

Avaliação de Desempenho de Imagens MODIS no Estudo da Dinâmica de Inundação do Pantanal Mato-Grossense

Sérgio Wagner Gripp da Silveira^{1,2}

Gracyeli Santos Souza²

Peter Zeilhofer²

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 6099 – 78055-970 – Cuiabá – MT, Brasil
sergiogripp@gmail.com

² Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT
Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367 - Bairro Boa Esperança
CEP 78060-900 – Cuiabá – MT, Brasil
{gracyeli, zelhoiferpeter}@gmail.com

Abstract. This preliminary study examines the applicability of multi-year MOD13Q1 16-day composites for inundation monitoring in the Northern Pantanal floodplain. Therefore, five-year field measurements of water levels with an average weekly temporal resolution during the flooding period from 51 gauges were compiled and binarized for Logistic Regression model development and accuracy assessment. Average inundation period in the northern Pantanal lasts between three and five months. Thus, to reduce model bias, a total of 80 MODIS composites were selected, half from the flood, half from the dry season. For the calibration period, a Nagelkerke R^2 coefficient of 0.595 and an overall classification accuracy of 83.6% were obtained, this if only pixels with a PR = 0 quality were used. For the validation period which only included composites not used for calibration, overall accuracy decayed to 74.4%. If pixels down to a QA of 1100 were included, overall accuracy further decayed significantly to 71.3%. Poorest classification results were obtained for semi-deciduous forests developed on Cordilheira elevations (false positives) and for temporary flooded, mono-dominant *Vochysia divergens* forests (Cambarazal). Best results were obtained for open Savannah formations. Great performance differences between the calibration and validation periods indicate that RL models should be developed on a yearly basis, presuming the availability of a permanent flood monitoring network. Future studies should further consider the antagonist effects between high accuracies versus gap-free monitoring including low quality pixels and test for the applicability of time series filling algorithms.

Keywords: LSWI, EVI, Flooding, MOD13Q1 .

1. Introdução

As planícies alagáveis são importantes ecossistemas tanto para a vida selvagem como também para as pessoas que delas tiram seu sustento. No Brasil, o Pantanal, uma das maiores planícies alagáveis do mundo, ocupa uma área de cerca de 140 mil km². Dessa área, 35% encontram-se no estado de Mato Grosso. O restante (65%) encontra-se no estado de Mato Grosso do Sul.

Os ciclos anuais de inundação e seca das planícies alagáveis determinam seus principais processos ecológicos. No caso do Pantanal Mato-grossense, devido a sua extensão e limitada acessibilidade, a análise de imagens de satélite multitemporais consiste em uma técnica indispensável no monitoramento da sua dinâmica de inundação.

Os produtos do sensor *MODerate resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), apesar de possuírem resolução temporal e espacial apta para estudos da dinâmica de inundação,

possuem limitações por ser um sistema óptico, sujeitos a interferências da cobertura vegetal e das condições climáticas.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo é fazer uma avaliação preliminar do desempenho dos índices de umidade *Land Surface Water Index* (LSWI) e de vegetação *Enhanced Vegetation Index* (EVI) do produto MOD13Q1 com resolução espacial de 250 metros e 16 dias de periodicidade para o monitoramento da inundação em função da qualidade dos seus pixels parametrizada pelos índices *Pixel Reliability* (PR) e *VI Quality Assessment* (QA) nas principais formações vegetais da planície setentrional.

2. Metodologia

2.1. Área de estudo

A área estuda está representada na Figura 1. Dentro desta área, está localizado o Sítio de Amostragem de Longa Duração (SALD) do Pirizal contendo 40 réguas limnimétricas. Mais ao sul, está localizada a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) do SESC Pantanal contendo um transecto formado por 11 réguas limnimétricas com cerca 12 km de extensão.

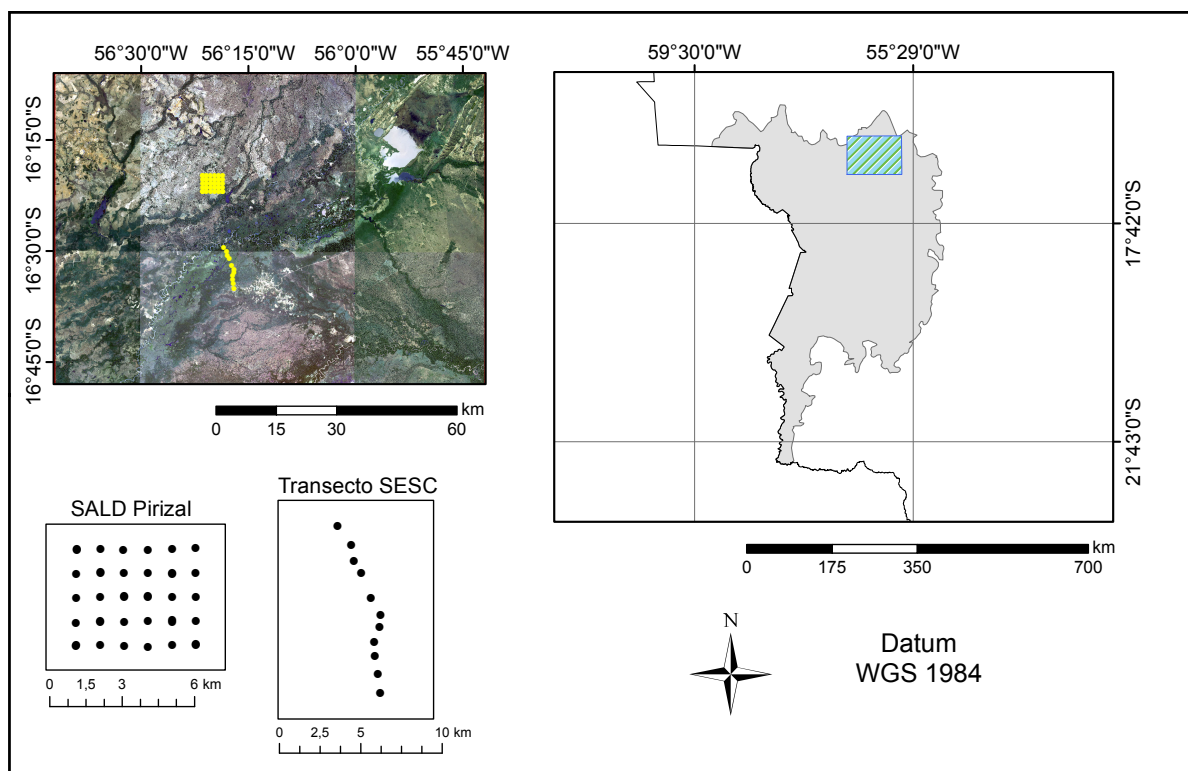


Figura 1: Área de estudo localizada no Pantanal Mato-grossense. Quarenta réguas limnimétricas localizadas no SALD Pirizal; onze réguas formando um transecto dentro do SESC RPPN.

2.2. Material

Foram usadas series temporais do produto MOD13Q1 (índice de vegetação) dos anos de 2005 a 2009. Este produto possui granularidade temporal de 16 dias e resolução espacial de 250 metros. Maiores detalhes das bandas (ou Science Data Set) que compõem este produto podem ser encontrados em Solano et al. (2010).

Para desenvolvimento e validação de modelos classificatórios foram utilizadas as medidas de inundação das réguas do transecto SESC RPPN, realizadas entre os anos de 2005 e 2007 (GIRARD et al., 2010; FANTIN-CRUZ et al., 2011), e das réguas do SALD Pirizal, realizadas entre os anos 2007 e 2009 (FANTIN-CRUZ et al., 2010).

2.3. Método

Um algoritmo em *Python* usando a biblioteca *arcpy* (biblioteca do software ArcGIS) foi desenvolvido para filtrar os pixels de cada imagem de acordo com os níveis de qualidade parametrizados pela banda *Pixel Reliability* (Tabela 1) e pelo parâmetro *VI Usefulness* (Tabela 2) da banda *VI Quality Assessment*. Durante o processo de filtragem, os valores de cada pixel da banda EVI (tipo inteiro de 16 bits) foram divididos por 10000, convertendo-os, assim, para valores do tipo real. As bandas NIR e MIR foram combinadas de acordo com a equação (1), dando origem ao índice LSWI (GAO, 1996; CHANDRASEKAR et al., 2010).

Tabela 1: Confiabilidade dos pixels (Pixel Reliability) do produto MOD13Q1

Chave de Ranque	Sumário da Qualidade	Descrição
-1	Sem dado	Não processado
0	Dado bom	Utilizável com confiança
1	Dado marginal	Utilizável, informação QA deve ser consultada
2	Neve/gelo	Alvo coberto por gelo/neve
3	Nublado	Alvo não visível, coberto por nuvens

Tabela 2: Parâmetro VI Usefulness da banda VI Quality Assessment

Bits	Nome Parâmetro	Valor	Descrição
		0000	Qualidade maior
		0001	Qualidade inferior
		0010	Qualidade decrescente
		0100	Qualidade decrescente
		1000	Qualidade decrescente
2-5	VI Usefulness	1001	Qualidade decrescente
		1010	Qualidade decrescente
		1100	Qualidade mais baixa
		1101	Qualidade muito baixa, não útil
		1110	Dados L1B com falhas
		1111	Não útil por outras razões, não processado

$$LSWI = \frac{NIR - MIR}{NIR + MIR} \quad (1)$$

Assim, os pixels com PR = 0 formaram um conjunto de imagens, enquanto os com PR = 1 deram origem a vários conjuntos de acordo com os níveis cumulativos de *VI Usefulness* (QA = 0000, maior qualidade, até QA = 1100, pior qualidade). Os pixels nublados (PR = 3) foram filtrados.

Os valores dos pixels (EVI e LSWI) localizados nas coordenadas das réguas, para cada data, foram extraídos e organizados em tabelas de acordo com os níveis de qualidades das imagens.

As medidas do nível de inundação – obtidas através das réguas limnimétricas e convertidas em valores binários (1 = inundado; 0 = não inundado) – foram usadas como variável resposta em um modelo de regressão logística (RL), tendo como variáveis explicativas os índices EVI e LSWI. Os dados de 2005 e 2006, para o transecto, e de 2007 e 2008, para o SALD Pirizal, foram usados para calibração do modelo. Para validação, foram usados os dados restantes (2007 para o transecto, e 2009 para o Pirizal).

3. Resultados e Discussão

Os dois modelos aqui expostos para os conjuntos filtrados (PR = 0, QA 0001 até 1100) mostram significância dos dois índices para a previsão da inundação ($p < 0,01$), porém com a importância superior do LSWI frente ao EVI para o monitoramento da inundação, documentada pelos valores da estatística Wald de 355,82 e 374,067 versus 87,865 e 79,259 (Tabela 3).

Tabela 3: Sumário das variáveis independentes das equações obtidas pela regressão logística para dados PR_0 e QA_1100

Modelo	Índice	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
PR_0	LSWI	14,928	,791	355,820	1	,000	3043065,295
	EVI	-10,719	1,144	87,865	1	,000	,000
	Constant	-4,554	,489	86,571	1	,000	,011
QA_1100	LSWI	14,539	,752	374,067	1	,000	2060658,157
	EVI	-9,085	1,020	79,259	1	,000	,000
	Constant	-4,883	,465	110,192	1	,000	,008

Na calibração do modelo foi obtido um coeficiente R^2 de Nagelkerke de 0,595 e uma acurácia geral de 83,6%, utilizando apenas pixels com qualidade PR = 0. Na validação do modelo, usando dados de anos que não entraram na calibração, a acurácia caiu para 74,4%, para o mesmo valor de PR. Quando pixels com valores de QA até 1100 são usados na validação, a acurácia cai para 71,3%. Falsos positivos ocorrem com maior frequência em formações de Cordilheiras e em Florestas Inundadas Monodominantes de *Vochysia divergens* (Cambarazal). Os melhores resultados ocorreram em formações de Savana Arborizada e Gramíneo-Lenhosa. As Figuras 2 e 3 apresentam um mapa da probabilidade de inundação de 18/02/2007 e 13/08/2007, respectivamente.

4. Conclusões

O presente trabalho possibilitou a caracterização da inundação na área estudada, utilizando o produto MOD13Q1 do MODIS avaliando os índices de umidade LSWI e de vegetação EVI. Foi observado, porém, um decaimento expressivo de cerca de 9% na acurácia geral da classificação para o período de validação. A inclusão de pixels de níveis de QA abaixo de 1000 diminuiu em de cerca de 3% a mais a acurácia geral anualizada. Esta perda de desempenho aumenta principalmente em períodos durante a inundação e nos meses de transição que possuem importância primordial para os processos ecológicos da planície. Desta forma, estudos futuros devem avaliar, de acordo com a aplicação projetada dos produtos, os efeitos antagônicos entre uma classificação de alta acurácia e um monitoramento sem lacunas espaciais (pixels não classificados) e estudar o efeito da aplicação de algoritmos de preenchimento de falhas sobre o desempenho das classificações.

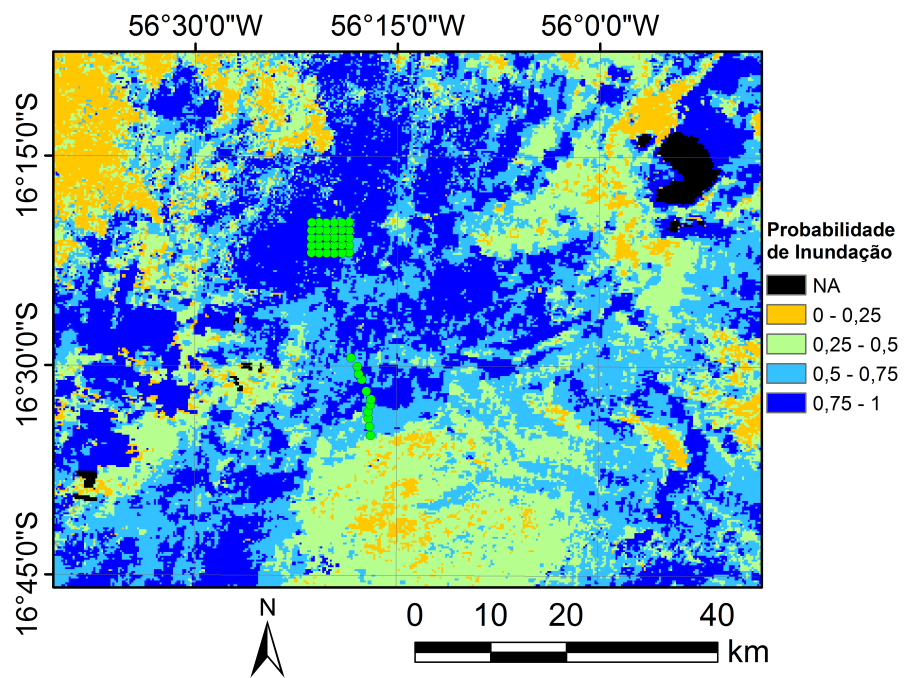


Figura 2: Mapa de inundação de 18/02/2007

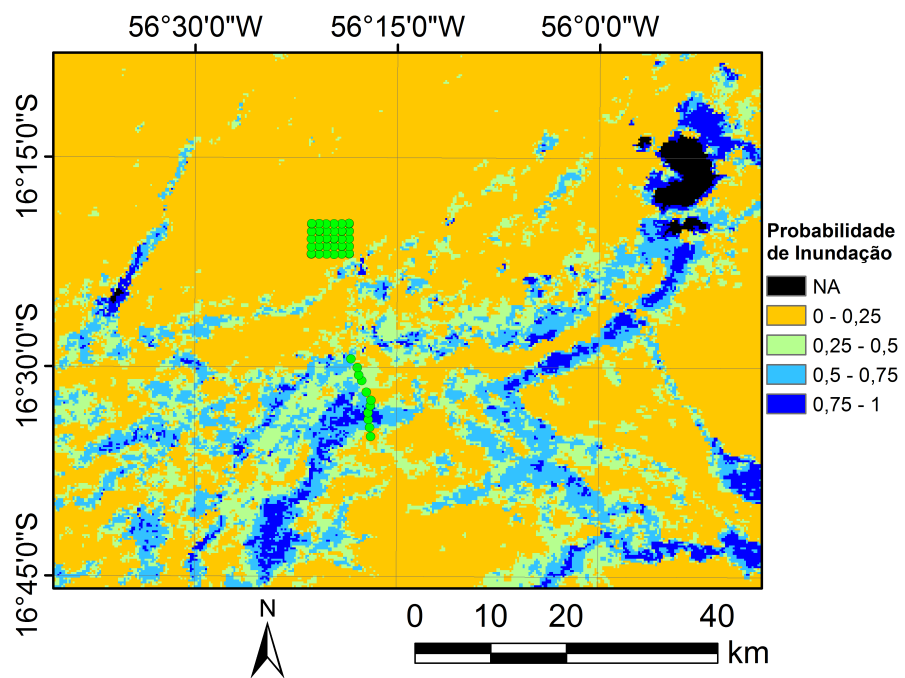


Figura 3: Mapa de inundação de 13/08/2007

Referências Bibliográficas

- CHANDRASEKAR, K.; SAI, M. V. R. S.; ROY, P. S.; DWEVEDI, R. S. Land Surface Water Index (LSWI) response to rainfall and NDVI using the MODIS Vegetation Index product. **International Journal of Remote Sensing**, v. 31, n. 15, p. 3987–4005, 2010.
- FANTIN-CRUZ, I.; GIRARD, P.; ZEILHOFER, P.; COLLISCHONN, W.; CUNHA, C. Nunes da. Unidades fitofisionômicas em mesoescala no Pantanal Norte e suas relações com a geomorfologia. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 2, p. 31–38, 2010.
- FANTIN-CRUZ, I.; PEDROLLO, O.; CASTRO, N. M.; GIRARD, P.; ZEILHOFER, P.; HAMILTON, S. K. Historical reconstruction of floodplain inundation in the Pantanal (Brazil) using neural networks. **Journal of Hydrology**, v. 399, n. 3–4, p. 376–384, 2011.
- GAO, B.-C. NDWI - A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, p. 257–266, 1996.
- GIRARD, P.; FANTIN-CRUZ, I.; OLIVEIRA de S. M. L.; HAMILTON, S. K. Small-scale spatial variation of inundation dynamics in a floodplain of the Pantanal (Brazil). **Hydrobiologia**, n. 638, p. 223–233, 2010.
- SOLANO, R.; DIDAN, K.; JACOBSON, A.; HUETE, A. **MODIS Vegetation Index User's Guide (MOD13 Series): Version 2.00, May 2010 (Collection 5)**. [S.l.], May 2010.