

Representação de ciclos harmônicos de séries temporais de produtos MODIS para análise da paisagem da bacia do alto Paraguai

João Francisco Gonçalves Antunes^{1,3}
Júlio César Dalla Mora Esquerdo¹
Rubens Augusto Camargo Lamparelli^{2,3}
Luiz Henrique Antunes Rodrigues³

¹Embrapa Informática Agropecuária (Doutorando na Feagri/Unicamp)
Caixa Postal 6041 - 13083-886 - Campinas, SP, Brasil
{joaof, julio}@cnptia.embrapa.br

² Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético - Nipe/Unicamp
Cidade Universitária “Zeferino Vaz”
13083-860 - Campinas, SP
rubens@nipeunicamp.org.br

³ Faculdade de Engenharia Agrícola - Feagri/Unicamp
Caixa Postal 6011 - 13083-875 - Campinas, SP, Brasil
lique@feagri.unicamp.br

Resumo: A Bacia do Alto Paraguai (BAP) é de importância estratégica para o Brasil devido à diversidade ecológica da paisagem, principalmente por incluir o bioma Pantanal que é uma das maiores planícies inundáveis do mundo. Os produtos MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), que provêm coberturas de grandes áreas com alta repetitividade, possuem características fundamentais para a análise temporal da enorme extensão da BAP. Nesse sentido, a análise harmônica pode ser empregada em séries temporais de dados de sensoriamento remoto para estudar o comportamento cíclico dos índices de vegetação. A representação visual dos termos harmônicos amplitude e fase pode auxiliar na interpretação da imagem por meio da combinação de cores. Porém, como a fase é quantificada numa escala circular, é recomendada a transformação para o espaço de cores HLS (matiz, luminosidade, saturação), já que a componente matiz é inerentemente circular, o que proporciona um efeito visual de transição suave entre os ciclos. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar a paisagem da BAP utilizando a análise harmônica aplicada à série temporal de EVI (Enhanced Vegetation Index) para 10 anos hidrológicos, do período de outubro de 2001 a setembro de 2011, por meio da representação HLS dos termos harmônicos. Os resultados mostraram que a paisagem da BAP apresentou padrões espaciais coerentes com o desenvolvimento da vegetação, consistente com a variabilidade do ciclo sazonal das inundações do Pantanal que determina as condições hidrológicas da região, afetando diretamente o momento de máximo EVI. A representação HLS dos termos harmônicos mostrou ser uma ferramenta eficaz para a interpretação visual dos ciclos da vegetação.

Palavras-chaves: sensoriamento remoto, processamento de imagens, EVI, análise harmônica, HANTS, transformação HLS.

Abstract: The Alto Paraguai River Basin (BAP) has a strategic importance to Brazil due to the ecological diversity of the landscape, particularly for including the Pantanal, which is one of the largest floodplains worldwide. The MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) products, which provide high temporal resolution and large area coverage, have interesting features for temporal analysis of the large extension of BAP. In this context, the harmonic analysis can be used for the study of time-series of remote sensing data in order to evaluate the temporal behavior of vegetation indices. The visual representation of the harmonic amplitude and phase terms can assist the image interpretation process through a color combination. However, as the phase term is quantified on a circular scale, it is recommended to carry out a color transformation into the HLS (hue, lightness, saturation) space, as the hue component is inherently circular, which provides a smooth visual transition effect between the cycles. In this context, the objective of this study was to analyze the landscape of BAP using harmonic analysis applied to EVI (Enhanced Vegetation Index) time-series data throughout 10 hydrological years, from October 2001 to September 2011, using the HLS representation of the harmonic terms. The results showed that the landscape of BAP presented spatial patterns that match the vegetation development, which is consistent with the variability of the seasonal cycle of the Pantanal flooding that determines the hydrological conditions of the region, affecting the maximum EVI period. The HLS representation of harmonic terms has showed to be an effective tool for visual interpretation of vegetation cycles.

Key Words: remote sensing, image processing, EVI, harmonic analysis, HANTS, HLS transform.

1. Introdução

A Bacia do Alto Paraguai (BAP) reveste-se de grande importância no contexto estratégico para o Brasil devido à diversidade ecológica da paisagem, principalmente por incluir o bioma Pantanal, que é uma das maiores planícies inundáveis do mundo e abriga uma grande concentração de vida silvestre. A sazonalidade das águas, que representam os ciclos de cheias e secas, rege a vida natural e as atividades humanas na região, as quais têm sido influenciadas fortemente pelos condicionantes hidrológicos. O Pantanal é um ecossistema bem conservado, onde predomina a pecuária de corte e as atividades turísticas. Já o Planalto tem passado por alterações antrópicas em substituição da vegetação por pastagens e cultivos agrícolas.

Pela enorme extensão da BAP, as imagens de satélite tornam-se instrumentos importantes para o estudo da vegetação, por proverem uma visão sinóptica de toda a região e, assim, permitirem a análise temporal das alterações ocorridas na paisagem.

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 produtos MODIS, de moderada resolução espacial, alta repetitividade, boa qualidade radiométrica, alta precisão geométrica, com correção atmosférica e de distribuição gratuita, têm um grande potencial de aplicação no monitoramento da vegetação (Zhang et al., 2003).

A análise harmônica vem sendo utilizada no estudo de séries temporais de índices de vegetação para analisar as mudanças da paisagem, a fim de encontrar evidências de alterações no desenvolvimento da vegetação e revelar padrões da dinâmica temporal (Jia et al., 2011).

Nesse sentido, a análise harmônica pode ser empregada em séries temporais de dados

de sensoriamento remoto para estudar o comportamento cíclico dos índices de vegetação, por meio da representação dos termos harmônicos num espaço de cores que facilite a interpretação visual das imagens.

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho foi analisar a paisagem da BAP utilizando a análise harmônica aplicada à série temporal do índice de vegetação EVI (*Enhanced Vegetation Index*) para 10 anos hidrológicos, do período de outubro de 2001 a setembro de 2011, por meio da representação HLS (matiz, luminosidade, saturação) dos termos harmônicos.

3. Material e Métodos

O estudo foi realizado na BAP, que é uma bacia transfronteiriça com extensão total de aproximadamente 600.000 km², dividida entre o Brasil, com 60% do território englobando os Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, a Bolívia e o Paraguai, cada um com cerca de 20% do território da bacia (Brasil, 2011), conforme ilustrado pela **Figura 1**.

A porção brasileira da BAP é formada pelo Planalto e pela planície do Pantanal. O Planalto é uma região com altitude acima de 200 m, podendo atingir até 1400 m. O Pantanal é a maior área inundável do planeta, sendo temporariamente alagada pelo rio Paraguai e seus afluentes todos os anos, por conta da baixa altitude entre 80 a 150 m e baixa declividade do relevo. Predominantemente, o período de cheia no Pantanal ocorre de março a setembro e a época da seca estende-se de outubro a fevereiro (Junk et al., 2006).

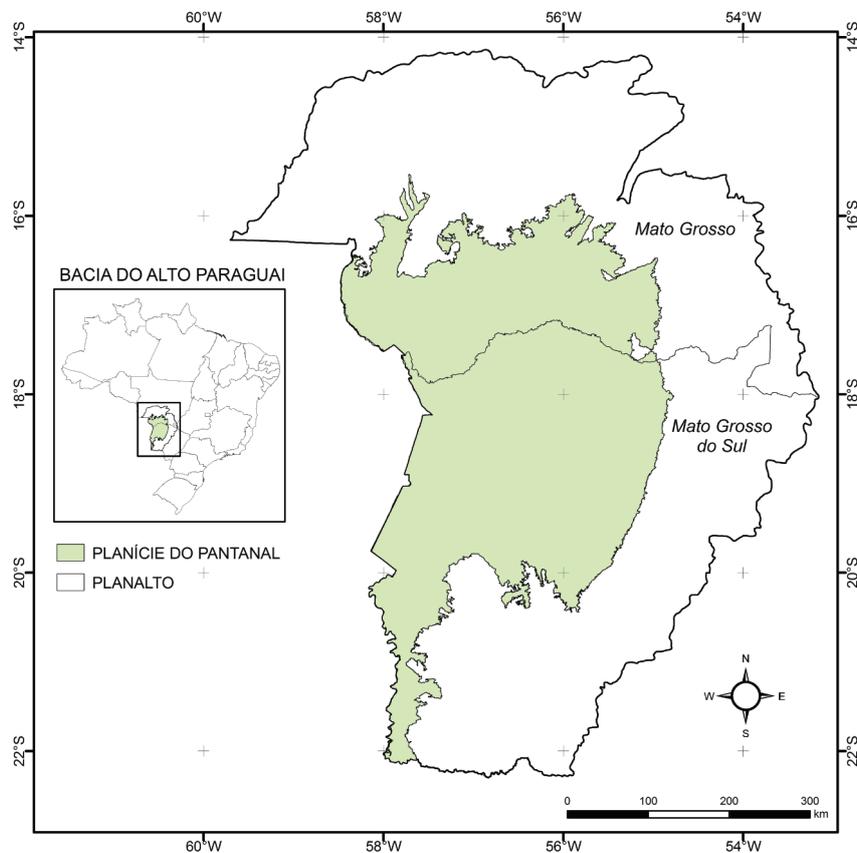


Figura 1. Bacia do Alto Paraguai formada pelas regiões do Planalto e do Pantanal.

As séries temporais de imagens MODIS do satélite Terra foram obtidas do “Banco de Produtos MODIS na Base Estadual Brasileira”, que é um repositório da Embrapa Informática Agropecuária desenvolvido para armazenar e disponibilizar aos usuários produtos prontos, em recortes por estados, na projeção geográfica e no formato GeoTIFF (Esquerdo et al., 2010).

O índice de vegetação utilizado nesse trabalho foi o EVI com o propósito de melhor representar a dinâmica da vegetação ao longo da série temporal de imagens. O EVI foi desenvolvido por Huete et al. (1994) para otimizar a resposta espectral da vegetação e melhorar a sensibilidade em regiões de maior fitomassa, propiciando o monitoramento da vegetação através da redução dos efeitos de substrato do dossel vegetal e de influências atmosféricas, calculado pela Equação (1):

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

onde,

ρ_{AZU} = fator de refletância na banda do azul (459 a 479 nm);

ρ_{VER} = fator de refletância na banda do vermelho (620 a 670 nm);

ρ_{IVP} = fator de refletância na banda 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.

Para analisar as séries temporais de EVI foi utilizada a Transformada de Fourier que tem a finalidade de decompor uma função complexa, formada pela somatória de ondas senoidais e cossenoidais, onde cada onda é definida por um valor único de amplitude e fase, conforme ilustrado na **Figura 2**.

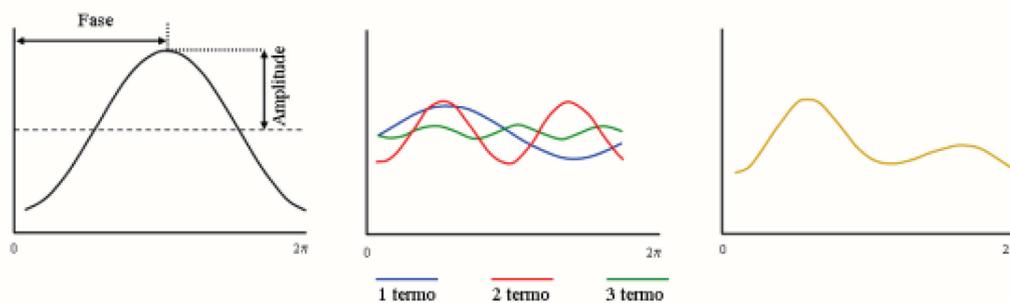


Figura 2. Representação dos termos harmônicos gerados pela Transformada de Fourier.

Fonte: Pardi Lacruz (2006), adaptado de Jakubauskas et al. (2001).

A amplitude corresponde à metade do valor onde a função é maximizada e a fase é o deslocamento entre a origem e o pico da onda no intervalo de 0 até 2π . Cada harmônico (termo) representa o número de ciclos completados por uma onda num determinado intervalo de tempo e é responsável por um percentual da variância total da série temporal de dados original. Assim, o primeiro harmônico tem um período T igual ao período total em estudo, o segundo harmônico corresponde à metade do período do primeiro harmônico $T/2$, o terceiro harmônico a $T/3$ e assim sucessivamente (Pardi Lacruz, 2006).

Segundo Jakubauskas et al. (2001), uma série temporal de dados de N amostras pode ser representada pela Transformada de Fourier Discreta, conforme a Equação (2):

$$f(x)_t = \bar{c} + \sum_{j=1}^{N/2} c_j \cos\left(\frac{2\pi t}{N} - \phi_j\right) \quad (2)$$

onde,

\bar{c} = média dos valores da série temporal;

c_j = amplitude do j-ésimo harmônico;

ϕ_j = ângulo de fase do j-ésimo harmônico.

A amplitude é calculada com a Equação (3):

$$c_j = \sqrt{a_j^2 + b_j^2} \quad (3)$$

onde, a_j e b_j são as componentes de cosseno e seno do vetor amplitude c_j e são obtidas pelas Equações (4) e (5), respectivamente:

$$a_j = \frac{2}{N} + \sum_{t=1}^N y_t \cos\left(\frac{2\pi t}{N}\right), \text{ para } t \geq 0. \quad (4)$$

$$b_j = \frac{2}{N} + \sum_{t=1}^N y_t \sin\left(\frac{2\pi t}{N}\right), \text{ para } t \geq 1. \quad (5)$$

O ângulo de fase é calculado pela Equação (6):

$$\phi_j = \begin{cases} \arctan \frac{b_j}{a_j}, & \text{se } a_j > 0. \\ \arctan \frac{b_j}{a_j} \pm \pi, & \text{se } a_j < 0. \\ \frac{\pi}{2}, & \text{se } a_j = 0. \end{cases} \quad (6)$$

As imagens obtidas a partir da aplicação da Transformada de Fourier são geradas numa base por pixel para cada composição da série temporal. Na prática, significa decompor a variação anual do EVI em harmônicos que representem a média e as oscilações anuais, semestrais, quadrimestrais, etc., com o propósito de identificar alvos da superfície terrestre. A imagem harmônico zero (termo aditivo) corresponde à média do EVI e representa o vigor total para cada tipo de cobertura vegetal durante o período em estudo. As imagens amplitude indicam a variação máxima do EVI para todo o período. A fase indica o tempo, ao longo da série temporal, em que acontece o máximo valor de amplitude. O intervalo dos valores das imagens fase é de 0° a 360° e pode ser associado com os meses do ano.

O comportamento desses parâmetros em estudos de paisagens é indicativo do tipo de

mudança que vem ocorrendo com o tempo. As mudanças sazonais somente na amplitude podem indicar variações no tipo de uso da terra ou nas condições da vegetação. As mudanças apenas de fase podem indicar variações no tempo de máximo vigor vegetativo. As mudanças na amplitude e na fase podem ser indicativos de significativas transformações na superfície terrestre relacionadas com a alteração do manejo do solo ou substituição da vegetação.

O processamento das séries temporais de EVI foi realizado por meio do pacote de software HANTS (*Harmonic Analysis of NDVI Time-Series*), desenvolvido originalmente por Roerink et al. (2000) e implementado em linguagem IDL (*Interactive Data Language*) por De Wit e Su (2005). O conceito básico do algoritmo é que o desenvolvimento da vegetação apresenta um forte efeito sazonal que pode ser simulado por funções senoidais de baixa frequência, com diferentes fases e amplitudes. As nuvens provocam alterações nas séries temporais e podem ser consideradas ruídos de altas frequências. O algoritmo HANTS analisa a série temporal original, identifica as áreas de baixas frequências referentes à vegetação e, a partir da Transformada de Fourier, elimina os valores discrepantes da série temporal que representam altas frequências.

A representação visual eficaz das imagens amplitude e fase dos termos harmônicos pode auxiliar na interpretação da paisagem por meio da combinação de cores. Porém, a fase é quantificada numa escala circular, o que torna difícil a interpretação de imagens no espaço de cores RGB, onde ocorre uma mudança abrupta da cor escura para a cor brilhante. Já no espaço de cores HLS, a componente matiz é inerentemente circular, proporcionando um efeito visual de transição suave do azul para o magenta e para o vermelho. Os outros parâmetros harmônicos são lineares e podem ser bem representados nas componentes luminosidade ou saturação (Hall-Beyer, 2007).

Com base nisso, para analisar a condição de crescimento da vegetação, em especial a informação de fase, a transformação HLS foi aplicada aos termos harmônicos obtidos com o algoritmo HANTS, segundo o procedimento desenvolvido por Foley e Van Dam (1984), que está implementado no software ENVI (*The Environment for Visualizing Images*). Esse espaço de cores é formado por um duplo hexacôno, conforme apresentado na **Figura 3**.

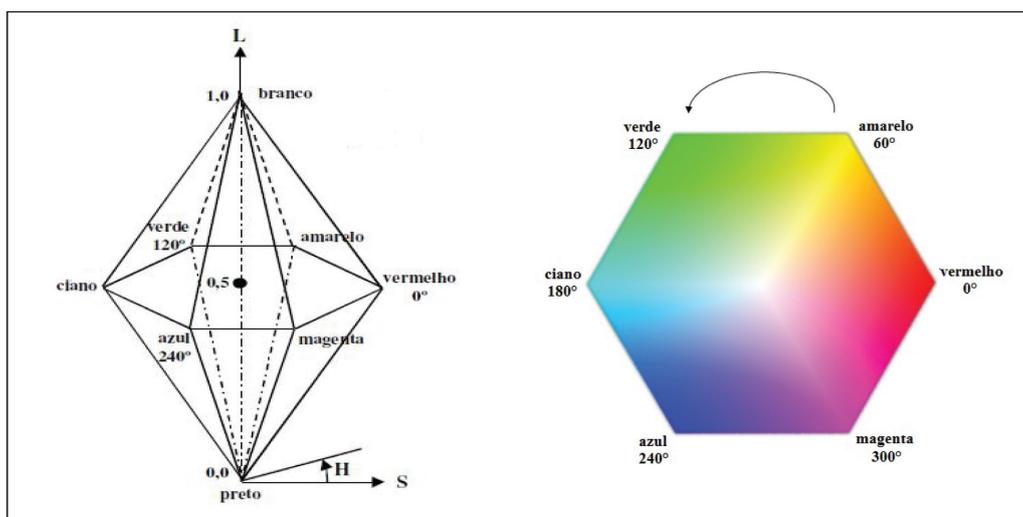


Figura 3: Espaço de cores HLS.

As cores primárias estão situadas no perímetro da base comum e as cores branca e preta no vértice de cada um dos cones. Os tons de cinza localizam-se sobre o eixo comum

dos dois cones. Matiz (H) é o ângulo ao redor do eixo vertical do hexacone, percorrido no sentido anti-horário, com o vermelho em 0°, amarelo em 60°, verde em 120°, ciano em 180°, azul em 240° e magenta em 300°. Saturação (S) é medida radialmente a partir do eixo vertical, sendo 0 as cores brancas com os tons de cinza variando até 1 referente às cores puras. Luminosidade (L) pode variar entre 0 para preto até 1 para branco, com as cores puras apresentando uma luminosidade de 0,5.

4. Resultados e Discussão

O processamento das imagens MODIS consistiu no recorte dos limites geográficos da BAP feito a partir do mosaico dos Estados do Mato Grosso e do Mato Grosso do Sul. A partir disso foram obtidas as séries temporais das composições de 16 dias de EVI dos últimos 10 anos. Para isso foi então escolhido o ciclo natural hidrológico da BAP, que se inicia em outubro e termina em setembro do próximo ano, ou seja, do período de outubro de 2001 a setembro de 2011, sendo 23 composições para cada ano, totalizando 230 imagens.

As séries temporais de EVI foram primeiramente processadas pelo HANTS para cada ano hidrológico separadamente, de outubro de 2001 a setembro de 2011. Os dados estão no fator original de escala no intervalo de -2000 a 10000. A tolerância de ajuste entre a diferença dos valores da Transformada de Fourier e os valores originais de EVI foi definida em 1000.

Os termos harmônicos gerados foram a amplitude e a fase para as frequências 0, 1, 2 e 3 que correspondem a média do EVI de cada série temporal e aos ciclos de 1 ano, 6 meses e 4 meses, respectivamente. De forma geral, esses três harmônicos são suficientes para explicar a maioria da variância das séries temporais de imagens.

A transformação HLS foi utilizada para ilustrar o desenvolvimento da vegetação em cada ano hidrológico. Para cada pixel, a fase do ciclo anual foi atribuída à componente matiz, a amplitude do ciclo anual à componente luminosidade e a média do ciclo anual do EVI à componente saturação. Na imagem resultante foi aplicada a equalização de histograma para realçar pequenas diferenças com o propósito de facilitar a interpretação visual. A **Figura 4** mostra a representação HLS da paisagem da BAP para os 10 anos hidrológicos, do período de outubro de 2001 a setembro de 2011.

Para auxiliar na compreensão das representações HLS, a legenda de cores mostrada na **Figura 4** estabelece a correspondência com a ocorrência do pico vegetativo nos diferentes anos hidrológicos, o que dá uma impressão rápida das mudanças da paisagem da BAP.

Neste tipo de representação HLS, uma intensidade incolor alta, de cinza claro a branco, refere-se a um EVI quase que constantemente elevado durante o ano, como em regiões agrícolas. Uma intensidade escura indica um EVI constantemente baixo, como em regiões permanentemente alagadas. As áreas de coloração mais clara possuem um forte efeito do ciclo anual. Como a matiz indica o tempo de máximo EVI, a ordem das cores vermelho - laranja - amarelo - oliva - verde - turquesa - ciano - celeste - azul - púrpura - magenta - rosa corresponde à temporização da fase nos meses de outubro - novembro - dezembro - janeiro - fevereiro - março - abril - maio - junho - julho - agosto - setembro, respectivamente.

Pela análise temporal das representações HLS da BAP ao longo dos anos hidrológicos de 2001/2002 a 2010/2011 da **Figura 4**, pode-se observar que a região do Pantanal tem picos vegetativos em momentos diferentes a cada ano, ocorrendo entre a cor rosa e vermelho, nos meses de setembro e outubro, o que está relacionado ao final do período

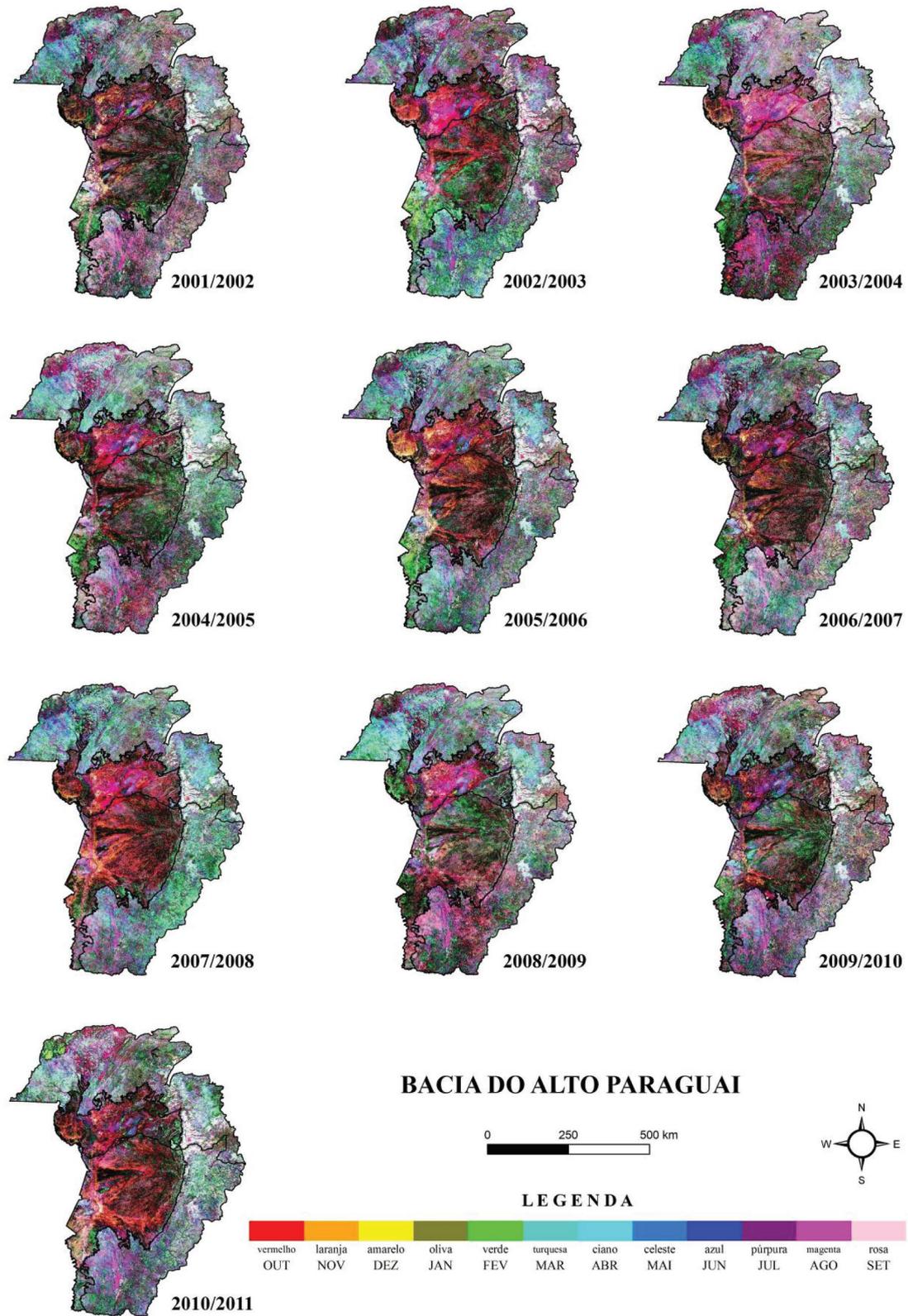


Figura 4. Representação HLS da paisagem da BAP para os 10 anos hidrológicos, do período de outubro de 2001 a setembro de 2011.

de cheia.

Os afluentes do rio Paraguai que drenam a planície do Pantanal são influenciados diretamente pelas precipitações pluviométricas. Após receber as primeiras chuvas, os rios têm sua vazão aumentada e inicia-se o extravasamento para a planície, ocorrendo a inundação no sentido Leste-Oeste e Norte-Sul. De modo geral, o período de cheia no Pantanal é de março a setembro, com a época da seca estendendo-se de outubro a fevereiro.

A **Figura 5** mostra os dados de inundação no Pantanal referente aos anos hidrológicos de 2001/2002 a 2010/2011, coletados na estação fluviométrica (66825000) do Rio Paraguai em Ladário - MS, que fundamentam a caracterização do regime hidrológico da BAP.

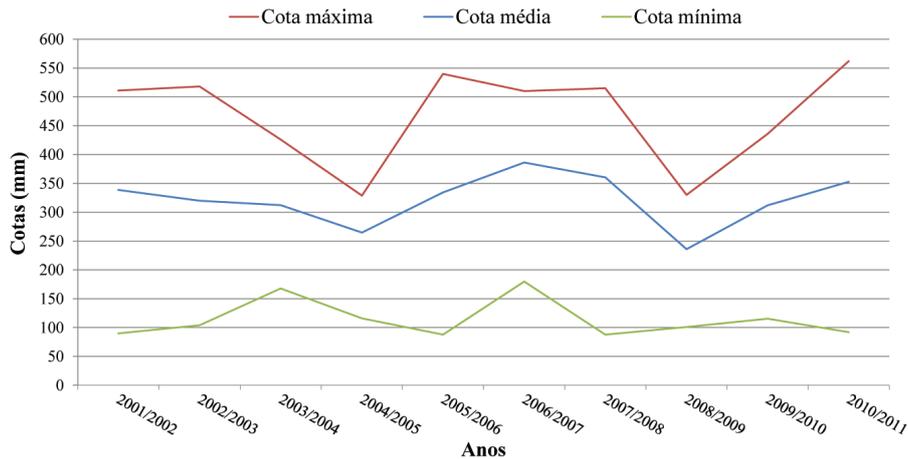


Figura 5. Cotas do Rio Paraguai em Ladário - MS para os 10 anos hidrológicos, do período de outubro de 2001 a setembro de 2011. Fonte: Marinha do Brasil (2012).

Pela análise do gráfico da **Figura 5**, pode-se perceber que nos anos hidrológicos de 2005/2006 e 2010/2011 ocorreram cheias pronunciadas, o que favoreceu a manutenção do vigor da vegetação por mais tempo. Por essa razão que nas representações HLS do Pantanal desses respectivos anos na **Figura 4**, predominam os tons de vermelho relacionados à ocorrência do máximo EVI em outubro, após o período de cheia.

Já os anos hidrológicos de 2004/2005 e 2008/2009 foram de forte seca, onde houve diminuição sensível da umidade do solo e em consequência do vigor da vegetação. Em função disso, nas representações HLS desses referidos anos na **Figura 4**, prevalecem os tons de verde, especialmente no leque do Rio Taquari no Pantanal, indicando que o máximo EVI foi significativamente adiado para fevereiro, depois da longa estiagem.

Os demais anos tiveram um período hidrológico dentro da normalidade, o que implica que a vegetação está em condições intermediárias em comparação aos anos de cheia e seca, consistente com a variabilidade do ciclo sazonal da região. O desenvolvimento da vegetação no Pantanal está correlacionado com o nível de inundação que determina as condições hidrológicas da região, afetando diretamente o momento de máximo EVI.

As séries temporais de EVI foram novamente processadas pelo HANTS, agora para todos os 10 anos hidrológicos juntos, de outubro de 2001 a setembro de 2011, com a mesma parametrização adotada anteriormente.

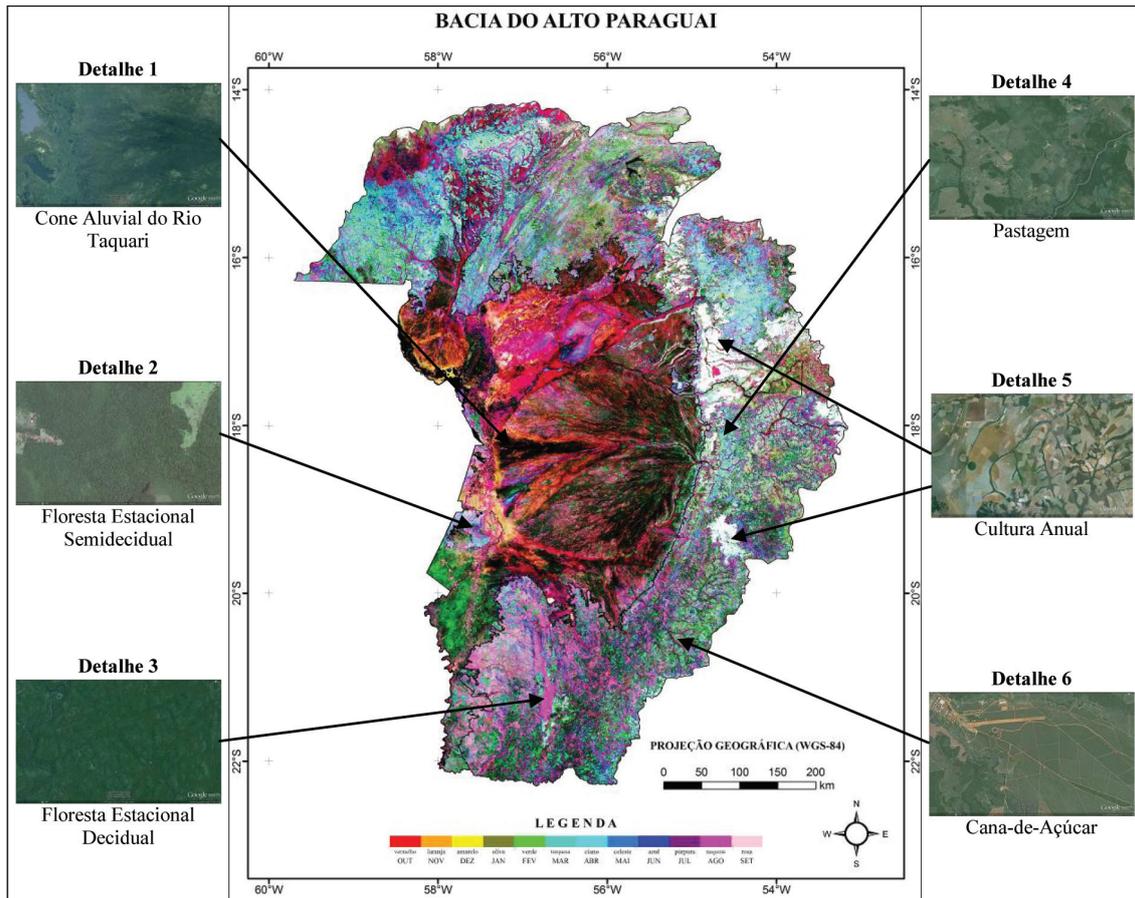


Figura 6: Representação HLS da paisagem da BAP para o período de outubro de 2001 a setembro de 2011.

Dessa forma, a transformação HLS sintetiza o desenvolvimento da vegetação no período dos 10 anos. Para cada pixel, a fase do ciclo total foi atribuída à componente matiz, a amplitude do ciclo total à componente luminosidade e a média do ciclo total do EVI à componente saturação. Na imagem resultante foi aplicada a equalização de histograma para realçar pequenas diferenças e facilitar a interpretação visual.

A **Figura 6** mostra a representação HLS da paisagem da BAP para todo o período de outubro de 2001 a setembro de 2011, com a legenda de cores para correspondência com a ocorrência do pico vegetativo em toda a série temporal.

A representação HLS dos 10 anos hidrológicos da **Figura 6** oferece uma visão sinóptica da exuberância da paisagem da BAP do período de outubro de 2001 a setembro de 2011, permitindo fazer uma análise geral da variabilidade espacial das condições de crescimento da vegetação para algumas tipologias de uso de cobertura do solo.

A intensidade escura indica um EVI constantemente baixo durante toda a série temporal referente a regiões permanentemente alagadas, como no cone aluvial do Rio Taquari - MS, no **Detalhe 1** da **Figura 6**.

As florestas estacionais semidecíduais que perdem de 20% a 50% na época da seca, aparecem em tons de magenta apresentando o pico vegetativo no mês de agosto, como na área próxima a Corumbá - MS, no **Detalhe 2** da **Figura 6**.

As florestas estacionais decíduais que perdem mais de 50% das folhas na época da seca são mais brilhantes em tons de magenta, também com pico vegetativo no mês de agosto, como a Serra da Bodoquena - MS, no **Detalhe 3** da **Figura 6**.

As pastagens são mais claras variando em torno dos tons de ciano, indicando a diminuição da sazonalidade com o pico vegetativo ocorrendo entre os meses de março e abril dependendo da susceptibilidade ao regime de cheias, como na área que não é propensa à inundação localizada no Planalto da BAP - MS, no **Detalhe 4 da Figura 6**.

A intensidade incolor brilhante próxima ao branco refere-se a um EVI constantemente elevado durante toda a série temporal que se manifesta em todos os harmônicos, como nas regiões agrícolas de São Gabriel do Oeste - MS e de Rondonópolis - MT, no **Detalhe 5 da Figura 6**, onde predomina fortemente o cultivo das culturais anuais da soja, milho, algodão e girassol, possuindo vários picos vegetativos durante o ano.

A cultura da cana-de-açúcar também pode ser observada em tons de verde a turquesa, com pico vegetativo indo de fevereiro a março, como na área de expansão localizada no município de Sidrolândia - MS, no **Detalhe 6 da Figura 6**.

5. Conclusões e Sugestões

Os resultados deste trabalho mostraram o potencial da análise harmônica no estudo do comportamento cíclico dos índices de vegetação, cujo entendimento é importante para evidenciar alterações no crescimento da vegetação e revelar padrões da dinâmica temporal.

A representação HLS dos termos harmônicos das séries temporais de EVI/MODIS indicou que a paisagem da BAP possui padrões espaciais coerentes com o desenvolvimento da vegetação nos 10 anos analisados, consistente com a variabilidade do ciclo sazonal das inundações do Pantanal que afetam diretamente o momento de máximo EVI. A representação HLS dos termos harmônicos mostrou ser uma ferramenta eficaz para a interpretação visual dos ciclos da vegetação, proporcionando um efeito de transição suave entre os ciclos.

O regime hidrológico da BAP é caracterizado fundamentalmente pelas precipitações pluviométricas que influenciam diretamente as inundações sazonais do Pantanal. Em estudos futuros, além da variação das cotas do Rio Paraguai, sugere-se utilizar também os dados sobre precipitação que propiciem explorar os resultados de forma mais detalhada para verificar as variações interanuais da vegetação.

6. Referências

- Brasil. Agência Nacional de Águas (ANA). **Boletim de Monitoramento da Bacia do Alto Paraguai**, Superintendência Múltiplos e Eventos Críticos: Brasília, v. 6, n. 1, p. 1-21, 2011.
- De Wit, A. J. W.; Su, B. Deriving phenological indicators from SPOT-VGT data using the HANTS algorithm. In: International SPOT-VEGETATION Users Conference, 2nd., **Proceedings...** Belgium: Antwerp, p. 195-201, 2005.
- Esquerdo, J. C. D. M.; Antunes, J. F. G.; Andrade, J. C. de. **Desenvolvimento do banco de produtos MODIS na Base Estadual Brasileira**. (Comunicado Técnico, 100) - Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 7 p., 2010.
- Foley, J. D.; Van Dam, A. **Fundamentals of Interactive Computer graphics**. Addison-Wesley Publishing Company, 664 p., 1984.
- Hall-Beyer, M. IHS Co-representation of circular and non-circular variables using harmonic analysis parameters. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 33, n. 5, p. 416-421, 2007.
- Huete, A.; Justice, C.; Liu, H. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, n. 3, p. 224-234, 1994.
- Jakubauskas, M. E.; Legates, D. R.; Kastens, J. H. Harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 67, n. 4, p. 461-470, 2001.

Jia, L.; Shang, H; Hu, G.; Menenti, M. Phenological response of vegetation to upstream river flow in the Heihe Rive basin by time series analysis of MODIS data. **Hydrology Earth System Sciences**, v. 15, n. 3, p. 1047-1064, 2011.

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.

Marinha do Brasil. **Serviço de Sinalização Náutica do Oeste**. Disponível em <<https://www.mar.mil.br/ssn-6>>. Acesso em 27. abr. 2012.

Pardi Lacruz, M. S. **Análise de séries temporais de dados MODIS como uma nova técnica para a caracterização de paisagem e análise de lacunas de conservação**. 129 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

Roerink, G. J.; Menenti, M.; Verhoef, W. Reconstructing cloudfree NDVI composites using Fourier analysis of time series. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 9, p.1911-1917, 2000.

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.

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.