

MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE DA VEGETAÇÃO DO CERRADO AO FOGO EM RELAÇÃO A INDICADORES ANTRÓPICOS

ALFREDO PEREIRA¹
HELENA FRANÇA¹
JOSÉ EDUARDO DOS SANTOS²

¹ Divisão de Sensoriamento Remoto / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - São José dos Campos, SP, Brasil - 12201-970
alfredo@ltid.inpe.br, helena@ltid.inpe.br

² Departamento de Hidrobiologia / Universidade Federal de São Carlos
Rodovia Washington Luis, km 235 - São Carlos, SP, Brasil- 13565-905
djes@power.ufscar.br

Abstract. At the present, the Cerrado (Brazilian savannas) is burned on about 20 to 30% of its area during the dry season mainly owing to anthropic causes. This work studied the susceptibility of the Cerrado vegetation to fire with respect to parameters linked to the anthropic activity. Location data for the fire spots obtained from the AVHRR/NOAA-12 channel 3 (3,7 μ m) were used as field truth. The study period was between May and October 1998. The distance between the fire spots and two indicators of anthropic activity was analyzed. The indicators were: roads and fire spots previously occurred. About a quarter of the fire spots occurred at up to 10 km from the roads and the fire spots of the previous day. The results indicated that the more next to indicators more fires occurred. In conclusion, the indicators of anthropic activity analyzed here area good tools for studying the vegetation susceptibility to fire.

Keywords: Cerrado, savanna, fire, burning, roads, AVHRR/NOAA.

1. Introdução

A ocupação do Cerrado teve início no século XVIII com a exploração do ouro e pedras preciosas. Com o esgotamento das minas, a principal atividade econômica na região passou a ser a pecuária bovina extensiva realizada em pastagens naturais, situação que perdurou até o final da década de 60. A partir da construção de Brasília e devido aos incentivos governamentais aplicados no setor agropecuário, expandiu-se a ocupação da região com culturas agrícolas e bovinocultura em pastagem implantada, fazendo do Cerrado a maior região produtora de grãos do Brasil (Alho e Martins, 1995). A pecuária extensiva ocupa atualmente cerca de 60% da área do Cerrado e a cultura intensiva de grãos, principalmente soja, cerca de 6%, sendo que 65% a 80% do Cerrado já foram modificados pelo homem devido à expansão agropecuária e urbana. (Mantovani e Pereira, 1998; Conservation International [CI], 2002).

Embora seja um evento natural no Cerrado, o fogo passou a ser utilizado pelo homem pré-colombiano em diferentes atividades como caça, guerra, manejo de vegetação e limpeza de áreas (Anderson e Posey, 1985; Coutinho, 1990). Atualmente, apesar da aplicação de modernas técnicas na agropecuária, as principais causas de queimadas são devido ao uso do fogo para renovação e limpeza de pastagens, bem como para abertura de novas áreas agrícolas (Coutinho, 1990; Mistry, 1998a, 1998b), sendo estimado que cerca de 20 a 30% do Cerrado são queimados anualmente (Coutinho, 1990; França, 2000). Essa elevada incidência de queimadas tem sido relacionada com efeitos prejudiciais ao ambiente, tais como: redução da biodiversidade; empobrecimento do solo pela perda de nutrientes; erosão do solo pela sua maior exposição à chuva (Alho e Martins, 1995; Mueller-Dumbois e Goldammer, 1990); poluição no âmbito local, como a causada pelo O₃; mudanças climáticas regionais; mudança climática em escala global devido ao efeito estufa decorrente da emissão de CO₂ e CH₄ (Mueller-Dumbois e Goldammer, 1990); etc.

Três condições simultâneas são necessárias para que uma queimada ocorra em vegetação: a) condições meteorológicas propícias; b) disponibilidade de combustível vegetal; c) existência de fonte de ignição. As condições meteorológicas da estação chuvosa no Cerrado propiciam o crescimento e acúmulo de material vegetal, enquanto que as do período de estiagem secam a maior parte desse material, formado principalmente por gramíneas (Ramos Neto, 2000). França (2000) relatou que cerca de 70 a 75% da área queimada no Cerrado ocorreram no período seco, sendo as atividades antrópicas sua principal causa, conforme relatado anteriormente (Coutinho, 1990; Mistry, 1998a; 1998b).

Atualmente, tem sido atribuída maior importância à prevenção do que à supressão do fogo, uma vez que é mais fácil evitar uma queimada ou combatê-la no início do que quando estabelecida e em propagação (Soares, 1985). O conhecimento da susceptibilidade ao fogo possibilita o planejamento de medidas preventivas, otimizando a alocação de recursos pela melhor relação custo/benefício, em comparação com as medidas supressivas (Soares, 1985).

Entre os índices de susceptibilidade ao fogo existem os que utilizam somente dados meteorológicos e aqueles que também incorporam dados vegetacionais e antrópicos. Índices de susceptibilidade mais antigos utilizam apenas parâmetros meteorológicos relacionados à umidade da vegetação (Soares, 1985). Além dos dados meteorológicos, os índices mais atuais utilizam estimativas da umidade da vegetação obtidas com base em imagens de sensores orbitais. Os parâmetros relacionados à umidade da vegetação variam em curto prazo de tempo, sendo de caráter diário. Os índices que utilizam simultaneamente múltiplos parâmetros tiveram impulso com o advento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que permitiram a utilização de dados de naturezas diversas com maior resolução espacial e temporal. Foram incorporados parâmetros de longo prazo, de caráter anual ou permanente, como por exemplo: tipo de vegetação; tipo e quantidade de combustível vegetal; padrões meteorológicos sazonais; declividade; exposição solar; uso da terra; malha viária; restrições de acesso; rede de aceiros; densidade populacional; padrões de distribuição espaço-temporal das queimadas (Chuvieco et al., 1997; Ferraz e Vettorazzi, 1998).

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho foi avaliar a relação entre a susceptibilidade da vegetação do Cerrado ao fogo e a proximidade de indicadores atividade antrópica: malha viária e focos de queimadas ocorridos anteriormente.

Foi considerado que a probabilidade de ocorrência de queimadas em um determinado local é inversamente proporcional à distância dos dois indicadores de atividades antrópicas aqui analisados. As queimadas estariam próximas à malha viária, pois seria o principal meio de acesso às áreas de atividades agropecuárias, nas quais o fogo é largamente utilizado como prática de manejo. Os focos recentes de queimadas indicariam locais e períodos com as três condições necessárias à ocorrência de queimadas — condições meteorológicas propícias, disponibilidade de combustível vegetal e existência de fonte de ignição.

3. Materiais e Método

3.1. Área de estudo

A área de estudo foi a mesma utilizada por Pereira Jr. (1992) e França (2000), segundo interpretação do Mapa de Vegetação do Brasil produzido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística ([IBGE], 1993). Ela abrange a porção contínua da Região Fitoecológica do Cerrado definida como 'Savana' no Mapa de Vegetação, junto com as áreas de 'Tensão Ecológica', que indicam o contato entre Cerrado e outros tipos de vegetação. Enclaves de 'Floresta' ou Caatinga, definida como 'Savana Estépica', também estão

incluídos. A área de estudo ocupa 2200 000 km², cobrindo cerca de um quarto do território brasileiro, entre os paralelos 02°30'S e 26°00'S e os meridianos 41°45'O e 62°00'O, (**Figura 1**). A cobertura vegetal predominante da área de estudo é o Cerrado *lato sensu*, caracterizada por seus diferentes tipos fitofisionômicos, que apresentam um gradiente de densidade de árvores, dispersas sobre um estrato herbáceo-arbustivo, geralmente formado por gramíneas (Coutinho, 1990; Ribeiro e Walter, 1998). O clima predominante é tropical-quente-subúmido (Aw), caracterizado por forte sazonalidade das chuvas e estabilidade da temperatura média diária (Dias, 1996). A precipitação média anual varia de 600 a 2000 mm, com 5 a 10% ocorrendo no período de estiagem, de maio a setembro. Durante a estiagem existem as melhores condições meteorológicas para dessecação e queima do estrato herbáceo (Assad e Evangelista, 1994).

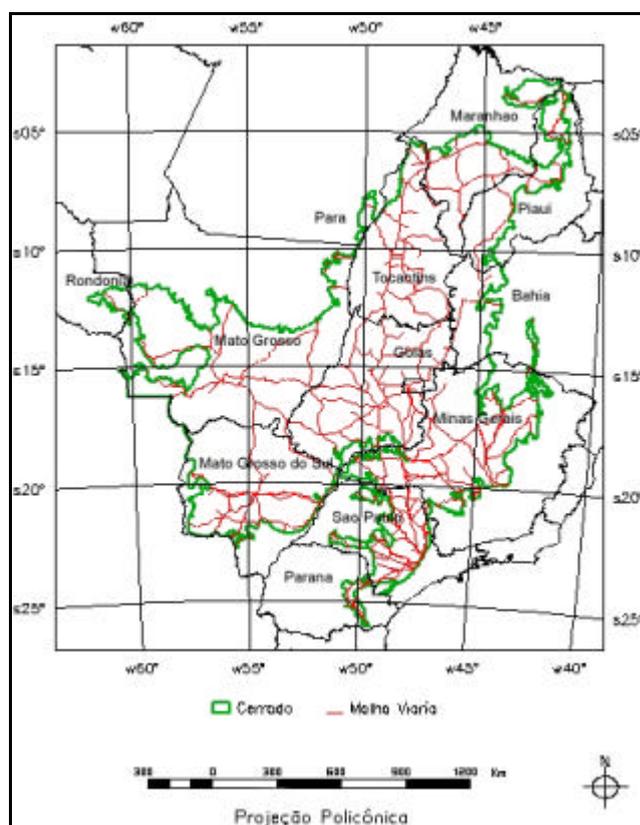


Figura 1 – Área de estudo com extensão de 2.200.000 km² com a malha viária principal do Cerrado.

3.2. Materiais

Para processamento dos dados georreferenciados foi utilizado o Sistema de Informações Geográficas (SIG) SPRING 3.5 para ambiente Windows (Divisão de Processamento de Imagens / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais [DPI/INPE], 2002).

Foram usados dados diários das coordenadas geográficas dos focos de queimadas detectados no período de maio a outubro/1998 nas imagens do canal 3 (3,7 µm, infravermelho termal) do sensor ‘Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) a bordo do satélite National Oceanic and Atmospheric Administration’ - 12 (NOAA-12), passagem vespertina (21h30 GMT). Os dados foram gerados pela Divisão de Satélites Ambientais (DSA) do INPE. Foi utilizada a malha viária principal do Cerrado — rodovias e ferrovias — fornecida em formato digital pelo IBGE (1997).

3.3. Método

3.3.1. Processamento dos dados de malha viária

A malha viária incorporada ao SIG permitiu gerar uma grade numérica regular de distância. Uma grade numérica regular é uma matriz numérica na qual os pontos estão espaçados por uma distância fixa denominada resolução. O valor numérico de um ponto da grade corresponde à menor distância deste ponto até a malha viária. A resolução da grade de distância foi de 2,5 km.

Foi aplicada a operação ‘fatiamento’ do SIG na grade de distância da malha viária para obtenção de um mapa de classes de distância. O ‘fatiamento’ consiste em associar os valores numéricos dos pontos da grade a intervalos (‘fatias’) que correspondem às classes de distância da malha viária.

3.3.2. Processamento dos dados de focos de queimadas

Os dados diários de focos de queimadas foram incorporados ao SIG e selecionados os das passagens do NOAA-12 com maior recobrimento do Cerrado. Esse procedimento resultou na seleção de dados de focos de queimadas de duas passagens orbitais por quinzena, totalizando 24 dias no período de maio a outubro/1998. Estes focos são referidos no texto como **focos atuais** (Tabela 1). Foram também selecionados os dados de focos de queimadas do dia anterior, que são referidos no texto como **focos da véspera** (Tabela 1). Por exemplo, os focos do dia 08/maio são focos atuais, enquanto os do dia 07/maio são os focos da véspera.

Tabela 1 – Dias selecionadas com focos atuais e com focos da véspera, no período de maio a outubro/1998.

	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Dias com focos atuais	08, 13, 22, 26	04, 09, 18, 22	01, 06, 20, 29	03, 12, 16, 21	03, 12, 17, 26	01, 05, 19, 23
Dias com focos da véspera	07, 12, 21, 25	03, 08, 17, 21, 30	05, 19, 28	02, 11, 15, 20	02, 11, 16, 25, 30	04, 18, 22

Com base nos focos da véspera foram geradas grades regulares de distância, com resolução de 2,5 km. O valor de cada ponto da grade correspondeu à distância até o foco de queimada mais próximo. Esse procedimento resultou em 24 grades de distância dos focos da véspera, uma para cada dia.

A aplicação da operação ‘fatiamento’ nessas grades gerou 24 mapas de classes de distância dos focos da véspera. Os intervalos de distância utilizados no ‘fatiamento’ foram os mesmos que os da malha viária, resultando nas mesmas classes.

Os focos de queimadas foram considerados como verdade de campo em relação à incidência de queimadas em vegetação do Cerrado, indicando os locais e os dias em que foram satisfeitas as três condições necessárias para a ocorrência de fogo.

3.3.3. Sobreposição dos mapas de distância com os focos atuais

O número de focos atuais ocorridos em cada classe de distância foi calculado para os 24 dias. Isso foi realizado por meio da sobreposição entre os focos atuais e os mapas de distância. Em relação à malha viária, a sobreposição foi entre o mapa de distância da malha viária e os focos atuais. Para os focos da véspera, a sobreposição foi entre os mapas de distância dos focos da véspera e os focos atuais.

4 - Resultados e Discussão

4.1 – Geração dos mapas de distância

As grades de distância foram geradas com resolução de 2,5 km, compatível com o erro de posicionamento dos focos de queimada de cerca de 2 km (Pereira e Setzer, 2001). Isso implica que a opção por uma resolução maior não resultaria em maior acurácia no posicionamento dos focos atuais nos mapas de distância. Além disso, aumentaria o tempo de processamento para geração das grades e dos mapas de distância, e da sobreposição destes com os focos atuais.

A aplicação do ‘fatiamento’ do SIG gerou o mapa de classes de distância da malha viária, representado na **Figura 2**, e os 24 mapas de classes de distância dos focos da véspera, um dos quais está na **Figura 3**.

4.2 - Sobreposição dos mapas de distância com os focos atuais

A sobreposição dos focos atuais com os mapas de distância — **Figura 2** para malha viária e **Figura 3** para focos da véspera — permitiu estimar a incidência de focos atuais por classe de distância. Analisando essa incidência nas classes de distância dos dois indicadores de atividades antrópica — malha viária e focos da véspera — foi observado que um maior número de focos atuais ocorreu em locais próximos aos dois indicadores. Em relação à malha viária, 14% dos focos atuais ocorreram na classe de distância de 0 a 5 km e 10% na classe de 5 a 10 km, com tendência de valores percentuais decrescentes até a última classe (Tabela 2). Para os focos de queimadas do dia anterior, 12% dos focos atuais ocorreram na classe de distância de 0 a 5 km e 12% na classe de 5 a 10 km, também com tendência de valores percentuais decrescentes até a última classe (Tabela 3). Portanto, a incidência dos focos atuais foi maior em locais próximos aos indicadores de atividade antrópica, com tendência de diminuição conforme o aumento da distância.

Observando a porcentagem acumulada da incidência dos focos atuais nas classes de distância em relação à malha viária, 24% dos focos atuais ocorreram até 10 km da mesma, 53% até 25 km, 95% até 80 km, e 100% até 200 km (Tabela 2). Para os focos da véspera, 24% de focos de queimadas atuais ocorreram até 10 km dos mesmos, 54% até 35 km, 96% até 250 km e 100% até 1.000 km (Tabela 3). Então, cerca de um quarto dos focos atuais (24%) estavam localizados até 10 km de distância de ambos indicadores (Tabelas 2 e 3) e de 10 km em diante, dado um mesmo número de focos atuais, estes ocorreram mais próximos da malha viária do que dos focos da véspera.

5. Conclusões

Foi verificado que a probabilidade de ocorrência de queimadas em um determinado local é inversamente proporcional à distância dos dois indicadores de atividades antrópicas aqui analisados. A incidência dos focos de queimadas foi maior nas áreas próximas a estes indicadores e, portanto, estas áreas são mais susceptíveis à ocorrência de queimadas.

Considerando que cerca de um quarto dos focos de queimadas ocorreram a uma mesma distância em relação a ambos parâmetros de atividade antrópica e que mais da metade dos focos ocorreram até 25 km da malha viária e até 35 km dos focos ocorridos no dia anterior, no âmbito de prevenção de queimadas a proximidade destes dois indicadores pode ser utilizada em índices de susceptibilidade ao fogo desenvolvidos para o Cerrado.

Para estudos futuros sugere-se o estudo de outros indicadores de atividades antrópicas como: centros urbanos; áreas de cultura anuais; áreas de pastagem natural e implantada; histórico de áreas e focos de queimadas. Quanto à malha viária, é recomendável realizar uma avaliação com dados mais detalhados que contenham estradas secundárias e vicinais.

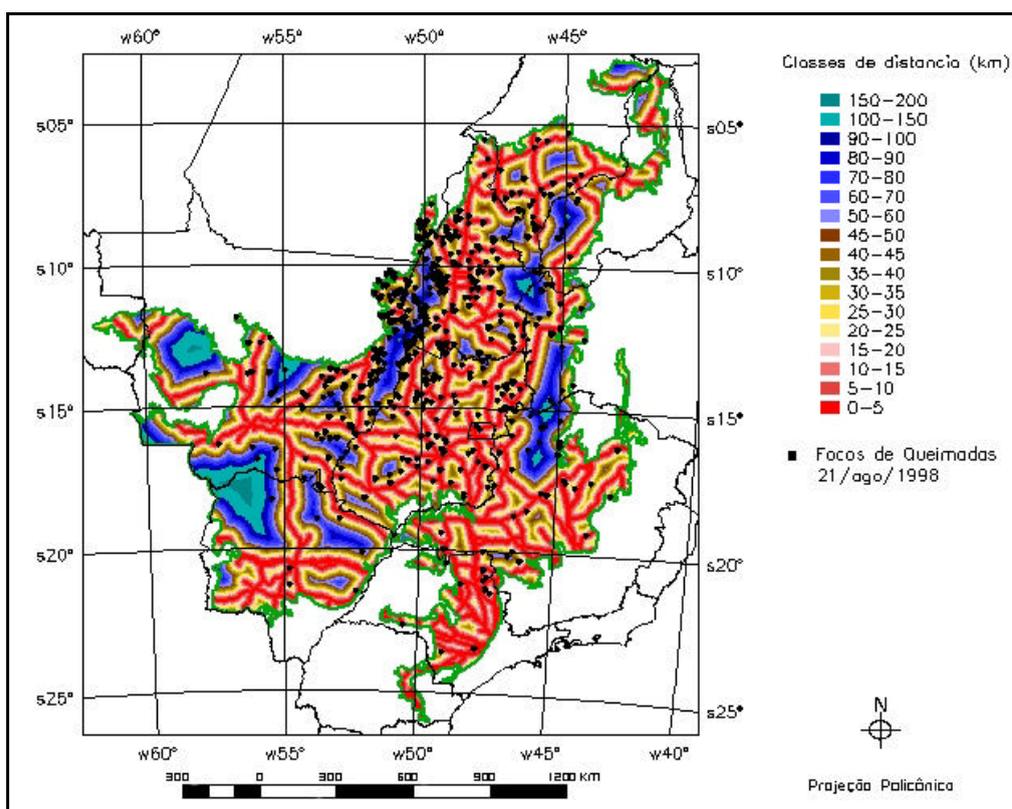


Figura 2 – Mapa de classes de distância da malha viária sobreposto com os focos de queimadas de 21/agosto/1998 (focos atuais), no Cerrado.

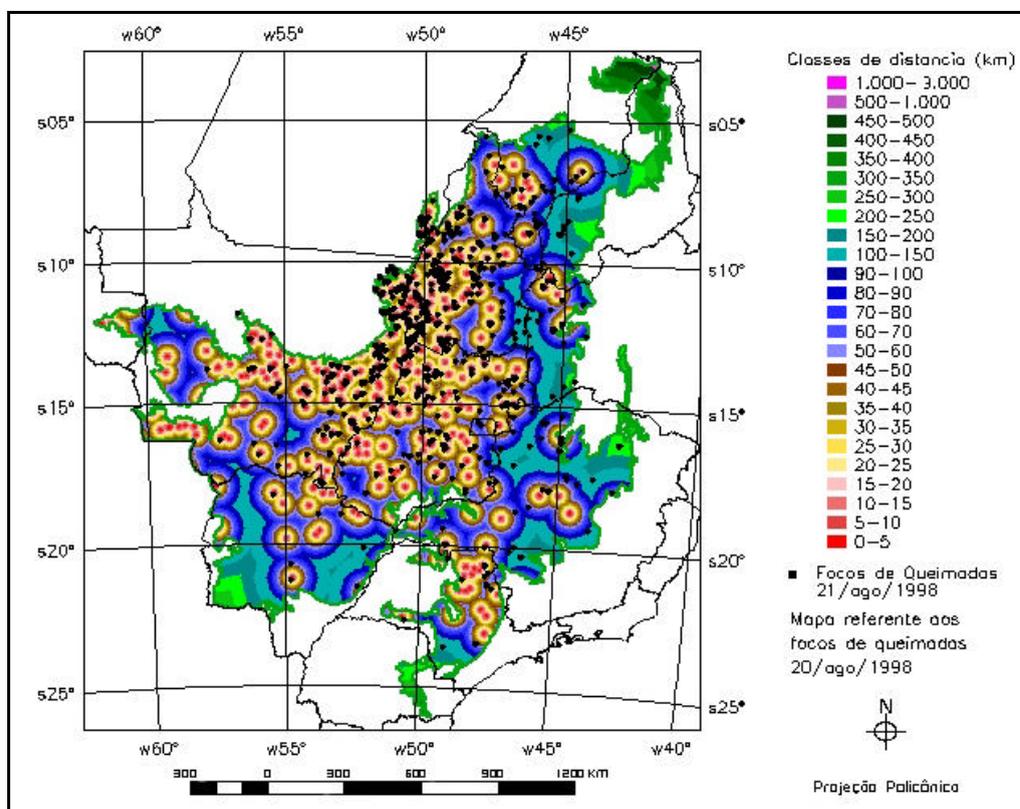


Figura 3 – Mapa de classes de distância dos focos de queimadas de 20/agosto/1998 (focos da véspera) sobreposto com focos de queimadas de 21/agosto/1998 (focos atuais), no Cerrado.

Tabela 2 – Incidência dos focos de queimadas atuais para as classes de distância da malha viária, no período de maio a outubro/1998.

Classe de distância da malha viária (km)	Incidência de focos de queimadas atuais			
	Número	Porcentagem (%)	Número acumulado	Porcentagem acumulada (%)
0 – 5	1558	14%	1558	14%
5 – 10	1162	10%	2720	24%
10 – 15	1163	11%	3883	35%
15 – 20	1029	9%	4912	44%
20 – 25	1030	9%	5942	53%
25 – 30	879	8%	6821	61%
30 – 35	781	7%	7602	68%
35 – 40	530	5%	8132	73%
40 – 45	491	4%	8623	77%
45 – 50	386	3%	9009	80%
50 – 60	693	6%	9702	86%
60 – 70	600	5%	10302	91%
70 – 80	393	4%	10695	95%
80 – 90	230	2%	10925	97%
90 – 100	67	1%	10992	98%
100 – 150	236	2%	11228	100%
150 – 200	7	0%	11236	100%

Tabela 3 – Incidência dos focos de queimadas atuais para as classes de distância dos focos de queimadas da véspera, no período de maio a outubro/1998.

Classe de distância dos focos da véspera (km)	Incidência de focos de queimadas atuais			
	Número	Porcentagem (%)	Número acumulado	Porcentagem acumulada
0 – 5	1376	12%	1376	12%
5 – 10	1308	12%	2684	24%
10 – 15	882	8%	3566	32%
15 – 20	691	6%	4257	38%
20 – 25	680	6%	4937	44%
25 – 30	514	5%	5451	49%
30 – 35	632	5%	6083	54%
35 – 40	544	5%	6627	59%
40 – 45	402	4%	7029	63%
45 – 50	329	3%	7358	66%
50 – 60	718	6%	8076	72%
60 – 70	458	4%	8534	76%
70 – 80	350	3%	8884	79%
80 – 90	291	3%	9175	82%
90 – 100	229	2%	9404	84%
100 – 150	722	6%	10126	90%
150 – 200	358	3%	10484	93%
200 – 250	265	3%	10749	96%
250 – 300	166	1%	10915	97%
300 – 350	127	1%	11042	98%
350 – 400	65	1%	11107	99%
450 – 450	47	0%	11154	99%
450 – 500	29	0%	11183	99%
500 – 1.000	53	1%	11236	100%
1.000-3.000	0	0%	11236	100%

Referências

- Alho, C.J.R.; Martins, E.S. *De grão em grão, o Cerrado perde espaço - Cerrado: impactos do processo de ocupação*. Brasília: Fundo Mundial para a Natureza (WWF), 1995.
- Anderson, A.B.; Posey, D.A. Manejo de cerrado pelos índios Kayapó. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, v.2, n.1, p.77-98, 1985.
- Assad, E.D.; Evangelista, B.A. Análise freqüencial da precipitação pluviométrica. In: *Chuva no Cerrado: análise e espacialização*, Ed. E.D. Assad. Brasília: EMBRAPA-CPAC, 1994. p. 25-42.
- Chuvieco, E.; Salas, F.J.; Vega, C. Remote sensing and GIS for long-term fire risk mapping. In: *A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires*. Ed. E. Chuvieco. Alcalá de Henares, Spain: Universidad de Alacá, 1997. p. 91-108.
- Conservation International [CI]. *Hotspots*. 2002.
Disponível em: <<http://www.conservation.org.br/hotspots/index.htm>>. Acesso em agosto/2002.
- Coutinho, L.M. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: *Fire in the tropical biota*. Ed. J.G. Goldammer. New York: Springer-Verlag, 1990. p. 82-105.
- Dias, B.F.S. Cerrados: uma caracterização. In: *Alternativas de desenvolvimento dos cerrados: manejo e conservação dos recursos naturais renováveis*. Ed. B.F.S DIAS. Brasília: Fundação Pró-Natureza (FUNATURA), 1996. p. 11-25.
- Divisão de Processamento de Imagens / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DPI/INPE). *SPRING*. 2002.
Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring>>. Acesso em maio/2002.
- Ferraz, S.F.B.; Vettorazzi, C.A.. Mapeamento de risco de incêndios florestais por meio de sistema de informações geográficas (SIG). *Scientia Forestalis*, v.53, p.39-48, 1998.
- França, H. *Metodologia de identificação e quantificação de áreas queimadas no Cerrado com imagens AVHRR/NOAA*. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2000.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Mapa de Vegetação do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1993. Escala 1:5.000.000.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Mapa da série Brasil geográfico*. Rio de Janeiro: IBGE, 1997. CD-ROM.
- Mantovani, J.E.; Pereira, A. Estimativa da integridade da cobertura vegetal do Cerrado através de dados TM/Landsat. *Anais. 9^o Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Santos, 11-18/setembro/1998. São José dos Campos: INPE, 1998. Sessão Pôster. Repositório URLib: <sid.inpe.br/deise/1999/02.11.10.57>. Disponível em <http://iris.sid.inpe.br:1908/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.11.10.57/doc/2_168p.pdf>. Acesso nov./2002.
- Mistry, J. Fire in the cerrado (savannas) of Brazil: an ecological review. *Progress in Physical Geography*, v.22, n.4, p.425-448, 1998a.
- Mistry, J. Decision-making for fire use among farmers in savannas: an exploratory study in the Distrito Federal, central Brazil. *Journal of environmental Management*, v.54, p.321-334, 1998b.
- Mueller-Dumbois, D.; Goldammer, J.G. Fire in the tropical ecosystems and global environmental change: an introduction. In: *Fire in the tropical biota*, Ed. J.G. Goldammer. New York: Springer-Verlag, 1990. p. 1-10.
- Pereira Jr., A. C. *Monitoramento de queimadas na região dos Cerrados com utilização de dados AVHRR/NOAA corrigidos com dados TM/Landsat*. Dissertação (Mestrado). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1992. (INPE-5490-TDI/507).
- Pereira, J.A.R.; Setzer, A. Brazilian Validation of AVHRR fire pixels. In: *Global and regional vegetation fire monitoring from space: planning a coordinated international effort*, Ed. F. Ahern, J.G. Goldammer, C. Justice. Netherlands: Academic Publishing, 2001.
- Ramos Neto, M.B. *O Parque Nacional de Emas (GO) e o fogo: implicações para a conservação biológica*. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2000.
- Ribeiro, J.F.; Walter, B.M.T. Fitofisionomias do Cerrado. In: *Cerrado: Ambiente e Flora*, Ed. S.M. Sano e S.P. Almeida. Planaltina: EMBRAPA/CPAC, 1998. p. 89-166.
- Soares, R.V. Incêndios florestais - controle e uso do fogo. Curitiba: FUPEF, 1985.