



IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS ALAGADAS NO BIOMA PANTANAL – BRASIL – UTILIZANDO DADOS MULTITEMPORAIS TERRA/MODIS

Juliana Silveira dos SANTOS¹

Gabriel PEREIRA²

Yosio Edemir SHIMABUKURO²

Bernardo Friedrich Theodor RUDORFF²

Resumo

O Pantanal é a maior área úmida tropical do planeta e a principal área alagada do Brasil. As inundações sazonais são uma das principais características deste bioma sendo um fator ecológico fundamental na região. As séries temporais de imagens de sensoriamento remoto são uma importante ferramenta para auxiliar no monitoramento destas áreas. O objetivo deste trabalho foi identificar as áreas alagadas do Bioma Pantanal a partir das variações espaciais e temporais dos valores do índice de vegetação EVI (*Enhanced Vegetation Index*) extraídos das imagens do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) empregando a análise por componentes principais. Foram utilizadas 217 imagens de EVI do período de 2000 a 2008, e dados de precipitação do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM). A partir da análise por componentes principais buscou-se representar a variabilidade no tempo de cada *pixel* que compõe a imagem da região. As áreas que apresentaram maior variabilidade foram classificadas como áreas alagadas. Neste trabalho, foi possível identificar a dinâmica da região, ou seja, períodos de seca e alagamento e obter informações sobre a sazonalidade da vegetação bem como o perfil temporal do EVI para as áreas inundáveis na região.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Análise de componentes principais. Índice de vegetação.

Abstract

Identification flooded areas of the Pantanal Biome – Brazil – using multitemporal terra/MODIS data

The Pantanal is the largest tropical wetland on the planet and the major flooded area of Brazil. The seasonal floods are one of the major characteristics of this biome being a fundamental ecological factor in the region. The time series of remotely sensed images are an important tool to supervise the monitoring of these areas. The objective of this work was to identify the flooded areas of the Pantanal biome based on the spatial and temporal variation of the EVI (*Enhanced Vegetation Index*) values extracted from the MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) images using principal components analysis. We used 217 EVI images from the period of 2000 to 2008, and precipitation data from the *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM). From the principal components analysis the variability in time of each pixel that composes the image was obtained for the entire region. Areas that presented the greatest variability were classified as flooded areas. In this work, it was possible to identify the dynamics of the region, i.e., periods of drought and flooding; and to obtain information about vegetation seasonality as well as the temporal profile of the EVI for flooded areas in the region.

Key words: Remote sensing. Principal components analysis. Vegetation index.

¹Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – CEPsRM - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS - Av. Bento Gonçalves, 9500 – Campus do Vale - Cx.P. 15044, CEP. 91501-970 – Porto Alegre – RS – Brasil - E-mail: juliana.silveiradossantos@gmail.com

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE - Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil - E-mails: {gabriel, yosio, bernardo}@ltid.inpe.br

INTRODUÇÃO

O Pantanal é a maior área úmida contínua tropical de alagamento de áreas interiores do planeta, sendo a principal área alagada do Brasil. É uma planície localizada na bacia do Alto Paraguai com altitudes entre 80 e 120m. Segundo os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) esse bioma tropical ocupa uma área de aproximadamente 150.355 km², o que corresponde a 1,76% do território brasileiro, ocupando parte da área dos Estados do Mato Grosso do Sul (25%) e Mato Grosso (7%). Mesmo sendo localizado quase que totalmente no território brasileiro, ocupa ainda pequenas partes dos países da Bolívia e do Paraguai.

Desta forma, áreas úmidas ou alagadas são ambientes altamente diversos que ocupam zonas de transição entre ambientes, mais altos, bem drenados e ambientes que permanecem sempre alagados (OWEN et al., 1998). Em relação ao Bioma Pantanal, o rio Paraguai e seus afluentes drenam a região transportando sedimentos e matéria orgânica de forma contínua, esse transporte tem implicações na própria formação do Pantanal, que se constituiu em uma bacia sedimentar (PACHECO DO AMARAL, 1986).

A maioria dos solos da bacia pantaneira são pouco férteis em decorrência do prolongado alagamento na parte norte e ao alto conteúdo de sódio nas áreas ao sul. Em pontos mais elevados, especialmente nas serras e morros isolados, o solo é árido com grande presença de calcário. Devido à sua composição predominantemente argilo-arenosa os solos do Pantanal são caracterizados como pobres em sua parte mais profunda, entretanto apresentam alguma fertilidade na camada superficial, graças à deposição de matéria orgânica resultante da decomposição de restos animais e vegetais (PACHECO DO AMARAL, 1986). As inundações sazonais são uma das principais características do Pantanal, sendo que este regime de inundações é o fator ecológico fundamental da região e determina os pulsos dos principais processos bióticos e abióticos, bem como as composições específicas das unidades de paisagem. O alagamento nesta região apresenta claramente um ciclo sazonal distinto, que é caracterizado por um período de seca predominando de abril a setembro e, a partir de outubro, um período chuvoso relacionado a áreas inundadas, diferenciadas de acordo com a intensidade e a duração das precipitações (ADAMOLI, 1995).

Torna-se necessário, portanto, o monitoramento dessas áreas, já que alterações nesses regimes de inundações causam mudanças na cobertura vegetal que alteram todo o bioma. No entanto, o monitoramento e a delimitação destas áreas são bastante complexos devido ao difícil acesso, a grande extensão de terra da região, aos limites difusos, a variação dos níveis da água de estação para estação e ao uso da terra pelos homens alterar a vegetação, os solos e o regime das águas (OWEN et al., 1998).

Uma alternativa para monitoramento destas regiões são os dados obtidos a partir de sensores remotos que permitem análises multitemporais sobre áreas dinâmicas como as do Pantanal.

Para determinar a dinâmica das áreas alagadas frequentemente têm sido utilizados os denominados índices de vegetação. Os índices de vegetação podem ser obtidos a partir dos produtos do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo das plataformas Terra e Aqua. Decorrente das características temporal, espacial e espectral deste sensor e da qualidade do georeferenciamento das imagens é possível obter boa precisão na elaboração de séries temporais que visam o monitoramento destas áreas.

Em estudos recentes na região do Pantanal, verificou-se a viabilidade de uso das imagens Terra/MODIS para o monitoramento das áreas alagadas do Pantanal e a sua influência na resposta espectral (FREITAS et al., 2007); determinação de áreas suscetíveis à alagamento (GOLTZ et al., 2006) e avaliação da dinâmica espaço-temporal do bioma Pantanal (ADAMI et al., 2008). Desta forma, destaca-se que as alterações na cobertura vegetal podem ser detectadas através de índices de vegetação, tornando importante a elaboração

de trabalhos que avaliem o uso destas imagens de moderada resolução espacial para o monitoramento de áreas alagadas.

OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo identificar as áreas alagadas do bioma Pantanal a partir das variações espaciais e temporais de imagens índice de vegetação.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo abrangeu a região do Pantanal brasileiro, que corresponde a uma área de aproximadamente 150.355 km², conforme os dados do IBGE (Figura 1).

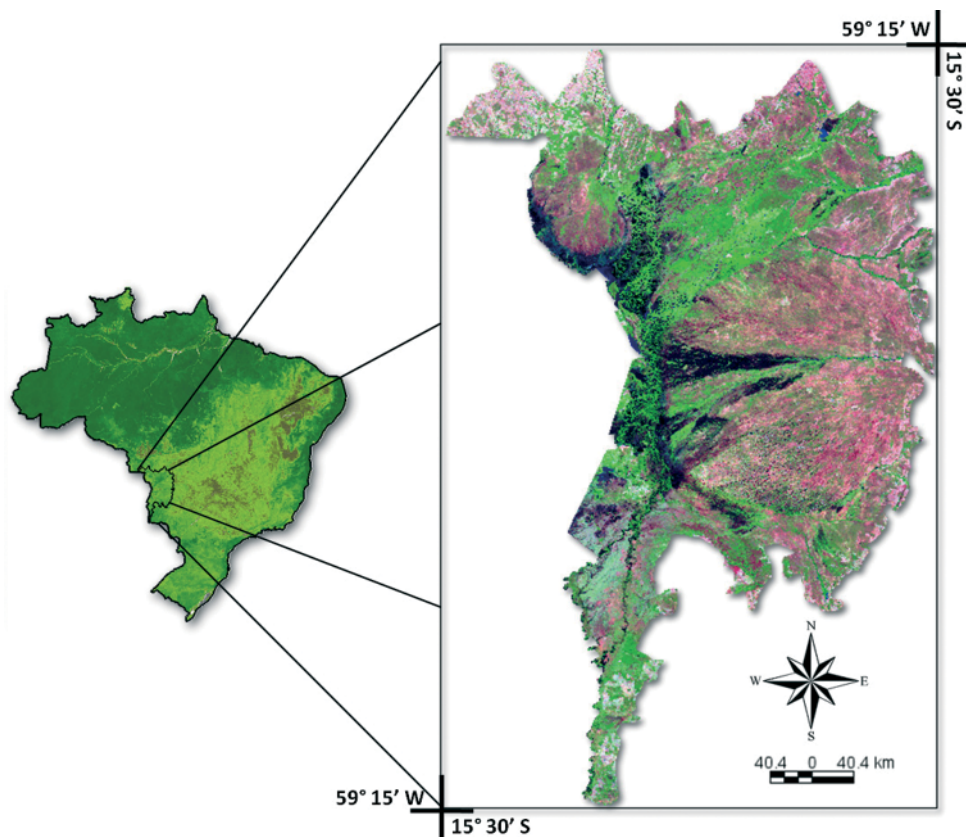


Figura 1 - Localização da área de estudo, Bioma Pantanal - Brasil

Foram utilizadas imagens do produto MOD13Q1 do sensor MODIS, referentes ao índice de vegetação EVI (*Enhanced Vegetation Index*). O índice de vegetação EVI é dado pela Equação 1.

$$EVI = G \left(\frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + C_1 \rho_{RED} - C_2 \rho_{BLUE} + L} \right) \quad (1)$$

Em que:

ρ_{NIR} , ρ_{RED} e ρ_{BLUE} são as refletâncias nos comprimentos de onda do infravermelho próximo, do vermelho e do azul, respectivamente;

L – é o fator de ajuste da linha do solo, igual a 1;

G – é o fator de ganho, igual a 2,5;

C_1 e C_2 – são os coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera iguais a 6 e 7,5, respectivamente.

Foram utilizadas 217 imagens MODIS/EVI com resolução espacial de 500 m adquiridas entre fevereiro de 2000 e dezembro de 2008. Cada imagem é um mosaico constituído dos melhores *pixels* das imagens diárias adquiridas num período de 16 dias. Para o processamento das imagens utilizou-se o *software* ENVI 4.5 e o SPRING 4.3.3. Foram adquiridos os dados de precipitação média mensal a partir do sensor *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) que realiza a estimativa da precipitação a cada 3 horas (NASA, 2006). Estes dados foram inseridos no aplicativo GRADS (*Grid Analysis and Display System*) e foi extraída a média espacial da precipitação média mensal do retângulo envolvente da área de estudo. Com esses dados buscou-se relacionar os períodos de seca e alagamento com a variação média do EVI para cada ano analisado e também caracterizar o comportamento da vegetação ao longo do tempo. Sendo que nesta área a vegetação característica é o Cerrado que forma um mosaico altamente fragmentado com formações que variam de cerradão a campo e floresta que pode ser encontrada em algumas áreas com pouca inundação (ABDON, 2004).

Posteriormente, foi realizada a análise por componentes principais de todas as 217 imagens. Desta forma, buscou-se representar a variabilidade espectro-temporal de cada *pixel* da área de estudo. A análise por componentes principais permite reduzir a dimensionalidade dos dados e representar a variabilidade no tempo de cada *pixel* que compõe a imagem (FREITAS et al., 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na figura 2 são mostrados os valores médios de EVI da área de estudo referente às imagens de cada ano dentro do período analisado (2000 a 2008).

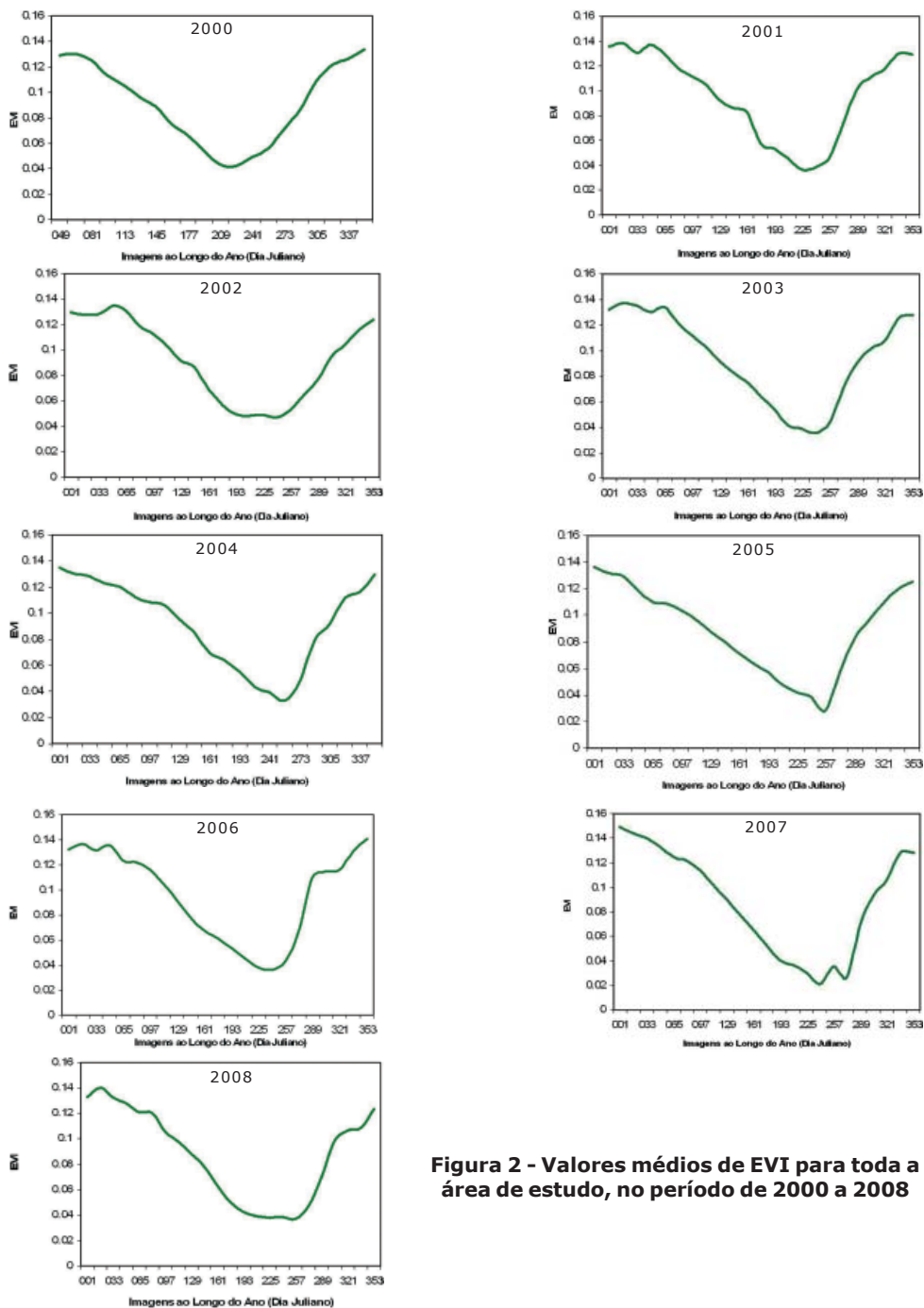


Figura 2 - Valores médios de EVI para toda a área de estudo, no período de 2000 a 2008

Pode-se observar na figura 2 que o perfil do EVI foi bastante semelhante para todos os anos analisados mostrando sua sensibilidade às variações sazonais da vegetação. Os picos dos valores de EVI foram registrados no mês de janeiro para quase todos os anos. Ao longo do ano os maiores valores do EVI foram observados para o período entre outubro e abril que corresponde ao período alagado, no qual a vegetação atinge seu máximo crescimento vegetativo. A partir do mês de abril, os valores do índice de vegetação começam a decrescer, o que está associado à diminuição do vigor da vegetação devido à intensificação da seca. Observando o gráfico da figura 3, pode-se verificar a relação dos valores do EVI com os valores de precipitação referentes aos meses de menor e maior precipitação na área de estudo.

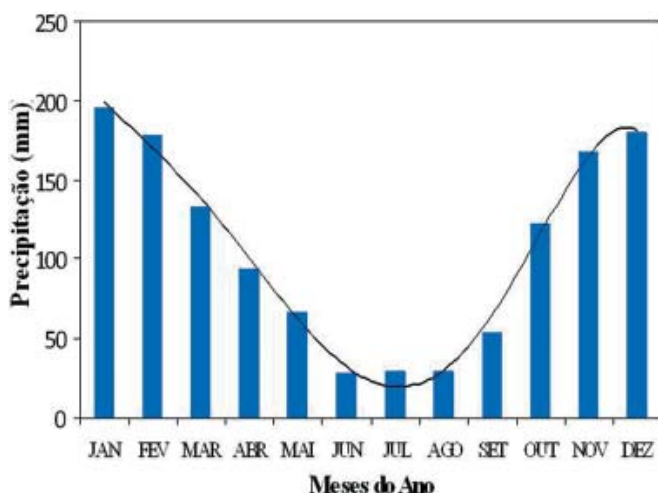


Figura 3 - Precipitação média mensal do período de 2000 a 2008

Os mínimos valores de precipitação correspondem aos mínimos valores de EVI, pois a diminuição da chuva causa uma diminuição no vigor da vegetação representada pelo EVI. Da mesma forma, os valores de máxima precipitação na região ocorrem de outubro a março, período no qual também são observados os maiores valores de EVI para todos os anos entre 2000 e 2008.

Posteriormente foi realizada a análise por componentes principais buscando identificar as áreas que mais variaram ao longo do tempo, que possivelmente seriam as áreas alagadas. Foram obtidas as 10 primeiras imagens componentes principais (CP) a partir das imagens dos meses de janeiro a dezembro de 2000 a 2008. A componente principal que melhor representou a variabilidade dessas áreas foi a segunda componente principal (CP 2), como mostrado a seguir na figura 4.

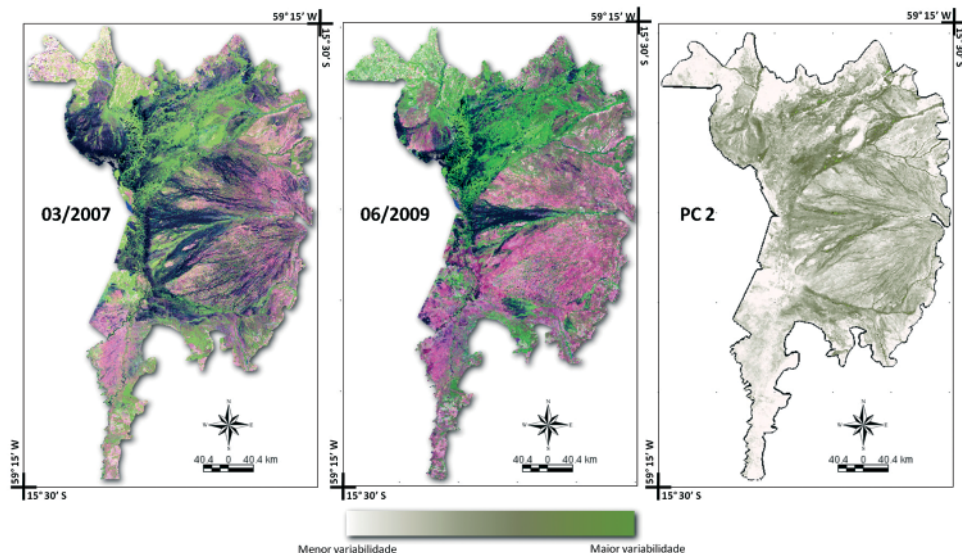


Figura 4 - Imagens MODIS/Terra da área de estudo em composição colorida (1B2G6R) mostrando uma época de alagamento (março de 2007) à esquerda e uma época de seca (junho de 2008) ao centro. À direita é apresentada a segunda componente principal (PC 2) que melhor representou a variabilidade sazonal

Analisando a segunda componente principal na figura 4, pode-se identificar os *pixels* que apresentaram maior variabilidade ao longo do tempo. Esses *pixels* são classificados na imagem em tons verde-escuros. Comparando estas regiões verde-escuras na imagem CP com imagens dos meses referentes à seca e alagamento, é possível relacionar estas regiões às áreas alagadas. No entanto, dentro das áreas que mais variaram, encontram-se alvos que não são áreas alagadas, mas que também apresentaram uma ampla variação ao longo do período. Essas variações identificadas podem ser inerentes à própria dinâmica da vegetação de cerrado (gramíneo-lenhosa e cerrado aberto) que apresentam-se muito verdes na época de chuva e muito secas na época de estiagem.

Ainda observando a figura 4, pode-se verificar que a partir do método utilizado não foi possível identificar as áreas alagadas na parte sul do Pantanal quando comparado aos resultados obtidos nas demais regiões da área de estudo. Este resultado pode estar relacionado à diferença de tempo da inundação no norte e sul para a inundação no leste e oeste no Pantanal que pode alcançar até 3 meses. É importante ressaltar que buscou-se minimizar características como esta, com a utilização de uma longa série de imagens multitemporais EVI.

A altimetria da região de estudo é apresentada na figura 5, sendo que a partir destes dados pode-se visualizar a direção preferencial do escoamento das águas da bacia sedimentar: leste-oeste.

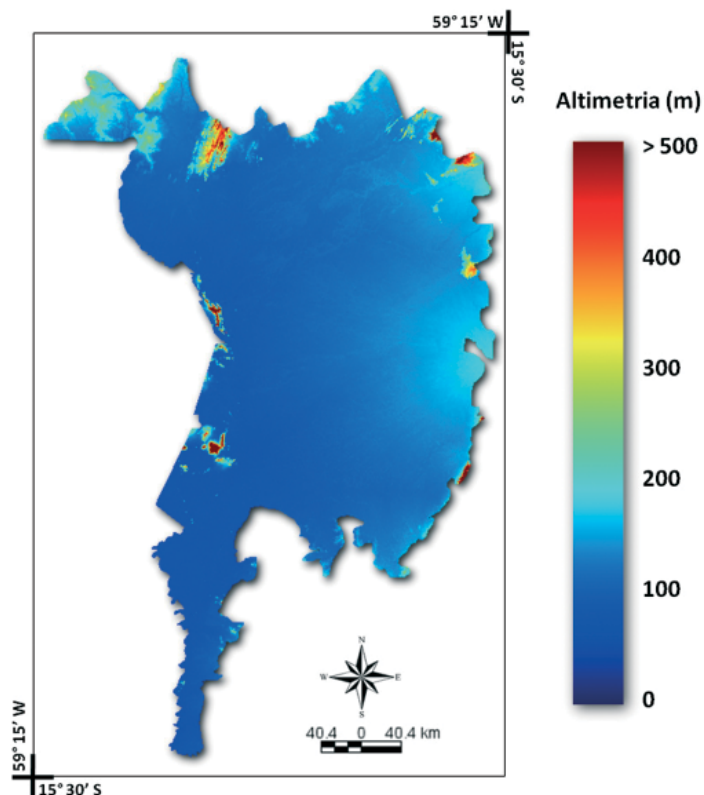


Figura 5 - Altimetria da área de estudo

Neste trabalho ainda foram identificados os perfis espectrais de diferentes alvos da cena buscando caracterizar espectralmente áreas inundáveis e permanentemente inundáveis. A seguir na figura 6, são mostrados os perfis temporais dessas áreas de 2000 a 2008.

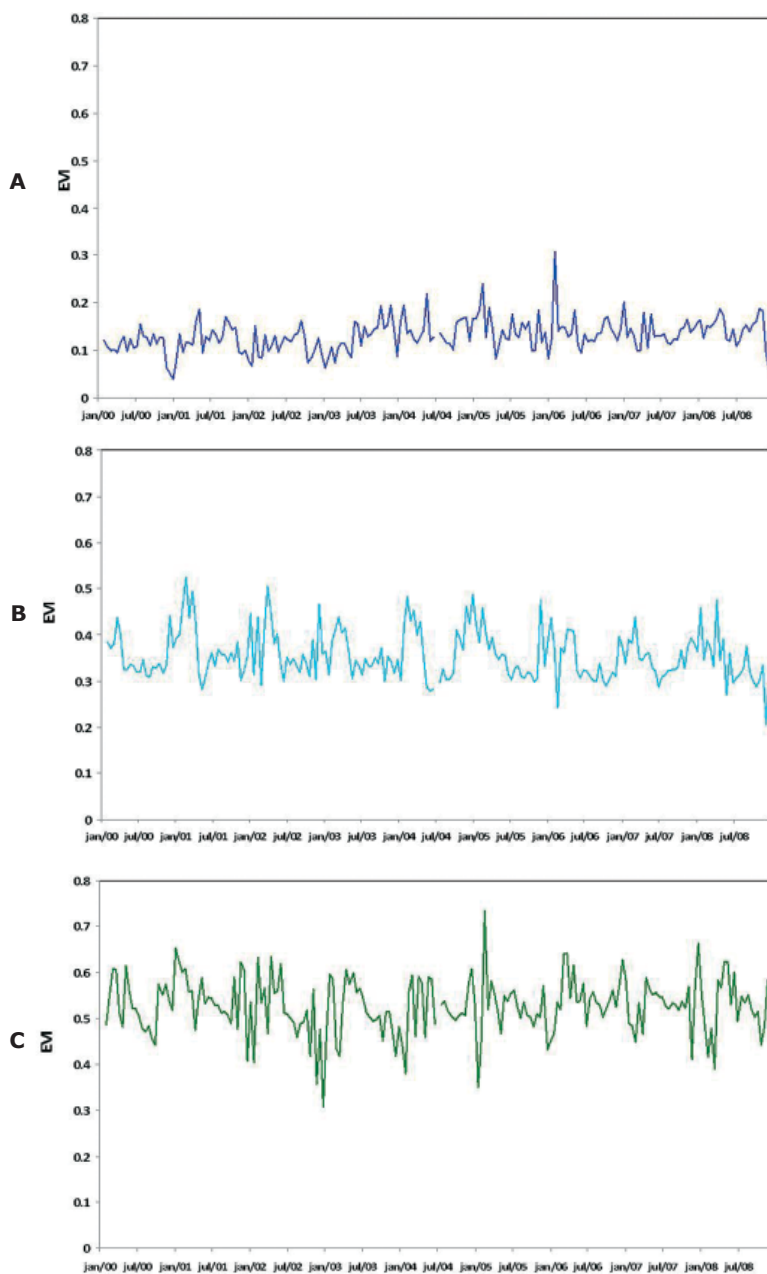


Figura 6 - Perfis Temporais de EVI: (a) áreas permanentemente alagadas; (b) áreas periodicamente alagadas e (c) áreas com vegetação arbórea densa (Cerrado)

Considerando os perfis temporais das diferentes áreas, verificou-se que as áreas permanentemente alagadas mostram valores de EVI baixos em relação aos outros perfis analisados, tendo uma pequena variabilidade durante o período **(a)**. Os valores de mínimo e máximo EVI nestas áreas foram de 0,07 e 0,20, respectivamente. Essa variabilidade pode ser explicada pela presença de sedimentos em suspensão e/ou variação na lâmina de água entre os anos estudados, devido às diferenças de precipitação nos anos estudados que causam diferentes níveis de inundação.

As áreas que apresentaram maior variação nos valores de EVI foram as periodicamente alagadas **(b)**. Sendo que o mínimo valor de EVI encontrado foi de 0,20 e o máximo de 0,52. Em **(c)** verificou-se claramente o comportamento sazonal da vegetação, onde o mínimo e o máximo valor de EVI corresponderam a 0,30 e 0,73. Este máximo de EVI para a área com vegetação permanente (Cerrado) foi verificado nos períodos de maior precipitação. Ao comparar os gráficos de áreas periodicamente alagadas e áreas de vegetação permanente, a variação deve-se a dinâmica sazonal do Bioma Pantanal, pois o comportamento espectral da água que contribui para a composição do *pixel* na área alagada faz com que exista uma diminuição nos valores espectrais de refletância coletada pelo sensor. Esta influência pode ser observada pela diminuição nos valores de EVI entre os dois perfis temporais.

CONCLUSÕES

O Bioma Pantanal apresenta grande variabilidade inter e intra-anual na composição fito-ecológica e compõe um ecossistema de grande dinâmica. Desta forma, o sensoriamento remoto atua como uma fonte para prover dados para a análise destas variações e para o monitoramento ambiental, vital à preservação da área. A utilização de imagens multitemporais e análise por componentes principais permitem a identificação eficiente de áreas que apresentem comportamento dinâmico e ainda tornam possível o mapeamento das alterações nas propriedades físico-biológicas dos múltiplos alvos presentes na cena. Estes resultados são satisfatórios mesmo que estas áreas apresentem características que dificultam a sua identificação como a de dinâmica de inundação (diferente de norte para sul e de leste para oeste).

Embora a resolução espacial nominal de 500 m do sensor MODIS integre grande heterogeneidade na composição do *pixel* pelo diversos alvos, ressalta-se que os produtos MODIS apresentam resultados satisfatórios na identificação de áreas constantemente alteradas pela dinâmica de inundação presente na região de estudo, o que foi possível devido a longa série de imagens utilizadas.

REFERÊNCIAS

- ABDON, M. M. **Os impactos ambientais no meio físico – erosão e assoreamento na bacia hidrográfica do rio Taquari, MS, em decorrência da pecuária**. 2004. 322 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos. 2004.
- ADAMI, M.; FREITAS, R. M.; PADOVANI, C. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; MOREIRA, M. A. Estudo da dinâmica espaço-temporal do bioma Pantanal por meio de imagens MODIS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira (Online)**, v. 43, n. 10, p. 1371-1378, 2008.
- ADAMOLI, J. Zoneamento ecológico do Pantanal baseado no regime de inundações. In: ENCONTRO SOBRE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO A ESTUDOS NO PANTANAL, 1., 1995, Corumbá. **Anais**. São José dos Campos: Inpe, 2005. p.15-17.
- CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- FREITAS, R. M.; ADAMI, M.; SUGAWARA, L. M. et al. Dinâmica da resposta espectral de duas sub-regiões do Pantanal Sul-Matogrossense. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE 2007. Artigos, p. 3921-3928. Disponível em: <<http://mart.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.21.42/doc/3921-3928.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2009.
- GOLTZ, E.; BRANDÃO, D.; TOMÁS, L. R.; MANTELLI, L. R.; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R. **Utilização de índices espectrais de vegetação (MODIS) na determinação de áreas suscetíveis a alagamento no Pantanal Sul-matogrossense**. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1. (GEOPANTANAL), 2006, Campo Grande. **Anais...** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; São José dos Campos: INPE, 2006. p. 87-95. CD-ROM. ISBN 85-17-00029-3. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2006/12.08.13.28>>. Acesso em: 11 jul. 2009.
- IBGE. **Mapa de Biomas e Vegetação**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=169> Acesso em: 18 fev. 2010.
- MARANI, L. **Estudo da emissão de metano no Pantanal Sul-Matogrossense**. 2007. 110 p. (INPE-14776-TDI/1229). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) - **Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)**. Disponível em: <<http://trmm.gsfc.nasa.gov/>> Acesso em agosto de 2009.
- OWEN, O. S.; CHIRAS, D. D.; REGANOLD, J. P. (1998). **Natural Resource Conservation - Management for a Sustainable Future**. 7.ed. New Jersey: Prentice- Hall, Inc., 1998. 594 p.
- PACHECO DO AMARAL FILHO, Z. Solos do Pantanal Mato-grossense. In: Ed. Boock, SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 1., 1986. Corumbá, **Anais...** Corumbá: EMBRAPA-CPAP, 1986. p. 91-103, Documento 5.
- SHIMABUKURO, Y. E.; NOVO, E. M.; PONZONI, F. J. Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira (Online)**, v. 33, n. 10, p. 1729-1737, 1998.

