

## SISTEMA INTEGRADO DE MONITORAMENTO DE FOGO MULTI-SATÉLITE – SIMM-FIRE

WILFRID SCHROEDER<sup>1</sup>  
NILSON CLEMENTINO FERREIRA<sup>2</sup>  
JOÃO ANTÔNIO RAPOSO PEREIRA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
SAIN Av. L4 Norte – Ed. Sede IBAMA - Bl. C – PROARCO  
70.818-900 Brasília – DF, Brasil  
swilfrid@sede.ibama.gov.br

<sup>2</sup>IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
SAIN Av. L4 Norte – Ed. Sede do IBAMA – Centro de Sensoriamento Remoto  
70.818-900 Brasília – DF, Brasil  
nilson@csr.ibama.gov.br

**Abstract.** Vegetation fires in the tropical areas have become one of the major climatological issues in the past two decades. Fire emissions to the atmosphere and the associated surface cover changes are proved to result in severe impacts to the climate system over the regional and even global scales. In order to track down these events and help planning law enforcement activities, the Brazilian Institute for the Environment and Natural Renewable Resources runs since 1998 a fire monitoring system based on the intensive use of remote sensing and GIS technologies. The system receives near real-time data from 5 different satellites, namely: NOAA-12, NOAA-14, GOES-8, EOS/Terra and DMSP/F15. Hot spot geographical coordinates coming from these satellites are ingested into a single GIS analyses tool and intersected with a variety of layers in order to separate the ones that must be field inspected based on a sequence of alert levels and pre-defined evaluation criteria. Additional persistence check among different sensors allows for increasing detection reliability while reducing system response time.

Keywords: vegetation fires, remote sensing, GIS system.

### 1. Introdução

A queima de biomassa representa um papel de grande importância para o sistema climático global. Dentre seus efeitos mais significativos sobre o meio, podemos citar a emissão de gases traço derivados da combustão da biomassa e as conseqüentes alterações do balanço radiativo e energético resultantes da alteração da cobertura vegetal existente e da composição química atmosférica (Crutzen and Andreae, 1990; Lenoble, 1991; Artaxo *et al.*, 1998; Eck *et al.*, 1998; Ross *et al.*, 1998). Do total de eventos observados a cada ano, as regiões tropicais são responsáveis pela maior parcela (Hao and Liu, 1994; Dwyer *et al.*, 2000), contribuindo para isto a presença de extensas áreas verdes e a utilização de práticas rudimentares de uso do solo. Dentre estas áreas, a região limite da Amazônia brasileira, conhecida como Arco do Desflorestamento, se destaca por apresentar anualmente durante os meses de junho-outubro uma quantidade significativa de eventos de fogo (<http://www2.ibama.gov.br/proarco>). Durante estes meses, um grande sistema de alta pressão recobre a região, inibindo a precipitação e reduzindo os valores de umidade relativa do ar como resultado da subsidência de ar mais seco dos altos níveis da atmosfera (Figueroa and Nobre, 1990; Nobre *et al.*, 1998). Esta circulação de ar favorece a retenção da fumaça emitida pelas queimadas, fazendo com que uma grande extensão horizontal seja afetada, reduzindo a visibilidade a ponto de fechar aeroportos, e causando problemas respiratórios nas populações locais.

A extensão territorial da Amazônia brasileira, que supera os 5 milhões de quilômetros quadrados, representa o maior obstáculo ao acompanhamento das transformações em curso na região. Para isto, contribui a precariedade ou mesmo inexistência de estradas, e a morosidade

do deslocamento por via fluvial. Como resultado, o controle das atividades de exploração florestal por meios convencionais fica seriamente comprometido.

Para poder atender a demanda da geração de informação ambiental numa base contínua, o sensoriamento remoto por satélites surge como a principal ferramenta disponível para uso. Possibilitando a obtenção de amostragens diárias, estes instrumentos irão fornecer dados de caracterização de elementos variados da superfície (desmatamento, estado da vegetação, parâmetros de produtividade da biomassa, entre outros). Dentre os principais produtos passíveis de determinação via satélite, aquele relacionado à questão da detecção do fogo em vegetação se destaca por ser um produto amplamente difundido, aplicado tanto em escala regional como global (Kaufman, 1990; Brustet *et al.*, 1991; França *et al.*, 1995; Setzer and Malingreau, 1996; Randriambelo *et al.*, 1998; Stroppiana *et al.*, 2000; Li et al., 2000).

No Brasil, esta tecnologia vem sendo utilizada desde meados da década de 80 (Setzer e Pereira, 1991), acompanhando a evolução dos métodos e instrumentos desenvolvidos desde então. No tocante aos métodos, observou-se a incorporação de elementos adicionais inerentes aos dados dos sensores para melhor discretização dos alvos presentes nas imagens, resultando, sobretudo, em uma redução dos erros de sobre-amostragem assim como os de sub-amostragem (Li e Giglio, 1999). Já em relação aos instrumentos em uso, pôde-se observar o surgimento de sensores com bandas espectrais desenvolvidas especificamente para a questão da detecção do fogo em vegetação (Kaufman *et al.*, 1998), melhorando a qualidade da informação disponibilizada. Paralelamente, ocorreu uma disseminação de técnicas de detecção de fogo junto a sensores que antes se limitavam a outras aplicações (Prins e Menzel, 1992; Elvdige *et al.*, 1996), aumentando o número de satélites gerando informações aplicáveis ao monitoramento operacional do fogo em uma base contínua.

Apesar do crescimento do número de sensores e metodologias, parte dos dados sendo gerados ainda apresenta certas limitações de uso. Estas se dão principalmente devido às características individuais de determinados sensores, ou à falta de exercícios de validação que assegurem a qualidade do produto final (no caso, localização dos eventos de fogo e sua eventual classificação em termos de intensidade ou área afetada). Em relação às características individuais dos instrumentos, o que se viu foi uma adaptação de uso de determinadas bandas de alguns sensores ao monitoramento do fogo, produzindo como resultado descrições mais qualitativas do que quantitativas dos eventos em andamento na superfície. Já a questão da validação dos dados é algo que afeta semelhantemente diferentes sensores, sendo motivado em muitos casos pela dificuldade de se reunir os meios necessários para a realização de tais trabalhos.

Visando desenvolver um procedimento que permita reduzir as deficiências individuais de determinadas técnicas de detecção de focos de calor, e que ao mesmo tempo favoreça a aferição de seus dados, este trabalho discute a integração dos satélites do National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA-12 e NOAA-14), Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES-8), Defense Meteorological Satellite Program (DMSP-F15), e Earth Observation Satellite (EOS-Terra) em um sistema de informação geográfica (ArcInfo) para monitoramento operacional de focos de calor. Os resultados preliminares mostram que a representatividade e a qualidade dos dados adquiridos podem ser significativamente melhoradas, contribuindo para um sistema de detecção de focos de calor mais eficiente.

## **2. Dados**

### **2.1 AVHRR**

O sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) está presente na série de satélites polares do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), a qual

iniciou suas operações com o satélite TIROS-N em 1978. A versão utilizada neste trabalho encontra-se embarcada nos satélites NOAA-12 e NOAA-14, lançados respectivamente em 1991 e 1994. Este instrumento possui cinco canais distribuídos entre os espectros do visível (canais 1 e 2), infravermelho médio (canal 3) e infravermelho termal (canais 4 e 5), sendo o dado do canal 3 o principal parâmetro para identificação dos focos de calor na superfície. Os dados correspondem a imagens Local Area Coverage (LAC), com 1.1x1.1km de resolução espacial sob a posição nadir, havendo degradação da mesma em direção às bordas da imagem, onde chega a alcançar 2.5x6km. Graças à resolução espacial do sensor e à inclinação da órbita do satélite, descrita a uma altitude de aproximadamente 840km, é possível obter o recobrimento total do globo a cada 24 horas (considerando o mesmo horário de observação). Os dados AVHRR são obtidos através de antenas de recepção do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) localizadas nas cidades de Cachoeira Paulista-SP e Cuiabá-MT. Após a recepção, as imagens são armazenadas e processadas na Divisão de Satélites Ambientais (DSA) do INPE em Cachoeira Paulista, quando são extraídas as coordenadas de focos de calor a partir de um algoritmo baseado em limites fixos definidos para os canais 1, 2, 3 e 4 do sensor AVHRR. Os focos de calor identificados são transformados em conjuntos de coordenadas e disponibilizados através de arquivos texto para posterior inserção em um banco de dados para ArcInfo mantido pela Sala de Monitoramento de Incêndios Florestais do PROARCO, localizado no Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), em Brasília-DF.

## 2.2 GOES

O sensor Visible Infrared Spin Scan Radiometer and Atmospheric Sounder (VAS) presente no satélite Geostationary Operational Environmental Satellite-8 (GOES-8) encontra-se operacional desde abril de 1994. Este satélite caracteriza-se por uma órbita geostacionária, posicionada sobre a longitude de 75°W a uma altitude de aproximadamente 36.000km. O sensor possui 5 canais distribuídos nos espectros do visível (canal 1), infravermelho médio (canais 2 e 3) e infravermelho termal (canais 4 e 5). Devido ao maior afastamento de sua órbita, a resolução deste sensor é limitada a 1km no canal 1, 4km nos canais 2, 4 e 5, e 8km no canal 3. Devido a este fator espacial, o sensor mostra-se menos sensível a presença de fogo na superfície, exigindo tamanhos de frentes de fogo maiores para que os algoritmos possam detectá-las. Por outro lado, sua frequência de amostragem é significativamente maior que a dos satélites de órbita polar, com imagens sendo adquiridas a cada 30 minutos. As imagens deste sensor são obtidas a partir de uma antena de recepção localizada em Boulder-Colorado, e repassadas à Sala de Monitoramento do PROARCO através de transferência eletrônica via rede. Uma vez transferidas, as imagens são assimiladas em um software de tratamento e visualização denominado RAMM Advanced Meteorological Satellite Demonstration and Interpretation System (RAMSDIS) baseado na plataforma McIDAS (Man computer Interactive Data Access System). O sistema permite a visualização das imagens GOES atualizadas a cada 30 minutos para cada um dos cinco canais, e processamento automatizado de focos de calor através de algoritmo de análise de vizinhança e limites fixos. Os conjuntos de coordenadas latitude x longitude são repassados através de arquivo texto passíveis de inclusão na base de dados ArcInfo.

## 2.3 MODIS

O sensor Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS), presente no satélite Earth Observing System (EOS), traz consigo uma nova perspectiva para o monitoramento de fogo em vegetação via satélite. Lançado inicialmente em dezembro de 1999 com o satélite EOS-AM (Terra), com uma segunda versão colocada em órbita em junho de 2002 com o satélite

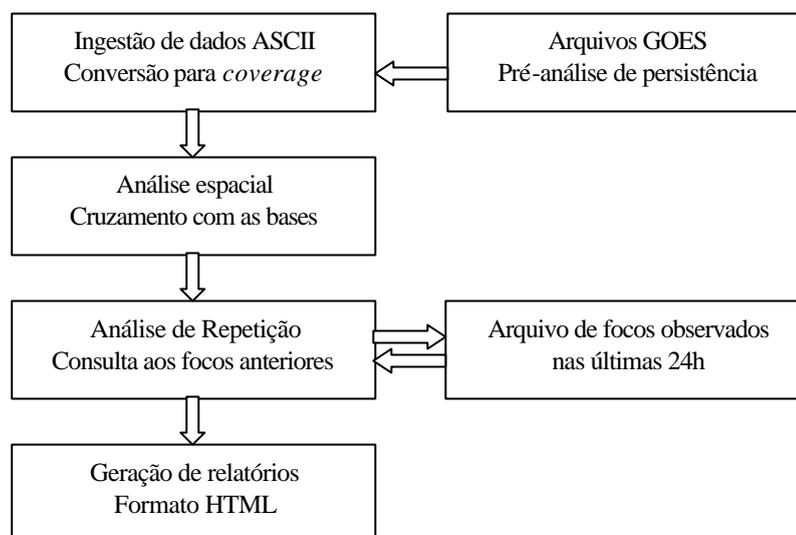
EOS-PM (Aqua), este sensor apresenta 36 canais distribuídos no intervalo espectral de 0.4 a 14.4  $\mu\text{m}$ . Dentre estes, os canais 21 e 22 se destacam para o monitoramento de fogo em vegetação por situarem-se na banda do infravermelho médio (região de alta resposta para a presença de fogo no pixel) e por apresentarem alto valor de saturação, permitindo que a discretização dos pixels potencialmente ocupados por fogo possa ser melhor efetuada. Duas bandas centradas no espectro do visível com resolução espacial de 250 metros auxiliam na identificação visual dos focos, servindo como um meio de aferição inerente ao próprio sensor. Em virtude das características orbitais do satélite e das características de imageamento do sensor, é possível obter o recobrimento total do globo a cada 24-48 horas, dependendo da localização latitudinal da área de estudo (sendo menor a frequência de amostragem quanto mais próximo ao equador – ou quanto menor a latitude). Os dados de focos de calor deste sensor são processados no Goddard Space Flight Center (GSFC) em Greenbelt-Maryland a partir de um algoritmo contextual (limites dinâmicos) e disponibilizados para a Sala de Monitoramento do PROARCO por meio de arquivos texto através de transferência eletrônica via rede. O conteúdo destes arquivos consiste de conjuntos latitude x longitude das coordenadas de focos de calor, podendo ser incorporado na rotina de processamento e análise do ArcInfo.

## 2.4 DMSP

O Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) é um programa de desenvolvimento de satélites para monitoramento ambiental de responsabilidade da força aérea americana. Seu imageador denomina-se Operational Linescan System (OLS), caracterizando-se por um sensor de 2 bandas centradas no visível e infravermelho termal. Diferentemente dos demais sensores para monitoramento de fogo, os dados do sensor OLS correspondem à energia emitida na região do visível, identificando assim fontes de luz à superfície. O satélite descreve uma órbita de passagem noturna, com seu canal visível dispondo de um amplificador de sinais que permite a identificação de fontes de baixa emissão de energia luminosa nas imagens. Desta forma, os dados diários obtidos por este sensor são comparados a uma base de luzes estáveis determinadas a partir de composições temporais das imagens do sensor, permitindo separar as fontes de emissão associadas a fogo (Elvidge *et al.*, 1996). O sensor apresenta dois modos de resolução espacial, o primeiro equivalente a 0,55km e o segundo a 2,7km, ambos ao nadir. Devido à limitação de armazenagem dos dados a bordo do satélite, os dados para a região da América do Sul são disponibilizados na resolução mais degradada. O satélite descreve uma órbita a altitude de 830km, com um campo de visada equivalente a 3000km, o que permite o imageamento total do globo a cada 24 horas. As imagens deste sensor são obtidas por antena de recepção localizada no Air Force Weather Agency (AFWA) – Nebraska, arquivadas no National Geophysical Data Center (NGDC) em Boulder – Colorado, e transmitidas via rede para a Sala de Monitoramento do PROARCO, onde sofrem processamento de navegação, mosaicagem e identificação dos focos de calor. Ao fim do processamento, são gerados arquivos texto contendo conjuntos de coordenadas latitude x longitude em formato compatível com o software ArcInfo.

## 3. Integração dos dados

O sistema de monitoramento e análise de contexto de focos de calor é composto por quatro módulos de execução automática, sendo eles: conversão de dados, análise espacial, análise de repetição e relatório (**Figura 1**). O funcionamento do sistema ocorre de maneira linear, iniciado com a entrada de arquivos em formato texto provenientes dos diferentes sensores, e finalizado com a geração de um relatório em formato HTML contendo as informações resultantes dos diversos cruzamentos efetuados.



**Figura 1:** Fluxograma de processamento dos módulos do SIMM-Fire.

### 3.1. Módulo de Conversão de Dados

O SIMM-Fire é compatível com qualquer arquivo de dados em formato ASCII que contenha parâmetros de localização de focos de calor (coordenadas latitude longitude) e demais variáveis relativas à caracterização dos eventos de fogo identificados nas imagens (data/hora, intensidade, área afetada, etc.). O sistema transfere automaticamente os arquivos de imagem e de focos de calor processados e disponibilizados pelos centros parceiros (DSA/INPE; CIRA-Colorado State University; GSFC e NGDC), assimilando-os em um banco de dados centralizado. Visando padroniza-los a um formato de arquivo único, é realizada a conversão dos arquivos texto para o formato *coverage* do ArcInfo, mantendo os campos necessários à análise e processamento dos focos de calor que sejam comuns a todos os sensores.

Para o caso específico do satélite GOES, é feita uma pré-análise dos focos de calor identificados por seu sensor. Dadas suas características de amostragem, o algoritmo de detecção automática aplicado às imagens está sujeito a um número elevado de ocorrências de focos espúrios. Para isto, contribui a baixa resolução espacial deste sensor resultando em uma menor capacidade de discretização das áreas potencialmente ocupadas por fogo na superfície. Este efeito é particularmente observado nos períodos do dia em que a geometria de observação do satélite resulta em uma grande quantidade de energia solar sendo refletida pela superfície em direção ao sensor. Como consequência, superfícies com albedo elevado podem ser erroneamente rotuladas como potenciais áreas com fogo pelo algoritmo de detecção. Visando reduzir este erro de sobre-amostragem, os arquivos de focos de calor GOES sofrem um tratamento antes que possam ser assimilados na seqüência de processamento do sistema. Este consiste de uma análise de persistência das coordenadas extraídas, onde apenas aqueles pontos identificados em pelo menos três dos últimos quatro arquivos disponíveis são considerados para assimilação (análise das últimas 2 horas). Com isto, é possível reduzir consideravelmente o número de detecções errôneas causadas por condições desfavoráveis de amostragem das imagens, melhorando a performance do sistema.

### 3.2. Módulo de Análise Espacial

Com a assimilação dos dados no sistema de informação geográfica, segue-se a análise espacial dos focos de calor. Neste estágio, os dados de cada sensor são comparados a bases contendo os limites estaduais, municipais, de unidades de conservação, cobertura florestal e

de terras indígenas, havendo a qualificação de cada ocorrência por níveis de alerta (verde e amarelo) em função de critérios de relevância atribuídos a cada um desses gêneros. Dados os diferentes erros de navegação dos pares de coordenadas gerados por cada sensor, são definidos círculos em torno de cada foco de calor (*buffers*) apresentando raios de dimensões específicas, obedecendo as características individuais de cada instrumento. Desta forma, o sistema atribui uma margem de erro de posicionamento para cada conjunto de dados, a qual foi definida pelo acompanhamento prévio de uma seqüência longa de dados de cada instrumento a partir da realização de visitas em campo para inspeção de coordenadas geradas e comparação entre sensores.

### **3.3. Módulo de Repetição**

A integração dos dados dos diferentes sensores é feita a partir do módulo de repetição do sistema. Neste módulo, é mantido um arquivo referência com todas as ocorrências de focos de calor identificadas nas últimas 24 horas. Com a ingestão de um novo arquivo de dados, e após a finalização dos módulos de conversão e de análise espacial, segue-se o cruzamento de cada nova coordenada com as ocorrências anteriores (últimas 24 horas). Novamente, as características de cada sensor são levadas em consideração para que os erros de posicionamento individuais não comprometam a análise da situação. O número de repetições identificadas ao longo das últimas 24 horas para cada par de coordenada vai sendo continuamente atualizado pelo sistema, podendo ser visualizado a partir do arquivo de saída gerado ao final da execução do módulo de relatório.

### **3.4. Módulo de Relatório**

Finalmente, após todas as conversões e análises são concluídas pelos módulos anteriores, o módulo gerador de relatórios é iniciado. Nesse módulo, é acessada a base de focos de calor contendo todas as informações de localização por estado, município, porcentagem de área florestal existente no entorno de cada foco de calor, o eventual recaimento sobre unidades de conservação ou terras indígenas, e o número de ocorrências observadas para cada foco nas últimas 24 horas. A apresentação dos resultados dos cruzamentos pode ser feita por meio de mapas com a distribuição dos focos de calor assim como por meio de tabelas. Todas essas informações são reunidas em um arquivo em formato HTML, podendo ser agrupadas por município, que são disponibilizadas para consulta via internet.

## **4. Conclusão**

Incêndios florestais em regiões tropicais são responsáveis por uma considerável parcela do total global de biomassa queimada anualmente. A fim de aumentar o controle e acompanhamento destes eventos, reduzindo o tempo de resposta da primeira detecção, é necessário o estabelecimento de um sistema de monitoramento dinâmico, capaz de processar dados de diferentes plataformas orbitais em uma base contínua de ingestão e análise. Os resultados preliminares alcançados pelo Sistema Integrado de Monitoramento de Fogo Multi-satélite (SIMM-Fire) mostram que a representatividade dos eventos de fogo pode ser bastante melhorada. Com este procedimento, é possível aumentar a confiabilidade do sistema de monitoramento, uma vez que focos de diferentes sensores, monitorados em diferentes horas do dia, podem ser comparados entre si, atestando a sua existência através de análises de persistência. Simultaneamente, os erros de sub-amostragem ou sobre-amostragem podem ser reduzidos, resultando em um melhor endereçamento das ações de inspeção de campo para fiscalização e combate ao fogo.

## 5. Agradecimentos

Nossos agradecimentos aos centros colaboradores: CPTEC/INPE, CIRA/Colorado State University, GSFC/University of Maryland, e NGDC, que participam disponibilizando as imagens e os arquivos com os focos de calor utilizados pela Sala de Monitoramento do PROARCO.

## 6. Referências Bibliográficas

- Artaxo, P., Fernandes, E. T., Martins, J. V., Yamasoe, M. A., Hobbs, P. V., Maenhaut, W. Longo, K. M., and Castanho, A., 1998, Large-scale aerosol source apportionment in Amazonia. *Journal of Geophysical Research*, **103**, No. D24, 31837-31847.
- Brustet, J. M., Vickos, J. B., Fontan, J., Manissadjan, K., Podaire, A., and Lavenu, F., 1991, Remote sensing of biomass burning in West Africa with NOAA-AVHRR. In *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*, edited by J. S. Levine (MIT Press: Cambridge MA), pp. 47-52.
- Crutzen, P., and Andreae, M. O., 1990, Biomass burning in the tropics: Impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science*, **250**, 1669-1678.
- Dwyer, E., Pinnock, S., Grégoire, J.-M., and Pereira, J. M. C., 2000, Global spatial and temporal distribution of vegetation fire as determined from satellite observations. *International Journal of Remote Sensing*, **21**, 1289-1302.
- Eck, T. F., Holben, B. N., Slutsker, I., and Setzer, A., 1998, Measurements of irradiance attenuation and estimation of aerosol single scattering albedo for biomass burning aerosols in Amazonia. *Journal of Geophysical Research*, **103**, No. D24, 31.865-31.878.
- Elvidge, C. D., Kroehl, H. W., Kihn, E. A., Baugh, K. E., Davis, E. R., and Hao, W. M., 1996, Algorithm for the retrieval of fire pixels from DMSP Operational Linescan System Data. In *Biomass Burning and Global Change – Vol. 1: Remote Sensing, Modeling and Inventory Development, and Biomass Burning in Africa*, edited by J. S. Levine (MIT Press: Cambridge MA), pp. 73-85.
- Figueroa, S. N., and Nobre, C. A., 1990, Precipitation distribution over central and western tropical South America. *Climanálise* (CPTEC/INPE), **5**(06), pp. 36-45.
- França, J. R. A., Brustet, J.-M., and Fontan, J., 1995, Multispectral remote sensing of biomass burning in west Africa. *Journal of Atmospheric Chemistry*, **22**, 81-110.
- Hao, M., and Liu, M. -H., 1994, Spatial and temporal distribution of tropical biomass burning. *Global Biological Cycles*, **8**, 495-503.
- Kaufman, Y. J., Tucker, C. J., and Fung, I., 1990, Remote sensing of biomass burning in the tropics. *Journal of Geophysical Research*, **95**, 9927-9939.
- Kaufman, Y. J., Justice, C., Flynn, L., Kendall, J., Prins, E. M., Ward, D.E., and Setzer, A., 1998, Potential global fire monitoring from EOS-MODIS. *Journal of Geophysical Research*, **103**, 32215-32238.
- Lenoble, J., 1991, The particulate matter from biomass burning: A tutorial and critical review of its radiative impact. In *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*, edited by J. S. Levine (MIT Press: Cambridge MA), p. 381-386.
- Li, Z., and Giglio, L., 1999, A review of AVHRR-based fire detection algorithms. In: Forest Fire Monitoring and Mapping: A Component of Global Observation of Forest Cover, Ispra-Italy, November, 1999. *Report of a Workshop*, edited by F. Ahern, J.-M. Grégoire, C. Justice, European Commission, JRC, p. 175-197
- Li, Z., Wandon, S., and Cihlar, J., 2000, Satellite-based detection of Canadian boreal forest fires: Development and Application of the Algorithm. *International Journal Remote Sensing*, **21**, 3057-3069.
- Nobre, C. A., Mattos, L. F., Dereczynski, C. P., Tarasova, T. A., and Trosnikov, I. V., 1998, Overview of atmospheric conditions during the Smoke, Clouds, and Radiation - Brazil (SCAR-B) field experiment. *Journal of Geophysical Research*, **103**, No. D24, 31809-31820.

Prins, E. M., and Menzel, W. P., 1992, Geostationary satellite detection of biomass burning in South America. *International Journal of Remote Sensing*, **13**, 2783-2799.

Randriambelo, T., Baldy, S., Bessafi, M., Petit, M., and Despinoy, M., 1998, An improved detection and characterization of active fires and smoke plumes in South-Eastern Africa and Madagascar. *International Journal of Remote Sensing*, **19**, 2623-2638.

Ross, J. L., and Hobbs, P. V., 1998, Radiative characteristics of regional hazes dominated by smoke from biomass burning in Brazil: Closure tests and direct radiative forcing. *Journal of Geophysical Research*, **103**, No. D24, 31925-31941.

Setzer, A., and Malingreau, J.P., 1996, AVHRR Monitoring of Vegetation Fires in the Tropics: Toward the Development of a Global Product. In *Biomass Burning and Global Change – Vol. 1: Remote Sensing, Modeling and Inventory Development, and Biomass Burning in Africa*, edited by J. S. Levine (MIT Press: Cambridge MA), pp. 25-39.

Setzer, A., and Pereira, M. C., 1991, Amazonia Biomass Burning in 1987 and an estimate of their tropospheric emissions. *Ambio*, **20**(1):19-22.

Stroppiana, D., Pinnock, S., and Grégoire, J.-M., 2000, The global fire product: daily fire occurrence from April 1992 to December 1993 derived from NOAA AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, **21**, 1279-1288.