

## Detecção remota de áreas queimadas na Amazônia brasileira

Adélia Maria Oliveira de Sousa <sup>1</sup>

Duarte Félix Oom <sup>2</sup>

José Miguel Cardoso Pereira <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Rural, Universidade de Évora  
Pólo da Mitra, 7002-554 Évora, Portugal  
asousa@uevora.pt

<sup>2</sup> Instituto de Investigação Científica Tropical  
Travessa do Conde da Ribeira, 9, 1300-007 Lisboa, Portugal  
duarteoom@netcabo.pt

<sup>31</sup> Departamento de Engenharia Florestal, Instituto Superior de Agronomia,  
Universidade Técnica de Lisboa  
Tapada da Ajuda, 1394-017 Lisboa, Portugal  
jmcpereira@isa.utl.pt

**Abstract.** The area burned in the Brazilian Amazon during June-October 2000 was mapped using SPOT-VGT images. The burned area estimate was calibrated with Landsat TM data. Pareto boundary analysis was used to evaluate the best achievable classification accuracy, for 1.1km and 8km spatial resolution imagery. Finally, we present preliminary results from an analysis of the performance of three active fire products for detecting understory fires in the Acre rainforest during 2005.

**Palavras-chave:** áreas queimadas, Amazônia, SPOT-VGT, Landsat, focos de calor, burnt areas, Amazon, SPOT-VGT, Landsat, hot spots.

### 1. Introdução

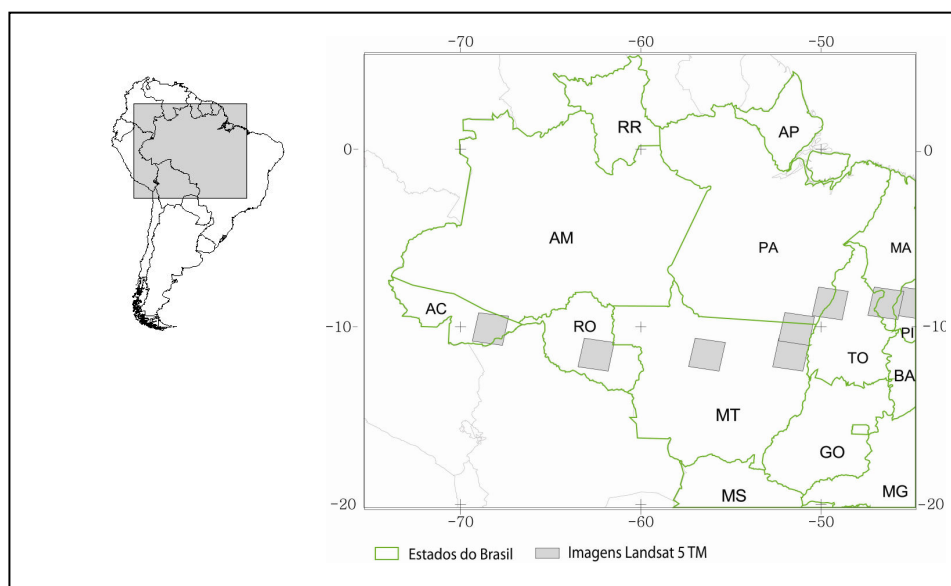
Desde há mais de 20 anos que é reconhecida a grande extensão e importância dos fogos de vegetação e da queima de biomassa nas florestas e savanas do Brasil (Setzer e Pereira, 1991; Dwyer et al., 2000; Mota et al., 2006), no panorama do fogo como processo ambiental de escala global. Pesquisadores brasileiros têm desempenhado um papel pioneiro no uso operacional dos satélites de observação da Terra para detectar fogos e fornecer informação de apoio à sua gestão adequada. Estes trabalhos baseiam-se na detecção do sinal térmico de frentes de chama, os chamados fogos activos. Esta informação é útil para a monitorização ambiental de elevada frequência temporal, mas apresenta limitações quanto à estimativa da área queimada e ao cálculo de biomassa queimada e emissões de gases vestigiais e aerossóis.

Talvez um pouco surpreendentemente, têm sido publicados relativamente poucos trabalhos sobre cartografia de áreas queimadas, abrangendo áreas extensas do Brasil, como a floresta Amazónica ou o cerrado. Tanto quanto sabemos, a primeira cartografia de áreas queimadas abrangendo todo o Brasil foi a reportada por Tansey et al. (2004), realizada à escala global e referida ao ano 2000. Nas condições climáticas de *La Niña* prevalecentes nesse ano, é credível que a área queimada no Brasil tenha sido inferior à média de longo prazo, além de que a maior nebulosidade também dificultou o trabalho. Assim, consideramos provável que esse estudo tenha subestimado a área queimada no Brasil no ano 2000.

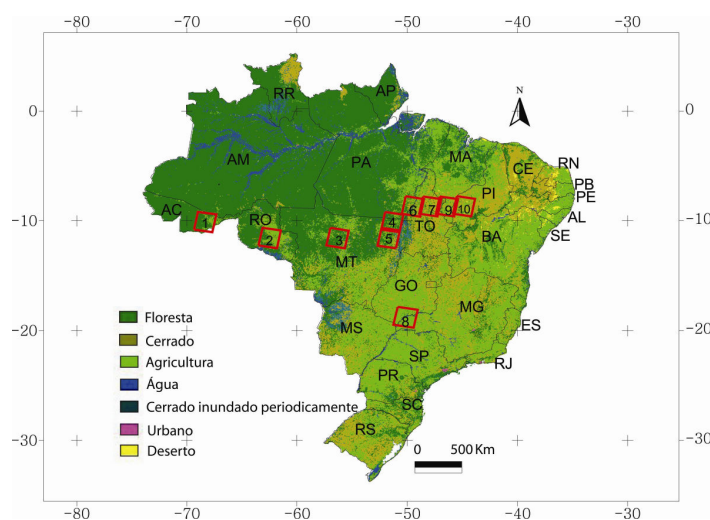
No presente trabalho apresentamos uma revisão da cartografia de áreas queimadas no Brasil no ano 2000, corrigindo as estimativas previamente apresentadas por Tansey et al. (2004), avaliamos a exactidão da cartografia de áreas queimadas no Brasil, em função da sua dimensão e padrão espacial e, finalmente, apresentamos alguns resultados preliminares de avaliação do desempenho de produtos de focos de calor na detecção das queimadas de superfície no Acre, em 2005.

## 2. Áreas de estudo e dados.

A **Figura 1** mostra a área abrangida pelo trabalho de cartografia das áreas queimadas durante o ano 2000. A **Figura 2** mostra a localização das imagens *Landsat* TM usadas na análise da exactidão da cartografia de queimadas, em função do seu tamanho e padrão espacial.



**Figura 1.** Área de estudo do trabalho de cartografia de queimadas no ano 2000. Abrange as longitudes de 45° a 75° Oeste e as latitudes de 20° Sul a 5° Norte, com uma área de aproximadamente 9.000.000 km<sup>2</sup>.



**Figura 2.** Localização das 10 imagens *Landsat* usadas no estudo (a vermelho), sobre o mapa de ocupação do solo Global Land Cover 2000, simplificado para 7 classes.

O estudo sobre o desempenho dos produtos de fogos activos na detecção de queimadas de superfície abrangeu apenas a área da imagem Landsat 5 TM 002/67, situada no estado do Acre.

A cartografia de áreas queimadas no ano 2000 recorreu a dados diários do sensor Vegetation (VGT), a bordo do satélite SPOT-4, com resolução espacial de 1 km e quatro canais, nas regiões espectrais do azul (B1: 415-455 nm), vermelho (B2: 580-680 nm), infravermelho próximo (B3: 730-840 nm) e infravermelho médio (B4: 1520-1660 nm). Foram também utilizados oito pares de imagens Landsat 5 TM, do período em estudo, entre os meses de Junho e Outubro de 2000. A classificação de imagens para cartografia das queimadas baseou-se em compósitos mensais construídos a partir das imagens diárias SPOT-4 VGT, com o algoritmo de Cabral et al. (2003).

Para a análise da exactidão da cartografia de queimadas, acrescentaram-se duas novas imagens Landsat às utilizadas no estudo de cartografia de baixa resolução espacial.

### 3. Métodos.

#### 3.1. Cartografia da área queimada no Brasil no ano 2000.

O algoritmo usado para produzir os compósitos mensais de imagens diárias VGT selecciona, de entre os valores disponíveis para cada pixel durante um mês, aquele que apresenta o terceiro valor mais baixo da média aritmética dos canais B2 e B3. Esta abordagem permite seleccionar para o compósito pixels representado as áreas recém-queimadas, evitando ao mesmo tempo a selecção de sombras de nuvens, que tendem a ter baixa persistência sobre um mesmo local.

A classificação de imagens para cartografia de áreas queimadas na região de estudo da **Figura 1** foi realizada por um processo supervisionado, usando um algoritmo de árvores de classificação (Breiman et al., 1984), que produz um conjunto de regras para distinguir áreas queimadas e não-queimadas, de forma indutiva. Usámos um procedimento de *bagging* (*bootstrap aggregating*), que combina as decisões de um conjunto de 10 árvores de classificação geradas por amostragem com reposição, a partir do conjunto de dados de treino original e que tipicamente melhora a exactidão da classificação supervisionada.

Como sabemos que imagens com resolução espacial de 1km subestimam a extensão da área efectivamente queimada, construímos uma relação para calibrar a estimativa da área queimada produzida com os dados VGT, recorrendo aos dados Landsat. Para esse efeito usaram-se 8 pares de imagens Landsat e classificaram-se as áreas queimadas ocorridas entre a primeira e a segunda data do par de imagens. Extraíram-se dados equivalentes (mesmos intervalos de tempo e mesmas áreas) das imagens VGT e quantificaram-se as áreas queimadas em cada janela de 15 km \* 15 km, definidas sobre os pares de imagens Landsat. De seguida, fez-se uma regressão linear simples, para converter o valor global de área queimada cartografado com dados VGT, a 1km de resolução, no valor que teria sido estimado, caso se tivesse trabalhado toda a área da **Figura 1** à resolução espacial de 30m das imagens Landsat.

#### 3.2. Avaliação da exactidão.

No estudo de avaliação da exactidão da cartografia de queimadas, em função da sua extensão e grau de fragmentação, trabalhou-se com mapas de áreas queimadas produzidos por classificação de 10 imagens Landsat TM e ETM+. Esses mapas foram depois sujeitos a degradação espacial, usando um filtro Gaussiano, que emula a função de resposta impulsional (*point spread function*) do *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR),

convertendo a resolução espacial de 30m dos dados *Landsat*, numa resolução espacial de 1100m. De seguida, simularam-se os procedimentos de amostragem que convertem os dados AVHRR e, dados de *Global Area Coverage* (4 km) e de *Pathfinder AVHRR Land* (PAL), de 8km.

O efeito da resolução espacial na detecção de queimadas foi analisando com o conceito de fronteira de Pareto, cuja aplicação à avaliação da exactidão de classificações dicotómicas de imagens de satélite foi proposto por Boschetti et al. (2004) e que permite determinar qual o erro mínimo de comissão e omissão que se podem obter conjuntamente com dados de baixa resolução espacial. O uso da fronteira de Pareto permite distinguir se a exactidão limitada de um mapa de queimadas baseado de baixa resolução espacial se deve ao mau desempenho do classificador, ou se ela é inerente à baixa resolução espacial dos dados. De seguida, relacionou-se o nº e a dimensão média das áreas queimadas, em cada imagem Landsat, com o valor da classificação óptima de Pareto, com o objectivo de prevêr qual a máxima exactidão possível, em função da extensão e padrão espacial das queimadas.

### **3.3. Detecção de fogos rasteiros com produtos de focos de calor.**

Classificou-se um par de imagens Landsat do estado do Acre, datadas de 9 de Julho e 13 de Outubro de 2005, usando um classificador de máxima verosimilhança, aplicado a imagens das diferenças de fracções de vegetação, sombra e solo, obtidas por análise de misturas espectrais lineares. A legenda da classificação distinguiu entre floresta intacta, floresta queimada (por fogo rasteiro), terreno agrícola e terreno agrícola queimado.

De seguida, sobrepuseram-se ao mapa classificado focos de calor detectados durante o período em estudo e provenientes dos produtos MODIS-TERRA, MODIS-AQUA, e MMODIS, para avaliar comparativamente o desempenho destes produtos na detecção das áreas afectadas pelo fogo, especialmente as de fogo rasteiro na floresta.

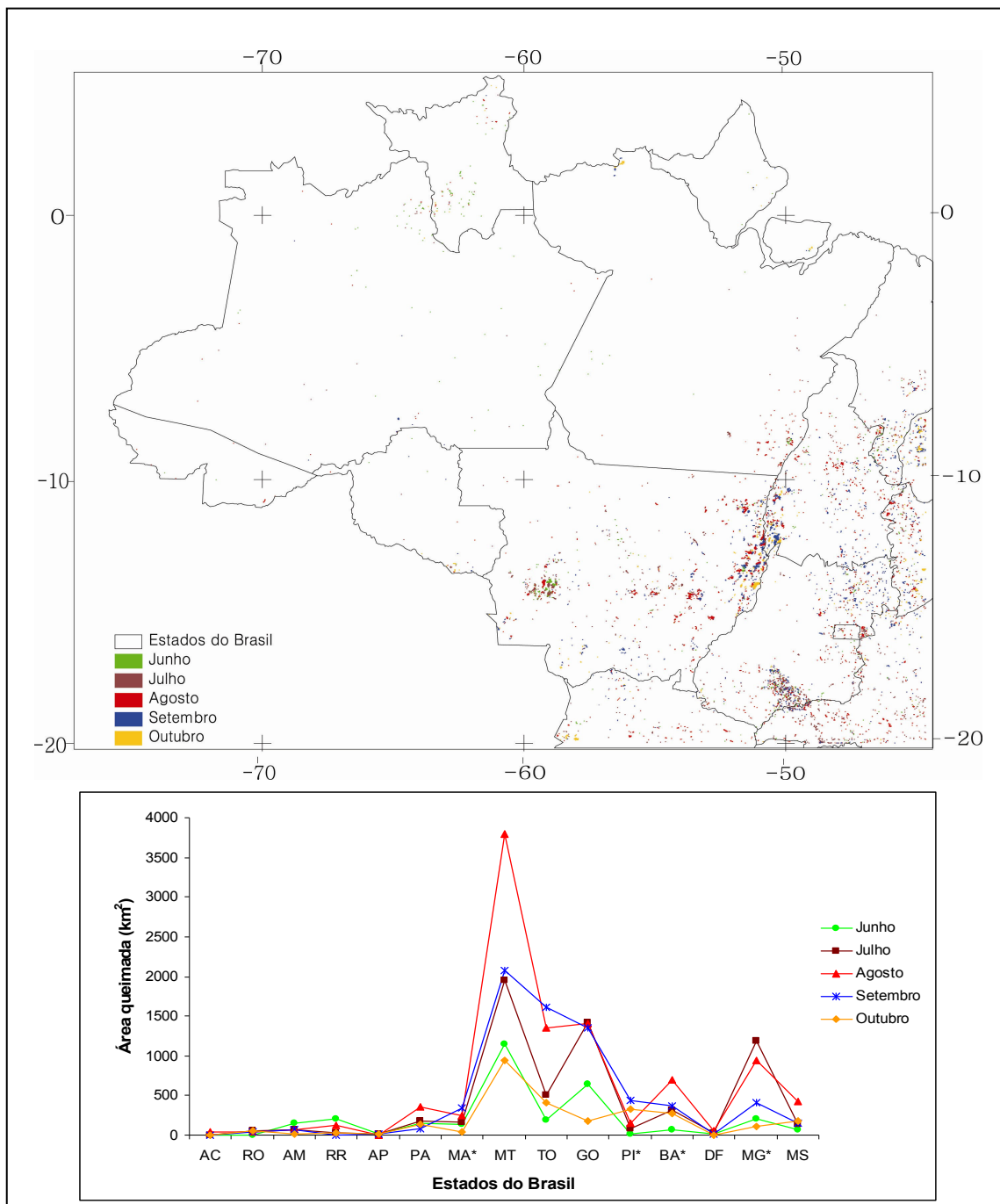
## **4. Resultados e conclusões.**

### **4.1. Cartografia da área queimada no Brasil no ano 2000 e avaliação da sua exactidão.**

A **Figura 3** apresenta o mapa mensal das áreas queimadas, detectadas na área de estudo e um gráfico com os quantitativos mensais e por estado. O valor total de área queimada estimado por classificação dos compósitos mensais SPOT – 4 VGT foi de 28522 km<sup>2</sup>. A relação de calibração desta estimativa, a partir dos dados Landsat, é a seguinte (**Figura 4**):

$$\text{área TM} = 0.013 + 1.364 * \text{área VGT}$$

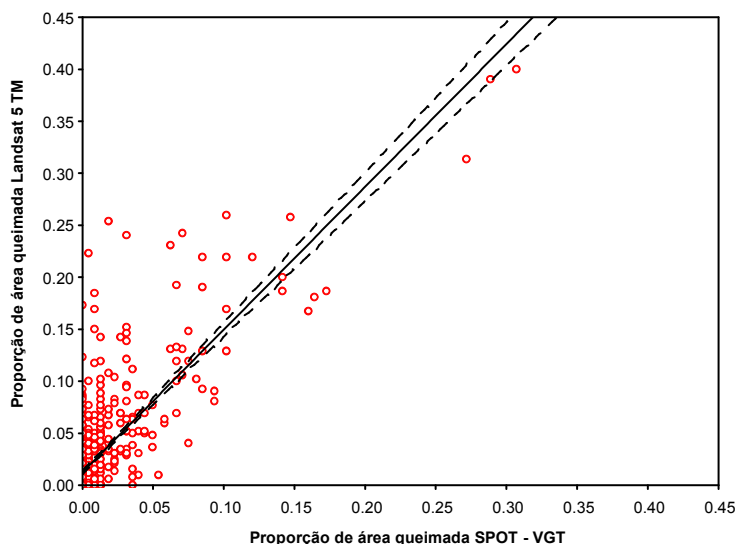
O valor de área queimada corrigido pela relação de calibração, é de 38904 km<sup>2</sup>, um acréscimo de 36% relativamente à estimativa de baixa resolução espacial. Os limites inferior e superior do intervalo de confiança a 95% para esta estimativa são de 36869 km<sup>2</sup> e 40960 km<sup>2</sup>.



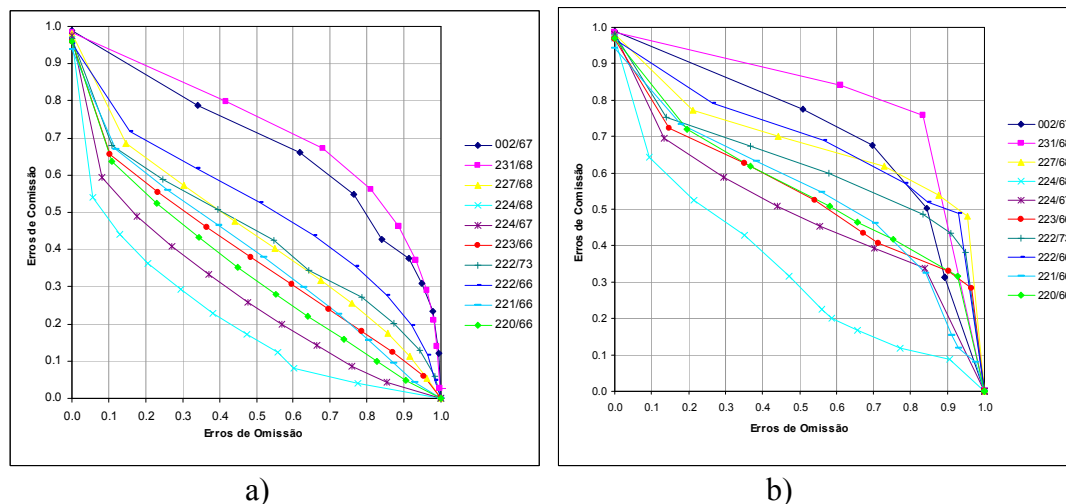
**Figura 3.** Área queimada na Amazónia brasileira no ano 2000, entre Junho e Outubro.

A análise do compromisso entre erros de comissão e omissão, para as resoluções de 1,1 km e de 8 km (**Figura 5**), mostra que os menores erros de classificação se verificam na área coberta pela imagem 224/68, no cerrado do (Mato Grosso) com cerca de 30% (40%) de comissão e 30% (40%) de omissão a 1,1km (8km). Recorda-se que este nível de erro resulta apenas da baixa resolução espacial e não considera o erro que, numa situação real, será introduzido pelo desempenho sub-óptimo de qualquer classificador. No extremo oposto, verifica-se que nas imagens de zonas de desflorestação em espinha de peixe (Acre e Rondônia), com queimadas bastante pequenas, a melhor exactidão que se consegue obter, com as resoluções espaciais de 1,1km e 8km implica erros de omissão e comissão muito

elevados. Analisou-se a relação entre erro de classificação e vários descritores do padrão espacial da área queimada, tendo-se verificado que o conhecimento da dimensão média das áreas queimadas, cartografadas à escala Landsat, permite prever com bastante exactidão ( $r^2 = 0.76 - 0.80$ ) os níveis mínimos de erro obteníveis com dados de baixa (1km – 8km) resolução espacial.



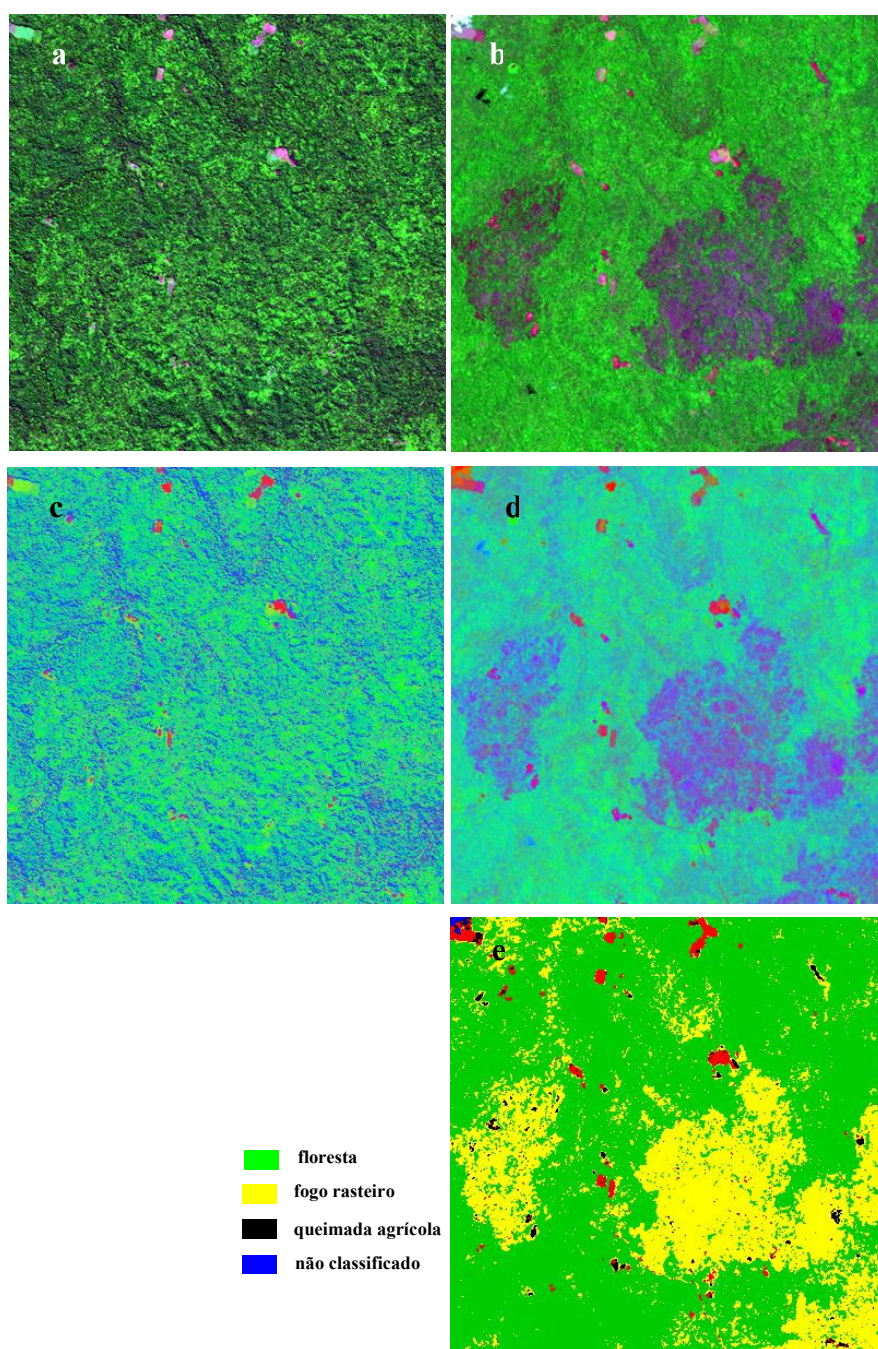
**Figura 4.** Recta de calibração da estimativa de área queimada de baixa resolução espacial, com dados de alta resolução espacial.



**Figura 5.** Fronteira de Pareto para as 10 imagens Landsat para as duas resoluções consideradas, a) 1,1 km e b) 8 km.

#### 4.2. Fogos rasteiros e focos de calor.

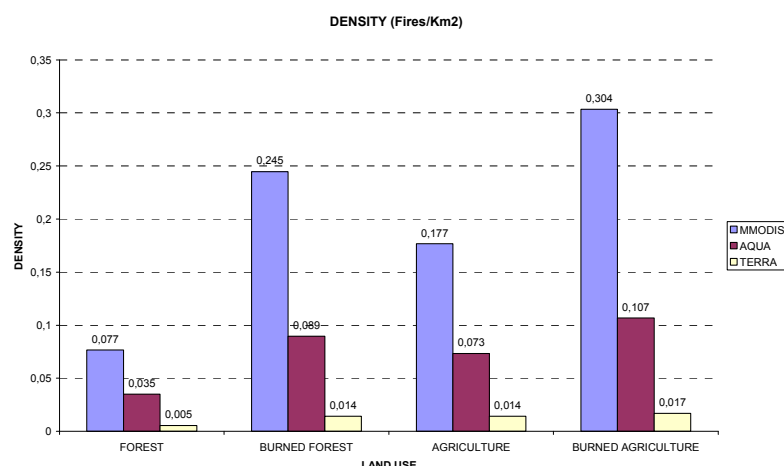
O estudo sobre os fogos rasteiros no Acre, em 2005, ainda em curso, permitiu cartografar as áreas queimadas, com base em diferenças de frações de vegetação, solo e sombra (**Figura 6**).



**Figura 6.** Extractos da área de estudo do Acre, 2005. a,b) Landsat RGB 743 de 9 de Julho e 13 de Outubro; c,d) RGB solo, vegetação, sombra, mesmas datas; e) imagem classificada, 13 de Outubro.

A sobreposição de focos de calor MODIS na totalidade da imagem Landsat classificada, mostra que é maior a densidade de detecção sobre as áreas classificadas como queimada agrícola, seguida pela área de fogo rasteiro. Também são detectados focos de calor sobre áreas consideradas não queimadas, o que pode dever-se a erros de georreferenciação dos focos de calor, ou da classificação da imagem. Quando se comparam os rácios entre as densidades de focos observadas (**Figura 7**) nas áreas de queimadas agrícolas, supostamente fáceis de detectar, e nas áreas de fogo rasteiro, de detecção mais difícil, obtém-se valores de 1,24 para o MMODIS, 1,20 para o AQUA e 1,21 para o TERRA. Portanto, os três produtos

exibem sensibilidades muito semelhantes para a detecção de focos rasteiros, por referência à sua sensibilidade para a detecção de queimadas agrícolas.



**Figura 7.** Densidade de focos de calor detectados pelos três produtos analisados, para as quatro classes da legenda.

## 5. Referências.

- Boschetti, L.; Flasse, S.P.; Brivio, P.A. Analysis of the conflict between omission and commission in low spatial resolution dichotomic thematic products: The Pareto Boundary. **Remote Sensing of Environment**, v. 91, n.3-4, p. 280-292, 2004.
- Breiman, L.; Friedman, J.H.; Olshen, R.A.; Stone, C.J. **Classification and Regression Trees**. Monterrey CA: Wadsworth & Brooks, 1984, 354 p.
- Cabral, A.; Vasconcelos, M.J.P.; Pereira, J.M.C.; Bartholomé, E.; Mayaux, P. Multitemporal compositing approaches for SPOT-4 VEGETATION. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 16, p. 3343-3350, 2003.
- Dwyer, E.; Pinnock, S.; Grégoire, J.M.; Pereira, J.M.C. Global spatial and temporal distribution of vegetation fire as determined from satellite observations. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n.6, p.1289-1302, 2000.
- Mota, B.; Pereira, J.M.C.; Oom, D.; Vasconcelos, M.J.P.; Schultz, M. Screening the ESA ATSR-2 World Fire Atlas (1997-2002). **Atmospheric Chemistry and Physics**, 6, p.1409-1424, 2006.
- Setzer, A.W.; Pereira, M.C. Amazonia biomass burnings in 1987 and an estimate of their tropospheric emissions. **Ambio**, v. 20, n. 1, p. 19-22, 1991.
- Tansey, K.; Grégoire, J.M.; Binaghi, E.; Boschetti, L.; Brivio, P.A.; Ershov, D.; Flasse S.; Fraser, R.; Graetz, D.; Maggi, M.; Peduzzi, P.; Pereira, J.M.C.; Silva, J.; Sousa, A.; Stroppiana, D. A global inventory of burned areas at 1 km resolution for the year 2000 derived from SPOT VEGETATION data. **Climatic Change** 67, p.345-377, 2004.