

**Evolução de focos de calor nos anos de 2003 e 2004 na região de Madre de Dios/Peru – Acre/Brasil – Pando/Bolívia (MAP): uma aplicação regional do banco de dados INPE/IBAMA**

Sumaia Saldanha de Vasconcelos<sup>1</sup>  
Karla da Silva Rocha<sup>2</sup>  
Diogo Selhorst<sup>1</sup>  
Nara Vidal Pantoja<sup>1</sup>  
Irving Foster Brown<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>UFAC/PZ/SETEM - Universidade Federal do Acre, Parque Zoobotânico, Setor de Estudos do Uso da Terra e de Mudanças Globais  
Campus Universitário, BR 364 - km-04 – 69.915-900 – Rio Branco – Acre, Brasil  
sumaiasv@yahoo.com.br; dselhorst@pop.com.br; npantoja@ufac.br

<sup>2</sup> UFAC/DGEO/LAC - Universidade Federal do Acre – Departamento de Geografia, Laboratório de Cartografia,  
Campus Universitário, BR 364 - km-04 – 69. 915-900 – Rio Branco – Acre, Brasil  
rochakarla@uol.com.br

<sup>3</sup> WHRC - Woods Hole Research Center  
Caixa Postal 296 - Woods Hole – MA, EUA  
fbrown@uol.com.br

**Abstract.** The goal of this article is to show the evolution of fire activity in 2003 and 2004 using hot pixel data from five different satellites in the trinational region of Madre of Dios (Peru), Acre (Brazil) and Pando (Bolivia) – MAP. In contrast to the 35% average increase from 2003 to 2004 in hot pixels for Rondônia, Mato Grosso, and Para, the MAP region showed a 36% reduction in the sum of hot pixels. Hot pixels for Madre de Dios, Acre, and Pando decreased by 25%, 40%, and 17%, respectively, from 2003 to 2004. The timing of burning in the MAP region also changed from 2003 to 2004. In 2003, 80% of the hot pixels occurred before 15 September; in 2004, however, only 41% occurred before this date. Possible hypotheses to explain this reduction and delay in burning include: 1) anomalous rains; 2) reduction in deforestation and burning permits; 3) short-term enforcement efforts; and 4) economic difficulties. In spite of the decrease in hot pixels, thousands of fires still occur yearly and the associated deforestation continues to transform the landscapes of the MAP region.

**Palavras-chave:** hot pixels, fires, satellite, MAP region, focos de calor, queimadas, satélite, região MAP.

## 1. Introdução

A fronteira Amazônica trinacional que envolve a Região de Madre de Dios – Peru, o Estado do Acre – Brasil e o Departamento de Pando – Bolívia, também conhecida como a Região MAP, possui uma área de abrangência de aproximadamente 300.000 km<sup>2</sup> e uma população em torno de 700.000 habitantes. Esta região possui alta diversidade cultural e biológica com mais que 85% de cobertura florestal preservada (Brown et al., 2004).

Nos últimos anos os planos de integração sul-americana têm resultado em grandes esforços para ligar esta região aos centros econômicos por meio de rede de rodovias e hidrovias (Alvear, 2002). Uma resposta imediata desse processo de integração regional é a transformação da cobertura florestal dessa região via desmatamento associado às queimadas. Estas queimadas são praticadas com maior frequência e intensidade em meses de menor precipitação na região -- julho a outubro. As queimadas são amplamente usadas na região de forma intencional por: 1) pequenos produtores rurais na limpeza de solos após desmatamento de florestas e capoeiras; e 2) criadores de gado para a criação e a manutenção das pastagens. Essas atividades, praticada de forma controlada ou não, causam danos diretos ao meio ambiente com emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera e perda de biodiversidade das florestas. Quando praticada de forma descontrolada, elas podem causar perdas econômicas como queima de plantações e propriedades, fechamento de aeroportos e doenças respiratórias devido a grande quantidade de fumaça produzida.

Nessa região as queimadas acidentais dentro da floresta têm sido consideradas insignificantes. No entanto, Mendoza (2002) mostrou que no Estado do Acre em condições climáticas favoráveis com períodos secos intensos, como em anos em que ocorre o fenômeno El Niño, os fogos acidentais podem alastrar-se por quilômetros dentro da floresta. Diante dessa realidade o problema do uso do fogo é um dos principais desafios a serem abordados pelas instituições de fiscalização e monitoramento de queimadas nessa região.

O monitoramento de queimadas pode ser realizado utilizando focos de calor oriundos de dados de imagens de diferentes satélites, o que permite as sociedades local, regional e nacional manterem-se informadas sobre a ocorrência dessa atividade no Brasil e em quase toda América do Sul.

Este artigo visa mostrar a evolução dos focos de calor para melhor entender a dinâmica do uso da terra na região fronteira da Amazônia Sul-Occidental – região MAP. Ele tenta responder as perguntas de onde, quando, e quanto os focos na Região MAP acontecem. Também estão listadas algumas hipóteses para explicar o porquê desta dinâmica para serem testadas posteriormente.

## 2. Metodologia

O uso de focos de calor (também conhecidos como pontos quentes) oriundos de análises de imagens de diferentes satélites tem sido um excelente indicador de onde, quando e com quais frequências as queimadas estão acontecendo nessa região.

O Centro de Pesquisa do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) gera e disponibiliza, via Internet ([www.cptec.inpe.br/queimadas](http://www.cptec.inpe.br/queimadas)), dados de focos de calor de cinco satélites diferentes -- NOAA-12, NOAA-16, GOES-12, Aqua-MODIS, Terra-MODIS (com algoritmo do CPTEC/INPE) e Modis-Maryland (com algoritmo da Universidade de Maryland/EUA) -- dentro de um dia da ocorrência. Este banco de dados tem sido montado em colaboração com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

Os dados de focos de calor do sensor MODIS com o algoritmo da Universidade de Maryland/USA não foram utilizados nesse artigo porque os dados de 2003 não estavam disponíveis no site do CPTEC/INPE.

## 2.1. Detecção das queimadas pelos satélites

Os satélites usados para detecção de focos de calor têm sensores na faixa de infravermelha e rastreiam a superfície terrestre diariamente ou várias vezes por dia, dependendo do satélite. Quando uma área está sendo queimada e muita energia infravermelha sendo emitida, o sensor do satélite gera um pixel georeferenciado com um conjunto de informações. Esse pixel indica a presença de um ou mais focos de calor. No caso do sensor AVHRR do satélite NOAA-12 a resolução espacial é de aproximadamente 1,1 km<sup>2</sup> no centro da imagem (no nadir). Entretanto, devido a forte energia termal emitida pelas queimadas, até uma frente de fogo com 30 m por 0,5 m é detectada. Desta forma, um foco de calor pode corresponder tanto uma pequena queimada como várias queimadas dentro de um pixel com cerca de 1 km<sup>2</sup> no nadir para os satélites NOAA-12, NOAA-16, Terra-Modis e Aqua-Modis ou dentro um pixel de 16 km<sup>2</sup> para o satélite GOES-12.

## 2.2. Incertezas associadas aos dados de focos de calor

Não é possível afirmar ou usar o valor total do número de focos de calor como sendo igual ao número de queimadas, mas sim de forma relativa. A razão disto é porque existem fatores que podem influenciar na detecção desses focos de calor como os erros de omissão e inclusão.

Os erros de omissão são os mais comuns e podem ocorrer: 1) quando nuvens e fumaça bloqueiam a transmissão do sinal da queimada e nenhum foco de calor pode ser detectado no momento de passagem do satélite; 2) devido ao horário de passagem dos satélites. Alguns passam pela manhã, outros no fim da tarde e estes podem não registrar uma queimada que ocorreu ao meio dia por poucas horas; 3) a cobertura de alguns satélites é incompleta, principalmente na região oeste no caso do Acre; 4) devido a redução da detecção quando o ângulo de observação do satélite está no limite de cobertura (Setzer, com. pessoal, 2004); 5) em função de problemas com o funcionamento do satélite; e, 6) devido a diferentes algoritmos usados para a detecção de focos de calor.

De acordo com Selhorst e Brown (2003) os erros de omissão do sensor AVHRR do satélite NOAA-12 para a detecção de queimadas no Acre estão na faixa de cinco a dez vezes mais do que o número de focos de calor detectados. Pantoja et al. (dados não publicados) encontraram um padrão similar para os outros satélites em 2004.

Os erros de inclusão podem ocorrer quando: os satélites erram a localização geográfica dos focos de calor; se uma queimada ocorre por várias horas, o foco de calor pode ser detectado mais de uma vez, dependendo do satélite. De acordo com Brown et al. (2004) erros de inclusão também podem ocorrer devido aos diferentes intervalos de passagens dos diferentes satélites. Pantoja et al. (dados não publ.) não encontraram erros de inclusão numa avaliação de 18 focos de calor no dia 9 de setembro de 2004 no leste do Acre; porém neste e outros dias notaram erros de omissão em 38 queimadas de  $\geq 90\%$  para cada satélite.

Neste artigo foram utilizados dados de focos de calor dos satélites NOAA-12, NOAA-16, GOES-12, Aqua-MODIS e Terra-MODIS dos anos de 2003 e 2004 no Estado do Acre-Brasil, no Departamento de Pando – Bolívia e na Região de Madre de Dios – Peru.

## 3. Resultados e discussão

Os dados de focos de calor detectados pelas imagens desses satélites podem indicar onde possíveis queimadas estão acontecendo. A **Tabela 1** apresenta os números de focos de calor acumulados mensalmente na região MAP nos anos de 2003 e 2004.

**Tabela 1**-Evolução e diferença percentual dos focos de calor detectados pelos satélites NOAA-12, NOAA-16, GOES-12, Aqua-MODIS, Terra-MODIS acumulados na região de Madre de Dios – Acre – Pando (MAP) durante todo o ano de 2003 e até 31 de outubro de 2004. Fonte: www.cptec.inpe.br/queimadas.

ANO MÊS	Madre de Dios/Peru		Acre/Brasil		Pando/Bolívia		Região MAP	
	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004
Janeiro	0	1	1	3	3	2	4	6
Fevereiro	1	1	0	5	3	2	4	8
Março	0	0	2	0	0	4	2	4
Abril	0	1	0	0	0	0	0	1
Mai	0	0	3	3	0	1	3	4
Junho	0	0	2	1	0	9	2	10
Julho	6	0	330	40	39	18	376	58
Agosto	62	30	2516	726	398	127	2976	883
Setembro	316	293	3028	2751	492	606	3836	3650
Outubro	81	31	573	387	94	90	748	508
Novembro	5	-	14	-	5	-	24	-
Dezembro	4	-	11	-	6	-	21	-
<b>Total</b>	<b>475</b>	<b>357</b>	<b>6.480</b>	<b>3.916</b>	<b>1.040</b>	<b>859</b>	<b>7.996</b>	<b>5.132</b>
Poporção do total (%)	6	7	81	76	13	17	100	100
Diferença total entre 2003 e 2004 (%)	-25		-40		-17		-36	

No ano de 2003 foram detectados cerca de 8.000 focos de calor em toda a região MAP. O Estado do Acre dominou em número de focos com 81% desse total. Para o Departamento de Pando/Bolívia e a Região de Madre de Dios/Peru os percentuais foram 13% e 6%, respectivamente.

Até 31 de outubro de 2004, os satélites detectaram 5.132 focos de calor na região MAP. Destes, 17% foram detectados no Departamento de Pando/Bolívia e 7% no Departamento de Madre de Dios/Peru. O percentual de focos de calor para o Estado do Acre foi de 76% do total da região MAP.

Os dados do ano 2003 em **Tabela 1** mostram que os números de focos de calor do período de novembro a dezembro são pequenos em comparação com o período de julho até o fim de outubro. Como as chuvas em 2004 iniciaram em outubro, inferimos que focos de calor em novembro e dezembro foram insignificantes para fins deste artigo e, portanto, usamos o período até 31 de outubro como equivalente para o ano inteiro.

Comparando os números de focos de calor acumulados em 2003 e 2004 por Estado/Departamento observou-se uma redução de 25% em Madre de Dios, 40% no Acre e 17% em Pando. Considerando os números totais de focos de calor acumulados em 2004 na região MAP verificou-se uma redução de 36%, em relação a 2003.

A redução de focos de calor na Região MAP difere significativamente da tendência geral na Amazônia Legal brasileira. Os dados de focos de calor do satélite NOAA-12 mostram que em 2004 a Amazônia Legal brasileira teve um acréscimo no número de queimadas na faixa de 20% ate 10 de outubro de 2004, em comparação com o ano de 2003 (Anônimo, 2004).

Os Estados do Mato Grosso, Pará e Rondônia estão no perímetro que definem a Amazônia Legal e estão incluídos no arco do desflorestamento, área onde a pressão pelo uso da terra é maior, causando maior desmatamento e conseqüentemente mais atividades de

queimadas. Estes três estados apresentaram um acréscimo médio de 35% no número de focos de calor até setembro de 2004, comparando com o mesmo período de 2003.

A primeira hipótese para explicar esta redução de focos de calor na Região MAP é que foi um resultado de alteração na calibração de um ou mais satélites -- em outras palavras, esta redução é um erro da medida e não representa uma mudança real no número de focos detectados. Testamos esta hipótese via comparação entre os cinco satélites (**Tabela 2**).

**Tabela 2** – Focos de calor detectados pelos satélites NOAA-12, NOAA-16, GOES-12, Aqua-MODIS, Terra-MODIS na Região de Madre de Dios – Acre – Pando (MAP), durante todo o ano de 2003 e até 31 de outubro de 2004.

ANO SATÉLITE	Madre de Dios/Peru			Acre/Brasil			Pando/Bolívia		
	2003	2004	Dif.%	2003	2004	Dif.%	2003	2004	Dif.%
NOAA-12	48	27	-44	1230	911	-26	251	251	0
NOAA-16	173	142	-18	2868	1473	-49	377	261	-31
GOES-12	65	48	-26	493	596	21	95	132	39
TERRA-Modis	189	140	-26	1853	924	-50	309	205	-34
AQUA-Modis	0	0	0	33	12	-64	8	10	25
<b>Total</b>	475	357		6480	3916		1040	859	
<b>Média</b>	119	89	-23			-33			0

De acordo com a **Tabela 2**, quase todos os satélites detectaram menos focos de calor em 2004, comparado com 2003. As exceções foram GOES-12 para Acre e Pando, Aqua-MODIS quando houve poucos focos de calor e NOAA-12 para Pando.

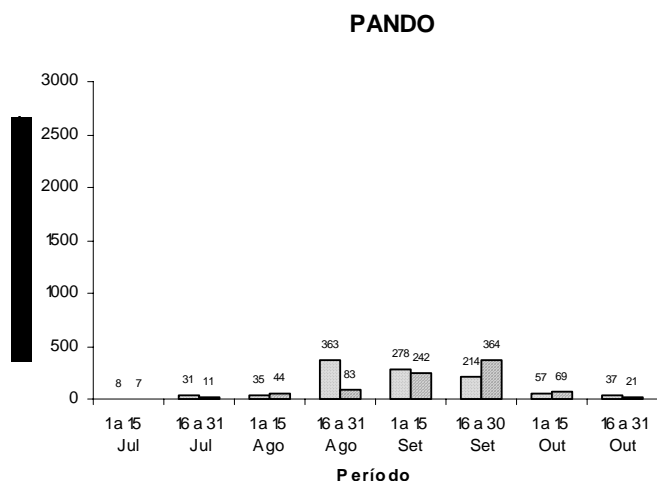
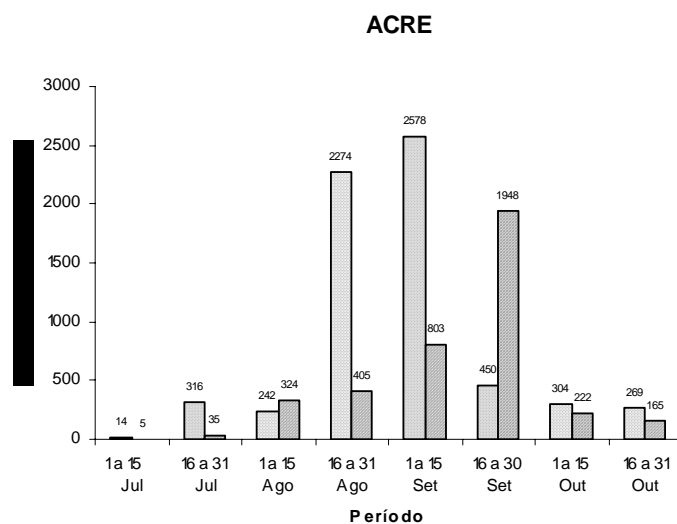
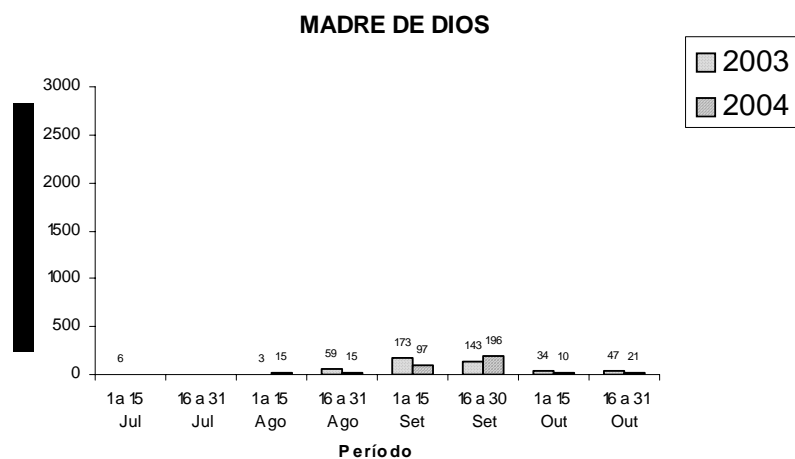
Uma segunda hipótese para explicar esta redução em focos de calor é uma redução na eficiência da detecção de queimadas, causada por um aumento na cobertura de nuvens. A análise comparando a cobertura de nuvens detectadas na passagem do satélite NOAA-12 durante o mês de agosto não mostrou grandes diferenças em cobertura entre 2003 e 2004. Uma análise meteorológica mais detalhada pode ajudar a refutar esta hipótese.

Uma terceira hipótese de explicação da redução envolve o controle no número de licenças de queima expedidas pelo IBAMA e Instituto do Meio Ambiente do Acre (IMAC). Pois quando comparados os números de licenças expedidas nos anos de 2003 (5.000) e 2004 (2.000) observou-se uma redução de mais que 50% (Cosson, com. pessoal, 2004). Esta hipótese é consistente com os dados do Acre, mas não explica a redução de focos de calor em Madre de Dios, Peru e Pando, Bolívia.

### 3.1 Quando as queimadas acontecem nessa região?

Na região MAP as atividades de queimadas ocorrem no período seco, época com menos chuva que começa no mês de junho e termina no início de novembro. Na análise seguinte, usamos o período de 1º de julho até 31 de outubro como o período-chave. Em 2003, 99% dos focos aconteceu neste período-chave. Houve, porém, uma mudança significativa de 2003 a 2004 em termo de quando as queimadas aconteceram, que pode ser vista na **Figura 1**.

Tradicionalmente, se queima no Acre antes ou ao redor da data da independência do Brasil, 07 de setembro. Em 2003, este padrão se manteve com 84% dos focos de calor no período-chave acontecendo antes do 16 de setembro para Acre e 52% e 70% para Madre de Dios e Pando, respectivamente. Em 2004, somente 40% dos focos aconteceram antes de 16 de setembro e 50% dos focos foram concentrados na primeira quinzena de 16 a 30 de



**Figura 1:** Evolução do número de focos de calor detectados pelos satélites NOAA-12, NOAA-16, GOES-12, Aqua-MODIS, Terra-MODIS acumulados no período de 01 de julho a 31 de outubro nos anos de 2003 e 2004 no Departamento de Madre de Dios/Peru, no Estado do Acre/Brasil e no Departamento de Pando/Bolívia. Intervalo de 15 dias. Fonte: [www.cptec.inpe.br/queimadas](http://www.cptec.inpe.br/queimadas).

setembro no Acre. A situação em Madre de Dios e Pando foi semelhante com 36% e 46% acontecendo antes de 16 de setembro e 55% e 45% se concentrando na quinzena de 16 a 30 de setembro, respectivamente.

Este atraso no período de alta frequência de queimadas também foi notado por técnicos em órgãos ambientais baseados em observações empíricas. Eles acreditam que a variabilidade da época de queimadas tem aumentado nos últimos anos. A concordância da análise dos focos de calor com observações empíricas sugere que a mudança na época de queimadas intensas seja real.

Três hipóteses se apresentam para explicar esta mudança: a) efeito de chuvas no período de queimadas no fim de agosto e no início de setembro, atrasando o calendário de queimadas; b) efeito de fiscalização intensa com sobrevôos de helicóptero em agosto e no início de setembro e c) uma alternância entre anos de desmatamento e consolidação de propriedades.

#### 4. Conclusões

Os números de focos de calor detectados na Região de Madre de Dios/Peru, Acre/Brasil, e Pando/Bolívia – MAP do ano de 2004 reduziram significativamente em comparação com os do ano de 2003. A redução aconteceu simultaneamente em dados de vários satélites, indicando que ela é real e reflete processos acontecendo no ambiente da região. Embora tenha se observado uma redução de 36% no número de focos de calor nessa região, milhares de queimadas continuam acontecendo e o desmatamento associado a essa atividade continua transformando a paisagem da região.

O uso de focos de calor no monitoramento de queimadas permitiu identificar onde e quando as queimadas aconteceram na região. Também eles forneceram informações sobre a grandeza relativa do número de queimadas, apesar de representar subestimativas do número absoluto de queimadas.

O fácil acesso via Internet a este banco de dados do INPE/IBAMA permite este tipo de análise em centenas de localidades na Amazônia brasileira e na Amazônia dos outros países. Estas informações podem ser incorporadas nas tomadas de decisões de instituições fiscalizadoras e no fortalecimento de políticas públicas direcionadas para novos paradigmas de desenvolvimento para a região MAP.

#### Referências:

Alvear, G.V. **Acuerdos de la cumbre de Brasília y los avances en la infraestructura física**. In: Tizon, A.W.; Duarte, R.S.G. *La Integración Regional Entre Bolivia, Brasil y Peru*. Arequipa, Peru. CEPEI - Centro Peruano de Estudios Internacionales. Lima, Peru, p.45 –66, 2002.

Mendoza, E.R.H. **Susceptibilidade da floresta primária ao fogo em 1998 e 1999: estudo de caso no Acre, Amazônia Sul - Ocidental, Brasil**. Dissertação (Ecologia e Manejo de Recursos Naturais) - Universidade Federal do Acre. 2002.

Brown, I. F.; Selhorst, D.; Pantoja, N. V.; Mendoza, E. R. H.; Vasconcelos, S. S.; Rocha, K. da S. Os desafios do monitoramento de desmatamento, queimadas e atividade madeireira na região MAP – área fronteiriça de Bolívia, Peru e Brasil. In: **Aplicações de Geotecnologias na Engenharia Florestal**. Editores: Attilio Antonio Disperati e João Roberto dos Santos, Curitiba, Copiadora Gabardo Ltda., CDD 20 ed. 634p, p.70-77, 2004.

Brown, I. F. Não se queima como antigamente. **Jornal Página 20**, Rio Branco, 22 de outubro, p.14, 2004.

Selhorst, D., Brown, I. F. Queimadas na Amazônia Sul-Ocidental, Estado do Acre - Brasil: Comparação entre produtos de satélite (GOES-8 e NOAA-12) e observações de campo In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p.517 – 524. Repositório URLib: <http://inpe.br/sbsr/2002/11.17.23.13>. Disponível em: <http://lagavulin.ltid.inpe.br:1905/col/dpi.inpe.br/lise/2002/03.25.17.22.28/doc/mirror.cgi> Acesso em 12 nov. 2004.

Anônimo. Crescem incêndios em áreas protegidas. **Jornal Página 20**, Rio Branco, 15 de outubro, p.14, 2004.