

Modelo probabilístico espacial de áreas queimadas no bioma Pantanal

Nickolas Mendes de Matos ¹
Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi 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
ematricardi@unb.br

Resumo. O objetivo do presente estudo foi analisar a dinâmica espacial e temporal das áreas queimadas ocorridas no bioma Pantanal no período de 2003 a 2013. Para isso foram utilizados dados do satélite MODIS, produto MCD45A1, os quais contém informações mensais sobre áreas queimadas em escala global. Para a análise dos principais fatores ambientais e socioeconômicos que influenciam a ocorrência dos incêndios florestais, utilizou-se o modelo probabilístico Probit. Segundo o modelo Probit, as variáveis que afetaram significativamente a ocorrência dos incêndios na área de estudo, à 95% de probabilidade, foram: precipitação, proximidade de áreas antrópicas, proximidade de rodovias, altitude, latitude, longitude e latitude versus longitude. A ocorrência de incêndios florestais foi significativamente superior dentro de Unidades de Conservação, em áreas de cerrado sensu stricto, savana-estépica e áreas de transição. Os incêndios também ocorreram de forma significativa em 2004, 2005, 2007, 2008, 2010, 2011 e 2012, comparados com os incêndios ocorridos em 2003. Com base nos resultados deste estudo, é possível definir prioridades de ações de prevenção e combate aos incêndios florestais, com o objetivo de mitigar os impactos causados pela ocorrência do fogo no bioma Pantanal.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, Incêndios florestais, Modis MCD45A1, Probit model, Pantanal.

Abstract. The general objective of the present study was to analyze the spatial and temporal dynamics of the burned areas occurred in the Pantanal biome from 2003 to 2013. For this purpose, data were used from the MODIS satellite product, MCD45A1, which contains monthly information on areas burned on a global scale. For the analysis of the main environmental and socioeconomic factors that influence the occurrence of forest fires, we used the probabilistic model Probit. According to the Probit model, precipitation, proximity of anthropic areas, proximity to highways, altitude, latitude, longitude and latitude versus longitude were the variables that significantly affected the occurrence of fires in the study area. The occurrence of forest fires was significantly higher inside Conservation Units, in areas of cerrado sensu stricto, savana-steep and areas of transition. Fires also occurred significantly in 2004, 2005, 2007, 2008, 2010, 2011 and 2012 compared to fires in 2003. Based on the results of this study, it's possible to define priorities for actions to prevent and combat forest fires, with the objective of mitigating the impacts caused by the occurrence of fire in the Pantanal biome.

Keywords: remote sensing, forest fires, Modis MCD45A1, Probit model, Pantanal.

1. Introdução

No Brasil, a ocorrência de incêndios florestais é uma realidade, o que tem causado sérios danos ambientais e econômicos. Neste sentido, é necessário que se estabeleçam políticas de prevenção e combate aos incêndios florestais. No entanto, para se chegar a esse estágio é preciso saber onde, quando e porque ocorrem os incêndios, pois a falta de informações sobre incêndios pode levar a gastos muito altos em proteção ou gastos muito pequenos (Soares e Batista, 2007).

O calor liberado pelo fogo causa danos significativos ao solo, incluindo a diminuição dos nutrientes e da matéria orgânica, em decorrência do aumento da temperatura do solo (Coutinho, 1980), o aumento da erosão e mudança das características físicas e químicas (Soares e Batista, 2007). A queima da biomassa vegetal é uma das principais fontes responsáveis pelo lançamento de gases e partículas aerossóis, com influência significativa na química da atmosfera, nas propriedades das nuvens e no saldo da radiação (Kaufman et al., 1998; Grégorie et al., 2003). Além do mais, o excesso de queimadas pode causar impactos na estrutura e composição da vegetação, bem como impactos direto e indiretos na fauna local.

Além disso, o fogo sempre foi bastante utilizado na agricultura para limpeza de áreas, remoção de espécies indesejadas e renovação de pastagens. Entretanto, o fogo, quando não manejado adequadamente, pode causar grandes incêndios em áreas de vegetação nativa. Desta forma, aliado ao padrão de ocupação territorial desordenado, na busca de novas fronteiras agrícolas, o uso indiscriminado do fogo têm contribuído para a ocorrência de grandes incêndios, provocando danos irreparáveis ao meio ambiente, à propriedade e à vida humana (Nunes, 2005).

Existem diversos métodos de detecção de incêndio, como por exemplo, sistemas de vigilância móvel, sistemas de vigilância fixa, entre outros. Nas últimas décadas, o sensoriamento remoto vem ganhando espaço como técnica que auxilia na detecção mais eficiente de incêndios e de focos de calor, permitindo, desta forma, ações mais rápidas e auxiliando na tomada de decisão (Oliveira, 2006).

As causas, ou fontes de ignição dos incêndios florestais são muito variáveis e podem ser divididas em dois grupos: naturais (incêndios gerados direta ou indiretamente por raios – única causa natural considerada) ou antrópicas (queimadas para limpeza de terreno, fumantes, incendiários, etc.). De acordo com Nunes (2005), o risco da ocorrência de incêndios está relacionado a agentes causadores, enquanto o perigo está relacionado as causas que aumentam ou diminuem a probabilidade de ocorrência. Segundo o autor, é importante explorar os fatores que determinam o risco e o perigo de incêndios florestais.

Além de se conhecer os riscos e perigos associados aos incêndios florestais, é importante conhecer a vulnerabilidade da região em função do histórico de incêndios, das características

socioeconômicas e dos principais fatores que possam gerar e afetar o comportamento do fogo (clima, condições do combustível, relevo, ignição, etc.). Diversos trabalhos têm aplicado modelos estatísticos para simular e entender a influência de fatores ambientais e socioeconômicos na ocorrência de incêndios florestais (Arima et al., 2007; Chomitz e Gray, 1996; Matricardi, 2013; Matricardi, 2007; Tatagiba, 2010). Esses modelos também permitem realizar simulações espaciais para prever o potencial de impacto de mudanças de políticas públicas e uso da terra sobre a ocorrência de incêndios e desmatamento.

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho foi avaliar a significância dos fatores que exercem influência na ocorrência e propagação do fogo no bioma Pantanal (Matos e Leal, 2014) utilizando dados do satélite MODIS (produto MCD45A1) e o modelo probabilístico Probit numa análise espacialmente explícita.

3. Material e métodos

A área de estudo corresponde ao bioma Pantanal que cobre 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. Considerada a maior planície inundável do mundo e contém uma importante riqueza de diversidade biológica terrestre e aquática. Os ecossistemas que o bioma abriga são extremamente frágeis e estão sob a ameaça das novas tendências de desenvolvimento econômico e de construção de infraestrutura (SFB, 2014).

O modelo linear probabilístico, chamado *Probit*, descreve o comportamento da variável dependente dicotômica em termos de uma regressão linear sobre variáveis explicativas não-aleatórias contidas em um vetor (Baumann e Carneiro, 2002), através de uma função de distribuição acumulada normal (Gujarati e Porter, 2011). Em muitos casos, a informação relevante pode ser capturada pela definição de uma variável binária (chamadas de variáveis *dummy*), isto é, uma variável que possa ser representada por zero ou um (Wooldridge, 2010).

Para a construção do modelo probabilístico, assumiu-se que três principais fatores podem aumentar a probabilidade de ocorrência de incêndios florestais, a saber: condições ambientais (topográficas e climáticas), fontes de ignição e tipo de cobertura vegetal.

As variáveis quantitativas incluídas no modelo para representar as condições topográficas da área de estudo foram a declividade do terreno, a altitude e o azimute de orientação das encostas. Uma vez que, a topografia exerce grande influência sobre o clima, a vegetação e, conseqüentemente, sobre o material combustível.

O mapeamento de áreas queimadas no bioma Pantanal utilizado no presente trabalho foi adquirido por meio do produto MODIS MCD45A1, entre 2003 e 2013, o qual foi devidamente validado (Matos e Leal, 2014). A Figura 1 ilustra as cenas (h12v10 e h12v11) do satélite MODIS utilizadas para o mapeamento das áreas queimadas.



Figura 1: Cenas MODIS utilizadas no estudo dos incêndios no bioma Pantanal entre 2003 e 2013.

Assumindo que a maior parte das ocorrências do fogo no bioma Pantanal ocorrem no período de seco do ano (maio a setembro), utilizou-se a precipitação média (mm) do referido período como variável quantitativa para representar as condições climáticas na modelagem. Nesta análise foi considerado a distribuição estacional das chuvas e não apenas a quantidade de chuva que cai em um determinado local (Batista, 2000).

Foram incluídas no modelo as variáveis quantitativas: distância euclidiana de atividades agropecuárias (Km), segundo o mapeamento do PROBIO, e distância euclidiana de rodovias (Km) derivadas de dados do DNIT (2015).

Para averiguar se a ocorrência das áreas queimadas no Pantanal sofre alguma influência espacial em relação aos sentidos latitudes, longitudes e diagonal (latitude x longitude), foram criadas também variáveis quantitativas referentes as coordenadas UTM em metros.

Diversos aspectos relacionados ao comportamento do fogo variam em função do tipo de cobertura vegetal (Batista, 2000). Neste sentido, para representar os diferentes graus de vulnerabilidade da vegetação (Arima et al., 2007), incluiu-se no modelo as variáveis *dummy* correspondentes ao tipo de vegetação: (1) Cerrado, (2) Chaco, (3) Floresta, (4) Formação pioneira e (5) Área de tensão ecológica ou Contatos florísticos.

Foi criada uma variável *dummy* para representar a situação das unidades de conservação, pois espera-se que ocorram menos incêndios dentro de suas fronteiras territoriais (Matricardi, 2007). Criou-se também uma variável *dummy* para representar as possíveis variações das políticas de prevenção e combate aos incêndios a nível estadual. Segundo Arima et al. (2007), as diferenças nas políticas de Estados, destinadas a fiscalização ambiental, prevenção e combate

ao fogo, podem afetar a probabilidade de ocorrência em uma dada região. Assim, considerou-se no modelo os estados do Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, que englobam o bioma Pantanal.

Para coletar os dados de cada ponto amostral, foi realizada uma amostragem sistemática-aleatória, a qual contribui para reduzir os efeitos da coincidência entre os padrões espaciais da paisagem e dos pontos amostrais (Burrough, 1998). O procedimento de sistematização foi utilizado para reduzir os efeitos de autocorrelação espacial na base de dados (Anselin, 2002; Arima et al., 2007).

Primeiramente, criou-se uma grade regular de 5 x 5 Km sobre a área de estudo. Em seguida, foram gerados pontos aleatórios dentro de cada grade (n = 6.431), porém, como a análise foi repetida também para cada ano, no total foram 70.752 pontos amostrais. Assim, o valor de cada pixel foi utilizado como unidade de observação e os valores da base de dados (variáveis independentes) foram coletados para cada ponto amostral alocado.

Para o desenvolvimento do modelo proposto deste trabalho, foi utilizado o software estatístico *Stata* 13. Para a construção do modelo, considerou-se o valor um (1), variável dependente, para representar a coincidência entre área queimada e o ponto amostral; e zero (0) caso contrário.

4. Resultados e Discussão

Os resultados das estatísticas dos fatores considerados na análise que afetam a ocorrência de incêndios florestais na área de estudo, estimados pelo modelo *Probit*, estão contidos na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados da regressão Probit.

Variáveis	Coefficiente	Erro Padrão	z	P> z	Intervalo de Confiança [95%]	
Precipitação	-0,0077512	0,0015192	-5,1	0,000	-0,0107287	-0,0047736
Prox. rodovias (Km)	0,00000632	7,57E-07	8,35	0,000	0,00000483	0,0000078
Prox. atividade antrópica (Km)	-0,00000876	0,00000277	-3,16	0,002	-0,0000142	-3,23E-06
Declividade	-0,0005498	0,006773	-0,08	0,935	-0,0138245	0,012725
Orientação das encostas	-0,0002145	0,00014	-1,53	0,125	-0,0004889	0,0000599
Altitude	0,0015109	0,0002742	5,51	0,000	0,0009735	0,0020482
Unidade de Conservação	0,1985407	0,0684148	2,90	0,004	0,0644501	0,3326312
Latitude	-0,00000583	0,000000478	-12,2	0,000	-0,00000677	-0,00000490
Longitude	-0,0000811	0,00000742	-10,92	0,000	-0,0000956	-0,0000665
Lat x Long	1,01E-11	9,20E-13	10,97	0,000	8,29E-12	1,19E-11
Estados (omitido Mato Grosso do Sul):						
Mato Grosso	0,0057945	0,0424992	0,14	0,892	-0,0775024	0,0890913
Vegetação:						
Savana (Cerrado)	0,4435095	0,0448713	9,88	0,000	0,3555634	0,5314557
Savana (Estépica)	0,6693067	0,0575447	11,63	0,000	0,5565212	0,782092
Floresta	0,0745718	0,0709011	1,05	0,293	-0,0643918	0,2135355

Variáveis	Coefficiente	Erro Padrão	z	P> z	Intervalo de Confiança [95%]	
Formação pioneira	-0,043374	0,0791522	-0,55	0,584	-0,1985095	0,1117614
Área de tensão ecológica	0,2011553	0,0519837	3,87	0,000	0,0992691	0,3030416
Ano (omitido 2013):						
2003	0,0301547	0,0873181	0,35	0,730	-0,1409856	0,2012951
2004	0,9446499	0,0702946	13,44	0,000	0,806875	1,082425
2005	0,9452041	0,0707335	13,36	0,000	0,8065691	1,08384
2006	0,0865497	0,0855148	1,01	0,311	-0,0810563	0,2541556
2007	0,9128038	0,0730859	12,49	0,000	0,7695581	1,05605
2008	0,4006711	0,0769062	5,21	0,000	0,2499377	0,5514046
2009	-0,0964258	0,1005632	-0,96	0,338	-0,2935261	0,1006745
2010	0,8196793	0,0710102	11,54	0,000	0,6805018	0,9588568
2011	-0,2205642	0,099311	-2,22	0,026	-0,4152103	-0,0259182
2012	0,8137297	0,0736516	11,05	0,000	0,6693752	0,9580842
Constante	43,81814	3,852683	11,37	0,000	36,26702	51,369260
n = 70.752; Pseudo R ² = 0,1206; Log likelihood = -6.933,4454						

Os gráficos a seguir ilustram as probabilidades de ocorrência de incêndios em relação as variáveis que apresentaram significância estatística, ou seja, p-valor menor que o nível de significância 0,05.

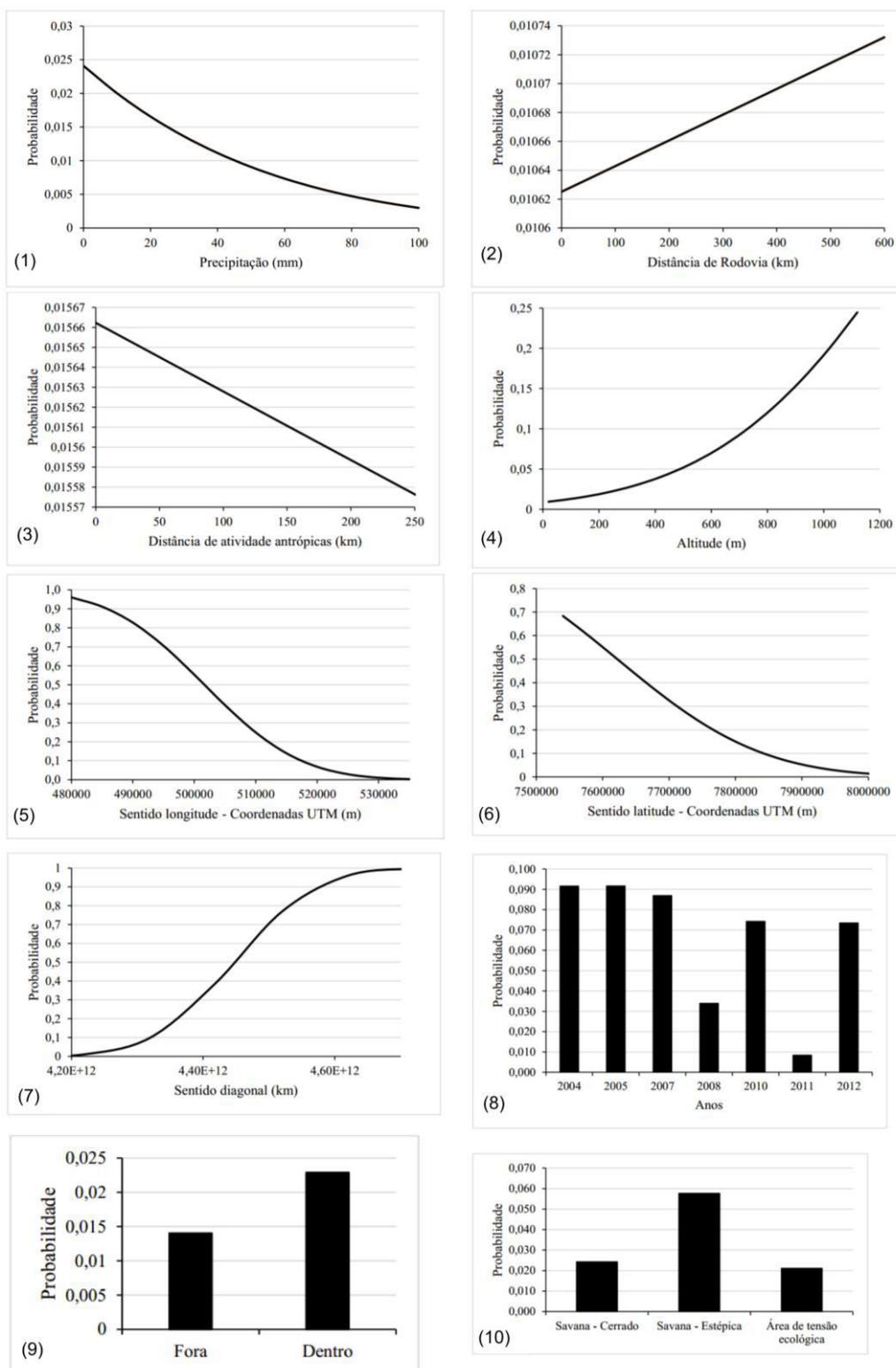


Figura 2: Probabilidade da ocorrência de incêndios em relação: (1) precipitação (mm); (2) distância de rodovia (km); (3) distância de atividade antrópica (km); (4) altitude (m); (5) sentido longitudinal – coordenadas UTM (m); (6) sentido latitude – coordenadas UTM (m); (7) sentido diagonal (km); (8) anos; (9) dentro de fora de unidades de conservação; (10) vegetação.

O efeito da precipitação na ocorrência do fogo apresentou significância estatística, neste caso rejeita-se a hipótese nula e conclui-se que o coeficiente da regressão para a variável foi

estatisticamente diferente de zero. A variável está negativamente relacionada, isto é, quanto menor os valores da precipitação maior será a probabilidade da ocorrência do fogo. Por exemplo, a probabilidade de ocorrência aumenta em 2,1% quando se diminui a precipitação em 100 mm. A precipitação influencia a umidade e a quantidade do material combustível em uma área (Cheney e Sullivan, 2008), desta forma, a precipitação é importante porque dificulta ou mesmo tornando impossível o início e a propagação do fogo (Batista, 2000).

A distância de rodovias, considerado como um importante fator de origem de incêndios, apresentou-se positivamente relacionada. O fato da probabilidade de ocorrência de áreas queimadas aumentar com o incremento da distância das estradas não era esperado, pois, as estradas permitem o acesso de pessoas e veículos, causando maiores riscos de incêndios por vários fatores: incêndios criminosos, cultos religiosos, incêndios iniciados por cigarros, pequenas fogueiras, entre outros (Ferraz e Vettorazzi, 1998). Entretanto, não é possível afirmar que as estradas não sejam prováveis fontes de ignição de incêndios na área de estudo, talvez o fogo inicia próximo às estradas, mas, devido as características de propagação do fogo em vegetação contínua, este acaba se distanciando das estradas.

No Pantanal, o fogo é bastante utilizado como elemento de produção e manejo das pastagens para limpeza e remoção de espécies indesejadas. Este tipo de prática, quando não bem manejada, pode gerar ocorrência de incêndios fora de controle em vegetação natural. Os resultados estimados pelo modelo *Probit*, indicam que houve significância estatística, positivamente relacionada entre a distância de atividades agropecuárias e ocorrência do fogo, ou seja, áreas mais próximas das atividades antrópicas têm maior probabilidade de ocorrência.

A variável altitude apresentou relação significativa na ocorrência do fogo, porém, positivamente relacionada, isto é, áreas mais altas têm maior probabilidade de ocorrência das queimadas. A probabilidade de incêndios no ponto médio de altitude (128 m) é de 1,35%. Segundo Ribeiro et al. (2008), a variação da altitude influencia o risco de incêndio devido à relação com a umidade do ar, ou seja, a altitude representa indiretamente a umidade do material combustível e a consequente redução do risco a ocorrência de fogo. De acordo com Allem e Valls (1987), as áreas afetadas por queimadas encontram-se em zonas mais altas e secas, uma vez que as áreas mais baixas da região tendem a ser alagadas, confirmado este fato.

De acordo com o modelo, as variações espaciais em longitude, latitude e diagonal (lat x long) apresentaram significância estatística a 95% de probabilidade. A probabilidade de incêndios aumenta no sentido leste a oeste, de norte a sul e de noroeste a sudeste na área de estudo. Este fato demonstra que existe tendência de agrupamento de áreas queimadas em regiões específicas do Bioma.

O ano de 2005, 2007 e 2004 foram os anos mais atingidos por áreas queimadas, na ordem de 8.559 Km², 8.241 Km² e 7.603 Km², respectivamente. Entretanto, 2004 e 2005 apresentaram maior probabilidade de ocorrência, possivelmente, devido à distribuição espacial mais homogênea dos incêndios, se comparado com 2007.

Com base no modelo, foi observado que há probabilidade ligeiramente maior de ocorrência de incêndios dentro das Unidades de Conservação localizados no Pantanal. Apesar da pequena diferença, os resultados mostram que as unidades não têm sido razoavelmente eficazes em impedir ou mesmo diminuir a ocorrência de incêndios dentro de seus limites, devido a uma série de fatores. Provavelmente, os incêndios que ocorrem no interior das unidades, iniciam fora destas. Entretanto, este fato precisa ser investigado com mais detalhes em estudos futuros, incluindo na análise a distância euclidiana das áreas protegidas.

Os tipos de vegetação que apresentaram significância estatística, a probabilidade de 95%, foram as mais atingidas por áreas queimadas, de acordo com o mapeamento de 2003 a 2013. Por exemplo, em 2007 aproximadamente 60% e 15% dos incêndios ocorreram em Savana-Cerrado e Savana-Estépica, respectivamente. Em 2005, cerca de 51% e 20% dos incêndios

também ocorreram em Savana-Cerrado e Savana-Estépica, respectivamente. As probabilidades observadas para Savana-Estépica (5,7%) e Savana-Cerrado (2,4%), estão relacionadas, sobretudo, as características do material combustível da vegetação, favoráveis a ocorrência e propagação do fogo. Tais características variam em função do tipo de vegetação, que por sua vez controlam o comportamento do fogo.

5. Conclusão

Os fatores que apresentaram influência estatisticamente significativa sobre a probabilidade de ocorrência de incêndios florestais na área de estudo foram a precipitação, proximidade de áreas antrópicas, proximidade de rodovias, altitude, latitude, longitude e latitude *versus* longitude. Em relação as variáveis locais, os incêndios ocorreram de forma significativamente superior dentro de Unidade de Conservação, em áreas de cerrado sensu stricto, savana-estépica e áreas de transição. Do mesmo modo, os incêndios florestais ocorreram em quantidades significativamente maiores em 2004, 2005, 2007, 2008, 2010, 2011 e 2012, comparados com os incêndios de 2003.

Nem todas as variáveis abordadas no modelo probabilístico apresentaram significância estatística na ocorrência de áreas queimadas, a 95% de probabilidade. Este fato não quer dizer que estas variáveis não influenciem na ocorrência e não mereçam atenção, apenas não tiveram grande peso segundo o modelo utilizado e no período estudado. As características topográficas da área não apresentaram influência significativa na ocorrência do fogo, provavelmente devido às condições de relevo na região pantaneira que é bastante plano, a aleatoriedade da ocorrência do fenômeno estudado, o número de amostras utilizadas no modelo ou mesmo a qualidade dos dados de entrada no modelo Probit utilizados no presente estudo, que podem ter limitado este tipo de análise.

6. Referências

- Allem, A. C.; Valls, J. F. M. **Recursos forrageiros nativos do Pantanal Matogrossense**. Brasília: EMBRAPA-CENARGEN, 1987. 339 p.
- Anselin, L. Under the hood: Issues in the specification and interpretation of spatial regression models. **Agricultural Economics**, v. 27, n. 3, p. 247-267. 2002.
- Arima, E.; Simmons, C.; Walker, R.; Cochrane, M. Fire in the Brazilian Amazon: A spatially explicit model for policy impact analysis. **Journal of Regional Science**. v. 47, n. 3, p. 541- 567. 2007.
- Batista, A. C. **Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais**. Floresta 30 (1/2): 45- 54. 2000.
- Boschetti, L.; Roy, D. P.; Justice, C. O.; Giglio, L. Global assessment of the temporal reporting accuracy and precision of the MODIS burned area product. **Int. J. of Wildland Fire**, v. 19, p. 705-709, 2010.
- Braumann, R.; Carneiro, F. G. **Os agentes econômicos em processo de integração regional – Inferências para avaliar os efeitos da ALCA**. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 33p. 2002.
- Burrough, P. A.; McDonnell, R. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford, Oxford University Press. 1998.
- Cheney, N. P.; Sullivan, A. **Grassfires: fuel, weather and fire behaviour**. CSIRO Publishing, Melbourne, Victoria. 2ª ed. 2008. 161 p.
- Chomitz, K. Gray, D. Roads, land use, and deforestation: a spatial model applied to Belize. **The World Bank Economic Review**, v. 10, n.3, p. 487- 512. 1996.
- Coutinho, L. M. **As queimadas e seu papel ecológico**. Brasil Florestal, v.10, n. 44, p. 7-23. 1980.

Ferraz, S. F. B.; Vettorazzi, C. A. Mapeamento de risco de incêndios florestais por meio de sistema de informações geográficas (SIG). IPEF–ESALQ. Universidade de São Paulo. **Scientia Forestalis**, n. 53, p. 39- 48. 1998.

Gujarati, D. N.; Porter, D. C. **Econometria básica**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 924 p.

IBGE. **Mapa de Biomas do Brasil; primeira aproximação**. Rio de Janeiro: IBGE. 2004.

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**. v. 103, n. D24, 1998.

Grégoire, J. M.; Tansey, K.; Silva, J. M. N. The GBA2000 initiative: developing a global burnt area database from SPOT-VEGETATION imagery. **International Journal Remote Sensing**, v. 24, n. 6, p. 1369 – 1376, 2003.

Matos, N. M.; Leal, F. A. Mapeamento temporal e validação de áreas queimadas por meio do Produto MODIS MCD45A1. In: 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, MS, **Anais...** 2014 Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 476-484. Disponível na biblioteca digital URLib: <<https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/2014/cd/p76.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

Matricardi, E. A. T.; Skole, D. L.; Pedlowski, M. A.; Chomentowski, W. Assessment of forest disturbances by selective logging and forest fires in the Brazilian Amazon using Landsat data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 34, n. 4, p. 1057-1086. 2013.

Matricardi, E. A. T. **Spatiotemporal dynamics of forest degradation by selective logging and forest fire in the Brazilian Amazon**. A dissertation. Michigan State University, Department of Geography. 2007.

Nunes, J. R. S. **FMA+ - Um novo índice de perigo de incêndios florestais para o estado do Paraná – Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2005.

Oliveira, A. L. S. **Avaliação dos sensores EOS/MODIS e NOAA/AVHRR na detecção e registro de incêndios e queimadas**. Dissertação de mestrado. Viçosa: UFV, 2006.

Ribeiro, L.; Koproski, L. P.; Stolle, L.; Lingnau, C.; Soares, R. V.; Batista, A. C. Zoneamento de riscos de incêndios florestais para a fazenda experimental do Canguiri, Pinhais (PR). **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 3, p. 561- 572. 2008.

SFB. Serviço Florestal Brasileiro. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/os-biomas-e-suas-florestas>> Acesso em: 21 de outubro de 2014.

Tatagiba, M. M. A. **Estudo da Dinâmica Espacial e Temporal dos Incêndios Florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 92p. 2010.

Wooldridge, J.M. **Introdução à Econometria – uma abordagem moderna**. São Paulo: Cengage Learning, 4 ed. 2010. 701p.