

Observações de queimadas no leste do Acre: subsídios para validação de focos de calor derivados de dados de satélites

Nara Vidal Pantoja^{1,2}
Diogo Selhorst¹
Karla da Silva Rocha^{1,2}
Francisco Missias da Conceição Lopes³
Larissa Santos Saraiva¹
Sumaia Saldanha de Vasconcelos¹
Irving Foster Brown^{1,4}

¹ Universidade Federal do Acre – Parque Zoobotânico, UFAC/PZ
Caixa Postal 500 – 69915-900 – Rio Branco - AC, Brasil
npantoja@ufac.br; dselhorst@pop.com.br; lssaraiva@hotmail.com; sumaiasv@yahoo.com

² Universidade Federal do Acre – Departamento de Geografia, Laboratório de Cartografia,
UFAC/DGEO/LAC
Caixa Postal 500 – 69915-900 – Rio Branco - AC, Brasil
rochakarla@uol.com.br

³ Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, IBAMA
Rua Veterano M. de Barros, 320 – 69917-150 – Rio Branco – AC, Brasil
francisco-missias.lobes@ibama.gov.br

⁴ Woods Hole Research Center, WHRC
Caixa Postal 296 – 02543 – Woods Hole – MA, Estados Unidos
fbrown@uol.com.br

Abstract. This validation study compares satellite-derived hot pixels with field data of fires and fire scars in the eastern region of Acre State, southwestern Amazonia, Brazil during 2004. The hot pixel data came from the INPE/IBAMA site (www.cptec.inpe.br/queimadas) for five satellites - NOAA-12, NOAA-16, GOES-12, Aqua-MODIS, and Terra-MODIS. Two sets of MODIS data were generated by algorithms developed by INPE and by NASA-University of Maryland. The field data were generated from a helicopter over flight and observations along roads. The helicopter overflight allowed testing 19 hot pixel data points for commission errors. A total of 38 observations of active fires were used to test for omission errors. No commission errors were observed, while omissions errors were large: NOAA-12 (92%), NOAA-16 (92%), GOES-12 (97%) e MODIS (100%, by both INPE and NASA-Mud algorithms). The results are consistent with other earlier studies indicating that hot pixels underestimate fire events in Acre.

Palavras-chave: foco de calor, detecção de fogo, produtos de satélites, Amazônia. Hot pixel, fire detection, satellites products, Amazon.

1. Introdução

Os focos de calor oriundos da análise de dados de satélites têm sido excelentes indicadores de onde, quando e com quais frequências relativas as queimadas estão acontecendo na Amazônia (Brown et al. 2004). Atualmente, o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) em colaboração com o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) está fornecendo via página na Internet informações sobre focos de calor na América do Sul. A página do INPE/IBAMA oferece informações de cinco satélites (NOAA-12, NOAA-16, GOES-12, Terra-MODIS, Aqua-MODIS). Este conjunto de informações acoplado com o fácil acesso via Internet permite a divulgação ampla para vários segmentos da sociedade, além da comunidade científica.

No Estado do Acre, a análise de focos de calor oriundos desta página é um meio importante para ajudar a sociedade a entender mudanças no uso da terra. O Setor de Estudos do Uso da Terra e de Mudanças Globais do Parque Zoológico da Universidade Federal do Acre está analisando a evolução das queimadas na região (Vasconcelos et al. dados não publicados) para informar a sociedade no Acre sobre a distribuição de queimadas no Estado e a origem da fumaça que cobriu a região no mês de setembro desse ano (Rocha e Vasconcelos 2004; Selhorst e Pantoja 2004; Brown e Selhorst 2004; Brown 2004a e 2004b).

Focos de calor são indicadores de queimadas e necessitam de validação como qualquer outro indicador. O objetivo deste artigo é apresentar dados para esta validação e uma análise das implicações da validação sobre o uso destas informações.

2. Material e Métodos

2.1. Descrição da Área de Estudo

O leste do Estado do Acre abrange cerca de 37.000 km² onde se concentrou na última década a maior parte de desmatamento e queimadas na região. No ano 2004, 87% do total dos focos de calor do Estado aconteceram nesta região (Rocha et al. dados não publicados, **Figura 1**). Consequentemente, as atividades de validação foram realizadas nesta região.

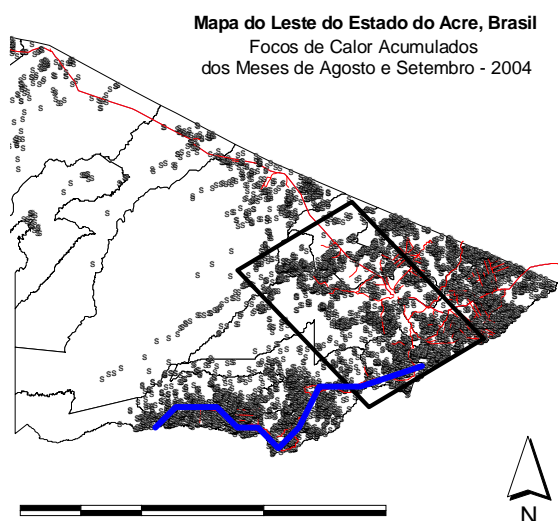


Figura 1: Mapa de focos de calor acumulados nos meses de agosto e setembro de 2004 da região leste do Estado do Acre, Brasil. As linhas finas pretas indicam limites de municípios e

as linhas vermelhas, a malha rodoviária. O retângulo mostra a área do sobrevôo de helicóptero, e a linha azul representa parte da BR-317 onde foi realizada a validação terrestre.

2.2. Descrição dos Métodos

Foram usados dois métodos distintos: a) sobrevôo de helicóptero e b) observações da estrada BR-317. A validação de queimadas baseia-se em matriz de erro, que mostra erros de omissão e inclusão. A matriz de erro (ou de confusão) é uma matriz em que cada elemento representa o número de observações analisadas, considerando a classe na qual ela já foi mapeada e a classe determinada no campo de referência (Assad, 1998).

Para validação de queimadas, o erro de omissão refere-se às queimadas que aconteceram e o satélite não as identificou como focos de calor. Enquanto o erro de inclusão ou comissão diz respeito aos focos de calor detectados quando na realidade não houve nenhuma queimada. Esses dados sobre queimadas são interferidos pela presença de nuvens, resolução espacial e temporal, área de cobertura e ângulo de visão dos satélites (Feltz et al. 2001).

Os mapas de queimadas foram produzidos a partir de dados dos satélites NOAA-12, NOAA-16, GOES-12, Aqua e Terra obtidos na página de Internet do Centro de Pesquisas do Tempo e Estudos Climáticos / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE): <http://www.cptec.inpe.br/queimadas>. Para realizar a validação aérea foram selecionados agrupamentos de focos de calor nos municípios que compõem a área de estudo. Os focos de calor coletados na página do CPTEC/INPE foram analisados visualmente para indicar áreas com maior ocorrência de focos de calor dos satélites. A validação terrestre foi realizada coletando coordenadas geográficas de queimadas ao longo da estrada.

2.2.1. Validação aérea de focos de calor

Os agrupamentos de focos de calor foram identificados nos mapas como áreas prioritárias de observação. Desta forma, foram selecionados focos localizados nos municípios de Rio Branco, Porto Acre e Plácido de Castro para serem verificados durante sobrevôos de helicóptero com equipe do IBAMA e Exército Brasileiro nos dias 05 e 09 de setembro de 2004. O sobrevôo do dia 05 de setembro foi prejudicado pelas chuvas e somente no dia 09 foi possível realizar as observações.

Para analisar os erros de inclusão, focos de calor que ocorreram antes do sobrevôo foram verificados com intuito de observar a presença ou não de cicatrizes recentes de queimadas. Foram identificadas as coordenadas geográficas de 19 focos de calor obtidos na página do CPTEC/INPE de 6 a 20 dias antes do sobrevôo. Estes foram selecionados por serem recentes e por razões de fiscalização.

Para analisar erros de omissão, as coordenadas de queimadas ativas foram registradas para comparação posterior com focos de calor do dia do sobrevôo. Quando as queimadas ativas eram visualizadas o helicóptero dirigia-se até o local e com um aparelho de GPS (modelo Garmin 12XL) as queimadas foram georreferenciadas usando o Datum WGS 1984.

A incerteza das coordenadas derivadas de observações do helicóptero foi estimada em ± 300 m. Foram usados dois aparelhos para verificar a reprodutibilidade das medidas e para continuar leituras, caso o primeiro GPS falhasse.

Os dados gerados foram comparados com o conjunto de focos de calor do mesmo local e dia do sobrevôo, sobrepostos com o uso do programa ArcView 3.2.

2.2.2. Validação terrestre de focos de calor

A validação dos focos de calor por via terrestre foi realizada ao longo da rodovia BR-317 no trecho que liga os municípios de Rio Branco a Assis Brasil, Acre. As queimadas ativas observadas ao longo da estrada foram georreferenciadas utilizando um aparelho de GPS para localizar um ponto de referência na estrada. No caso de queimadas afastadas mais de 500m da rodovia, uma bússola foi usada para determinar o azimute além do ponto de referência até a queimada.

As queimadas mais distantes foram visualizadas pela fumaça e a sua direção (azimute) foi determinada em relação ao ponto de referência na estrada. Também foi estimada a distância da queimada ao ponto de referência. Os azimutes coletados foram convertidos de norte magnético para norte geográfico (declinação 7° W), e o azimute e a distância foram transformados em deslocamentos norte-sul e leste-oeste. Estes deslocamentos foram somados com as coordenadas em UTM do ponto de referência, permitindo obter as coordenadas das queimadas. As coordenadas em UTM foram convertidas para o formato longitude/latitude (dd.ddd) por meio da página de Internet <<http://home.hiwaay.net/~taylorc/toolbox/geodesy/datumtrans/>>. Para confirmar esta transformação de coordenadas, subamostras foram verificadas no programa GPS Trackmaker e aparelhos de GPS.

Nesse estudo as coordenadas são reportadas até milésimos de graus (0,001 grau ~ 100 m) para as medidas coletadas no campo com o uso do GPS. A incerteza estimada para as coordenadas geográficas está em função da própria localização da queimada. A maior fonte de incerteza está relacionada à estimativa da distância entre o ponto georreferenciado e o local da queimada, sendo adotado o fator de $\pm 50\%$. A incerteza na localização com o uso da bússola ($\pm 2^\circ$) foi de ± 35 metros por quilômetro em linha reta.

Uma outra fonte de incerteza a ser considerada é a dimensão espacial do evento de fogo. Uma queimada se espalha frequentemente por centenas de metros, gerando incertezas inerentes a sua localização.

3. Resultados e Discussão

3.1. Validação aérea dos focos de calor

A **Tabela 1** lista os 19 focos de calor que foram usados na busca de cicatrizes de queimadas. Foram encontradas cicatrizes dentro de um raio de 1 km de quase todos os focos de calor. Apenas uma cicatriz referente a um foco de calor do satélite GOES-12 não foi encontrada. Porém, esse foco não foi considerado durante a validação, pois um pixel desse satélite mede aproximadamente 4 km x 4 km (16 km²), portanto a cicatriz pode existir e não ter sido visualizada de dentro do helicóptero. O erro de inclusão foi 0% para o total de 18 cicatrizes de queimadas observadas no sobrevôo.

Tabela 1: Focos de calor selecionados para avaliar erros de inclusão no leste do Estado do Acre durante um sobrevôo de helicóptero no dia 09 de setembro de 2004 entre 10:00 e 12:30 h (horário do Acre, GMT-5). Fonte: www.cptec.inpe.br/queimadas.

Nº	Data	Latitude	Longitude	Satélite	Nº	Data	Latitude	Longitude	Satélite
1	03/09/04	-10.143	-67.002	MMODIS-01	11	21/08/04	-9.547	-67.917	NOAA-12
2	03/09/04	-10.117	-67.150	GOES-12	12	22/08/04	-9.479	-67.891	MMODIS-01
3	03/09/04	-10.117	-67.000	GOES-12	13	03/09/04	-9.738	-67.369	MMODIS-01
4	04/09/04	-10.198	-67.038	NOAA-16	14	05/09/04	-10.248	-67.892	MMODIS-01D
5	04/09/04	-10.202	-67.068	NOAA-16	15	05/09/04	-10.207	-67.868	MMODIS-01D
6	05/09/04	-10.117	-66.953	MODIS-01D	16	05/09/04	-10.182	-67.937	MMODIS-01D
7	05/09/04	-10.120	-67.113	MODIS-01D	17	05/09/04	-10.155	-67.881	MMODIS-01D
8	20/08/04	-9.477	-67.888	MODIS-01D	18	05/09/04	-10.124	-67.995	MMODIS-01D
9	20/08/04	-10.105	-68.152	GOES-12	19	05/09/04	-10.217	-67.900	GOES-12
10	21/08/04	-9.505	-67.931	NOAA-16					

Na avaliação de erros de omissão foram georreferenciadas dez queimadas ativas durante o sobrevôo (**Tabela 2**). Queimadas ativas que não correspondem a focos de calor representam erros de omissão.

Tabela 2: Queimadas ativas observadas no dia 09/09/2004 entre 10:00 e 12:30 h (horário local, GMT-5) que foram georreferenciadas durante o sobrevôo.

Nº	Latitude	Longitude	Nº	Latitude	Longitude
01	-10.299	-67.149	06	-9.451	-67.839
02	-10.219	-67.020	07	-9.466	-67.885
03	-10.106	-67.007	08	-9.683	-67.861
04	-10.076	-66.982	09	-9.709	-67.853
05	-9.645	-67.653	10	-9.770	-67.866

Somente três das dez queimadas ativas observadas no sobrevôo se associaram com focos de calor, resultando em 70% de erros de omissão. Apenas dois satélites detectaram as queimadas: duas pelo satélite NOAA-16 e uma pelo NOAA-12. Nesse dia, em horário local (GTM-5), o NOAA-16 gerou uma imagem do Acre às 12:08 h e o NOAA-12 às 14:41 h; o Terra às 11:50 h, o Aqua às 12:40 h e o GOES-12 a cada trinta minutos entre 06:45 h e 21:45 h.

O sobrevôo aconteceu entre 10:00h e 12:30h (horário do Acre) e durante esse período as queimadas estavam ativas. Não foi possível obter informações sobre quando começaram e nem por quanto tempo continuaram queimando, mas a hipótese de que as queimadas não estavam ativas enquanto os satélites realizaram imageamento do Acre é desconsiderada porque as imagens foram feitas durante ou no máximo 2 horas depois do sobrevôo.

Outros autores também observaram erros significativos de omissão. Selhorst & Brown (2001) notaram subestimativas de queimadas geradas no Estado do Acre pelos satélites NOAA-12 e GOES-8 até um fator de 10. Cardoso et al. (2004) analisaram a acurácia dos dados dos satélites AVHRR e MODIS, usando dados de campo do Estado do Pará em 2001 e Mato Grosso em 2002, e observaram erros de omissão pelos satélites.

A hipótese de que nuvens impediram a detecção dos focos de calor pelos satélites foi refutada usando observações durante o sobrevôo e imagens dos satélites Aqua-MODIS e GOES-12. Verificou-se que não havia nuvens cobrindo a área leste do Estado do Acre naquele dia, apenas fumaça. A fumaça, porém, é um fator que pode contribuir para a não detecção de focos de calor pelos satélites.

3.2. Validação terrestre dos focos de calor

Os dados de queimadas obtidos ao longo das estradas permitiram analisar o grau de aproximação entre observações de campo e os produtos de satélites. Os dados de 28 queimadas georreferenciadas só poderiam mostrar erros de omissão. Não foram analisados erros de inclusão, pois as observações foram feitas apenas para registrar as ocorrências de eventos de fogo. A **Tabela 3** mostra as estimativas das coordenadas das queimadas observadas.

Tabela 3: Dados de queimadas observadas na estrada BR-317, entre Rio Branco e Assis Brasil, Acre, Brasil. Queimadas 01 a 04 foram observadas entre 16:30 a 19:30 h, horário local (GMT -5); queimadas 05 e 06, entre 13:00 e 16:00 h; e queimadas 07 a 28, entre 11:00 e 15:30 h.

Dados de Queimadas Georreferenciadas							
Nº	Data	Latitude	Longitude	Nº	Data	Latitude	Longitude
01	11/09/04	-69.216	-10.821	15	08/10/04	-67.841	-10.583
02	11/09/04	-68.484	-10.841	16	08/10/04	-67.945	-10.595
03	11/09/04	-69.309	-10.820	17	08/10/04	-68.069	-10.712
04	11/09/04	-68.159	-10.697	18	08/10/04	-68.461	-10.718
05	10/10/04	-67.828	-10.647	19	08/10/04	-68.536	-10.758
06	10/10/04	-67.630	-10.678	20	08/10/04	-68.460	-10.818
07	08/10/04	-67.732	-10.201	21	08/10/04	-68.497	-10.876
08	08/10/04	-67.735	-10.210	22	08/10/04	-68.581	-10.870
09	08/10/04	-67.689	-10.266	23	08/10/04	-68.835	-10.133
10	08/10/04	-67.803	-10.159	24	08/10/04	-68.867	-10.929
11	08/10/04	-67.740	-10.256	25	08/10/04	-68.992	-10.942
12	08/10/04	-67.693	-10.483	26	08/10/04	-69.122	-10.840
13	08/10/04	-67.447	-10.328	27	08/10/04	-69.142	-10.829
14	08/10/04	-67.827	-10.645	28	08/10/04	-69.248	-10.824

A incerteza da localização das coordenadas na **Tabela 3** não é simétrica ao redor do ponto. Ela se expande ao longo da linha da projeção do ponto de referência seguindo o azimute, alcançando até alguns quilômetros para queimadas mais distantes da estrada. Erros da leitura do azimute acrescentam uma incerteza de algumas centenas de metros no máximo. Estas incertezas produzem zonas alongadas que foram usadas para analisar erros de omissão.

Os satélites NOAA-16 e GOES-12 apresentaram 93% de erros de omissão; o satélite NOAA-12, 97% e o dados dos sensores MODIS não registraram nenhum foco para as queimadas verificadas no campo, ou seja, 100 % de erros de omissão.

Possíveis causas de erros de omissão são múltiplas. Setzer (2004) explica que condições locais altamente variáveis como cobertura de nuvens, pequenos focos e fogo rasteiro no interior de florestas densas, e características do imageamento como horário da imagem,

ângulo de visada, ruídos do sensor e na recepção resultam em restrições no número de focos detectáveis.

Uma outra hipótese para explicar a não detecção de queimadas pelos satélites envolve algoritmos que minimizam erros de inclusão. Para fins de fiscalização, erros de inclusão tem custos muito altos. As características dos algoritmos de detecção que têm finalidade de eliminar falsos sinais de queimadas (erros de inclusão) tendem a minimizar o número de ocorrências registradas (Setzer, 2004). Morissette et al. (2004) compararam produtos do sensor MODIS tratados por dois algoritmos distintos, do INPE e da NASA/Universidade de Maryland (UMd), em que os resultados indicam que o algoritmo do INPE é conservador (poucos erros de inclusão mas um menor número de focos identificados), enquanto os produtos da NASA/UMd encontram mais focos, mas também contém mais detecções falsas, ou seja, mais erros de inclusão.

Porém, os dados apresentados nas **Tabelas 2 e 3** para focos de calor do sensor MODIS processados tanto pelo INPE quanto pela NASA/UMd mostraram igualmente altos erros de omissão. Estes erros poderiam ser resultantes do número pequeno de observações analisadas.

4. Conclusão

A análise de 18 focos de calor mostrou 0% de erro de inclusão. As dez queimadas observadas durante o sobrevôo e as 28 queimadas observadas na BR-317 mostraram os seguintes erros de omissão: NOAA-12 (92%), NOAA-16 (92%), GOES-12 (97%) e MODIS (100%). O número de observações é baixo e sugere-se que mais observações no campo sejam usadas para validação.

Estes resultados, porém, reforçam as conclusões de outros autores que focos de calor subestimam significativamente o número de eventos de queimadas no Acre. Isto é, as queimadas no leste do Acre são mais numerosas do que os focos de calor indicam.

No entanto, a multiplicidade de satélites e os seus registros diários permitem comparações relativas em espaço e tempo das distribuições de focos de calor. Estas comparações podem ser usadas para explicar onde e quando as queimadas acontecem na região.

5. Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão de bolsa de iniciação científica do primeiro autor. À equipe do IBAMA e Exército Brasileiro pelo apoio à realização do sobrevôo. Ao Projeto LBA (LC-02) pelo apoio logístico. À USAID, a Fundação Moore e a Fundação Hewlett pelo apoio financeiro.

Referências

Assad, E. Delgado. **Sistema de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. 2ª edição. Brasília: EMBRAPA-SPI/EMBRAPA-CPAC, 1998.

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 fronteira de Bolívia, Peru e Brasil. In: VI Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal, 2004, **Aplicações de Geotecnologias na Engenharia Florestal**, Curitiba, Copiadora Gabardo Ltda, 2004, 634p, p. 70-77.

Brown, I. F.; Selhorst, D. Detecção de queimadas na região de Madre de Dios, Acre e Pando (MAP). Parte III, **Jornal A Gazeta**, 11 de setembro, 2004, p. 02.

Brown, I. F. A fumaça: de onde vem? **Jornal Página 20**, Rio Branco, 14 de setembro, p. 14, 2004a.

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

Cardoso, M.; Hurtt, G.; Moore III, Berrien; Nobre, C. A.; Bain, H. Passive ground-based analyses for interpreting satellite fire data – applications to AVHRR and MODIS active fire detections in Amazônia. In: Conferência Científica do LBA – Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, 3, 2004, Brasília. **Anais**. Sessão Oral. p. 80. Livro de Resumos. Disponível em: <ftp://lba.cptec.inpe.br/presentations/LBA-III-conference-july2004-brasilia/july28,2004/S19>. Acesso em: 11 nov. 2004.

Feltz, J. M.; Prins, E. M.; Setzer, A. W. A comparison of the GOES-8 ABBA and INPE AVHRR fire products for South América from 1995-2000: **Proceedings of the 11th Conference on Sattelite Meteorology and Oceanography**, Madison, WI, October 15-18, p. 51-54, 2001.

Morisette, J. T.; Csiszar, I.; Giglio, L.; Schroeder, W.; Morton, D.; Pereira, J. A. R.; Justice, C. O. Validation and comparison of Terra/MODIS active fire detections from INPE and NASA/Umd algorithms. In: Conferência Científica do LBA – Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, 3, 2004, Brasília. **Anais**. Sessão Oral. p. 79-80. Livro de Resumos. Disponível em: <ftp://lba.cptec.inpe.br/presentations/LBA-III-conference-july2004-brasilia/july28,2004/S19>. Acesso em: 11 nov. 2004.

Rocha, K. da S.; Vasconcelos, S. S. Detecção de queimadas na região de Madre de Dios, Acre e Pando (MAP). Parte I, **Jornal A Gazeta**, 14 de agosto, 2004, p. 02.

Selhorst, D.; Brown, I.F.; Queimadas na Amazônia Sul-Occidental, Estado do Acre-Brasil: Comparação entre Produtos de Satélites (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, Sessão Técnica Oral. p. 461-464. Repositório da URLib: <<http://iris.sid.inpe.br/sbsr/2002/11.17.23.13>>. Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1908/col/sid.inpe.br/banon/2001/03.14.09.08.12>>. Acesso em: 11 nov. 2004.

Selhorst, D.; Pantoja, N. V. Detecção de queimadas na região de Madre de Dios, Acre e Pando (MAP). Parte II, **Jornal A Gazeta**, 04 de setembro, 2004, p. 02.

Setzer, A. W. Representatividade e limitações dos dados da detecção orbital de queimadas do INPE. In: Conferência Científica do LBA – Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, 3, 2004, Brasília. **Anais**. Sessão Oral. p. 79. Livro de Resumos. Disponível em: <ftp://lba.cptec.inpe.br/presentations/LBA-III-conference-july2004-brasilia/july28,2004/S19>. Acesso em: 11 nov. 2004.