

Monitoramento da dinâmica da vegetação do Pantanal utilizando a transformada de *Wavelet* em séries temporais de produtos MODIS

João Francisco Gonçalves Antunes ^{1,2}
Júlio César Dalla Mora Esquerdo ¹
Rubens Augusto Camargo Lamparelli ³

¹ Embrapa Informática Agropecuária (Doutorando na Feagri/Unicamp)
Caixa Postal 6041 - 13083-000 - Campinas, SP, Brasil
{joaof, julio}@cnptia.embrapa.br

² Faculdade de Engenharia Agrícola - Feagri/Unicamp
Caixa Postal 6011 - 13083-875 - Campinas, SP, Brasil

³ Centro de Pesquisas Meteorológicas e Agrícolas aplicadas a Agricultura - Cepagri/Unicamp
Cidade Universitária “Zeferino Vaz” - 13083-970 - Campinas, SP, Brasil
rubens@cpa.unicamp.br

Resumo. Embora seja um dos ecossistemas mais conservados do Brasil, o Pantanal está sujeito a problemas como o fogo, desmatamentos e alterações dos ciclos de cheia e seca. O monitoramento de toda a extensão do Pantanal é fundamental para a detecção de problemas relacionados a alterações do uso e da cobertura do solo, assim como inferir sobre o nível das cheias que ocorrem na planície. O objetivo deste trabalho foi realizar o monitoramento de quatro áreas com diferentes coberturas vegetais no Pantanal, utilizando a Transformada de *Wavelet* aplicada à série temporal de produtos MODIS, do ano de 2005 a 2009, para analisar a dinâmica da fenologia da vegetação. Os resultados mostraram que a Transformada de *Wavelet* Coiflet, de ordem 4 com potência de 90%, conseguiu remover os ruídos de alta frequência e destacar as mudanças de fenologia da vegetação com mais precisão, propiciando uma melhor análise das tendências interanuais de variabilidade do EVI (*Enhanced Vegetation Index*). As alterações do padrão temporal do EVI podem indicar mudanças da vegetação, sejam por conta da sazonalidade da precipitação, desmatamentos e queimadas, sejam por outras causas naturais ou antrópicas.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, processamento de imagens, séries temporais, EVI, detecção da fenologia.

Abstract. Although one of the most preserved ecosystems in Brazil, the Pantanal is liable to problems such as fire, deforestation and changes in the flood and drought cycles. Monitoring the Pantanal is essential to detect problems related to land use changes and to infer on the level of floods in the wetlands. This study aimed to carry out the monitoring of four areas in Pantanal with different land cover using the Wavelet Transform applied to a time-series of MODIS products, between 2005 and 2009, in order to analyze the dynamics of the vegetation phenology. The results showed that the Coiflet Wavelet Transform of order 4 with a power of 90% was able to remove the high frequency noise and highlight the changes of the vegetation phenology with a higher precision, allowing a better analysis of trends in the interannual variability of the EVI index. Variations of the temporal EVI (Enhanced Vegetation Index) pattern may indicate changes in vegetation, due to rainfall seasonality, deforestation, fires, or by other natural or anthropic causes.

Key-words: remote sensing, image processing, time series, EVI, phenology detection.

1. Introdução

O Pantanal é uma das maiores planícies inundáveis do mundo e abriga uma grande concentração de vida silvestre. Embora seja um dos ecossistemas mais conservados do Brasil, com 85% do habitat original, o Pantanal é afetado por problemas como o fogo e desmatamentos. Além disso, alterações antrópicas na vegetação da parte alta da Bacia do Alto Paraguai refletem nos ciclos de cheia e seca. Dessa forma, é fundamental que essa região seja constantemente monitorada para a detecção de alterações do uso e da cobertura do solo.

Pela grande extensão do Pantanal, as imagens de satélite tornam-se instrumentos importantes para o estudo da dinâmica da vegetação, por proverem uma visão sinóptica de todo o bioma e, assim, permitirem a análise das alterações ocorridas na superfície terrestre.

O sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), a bordo das plataformas orbitais do programa internacional EOS (*Earth Observing System*), liderado pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), tem gerado dados processados para estudos globais da vegetação. O satélite Terra foi lançado em dezembro de 1999 e tem passagem pelo Equador às 10h30 (horário local), em órbita descendente (Soares *et al.*, 2007).

Os dados MODIS de moderada resolução espacial, elevada repetitividade, boa qualidade radiométrica, alta precisão geométrica, com correção atmosférica e de distribuição gratuita, têm um grande potencial de aplicação para monitoramento da vegetação (Zhang *et al.*, 2003).

Dos dados MODIS é possível extrair os produtos de índices de vegetação que realçam a resposta espectral das plantas e amenizam a influência do solo, com o propósito de distinguir a fenologia da vegetação e as alterações do uso e da cobertura do solo na análise ao longo de uma série temporal de imagens (Wardlow *et al.*, 2007).

A análise harmônica vem sendo empregada no estudo de longas séries temporais de índices de vegetação baseada nas mudanças que acontecem na superfície terrestre, o que facilita o entendimento da dinâmica temporal.

Uma das técnicas utilizadas em séries temporais que normalmente não têm periodicidade devido a inerente variabilidade do vigor da vegetação é a Transformada de *Wavelet* (Ondaletas), que se baseia no ajuste de uma curva com a finalidade de remover as altas frequências associadas a ruídos, permanecendo sensível às mudanças da fenologia da planta. Essa transformação matemática é aplicada no processamento de sinais não-estacionários para decompor e recompor dados em diferentes escalas temporais, para obtenção de informações ocultas no domínio da frequência, onde cada escala é representada

por uma frequência específica (Sakamoto *et al.*, 2005).

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho foi realizar o monitoramento de diferentes coberturas vegetais no Pantanal, utilizando a Transformada de *Wavelet* aplicada à série temporal de produtos MODIS, do ano de 2005 a 2009, para analisar a dinâmica da fenologia da vegetação.

3. Material e Métodos

O estudo foi realizado em quatro áreas localizadas no Pantanal, que possui aproximadamente 160.000 km² dos quais 138.183 km² estão nos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, inserido na Bacia do Alto Paraguai (Silva e Abdon, 1998), conforme ilustrado pela **Figura 1**.

O Pantanal é a maior área inundável do planeta, sendo temporariamente alagada pelo rio Paraguai e seus afluentes todos os anos na época das chuvas, por conta da baixa declividade do relevo, onde predomina a pecuária de corte. A temperatura média anual é de 25,5°C e a precipitação pluviométrica anual varia entre 1.000 e 1.400 mm, sendo que a estação chuvosa ocorre no período de dezembro a maio e a de seca de junho a novembro (Junk *et al.*, 2006).

Para realizar o monitoramento temporal foram escolhidas quatro áreas com as coberturas vegetais de floresta, savana, pastagem e agricultura, de forma a representar os principais tipos de vegetação encontrados na planície do Pantanal. Em cada área foram coletados os dados espectrais numa janela de 2 x 2 pixels, resultando numa área amostral de 250.000 m².

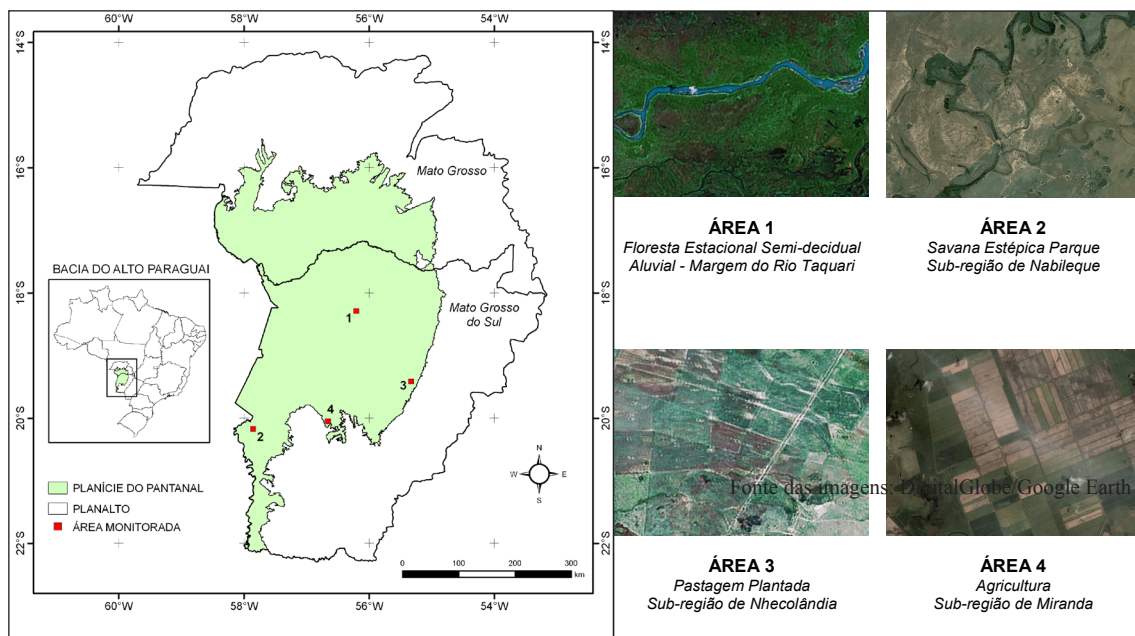


Figura 1. Bacia do Alto Paraguai e as quatro áreas monitoradas no Pantanal.

Para o estudo foi utilizado o produto Índice de Vegetação MOD13Q1 do MODIS/Terra na resolução espacial de 250 m, obtidos gratuitamente do LP-DAAC (*Land Processes Distributed Active Archive Center*), pertencente ao EOS da NASA, em forma

de quadrantes (*tiles*) de 1.200 km por 1.200 km, no formato HDF (*Hierarchical Data Format*) e na projeção cartográfica sinusoidal (LP-DAAC, 2009).

A manipulação dos dados para seleção do produto, mosaico, recorte da área de interesse e definição da projeção cartográfica, foi realizada automaticamente por meio de rotinas implementadas na linguagem IDL (*Interactive Data Language*) do software ENVI (*The Environment for Visualizing Images*), com a execução de programas do pacote computacional gratuito MRTTools (*MODIS Reprojection Tools*).

O produto MOD13Q1 consiste de composições dos pixels de alta qualidade radiométrica, melhor geometria de observação, mínima presença de nuvens e aerossóis, selecionados das imagens diárias durante o período de 16 dias. A atual versão é a coleção 5 que possui mudanças significativas para aumentar a qualidade dos produtos (Latorre *et al.*, 2007).

A banda do produto MOD13Q1 selecionada para este trabalho foi a do EVI (*Enhanced Vegetation Index*), com o propósito de melhor representar a dinâmica da vegetação ao longo da série temporal. Segundo Huete *et al.* (2002), o EVI foi desenvolvido para otimizar a resposta espectral da vegetação, melhorando a sensibilidade em regiões com maiores densidades de biomassa, além de propiciar o monitoramento da vegetação através da redução dos efeitos de substrato do dossel e de influências atmosféricas, calculado pela **Equação (1)**:

$$EVI = G \times \left[\frac{(IVP - VER)}{(IVP + C_1 \times VER - C_2 \times AZU + L)} \right] \quad (1)$$

sendo:

AZU: refletância na banda 3 do azul (459 a 479 nm);

VER: refletância na banda 1 do vermelho (620 a 670 nm);

IVP: refletância na banda 2 do infravermelho próximo (841 a 876 nm);

G = 2,59: fator de ganho;

L = 1: fator de ajuste do substrato do dossel;

$C_1 = 6,0$ e $C_2 = 7,5$: coeficientes da resistência de aerossóis que utiliza a banda do azul para atenuar a influência dos aerossóis na banda do vermelho.

A distribuição das chuvas no Pantanal durante o ano pode afetar o padrão dos picos de fenologia da vegetação. Para auxiliar na análise da dinâmica temporal foram utilizados os dados de precipitação acumulada calculada por interpolação de 72 estações pluviométricas do Agritempo (Sistema de Monitoramento Agrometeorológico) (Embrapa Informática Agropecuária e Cepagri/Unicamp, 2009), nos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

Para decomposição e filtragem da série temporal de EVI/MODIS foi utilizada a Transformada de *Wavelet* discreta, onde $\phi(t)$ é uma função de oscilação com energia finita e média nula, conforme a **Equação (2)**:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \phi(t) dt = 0 \quad (2)$$

A Transformada de *Wavelet* $W(a,b)$ é definida pela **Equação (3)**:

$$W(a,b)_i = \frac{1}{\sqrt{a}} \int \phi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) s(t) dt \quad (3)$$

onde, $s(t)$ é o sinal de entrada analisado e ϕ^* é a *wavelet* mãe ou base. Nesta equação, a largura da *wavelet* é determinada pelo parâmetro de escala “a” enquanto o seu centro é determinado pelo parâmetro “b”. A variável “t” representa o intervalo de tempo na série temporal na qual é realizada a integração. A Transformada de *Wavelet* tem a vantagem de manter as informações relacionadas à largura (escala) e a localização (tempo) das características presentes em $s(t)$. A **Equação (4)** é utilizada para reconstruir o sinal.

$$W = \sum_{i=1}^x W(a,b)_i \quad (4)$$

A série temporal de *wavelet* W é um somatório das *wavelets* de larguras decrescentes de “1” a “x”, onde “x” é número de transformações necessárias para alcançar o número definido de coeficientes retidos dos dados de entrada. A filtragem *wavelet* inicia-se com a aplicação da função de suavização na série temporal para remover os ruídos de alta frequência. A série temporal suavizada de EVI é então reconstruída com a Transformada de *Wavelet* discreta.

A aplicação da Transformada de *Wavelet* numa série temporal de EVI requer a definição dos parâmetros ordem e potência da *wavelet* mãe que definem o comportamento da curva. Ordem é uma medida de suavidade, em que valores mais elevados produzem mais suavização. Potência corresponde ao número de coeficientes retidos da série temporal de EVI. Uma maior potência gera uma *wavelet* mais estreita que inclui detalhes de escala mais fina, mas também pode reter mais ruído. Uma menor potência remove mais ruído pela forma mais larga da *wavelet*, podendo capturar tendências em toda a série temporal, mas pode perder detalhes fenológicos (Galford *et al.*, 2008).

Nesse estudo foi utilizada a *wavelet* mãe discreta denominada Coiflet, ortogonal e aproximadamente simétrica, de ordem 4, por ter a forma mais similar aos picos fenológicos. A potência empregada foi de 90% para detectar os picos na série temporal suavizada de EVI com mais precisão e, assim, propiciar uma melhor análise dos padrões da fenologia da vegetação (Sakamoto *et al.*, 2005). Apenas para investigar as tendências da série temporal de EVI, também foi utilizada a potência de 70% e 50%.

O processamento foi realizado por meio do pacote IDL *Wavelet Toolkit* do software ENVI, que é uma implementação de um conjunto de interfaces gráficas e rotinas para a Transformada de *Wavelet*, baseada em Torrence e Compo (1998).

4. Resultados e Discussão

O processamento das imagens MOD13Q1 consistiu no mosaico dos quadrantes h12v10, h12v11, h13v10 e h13v11 que cobrem a área de estudo, a transformação para a projeção cartográfica geográfica, o recorte para os limites da Bacia do Alto Paraguai, a extração do produto EVI e a gravação no formato GeoTIFF. A partir disso foram então obtidas as composições de 16 dias de EVI do período de janeiro a dezembro dos anos de 2005 a 2009, sendo 23 imagens para cada ano, totalizando 115 imagens de toda a série temporal.

A **Figura 2** apresenta a composição colorida RGB-732 (infravermelho médio,

infravermelho próximo, vermelho) e a composição de EVI/MODIS com resolução espacial de 250 m, de 05 a 20 de março de 2008.

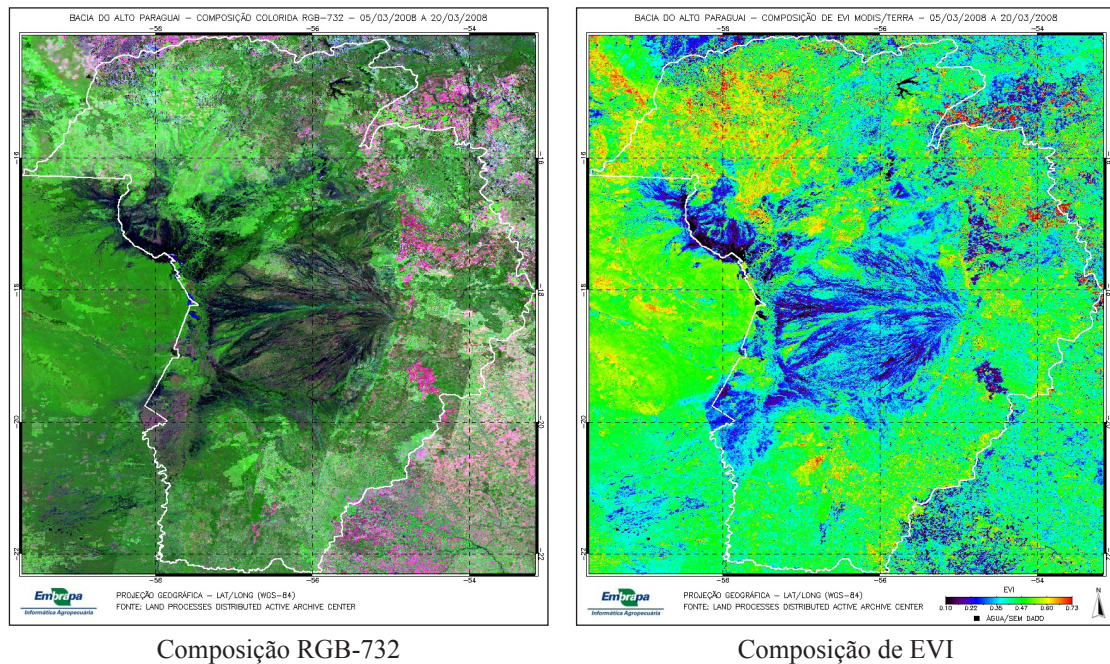


Figura 2. Produtos MODIS da Bacia do Alto Paraguai.

A composição colorida RGB-732 oferece um bom contraste dos alvos da superfície terrestre. As áreas em tons de verde mais escuro correspondem à vegetação natural, as em tons de verde mais claro a pastagens e áreas agrícolas, as em tons de magenta a solo exposto e as escuras a corpos d'água. Os valores mais elevados da composição de EVI aparecem em vermelho e representam áreas de maior biomassa, com maior presença de vegetação. Os valores mais baixos, que aparecem em verde ou azul, representam áreas de baixa biomassa, como solo exposto e alagadiços.

A **Figura 3** mostra o gráfico dos dados de precipitação acumulada de 16 dias das quatro áreas monitoradas entre os anos de 2005 e 2009.

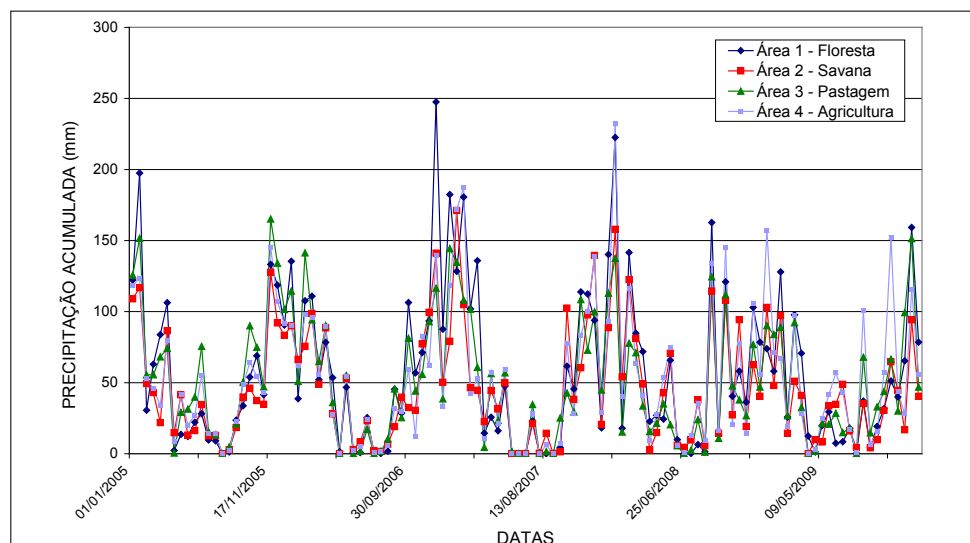


Figura 3. Precipitação acumulada em 16 dias das áreas monitoradas entre 2005 e 2009. Fonte: Agritempo (2009).

Pode-se perceber que a distribuição anual da precipitação acumulada de 16 dias nas quatro áreas monitoradas tem oscilações semelhantes, com os períodos de seca ocorrendo de junho a novembro, registrando no máximo 50 mm de chuva, e com os períodos de precipitação estendendo-se de dezembro a maio, quando se registram volumes de até 250 mm.

O regime de chuvas no Pantanal determina uma alternância nas condições de cobertura do solo, o que pode afetar o padrão de fenologia da vegetação. Há regiões altas que nunca são atingidas pelas cheias, regiões baixas que ficam quase sempre submersas, e regiões de altitude intermediária, que se apresentam secas a maior parte do ano e alagadas durante alguns meses.

Com base nisso, foi realizado o monitoramento das quatro áreas com diferentes coberturas vegetais no Pantanal, utilizando a Transformada de *Wavelet* aplicada à série temporal MODIS, do ano de 2005 a 2009, para analisar a dinâmica da fenologia da vegetação, conforme apresentado na sequência das **Figuras 4, 5, 6 e 7**.

Para auxiliar na compreensão dos gráficos, a composição MODIS de 16 dias número 1 inicia-se em 01/01/2005; a número 20 em 01/11/2005; a número 40 em 14/09/2006; a número 60 em 28/07/2007; a número 80 em 09/06/2008; a número 100 em 23/04/2009 e a número 115 em 29/12/2009.

A **Figura 4** mostra os gráficos do perfil de EVI original e suavizado pela *Wavelet* Coiflet, de ordem 4, com potência de 90%, 70% e 50%, da Área 1 - Floresta.

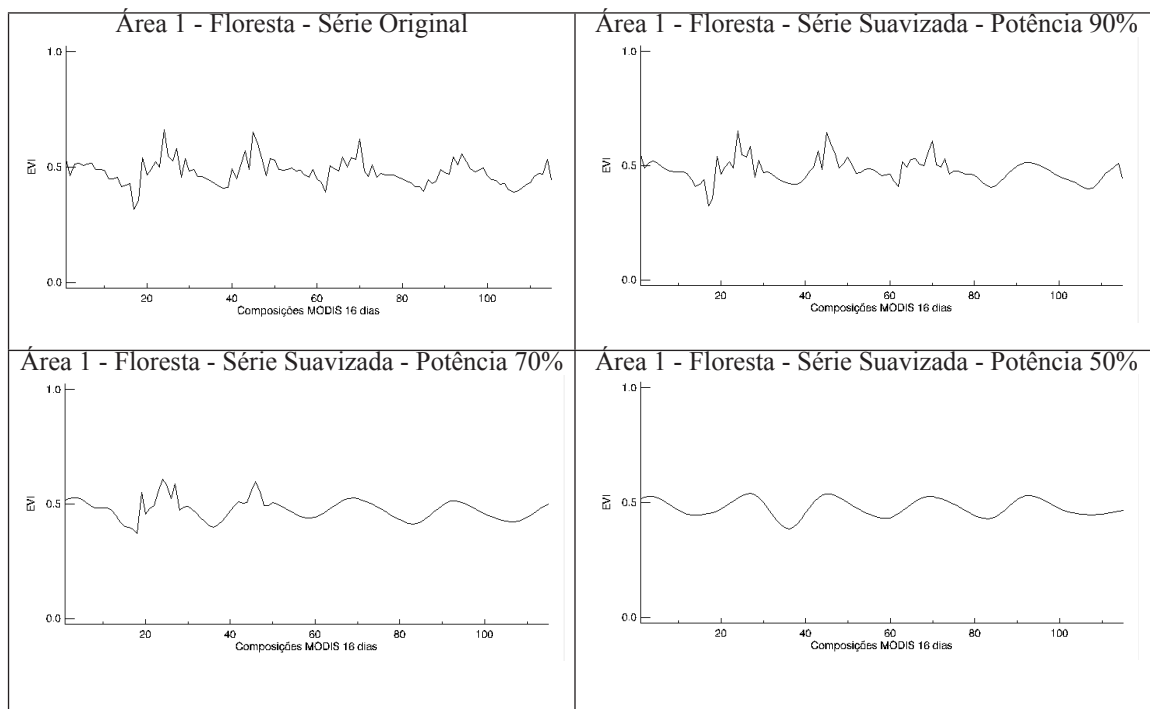


Figura 4. Perfil temporal de EVI da Área 1 - Floresta monitorada entre 2005 e 2009.

A **Figura 5** mostra os gráficos do perfil de EVI original e suavizado pela *Wavelet* Coiflet, de ordem 4, com potência de 90%, 70% e 50%, da Área 2 - Savana.

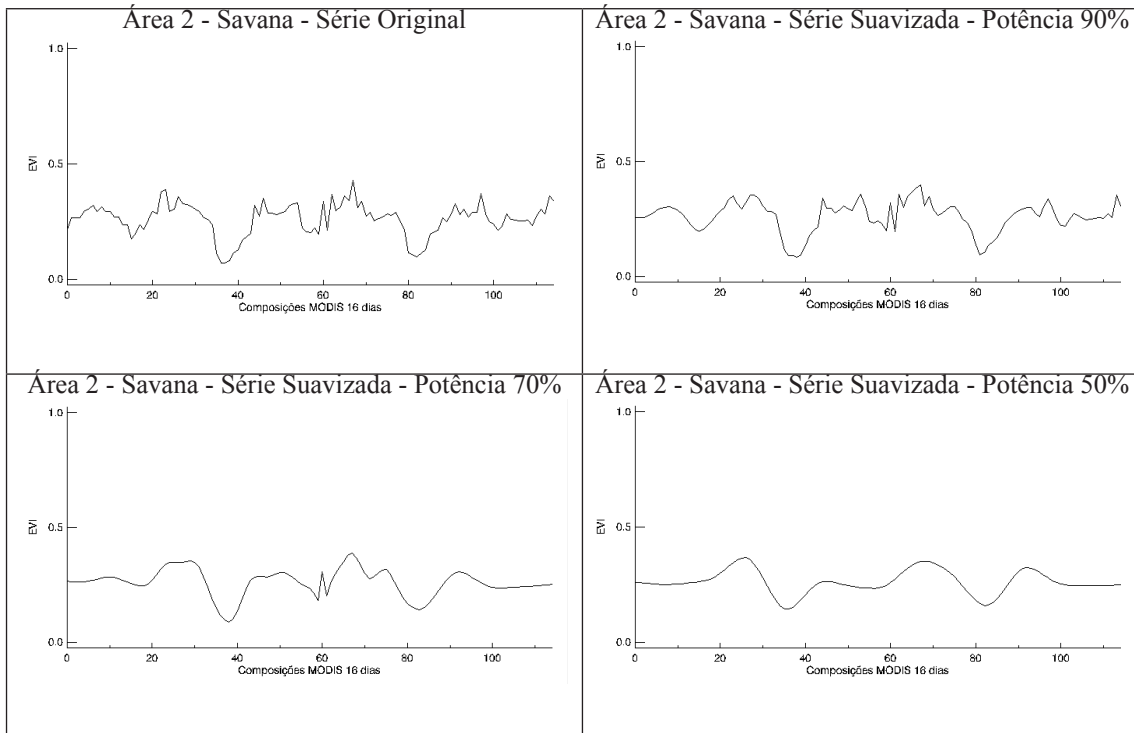


Figura 5. Perfil temporal de EVI da Área 2 - Savana monitorada entre 2005 e 2009.

A **Figura 6** mostra os gráficos do perfil de EVI original e suavizado pela *Wavelet* Coiflet, de ordem 4, com potência de 90%, 70% e 50%, da Área 3 - Pastagem.

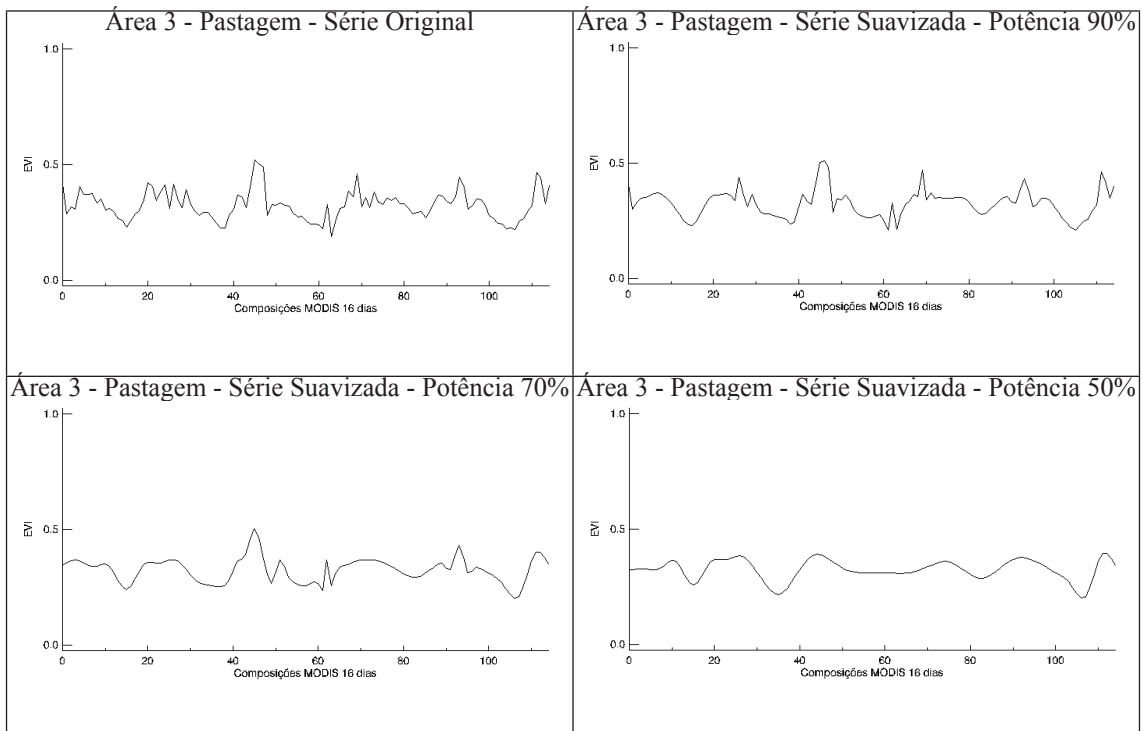


Figura 6. Perfil temporal de EVI da Área 3 - Pastagem monitorada entre 2005 e 2009.

A **Figura 7** mostra os gráficos do perfil de EVI original e suavizado pela *Wavelet* Coiflet, de ordem 4, com potência de 90%, 70% e 50%, da Área 4 - Agricultura.

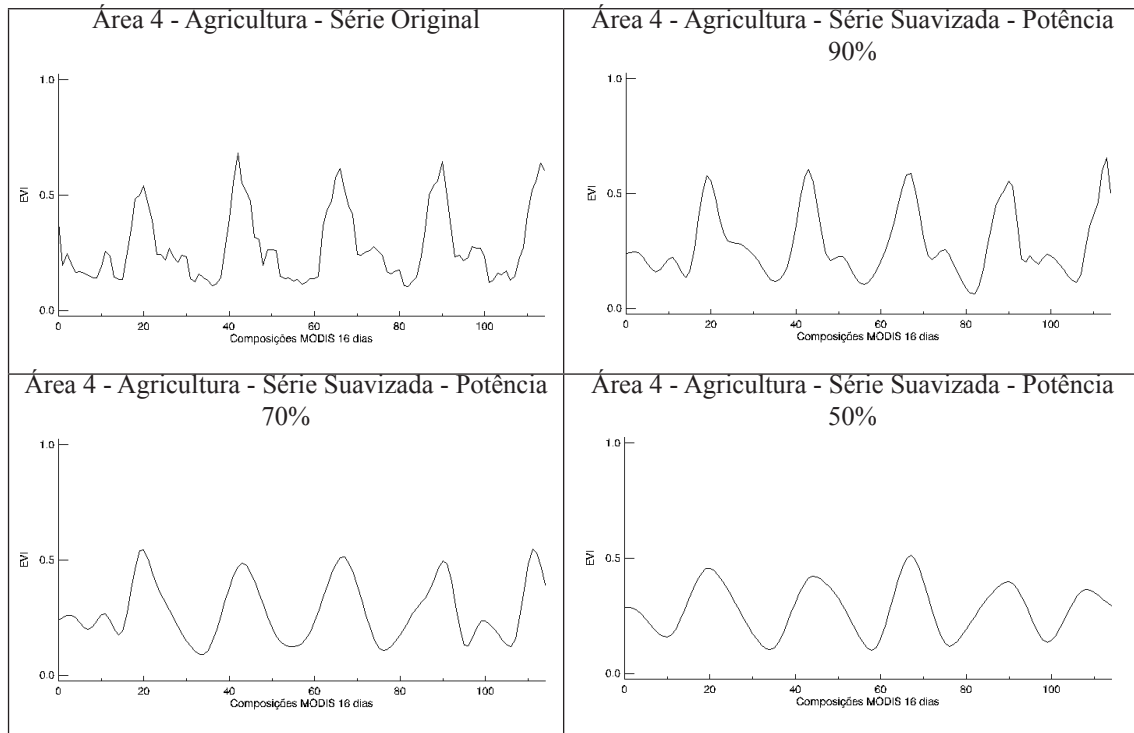


Figura 7. Perfil temporal de EVI da Área 4 - Agricultura monitorada entre 2005 e 2009.

A fenologia da Área 1 (**Figura 4**), composta por Floresta Semidecidual às margens do Rio Taquari, tem pequenas variações do EVI entre as estações seca e chuvosa, com valores acima de 0,31, mas não excedendo 0,67, mantendo um valor médio de 0,48. Esse é um comportamento característico desse tipo de vegetação, formada por árvores de 15 a 20 m de altura, que perdem de 20 a 50% das folhas nos períodos secos. Os menores valores ocorrem em junho, como no ano de 2005 que foi de grande estiagem.

A série temporal suavizada com potência de 70% e 50% mostra a tendência cíclica praticamente constante do EVI ao longo dos anos, mas as curvas têm uma variação menor dos valores, com diminuição de picos anuais importantes da fenologia da floresta.

A fenologia da Área 2 (**Figura 5**), composta por Savana Estépica Parque com árvores esparsas e cobertura de gramíneas, tem uma baixa média de EVI em torno de 0,26, com algumas flutuações sazonais entre 0,06 e 0,43. Como está localizada numa região propensa à inundação por causa das cheias do Pantanal, esta área pode ter uma variação mais acentuada do EVI, podendo decrescer fortemente, como em julho de 2006 e de 2008, anos de grandes cheias. As datas de ocorrência dessas quedas do EVI mudam de ano para ano, em função da alteração das épocas das cheias no Pantanal e da variação do vigor da vegetação.

A série temporal suavizada com potência de 70% e 50% representa a tendência de pequena variação do EVI ao longo dos anos, porém as curvas têm um aumento dos valores mais baixos e perdem picos anuais importantes de caracterização da fenologia da savana, principalmente os detalhes de ocorrência das grandes cheias.

A fenologia da Área 3 (**Figura 6**), composta por Pastagem Plantada não é susceptível ao regime de cheias. O EVI tem a média em torno de 0,32, maior do que a Área 2 - Savana e menor do que a Área 1 - Floresta, com pequenas variações sazonais entre 0,18 e 0,52, decrescendo nas épocas mais secas do ano devido à diminuição do vigor da vegetação e aumentando durante a estação chuvosa, como em dezembro de 2006.

A série temporal suavizada com potência de 70% e 50% apresenta a tendência de

pequenas variações sazonais do EVI ao longo dos anos, contudo as curvas têm uma diminuição dos valores mais altos e perdem detalhes anuais importantes de caracterização da fenologia da pastagem, como os picos de maior e de menor vigor da vegetação.

A fenologia da Área 4 (**Figura 7**), composta por Regiões Agrícolas, tem grandes variações do EVI com padrão temporal bimodal, relacionado ao desenvolvimento de diferentes culturas durante o ano, onde cada cultura é caracterizada por um máximo na série temporal. Os valores do EVI aumentam fortemente a partir de setembro, com um pico mais alto em novembro e outro pico mais baixo em março. Nessa série temporal, o EVI pode crescer de 0,10 no início do ciclo da cultura agrícola a 0,70 no pico vegetativo, com valor médio de 0,28. Essa variação brusca está relacionada à alta dinâmica espectral das áreas agrícolas, que apresentam solo exposto no início do ciclo e alta quantidade de biomassa no período de maior vegetativo.

A série temporal suavizada com potência de 70% e 50% apresenta a tendência de grandes variações do EVI ao longo dos anos, no entanto as curvas têm uma diminuição dos valores mais altos e perdem picos anuais muito importantes de caracterização da fenologia da região agrícola, a ponto de não detectar o padrão temporal bimodal de cultivo que ocorre em todos os anos.

Ao comparar os resultados das **Figuras 4, 5, 6 e 7** com os dados de precipitação acumulada, mostrados na **Figura 3**, pode se verificar que nas áreas não antropizadas, 1 - Floresta, 2 - Savana e 3 - Pastagem, os picos de biomassa são coincidentes aos períodos de maior quantidade de chuvas, ainda que exista um intervalo de tempo entre o início da época chuvosa e a resposta da vegetação. Já na Área 4 - Agricultura, os picos de biomassa acontecem algumas semanas antes dos picos de precipitação, devido à fenologia da região agrícola.

O ajuste da curva gerada pela Transformada da *Wavelet* Coiflet, de ordem 4 com potência de 90%, foi avaliado através do erro RMS (*Root Mean Square*), entre a diferença da série temporal de EVI original e a suavizada, para as quatro áreas monitoradas, conforme mostrado na **Tabela 1**.

Tabela 1. Coeficientes retidos e erro RMS das curvas suavizadas para as quatro áreas.

Área	Coeficientes Retidos (%)	Erro RMS	Erro RMS (%)
1 - Floresta	27,3	0,0164	30,0
2 - Savana	25,0	0,0212	30,1
3 - Pastagem	25,8	0,0191	30,0
4 - Agricultura	15,6	0,0464	30,0

Os ajustes da curva suavizada para as quatro áreas obtiveram desempenho semelhante, com a magnitude do erro RMS em torno de 30,0%. O ajuste da Área 4 - Agricultura pode ser considerado o mais preciso, uma vez que reteve apenas 15,6% dos coeficientes da série temporal original para reconstrução da curva suavizada, com o mesmo nível de erro.

Em todas as quatro áreas monitoradas, a Transformada de *Wavelet* Coiflet, de ordem 4 com potência de 90%, conseguiu remover os ruídos de alta frequência e destacar melhor as mudanças de fenologia da vegetação, gerando uma curva com mais detalhes que facilitou o entendimento da dinâmica temporal.

5. Conclusões e Sugestões

Os resultados deste trabalho mostraram o potencial do monitoramento temporal na detecção de padrões de fenologia de diferentes coberturas vegetais do Pantanal, cujo

entendimento é importante para se verificar suas variações interanuais.

A Transformada de *Wavelet* Coiflet, de ordem 4 com potência de 90%, aplicada à série temporal de EVI/MODIS, conseguiu remover os ruídos de alta frequência e destacar as mudanças de fenologia da vegetação com mais precisão, propiciando uma melhor análise das tendências de variabilidade do EVI. As alterações do padrão temporal do EVI podem indicar mudanças da vegetação, sejam por conta da sazonalidade da precipitação, desmatamentos, queimadas e outras causas naturais ou antrópicas.

Embora os produtos MODIS apresentem informações sobre a qualidade dos valores espectrais, propositalmente elas não foram consideradas neste estudo, o que possibilitou avaliar o desempenho e verificar a robustez da técnica de decomposição e filtragem em séries temporais contendo dados com maior oscilação. Em estudos futuros, sugere-se utilizar os produtos MODIS considerando-se a informação de confiabilidade do pixel, com a finalidade de selecionar aqueles que realmente tenham a menor contaminação de efeitos atmosféricos.

6. Referências

- Embrapa Informática Agropecuária; Cepagri/Unicamp. **Agritempo**. Disponível em <<http://www.agritempo.gov.br/>>. Acesso em: 18 ago. 2009.
- Galford, G. L.; 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, n. 2, p. 576-587, 2008.
- Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. (Special Issue). **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, 2002.
- Junk, W. J.; Cunha, C. N.; Wantzen, K. M.; Petermann, P.; Strussmann, C.; Marques, M. I.; Adis, J. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquatic Sciences**, v. 68, n. 3, p. 278-309, 2006.
- Land Processes Distributed Active Archive Center (LP-DAAC). **MODIS Data Pool Holdings**. Disponível em <https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/get_data/data_pool>. Acesso em 10. nov. 2009.
- Latorre, M. L.; Shimabukuro, Y. E.; Anderson, L. O. **Sensor MODIS: Produtos para Ecossistemas Terrestres - MODLAND**. In: O Sensor Modis e suas aplicações ambientais no Brasil - Shimabukuro. Y. E.; Rudorff, B. F. T.; Ceballos, J. C. (Coords). São José dos Campos: Editora Parêntese, SP, Brasil, 2007.
- 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**, v. 96, n. 3-4, p. 366-374, 2005.
- Silva, J. dos S. V. da; Abdon, M. de M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, número especial, p. 1703-1711, 1998.
- Soares, J. V.; Batista, G. T.; Shimabukuro, Y. E. **Sensor MODIS: Histórico e Descrição**. In: O Sensor Modis e suas aplicações ambientais no Brasil - Shimabukuro. Y. E.; Rudorff, B. F. T.; Ceballos, J. C. (Coords). São José dos Campos: Editora Parêntese, SP, Brasil, 2007.
- Torrence, C.; Compo, G. P. A practical guide to wavelet analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, n. 1, p. 61-78, 1998.
- Wardlow, B. D.; Egbert, S. L.; Kastens, J. H. Analysis of time-series MODIS 250m vegetation index data for crop classification in the U.S. Central Great Plains. **Remote Sensing of Environment**, v. 108, n. 3, p. 290-310, 2007.
- Zhang, X.; Friedl, M. A.; Schaaf, C. B.; Strahler, A. H.; Hodges, J. C. F.; Gao, F.; Reed, B. C; Huete, A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 84, n. 3, p. 471-475, 2003.