

Revista Brasileira de Cartografia (2013) N<sup>o</sup> 65/1: 199-210  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **SÉRIES TEMPORAIS DE NDVI, EVI E NDWI DO SENSOR MODIS PARA CARACTERIZAÇÃO FENOLÓGICA DO ALGODÃO**

*MODIS NDVI, EVI AND NDWI TIME SERIES FOR COTTON  
PHENOLOGICAL CHARACTERIZATION*

**Antonio Felipe Couto Junior<sup>1</sup>; Osmar Abílio de Carvalho Junior<sup>2</sup>  
& Éder de Souza Martins<sup>3</sup>**

**<sup>1</sup>Universidade de Brasília**

**Campus Planaltina**

Vila Nossa Senhora de Fátima, 73300-000, Planaltina, DF

afcj@unb.br

**<sup>2</sup>Universidade de Brasília**

**Departamento de Geografia**

Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília, DF

osmarjr@unb.br

**<sup>3</sup>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**

**Embrapa Cerrados**

Rodovia Brasília-Fortaleza, km 18, 73310-970, Planaltina, DF

eder@cpac.embrapa.br

*Recebido em 14 de março, 2012/ Aceito em julho 25, 2012*

*Received on 14 de march, 2012 / Accepted on July 25, 2012*

### **RESUMO**

O desenvolvimento e a competitividade do setor agrícola brasileiro estão atrelados aos avanços tecnológicos e eficiência na alocação dos recursos. A utilização de dados de sensores orbitais destaca-se como ferramenta para o acompanhamento dos cultivos, a avaliação dos sistemas de produção e a previsão de safra. Esse potencial dos sensores orbitais foi impulsionado pelos avanços da resolução temporal, destacando-se o sensor *Moderate Imaging Spectroradiometer* (MODIS). O presente trabalho teve como objetivo caracterizar os estádios fenológicos do algodão no Cerrado utilizando séries temporais de NDVI, EVI e NDWI do sensor MODIS. A utilização efetiva dessas séries temporais mostra-se dependente do tratamento dos ruídos. O emprego conjunto do filtro de mediana e da transformação inversa da Fração Mínima de Ruído (FMR) apresentou-se como eficiente alternativa para o tratamento dos ruídos. Os comportamentos médios anuais de NDVI, EVI e NDWI evidenciam uma variação sazonal que caracterizam os estágios fenológicos da cultura do algodão.

**Palavras chaves:** Assinatura temporal, sensor orbital, cultura agrícola, estágio fenológicos.

## ABSTRACT

The development and competitiveness of the Brazilian agricultural sector are coupled to technological advances and efficiency in resource allocation. The use of orbital sensor data stands as an important tool for the crops monitoring, production system evaluation and forecasting. This potential was driven by the improving of the temporal resolution specially the Moderate Imaging Spectroradiometer (MODIS). This work aimed to characterize the phenological stages of cotton in the Cerrado biome using MODIS NDVI, EVI and NDWI time series. However, the effective utilization of this time series is dependent of the noise reduction. The employment of the median filter and inverse transformation of Minimum Noise Fraction (MNF) proved to be efficient as noise reduction procedures. The annual average temporal behavior of NDVI, EVI and NDWI show a seasonal variation that characterizes the phenological stages of the cotton crops. Beyond this phenological characterization, the procedures presented can support the regional production arrangements, energetic fluxes monitoring and evaluation of production system efficiency.

**Keywords:** Temporal signature, orbital sensor, crops, phenological stages.

## 1. INTRODUÇÃO

A competitividade da agricultura brasileira mostra-se fundamentada no incremento de sua produtividade, tendo sido alcançada pelos avanços tecnológicos e pela eficiência de alocação de recursos (SPOLADOR & FREITAS, 2007; VIEIRA FILHO, et al., 2011). Nas últimas décadas, esse crescimento foi consolidado no Brasil Central, com destaque para o Cerrado, considerado a mais recente frente agrícola do país (HELFAND et al., 2000). É nesse bioma que o algodão destaca-se como importante produto do agronegócio brasileiro, tendo o sucesso atrelado às condições climáticas, a topografia favorável para a mecanização, além de incentivos governamentais e aplicação de tecnologias modernas de usos intensivos (EMBRAPA, 2001; MOTOMIYA et al., 2011).

Nesse contexto, o Cerrado possui a maior produtividade da cultura de algodão no Brasil e no mundo, considerando as áreas não irrigadas (EMBRAPA, 2001; MOTOMIYA et al., 2011). Sua produção encontra-se principalmente nos estados do Mato Grosso e Bahia, que juntos respondem com mais de 80 % da área estimada da safra 2010/2011 (CONAB, 2012). O algodão necessita de temperaturas entre 18 e 30 °C, elevada radiação solar e insolação, além de considerar o ciclo (considera-se da emergência até a primeira colheita) do cultivar (AZEVEDO & SILVA, 2007). Dependendo da duração do ciclo, o algodoeiro necessita de 700 a 1300 mm de água, sendo que entre 50 e 60 % dessa água é necessária durante o período de floração (50 a 70 dias), considerando a cobertura foliar completamente fechada (EMBRAPA, 2012). Seus estádios fenológicos são caracterizados em função de sua fase vegetativa

(V), formação de botões florais (B), abertura da flor (F) e abertura do capulho (C), sendo subfases de desenvolvimento, respectivamente,  $V_n$ ,  $B_n$ ,  $F_n$  e  $C_n$  (MARUR & RUANO, 2001).

Sabendo que as atividades agrícolas apresentam crescentes implicações econômicas, sociais e ambientais, demanda-se informações mais detalhadas sobre sua distribuição espacial (OZDOGAN, 2010). A variabilidade espacial e temporal dos cultivos está relacionada à caracterização de seus estágios fenológicos, que são caracterizados por sua duração, ocorrência, sincronia e simetria (RATHCKE & LACEY, 1985; HUETE, 1988). Esses parâmetros biofísicos da vegetação mostram-se relacionados com suas variações espectrais e podem ser obtidos através de índices de vegetação de sensores orbitais (ASNER, 1998; HUETE et al., 2002). Dentre os principais índices, destaca-se o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (ROUSE et al., 1973), *Enhanced Vegetation Index* (EVI) (HUETE et al., 1997) e *Normalized Difference Water Index* (NDWI) (GAO, 1996).

Os avanços da caracterização temporal da vegetação foram impulsionados pelo sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), devido à conjugação da alta resolução temporal e moderada resolução espacial (HUETE et al., 2002). Neste contexto os índices de vegetação vêm sendo utilizados para a detecção das variações sazonais da vegetação (CARVALHO JUNIOR, 2006, 2008, 2009; COURA, 2010; COUTO JUNIOR et al., 2011, 2012; ROSEMBACK, 2010; SANTANA et al., 2010; SANTOS et al., 2009; SHIMABUKURO, 2009; SILVA et al. 2010). Seu potencial também tem sido aplicado na agricultura, identificando os estágios

fenológicos dos cultivos agrícolas (SAKAMOTO et al., 2005, 2010; XAVIER et al., 2007; GALFORD et al., 2008; WARDLOW & EGBERT, 2008; OZDOGAN, 2010).

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar os estádios fenológicos do algodão no Cerrado utilizando séries temporais de NDVI, EVI e NDWI do sensor MODIS.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada à esquerda da BR-020 no sentido sul-norte, em direção ao município de Luís Eduardo Magalhães (LEM), inserido na mesorregião do Extremo Oeste da Bahia e na porção leste do Bioma Cerrado (Fig. 1). Esta região apresenta uma expressiva expansão agrícola (FLORES et al., 2012; HESSEL et al., 2012; MENKE et al., 2009; SPAGNOLO et al., 2012).

Essa propriedade possui uma área de cerca de 4200 hectares, destinados ao cultivo de algodão, sendo empregado o sistema convencional de produção a mais de 10 anos. Essa superfície foi coberta por 618 pixels, considerando a projeção do sensor MODIS, o que representa uma área de 3862 hectares.

A área de estudo encontra-se sob o clima úmido, sendo duas estações bem definidas, uma seca e fria (maio a setembro) e, outra, chuvosa e quente (outubro a abril). A temperatura média anual da região varia entre 21° e 27°C, com precipitação média anual de cerca de 1500 mm (BATISTELLA et al., 2002).

A mesorregião do Extremo Oeste Baiano encontra-se sobre o Grupo Urucuiá, formado durante o Cretáceo e constituído por arenitos de origem eólica (CAMPOS & DARDENNE, 1997).

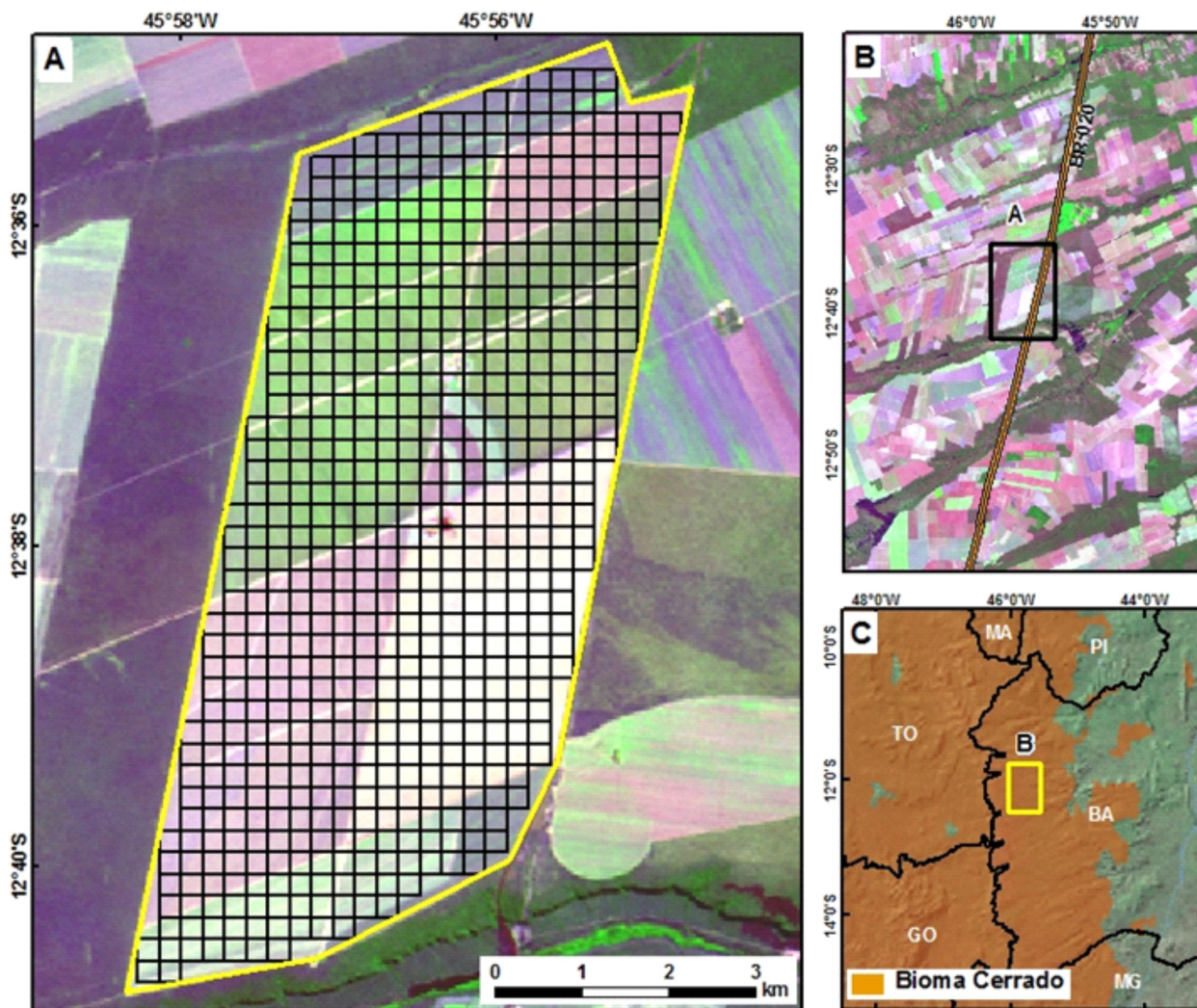


Fig. 1–Detalhe da área de estudo com a projeção dos pixels do sensor MODIS (250mx250m), em relação a imagem Landsat 5-TM, do dia 14 de julho de 2010 e composição colorida RGB/543 (A); entorno da área de estudo localizada ao longo da BR-020, no sentido do município de Luis Eduardo Magalhães (B); localização regional em relação ao Bioma Cerrado (C).

Os solos dessa região são bastante intemperizados, profundos e bem drenados, porém, apresentam baixa fertilidade natural (BATISTELLA et al., 2002). Sua superfície encontra-se em relevo plano a suave ondulado e altitude média de 900 metros, onde predominam os Latossolos e Neossolos.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Dados do sensor MODIS

Neste trabalho foi utilizado o produto MOD09, obtido do sensor MODIS, referente à reflectância da superfície terrestre obtidas a cada oito dias entre os anos de 2000 e 2011. Esses dados possuem alta resolução temporal, sendo georreferenciados e corrigidos dos efeitos atmosféricos, contribuindo para melhor compreensão sobre os sistemas globais (WOLFE et al., 2002; JUSTICE et al., 2002).

As imagens são corregistradas e inseridas em ordem crescente formando séries temporais representadas por um cubo temporal (Fig. 2), onde o eixo X representa a longitude, o eixo Y a latitude, e o eixo Z o espectro temporal (reflectância ou índices de vegetação) (CARVALHO JUNIOR, 2006). Essa estrutura gera o comportamento dos

parâmetros da superfície terrestre ao longo do tempo, correspondendo à sua assinatura temporal, analogamente à assinatura espectral em dados hiperespectrais.

Os dados foram reamostrados para 250 metros e gerados três índices de vegetação: NDVI, EVI e NDWI descritos, respectivamente, pelas seguintes formulações:

$$\text{NDVI} = (\tilde{n}_{\text{IVP}} - \tilde{n}_{\text{Ver}}) / (\tilde{n}_{\text{IVP}} + \tilde{n}_{\text{Ver}}),$$

$$\text{EVI} = G \cdot [(\tilde{n}_{\text{IVP}} - \tilde{n}_{\text{Ver}}) / (\tilde{n}_{\text{IVP}} + C1 \cdot \tilde{n}_{\text{Ver}} - C2 \cdot \tilde{n}_{\text{Azul}} + L)]$$

$$\text{NDWI} = (\tilde{n}_{\text{IVP}} - \tilde{n}_{\text{IVC}}) / (\tilde{n}_{\text{IVP}} + \tilde{n}_{\text{IVC}}),$$

Onde,  $\tilde{n}_{\text{IVP}}$  é o valor da reflectância no infravermelho próximo (banda 2: 841-876nm),  $\tilde{n}_{\text{Ver}}$  é a reflectância na faixa do vermelho (banda 1: 620-670 nm),  $\tilde{n}_{\text{Azul}}$  é a reflectância do azul (banda 3: 459-479 nm);  $\tilde{n}_{\text{IVC}}$  é a reflectância do infravermelho de ondas curtas (banda 5: 1230-1250nm), C1 e C2 coeficientes de resistência atmosférica; L é o fator de correção de brilho do dossel; e G é o fator de ganho. Para o MODIS, os valores dos coeficientes do índice EVI são C1=6; C2=7,5; L=1; e G=2,5 (JUSTICE et al., 1998; HUETE et al., 1994; 1997).

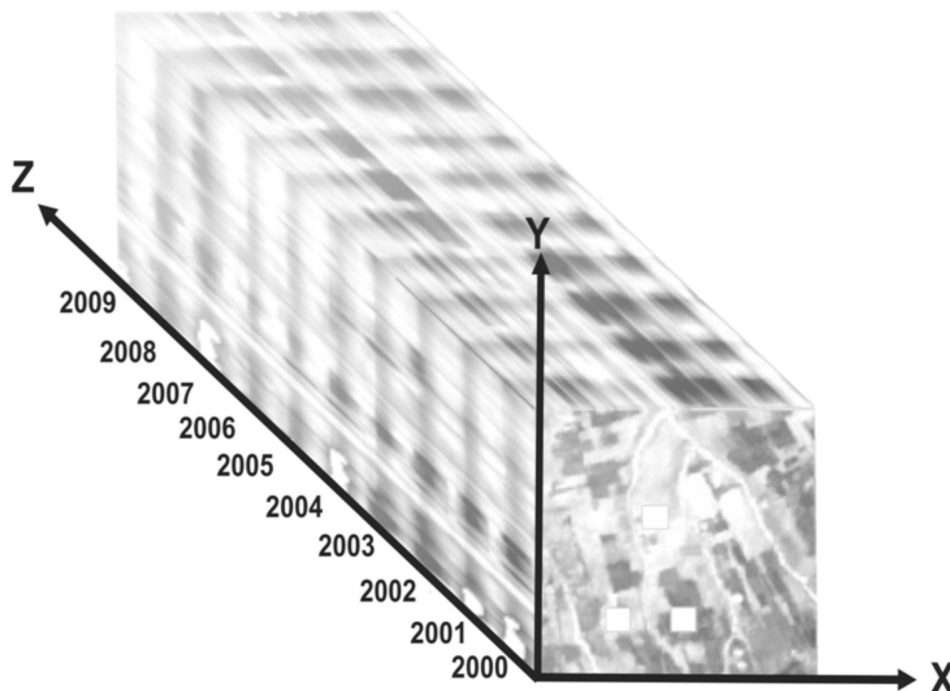


Fig. 2 – Série temporal MODIS gerado a partir das imagens corregistradas dispostas em sequencia crescente.

O NDVI é o índice de vegetação mais utilizado, no entanto possui interferências devido à contaminação atmosférica e problema de saturação (HUETE et al., 1985, 1994). O EVI minimiza o efeito dos aerossóis atmosféricos e de saturação (HUETE et al., 1997).

O NDWI mostra-se relevante para o monitoramento do conteúdo de água foliar, que é utilizado na agricultura e irrigação (PENUELAS et al., 1993). Este índice remove as variações induzidas pela estrutura interna da folha e os teores de matéria seca, melhorando a precisão na recuperação do teor de água de vegetação (CECCATO et al., 2001; CHEN et al. 2005).

### 3.2. Tratamento das séries temporais e caracterização dos estágios fenológicos do algodão

Essas séries temporais de índices de vegetação ainda apresentam restrições ocasionadas por interferências atmosféricas, principalmente cobertura de nuvens e suas sombras (DU et al., 2001; FURBY & CAMPBELL, 2001). A redução

desses ruídos passou pelas etapas (CARVALHO JUNIOR et al., 2012): (a) aplicação de um filtro móvel de mediana, (b) separação da fração sinal pela transformação pela Fração Mínima de Ruído (FMR) e (c) restituição dos parâmetros originais utilizando a fração sinal (Fig. 3).

O filtro de mediana proporcionou a obtenção do valor central da janela através de operações não lineares simples, uma vez que as observações foram dispostas em ordem. Considerando esse ordenamento estatístico de  $N$  números reais,  $x(1) \dots x(N)$ , onde  $N$  representa a janela do filtro digital, se o valor mínimo é  $x(1)$ , o máximo  $x(N)$ , sua mediana será  $M((N + 1) / 2)$ .

A segunda etapa desta sequência metodológica utiliza a transformação pela Fração Mínima de Ruído (FMR) (GREEN et al., 1988). A FMR é uma transformação semelhante à Análise de Componentes Principais (ACP), sendo linear, porém, sua principal característica é a maximização da razão sinal/ruído, seguida do ordenamento das imagens segundo sua qualidade (CARVALHO JUNIOR et al., 2002). Esse

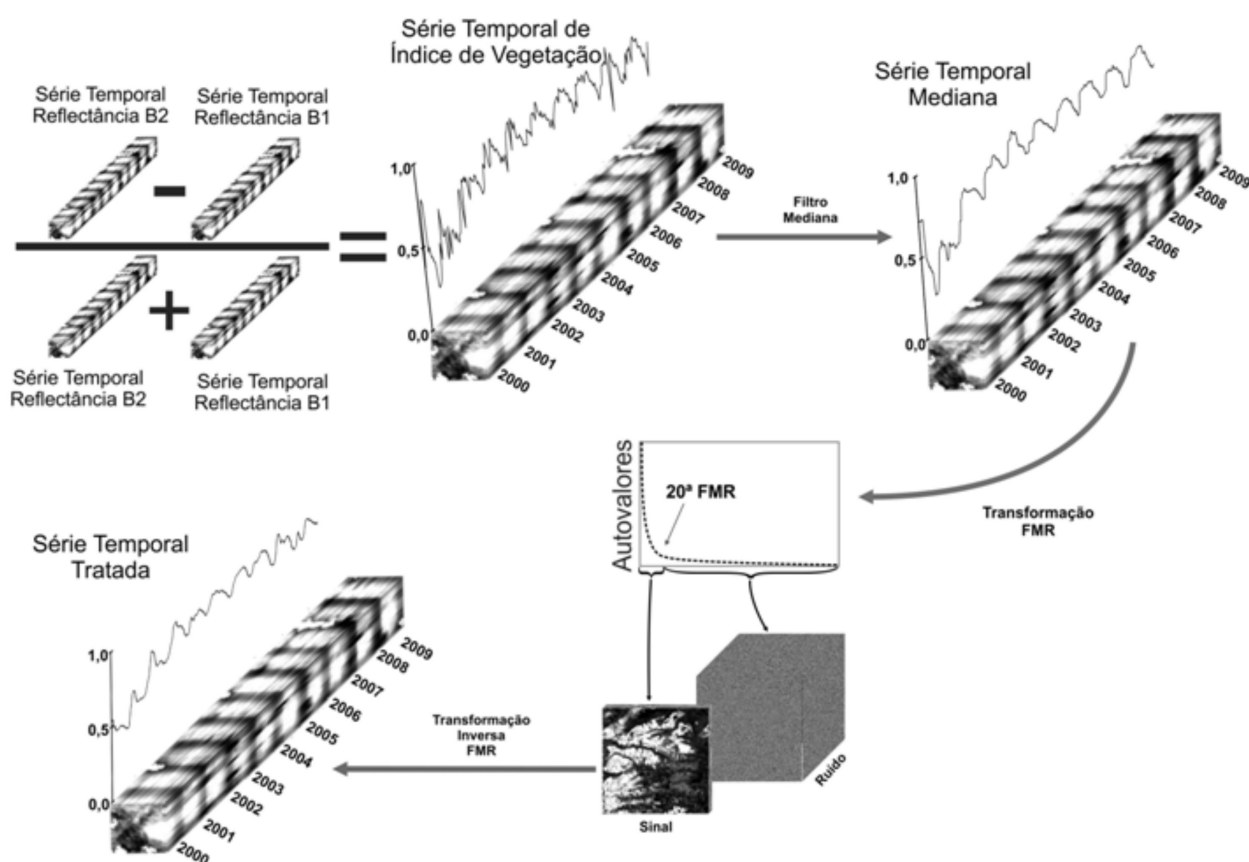


Fig. 3—Geração das séries temporais dos índices de vegetação MODIS e sequência metodológica utilizada para o tratamento dos ruídos, nesse caso, o exemplo do NDVI.

ordenamento segregou a fração sinal nas primeiras componentes, tendo sido utilizada para proceder a transformação inversa FMR (Fig. 3). Esse procedimento visa eliminar da presença do ruído branco (não correlacionado e com baixa variância) e atenuar possíveis patamares gerados durante a passagem do filtro de mediana, retornando a escala de valores originais dos parâmetros das séries temporais.

A partir dessas séries temporais tratadas foram caracterizados os estágios fenológicos do algodão, considerando o NDVI, EVI e NDWI.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Resultados do tratamento do ruído

Foi possível constatar uma redução significativa da presença de ruídos ocasionados pela cobertura de nuvens ou sombra pela utilização do filtro de mediana (Fig. 4). A segunda etapa do procedimento proporcionou o ordenamento dos dados, tendo sido a fração sinal segregada nas 20 primeiras componentes, segundo o gráfico de autovalores (Fig. 3). Essa fração foi utilizada para a aplicação da transformação inversa da FMR, restaurando o espectro temporal suavizado na escala dos índices de vegetação (Fig. 4). Nesse momento observou-se a eliminação ruídos sem correlação e de baixa variância e dos eventuais patamares gerados pela repetição de valores após a filtragem de mediana, ocasionando melhoria na qualidade das imagens (Fig. 5).

### 4.2. Comparações entre os índices de vegetação

A caracterização fenológica do algodão utilizou os comportamentos temporais dos índices de NDVI, EVI e NDWI ao longo de uma década (Fig. 6). Nesse período, o NDVI apresentou a maior amplitude, variando cerca de 70 % entre as estações. Os períodos secos foram marcados por valores inferiores a 0,2 e os chuvosos, inferiores a 0,8, exceto no ano de 2011, quando esse valor foi ultrapassado (Fig. 6).

O EVI foi marcado por uma variação estacional de quase 70%, podendo ser observado que a estação chuvosa apresentou valores inferiores a 0,6, com exceção aos anos 2005, 2007, 2008 e 2011 (Fig. 6). O período seco foi caracterizado por cobertura (EVI) inferior a 10 %, indicando elevada exposição do solo e a necessidade de práticas conservacionistas do solo durante essa época.

O NDWI cresce durante as estações chuvosas (outubro a abril), alcançando valores positivos a partir do ano de 2004 (Fig. 6). Esse fato indica mais disponibilidade de água nessa época e um melhor aproveitamento desse recurso pela vegetação. Durante a seca foram encontrados valores de NDWI próximos a -0,2, indicando a ausência de vegetação, pois o valor esperado para vegetação seca é cerca de -0,05 (GAO, 1996).

Os índices apresentaram alta correlação entre si, sendo: 0,97884 entre EVI e NDVI (Fig. 7), 0,95877 entre NDWI e EVI (Fig. 8); e 0,9217 entre NDWI e NDVI (Fig. 9).

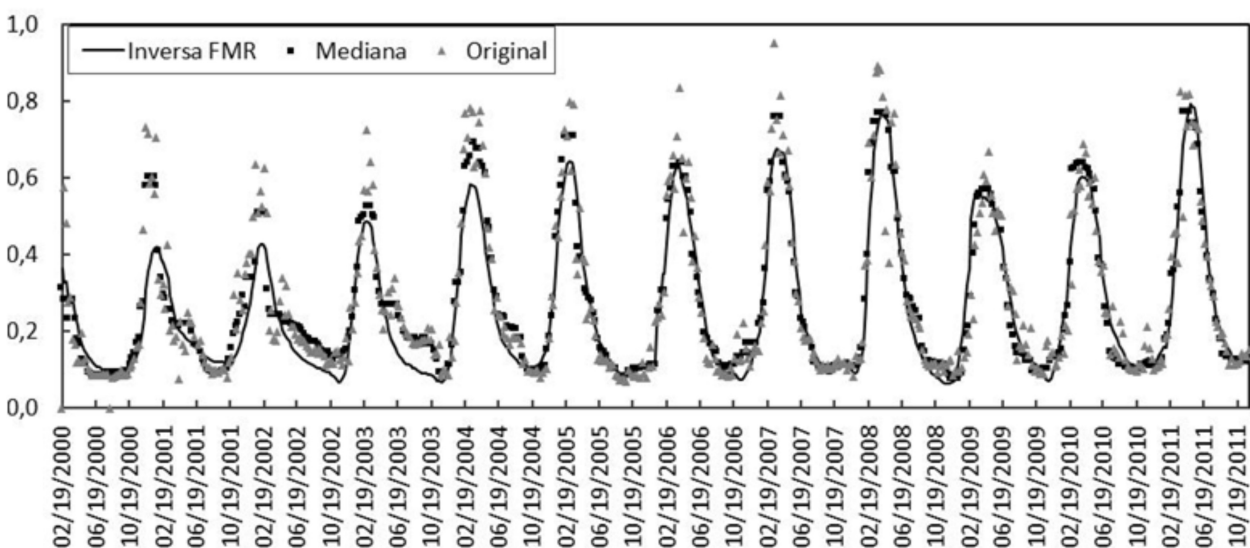


Fig. 4— Perfil temporal original (triângulos cinzas), perfil após a aplicação da mediana (quadrados pretos) e o perfil tratado pela transformação inversa da Fração Mínima de Ruído (linha preta).

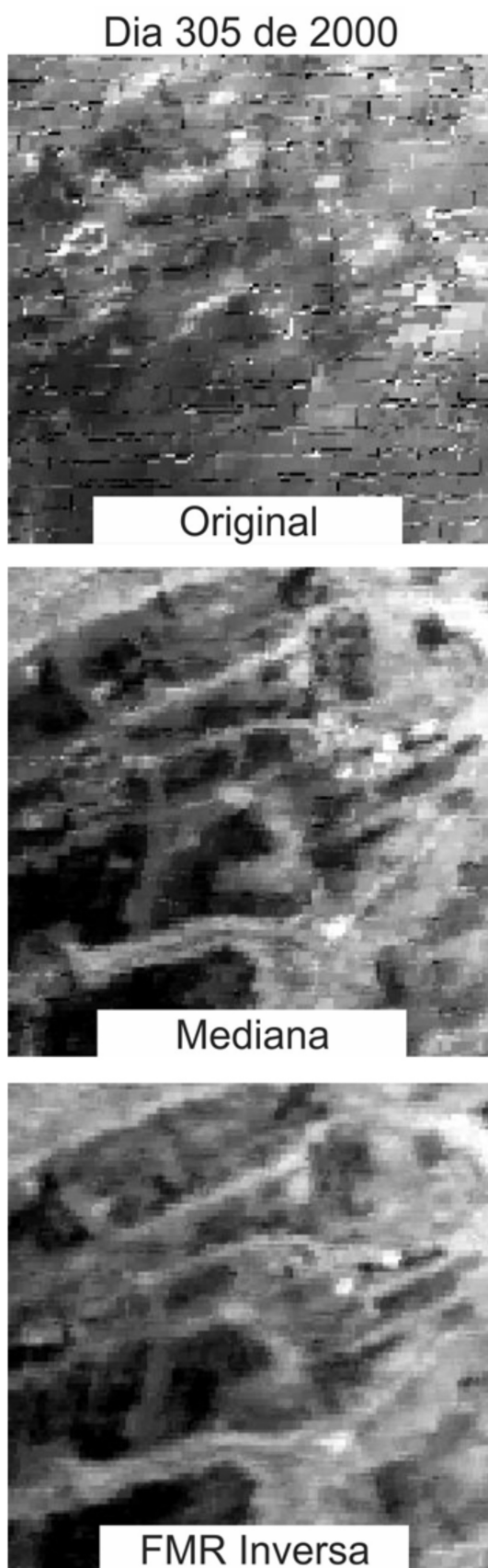


Fig. 5—Qualidade crescente das imagens referentes ao dia 305 do ano de 2000, original (topo), após o filtro de mediana (centro) e após a transformação inversa FMR (inferior).

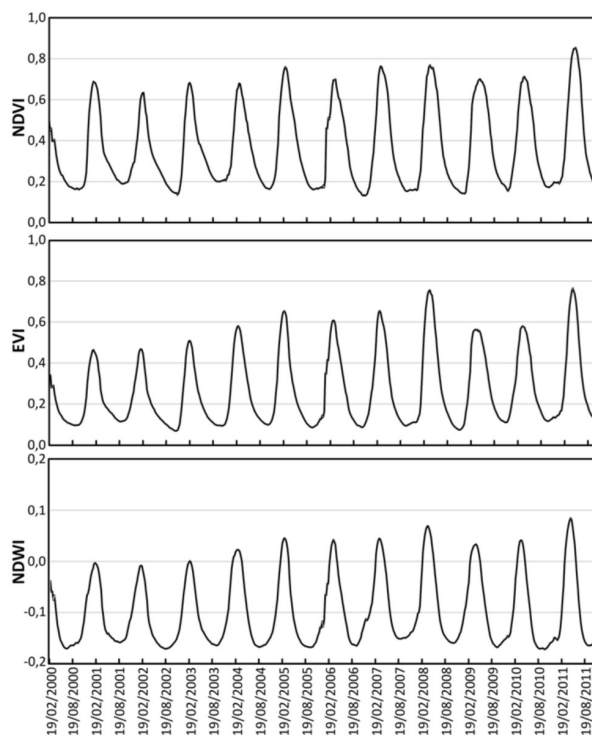


Fig. 6—Comportamento temporal do algodão entre os anos de 2000 e 2011, considerando a produção de biomassa (NDVI), cobertura de dossel (EVI) e conteúdo de água foliar (NDWI).

#### 4.3. Resultados da caracterização fenológica do algodão

As assinaturas temporais foram utilizadas para a construção do comportamento temporal médio dos índices de vegetação (NDVI, EVI e NDWI) referentes ao ano agrícola do algodão (Fig. 10), bem como as fases fenológicas apresentadas por MARUR & RUANO (2001).

Considerando os comportamentos dos índices (Fig. 10), observa-se que o NDVI e o EVI apresentaram tendência de distribuição assimétrica à direita, sendo mais acentuados no início do ciclo fenológico. Por outro lado, o NDWI salienta essa distribuição assimétrica.

O período de semeadura (S, Fig. 10) iniciou-se próximo ao dia 321 (16 de novembro), dentro da 44ª semana do ano, considerado um período favorável à semeadura nessa região (AZEVEDO & SILVA, 2007). Essa fase é marcada pelo incremento gradual nos índices de vegetação.

A etapa da emergência (E), entre os dias 345 e 361, foi determinada pela elevação dos valores de NDVI (atividade fotossintética), de acordo com sua 1ª derivada (Fig. 10). Destaca-se dos demais índices que tiveram menores inclinações de suas derivadas.

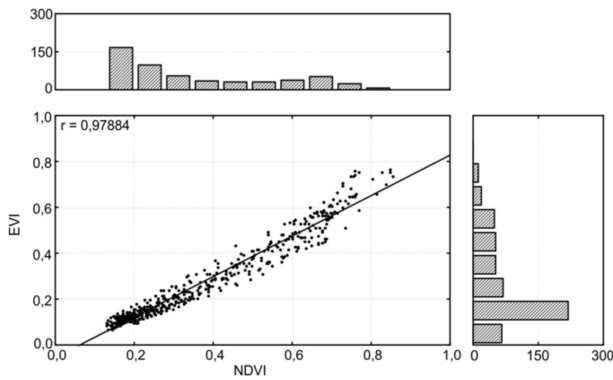


Fig. 7 - Correlação entre EVI e NDVI, acompanhado por suas distribuições de frequência.

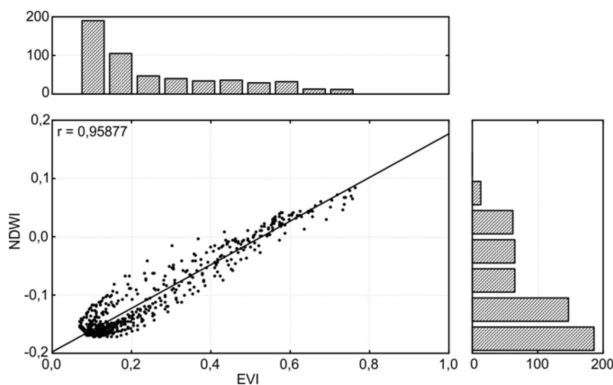


Fig. 8 - Correlação entre NDWI e EVI, acompanhado por suas distribuições de frequência.

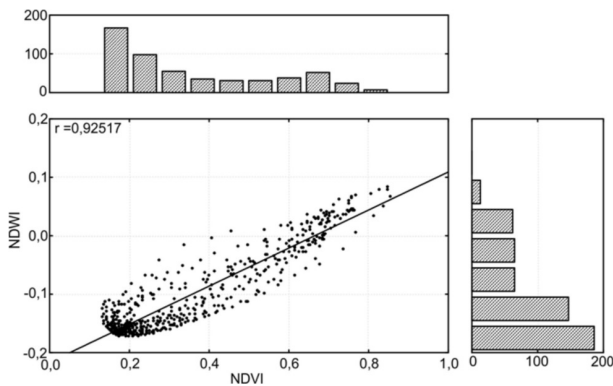


Fig. 9 - Correlação entre NDWI e NDVI, acompanhado por suas distribuições de frequência.

A Fase Vegetativa (V) apresenta um NDVI constante e incremento do EVI e NDWI, como demonstra as curvas de 1ª derivada (Fig. 10). Esse fato confirma o desenvolvimento quantitativo das estruturas foliares, ocasionando maior demanda por água (MARUR & RUANO, 2001).

A fase seguinte é a Formação dos Botões Florais (B), quando os índices de vegetação alcançam seus valores máximos (Fig. 10). Após atingir esse ápice, pode ser observada uma redução dos valores de todos os índices, devido ao

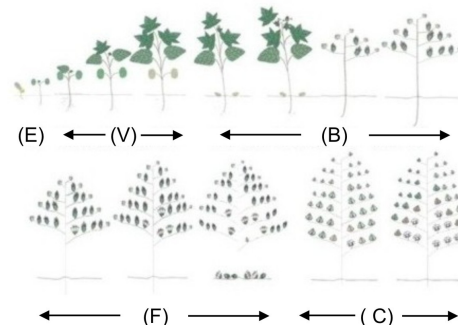
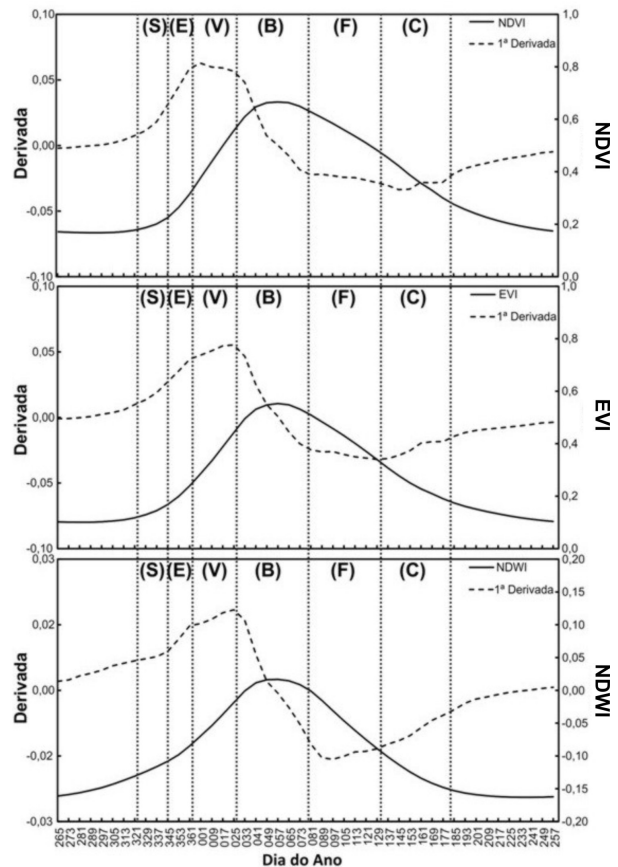


Fig. 10 - Comportamento temporal da cultura do algodão considerando os índices NDVI, EVI e NDWI, em dias do ano (1ª derivada descrita em linha tracejada). Ilustrações do desenvolvimento do algodão, adaptado MARUR & RUANO (2001). Fases do cultivo: semeadura (S), emergência (E), fase Vegetada (V), formação dos botões florais (F) e abertura do capulho (C)

surgimento das estruturas reprodutivas, os botões florais.

A redução dos valores de todos os índices ocorreu até o final da fase dos botões florais, marcando a fase de Abertura da Flor (F), iniciada por volta do dia 81, meados de março (Fig. 10).

A última fase fenológica do algodão é a Abertura do Capulho (C), compreendida entre o início de maio (dia 129) e início de julho (dia 185),



época marcada pela redução dos índices. Os índices evidenciam a colheita, que é procedida no momento de menor presença de folhas verdes, com umidade de cerca de 12 % e com 95 % dos capulhos abertos (EMBRAPA, 2012).

## 5. CONCLUSÃO

Nas estratégias para a gestão e desenvolvimento do agronegócio brasileiro torna-se prioritário o acompanhamento dos plantios, a avaliação dos sistemas de produção e a previsão de safra. Tendo em vista estas necessidades, este trabalho apresentou procedimentos metodológicos que permitiram a caracterização fenológica do algodão, importante produto da agroindústria do Brasil.

Este estudo utilizou índices de vegetação NDVI, EVI e NDWI do sensor MODIS. A plena utilização desses índices foi permitida pelos procedimentos metodológicos aplicados para a redução das interferências atmosféricas presentes nestas séries temporais. O emprego sequencial do filtro de mediana e da transformação inversa da Fração Mínima de Ruído (FMR) mostrou-se eficiente para o tratamento dos ruídos e permitiu a geração das assinaturas temporais daqueles parâmetros biofísicos do algodão.

Utilizando o comportamento temporal médio desses índices foi possível separar as fases fenológica do algodão. Dentro dessas fases, foram caracterizadas as taxas de variação dos estádios fenológicos desse cultivo.

Além da caracterização fenológica, esses procedimentos metodológicos subsidiam a estruturação de arranjos produtivos regionais, o acompanhamento dos fluxos energéticos e a eficiência dos sistemas de produção.

## AGRADECIMENTOS

O presente artigo está inserido dentro dos seguintes projetos: (a) *Desenvolvimento de metodologias de processamento digital de imagens de satélite multisensores para o monitoramento do uso da terra e análise ambiental dos fragmentos florestais da bacia do Rio São Francisco* (edital 35/2006 do CT-Hidro), financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); e (b) *Evolução e análise ambiental na região do Cerrado da Bacia do Rio São Francisco* (FAP-

DF), processo 193.000.49/2008. O reconhecimento de campo foi proporcionado Sr. Ingbert Döwich e sua equipe da Associação de Plantio direto do Cerrado (APDC). Os autores agradecem ainda à CAPES pela bolsa de doutorado fornecida ao pesquisador Antonio Felipe Couto Junior; e ao CNPq pelas bolsas de produtividade fornecidas aos pesquisadores: Osmar Abílio de Carvalho Júnior e Éder de Souza Martins.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASNER, G. P. Biophysical and biochemical sources of variability in canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, vol. 64, p.234-253, 1998.

AZEVEDO, P. V. & SILVA, F. D. S. Risco climático do algodoeiro na região nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, vol. 22, p.408-416, 2007.

BATISTELLA, M.; GUIMARÃES, M.; MIRANDA, E. E.; VIEIRA, H. R.; VALLADARES, G. S.; MANGABEIRA, J. A. C. & ASSIS, M. C. **Monitoramento da expansão agropecuária da Região Oeste da Bahia**. Embrapa Monitoramento por Satélite. Documentos, 20, 41p., 2002.

CAMPOS, J. E. G. & DARDENNE, M. A. Estratigrafia e sedimentação da Bacia Sanfranciscana: uma revisão. **Revista Brasileira de Geociências**, vol. 27, p. 269-282, 1997.

CARVALHO JUNIOR, O. A.; CARVALHO, A. P. F.; MENESES, P. R. & GUIMARÃES, R. F. Classificação e eliminação dos ruídos em imagens hiperespectrais pela análise sequencial da transformação fração de ruído mínima. **Revista Brasileira de Geofísica**, vol. 20, p. 31-42, 2002.

CARVALHO JUNIOR, O. A.; HERMUCHE, P. M. & GUIMARÃES, R. F. Identificação regional da floresta decidual na bacia do rio PARANÁ (GO/TO) a partir da análise multitemporal de imagens MODIS. **Revista Brasileira de Geofísica**, vol.24, p.319-332, 2006.

CARVALHO JUNIOR, O.; SAMPAIO, C. S, SILVA, N. C.; COUTO JUNIOR, A. F.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO, A. P. F. & SHIMABUKURO, Y. E. Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais NDVI do sensor MODIS no Parque Nacional da Chapada

- dos Veadeiros. **Revista Brasileira de Geofísica**, vol. 26, p.505-517, 2008.
- CARVALHO JUNIOR, O. A.; COUTO JUNIOR, A. F.; SILVA, N. C.; MARTINS, E. S.; CARVALHO, A. P. F. & GOMES, R. A. T. Avaliação dos classificadores espectrais de Mínima Distância Euclidiana e Spectral Correlation Mapper em séries temporais NDVI-MODIS no campo de instrução militar de Formosa (GO). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 61, p. 399-412, 2009.
- CARVALHO JUNIOR, O.; SILVA, N.C.; CARVALHO, A.P.F.; COUTO JUNIOR, A.F.; SILVA, C.R.; SHIMABUKURO, Y.E.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T. Combining noise-adjusted principal components transform and median filter techniques for denoising modis temporal signatures. **Revista Brasileira de Geofísica**, vol. 30, n. 2, p. 147-157, 2012.
- CECCATO, P.; FLASSE, S.; TARANTOLA, S.; JACQUEMOUD, S. & GREGOIRE, J.M. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. **Remote Sensing of Environment**, vol. 77, p.22-33, 2001.
- CHEN, D; HUANG, J. & JACKSON, T. J. Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near- and short-wave infrared bands. **Remote Sensing of Environment**, v. 98, p. 225-236, 2005.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, Indicadores da Agropecuária. Disponível em : <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso: 21 de março de 2012.
- COURA, S. M. C.; SHIMABUKURO, Y. E. & FONSECA, L. M. G. Mapeamento da cobertura vegetal em escala regional do estado de Minas Gerais utilizando imagens MODIS. **Geografia (Rio Claro. Impresso)**, v. 35, p. 661-681, 2010.
- COUTO JUNIOR, A.F., CARVALHO JUNIOR, O.A., MARTINS, E.S., SANTANA, O., SOUZA, V. & ENCINA, J. Tratamento de ruídos e caracterização de fisionomias do Cerrado utilizando séries temporais do sensor MODIS. **Revista Árvore**, v. 35, p.699-705, 2011.
- COUTO JUNIOR, A.F., CARVALHO JUNIOR, O.A., MARTINS, E.S., MARTINS, E.S. Séries temporais MODIS aplicadas em sucessão de culturas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e milho (*Zea mays* L.) em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 64, p. 405-418, 2012.
- DU, Y.; CIHLAR, J.; BEAUBIEN, J. & LATIFOVIC, R. Radiometric normalization, composition, and quality control forsatellite high resolution image mosaics over large areas. **IEEE TransactionsonGeoscienceand Remote Sensing**, v. 39, p. 623-634, 2001.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Algodão: tecnologia de produção**. Embrapa Agropecuária Oeste, 296 p. 2001.
- FLORES, P. M.; GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO JUNIOR, O.A. & GOMES, R.A.T. Análise multitemporal da expansão agrícola no município de Barreiras - Bahia (1988 - 2008). **Campo - Território**, v. 7, p. 1-19, 2012.
- FURBY, S. L. & CAMPBELL, N. A. Calibrating images from different dates to like-value digital counts. **Remote Sensing of Environment**, v. 77, p. 186-196, 2001.
- GALFORD, G.; MUSTARD, J. F.; MELILLO, J.; GENDRIN, A.; CERRI, C. C. & CERRI, C. E. P. Wavelet analysis of MODIS time series to detect expansion and intensification of row-crop agriculture in Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p.576-587, 2008.
- GAO, B. C. NDWI – a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, p.257-266, 1996.
- GREEN, A. A.; BERMAN, M.; SWITZER, P. & CRAIG, M. D. A transformation for ordering multispectral data in terms of images quality with implications for noise removal. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 26, n. 1, p. 65-74, 1988.
- HELFAND, S. M., & RESENDE, G. C. **Padrões Regionais de Crescimento da Produção de grãos e o Papel da Região Centro-Oeste**. Texto para Discussão, n. 731. Rio de Janeiro, IPEA, 2000.

- HUETE, A. R.; JACKSON, R. D. & POST, D. F. Spectral response of a plant canopy with different soil background. **Remote Sensing of Environment**, v. 17, p. 37-53, 1985.
- HUETE, A. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.
- HUETE, A.R.; JUSTICE, C. & LIU, H. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, p.224-234, 1994.
- HUETE, A.; LIU, H.Q.; BATCHILY, K. & VAN LEEUWEN, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, p.440-451, 1997.
- HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, P.; GAO, X. & FERREIRA, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.195-213, 2002.
- HESSEL, F. O.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S. & GUIMARÃES, R. F. Dinâmica e sucessão dos padrões da paisagem agrícola no município de Cocos (Bahia). **RA E GA**, v. 26, p.128-156, 2012.
- JUSTICE, C.O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J.R.G.; DEFRIES, R; ROY, P.D.; HALL, D.K; SALOMONSON, V.; PROVETTE, J.L.; RIGGS, G.; STRHALER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, B.; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, W.S; NEMANI, R.R.; WAN, Z.; HUETE, A.R.; LEEUWEN, W.V.; WOLFE, R.E., GIGLIO, L.; MULLER, J.P.; LEWIS, P. & BARNSLEY M. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, p.1228-1247, 1998.
- JUSTICE, C.O.; TOWNSHEND, J.R.G.; VERMOTE, E.F.; MASUOKA, E.; WOLFE, R.E.; SALEOUS, N.; ROY, D.P. & MORISETTE, J.T. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 3-15, 2002.
- MARUR, J.M. & RUANO, O. A reference system for determination of developmental stages of upland cotton. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v.5, p. 313-317, 2001.
- MENKE, A.B.; CARVALHO JUNIOR, O.A.; GOMES, R.A.T.; MARTINS, E.S. & OLIVEIRA, S.N. Análise das mudanças do uso agrícola da terra a partir de dados de sensoriamento remoto multitemporal no município de Luis Eduardo Magalhães (BA – Brasil). **Sociedade e Natureza**, v. 21, p.315-326, 2009.
- MOTOMIYA, A.V.A; MOLIN, J.P.; MOTOMIYA, W.R. & VIEIRA, S.R. Spatial variability of soil properties and cotton yield in the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p.996-1001, 2011
- OZDOGAN, M. The spatial distribution of crop types from MODIS data: temporal unmixing using independent component analysis. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p.1190-1204, 2010.
- PENUELAS, J.; FILELLA, I.; BIEL, C.; SERRANO, L. & SAVE, R. The reflectance at the 950-970 nm region as an indicator of plant water status. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 52, p.1669-1675, 1993.
- RATHCKE, B. & LACEY, E.P. Phenological patterns of terrestrial plants. **Annual Review of Ecology Systematics**, v. 16, p.179-214, 1985.
- ROSEMBACK, R.; FERREIRA, N. J.; SHIMABUKURO, Y. E. & CONFORTE, J. C. Análise da dinâmica da cobertura vegetal na região sul do Brasil a partir de dados MODIS/Terra. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 62, p. 401-416, 2010.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A. & DEERING, D. W. 1973. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt: NASA SP-351, 301-317
- SANTANA, O. A.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; PIMENTEL, C. M. M.; GOMES, R. A. T. & OLIVEIRA, S. N. Modelagem de espectros temporais NDVI-MODIS, no período de 2000 a 2008, na bacia do Rio Paracatu, Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, vol. 28, p.47-60, 2010.

- SAKAMOTO, T.; YOKOZAWA, M.; TORITANI, H.; SHIBAYAMA, M.; ISHITSUKA, N.; OHNO, H. A crop phenology detection method using time-series MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, vol. 96, p.366-374, 2005.
- SAKAMOTO, T.; WARDLOW, B. D.; GITELSON, A. A.; VERMA, S.B.; SUYKER, A. E. & ARKEBAUER, T. J. A two-step filtering approach for detecting maize and soybean phenology with time-series MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p.2146-2159, 2010.
- SANTOS, J. S.; PEREIRA, G.; SHIMABUKURO, Y. E.; RUDORFF, B. F. T. Identificação de áreas alagadas no bioma Pantanal - Brasil - utilizando dados multitemporais Terra/MODIS. **Geografia (Rio Claro. Impresso)**, v. 34, p. 745-755, 2009.
- SHIMABUKURO, Y. E.; DUARTE, V.; ARAI, E.; FREITAS, R. M.; LIMA, A.; VALERIANO, D. M.; BROWN, I. F.; MALDONADO, M. L. R. . Fraction images derived from Terra MODIS data for mapping burnt areas in Brazilian Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 30, p. 1537-1546, 2009.
- SILVA, G. B. S.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; ADAMI, M.; SANO, E. E. Discriminação da cobertura vegetal do Cerrado matogrossense por meio de imagens MODIS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 186-194, 2010.
- SPAGNOLO, T. F. O. ; GOMES, R.A.T.; CARVALHO JUNIOR, O.A.; GUIMARÃES, R.F.; Martins, E. S. ; COUTO JÚNIOR, A.F. Dinâmica da expansão agrícola do município de São Desidério-BA entre os anos de 1984 a 2008, importante produtor nacional de soja, algodão e milho. **Geo UERJ**, v. 2, p. 603-618, 2012.
- SPOLADOR, H. F. S.; FREITAS, R. E. **Termos de troca para o milho na agricultura brasileira**. Textos para Discussão, n. 1279. Brasília, IPEA, 2007. 39p.
- VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G.; SOUSA, A. G. **Agricultura e crescimento: cenários e projeções**. Textos para Discussão, n. 1642. Brasília, IPEA, 2011. 38p.
- WARDLOW, B. D. & EGBERT, S. L. Large-area crop mapping using time-series MODIS 250m NDVI data: an assessment for the US Central Great Plains. **Remote Sensing of Environment**, vol. 112, p.1096-1116, 2008.
- WOLFE, R. E.; NISHIHAMA, M.; FLEIG, A. J.; KUYPER, J. A.; ROY, D. P.; STOREY, J.C.; PATT, F. S. Achieving Sub-Pixel geolocation accuracy in Support of MODIS Land Science. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n.1-2, p. 31-49, 2002.
- XAVIER, A. C.; RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; BERKA, L. M. S & MOREIRA, M. A. Multi-temporal analysis of MODIS data to classify sugarcane crop. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, p.755-768, 2007.