

avaliação de problemas nutricionais, déficit hídrico, estimativa da produtividade e na modelagem hidrológica (Shiratsuchi, 2014).

As aplicações em SR requerem em geral a utilização de softwares de Sistema de Informação Geográfica (SIG). No entanto, um aplicativo amigável e de uso bastante simples, sem a necessidade de conhecimentos prévios em sistemas SIG pelo usuário, foi desenvolvido pela Embrapa, denominado SATVeg (Sistema de Análise Temporal da Vegetação) e que permite a obtenção dos índices NDVI e EVI, da base de dados dos satélites MODIS. Trata-se de uma ferramenta web que permite observar séries temporais de dois IV's, o NDVI e o EVI, em um polígono selecionado pelo usuário, a partir de imagens do sensor MODIS, embarcados nos satélites Terra e Aqua. As imagens são adquiridas do *Land Processes Distributed Active Center* (LP-DAAC), um centro vinculado ao *NASA's Earth Observing System*. As séries temporais dos índices vegetativos NDVI e EVI fazem parte da coleção 6 dos produtos MOD13Q1 (derivado do satélite Terra, com início em 18/02/2000) e MYD13Q1 (derivado do satélite Aqua, com início em 04/07/2002). O monitoramento abrange todo o território brasileiro e o acesso e uso do SATVeg é gratuito (SATVEG, 2020).

Este trabalho tem como objetivo desenvolver modelos matemáticos para a estimativa da produtividade do algodoeiro no estado de Mato Grosso utilizando séries temporais dos IV's NDVI e EVI em áreas de produção comercial, utilizando aplicativo SATVeg, ao longo de todo o ciclo da cultura (cerca de 180 dias), para diferentes situações de manejo, clima, cultivares, irrigação e tipos de solos, dentre outros.

Materiais e Métodos

Os dados utilizados nesse estudo foram disponibilizados pelo Instituto Mato-grossense do Algodão (IMAmt), com informações de talhões de cultivo comercial de algodão nas safras de 2013/2014 a 2015/2016 para todas as regiões do estado de Mato Grosso (Galbieri et al., 2018). Os dados mínimos necessários para cada talhão são as coordenadas geográficas e a data de semeadura, para a geração das séries temporais dos índices de vegetação (IV) e a produtividade do talhão, para gerar o modelo de correlação entre os IV's e a produtividade. O banco de dados original possuía cerca de 940 talhões. Entretanto, nem todos os dados puderam ser utilizados devido a uma limitação no aplicativo SATVeg, utilizado para a obtenção das séries temporais dos IVs. Como a imagem de fundo do SATVeg, a qual é utilizada como base

para a geração do polígono de recorte do talhão é de data recente, há a necessidade de se verificar se houve mudança nas dimensões do talhão da época da safra avaliada até a atual. Para esse fim, foi utilizado o Google Earth Pro, por meio de uma ferramenta que permite visualizar imagens dos anos anteriores e comparar a imagem do talhão na data da semeadura com a imagem atual disponível pelo SATVeg, permitindo selecionar somente os talhões que não foram modificados com o passar dos anos. Adicionalmente, talhões com coordenadas geográficas, datas de semeadura e produtividade faltantes ou inconsistentes foram também descartados.

Dessa forma, foi selecionado um total de 534 talhões para o estudo, sendo 187 da safra de 2013/2014, 154 da safra de 2014/2015 e 193 em 2015/2016. Os talhões encontram-se entre as latitudes de -11 a -17 e longitudes de -53 a -59. A maioria dos talhões foram plantados entre dezembro e janeiro (54 % e 25%, respectivamente). As produtividades dessas áreas variaram entre 88 e 400 arrobas/ha, com uma produtividade média de 266 arrobas/ha.

As séries temporais dos IVs foram geradas a partir da plataforma SATVeg (<https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg/login.html>), a qual permite a identificação, marcação do polígono de contorno e a gravação de arquivos Excel com as séries temporais de NDVI e EVI geradas a partir das observações do satélite Modis (resolução espacial de 250m x 250m e periodicidade de 16 dias, com dados combinados a partir de observações diárias). Os índices de vegetação NDVI e EVI são determinados pelas seguintes relações entre as bandas de reflexão da luz no infravermelho próximo (IVP), vermelho (V) e azul (A): $NDVI = (IVP - V) / (IVP + V)$ e $EVI = 2,5 (IVP - V) / (1 + IVP + 6 V - 7,5 A)$.

Cada talhão foi identificado no SATVeg pela sua coordenada geográfica e posteriormente, desenhado um polígono nos limites do talhão, definindo o número de blocos ou pixels existentes nas imagens para as análises dos IV no talhão. Devido à presença de nuvens, os valores de IV podem apresentar oscilações ao longo da safra e para minimizar esse problema o SATVeg pode aplicar uma pré-filtragem. Contudo, testes realizados mostraram que alguns períodos de entressafra foram confundidos com presenças de nuvens e assim esse procedimento automático não foi adotado. Em alguns poucos casos onde se verificou efeito severo de nuvem nos IVs, foi realizada uma suavização manual pela média dos vizinhos. Após as análises no SATVeg os dados foram exportados para planilhas Excel, contendo os valores dos IVs médios, desvios padrão e datas das imagens. Em função da data de semeadura de cada talhão definiu-se a variável DAP (dias após o plantio) para cada talhão, totalizando em média 12 pontos de NDVI e EVI na série temporal para o período completo da safra (0 a 180 DAP aproximadamente).

Cerca de 100 talhões do banco de dados utilizado possuíam a informação da data de colheita. Com esses dados avaliou-se o comportamento do NDVI próximo à colheita, obtendo-se valores entre 0,35 e 0,37. Com isso assumiu-se para os demais talhões o final do ciclo (colheita) quando o NDVI atingia o valor de 0,36 próximo a 180 DAP. Após a obtenção das séries temporais de todos os talhões, do plantio à colheita, os dados (cerca de 12 pontos por série) foram interpolados com auxílio do software Origin, gerando séries temporais detalhadas (1000 pontos para todo o ciclo). Posteriormente foram determinados os valores médios dos 2 IVs por períodos de 15 dias (0-15; 15-30; ...) além de outras combinações de faixas quinzenais de DAP (75-105, 75-135, 75-150 e 90-135 DAP). Os valores médios obtidos por faixas foram correlacionados linearmente com as produtividades, incluindo as 3 safras, visando o estabelecimento dos melhores modelos para a estimativa da produtividade do algodoeiro baseado nos IV's. Devido a um desbalanceamento dos dados em termos das classes de produtividade (menor número de talhões com produtividades muito altas ou muito baixas), realizou-se um balanceamento de classes para a obtenção dos modelos de regressão linear com o software de mineração de dados Weka. A seleção dos melhores modelos baseou-se nos indicadores estatísticos dos coeficientes de determinação (R^2) e dos erros padrão da estimativa - EPE (raiz quadrada do erro quadrático médio-RMSE).

Variáveis climáticas como precipitação e temperatura foram obtidas pelo sistema de monitoramento agrometeorológico Agritempo (<http://www.agritempo.gov.br/agritempo>). Identificando a data de semeadura e as coordenadas onde o talhão se encontrava, foram extraídos dados de pluviometria acumulada, temperaturas mínima, média e máxima da estação mais próxima ao talhão, durante o ciclo do algodão para cada talhão.

Resultados e Discussão

A Figura 1 apresenta a tela do SATVeg, com a identificação de um polígono criado para um dos talhões avaliados neste trabalho, identificando as ferramentas disponíveis, como pré-filtragens, NDVI e EVI os tipos de satélites Terra e Aqua, com pixel de 250 m x 250 m.

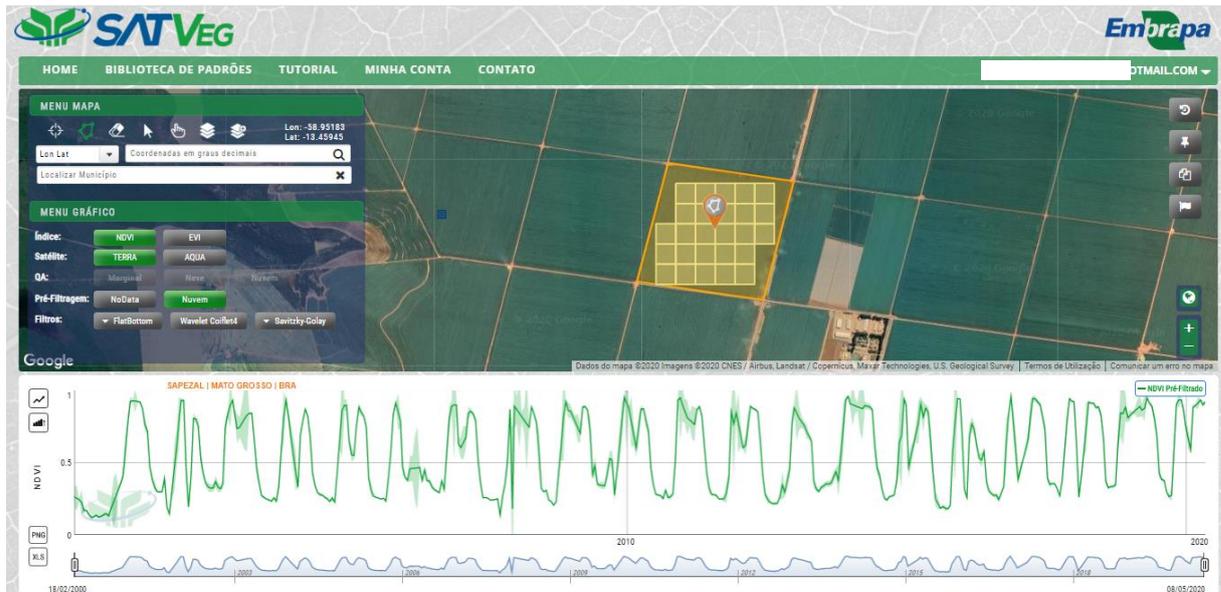


Figura 1. Tela do SATVEG, com a identificação de um talhão de produção de algodão e a série temporal de NDVI.

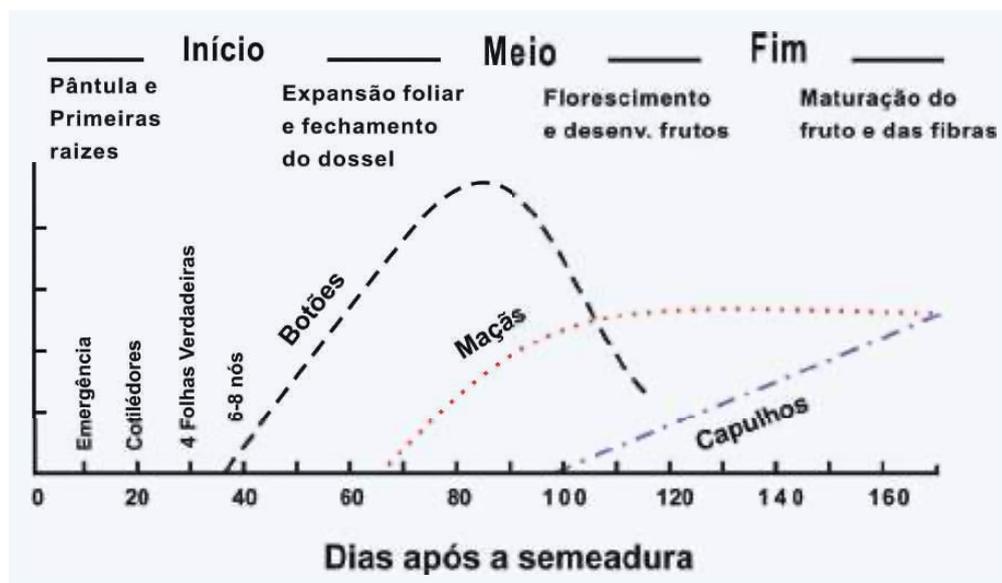


Figura 2. Ciclo de desenvolvimento do algodoeiro (MONTEIRO et, al. 2009).

Para visualizar o efeito das séries temporais dos IVs na produtividade, dividiu-se os talhões em 5 classes de produtividade. Os valores médios de NDVI e EVI ao longo do ciclo da cultura, são apresentados nas Figuras 3A e 3B, respectivamente. Nos primeiros 60 DAP, relativo as etapas de germinação, expansão foliar e fechamento do dossel (Fig. 2), não há uma diferença clara entre as classes de produtividade, mas a partir de aproximadamente 75 DAP há uma nítida separação dos valores de NDVI e EVI para as classes de maior ou menor produtividade. Ou seja, os valores de NDVI e EVI são maiores para as classes de produtividades mais altas.

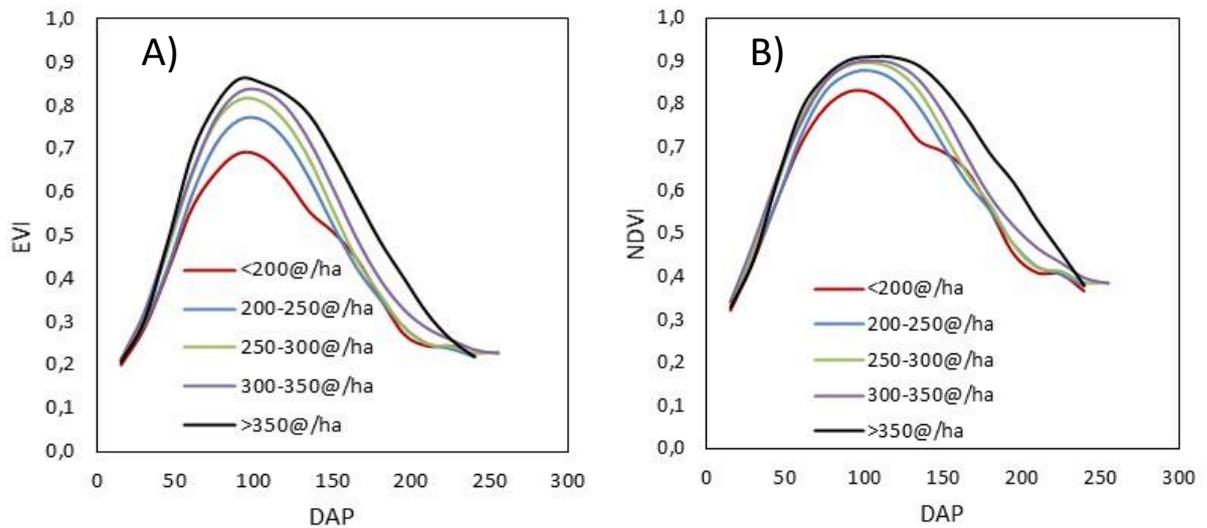


Figura 3. Valores médios por classes de produtividades, dos índices de vegetação EVI (A) e NDVI (B) ao longo do ciclo do algodoeiro (DAP: dias após o plantio).

As Figuras 4 e 5 apresentam as melhores correlações entre EVI e NDVI e produtividade para diversas faixas temporais a partir de 75-90 DAP até 120-135 DAP considerando todos os 534 talhões. Com relação as diferenças das distribuições dos pontos dos IVs em diferentes faixas de produtividade, o EVI apresenta uma maior sensibilidade às variações da produtividade, gerando modelos mais robustos e coeficientes de determinação (R^2) maiores em comparação ao NDVI.

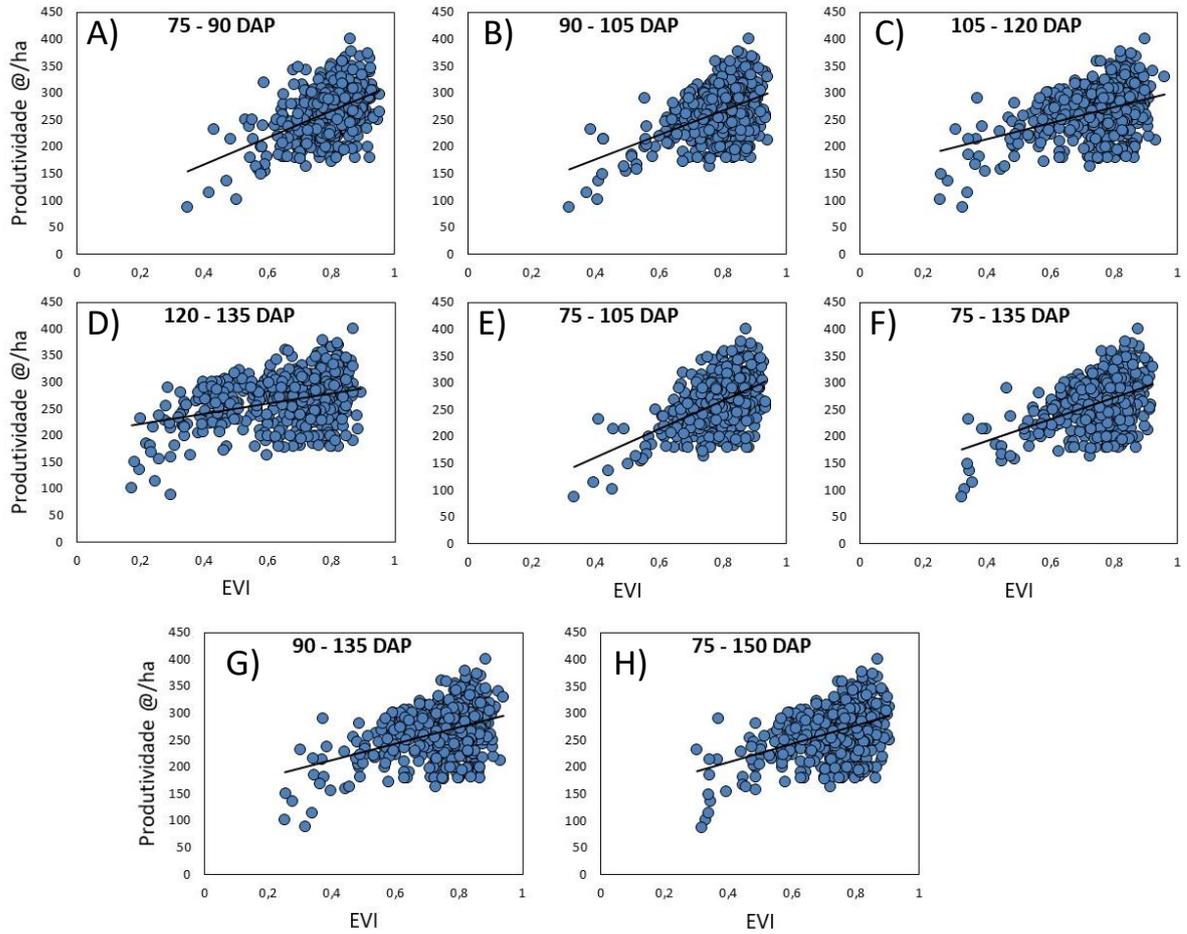


Figura 4. Correlação entre EVI e a produtividade do algodoeiro para diferentes faixas de DAP (dias após o plantio):
 $EVI_{75-90 \text{ DAP}}$ (A) $EVI_{90-105 \text{ DAP}}$ (B) $EVI_{105-120 \text{ DAP}}$ (C) $EVI_{120-135 \text{ DAP}}$ (D) $EVI_{75-105 \text{ DAP}}$ (E) $EVI_{75-135 \text{ DAP}}$ (F) $EVI_{90-135 \text{ DAP}}$ (G) $EVI_{75-150 \text{ DAP}}$ (H).

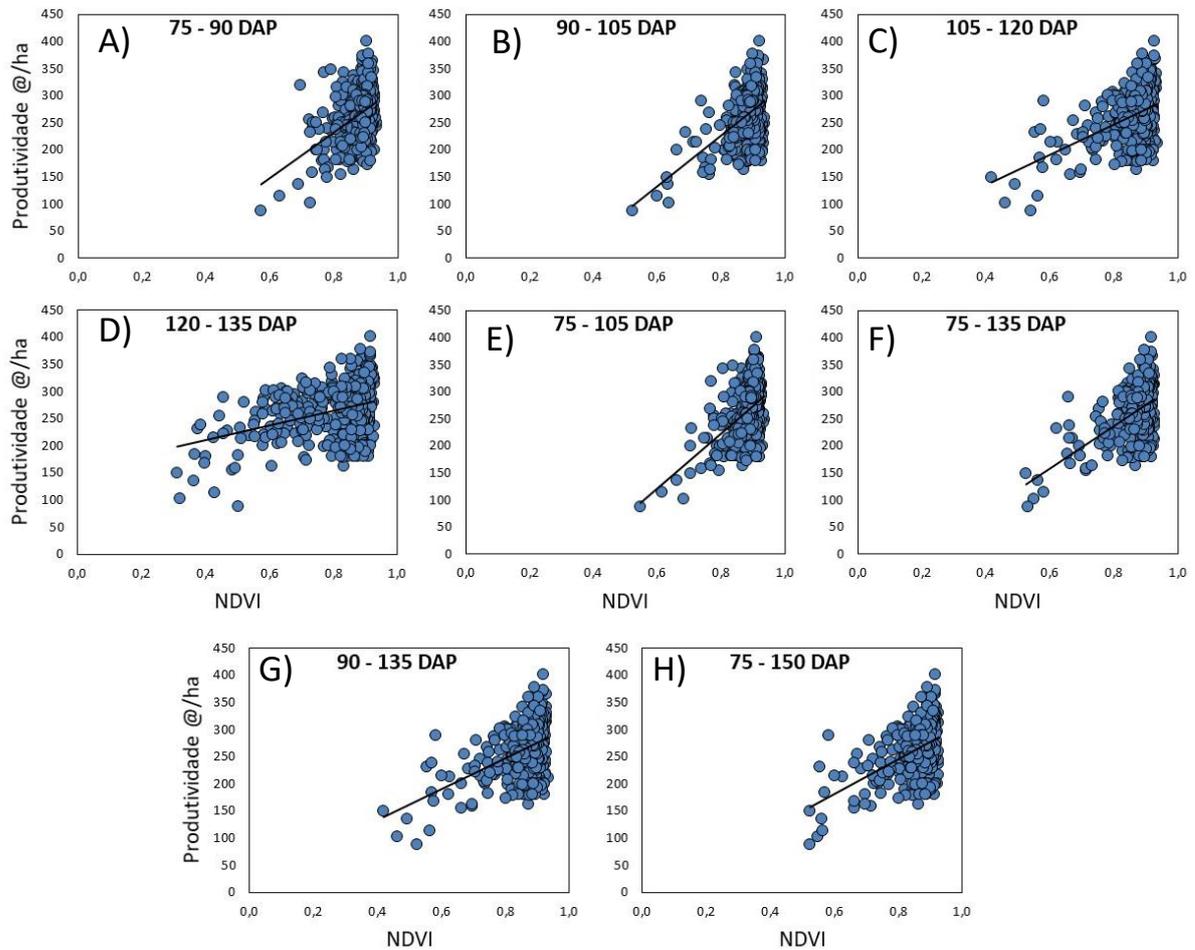


Figura 5. Correlação entre NDVI e a produtividade do algodoeiro para diferentes faixas de DAP (dias após o plantio): NDVI_{75-90 DAP}(A) NDVI_{90-105 DAP} (B) NDVI_{105-120 DAP} (C) NDVI_{120-135 DAP} (D) NDVI_{75-105 DAP} (E) NDVI_{75-135 DAP} (F) NDVI_{90-135 DAP} (G) NDVI_{75-150 DAP} (H).

Nota-se que nos dois primeiros meses após o plantio, as correlações lineares entre NDVI e EVI com a produtividade são muito baixas, mas aumenta a partir de 75 DAP, como já havia sido verificado na Figura 3, e que pode ser comprovado com os dados apresentados nas Tabelas 1 e 2, para EVI e NDVI, respectivamente. A partir de 75 DAP observa-se um aumento dos coeficientes de correlação linear (R^2) para os 2 IV's, bem como do coeficiente angular (a) indicando uma maior influência do vigor das plantas e quantidade de biomassa na produção, que é expresso nos IV.

Tabela 1. Coeficientes angulares (a) e lineares (b) das equações lineares ($\text{produtividade} = a \cdot \text{EVI} + b$), coeficientes de determinação (R^2) e raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) da correlação linear entre EVI e a produtividade, para as diferentes faixas do ciclo do algodão.

EVI	DAP															
	0-15	15-30	30-45	45-60	60-75	75-90	90-105	105-120	120-135	135-150	150-165	165-180	75-105	90-135	75-135	75-150
R ²	-0,024	-0,065	-0,109	0,158	0,314	0,487	0,480	0,410	0,336	0,231	0,156	0,138	0,511	0,409	0,453	0,412
RMSE	50,6	55,1	53,3	49,8	51,0	41,7	41,1	44,4	50,0	57,2	55,0	55,1	40,0	45,0	42,8	46,0
a	-2,1	-164,6	-79,4	97,0	368,9	430,4	369,5	304,3	269,6	235,5	152,4	192,0	409,1	317,3	353,6	357,4
b	242,5	294,1	279,3	183,4	-13,5	-73,9	-23,7	38,8	82,6	112,4	168,1	164,3	-55,2	32,8	2,3	10,8

Tabela 2. Coeficientes angulares (a) e lineares (b) das equações lineares (produtividade= a*NDVI+b), coeficientes de determinação (R²) e raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) da correlação linear entre NDVI e a produtividade, para as diferentes faixas do ciclo do algodão.

NDVI	DAP															
	0-15	15-30	30-45	45-60	60-75	75-90	90-105	105-120	120-135	135-150	150-165	165-180	75-105	90-135	75-135	75-150
R ²	-0,026	-0,056	-0,091	-0,115	0,224	0,422	0,478	0,442	0,356	0,215	0,116	0,090	0,467	0,343	0,366	0,322
RMSE	51,1	56,8	55,3	50,7	50,8	41,7	39,4	40,5	45,9	56,6	54,5	54,8	39,8	47,6	46,0	50,1
a	-84,0	-182,4	-127,2	-6,6	459,8	681,8	558,3	397,9	304,7	244,0	121,1	144,1	475,4	341,1	399,6	406,4
b	270,5	329,1	321,7	247,0	-132,5	-331,0	-223,1	-75,8	16,5	65,9	159,9	154,6	-145,9	-10,1	-63,9	-58,5

Com os dados das Tabelas 1 e 2 verifica-se que o EVI apresentou a melhor correlação linear com a produtividade e o menor RMSE. O melhor modelo quinzenal obtido foi para EVI em 75-105 DAP.

Os valores dos coeficientes de determinação (R²) obtidos em faixas de DAP com a produtividade variaram de aproximadamente zero para os 2 primeiros meses a 0,511 para a faixa 75-105 DAP, no caso do EVI, e 0,478 para a faixa 90-105 DAP, no caso do NDVI. Esses valores relativamente baixos de R² se explicam pelo fato de que nesses talhões foram utilizadas diferentes cultivares, sistemas de plantio, data da semeadura (safra e safrinha), tipos de solo e condições climáticas, ou seja, há diversos fatores de confundimento. Isso pode ser verificado para o estado do Mato Grosso onde houve uma diferença muito grande no comportamento das safras (Figura 6) de diferentes anos, possivelmente por variações significativas das condições climáticas (MALINSKI, 2016), manejo e uso de cultivares.

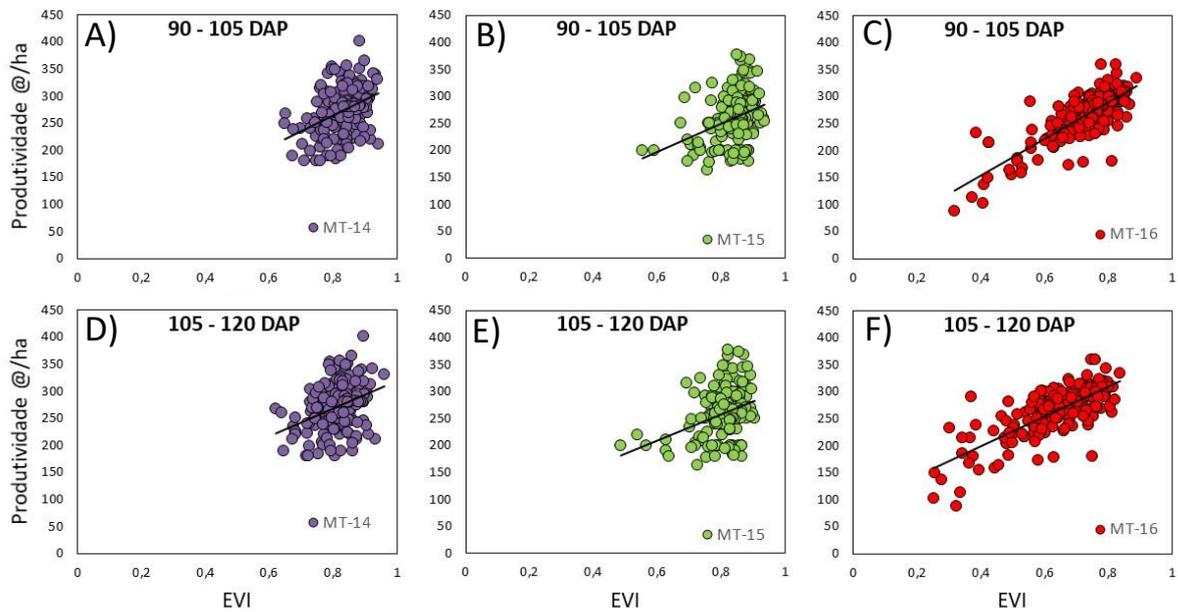


Figura 6. Correlações da produtividade com EVI, para as safras de 2013/2014 (A, D), 2014/2015 (B, E) e 2015/2016 (C, F) para diferentes faixas de DAP (dias após o plantio).

Os dados de precipitação acumulada ao longo do ciclo do algodoeiro, extraídos do site Agritempo (Tabela 3), indicam que a safra 2015/2016 foi atípica em termos de regime hídrico (menor precipitação acumulada quando comparada com as outras 2 safras). Isso explica os valores mais baixos EVI e produtividade na safra 2015/2016 (Fig. 6c e 6f) em comparação com as outras 2 safras. Essa larga variação nos IV's e nas produtividades contribuiu para a melhor correlação entre produtividade e IV nesse ano. Na safra 2014/2015, apesar de um regime de chuvas bom para a cultura do algodão, a média da produtividade foi a mais baixa entre as 3 safras avaliadas. Dentre os diversos atributos disponíveis no banco de dados fornecido pelo IMAmt, verificou-se uma média populacional mais alta do fitonematóides *Rotylenchulus reniformis* bem como aspectos nutricionais das plantas (análise da fertilidade do solo), indicando maior concentração de alumínio e hidrogênio no solo, por exemplo.

Apesar dos diversos fatores de variação (clima, manejo, cultivar, etc) foi possível se obter boas correlações entre os IV's e a produtividade utilizando-se os dados das 3 safras. A melhor correlação foi obtida para o EVI na média das faixas temporais 75-90 e 90-105 DAP, ou seja, EVI (75-105 DAP).

Tabela 3. Dados médios, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) da produtividade, ciclo, precipitação acumulada e temperatura média para diferentes anos agrícolas (safra).

SAFRA	Produtividade			Ciclo (DAP)			Precipitação			Temperatura média		
	média	Desvio P.	CV	média	Desvio P.	CV	média	Desvio P.	CV	média	Desvio P.	CV
2013/2014	272,8	41,4	21,8	208,6	18,3	9,1	990,9	168,6	16,7	24,7	0,3	1,1
2014/2015	259,8	45,4	22,7	200,5	17,9	9,0	969,8	242,3	24,0	26,1	0,8	3,1
2015/2016	266,7	45,3	17,0	160,5	17,4	10,8	661,3	126,4	19,1	25,3	0,5	1,9
Total	266,4	44,0	20,5	189,9	17,9	9,7	874,0	179,1	19,9	25,4	0,5	2,1

Avaliando-se o erro do modelo para a estimativa da produtividade, para o melhor modelo gerado pelo $EVI_{75-105\ DAP}$, obtêm-se um valor de cerca de 40 arrobas/ha (Tabela 1), ou seja, de cerca de 15%, considerando a média da produção dos 534 talhões que foi de 266 arrobas/ha. Apesar do erro ser relativamente alto, o método proposto apresenta um bom potencial considerando a baixa resolução espacial das imagens do satélite MODIS utilizadas neste trabalho que é de 250 m x 250 m.

Para uma avaliação mais detalhada do erro é importante avalia-lo em função das faixas de produtividade, pois deseja-se que o modelo apresente precisões similares para todas as faixas de produtividades. As Figuras 9 e 10 apresentam as correlações entre as produtividades medidas e estimadas para os 3 melhores modelos gerados para EVI e NDVI, respectivamente. De um modo geral, observa-se que os maiores erros ocorrem para as faixas das produtividades reais muito baixas e muito altas, principalmente no caso do NDVI. Em geral os erros foram menores quando se utiliza o EVI.

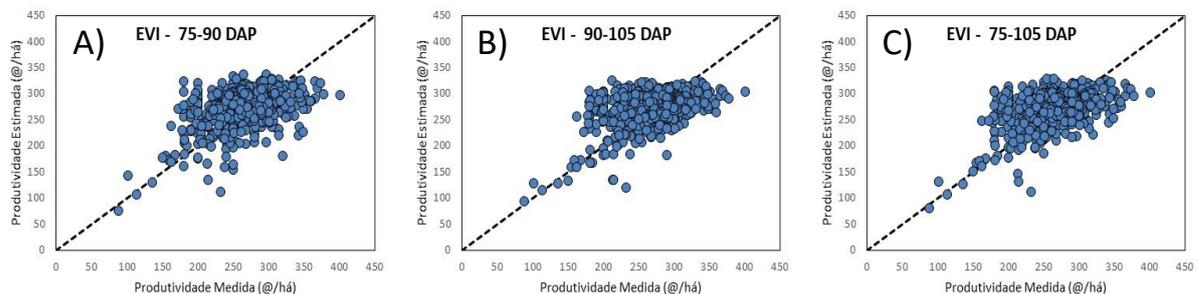


Figura 9. Erros da estimativa da produtividade utilizando os melhores modelos selecionados para EVI.

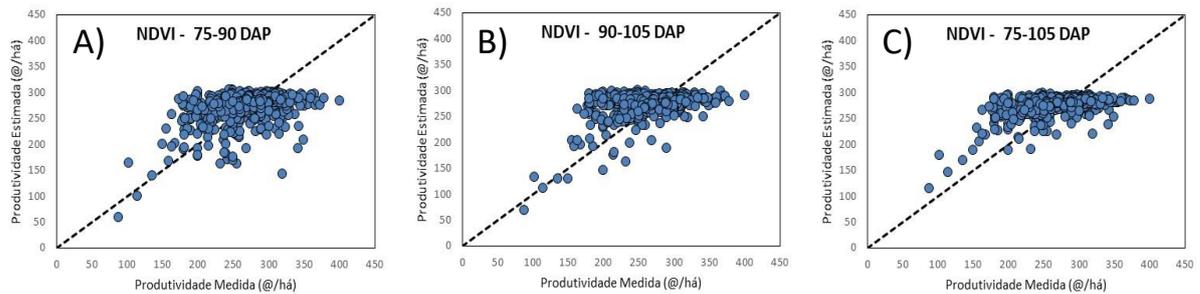


Figura 10. Erros da estimativa da produtividade utilizando os melhores modelos selecionados para NDVI.

Conclusões

O SATVeg mostrou-se uma ferramenta muito útil, de simples utilização e com excelentes possibilidades de aplicações em estudos agrônômicos, como no caso de estimativas de produtividade.

Os resultados obtidos até o momento mostraram um bom potencial para o uso do SATVeg na geração de modelos de estimativa da produtividade do algodoeiro cultivado na região do Mato Grosso.

Com os dados utilizados até essa etapa foi possível se estimar a produtividade a partir de 75 dias após o plantio, com uma precisão de até 40 arrobas/ha.

Trabalhos futuros deverão focar na utilização de dados de safras mais recentes, onde espera-se uma melhor qualidade dos dados dos satélites, bem como de imagens com maior resolução espacial (satélite Landsat com 30 m de resolução espacial e Sentinel, com 10 metros de resolução).

Bibliografia

BAIO, F.H.R.; et al. **Relação entre a produtividade do algodão e variabilidade de NDVI obtidos pó imagens Landsat.** – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Brasil. 2018.

BRANDAO, Z.N.; et al. **Spectral reflectance of satellite images using geostatistics methods to estimate growth and cotton yield.** Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology. São Carlos-SP. Proc. SPIE v.9239, 923920. 2014.

CONAB, 2021.**Companhia Nacional de Abastecimento.** Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 30/09/21.

GALBIERI, R.; et al. **Áreas de produção de algodão em Goiás: nematoides, mofo branco, murcha de Fusarium, sistemas de cultivo e atributos físicos do solo.** Goiânia: Associação Goiana dos Produtores de Algodão, 2018. 17 p. (AGOPA. Circular técnica).

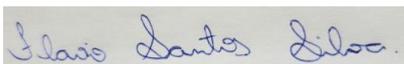
MALINSKI, Alan. **Clima afeta produção de algodão e Mato Grosso tem queda de 4%.** CNA. Disponível em: <<https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/algodao/179781-clima-afeta-producao-de-algodao-e-mato-grosso-tem-queda-de-4.html#.Xs5jk0RKjIU>>. Acesso em:26/05/2020.

MENG, L.; et al. **Estimation of cotton yield using the reconstructed time-series vegetation index of Landsat data.** Canadian Journal of Remote Sensing, v. 43, n.3. 2017. p. 244-255.

MONTEIRO, J.E.B.A; et al. Algodão. In: **Agrometeorologia dos Cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola.** 1 ed. Brasília: 2009.p 36.

SATVEG, 2020. **Sistema de Análise Temporal da Vegetação.** Disponível em: <<https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg/login.html>>. Acesso em: 10/02/20.

SHIRATSUCHI, L.S.; et al. Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A.C.C, NAIME, J.M., RESENDE, A.V., BASSOI, L.H., INAMASU, R.Y. **Agricultura de Precisão: Resultados de um novo olhar.** Brasília-DF, 2014. P 58 -73.



Flavio Santos Silva
Estudante



Carlos Manoel Pedro Vaz
Orientador

Luiz Roberto Paschoal
Co-orientador