

ESTIMATIVA QUINZENAL DE ÁREAS QUEIMADAS

Alberto Setzer

Fabiano Morelli

Roberto Rivera-Lombardi

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

28.1 Introdução

A ocorrência de fogo na vegetação do Brasil é monitorada por meio das plataformas Terra e Aqua além dos satélites NOAA e GOES. Mapas resumindo as detecções termais indicam anualmente de cem mil a trezentos mil *pixels* com a presença de fogo no Brasil, considerando-se apenas as imagens diárias de uma das plataformas. Somando os dados de todos imageamentos disponíveis, a marca de um milhão de *pixels* indicando fogo é facilmente ultrapassada. Inúmeros produtos apresentam estes resultados, permitindo analisar padrões temporais e espaciais de ocorrência do fogo, que em sua quase totalidade é de origem antrópica intencional (p.ex., INPE, 2006, e De Souza et al., 2004).

Os efeitos nocivos do uso descontrolado do fogo nos ecossistemas do Brasil e suas conseqüências ambientais negativas já são reconhecidos, e dois exemplos recentes ilustram esta condição. No primeiro, o IBGE e o MMA (IBGE, 2005) apontam que em 64% dos 5.560 municípios brasileiros as queimadas¹ são a causa principal de poluição atmosférica; considerada por região, esta porcentagem varia de 93% na região norte a 42% na região sul, e mesmo em municípios mais industrializados as queimadas são também a principal fonte de poluição. No segundo exemplo, relativo à contribuição brasileira nas emissões de gases associadas às mudanças globais, mais de 75% deve-se à queima de vegetação (MCT, 2004).

Se por um lado, a localização dos focos por satélites tem apresentado aplicações e resultados práticos satisfatórios no contexto da dimensão continental do Brasil e da falta de outras opções de monitoramento, por outro, inexistem métodos e produtos adequados (Boschetti et al., 2004) para estimar a extensão da superfície queimada,

1: O termo "queimada" neste trabalho, conforme seu uso popular, se refere a qualquer tipo de queima de vegetação, incluindo renovação de pastos, novos desmatamentos, os chamados incêndios florestais, etc.

informação esta, essencial em inúmeros contextos científicos, técnicos e administrativos. O presente trabalho apresenta a primeira versão do método desenvolvido no INPE para estimar áreas queimadas no País em base operacional quinzenal usando imagens MODIS, bem como os resultados já obtidos.

28.2 Identificação de áreas queimadas nas imagens MODIS

28.2.1 Estado da arte

É importante diferenciar dois tipos de detecção de queimadas por sensoriamento remoto: a de queimadas ativas, ou seja, com presença do fogo; e a das áreas queimadas, onde se observam as cicatrizes deixadas pelo fogo após sua extinção. A detecção dos focos é o registro instantâneo apenas dos materiais com temperaturas de algumas centenas de graus centígrados devido à combustão, usando-se a banda na faixa de 3,7 a 4 μm . Na detecção das áreas, mapeia-se a extensão da vegetação destruída ou afetada pelo fogo a partir da mudança das características espectrais em imagens obtidas antes e depois da ocorrência do fogo. Neste último contexto pode-se considerar uma queimada individual, com data e local conhecidos em dada região, que é mapeada posteriormente com resultados em geral satisfatórios – por exemplo, estimativas MODIS de áreas queimadas para eventos na Espanha em 2003, apresentaram diferenças de 4% a 31% em relação aos dados de resolução espacial média (Merino-de-Miguel et al., 2005). Outra situação implica tanto na detecção como na avaliação rotineira das áreas queimadas em regiões muito vastas, sem qualquer informação prévia e adicional. O texto a seguir aborda a estimativa das áreas queimadas de modo rotineiro para todo País.

Imagens de vários satélites e sensores com baixa resolução espacial (da ordem de ~ 1 km) e obtidas algumas vezes por semana, têm sido usadas com diferentes algoritmos na estimativa de áreas queimadas em escala continental. Porém, os resultados são poucos satisfatórios, cabendo citar o trabalho de Boschetti et al. (2004) que comparou as estimativas de dois produtos globais para o ano de 2000: o “GlobScar”, gerado com as imagens ATSR-2 do satélite ERS-2, e o GBA (*Global Burnt Area*), a partir das imagens do sensor Vegetation do satélite SPOT-4 (ambos sensores com resolução espacial de 1 km). As diferenças entre os resultados são excessivas, superiores a duas ordens de magnitude quanto à superfície estimada, e com variações marcantes em termos dos locais atribuídos a queimas e também aos períodos de ocorrência do fogo. Dificultando ainda mais a questão, nenhum dos dois produtos apresentou-se mais confiável que o outro. As referências destes dois produtos de área queimada são, respectivamente, Simon et al. (2004) e Tansey et al. (2004). Boschetti et al. (2004) recomendaram a realização de trabalhos de validação das detecções para superar as limitações atuais na estimativa de superfícies queimadas.

Produtos do sensor MODIS das plataformas Terra e Aqua que incluem a detecção de focos ativos e a estimativa de áreas queimadas (Justice et al., 2002a e b; Roy et al., 2005a e b) criaram a expectativa de estimar áreas queimadas no planeta, em particular com as imagens de resolução nominal de 250 m e de 500 m. Embora as imagens MODIS estão disponíveis desde o início de 2000, as estimativas de áreas ainda são limitadas a testes de validações em regiões específicas. Para a região norte do Estado

de Mato Grosso por exemplo, o produto MOD14 comparado com as imagens Landsat-TM, em um período de 16 dias em 2004 (Piromal et al., 2004), detectou 8% do total de áreas queimadas, subestimou 7% das áreas queimadas (em geral menores que 100 ha) e superestimou em 85% as áreas queimadas, pela confusão com áreas de solos expostos. Soja et al. (2005) compararam dados do MODIS com validações em imagens ETM+ do Landsat-7, e com bases de registros de campo para o período de maio a agosto de 2002 na Flórida, EUA, relataram que apenas 8% dos casos coincidiram; quando se incluíram dados das detecções do satélite GOES, este total passou a 54%. Validações regionais de áreas queimadas com os produtos MODIS da NASA ainda estão sendo feitas, e espera-se sua divulgação no futuro próximo (Roy et al., 2005a e b).

28.2.2 Conceito do método

Produtos que estimam a superfície queimada (Justice et al., 2002a e b; e Roy et al., 2005a e b) partem de mosaicos quinzenais de bandas individuais dos sensores e aplicam algoritmos sobre estes mosaicos, como na geração de produtos do tipo “mudança de uso do solo” e de “área queimada”. Este conceito de primeiro gerar mosaicos básicos, e a partir deles determinar alterações na cobertura vegetal foi inicialmente tentado pelos autores, após a geração de mosaicos quinzenais para todas as imagens MODIS disponíveis para os anos de 2003 e 2004. Porém, em análises de validação com imagens de média resolução espacial, os resultados apresentaram casos excessivos de omissão na detecção de áreas queimadas. Esta limitação decorreu do fato que a geração de mosaicos tende a deturpar dados pontuais, como o de queimadas, em particular pelo “tamanho do *pixel*” e pela “navegação e projeção cartográfica” conforme indicadas a seguir.

- a) Tamanho do *pixel* - Pelas características físicas do sensor MODIS e da altura de sua órbita, a dimensão transversal de um *pixel* em relação à direção da órbita varia de um fator de até 4 vezes. Nas bandas com resolução nominal de 250 m, no nadir, este valor chega a 1 km na borda da imagem, e nas bandas de 1 km, a distorção nas bordas chega a 4 km. Por princípio, a acurácia de um valor não pode ser menor que sua unidade básica usada na medida, ou seja, a localização de um determinado *pixel* no mosaico composto, na melhor das hipóteses estará num círculo com raio do tamanho do *pixel* original, portanto de ± 1 *pixel* a ± 4 *pixels* no mosaico se todas as colunas da imagem forem utilizadas.
- b) Navegação e projeção cartográfica - Os mosaicos para a região de cobertura das imagens MODIS do INPE são imagens com 5.400 linhas e 5.400 colunas em sistema de projeção cartográfica policônica, onde cada célula possui tamanho padrão de 1 x 1 km (**Figura 28.1**). O problema em questão ocorre no processo de reprojeção e reamostragem dos *pixels* com tamanhos variados das imagens originais, pois os mosaicos têm suas células constituídas pela repetição do valor de *pixels* que originalmente eram de dimensões diferentes (menores que a dimensão de uma célula do mosaico). Ou seja, o método de amostragem das imagens originais e de geração de mosaicos, modifica os valores originais usando médias de *pixels* contíguos em alguns casos e eliminando *pixels* em outros.

Constatou-se que pela combinação destes dois aspectos, um *pixel*, que na imagem original mostra uma área queimada, pode desaparecer ou ter seu valor original alterado ao ser convertido para um produto geometricamente corrigido ou reamostrado, como são os mosaicos compostos de imagens de várias passagens diárias. Adicionalmente, a geração de mosaicos de bandas individuais ou de produtos derivados usa critérios de substituição de *pixels* à medida que novas imagens são acrescentadas ao mosaico. Por exemplo, a geração de um mosaico de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* ou IVDN; Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) prioriza valores mais altos e a ocorrência de uma queimada não é incluída se houver dados de dias anteriores à sua ocorrência; isto porque o NDVI da vegetação é maior antes do que após a queima, e assim o mosaico NDVI tende a não mostrar queimadas do período por ele abrangido. Conseqüentemente, optou-se em fazer a detecção das áreas queimadas nas imagens brutas individuais, e uma vez determinado um *pixel* de área queimada esta informação é transferida para um mosaico. Embora esta lógica seja simples e óbvia, os produtos gerados em outras instituições não a utilizam, e os autores do presente trabalho precisaram mais de dois anos de trabalho intensivo até constatar que os algoritmos de área queimada, encontrados na literatura, são intrinsecamente limitados.

28.2.3 Algoritmo

O algoritmo utilizado para áreas queimadas baseia-se no trabalho de França (2001) para imagens AVHRR do satélite NOAA-14, o qual determinou que a melhor identificação de superfícies queimadas se faz por meio dos dados da banda centrada em 3,7 μm , do NDVI, e de um NDVI de referência (máximo anual). O erro médio obtido para o bioma Cerrado foi de $\pm 20\%$ em comparação com validações em imagens TM do Landsat-5 de média resolução espacial, que é muito melhor do que outros resultados encontrados na literatura.

O potencial do uso da banda 3,7 μm para detectar alterações na cobertura vegetal já havia sido mostrado por Amaral (1992), Di Maio-Mantovani e Setzer (1997) e por Kaufman e Remer (1994). Esta detecção nada tem a ver com a detecção de queimadas ativas, e os *pixels* não saturam; as variações na cobertura vegetal são marcantes na banda 3,7 μm em função desta banda combinar tanto informações da temperatura da superfície como da luz solar refletida. Conforme resumido por Pereira et al. (1997) ao analisarem métodos de sensoriamento remoto para áreas queimadas, a combinação das faixas espectrais do infravermelho próximo (0,7 a 1,1 μm) e do infravermelho-médio (3,5 a 4 μm) mostrou ser a mais adequada para discriminar áreas queimadas. Entretanto, apesar das evidências em seu favor, ainda não se encontram na literatura produtos de monitoramento da vegetação com a banda 3,7 μm .

Uma primeira diferença deste algoritmo MODIS com relação aos resultados obtidos por França (2001) é a quantidade de classes obtidas ao final do processamento. Enquanto o método com as imagens AVHRR gerava um conjunto de 8 classes (área queimada, área não queimada, queimadas prévias, água, solos expostos, área agrícola, nuvens e oceanos), o algoritmo adaptado para as imagens MODIS da

plataforma Aqua simplifica o resultado para apenas duas classes: área queimada e área não queimada.

As principais etapas do atual processamento para determinar área queimada nas imagens MODIS da plataforma Aqua recebidas no INPE estão descritas a seguir.

Os dados CADU (*Channel Access Data Units*) são recebidos pela estação *SeaSpace TeraScan Systems* de Cuiabá, MT, e gravados em fita. Em Cachoeira Paulista, SP, no sistema de processamento, e a partir das curvas de calibração atualizadas das várias bandas, é feita a conversão de radiância para temperatura de brilho nas bandas 20 (3,660 a 3,840 μm) e 21 (3,929 a 3,989 μm). É feita também uma reamostragem da banda 1 (0,620 a 0,670 μm) e da banda 2 (0,841 a 0,876 μm), mudando sua resolução nominal de 250 m para a mesma das bandas 20 e 21, ou seja, de 1 km. As imagens individuais de cada passagem da plataforma Aqua depois das 15:50 h (UTC), são verificadas visualmente quanto à navegação automática, e se necessário é feita uma navegação manual complementar. Usa-se a banda 21 para confirmar a saturação de *pixels* da banda 20 inicialmente classificados pelo sistema como ausência de dados, e que passam a ter o valor “77”, ou são rejeitados no caso de ruído. Rejeitam-se *pixels* maiores que 2 km na banda 20, aceitando os ângulos de visada do satélite menores que 46° (**Figura 28.2**). Rejeitam-se *pixels* da banda 20 com radiância maior que 180 na banda 1, para eliminar superfícies muito refletivas. Calculam-se os NDVIs a partir dos *pixels* das bandas 1 e 2 da cena atual e atualiza-se o mosaico NDVI de referência pelo critério do maior valor. Gera-se o mosaico de Máxima Temperatura das últimas 15 passagens disponíveis com as imagens da banda 20 (**Figura 28.1**).

Em seguida aplica-se o algoritmo na imagem bruta, cujos critérios de aceitação de um *pixel* como sendo área queimada, são possuir:

- temperatura de brilho da banda 20 (3,8 μm) maior que 54,7°C na cena atual;
- NDVI maior que +0,15 na cena atual;
- *pixel* correspondente no mosaico de referência anual NDVI maior que -0,15;
- diferença de temperatura maior que 25°C entre a banda 20 da cena atual e o mesmo *pixel* no mosaico de Máxima Temperatura das 15 cenas anteriores;
- co-seno menor que 0,994 para o ângulo solar, eliminando *pixels* sujeitos à forte reflexão solar (**Figura 28.2 e Figura 28.3**).

Por último, manipulam-se os dados de saída, com a atualização dos seguintes arquivos:

- mosaico de controle de processo, com número de passagens usadas e de *pixels* úteis;
- texto do banco de dados de coordenadas centrais dos novos *pixels* de área queimada;
- texto integrado para as quinzenas terminadas nos dias 16 e 31 (ou o mais próximo) de cada mês, compatível com SIGs em geral.

Os limiares empregados foram fixados empiricamente após o exame dos resultados do processamento de todas as 524 imagens MODIS da plataforma Aqua existentes para o ano de 2004, refeito sucessivamente cinco vezes até que fossem eliminadas quaisquer evidências de detecções errôneas de áreas queimadas. Os li-

miares são considerados conservativos, e com as análises de casos específicos que foram e estão sendo feitos com imagens de média resolução (TM do Landsat-5 e CCD do CBERS-2 – ver exemplo a seguir), espera-se otimizar os resultados.

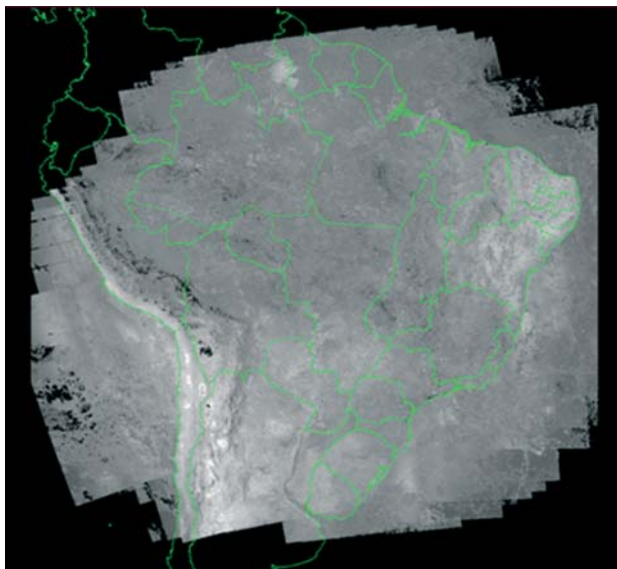


Figura 28.1 - Mosaico de 15 dias de imagens da banda 20 do MODIS da plataforma Aqua recebidas pelo INPE, mostrando a área de abrangência na América do Sul.



Figura 28.2 - A elipse em branco indica a parte com maior intensidade de reflexo solar, e as laterais em branco as colunas com maior distorção dos *pixels*; ambas são eliminadas no processamento.

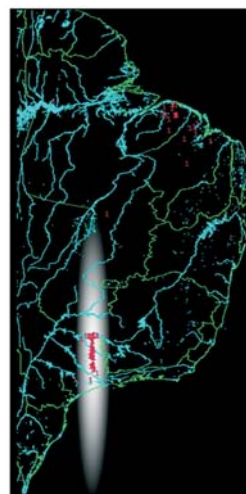


Figura 28.3 - A elipse de maior intensidade de iluminação solar com os *pixels* (em vermelho) erroneamente classificados como área queimada devido à presença de corpos d'água. Os demais *pixels* vermelhos indicam áreas queimadas.

28.3 Quantificação de áreas queimadas utilizando dados do sensor MODIS

Para exemplificar as fases do processamento, foi selecionada a cena MODIS da plataforma Aqua do dia 08 de setembro de 2004, 16:56 h, e definida como área de trabalho o Distrito Federal. A **Figura 28.4** apresenta todos os possíveis *pixels* de queimadas, filtrados pelo critério de temperatura de brilho maior que 54,7°C na banda 20 – notar a alta seletividade desta condição. Nela há um contorno vermelho nos *pixels* com alta temperatura, e um outro verde no único que foi classificado como queimada pelo algoritmo após a aplicação de todos os critérios.

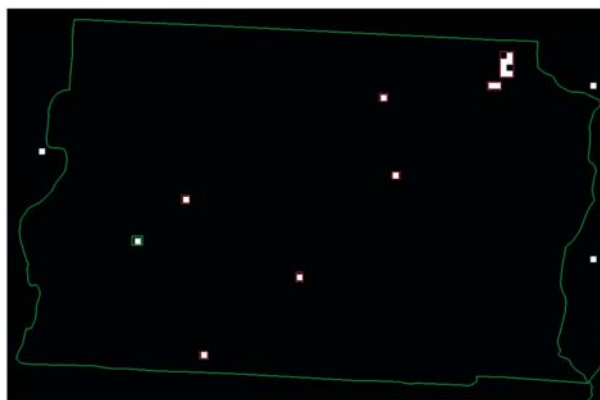


Figura 28.4 - *Pixels* no DF com temperatura de brilho da banda 20 maior que 54,7°C.

Os resultados parciais deste algoritmo MODIS para as variáveis utilizadas estão apresentados a seguir com a finalidade de ilustrar as etapas de aceitação de *pixels*. Os *pixels* em branco na **Figura 28.5** possuem NDVI maior que -0,15 na cena do dia 08 de setembro de 2004. Os *pixels* com contorno vermelho e verde, que são os mesmos da **Figura 28.4**, ainda podem ser considerados como queimadas uma vez que estão acima do limiar de corte deste parâmetro.

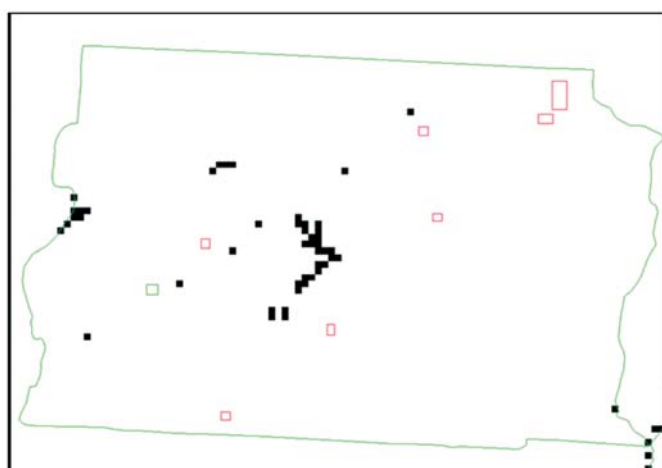


Figura 28.5 - *Pixels* (em branco) no DF com NDVI atual > -0,15.

A **Figura 28.6** apresenta o resultado somente do critério que exige que o NDVI de referência anual seja maior que +0,15, e na qual nota-se que apenas dois *pixels* não atendem ao critério – ver canto superior direito, dentro do retângulo vermelho – e que a grande maioria ainda pode ser considerada como queimada.

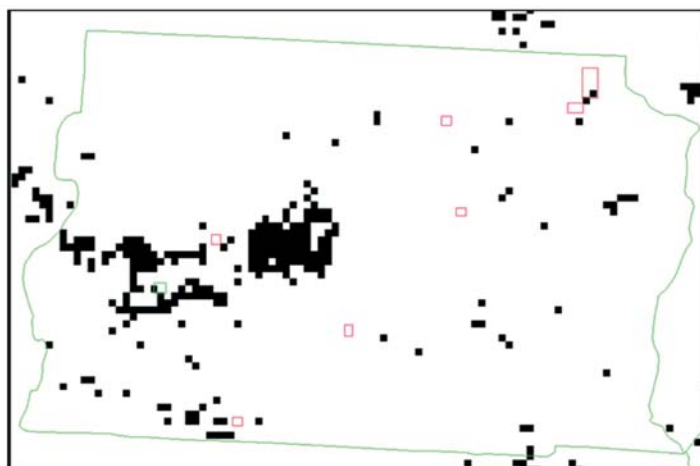


Figura 28.6 - *Pixels* (em branco) no DF com NDVI de referência anual > +0,15.

Na **Figura 28.7** é apresentado o resultado do último critério do método, ou seja, ter a diferença entre a temperatura atual e a temperatura máxima das últimas 15 cenas maior que 25°C; nela, os valores desta diferença estão inseridos apenas para os *pixels* com contorno vermelho e verde, notando-se que somente um *pixel* atendeu ao critério, com temperatura de 31°C.

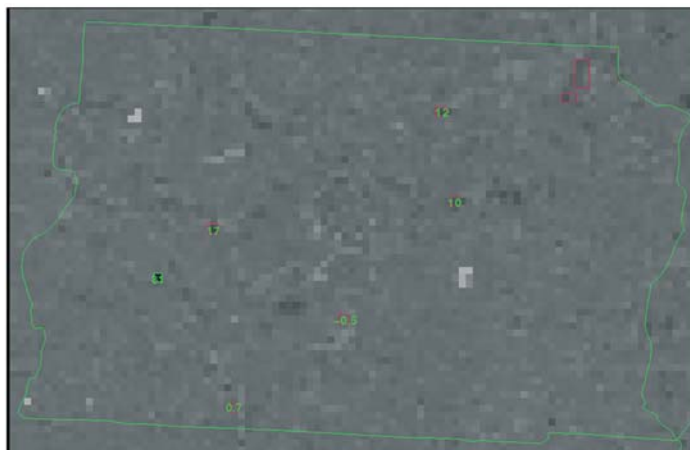


Figura 28.7 - Imagem de diferença (Temperatura atual – Temperatura anterior) no DF.

Uma verificação preliminar destes resultados pode ser feita por meio do sistema operacional de monitoramento de queimadas do INPE, que registra os focos de queima de vegetação em imagens de inúmeros satélites, e os apresenta para uso público na internet (INPE, 2006). Entretanto, algumas limitações da detecção de

focos devem ser consideradas na comparação com os dados de área queimada: pequenas frentes de fogo, com 30 m de comprimento, são detectadas como tendo um *pixel* de tamanho (1,2 a 4 km²), e muitos focos deixam de ser detectados por não estarem ativos no instante do imageamento.

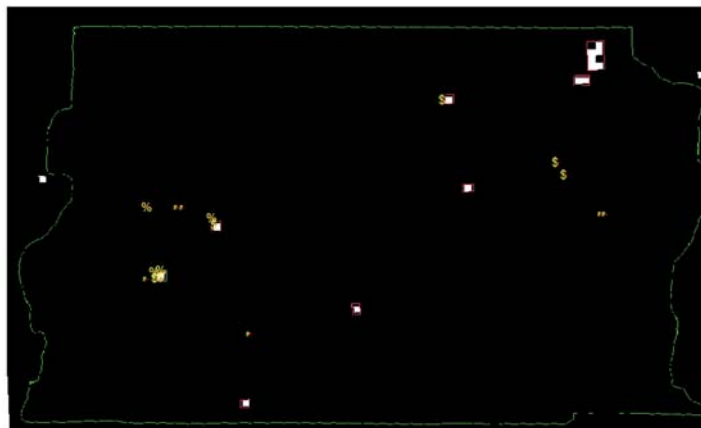


Figura 28.8 - Comparação com focos do mesmo dia detectados pelo AVHRR a bordo dos NOAA-12 e -16 (círculos amarelos), pelo produto MODIS da NASA (quadrado amarelo) e pelo produto MODIS do INPE (triângulo amarelo).

Na **Figura 28.8** nota-se boa coerência espacial entre o *pixel* de área queimada destacado pela linha verde e os vários focos de queima de vegetação detectados no mesmo local. Observa-se adicionalmente vários focos de queima sem correspondência de área queimada, inclusive em dois locais onde a diferença da temperatura de brilho está entre 10°C e 31°C com contorno de linha vermelha. A eliminação de vários eventos de queima deveu-se possivelmente a dois fatores: a) limiares conservativos do algoritmo de área queimada previstos na sua própria concepção; e b) ocorrência de queimadas com frentes de fogo de apenas algumas dezenas de metros, as quais não produzem alteração na cobertura vegetal capaz de ser detectada em *pixels* com resolução de 1 km. Vários trabalhos de validação por meio de imagens de alta resolução estão sendo conduzidos para calibrar e aprimorar os atuais limiares do algoritmo – ver exemplo abaixo para o Parque Nacional de Ilha Grande.

Como conclusão preliminar, o algoritmo atual não está apresentando erros de comissão, ou seja, falsos positivos, mas cabe uma melhor análise do seu desempenho quando comparado com os focos de calor, bem como com validações de campo ou de imagens de média resolução.

28.4 Testes preliminares de validação

Vários casos de validação em diferentes biomas estão sendo realizados para aprimorar os limiares das variáveis do algoritmo de detecção de áreas queimadas. Um exemplo recente é o da grande queimada no Parque Nacional de Ilha Grande, na divisa entre os Estados do Paraná e Mato Grosso do Sul, no período de 30 de abril a 15 de maio de 2006. As **Figura 28.9** e **Figura 28.10** mostram as imagens Landsat-TM (órbita 224, ponto 76) dos dias 26 de abril e 12 de maio de 2006, res-

pectivamente, sendo que a devastação da queimada é notada na segunda imagem; na **Figura 28.11** observa-se também os 413 focos detectados por todos satélites do sistema de monitoramento do INPE por ocasião deste evento, incluindo-se muitos que se sobrepõem. Destes focos 198 ocorreram no dia 04 de maio e 145 no dia 05 de maio. A **Figura 28.12** apresenta os *pixels* de área queimada identificados pelo algoritmo MODIS, cabendo observar que são em número de 57, correspondendo portanto a 57 km² de área queimada. Por outro lado, a análise das imagens TM do Landsat-5 resultou na estimativa de 220 km² queimados no parque. Ou seja, o algoritmo automático das imagens MODIS da plataforma Aqua subestimou esta área queimada por um fator de 3,9 vezes.

As possíveis razões para a subestimativa da área queimada são três: 1) apenas nove imagens MODIS da plataforma Aqua cobriram o parque, pois nas outras ele ficou fora das imagens ou não foi considerado por estar na faixa próxima às bordas que é desprezada; 2) limiares conservativos das variáveis do algoritmo; 3) limitação de imageamento do sensor MODIS conhecida por “*bow-tie*”, que em boa parte de todas as imagens causa duplicação e omissão de blocos de 10 linhas contíguas, prejudicando o monitoramento de alvos com poucos km². Esta última razão, que possivelmente é a principal, não pode ser solucionada, e os processamentos de correção de “*bow-tie*” são apenas parcialmente efetivos. A segunda razão é também relevante no contexto do algoritmo ter sido concebido justamente para registrar o sinal da queimada por vários dias após sua ocorrência. Testes com outras áreas de conservação no Brasil foram e estão sendo feitas, simultaneamente com a análise das imagens MODIS e dos limiares do algoritmo para otimizar a detecção de áreas queimadas.



Figura 28.9 - Imagem TM do Landsat-5 de 26 de abril de 2006 com recorte do Parque Nacional de Ilha Grande - anterior à queimada que começou no dia 30 de abril de 2006.



Figura 28.10 - Imagem TM do Landsat-5 de 12 de maio de 2006 com recorte do Parque Nacional de Ilha Grande - posterior às queimadas que terminaram em 15 de maio de 2006.



Figura 28.11 - 413 focos de queima (pontos brancos) de vegetação detectados por todos satélites do sistema de monitoramento do INPE, no período de 30 de abril a 14 de maio de 2006 no interior do Parque Nacional de Ilha Grande.



Figura 28.12 - 57 *pixels* de área queimada (pontos amarelos) classificados pelo algoritmo MODIS de Detecção de Áreas Queimadas, no período de 30 de abril a 14 de maio de 2006 no interior do Parque Nacional de Ilha Grande.

28.5 Interface para os usuários

Mantendo a política de fornecimento irrestrito de dados do INPE, como no caso dos produtos de queimadas e desmatamento (INPE, 2006), os resultados deste algoritmo de Detecção de Áreas Queimadas utilizando o sensor MODIS desde janeiro de 2004, podem ser acessados pública e gratuitamente na internet em um sistema de informações geográficas. O sistema, denominado Banco de Áreas Queimadas (ver **Figura 28.13**), permite visualizar todos os *pixels* de área queimada, com dimensão de 1 km², e emitir relatórios de quantificação do total de áreas queimadas por país, estados, municípios, bases operacionais do IBAMA, cenas CBERS e Landsat, além de representar a variação temporal por mês e semana. Para maiores detalhes, acessar <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdarea/indexarea.php>.

Dentre os recursos disponíveis para cruzamento de informações, pode-se utilizar imagens orbitais do MODIS e mosaicos das imagens TM do Landsat-5, mapas temáticos de desmatamento gerados pelo projeto INPE desde 2000, e outras bases cartográficas como divisão política, rios, estradas, unidades de conser-

vação federais e estaduais e a grade de geolocalização das imagens adquiridas pelos satélites CBERS e Landsat. O usuário pode comparar as detecções de focos de queimadas com as áreas queimadas, inclusive com capacidade de exportar dados para uso em qualquer outro sistema. A tendência é a do crescimento dos planos de informação do sistema, à medida que o próprio INPE incrementa suas bases de dados.

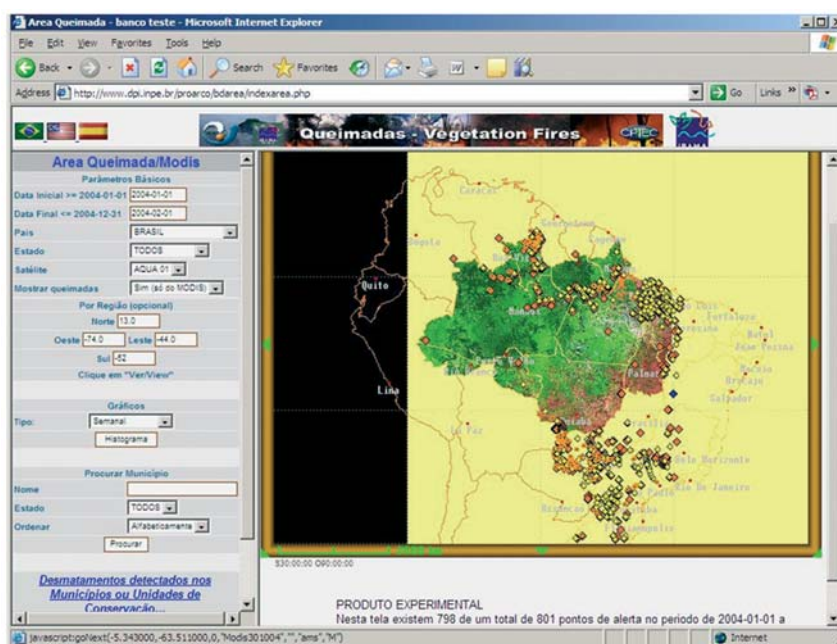


Figura 28.13 - Exemplo da interface do usuário para acesso via internet dos dados MODIS de área queimada.

Considerações finais

A detecção automática de vegetação em estado de combustão ativa nas imagens de baixa resolução (~1km) de satélites é feita automaticamente de maneira relativamente simples, pois os *pixels* de interesse apresentam temperaturas na faixa de 3,7 a 4,0 μm muito mais altas do que os da vegetação normal. No caso da determinação da extensão das áreas queimadas, a questão é muito mais complexa, e os erros associados dificilmente serão menores do que 20%. As dificuldades envolvidas incluem: 1) a assinatura espectral não se destaca tanto; 2) a maioria das queimadas no Brasil é de dimensão inferior à do *pixel*; 3) a vegetação pode ser queimada apenas parcialmente; 4) a vegetação viva queima distintamente de vegetação morta; 5) no caso de pastos e cerrados, o crescimento de nova vegetação pode ocorrer em poucos dias mudando completamente a característica do alvo; e 6) as imagens MODIS apresentam limitações técnicas intransponíveis que limitam a comparação temporal de mosaicos. Novos sensores orbitais a serem lançados em futuro próximo deverão permitir avanço significativo nas estimativas operacionais de área queimada.

Referências Bibliográficas

- AMARAL, S. Imagens do Sistema Sensor AVHRR/NOAA na detecção e avaliação de desmatamentos na floresta Amazônica - Relações com dados do sistema TM/LANDSAT. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE-5501-TDI/516). Dissertação em Sensoriamento em Sensoriamento Remoto. 1992.
- ANDERSON, L.O., SHIMABUKURO, Y.E., DEFRIES, R., MORTON, D. Assessment of deforestation in near real time over the Brazilian Amazon using multitemporal fraction images derived from Terra/MODIS. *IEEE Geosciences and Remote Sensing letters*, v. 2, n. 3, p. 315-318, 2005.
- BOSCHETTI, L.; EVA, H. D.; BRIVIO, P. A.; GRÉGOIRE, J. M. Lessons to be learned from the comparison of three satellite-derived biomass burnings products. *Geophysical Research. Letters*, 31, L 21501, doi:10.1029/2004GL021229, 2004.
- DE SOUZA, P. A. L.; SISMANOGLU, R. A.; LONGO, K. M.; MAURANO, L. E.; RECUERO, F. S.; SETZERA, W.; YOSHIDA, M. C. Avanços no Monitoramento de queimadas realizado no INPE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13. Fortaleza, 2004. Anais... Fortaleza: SBMET, 2004.
- DI MAIO-MANTOVANI; A., SETZER, A.W. Deforestation detection in the Amazon with an AVHRR-based system. *International Journal of Remote Sensing*, v.18, n. 2, p. 273-286, 1997.
- FRANÇA, H. Metodologia de identificação e quantificação de áreas queimadas no cerrado com imagens AVHRR/NOAA. Tese de doutorado, Instituto de Biociências - USP, São Paulo, 121 pp., maio/2001.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Perfil dos Municípios Brasileiros – Meio Ambiente, 2002. IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro: IBGE, 2005, 394 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Monitoring of the Brazilian Amazonian forest by satellite, 2000-2001. São José dos Campos: INPE, 2002.
- INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Páginas internet do monitoramento de queimadas. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/queimadas>> e <<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas>>. Acesso em: jul. 2006.
- JUSTICE, C.; TOWNSHEND, J.; VERMOTE, E.; MASUOKA, E.; WOLFE, E.; SALEOUS, N.; ROY, D. P.; MORISSETTE, J. An overview of MODIS land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, p. 3-15, 2002a.
- JUSTICE, C. O.; GIGLIO, L.; KORONTZI, S.; OWENS, J.; MORISSETTE, J.; ROY, D. P.; DESCLOITRES, J.; ALLENAUME, S.; PETITCOLIN, F.; KAUFMAN, Y. The Modis fire products. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, p. 244-262, 2002b.
- KAUFMAN, Y. J.; REMER, L. A. Detection of Forests Using Mid-IR Reflectance: Application for Aerosol Studies. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 32, n. 3, p. 672-683, 1994.
- MCT - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Comunicação Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia. 274 p., 2004.
- MERINO-DE-MIGUEL, S.; GONZÁLEZ-ALONSO, F.; GARCIA-GOGORRO, S.; ROLDÁN-ZAMARRON, A.; CUEVAS, J.M. Is it possible to timely and accurately estimate wildfire burnt areas using remote sensing techniques? In: OLUIC, M. (Ed.). EARSEL SYMPOSIUM, NEW STRATEGIES FOR EUROPEAN REMOTE SENSING, 24. Dubrovnik, 2004. Proceedings... Millpress Rotherdam, p. 81-88, 2005.
- PIROMAL, R. A. S.; RIVERA-LOMBARDI, R. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R.; KRUG, T. Avaliação do desempenho do algoritmo do produto MOD14 na detecção de queimadas no estado de Mato Grosso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. Goiânia, 2004. Anais... São José dos Campos: INPE, p. 3317-3324, 2004.
- PEREIRA, J. M. C.; CHUVIECO, E.; BEAUDOIN, A.; DESBOIS, N. Remote sensing of burned areas: a review. In: CHUVIECO, E. (Ed.). A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires. Alcalá de Henares, p.127-183, 1997.

- ROY, D. P.; JIN, Y.; LEWIS, P. E.; JUSTICE, C. O. Prototyping a global algorithm for systematic fire-affected area mapping using MODIS time series data. *Remote Sensing of Environment*, v. 97, p. 137-162, 2005.
- ROY, D. P.; BOSCHETTI, L.; JIN, Y.; LEWIS, P. E. Global mapping of fire-affected area using multi-temporal MODIS data. In: RIVA, J. DE LA; PÉREZ-CABELLO, F.; CHUVIECO, E. (Eds). *INTERNATIONAL WORKSHOP ON REMOTE SENSING AND GIS APPLICATIONS TO FOREST FIRE MANAGEMENT*, 5. Universidad de Zaragoza, 2005. Proceedings... Universidad de Zaragoza, 2005.
- SHIMABUKURO, Y.E., SMITH, J.A. The Least-Squares Mixing Models to Generate Fraction Images Derived From Remote Sensing Multispectral Data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 29, p. 16-20, 1991.
- SHIMABUKURO, Y.E.; MELLO, E.M.K.; MOREIRA, J.C.; DUARTE, V. *Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo de mistura para mapear desflorestamento na Amazônia*. São José dos Campos: INPE, 1997. 16 p. (INPE-6147-PUD/029).
- SHIMABUKURO, Y.E., BATISTA, G.T, MELLO, E.M.K., MOREIRA, J.C., DUARTE, V. Using shade fraction image segmentation to evaluate deforestation in Landsat Thematic Mapper images of the Amazon region. *International Journal of Remote Sensing*, v. 19, n. 3, p.535-541, 1998.
- SIMON, M. S.; PLUMMER, F.; FIERENS ET AL. Burnt area detection at global scale using ATSR-2: The GlobScar products and their qualification. *Journal of Geophysical Research*, 109, D 14S02, doi:10.1029/2003JD003598, 2004.
- SOJA, A.; AL-SAAD, J.; WILLIAMS, D. J.; BARNARD, W. Using satellite-based products to enhance existing area burned data. In: *INTERNATIONAL EMISSION INVENTORY CONFERENCE*, 14. Las Vegas, 2005. Proceedings... EPA, 13 p. 2005.
- TANSEY, K.; GRÉGOIRE, J. M.; STROPPIANA, D, SOUSA, A. J.; ET AL. Vegetation burning in the year 2000: Global burned area estimates from SPOT VEGETATION data. *Journal of Geophysical Research*, 109, D 14S03, doi:10.1029/2003JD003598, 2004.