

# **Análise exploratória de dados de precipitação e áreas alagadas no Pantanal brasileiro nos anos hidrológicos de 2000/2001 e 2007/2008**

Jonas de Assis Cinquini <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
jonas@dsr.inpe.br

## **1. Introdução**

O Pantanal brasileiro é caracterizado como uma área sujeita a inundações sazonais. Está localizado na Bacia do Alto do Paraguai, com área aproximada de 139.111 Km<sup>2</sup> estendendo-se pelos estados de Mato Grosso (37%) e Mato Grosso do Sul (63%) (Adámoli, 1982).

Alterações no regime de inundação provocam mudanças na cobertura vegetal da região pantaneira, influenciando aspectos físicos, químicos e biológicos do bioma. Para Padovani (2010) o pulso de inundação é quem dita o ritmo natural e consequentemente econômico do Pantanal brasileiro, já que a economia da região é regida principalmente pelo agronegócio da pesca e pecuária.

Devido à constante variação do regime hidrológico e extensa área, o manejo e monitoramento adequado de ambientes como o Pantanal torna-se difícil. Para isso o uso do sensoriamento remoto é imprescindível nos trabalhos de cunho físico-biológicos e socio-econômicos da região. Segundo Collischonn *et al* (2006) os dados do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission) que medem precipitação são uma alternativa eficiente e barata quando comparados à instrumentos no solo (estações pluviométricas com telemetria), concluindo que as estimativas de precipitação do sensor orbital são consistentes.

Para Shimabukuro (1998) com o correto processamento e aplicação de técnicas adequadas em imagens de sensores orbitais (correção atmosférica, registro, realce, reamostragem, composição de bandas, etc.) pode-se identificar satisfatoriamente padrões da vegetação e alterações na cobertura vegetal do solo que auxiliam nos estudos das áreas alagáveis.

Nessa perspectiva a utilização do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) fornece produtos satisfatórios para estudos multitemporais, decorrente das características temporal, espacial e espectral que o sensor possui (Santos *et al.*, 2009). Recentes estudos no Pantanal demonstraram a viabilidade da utilização das imagens Terra/MODIS para o monitoramento das áreas alagadas do Pantanal e avaliação da dinâmica espaço-temporal do bioma (Adami *et al.*, 2008).

Trabalhos foram realizados na estimativa de precipitação por meio de satélites, sendo um dos pioneiros o de Conti (2002), destaca-se também Araújo e Guetter (2005) e Collischonn *et al.* (2006) demonstrou que o radar que mede a quantidade de chuva em regiões tropicais, Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM) possui uma boa eficácia. Além disso Collischonn (2006) demonstrou que os dados do TRMM, além de auxiliarem na estimativa da precipitação, pode também ajudar a identificar pluviômetros localizados instalados na superfície com problemas.

O objetivo do trabalho é verificar se há relação entre a espacialidade das áreas alagadas e da precipitação no Pantanal brasileiro.

## **2. Materiais e Métodos**

O Pantanal brasileiro faz fronteira com o Paraguai e Bolívia, situado entre os paralelos de 16° e 22° de latitude sul e meridianos de 55° e 58° de longitude oeste (Figura 1).

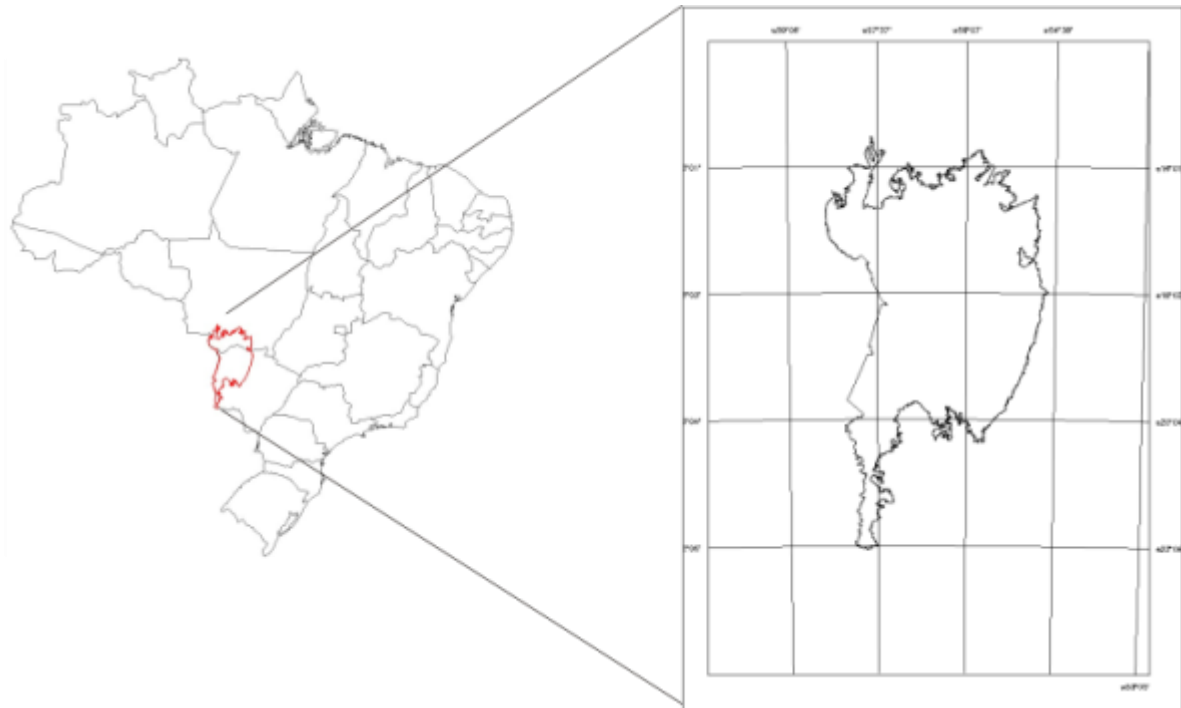


Figura 1. Localização do Pantanal no Brasil.

O produto do satélite MODIS utilizado foi de reflectância da superfície (MOD09), que possui as bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 (centradas em 648 nm, 858 nm, 470 nm, 555 nm, 1240 nm, 1640 nm e 2130 nm respectivamente) (Vermote et al. 2011). Foram utilizadas 48 imagens MOD09GA (reflectância da superfície como se fosse medida em campo na ausência da absorção e espalhamento da atmosfera) com resolução espacial de 500 metros, adquiridas entre outubro e setembro dos anos de 2000/2001 e 2007/2008. O pré-processamento das imagens foi realizado através da conversão dos dados em formato *Hierarchical Data Format* (HDF) para geotiff, utilizando-se o aplicativo MODIS *Reprojection Tool* (MRT), onde foram realizados os mosaicos e o recorte da área de estudo.

A classificação das áreas alagadas foram realizadas no software ENVI 4.7 pelo fatiamento da imagem do *Normalized Difference Water Index* (NDWI) (Equação 1), de acordo com Mc Feeters (1996).

$$NDWI = \frac{\rho_{verde} - \rho_{NIR}}{\rho_{verde} + \rho_{NIR}} \quad (1)$$

Como os valores da imagem do NDWI variam entre -1 a 1, sendo valores mais próximos a 1 significa maior presença de água no alvo, o limiar para separar áreas alagadas de áreas não alagadas determinado foi de -0,48 a 1, os valores restantes menores que -0,48 foram tidos como áreas não alagadas.

Após obtenção das imagens classificadas, as áreas alagadas foram convertidas para o formato vetorial e então exportadas do ENVI. Os vetores foram importados no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING 4.3.3) para cálculo de área e produção das imagens finais incluindo o vetor do limite do Pantanal, disponibilizado pelo Probio-Pantanal (Silva, 2007).

Foram adquiridos os dados de precipitação de média mensal a partir do sensor Tropical

Rainfall Measuring Mission (TRMM) que realiza estimativa da precipitação a cada 3 horas (NASA, 2011). Esses dados foram manipulados no aplicativo GRADS (Grid Analysis and Display System) e foi extraído a precipitação média mensal do retângulo envolvente da área de estudo.

Para validação dos dados de precipitação utilizou-se dados das estações pluviométricas (Tabela 1) distribuídas pela área de estudo.

Tabela 1. Estações pluviométrica no Pantanal.

Estação	Coordenada (Grau decimal)		Estação	Coordenada (Grau decimal)	
	Latitude	Longitude		Latitude	Longitude
Estacao_BAIA NOVA	-16,3561	-55,5864	BELA VISTA DO NORTE	-17,6414	-57,6906
ACIMA DO CORREGO GRANDE	-16,6081	-55,2064	CACHOEIRA POLVORA	-18,1906	-54,2578
BARAO DE MELGACO	-16,1936	-55,9453	PEDRO GOMES	-18,0986	-54,5472
TAIAMA	-16,7275	-55,3553	RIO VERDE DE MATO GROSSO	-18,91	-54,8322
SANTA LUCIA	-16,8883	-55,9061	JAUURU	-18,6492	-54,3572
PORTO CERCADO	-16,5119	-56,3756	COXIM	-18,5042	-54,7556
POCONE	-16,3147	-56,5436	CONFLUENCIA DO RIO JAUURU	-18,7303	-54,5786
SAO JOSE DO BORIREU	-16,9211	-56,2236	AMOLAR	-18,0372	-57,4886
SAO JOAO	-16,9442	-56,6319	SAO FRANCISCO	-18,3939	-57,3911
DESCALVADOS	-16,7336	-57,7503	RIO NEGRO	-19,4397	-54,9833
CACERES (DNPVN)	-16,0758	-57,7022	IGUACU	-19,9447	-55,7944
FLECHAS	-16,0392	-57,2575	PARAISO	-19,1733	-56,7122
DESTACAMENTO DA CORIXA	-16,3944	-58,3389	ENTRE RIOS	-19,6781	-56,2042
SANTO ANTONIO DO PARAISO	-17,4917	-55,2322	CAMPO ALTO	-19,0033	-56,0889
SAO JERONIMO	-17,2017	-55,9919	BODOQUENA	-19,8617	-56,9847
ILHA CAMARGO	-17,0572	-56,5856	BARRANCO BRANCO	-21,0989	-57,8447
SAO JOSE DO PIQUIRI	-17,2914	-56,3847	TARUMA	-20,2908	-57,6478
PORTO CONCEICAO	-17,1433	-57,3594	SAO SEBASTIAO	-19,3592	-56,4092
FAZENDA LAJEADO	-20,2922	-55,4453	MIRANDA	-20,2414	-56,3683
POSTO CORRENTES	-17,5869	-54,7567	GUAICURUS	-20,1019	-56,7953
PEDRO SEVERO	-17,8308	-54,3131	PORTO MURTINHO	-21,7014	-57,8917
UNIAO	-17,7847	-55,7894	PORTO DA MANGA	-19,2583	-57,2353
RETIRO SEGURO	-18,0208	-56,7319	FORTE COIMBRA	-19,9186	-57,7894
PORTO DO ALEGRE	-17,6233	-56,965	PIRAPUTANGA	-19,3053	-57,5933

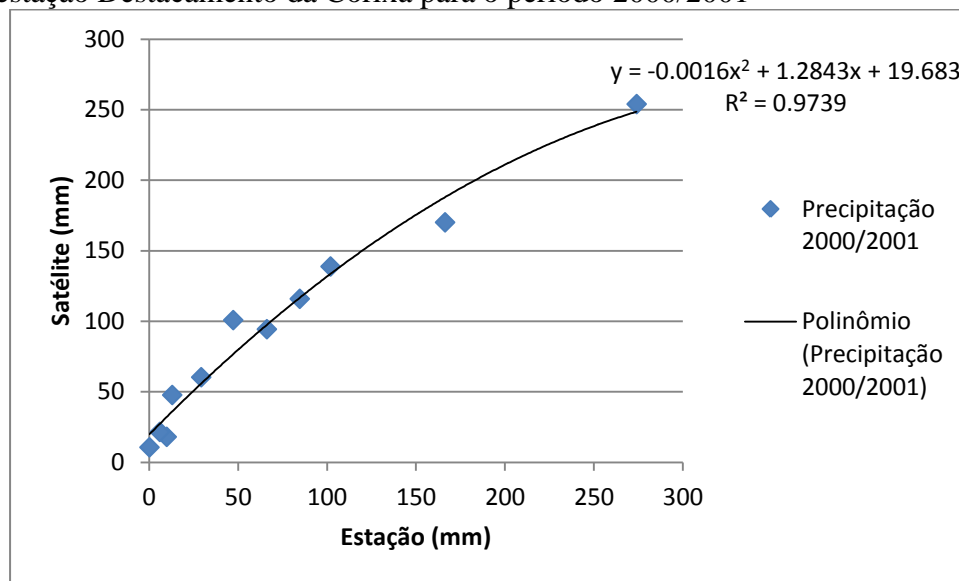
Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA) (2011).

A relação entre os dados das estações com o do satélite de precipitação foi realizada por uma regressão simples. Com os dados de precipitação e das áreas alagadas para o período e área de interesse, ambos dados foram correlacionados.

### 3. Resultados e Discussão

No Gráfico 1 é mostrado um exemplo de correlação entre os dados de precipitação do satélite TRMM e das estações.

Gráfico 1. Relação entre dados de precipitação do satélite TRMM e da estação, exemplo da estação Destacamento da Corixa para o período 2000/2001



Analisando o gráfico percebe-se uma alta correlação entre os dados de chuva do TRMM com os da estação pluviométrica, o que demonstra a eficácia dos dados obtidos por satélite.

Sabendo que a precipitação provinda do TRMM possui acurácia satisfatória, foram plotados gráficos de chuva para o Pantanal para os anos hidrológicos 2000/2001 e 2007/2008 (Figura 3 e 4 respectivamente).

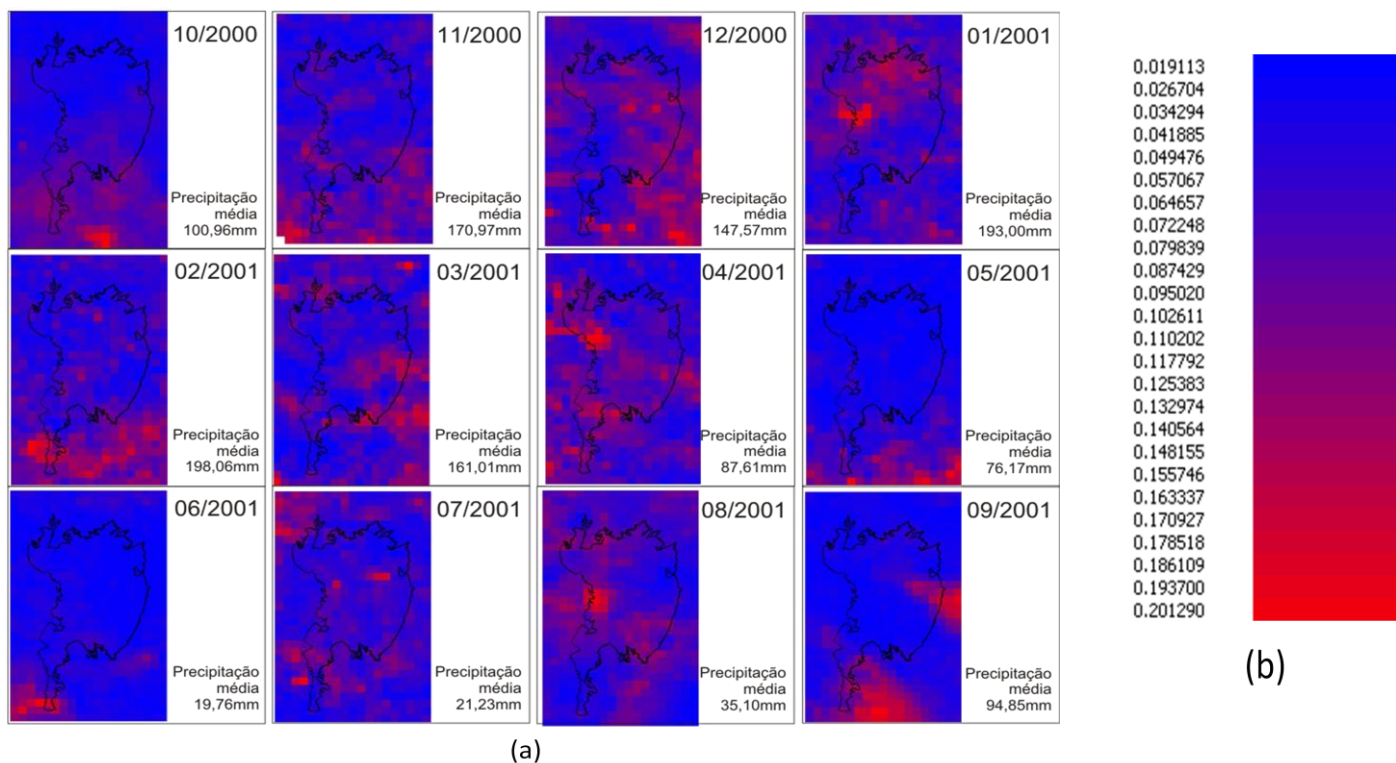


Figura 3. Precipitação média registrada pelo satélite TRMM de outubro de 2000 a setembro de 2001 no Pantanal (a). Legenda da quantidade de chuva em milímetro (b).

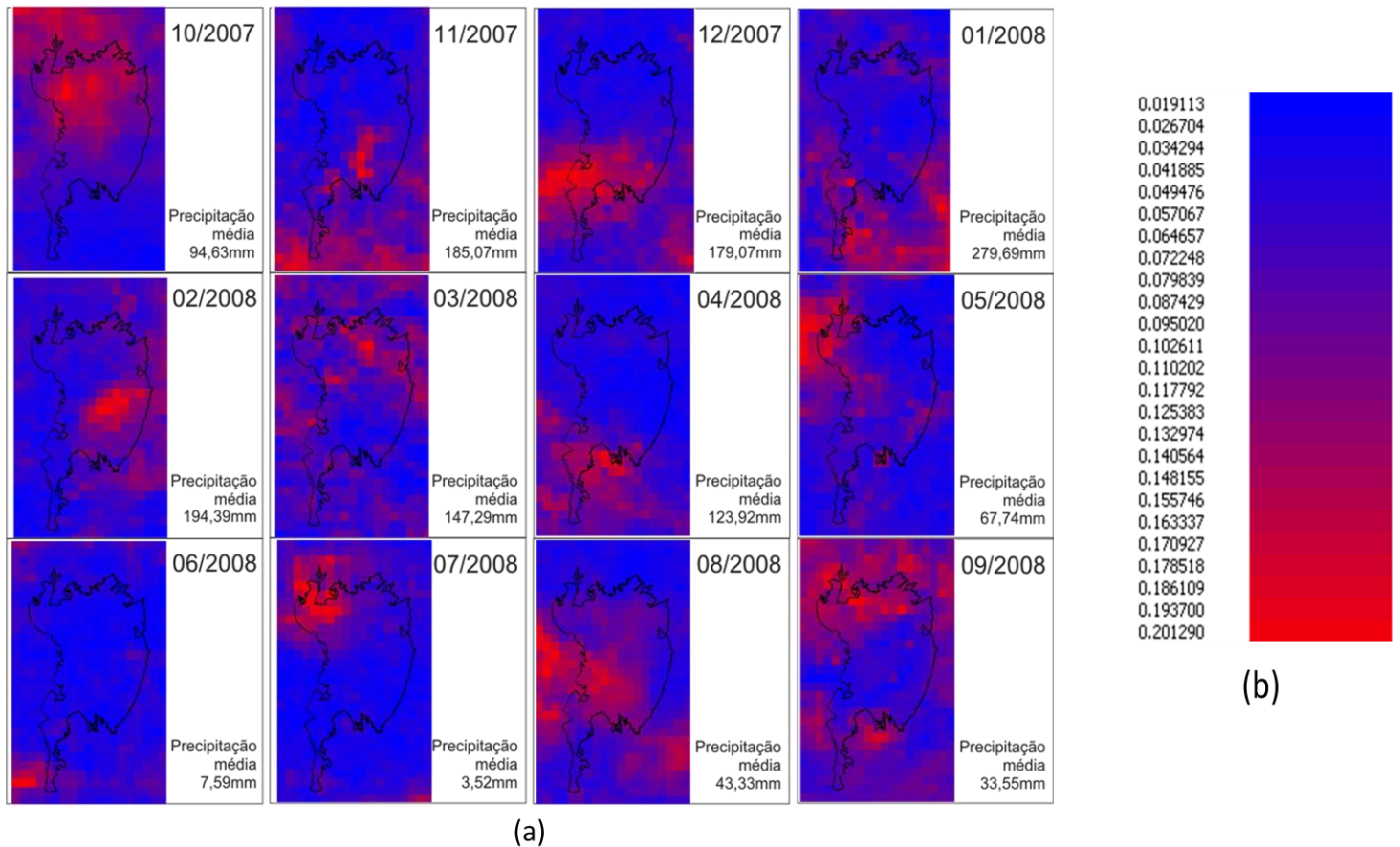


Figura 4. Precipitação média registrada pelo satélite TRMM de outubro de 2007 a setembro de 2008 no Pantanal (a). Legenda da quantidade de chuva em milímetro (b).

Analisando as duas figuras percebe-se que a chuva no Pantanal não possui um padrão específico, variando espacialmente e em sua intensidade. Essa aleatoriedade é verificada tanto nos diferentes meses como também nos diferentes períodos (2000/2001 e 2007/2008).

Com relação ao mapeamento das áreas alagadas, verificou-se que no ano hidrológico de 2000/2001 (Figura 5) a intensidade do alagamento não foi significativa comparada à inundação no período 2007/2008 (Figura 6).

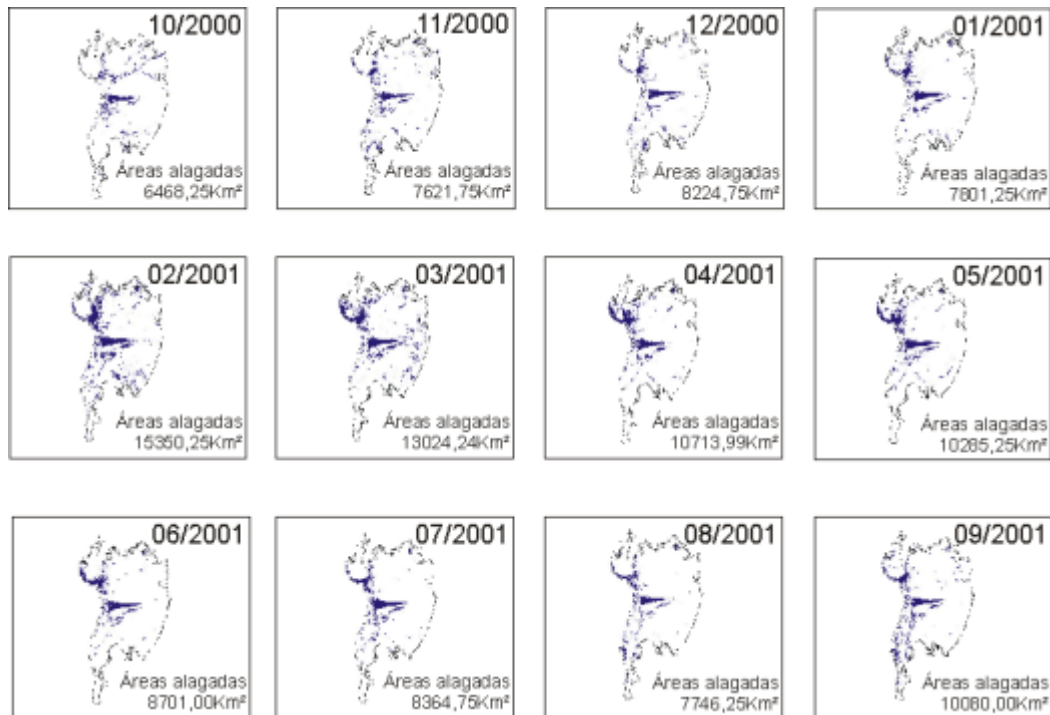


Figura 5. Áreas alagadas no Pantanal de outubro de 2000 a setembro de 2001.

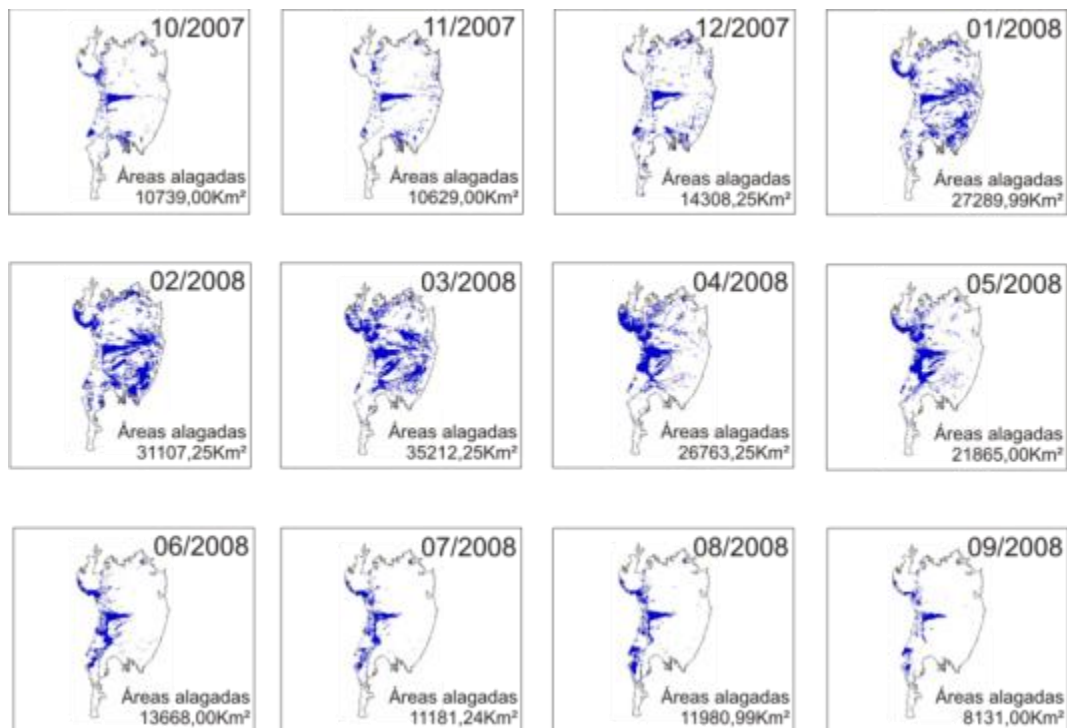


Figura 6. Áreas alagadas no Pantanal de outubro de 2000 a setembro de 2001.

Nos meses de janeiro a maio de 2008, percebe-se claramente o período de cheia considerável, quando a água atinge também a parte central do Pantanal e não apenas a porção oeste contida pelo rio Paraguai.



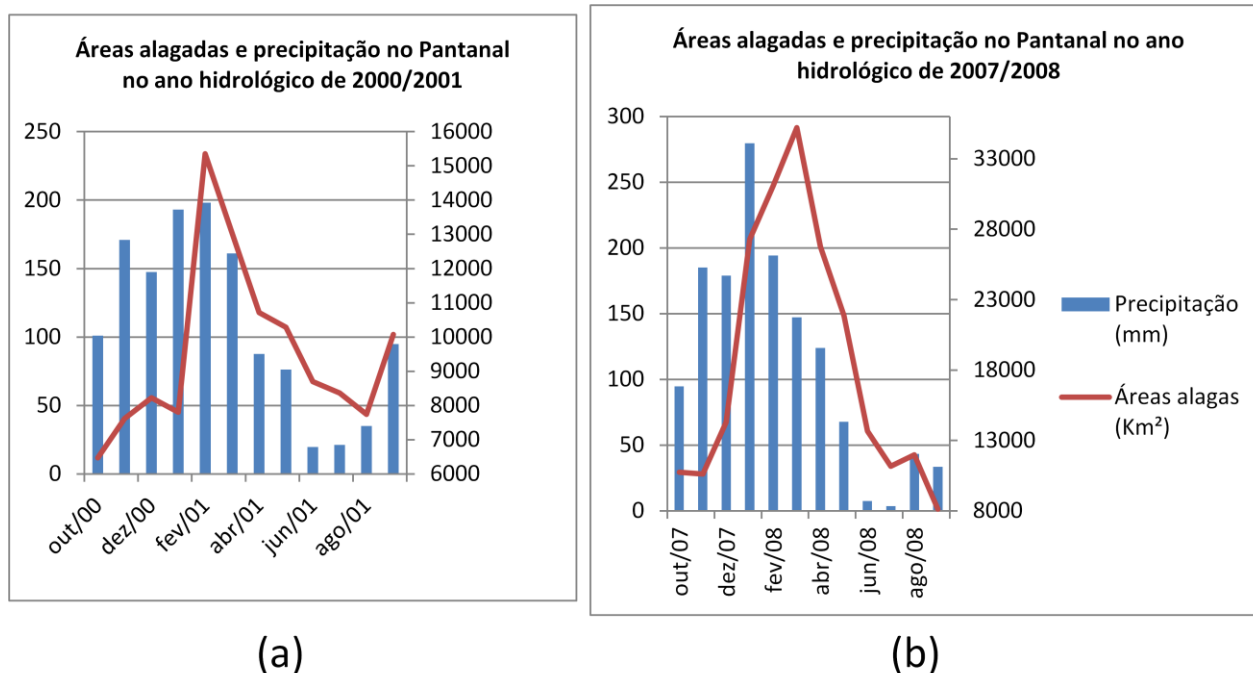


Figura 7. Gráficos das áreas alagadas e precipitação no Pantanal nos anos hidrológicos de 2000/2001 (a) e 2007/2008 (b).

Comparando os dados de áreas alagadas e precipitação juntos verifica-se claramente o atraso que ocorre na inundação do Pantanal após a ocorrência das chuvas. No período entre os anos 2000/2001 quando o alagamento foi menos expressivo comparado ao outro ano de estudo, a inundação foi quase que juntamente com a chuva, havendo grande quantidade de precipitação de novembro a março (aproximadamente 160,150, 190, 200 e 160 mm em novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março respectivamente) e o auge de inundação em março (aproximadamente 15.000 km<sup>2</sup>). E a medida que a chuva foi diminuindo nos meses de abril à junho, o solo também foi drenando e conseqüentemente diminuindo a área inundada.

Já no período de 2007/2008, as chuvas ocorreram em maior quantidade de dezembro a fevereiro (aproximadamente 150, 270, 190 mm em dezembro, janeiro e fevereiro respectivamente) e o pico de alagamento (cerca de 34.000 km<sup>2</sup>) foi só em março e abril, quando a quantidade de precipitação alcançou menos de 150 mm.

Pelos gráficos percebe-se também que a quantidade de chuva e áreas alagadas nos anos 2000/2001 foi inferior aos anos hidrológicos de 2007/2008, o que justifica a grande quantidade de áreas alagadas apresentadas na Figura 6 no período de cheia.

#### 4. Conclusões

O pantanal apresenta alta dinâmica de áreas alagadas entre as épocas de seca e cheia seja em períodos extremos, com alta ou baixa precipitação.

As imagens do sensor MODIS mostraram-se satisfatórias para análise multi-temporal do Pantanal.

A correlação entre as áreas alagadas e a espacialidade da precipitação não foram satisfatória pela pequena resolução temporal utilizada nesse trabalho.

#### Referências bibliográficas

Adámoli, J. O pantanal e suas relações fitogeográficas com os cerrados; discussão sobre o conceito de “Complexo do Pantanal”. In: Congresso Nacional de Botânica, 32., Teresina, 1981. **Anais**. Teresina, Sociedade Botânica do Brasil, 1982, p. 109-119.

Agência Nacional de Águas (ANA) - Banco de dados da Agência Nacional de Águas, disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>> Acesso em Nov 2011.

Araújo, A. N.; Guetter, A. K. **Avaliação hidrológica da técnica CMORHP de estimativa de chuva por satélite sobre a baía do Iguaçú**. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos hídricos, 20 a 24 de novembro de 2005, João Pessoa-PB.

Collischonn, B. **Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído**. Dissertação de mestrado, IPH-UFRGS, Porto Alegre, 2006.

Collischonn, B.; Collischonn, W.; Tucci, C. **Análise do campo de precipitação gerado pelo satélite TRMM sobre a bacia do São Francisco até Três Marias**. I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, 27-29 de agosto, Curitiba, PR, 2006.

Conti, G. N. **Estimativa da Precipitação através de técnicas de sensoriamento remoto: Estudo de caso para o estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de mestrado, IPH-UFRGS, 2002.

National Aeronautics and Space Administration (NASA) – **Tropical Rainfall measuring Mission (TRMM)**. Disponível em : <<http://trmm.gsfc.nasa.gov/>> Acesso em novembro 2011.

McFeeters, S.K. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996.

Padovani, C. R. **Dinâmica espaço-temporal das inundações do Pantanal**. 2010, 174p. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), Piracicaba, 2010.

Santos, et al. Mapeamento de áreas alagadas no Bioma Pantanal a partir de dados multitemporais TERRA/MODIS. In: **Anais...** 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá, 2009. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 961-970l.

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**, v. 33, n. especial, p. 1729-1737, out. 1998. (INPE-10505-PRE/5981).

Silva, J. S. V. et al. Banco de dados de vegetação do projeto Probio-Pantanal. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 23. Rio de Janeiro, 2007. **Anais...** Rio de Janeiro: SBC, 2007. P. 1643-1652. (CD-ROM)

Silva, M.P. et al. Distribuição e quantificação de classes de vegetação do Pantanal através de levantamento aéreo. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 23, n. 2, p. 143-152, Jun 2000.

Vermote, E. F. et al. **Modis Surface Reflectance User’s Guide**. Version 1.3. Fevereiro de 2011.