

## **Estudo temporal da produtividade primária bruta na região do Pantanal Mato-Grossense utilizando dados do sensor MODIS e transformada wavelet**

Fabício Brito Silva<sup>1</sup>  
Gabriel Pereira<sup>1</sup>  
Hiran Zani<sup>1</sup>  
Milton Kampel  
Yosio Edemir Shimabukuro<sup>1</sup>  
Elisabete Caria Moraes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515  
12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{ fabricio, gabriel, hzani, milton, yosio, bete }@dsr.inpe.br

**Resumo.** Considerando o Pantanal como um dos principais ecossistemas brasileiros, é fundamental a compreensão da magnitude das respostas fenológicas às variações climáticas, especialmente quando se trata do balanço de carbono no ecossistema. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o comportamento sazonal da Produtividade Primária Bruta (PPB) em quatro formações vegetacionais na região do Pantanal. Para isso, foi utilizada uma série temporal de seis anos de imagens do sensor MODIS, correspondente a PPB, na qual foi aplicada a técnica Transformada Wavelet visando identificar a escala temporal de variação da produtividade primária e a magnitude de resposta das formações vegetacionais em relação à sazonalidade climática. As formações pioneira e gramíneo-lenhosa apresentaram melhor desempenho produtivo mediante a sazonalidade climática em relação às formações savana estépica e pastagem. Os resultados evidenciaram maior vulnerabilidade destas formações vegetacionais mediante alterações no regime pluviométrico da região. Programas de conservação ambiental podem aproveitar os resultados obtidos neste trabalho como subsídio para tomadas de decisão. Além disso, tais resultados sinalizam a necessidade de aprofundamento na compreensão de como a resposta fenológica desse ecossistema pode afetar quantitativamente o balanço regional de carbono.

**Palavras-chave:** produtividade primária bruta, wavelet, Pantanal.

**Abstract.** Considering the Pantanal like one of the main Brazilian ecosystems, is fundamental to understanding the magnitude of phenological responses to climate variations, especially when it comes to carbon balance in the ecosystem. In this context, the present study had as objective evaluate the seasonal behavior of the Gross Primary Productivity (GPP) in four vegetation formations in the Pantanal region. For this, there were used six years of images of the sensor MODIS, corresponding to GPP, in which the Wavelet Transform technique was applied to identify the temporal scale of the GPP variations and the magnitude of the vegetation responses regarding to the climatic seasonality. The pioneer formations and woody-grassy presented better productivity by the climatic seasonality regarding to the savanna estepic and pasture formations. The results showed larger vulnerability of these vegetation formations by alterations in the rainfall. in the region. Environmental Conservation Programs can take advantage of this study as support for decision making. Furthermore, these results signal the need for more understanding of how the phenological responses of this ecosystem can affect quantitatively the regional carbon balance.

**Key-words:** gross primary production, wavelet, Pantanal.

## 1. Introdução

Compreender e monitorar o balanço de carbono em ecossistemas, mais que uma questão ecológica passou a ser considerada uma questão política e estratégica, tendo em vista o fato de ser um componente fundamental na dinâmica global do carbono e em última análise nas mudanças ambientais globais.

Nesse aspecto, o estudo da Produtividade Primária Bruta (PPB) assume relevante importância uma vez que pode ser compreendida como o processo de fotossíntese em escala ecossistêmica e varia diária e sazonalmente de acordo com a luminosidade, temperatura, disponibilidade de nutrientes e água no solo (Chapin et al., 2002).

Tais variações definem o desempenho do ecossistema mediante alterações climáticas e antrópicas, sendo esse processo bidirecional, ou seja, a mudança na cobertura da terra pode influenciar na dinâmica climática (Houghton, 1996).

Sendo o Pantanal Mato-Grossense um dos principais ecossistemas brasileiros e tendo sua dinâmica associada a vários componentes ambientais que extrapolam seu território, torna-se fundamental o estudo da influência de fatores climáticos no desempenho de suas formações vegetacionais, assim como sua contribuição na dinâmica do carbono em escalas local, regional e global.

Estudos dessa natureza podem ser enriquecidos pela contribuição das geotecnologias uma vez que viabilizam estudos considerando a transição em escalas de processos ecossistêmicos considerando o espaço como conjuntos de unidades de paisagem (Crepani et al., 2000).

Exemplo dessa contribuição é o programa EOS (*Earth Observation System*) desenvolvido pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), que através dos produtos gerados pelo sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) tem gerado, a partir do início do milênio, um conjunto abrangente de informações ambientais, como imagens de Produtividade Primária do produto MOD17 (Rudorff et al., 2007).

Aliado as geotecnologias, técnicas matemáticas de análise de sinais como a Transformada Wavelet (TW) e a Transformada de Fourier (TF) têm proporcionando melhor compreensão de fenômenos ambientais (Clemen, 1997).

A TW é um método quantitativo de decomposição de variâncias provenientes de séries temporais que permite decompor e recompor dados em diferentes escalas temporais, no domínio da frequência, onde cada escala é representada por uma frequência específica.

Esse método é também denominado técnica de análise conservativa de variância, pois a soma das variâncias geradas no domínio da frequência são iguais a variância total da série de dados não transformada (Torrence and Webster, 1999).

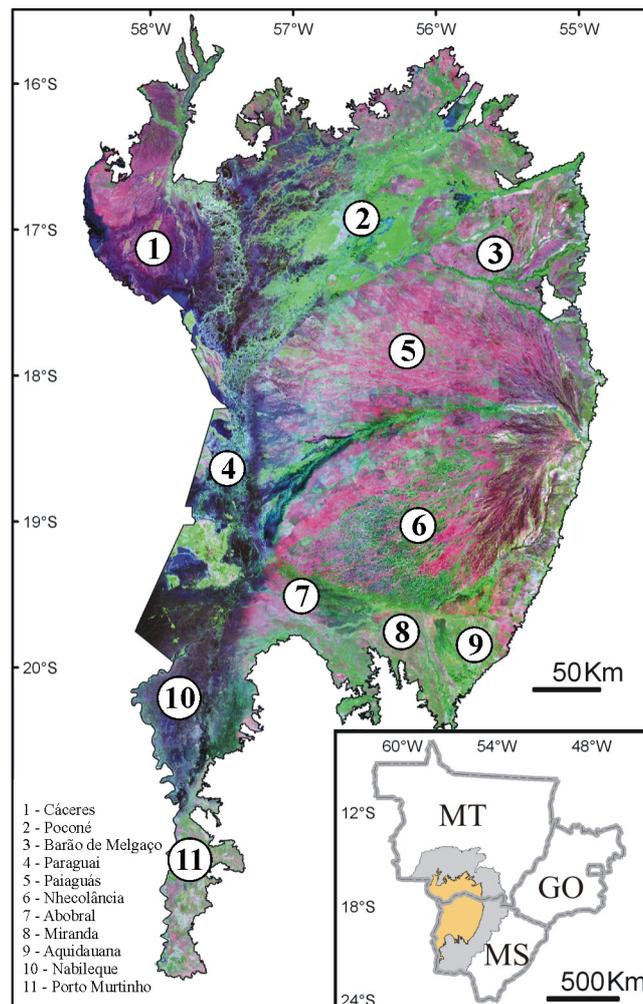
Assim sendo, este trabalho foi concebido através da identificação da questão ecológica de como a variação dos regimes pluviométricos de cheia e seca tem afetado o desempenho das formações vegetacionais na região do Pantanal.

## 2. Objetivo

Este trabalho teve como objetivo de avaliar a escala temporal da variação da produtividade primária bruta para quatro formações vegetacionais na região do Pantanal.

## 3. Material e Métodos

A área considerada no presente trabalho abrangeu toda a extensão do Pantanal, possuindo aproximadamente 160.000 km<sup>2</sup>, dos quais 138.183 km<sup>2</sup> estão em território brasileiro (**Figura 1**) (Silva e Abdon, 1998). É reconhecido como uma das maiores planícies de inundação do mundo e possui rica biodiversidade, fortemente dominada pelos biomas do Cerrado, Amazônia e Chaco (Junk et al., 2006). Sua fisiografia reflete os diferentes padrões de inundação, sendo o rio Paraguai o nível base de todo o sistema e tronco coletor das águas da planície (Assine e Soares, 2004). O clima regional é caracterizado por períodos secos e úmidos bem definidos, que segundo Junk et al. (2006), possuem grande influência na distribuição das espécies vegetacionais.



**Figura 1.** Limites do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões segundo Silva e Abdon (1998).

O estudo foi realizado aplicando a técnica Transformada Wavelet (TW) em uma série temporal de imagens mensais do período de 2001 a 2006 do sensor MODIS a bordo do satélite EOS-TERRA. Foi utilizado o produto Produtividade Primária mensal (MOD17), sendo necessárias duas cenas (*tiles*) - v12h10 e v12h11 para compor a área de estudo, totalizando 144 imagens. As imagens foram adquiridas no endereço eletrônico do *Numerical Terradynamic Simulation Group* (NTSG) da Universidade de Montana. Isso porque, foram geradas com aprimoramentos no mapa de cobertura da terra, no modelo de transferência radiativa utilizado no cálculo do índice de área foliar e em escala temporal mesal.

Após a aquisição, as imagens foram georreferenciadas em projeção Geográfica, mosaicadas e convertidas para a extensão Geotiff através do software MODIS *Reprojection Tool* (MRT) resultando assim em 72 imagens mensais.

O produto MOD17 compõe além das imagens de produtividade primária bruta e líquida, uma referente ao controle de qualidade em relação a corrupção dos dados em relação a qualquer fase de processamento, por exemplo, presença de nuvens. Utilizando essa informação foi confeccionada uma máscara para eliminação dos dados com qualidade duvidosa. Foram utilizadas as imagens referentes à produtividade primária bruta que fornece dados em unidade  $\text{kgCm}^{-2}$ .

Após o tratamento de qualidade foram calculadas as médias por tipologia vegetal, de acordo com o mapa de vegetação proposto pela Embrapa (2004). Este mapa foi degradado a uma imagem matricial com resolução de 1km no sentido de compatibilizar com os dados fornecidos pelo MODIS (1 km de resolução espacial).

Nesse processo foram aglutinadas algumas formações vegetacionais com base em uma expedição de campo que teve a duração de três dias aos Pantanais da Nhecolândia e Paraguai. Devido às dificuldades do trânsito automotivo na região, a grande maioria dos pontos visitados foram próximos ao curso superior do rio Taquari e às poucas estradas transitáveis na parte sul da Nhecolândia (**Figura 2**).

Foi realizado nesse trabalho um sobrevôo de 3h para a aquisição de imagens oblíquas e reconhecimento da área, tendo sido sobrevoada a região da Nhecolândia, o curso atual do Taquari e a planície do rio Paraguai.

Para a interpretação da sazonalidade da produtividade primária foram obtidos dados de precipitação do projeto *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) de parceria entre as agências de pesquisas espaciais dos Estados Unidos da América (NASA) e do Japão (JAXA) objetivando principalmente o estudo da precipitação tropical, uma vez que o calor latente liberado é uma das principais fontes de energia para a circulação global (Kummerow et al., 1998).

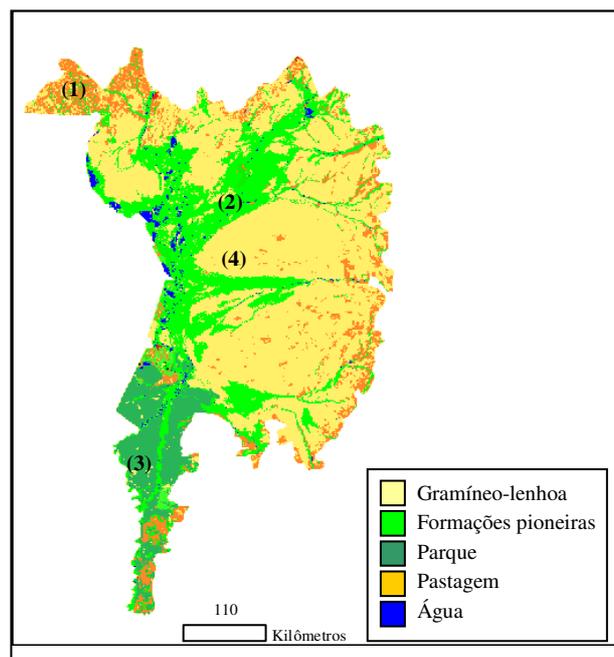
A partir do mapa de vegetação classificado, foram calculados valores médios mensais de PPB para cada classe de vegetação nas 72 imagens adquiridas formando assim as séries temporais de produtividade primária que foram analisadas pela técnica TW. Esse processamento foi realizado na plataforma IDL (*Interface Description Language*) através da pacote IDL *Wavelet Toolkit* utilizando o modelo Morlet de ordem 3, com a significância global de 5%.



**Figura 2.** Imagens da área de estudo adquiridas em expedição de campo utilizadas na geração do mapa de vegetação utilizado para cálculo das médias de produtividade.

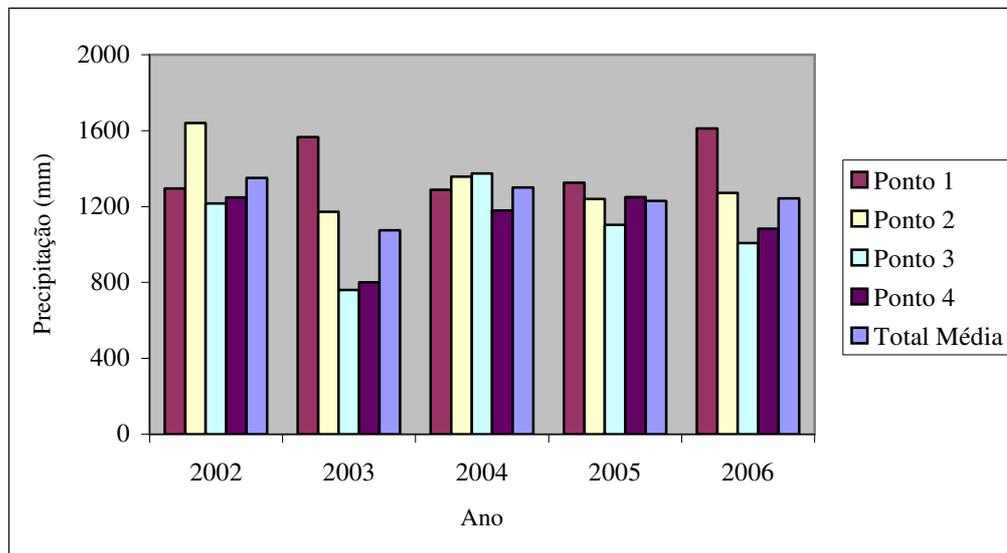
#### 4. Resultados e Discussão

O mapa temático de vegetação gerado a partir do mapa original de cobertura vegetal (Embrapa, 2004) e da interpretação dos dados de campo é apresentado na **Figura 3**.



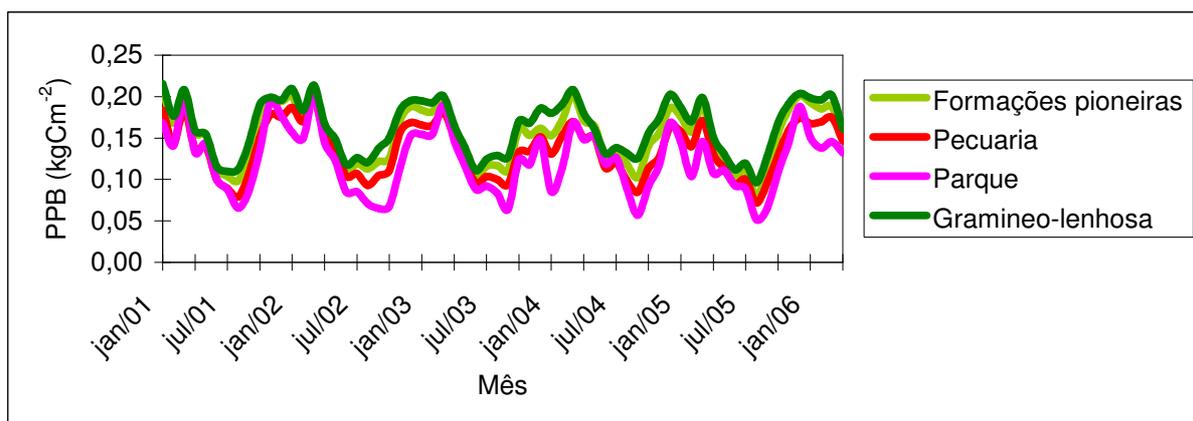
**Figura 3.** Mapa temático de vegetação da região do Pantanal (ver texto) e localização dos pontos de coleta de precipitação (1, 2, 3 e 4).

Através da análise dos dados de precipitação foi observado que o regime pluviométrico na região do Pantanal é heterogêneo e a precipitação média no ano de 2003 foi abaixo dos demais anos (exceto em Cárcere - Ponto 1), principalmente em área de predomínio de savana parque (**Figura 4**).



**Figura 4.** Precipitação total mensal (mm) e anual (mm) em quatro pontos de coleta na região do Pantanal (ver Figura 3). Dados adquiridos no site do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM).

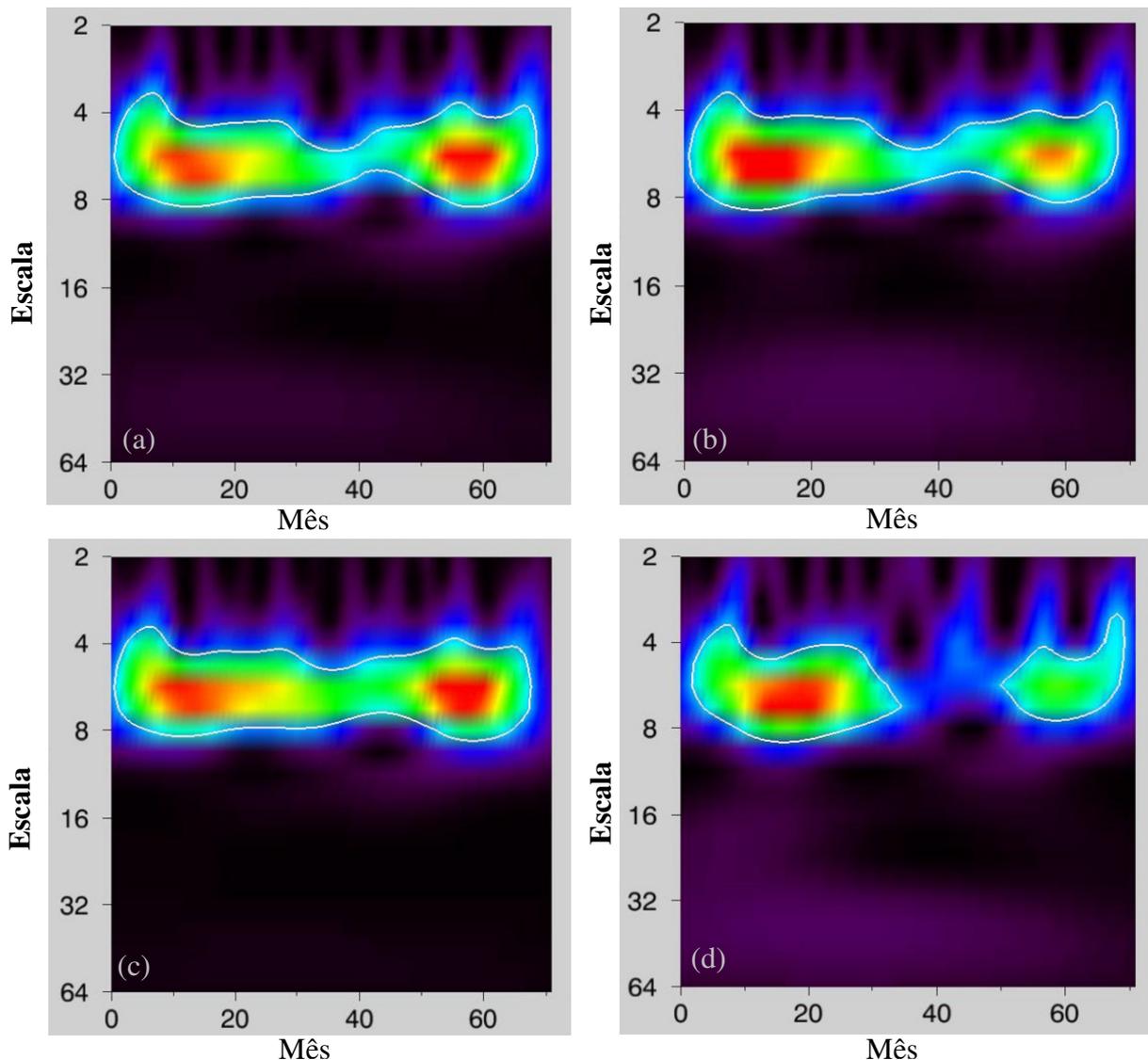
De acordo, com a **Figura 5** observamos que a tipologia savana parque possui menor produtividade quando comparada com as demais, principalmente no período seco. No período chuvoso dos anos de 2001 e 2002 obteve desempenho semelhante às demais formações. As classes Formações Pioneiras e Gramíneo-lenhosa apresentaram desempenho semelhante sendo que, a primeira sempre superior as demais em qualquer período climático ao longo de toda a série temporal estudada.



**Figura 5.** Produtividade primária bruta (média mensal) para as formações vegetacionais estudadas.

A análise dos gráficos de potência de espectro oriundos da TW mostrou coerência na resposta fenológica esperada para as formações vegetacionais estudadas em relação aos dados de precipitação e comportamento anual mensal da produtividade. Ou seja, as formações

pioneiras e gramíneo-lenhosas revelaram um ciclo semi e intra-anual com maior variação no período de janeiro de 2001 a setembro de 2002 e fevereiro de 2005 a fevereiro de 2006, mostrando rápida resposta em relação à sazonalidade climática, evidenciada pelas áreas com coloração vermelha as figuras 6a e 6c.



**Figura 6.** Gráficos de potência de espectro das formações vegetacionais estudadas: (a) Formações pioneiras; (b) Pastagem; (c) Gramíneo - Lenhosa; (d) Parque.

As formações pastagem e savana parque mostraram comportamento semelhante ao das demais no primeiro período (janeiro de 2001 a setembro de 2002), no entanto, no segundo período (setembro de 2002 e fevereiro de 2005) mostraram maior dificuldade de recuperação da produtividade em função da sazonalidade climática, sendo o desempenho da pastagem superior. Esse comportamento foi evidenciado pela coloração levemente vermelha na **Figura 6b** e ciana na verde na **Figura 6d**.

A explicação fenológica desse comportamento é constatada por Silva e Klink (2001) quando observaram que as gramíneas das savanas tropicais possuem diferentes estratégias de aquisição de conservação de água e em geral são intolerantes à seca estacional e evitam o estresse hídrico reduzindo a área foliar e, conseqüentemente, a transpiração. Esta alteração

permite que as espécies C4 mantenham suas folhagens por mais tempo que as C3, já que são mais eficientes no uso da água.

Outros estudos comprovam a relação entre a fenologia reprodutiva das savanas tropicais e a estacionalidade pluviométrica. As gramíneas perenes reproduzem-se geralmente durante o período chuvoso e a redução desse período pode afetar a propagação contribuindo com baixa capacidade dessas espécies em relação à recuperação mediante eventual prolongamento do período seco (Almeida 1995, Sarmiento 1992).

Segundo Prior et al. (2003) e Franco et al. (2005), as formações pioneiras e gramíneo-lenhosas são compostas por uma camada contínua de gramíneas e outra descontínua de árvores, onde a camada arbórea é composta por uma mistura de espécies sempre-verdes e decíduas que possuindo estratégias fenológicas diferentes, coexistem e aumentam a eficiência no uso da água no auge da estação seca.

## 5. Conclusões

Os resultados obtidos mostraram que a análise das imagens MODIS do produto MOD17 através da utilização da Transformada Wavelet permitiu uma coerente representação regional da variação temporal e sazonal da produtividade primária bruta na região do Pantanal.

As formações pioneiras e gramíneo-lenhosa apresentaram maior resiliência em relação ao prolongamento do período seco, quando comparadas às formações savana parque e pastagens.

## 6. Referências

- Almeida, S.P. Grupos fenológicos da comunidade de gramíneas perenes de um campo cerrado no Distrito Federal, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 30:1067-1073. 1995.
- Amolins, Krista; Zhang, Yun; Dare, Peter - Wavelet based image fusion techniques — An introduction, review and comparison - **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**. n. 62,p. 249–263, 2007.
- Assine, M.L.; Soares, P.C. Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. **Quaternary International**, v. 114, n. 1, p. 23-34, 2004.
- Clemen, T., Integrating Simulation Models into Environmental Information Systems-Model Analysis. In: Denzer, R. *et al.*, 1997. **Environmental Software Systems**, Chapman and Hall, London, pp. 292–299. 1997.
- Crepani, E.; Medeiros, J.S.; Azevedo, L.G.; Duarte, V.; Hernandez, P.; Florenzano, T & Barbosa, C. **Sensoreamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico- Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.
- Chapin, F. S., III, P. A. Matson, and H. A. Mooney. **Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology**. Springer-Verlag, New York, New York, USA. 2002.
- Embrapa. **Levantamento e mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Pantanal, período de 2002 na escala de 1:250.000**. Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP, p. 43, 2004.
- Franco, A.C., Bustamante, M.M., Caldas, L.S., Goldstein, G., Meinzer, F.C., Kozovits, A.R., Rundel, P. & Coradin, V.T.R. Leaf functional traits of Neotropical savanna trees in relation to seasonal water deficit. **Trees - Structure and Function**, n 19, p. 326-335. 2005.
- Houghton, R. A. **Terrestrial sources and sinks of carbon inferred from terrestrial data**. Tellus Series B **48**:420–432. 1996.
- 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, 2007.

Kummerow, C., W. Barnes, T. Kozu, J. Shiue, and J. Simpson, The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, n 15, p. 809–817. 1998.

Prior, L.D., Eamus, D. & Bowman, D.M.J.S. Leaf attributes in the seasonally dry tropics: a comparison of four habitats in northern Australia. **Functional Ecology**, n 17. p. 504-515. 2003.

Rudorff, B.F.T.; Shimabukuro, Y.E.; Ceballos, J.C. (Eds.). **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Ed. Bookimage, p.111-21. 2007.

Sarmiento, G. Adaptative strategies of perennial grasses in South American savannas. **Journal of Vegetation Science** 3:325-336. 1992.

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.

Silva, D. & Klink, C.A. Dinâmica de foliação e perfilhamento de duas gramíneas C4 e uma C3 nativas do Cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, n 24, 441–446. 2001.

Torrence, C., and P. Webster. Interdecadal changes in the ENSO-Monsoon system. **Journal of Climate**, n. 12, p. 2679–2690. 1999.