

Validação de focos de queimadas no Cerrado em imagens TM/Landsat-5

Silvia Cristina de Jesus¹

Alberto W Setzer¹

Fabiano Morelli¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil

silviac@dsr.inpe.br; {alberto.setzer, fabiano.morelli}@cptec.inpe.br

Abstract: Vegetation fires in South America are operationally monitored by INPE in images from distinct polar and geostationary satellites. Fundamental in this system is to ascertain the fire pixel data concerning omission and commission errors in order to determine their effective use in fire control, statistics, and policies, and in derived products as estimates of biomass burning emissions. In this paper the INPE-generated fire pixels are verified against fire scars manually mapped in TM/Landsat-5 images during 40 days in the area of the National Park of Serra da Canastra, MG, on Sept-Oct/2007. The 8,650 km² analyzed belong to the Cerrado/Savanna biome, which in the last decades has undergone anthropic stress with intensive fire use. 442 INPE fire pixels and 395 scars were obtained. If the location accuracy allows for a deviation up to the maximum pixel size (~3km for MODIS, ~4km for AVHRR, ~5km for GOES and ~7km for Meteosat), omission errors were 20% and commission errors were negligible. Image navigation errors of a few kilometers in geolocation which may occur in the images also contribute to this deviation. A comparison between the MODIS fire detections using the INPE and the NASA/UMD Collection 5 algorithms is also included, with the latter producing more and better located fire pixels. Recommendations for future algorithms are: pixel size (i.e., scanning angle) inclusion to indicate the fire nominal accuracy, and the use of topography data in conjunction to the sensor scanning angle and direction to analyze missed detections in steep mountain slopes.

Palavras-chave: vegetation fires, satellite monitoring, fire detection, queima de vegetação, monitoramento com satélites, detecção de fogo

1. Introdução

O monitoramento de queimadas e incêndios florestais por meio de imagens orbitais em países de grande extensão territorial como o Brasil é o meio mais eficiente e de baixo custo quando comparado a outros meios de detecção. Desde a década de 1980, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) tem desenvolvido e aprimorado o sistema operacional de detecção de queimadas. Diariamente são produzidas informações sobre focos de queima de vegetação na América do Sul a partir da detecção por sensores orbitais.

Atualmente, o INPE divulga dados derivados dos satélites de órbita polar AQUA, TERRA, NOAAs-15, 16, 17, 18 e 19, e dos satélites geoestacionários METEOSAT-02, GOES-12 (<http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas>). Cada satélite polar produz dois imageamentos por dia, e os geoestacionários geram algumas imagens por hora, sendo que no total o INPE processa mais de 200 imagens por dia, especificamente para detectar focos de queima da vegetação. Com relação aos focos MODIS (AQUA e TERRA), o INPE desenvolveu um algoritmo próprio de detecção de focos de queima conservativo, de modo a minimizar os falsos alarmes associados a ruídos e ao reflexo solar ocasional em corpos d'água e solo exposto em imagens diurnas (INPE, 2010).

As informações sobre a localização e a extensão das ocorrências queimadas são importantes para a definição de estratégias de combate e prevenção de incêndios, bem como para a avaliação de danos ecológicos e econômicos, e como dados de entrada para modelos atmosféricos e de impactos climáticos. Os produtos divulgados são utilizados para fins diversos, como combate ao fogo, estatísticas de emissões de gases, trabalhos científicos, entre outros. Em particular, os focos de queima têm sido bastante empregados nos planos de controle de incêndios e são úteis no delineamento de estratégias que podem implicar em redução de gastos provocados por incêndios em áreas agrícolas ou de vegetação nativa.

A acurácia dos algoritmos de detecção e a confiabilidade dos dados gerados devem, portanto, ser avaliadas, para estimar sua incerteza e aperfeiçoar os produtos existentes. As informações sobre a acurácia dos algoritmos devem ser constantemente atualizadas porque, ao longo do tempo, o desempenho dos sensores e suas condições radiométricas são alterados. Esta análise pode ser realizada a partir do mapeamento de cicatrizes de queimadas em cenas de média resolução e da comparação destas com a localização espacial dos focos de queima. Neste contexto, os focos de queimada divulgados pelo

INPE foram avaliados para um parque nacional no Cerrado quanto aos erros de omissão e comissão, com o objetivo de fornecer subsídios para melhorias nos algoritmos adotados atualmente.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende uma área de 8.650 km², no Parque Nacional da Serra da Canastra (PNSC), incluindo uma faixa com largura de 10 km ao longo do perímetro da unidade de conservação. O PNSC está situado na região sudoeste do Estado de Minas Gerais (20°20'S; 46°40'W), nos Municípios de São Roque de Minas, Sacramento, Delfinópolis, São João Batista do Glória, Capitólio e Vargem Bonita, compreendendo uma área de aproximadamente 200.000 hectares. O relevo apresenta planaltos levemente inclinados, com 800 m a 1.496 m de elevação, rodeados por encostas íngremes nas partes mais altas. O clima da região é Cwc, de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado por uma estação fria e seca de abril a setembro, com temperatura média de 17°C, e uma estação quente e úmida que se estende de outubro a março, com temperatura média de 22°C. A precipitação anual varia de 1.300 mm a 1.700 mm, com pico entre os meses de dezembro a fevereiro. O parque está inserido no bioma Cerrado, e sua fitofisionomia tem predominância de habitats abertos, compostos por espécies herbáceas (campo limpo), com áreas de inundação permanentes (campo úmido), espécies arbóreas distribuídas de modo esparsa, espécies arbustivas (campo sujo e campo cerrado) e áreas de vegetação herbáceo-arbustiva (campo rupestre). As matas de galeria cobrem menos de 2% da área total. No PNSC, o regime de fogo é caracterizado pela alta frequência de incêndios florestais de grandes proporções durante a estação seca, e com algumas ocorrências em áreas menores durante a estação chuvosa e transição seca-chuva (Medeiros e Fiedler, 2004); supostamente, são em sua maioria de origem antrópica.

2.2 Mapeamento de Referência

No mapeamento das cicatrizes de queimadas foram utilizadas imagens de satélites de média resolução TM/Landsat-5 de 2007, cujas características estão na **Tabela 1**. As imagens foram registradas para minimizar os efeitos de distorção geométrica e adequá-las ao sistema geodésico SAD69, projeção UTM, datum zona 21S, de modo que a comparação entre as diferentes datas fosse realizada com a mesma referência espacial. Para isto, foram utilizadas imagens pré-registradas da *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* disponíveis na coleção de dados da *Global Land Cover Facility (GLCF)*, e foi empregado um algoritmo polinomial de segunda ordem, de modo que o erro quadrático médio (RMS) de localização fosse inferior a 30 metros.

As imagens foram analisadas na ordem temporal, de modo a identificar também as cicatrizes anteriores àquelas ocorridas no período entre as cenas. O uso de várias cenas permitiu restringir as cicatrizes temporalmente, além de eliminar equívocos com outros alvos espectralmente similares a cicatrizes de queimadas, como certos tipos solos irrigados e corpos d'água. Assim, as cenas adquiridas em 01 e 08-set foram úteis para isolar as cicatrizes anteriores ao período de análise. Além das cicatrizes de queimadas, foram mapeadas as nuvens e ruídos nas imagens, dado que sob estas condições não é possível inferir se houve ou não queimadas na área em questão, ou ainda, a partir de qual cena as cicatrizes aparecem.

Tabela 1. Principais características das imagens orbitais utilizadas no mapeamento de cicatrizes.

Data de aquisição da cena	Satélite/Sensor	Órbita/Ponto	Resolução
01-set-2007 - 12:56:44 GMT	Landsat-5/TM	219/074	30m
08-set-2007 - 13:02:53 GMT	Landsat-5/TM	220/074	30m
17-set-2007 - 12:56:37 GMT	Landsat-5/TM	219/074	30m
24-set-2007 - 13:02:45 GMT	Landsat-5/TM	220/074	30m
10-out-2007 - 12:56:28 GMT	Landsat-5/TM	219/123	30m

2.3 Acurácia espacial dos focos de queimada

A incerteza espacial dos focos foi avaliada a partir dos erros de omissão e comissão, e de sua relação com o tamanho da queimada. Para isto, foram gerados quadrados com dimensão variando de acordo com a resolução nominal do sensor que detectou cada foco, tendo o foco de queima como centróide, e adotando-se a extensão espacial nominal no nadir da imagem correspondente. A

representação do píxel como um quadrado torna mais simples as análises espaciais de sobreposição das áreas atribuídas aos focos com as cicatrizes de queimadas, e permite identificar possíveis deslocamentos na navegação das imagens. Deste modo, neste documento o termo “pixel de queima” refere-se a estes polígonos quadrados gerados a partir dos focos de queima. Na época do período analisado neste trabalho, o INPE utilizou no monitoramento de focos os satélites NOAA-15, 17, e 18, TERRA, AQUA, GOES-10 e o METEOSAT-02. No caso do sensor AVHRR dos satélites NOAA, o tamanho dos píxeis variou de ~1,1 km x 1,1 km no nadir, até ~1,1 km x 4 km nas bordas, e para o sensor MODIS dos satélites TERRA e AQUA, de ~1 km x 1 km até ~1 km x 3 km. Para os satélites geoestacionários, os píxeis foram de ~4 km x ~5 km para o GOES, e ~5 km x ~7 km no Meteosat-2. Estes valores são fundamentais ao se interpretar os resultados das detecções de focos de queima de vegetação no monitoramento feito pelo INPE.

As consultas espaciais de pertinência entre cicatrizes e píxeis de queima permitiram quantificar os erros potenciais de omissão, quando a cicatriz não contém foco, e os erros potenciais de comissão, quando os píxeis de queima não interceptam a cicatriz.

Os erros de omissão (queimas não detectadas) foram definidos a partir das cicatrizes sem incidência de focos. Por sua vez, os erros de comissão (focos sem queimas inexistentes) foram definidos a partir dos focos que não incidiram em cicatrizes de queimadas. Nestas análises, a data do foco deve ser anterior ou igual à data da cicatriz mapeada (**Tabela 2** e **Tabela 3**), levando também em consideração o horário de passagem dos satélites de detecção de focos e do Landsat-5.

2.3.1 Erros de omissão

Foi estabelecido o atributo “Detecção” para o plano de informação vetorial de cicatrizes. As cicatrizes de determinada classe de mapeamento (data de aquisição da cena) interceptadas por focos do período correspondente receberam “sim” neste atributo (**Tabela 2**).

Tabela 2. Identificação das cicatrizes detectadas pelos focos de calor.

Classe do mapeamento das cicatrizes (Data de aquisição da cena)	Período de detecção dos focos	Detecção
17-set-2007	01 a 17-set	“sim”
24-set-2007	08 a 24-set	“sim”
03-out-2007	17-set a 03-out	“sim”

Às cicatrizes que não foram interceptadas pelos focos de acordo com esta tabela, e àquelas mapeadas nas datas 01 e 08-set, foram conferidas, respectivamente, as classes “não” e “null” para o atributo “Detecção”. Estas últimas não foram usadas para quantificar os erros de omissão pela impossibilidade de definir a data das queimadas antigas. Esta classificação permitiu distinguir as cicatrizes identificadas pelos focos daquelas preexistentes ao período de análise.

2.3.2 Erros de comissão

De forma semelhante, foi criado o atributo “Análise” para o arquivo vetorial de focos (**Tabela 3**). Os focos que incidiram sobre as cicatrizes mapeadas no período correspondente receberam “acerto” neste atributo.

Tabela 3. Identificação de focos de calor incidentes em cicatrizes.

Classe do mapeamento das cicatrizes (Data de aquisição da cena)	Período de detecção dos focos	Análise
17-set-2007	01 a 17-set	“acerto”
24-set-2007	08 a 24-set	“acerto”
03-out-2007	17-set a 03-out	“acerto”

Os focos que não incidiram nestas cicatrizes podem estar associados às cicatrizes mais antigas, indicando possível requeima da vegetação, e por isso receberam a classe “anterior” no atributo “Análise”. Os focos incidentes em áreas cobertas por nuvens ou afetadas por ruídos da cena foram classificados como “nuvem/ruído”. Os demais focos foram identificados como “erro”.

3. Resultados e Discussão

3.1 Mapeamento de referência

O resultado obtido foi um mapa digital com a representação de cicatrizes dos diferentes períodos na escala 1:50.000, com resolução espacial de 30 metros, onde estão mapeadas todas as cicatrizes identificadas na área compreendida pelos municípios mineiros de Sacramento, Tapira, São Roque de Minas, Delfinópolis, Vargem Bonita, São João Batista do Glória e Capitólio, por serem os mais próximos aos limites do PNSC. Foram mapeadas 395 cicatrizes com área variável entre 0,08 e 32.000 ha e categorizadas em três classes de tamanho (**Figura 1**), com a finalidade de avaliar os eventos de pequeno, médio e grande porte. O total de área queimada no período de estudo foi de 62.260 ha, sendo que 89% desta área correspondem a cicatrizes com mais de 100 ha. Um detalhe deste resultado centrado na UC pode ser observado na **Figura 2**, que mostra que durante todo o mês de setembro houve um número significativo de queimadas/incêndios na área analisada, principalmente nas suas regiões noroeste e sul.

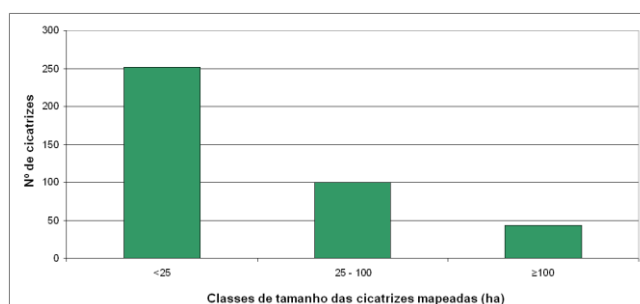


Figura 1. Quantidade de cicatrizes mapeadas por classes de tamanho.

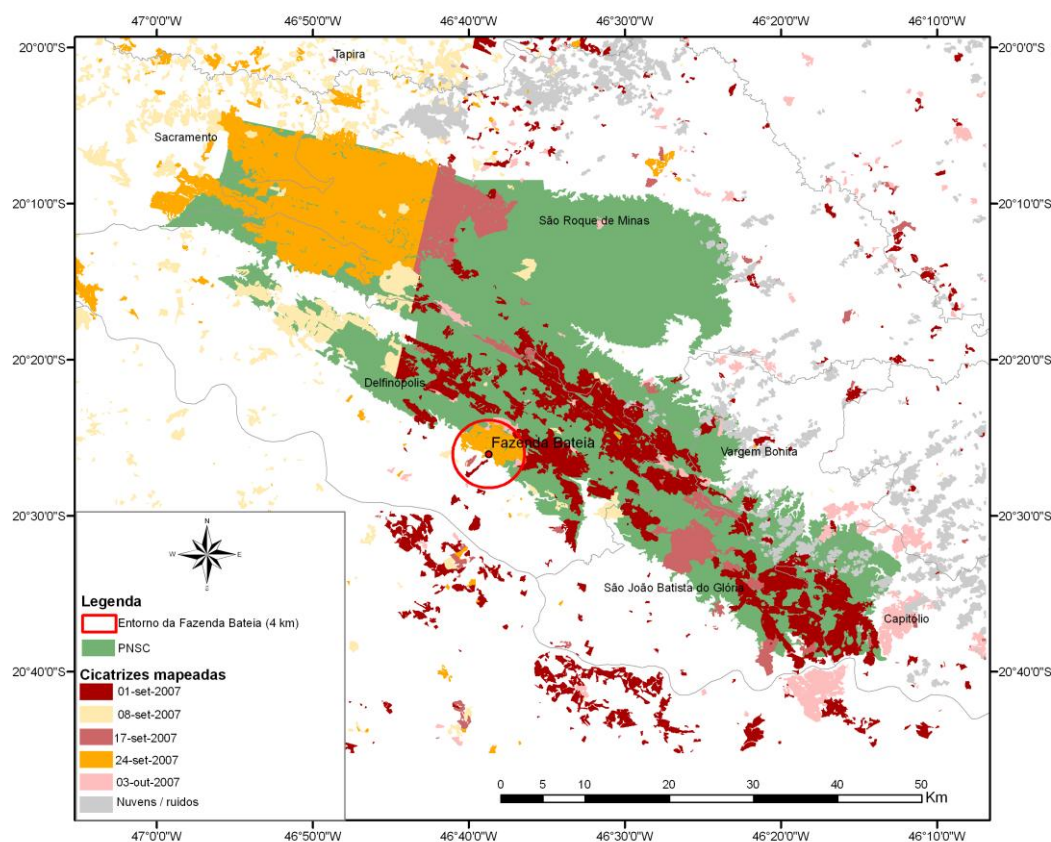


Figura 2. Resultado do mapeamento de cicatrizes de queimadas para a região do PNSC.

A largura da faixa imageada pelo sensor TM (Thematic Mapper) é 185 km e a resolução temporal das imagens de 16 dias não permitem avaliar com detalhes a evolução das cicatrizes ao longo do tempo. Estas características impossibilitam selecionar diretamente cenas orbitais em determinados tempo e

espaço a partir dos focos de calor, que têm resolução temporal diária e cobrem uma área de imageamento maior. As áreas de cicatrizes na imagem de média resolução representam a área afetada decorrente de todo o evento de queima. Por outro lado, os focos representam apenas as frentes de fogo durante a passagem do satélite. Deste modo, uma cicatriz na cena TM pode estar associada a queimadas em qualquer data e hora entre as passagens do satélite Landsat-5, ou ainda a requeimas durante este período de 16 dias, enquanto os focos são mais específicos temporalmente.

3.2 Acurácia espacial dos focos de queimada

3.2.1 Erros de omissão

No período de análise, o INPE registrou 726 focos na área de interesse, conforme a **Tabela 4**.

Tabela 4. Focos detectados no período de análise.

Satélite	Nº de focos no período
AQUA	111
AQUA-M (*)	153
TERRA	69
TERRA-M (*)	131
GOES-10	84
METEOSAT-02	10
NOAA-15	130
NOAA-17	18
NOAA-18	20
Total	726

(*) AQUA_MD e TERRA_MD referem-se aos dados MODIS processados pelo algoritmo desenvolvido pela Universidade de Maryland (USA) na versão 5 (<http://maps.geog.umd.edu/firms/>) e também divulgados pelo INPE.

A **Tabela 5** aponta o percentual de cicatrizes que não foram identificadas pelos focos de calor considerando-se a resolução nominal dos píxeis ao nadir. Quando considerados todos os satélites, 21% das cicatrizes foram detectadas (79% de omissão), e para alguns satélites a omissão foi igual ou próxima a 100%. Queimadas com áreas inferiores ao tamanho nominal do pixel das imagens (100 ha para AQUA e TERRA) são ainda mais difíceis de ser detectadas. Considerando diferentes classes de tamanho de cicatrizes, as diferenças na detecção não foram significantes, e a tendência esperada é que a proporção dos erros de omissão diminua com o tamanho da cicatriz.

Tabela 5. Erros de omissão por satélite e considerando a área das cicatrizes.

	Todas as cicatrizes	< 25 ha	25 a 100 ha	≥ 100 ha
AQUA	95%	98%	97%	74%
AQUA-MD	94%	98%	94%	70%
TERRA	98%	99%	100%	88%
TERA-NA	96%	99%	98%	77%
GOES-10	91%	94%	86%	86%
METEOSAT-02	97%	98%	99%	91%
NOAA-15	96%	97%	98%	88%
NOAA-17	100%	100%	100%	98%
NOAA-18	99%	100%	100%	95%
Todos os satélites	79%	85%	76%	51%

Os erros de omissão podem estar relacionados à disponibilidade de cenas de cada satélite que cobrem a região de interesse, decorrente das condições de recepção, processamento e armazenamento de dados. Para quantificar o total de cenas disponíveis foram utilizados os registros das passagens e seus respectivos “quick looks” obtidos pelos processos de ingestão e disponíveis nas páginas de internet do acervo de imagens do CPTEC/INPE (<http://satellite.cptec.inpe.br/acervo>). Foram verificadas 266 passagens diurnas e noturnas de satélites polares, que não necessariamente têm píxeis de queima, no período de 33 dias (**Tabela 6**). A cobertura de nuvens nestas imagens não foi quantificada.

Tabela 6. Quantidade de cenas disponíveis que cobrem a área de estudo.

Satélites polares	Cenas que cobrem a área de estudo	Cenas com focos
AQUA	29	14
TERRA	30	14
NOAA-15	67	19
NOAA-17	68	04
NOAA-18	72	04
Total	266	55

Estes resultados são condizentes com o estudo de Pereira (2009), na região norte do Estado de Minas Gerais, no qual 29% das queimadas analisadas foram detectadas, com 21% de omissão para as cicatrizes com mais de 100 ha.

Algumas cicatrizes não detectadas estão muito próximas a focos de queima, o que sugere possível deslocamento dos focos, em função da falta de exatidão na navegação do dado. Por isso, foi avaliada a distância das cicatrizes não detectadas dos focos mais próximos (**Figura 3**), e a aceitação de uma dada distância entre cicatrizes e focos pode implicar na redução dos erros de omissão. Isto significa que considerando um deslocamento acima de 4.000 metros, 80% das cicatrizes são detectadas por focos de calor.

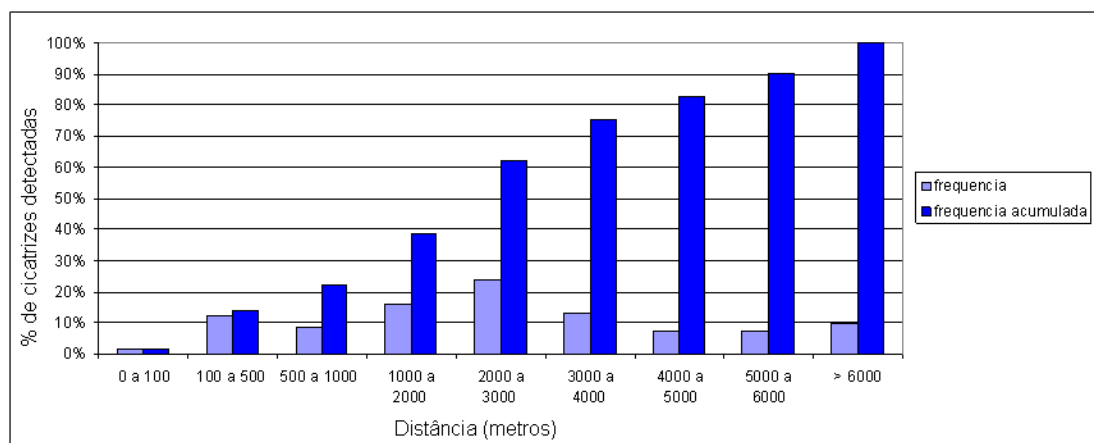


Figura 3. Distância entre as cicatrizes não mapeadas e o foco mais próximo.

Um fator que contribui para o aumento dos erros de omissão é a baixa intensidade da radiação térmica em algumas queimadas. Wang et al. (2007) destacam a dificuldade de detectar queimadas pequenas e de baixa intensidade (*cool fires*) usando os atuais algoritmos, dado que estas queimadas não geram radiação suficiente para penetrar dosséis e não podem ser diferenciadas da radiação das áreas adjacentes não queimadas. Estes eventos exibem diferentes características de acordo com o bioma, quantidade de biomassa combustível, hora do dia, extensão da frente de fogo, estação do ano, e geometria de visada (Giglio et al., 1999). Neste contexto, Csiszar et al. (2003) sugerem que os limiares de detecção do algoritmo sejam ajustados às condições locais de modo a reduzir os erros de omissão e comissão em detecções regionais.

As informações sobre a topografia local também são úteis na avaliação dos erros de omissão. A comparação do ângulo de visada do sensor com a orientação de vertentes topográficas e declividade geradas a partir de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) permitiriam definir áreas em que não foi possível a detecção dos focos porque o sensor não percebeu queimadas encobertas pelo terreno. As cicatrizes que não foram detectadas poderiam ser comparadas às áreas em que a orientação da vertente for oposta ao ângulo de visada do satélite e a declividade for superior a 45% (relevo montanhoso ou escarpado). Entretanto, esta análise não faz parte do escopo deste trabalho.

3.2.2 Erros de comissão

Para o valor nominal do píxel no nadir, a maior proporção de focos superestimados, sem cicatriz correspondente, foi pelo algoritmo adotado pelo INPE para o sensor MODIS/TERRA. O satélite

geoestacionário METEOSAT-02 e o satélite de órbita polar NOAA-12 não apresentaram erros de comissão. De modo geral, os erros de comissão são inferiores a 3% (**Tabela 7**).

Tabela 7. Erros de comissão por satélite.

Satélite	% de comissão
AQUA	0,9%
AQUA_MD	1,3%
TERRA	5,8%
TERRA_MD	2,3%
GOES-10	2,4%
METEOSAT-02	0,0%
NOAA-15	5,4%
NOAA-17	0,0%
NOAA-18	10,0%
Total	2,9%

A análise da distância entre focos superestimados e a cicatriz mais próxima considerando erros de navegação, reduz os erros de comissão. Admitindo um deslocamento de 4.000 metros, 100% dos focos passaram a corresponder a eventos de queimada (**Figura 4**). Considerando que as imagens dos satélites polares NOAA, TERRA e AQUA processadas pelo INPE normalmente apresentam deslocamentos espaciais de alguns quilômetros devido a falhas no processo de sua navegação, este deslocamento deve ser admitido como possível, o que justificaria também grande parte dos erros de comissão usando apenas a resolução nadir dos píxeis.

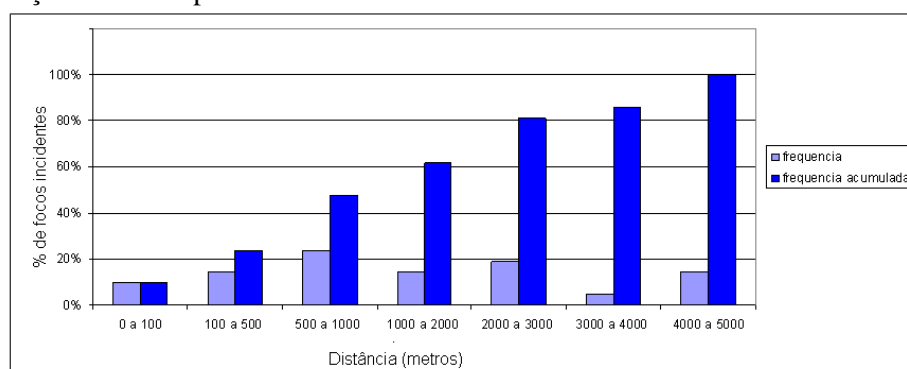


Figura 4. Distância entre os focos e a cicatriz mais próxima.

A premissa de que os pixels vizinhos não associados ao fogo apresentam temperatura de brilho similar não é apropriada para paisagens heterogêneas como o Cerrado, especificamente em áreas de solo exposto e campo limpo. A radiação solar em canais próximos a 4 μm implica em alta temperatura de brilho em solos e rochas expostas, e na vegetação senescente ou esparsa, além de efeitos de *sunlint* em corpos d'água e bordas de nuvens. Esta condição reduz o contraste entre os píxeis de fogo e seu entorno (Justice et al., 2002; Csiszar et al., 2003) e é decorrente da sensibilidade à radiação solar de solos expostos em ângulos de visada específicos, que produzem o mesmo sinal dos focos ativos. No Cerrado, o fogo se dissipa rapidamente e, como resultado, os focos podem já não estar ativos no momento da passagem do satélite. A maior parte dos focos ativos está associada a dados provenientes de satélites de órbita polar, cuja frequência de passagem é restrita e, portanto, apenas uma parte dos eventos de queimada é registrada por estes satélites. Por esta razão, o uso de sistemas geoestacionários, com ciclos de repetição de até quinze minutos, é de grande importância no registro de queimadas também (Roberts e Wooster, 2008). Outra razão para os erros de comissão é a mudança da cobertura da terra no período entre a ocorrência da queimada e a detecção pelo sensor de média resolução, visto que as áreas agrícolas são aradas após a ocorrência do fogo. A dispersão de cinzas pelo vento e a rebrota da vegetação neste período também podem resultar em problemas na identificação de cicatrizes (Pereira Jr. e Setzer, 1996).

4. Conclusões

Os resultados apresentados neste trabalho mostram que, se considerada a resolução espacial nominal de um píxel nadir nas imagens de satélites, os algoritmos de detecção de focos de calor adotados pelo INPE têm baixa acurácia no bioma Cerrado e estão fornecendo uma amostra limitada das queimadas na região. Incluindo-se desvios, causados pelo maior tamanho dos píxeis fora do centro das imagens (até ~3 com MODIS e ~4 km com AVHRR nas bordas), e por limitações na navegação geométrica das imagens, os resultados são significativamente melhores: 20% de erros de omissão, com 80% dos eventos detectados, e erros de comissão praticamente inexistentes. Os resultados são similares a outros estudos realizados no Cerrado, como por exemplo, o de Pereira (2009).

Entretanto, devem ser avaliadas outras circunstâncias não contempladas neste trabalho, como declividade do terreno a partir de dados SRTM, ângulo de visada dos sensores, interferência atmosférica nos limiares adotados pelos algoritmos, fitofisionomias presentes na área de estudo, temperatura de brilho nos píxeis associados às cicatrizes, rápidas mudanças na cobertura do solo, e simultaneidade entre a passagem do satélite e duração do fogo.

Agradecimentos

Os autores reconhecem o suporte do CNPq, processo 384538/2009-6.

Referências Bibliográficas

- Csiszar, I.; Abdelgadir, A.; Li, Z.; Jin, J.; Fraser, R.; Hao, W. M. Interannual changes of active fire detectability in North America from longterm records of the Advanced Very High Resolution Radiometer. **Journal of Geophysical Research**, v. 108(D2), p. 4075–4085, 2003.
- Giglio, L.; Kendall, J. D.; Justice, C. O. Evaluation of global fire detection using simulated AVHRR infrared data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, p. 1947–1985, 1999.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Monitoramento de queimadas**. Disponível em: <<http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/apresentacao.html/>>. Acesso em: 20 ago. 2010.
- Justice, C. O., Giglio, L., Korontzi, S., Owens, J., Morisette, J. T., Roy, D., et al. The MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 244–262, 2002.
- Medeiros, M.B.; Fiedler, N.C. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: Desafios para a conservação da biodiversidade. **Ciência Florestal**, v.14, n.2, p.157-168, 2004.
- Pereira, A.A. Uso de geotecnologia para detecção e análise de queimadas e focos de calor em unidades de conservação no norte de Minas Gerais, 2009. 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- Pereira Jr., A.C.; Setzer, A.W. Comparison of fire detection in savannas using AVHRR's channel 3 and TM images. **International Journal of Remote Sensing**, v.17, n.10, p. 1925-1937, 1996.
- Roberts, G.J.; Wooster, M.J. Fire detection and fire characterizations over Africa using Meteosat SEVIRI. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.46, n.4, p.1200-1218, 2008.
- Wang, W.; Qu, J.J.; Hao, X.; Liu, Y.; Sommers, W.T. An improved algorithm for small and cool fire detection using MODIS data: A preliminary study in the southeastern United States. **Remote Sensing of Environment**, v.108, p.163-170, 2007.