

Mapeamento temporal e validação de áreas queimadas por meio do produto MODIS MCD45A1 para o bioma Pantanal

Nickolas Mendes de Matos ¹
Fabrício Assis Leal ¹

¹Universidade de Brasília – UnB
Campus Darcy Ribeiro, Departamento de Engenharia Florestal
CEP 70910-900 – Brasília – DF, Brasil
{nickolas.matos, fabricioassisleal}@gmail.com

Resumo. O objetivo do presente trabalho foi validar e apresentar um mapeamento das áreas queimadas no bioma Pantanal, entre 2003 a 2013. Neste trabalho foram utilizados dados do produto MODIS MCD45A1, os quais fornecem mensalmente informação sobre áreas queimadas em escala global. A acurácia do produto foi avaliada por meio da classificação supervisionada de uma cena LANDSAT TM, que foi tida como verdade terrestre. Os erros de comissão e omissão para as áreas queimadas foram de 29% e 40%, respectivamente. A exatidão global da classificação foi de 96% e o índice Kappa foi 0,64, sendo considerado como muito bom. No período de estudo, o ano que mais apresentou áreas queimadas foi 2005, com 8.559 km², seguido dos anos 2007 e 2004, com 8.241 km² e 7.603 km², respectivamente. As classes de cobertura e uso da terra mais atingidas por queimadas foram as áreas naturais de savana (Cerrado e Estépica) e formação pioneira.

Palavras-chave: queimadas, MODIS, Pantanal, sensoriamento remoto.

Abstract. The objective of this work was to validate and to present a mapping of burned areas on Pantanal biome from 2003 to 2013. It was utilized in this research, data from product MODIS MCD45A1, that monthly supplies with information about burned areas in global scale. The accuracy of the product was evaluated by means of supervised classification of a Landsat TM scene, which was taken as ground truth. The errors of omission and commission for burned areas were 29% and 40%, respectively. The global accuracy was 96% and the Kappa index was 0.64, being considered as very good. During the study period, the year that showed most burned areas was 2005, with 8,559 km², followed by the years 2007 and 2004, with 8,241 km² and 7,603 km² respectively. The cover classes and land use most affected by fires was natural areas of savannah (Cerrado and Estépica) and pioneering training.

Key-words: burned, MODIS, Pantanal, remote sensing.

1. Introdução

O regime de incêndios, antes esporádicos, vêm tornando-se cada vez mais frequentes. O que causa danos significativos ao solo e a atmosfera, pois a queima da biomassa vegetal é uma das principais fontes responsáveis pelo lançamento de gases do efeito estufa e partículas aerossóis, com influência na química da atmosfera, nas propriedades das nuvens e no saldo da radiação (Kaufman et al., 1998; Boschetti et al., 2013; Grégorie et al., 2003).

A prática de uso do fogo para auxílio em determinadas atividades antrópicas, sobretudo como atividade agrícola e pecuária, é antiga e está bastante consolidada, principalmente em regiões caracterizadas por estações secas pronunciadas. No Pantanal, é comum a prática da queimada de forma controlada e localizada, com o objetivo de reduzir ou conter a expansão de espécies indesejáveis. Porém a ocorrência da queima por vários anos em uma mesma área provoca elevada redução da biomassa aérea, degradação físico-química e biológica do solo (Cardoso & Crispim, 2001; Rodrigues et al., 2002).

Neste sentido, o monitoramento dos eventos de queimadas, a partir de um conjunto de dados confiáveis, é necessário para auxiliar na compreensão da dinâmica do uso e cobertura da terra, de tal forma que forneça informações para subsidiar programas ambientais, bem como contribuir para os estudos de mudanças climáticas (Cardozo et al., 2011).

Dados oriundos de satélites têm sido bastante utilizados nos últimos anos para a detecção de incêndios ativos, focos de calor, e para o mapeamento de áreas queimadas (Roy et al., 2002). Dentre eles, destaca-se o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) que foi desenvolvido para promover o monitoramento da superfície terrestre, dos oceanos e da atmosfera (Justice et al., 1998). Este sensor foi lançado a bordo do satélite TERRA em dezembro de 1999, primeiro satélite desenvolvido pelo programa “*Earth Observing System*” (EOS), da NASA. As coletas de dados iniciaram em fevereiro de 2000 e em maio de 2002, foi lançado o segundo satélite chamado de AQUA contendo também o sensor MODIS. (Justice et al., 2002).

Existem vários produtos, gerados a partir do sensor MODIS, onde o objetivo, basicamente, é quantificar e detectar as mudanças da cobertura terrestre, além dos processos naturais e antropomórficos que, desta forma, auxiliam nos diversos modelos regionais e globais existentes (Strahler et al., 1999).

O produto MODIS MCD45A1 oferece a informação da quantidade de área queimada, baseada em pixels. Produzido a partir dos dados de reflectância da superfície do sensor MODIS, a bordo do satélite TERRA e AQUA. O algoritmo utilizado analisa a dinâmica diária de reflectância da superfície para localizar mudanças rápidas, assim consegue mapear a data aproximada da queima, além da extensão espacial.

Araújo & Júnior (2011), validaram a qualidade da área queimada mapeado pelo produto, no bioma Cerrado, a partir de imagens de satélite LANDSAT TM e concluíram que, devido, a sua alta acuidade, o produto mostrou-se importante para o monitoramento de áreas queimadas

no bioma Cerrado. Cardozo et al. (2011), também avaliaram o mesmo produto, a partir de áreas queimadas mapeadas pelo Modelo de Mistura Espectral (MLME) em imagens de reflectância da superfície (MOD09GA) e imagens LANDSAT TM no Estado de Rondônia e concluíram que o produto não se mostrou eficiente para a detecção, atribuindo tais omissões à interferência da profundidade espacial incompatível. Roy & Boschetti (2009), compararam três produtos de sensoriamento remoto (MODIS, L3JRC e GlobCarbon) para detecção de áreas queimadas no continente africano e concluíram que o produto MODIS apresentou maior acurácia no mapeamento, devido a fatores como precisa calibração, geolocalização, correção atmosférica, mascaramento de nuvens e resolução espacial de 500m.

2. Objetivo

O objetivo do presente trabalho foi mapear áreas queimadas no bioma Pantanal por meio do produto MODIS MCD45A1, entre 2003 e 2013, bem como validar o potencial do produto em detectar áreas queimadas nesse bioma.

3. Material e Métodos

A área de estudo corresponde ao bioma Pantanal (**Figura 1**), que cobre uma área estimada de aproximadamente 150.355 km² (IBGE, 2004) e está localizado entre os paralelos 15° e 22° de longitude sul e entre os meridianos 55° e 59° de longitude oeste. O Pantanal é a ligação entre o Cerrado (Brasil Central), o Chaco (Bolívia) e a região Amazônica (Região Norte). Por ser uma área de transição e uma das maiores planícies sedimentar do mundo, a região é formada por uma variedade de ecossistemas que são periodicamente inundados, apresentando, assim, fauna bastante diversificada (IBGE, 2014).

O presente trabalho foi desenvolvido em três etapas distintas: a primeira etapa consistiu na aquisição e processamento dos dados do produto MCD45A1 para o mês de setembro de 2003 a 2013, segundo a metodologia apresentada por Araújo e Júnior (2011) e Boschetti et al. (2013); a segunda etapa consistiu na validação dos dados de áreas queimadas discriminadas pelo produto MCD45A1, a partir de imagens LANDSAT TM; e, finalmente, a terceira etapa consistiu na análise espacial da distribuição das queimadas.

O produto MCD45A1 foi adquirido pelo site do Serviço Geológico Americano (USGS), o qual é mensalmente disponibilizado a um nível 1A de processamento e resolução espacial de 500m. Para abranger o território do bioma Pantanal, foram necessárias 2 *tiles*: h12v10 e h12v11.

O produto disponibiliza oito subprodutos, mas para essa análise foram utilizados apenas dois: *ba_qa*, índice de confiabilidade do pixel rotulado como queimada; *burndate*, detecção de área rotulada como queimada. Esse produto está disponível no formato *Hierarchical Data Format* (HDF), por isso, para serem utilizados os arquivos foram exportados para o formato *Geo-referenced Tagged Image File Format* (GeoTIFF). Para a conversão dos dados foi utilizada a ferramenta *Modis Reprojection Tools* (MRT), que é oferecida pela *Land Processes Distributed Active Archive Center* (LPDAAC). Além de convertidos para GeoTIFF, os produtos foram convertidos para o sistema de coordenadas geográficas, datum WGS84.

A partir do software ArcGIS (versão 10) foram filtrados os dados, isto é, a partir dos pixels rotulados como queimada no *burndate* (valores de 1 a 366, dias julianos) obteve-se somente os pixels com alto índice de confiabilidade, valor 1, conforme a banda *ba_qa*. Para isso, utilizou-se o cruzamento das duas bandas através da ferramenta *Raster Calculator* (Boschetti et al., 2013).

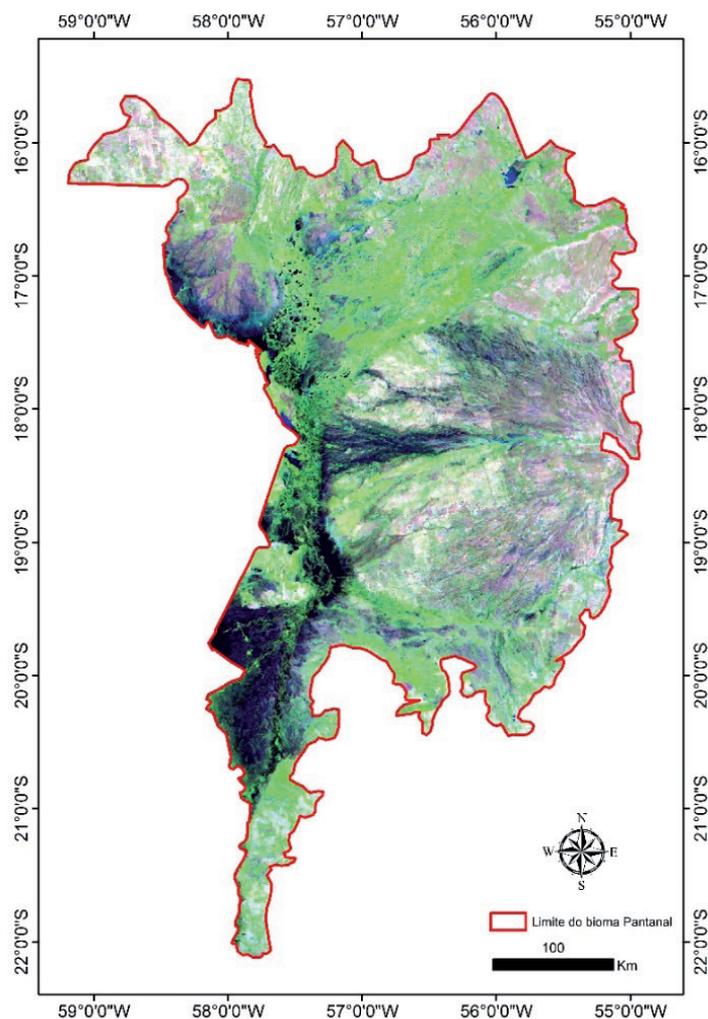


Figura 1. Limite do bioma Pantanal. Imagem MOD09A1, composição RGB 6/2/1.

Para validar o produto MCD45A1 utilizou-se a cena 226/72 do satélite LANDSAT TM, obtida em 18/09/2007, ano base escolhido para validação do produto, uma vez que neste ano observou-se grande quantidade de queimadas no bioma e melhor qualidade da cena disponível para a região (sem nuvens, por exemplo). A classificação utilizada foi a supervisionada pelo método paralelepípedo.

Assim, os resultados obtidos a partir da classificação foram utilizados como verdade terrestre, por possuir melhor resolução espacial, isto é, foram usados como referência para a validação do produto MCD45A1, em 2007.

Ressalta-se que para evitar a superestimativa dos resultados foi preciso filtrar as áreas queimadas do produto, obtendo, assim, somente as áreas queimadas anteriores a data da imagem LANDSAT TM, pois o produto disponibiliza dados de áreas queimadas para todo o mês.

Para avaliar a precisão dos resultados foi utilizado o método da matriz de confusão (Foody, 2002), precisão global e o índice Kappa, a partir da aleatorização de 300 pontos na cena Landsat, de forma que a distribuição desses pontos contemplasse toda cena. Posteriormente esses pontos foram avaliados se coincidiam ou não com a classificação realizada e o produto MCD45A1.

Além de quantificar anualmente as áreas totais queimadas no Bioma, detectadas pelo algoritmo do produto MCD45A1, classificou-se essa informação de acordo com a área de ocorrência, através dos dados de cobertura vegetal do projeto PROBIO – Pantanal.

4. Resultados e Discussão

Na **Figura 2** é possível observar as cicatrizes de áreas queimadas na cena (226/72) utilizada para a validação (a); o mapeamento realizado a partir da classificação supervisionada, considerada como verdade terrestre, por apresentar melhor resolução espacial (b); e as áreas queimadas obtidas do produto MCD45A1 (c).

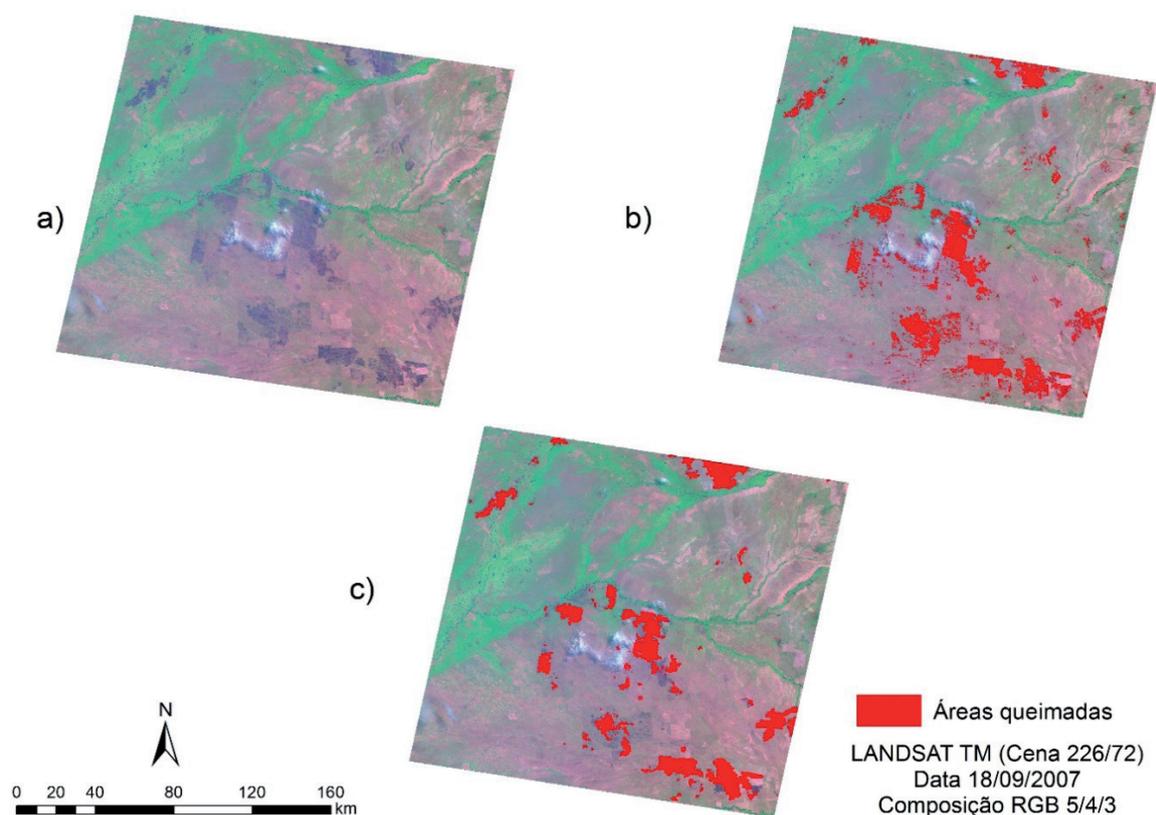


Figura 2. Cena LANDSAT TM utilizada para a validação do produto. Em (a) observa-se as áreas queimadas escuras na cena; em (b) os polígonos em vermelho correspondem às áreas queimadas mapeadas pela classificação supervisionada da imagem; e em (c) observa-se polígonos em vermelho obtidos do produto MCD45A1.

Ainda em relação a **Figura 2**, é possível observar que existem quantidades maiores de áreas queimadas obtidas pela classificação, se comparado com o produto MCD45A1. Esse fato, que é esperado, se deve a limitação da resolução espacial do sensor MODIS.

Na **Figura 3** é possível observar que as áreas queimadas discriminadas pelo produto são de grandes extensões e melhor delimitadas em vegetação natural. Porém, nas áreas com cobertura antrópica, agricultura e pastagem, as queimadas apresentam extensões limitadas, resultando em maior fragmentação das áreas detectadas.

Araújo e Júnior (2011), alegam que o melhor delineamento das queimadas discriminadas pelo produto MCD45A1 em áreas com vegetação natural, se deve à extensão contínua das áreas naturais, além da grande quantidade de material vegetal combustível, principalmente em época de seca. Porém, as queimadas localizadas em áreas antrópicas são menores e mais fragmentadas.

Após a classificação da imagem LANDSAT TM e aleatorização dos pontos de averiguação foi possível obter a matriz de confusão, sendo esta apresentada na **Tabela 1**.

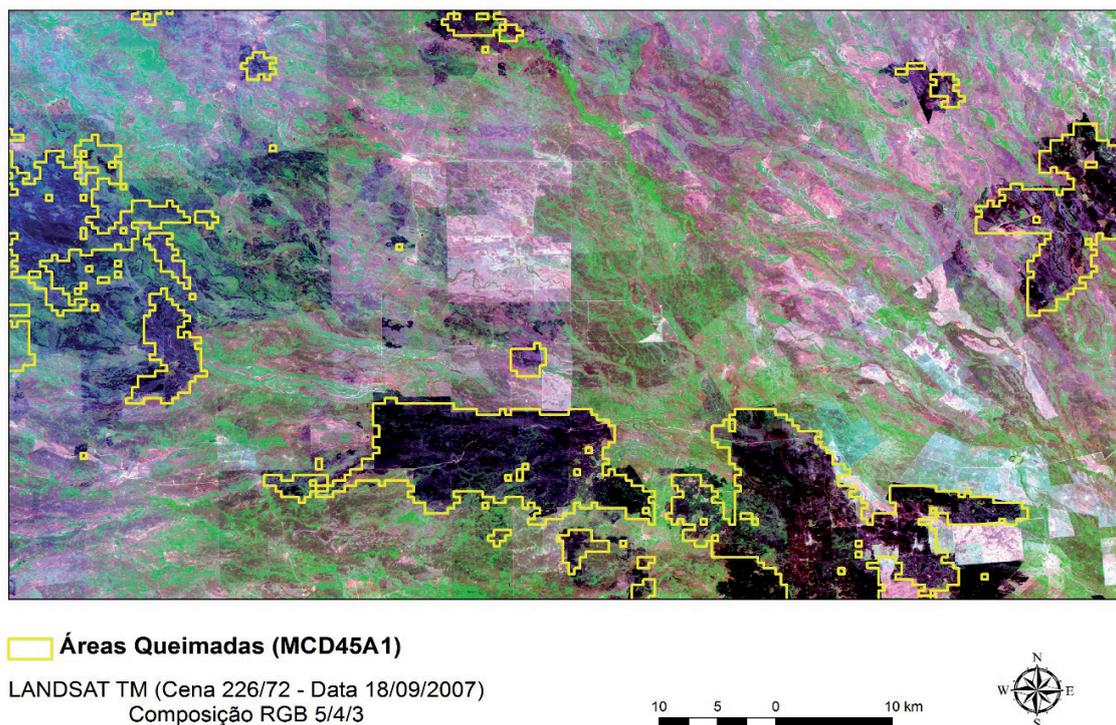


Figura 3. Visão geral das áreas queimadas obtidas pelo produto MCD45A1 em relação à cena LANDSAT TM.

Tabela 1. Matriz de confusão, erros de omissão e comissão em relação as áreas queimadas e não queimadas do produto MCD45A1 e LANDSAT

		Produto MCD45A1		Total	AP (%)
		0	1		
Verdade	0	275	5	280	98
	1	8	12	20	60
Total		283	17	300	
AU (%)		97	71		EG = 96%

Em que: AU = Acurácia do usuário; AP = Acurácia do produtor; EG = Exatidão global; 0 = Não queimado; 1 = Queimado.

Diante dos dados apresentados na **Tabela 1** foi possível verificar que a exatidão global da classificação foi de 96%. Segundo Figueiredo e Vieira (2007), a matriz de confusão fornece a base para descrever a precisão da classificação e caracterizar os erros, ajudando a refinar a classificação.

Entretanto, embora a exatidão global tenha dado resultado satisfatório na classificação é necessário verificar se, em cada classe mapeada (queimada e não queimada), houve erros de comissão e omissão. Dessa forma, segundo Foody (2002), é necessário utilizar o índice Kappa, que leva em consideração toda a matriz de confusão no seu cálculo. O valor encontrado para o índice Kappa foi de 0,64, considerado com sendo muito bom, segundo a qualidade da classificação proposta por Landis e Koch (1977). Ou seja, essa medida, que varia de 0 (concordância nula) a 1 (concordância perfeita), indica o quanto da classificação está de acordo com os dados

de referência.

Ainda em observação a **Tabela 1** nota-se que a acurácia do usuário foi de 97% para a classe não queimada. Essa percentagem significa que dos 283 pontos classificados no produto MCD45A1 como área não queimada, 97% deles (275), realmente não eram áreas queimadas na imagem LANDSAT TM.

Para as áreas queimadas a acurácia do usuário foi de 71%, ou seja, dos 17 pontos locados aleatoriamente como áreas queimadas, apenas cinco (5) não foram corretamente classificados. Em resumo, os erros de comissão foram de, respectivamente para áreas não queimadas e queimadas, 3% e 29%.

Para as áreas não queimadas, a acurácia do produtor foi de 98%, ou seja, dos 280 pontos alocados aleatoriamente, 275 pontos foram classificados corretamente. A acurácia do produtor para as áreas queimadas foi de 60%, isto é, dos 20 pontos localizados em áreas queimadas, apenas oito (8) não foram corretamente classificados. Assim, os erros de omissão para as áreas não queimadas e queimadas foram de 2% e 40%, respectivamente.

No caso da determinação da extensão das áreas queimadas, os erros dificilmente serão menores que 20% e podem ser atribuídos à falta de dados no momento de ocorrência de uma queimada, incompatibilidade da resolução espacial, pois a maioria das queimadas que ocorrem no Brasil são menores que a resolução espacial do sensor (500m), assinatura espectral das áreas queimadas não se destacarem tanto, queima parcial da vegetação e limitação técnicas apresentadas pelo sensor MODIS (Setzer et al., 2007).

De acordo com o mapeamento realizado com o produto MCD45A1, no período de estudo, o ano que mais apresentou áreas queimadas foi 2005, com 8.559 km², seguido dos anos 2007 e 2004, com 8.241 km² e 7.603 km², ou seja, 5,66%, 5,45% e 5,03% da área total do bioma Pantanal, respectivamente (**Figura 4**).

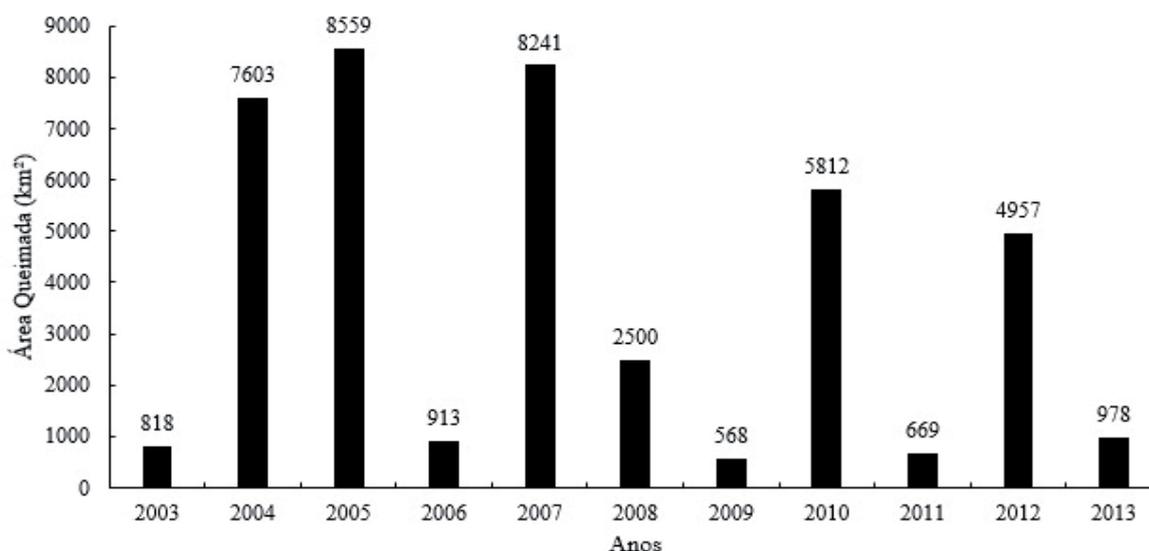


Figura 4. Área total queimada no bioma Pantanal nos anos de 2003 a 2013.

As classes de cobertura e uso da terra mais atingidas por queimadas foram as áreas naturais de savana (Cerrado e Estépica) e formação pioneira. Na **Tabela 2** é possível observar a quantidade de área queimada em cada formação do bioma Pantanal, o total de área queimada no ano e a percentagem de área queimada em relação à área total do bioma.

Tabela 2. Áreas queimadas por cobertura e uso da terra segundo dados do PROBIO.

Formação	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
	Área queimadas (km ²)										
Área antrópica (Agricultura e Pastagem)	55	136	228	30	365	35	8	299	47	47	28
Floresta Estacional Decidual	9	15	40	6	20	21	3	9	-	30	2
Floresta Estacional Semi-decidual	12	74	208	6	192	24	14	211	36	168	7
Formação pioneira	108	358	2008	31	1462	266	67	527	183	713	154
Refúgios Vegetacionais	-		9	-	18	3	-	3	-	6	0
Savana (Cerrado)	506	5913	4392	570	4895	-	45	4158	383	1872	377
Savana (Estépica)	128	1100	1649	269	1289	351	430	604	21	2121	410
Vegetação secundária	-	6	25	-	0	2	0	2	0	-	-
TOTAL	818	7.603	8.559	913	8.241	702	568	5.812	669	4.957	978
%	0,54	5,03	5,66	0,60	5,45	1,65	0,38	3,84	0,44	3,28	0,65

5. Conclusões

O produto MCD45A1 se mostrou eficiente no mapeamento temporal de áreas queimadas no bioma Pantanal, visto os resultados verificados no presente trabalho. Embora haja limitação em relação a resolução espacial do sensor, o que resulta em erros de omissão, as principais vantagens do produto são: discrimina corretamente as áreas queimadas, apresenta resolução temporal mensal e possui cenas que cobrem grandes extensões de área (1.200 x 1.200 km).

Por meio da validação foi possível verificar que as áreas queimadas do produto com maior índice de confiabilidade (*ba_qa* valor 1) apresentaram bastante coerência, em relação as áreas queimadas em 2007, com a imagem LANDSAT TM utilizada como referência.

6. Referências

- Araújo, F. M. DE. & Júnior, L. G. F. Validação do produto MODIS MCD45A1 área queimada utilizando imagens LANDSAT TM para o bioma Cerrado. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos campos: INPE, 2011. p. 6410-6417. Disponível na biblioteca digital URLib: < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1569.pdf> >. Acesso em: 14 ago. 2014.
- Boschetti, L.; Roy, D.; Hoffmann, A. A; Humber, M. **MODIS Collection 5.1 Burned Area Product - MCD45**. User's Guide. Version 3.0.1. 2013.
- Cardozo, E. L.; Crispim, S. M. A. **Queimada controlada no Pantanal**. Artigo de Divulgação na Mídia, Embrapa Pantanal, Corumbá-MS, n. 1, p.1-2. ago. 2001.
- Cardozo, F. S.; Lima, A.; Pereira, G.; Silva, F. B.; Shimabukuro, Y. E.; Takeda, M. M. G.; Moraes, E. C. Avaliação das imagens do produto MCD45A1 do sensor MODIS para a identificação de áreas queimadas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos campos: INPE, 2011. p. 7942-7949. Disponível na biblioteca digital URLib: < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0646.pdf> >. Acesso em: 15 ago. 2014.
- Figueiredo, G. C.; Vieira, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos campos: INPE, 2007. p. 5755-5762. Disponível na biblioteca digital URLib: < <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.13.17.35/doc/5755-5762.pdf> >. Acesso em: 23 set. 2014.
- Foody, G. Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sens. Environ.**, vol. 80, no. 1, pp. 185-201, 2002.

Grégoire, J. M.; Tansey, K.; Silva, J. M. N. The GBA2000 initiative: developing a global burnt area database from SPOT-VEGETATION imagery. **Int. J. Remote Sensing**, Vol. 24, No. 6, p. 1369 – 1376, 2003.

IBGE: <http://7a12.ibge.gov.br/vamos-conhecer-o-brasil/nosso-territorio/biomas> acesso realizado em 20 de Agosto de 2014.

IBGE: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm> acesso realizado em 19 de Agosto de 2014.

Justice, C O.; Vermote, E., Townshend, J. R. G.; Defries, R.; Roy, P. D; Hall, D.K, Salomonson, V .; Privette, J.L.; Riggs, G .; Strahler, A.; Lucht, W .; Myneni, R. B; Knyazikhin, Y .; Running, S. W.; Nemani, R. R.; W AN, Z.; Huete, A. R.; Leeuwen, W. V.; Wolfe, R. E.; Giglio, L.; Muller, J. P; Lewis, P.; Barnsley, M. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 36(4):1228-1247. 1998.

Justice, C. O., Townshend, J. R. G., Vermote, E. F., Masuoka, E., Wolfe, R. E., Saleous, N., Roy, D. P., Morisette, J. T. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote Sens. Environ.** 83: 3 –15. 2002.

Kaufman, Y. J.; Kleidman, R.; King, M. D.; Ward, D. E. SCAR-B fires in the tropics: Properties and remote sensing from EOS-MODIS. **Journal of Geophysical Research**. Vol. 103, No D24. 1998.

Landis, J.R.; Koch, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, 33(1):159-174, 1977.

Rodrigues, C. A. G.; Crispim, S. M. A.; Filho, J. A. C. **Queimada controlada no Pantanal**. (Documento 35). Corumbá: Embrapa Pantanal, 2002.

Roy, D. P., Lewis, P., Justice, C. Burned area mapping using multi-temporal moderate spatial resolution data – a bi-directional reflectance model-based expectation approach. **Remote Sensing of Environment**, 83, p. 263 – 286, 2002.

Roy, D.P.; Boschetti, L. Southern Africa Validation of the MODIS, L3JRC and GlobCarbon Burned Area Products. **IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing**. vol. 47(4), pp. 1032 – 1044. 2009.

Setzer, A.; Morelli, F.; Rivera-Lombardi, R. Estimativa quinzenal de áreas queimadas. In: Rudorff, B.F.T.; Shimabukuro, Y.E.; Ceballos, J.C. (Coord.). **Sensor MODIS e suas Aplicações Ambientais no Brasil**. 1.ed. São José dos Campos: Editora Parêntese, 425 p. 2007.

Strahler, A.; Muchoney, D.; Borak, J.; Friedl, M.; Gop AL, S.; Lambin, E.; Moody, A. MODIS Land Cover and Land-Cover Change products algorithm theoretical basis document (A TBD). Version 5.0, **Center for Remote Sensing**, Department of Geography, Boston University, May, 72p. 1999.