

**QUEIMADAS NA AMAZÔNIA SUL-OCIDENTAL, ESTADO DO ACRE - BRASIL:  
COMPARAÇÃO ENTRE PRODUTOS DE SATÉLITES (GOES-8 E NOAA-12) E  
OBSERVAÇÕES DE CAMPO**

DIOGO SELHORST<sup>1</sup>  
IRVING FOSTER BROWN<sup>1, 2, 3</sup>

<sup>1</sup>UFAC/PZ-SETEM - Universidade Federal do Acre, Parque Zoobotânico, Setor de Estudos do Uso da Terra e Mudanças Globais  
Campus Universitário BR 364 km 04, CEP 69915-900 - Rio Branco -AC, Brasil  
selhorst@bol.com.br

<sup>2</sup>UFF – Universidade Federal Fluminense

<sup>3</sup>WHRC – Woods Hole Research Center

Campus Universitário BR 364 km 04, CEP 69915-900 - Rio Branco -AC, Brasil  
fbrown@uol.com.br

**Abstract.** This study analyzes the accuracy of fire monitoring in 2001 by GOES-8 and NOAA-12 satellites through comparison with field, videography and official data in Acre State, Brazil. For 2001, 7100 permits for deforestation were granted for Acre State. Videographic data indicate > 6800 fires before 19 September. The number of fires extrapolated from the IBAMA enforcement flights is >2700. Hot pixels for the period of July to November 2001 from AVHRR/NOAA-12 indicate 830 fires. A partial GOES-8 database for the period 15 September through 31 October reported 1700 processed fire pixels. For the burning season of 2001, hot pixels from NOAA-12 and the GOES-8 partial data set are 9 to 2 times fewer than fires associated with burning permits, respectively. As the true number of fires is likely to be larger than indicated by the permits, the uncertainty of fire frequency based on pixel data is problematic for public policy decisions.

**Keywords:** remote sensing, GOES-8, NOAA, fire detection, biomass burning, Amazon.

## 1 - Introdução

O total de biomassa queimada por ano é uma das estimativas com maior incerteza na quantificação do ciclo global do carbono. Atualmente as regiões do planeta onde mais se queima estão nos países em desenvolvimento dos trópicos e sub-trópicos da África, América do Sul e sudeste Asiático. Para estas áreas o sensoriamento remoto é a melhor ferramenta para quantificar e analisar a distribuição e extensão das queimadas e da fumaça, (Prins et al. 1998). Na região Amazônica as queimadas estão diretamente ligadas a mudanças no uso e cobertura do solo. Também há casos de incêndios florestais acidentais que atingem grandes proporções como o ocorrido em Roraima em 1998 (Kirchhoff & Escada 1998). Anualmente o desflorestamento associado com a queima de biomassa na Amazônia aumenta o fluxo de gases traços causadores do efeito estufa e outros compostos à atmosfera.

Estudos realizados no Estado do Acre e outras partes da Amazônia mostram que queimadas acidentais causam sérios prejuízos econômicos e ecológicos (Nepstad et al. 1999; Diaz et al. 2002). No Acre e no resto da Amazônia as queimadas se agravam durante eventos de El Niño, quando as chuvas são mais escassas e com distribuição alterada, tornando áreas de floresta primária susceptíveis a incêndios.

Os dados sobre queimadas gerados por sensoriamento remoto são interferidos pela presença de nuvens, resolução espacial e temporal, área de cobertura e ângulo de visão (Feltz et al. 2001). Tais limitações se devem aos satélites meteorológicos internacionais não terem o monitoramento de queimadas como único propósito (Prins et al. 2001).

Este trabalho apresenta dados quantitativos e comparativos de queimadas a nível de município para o Estado do Acre; trata também da discordância entre dados dos satélites GOES-8 e NOAA-12. De forma genérica este estudo faz uma comparação entre estimativas de queimadas por distintos métodos para o estado. O objetivo é responder duas perguntas: 1) O quanto de queimadas são identificadas pelos satélites? 2) Quais são as variações temporais e espaciais de queimadas no Acre?

## 2 - Definições operacionais de queimadas

Para fins deste estudo consideramos no campo e na interpretação de imagens, uma queimada como sendo qualquer área > 0,5 hectare onde houve queima da biomassa com duração de menos do que um dia.. Usamos esta definição porque queimadas intencionais são de dois tipos: a) corte e queima de floresta e b) queima de pastagens para fins de manejo. São 160 mil moradores rurais (seringais, colônias e assentamentos) no Acre (Sawyer, 2000), equivalente a cerca de 30.000 unidades familiares, sendo que uma parte significativa destas famílias praticam corte e queima de florestas cada ano com áreas entre 0,5 ha e ~ 5 há. Queimadas realizadas por pequenos produtores geralmente começam perto do meio dia e terminam em menos de 24 horas. Outra parte das queimadas são para formação e manejo de pastagens em fazendas. Estas queimadas variam em área da ordem de hectares a centenas de hectares por cada evento que se estendem às vezes por mais de 24 horas.

Na detecção pelos satélites uma queimada é ou não registrada dependendo da energia termal que emite e das condições atmosféricas entre a queimada e o sensor do satélite. Segundo Prins et al. (2001), na América do Sul queimadas menores que 1 ha foram detectadas pelo GOES-8. Para o AVHRR do NOAA uma frente de fogo com 30 m x 0,5 m pode ser detectada. Convencionalmente chamamos estes eventos detectados pelos satélites de pontos quentes ou focos de calor. São resultados de algoritmos aplicados nos dados destes satélites e que consideramos como queimadas neste texto.

### 3 - Fonte de dados e tratamentos

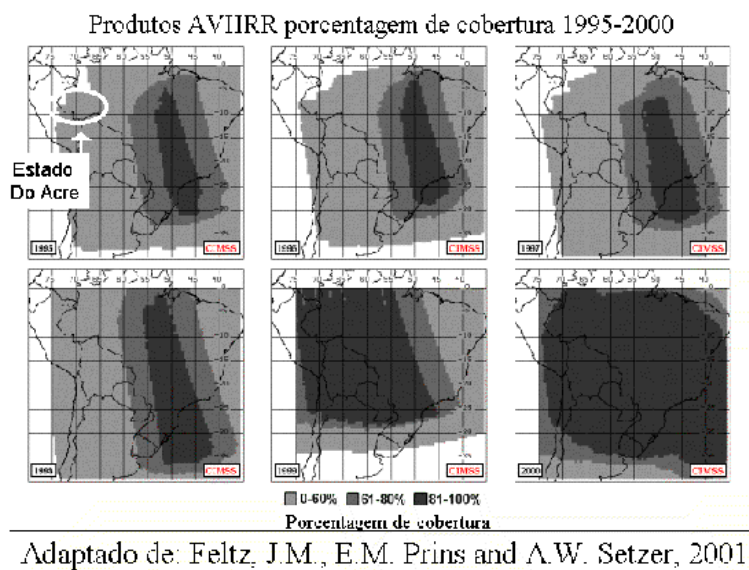
Neste estudo cinco fontes distintas de dados foram utilizadas para estimar o número de queimadas no Estado do Acre em 2001: dados dos satélites GOES-8 e NOAA-12, observações de campo, videografia digital e licenças para corte/queima.

#### 3.1 - Dados do satélite NOAA-12 (sensor AVHRR)

O satélite NOAA-12 tem órbita polar e na detecção de queimadas usa uma janela no infravermelho (3.7  $\mu\text{m}$ ) com resolução espacial de 1,1 km (nadir). Ele abrange a área entre 7° N e 40° S; 75° W e 34,5° W (**Figura 1**). Os dados diários são de passagens no final da tarde entre 20 e 22 horas UTC, equivalente a 15 e 17 horas no Acre. Os dados foram obtidos na Internet disponibilizados pelo INPE/CPTEC (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos; <http://www.cptec.inpe.br/products/queimadas>)

Para os anos de 1998-2000, os dados foram coletados de mapas diários, disponíveis através da opção: todos os mapas (all maps) na mesma página web acima. Em 1998 a maioria das passagens do NOAA-12 cobriu apenas parcialmente o Estado do Acre. Atualmente a cobertura para região do Estado do Acre foi melhorada, devido ao funcionamento da nova estação receptora em Cuiabá-MT a partir de 1999.

Figura 1 Fração da cobertura do NOAA entre 1995 e 2000. Nota-se a melhoria da cobertura para o Estado do Acre a partir de 1999 após o funcionamento da nova estação receptora em Cuiabá-MT. Níveis de cinza em frações de 0% a 50%, 51% a 80%, 81% a 100% da cobertura



Dados para 2001 foram obtidos no sistema Spring-Web, uma versão de SIG on-line desenvolvido pelo PROARCO (Programa de Prevenção e Controle de Queimadas e Incêndios Florestais na Amazônia Legal) que disponibiliza diariamente dados do satélite NOAA sob uma base georeferenciada.

#### 3.2 - Dados do satélite GOES-8

O satélite GOES-8 usa para detecção de queimadas duas janelas no infravermelho (3.9  $\mu\text{m}$  e 10.7  $\mu\text{m}$ ) com resolução espacial de 4 km (nadir). Devido a sua órbita geostacionária, sua cobertura abrange praticamente toda América do Sul. Os dados para o ano de 1998 são de 4

horários por dia 00:15, 06:15, 12:15 e 18:15 (horário UTC, local -5). Não foram usados dados de 1999. Para 2000 os dados são de 8 horários por dia (02:45, 05:45, 08:45, 11:45, 14:45, 17:45, 20:45 e 23:45). Para 2001 os dados são de 48 horários por dia (cada meia hora).

Os dados de 1998 e 2000 foram tratados pelo algoritmo ABBA (Automated Biomass Burning Algorithm) desenvolvido pelo CIMSS (Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies) da Universidade de Wisconsin - Madison. Para 2001 os dados foram tratados pelo novo algoritmo WF-ABBA (Wild Fire - Automated Biomass Burning Algorithm) também desenvolvido pelo CIMSS/UW-Madison, apresentando melhoria na resolução temporal e no tratamento de dados contaminados por nuvens e por áreas altamente refletivas (Prins et al. 2001). Todos os dados (1998, 2000 e 2001) foram filtrados e considerados apenas pontos quentes com flag = 0.

### **3.3 - Videografia digital**

A videografia foi realizada com equipes do INPE e IBAMA em 19 setembro de 2001, a bordo da aeronave bandeirante do INPE. A área sobrevoada corresponde a mais antropizada do estado, na parte leste com aproximadamente 80% do total da área desmatada do estado (Sassagawa e Brown 2000). As imagens selecionadas representam ~ 400 km<sup>2</sup> (**Figura 2**).

Aproximadamente metade da área videografada estava com cobertura florestal. Esta estimativa é resultante de uma classificação visual, onde cada imagem (total de 627) foi classificada quanto a porcentagem de cobertura florestal nas seguintes classes: 0% a 25% desflorestada; 25% a 50% desflorestada; 50% a 75% desflorestada; 75% a 100% desflorestada (**Figura 2**). O total de número de cicatrizes de queimadas encontradas na área antropizada da videografia (~ 200 km<sup>2</sup>) foi extrapolado para a área antropizada de todo Estado do Acre, equivalente a 10% ou ~15.300 km<sup>2</sup> (INPE 2002). É importante ressaltar que após 19 de setembro as queimadas ainda continuaram por quase 2 meses e que cicatrizes lado a lado podem ter sido interpretadas como apenas uma, gerando subestimativas no número de eventos de queimadas.

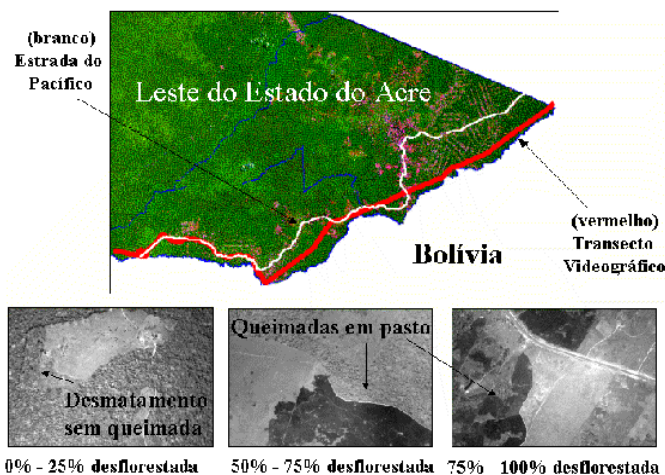
### **3.4 - Fiscalização de queimas no campo**

Em 2001 os técnicos do IBAMA/PROARCO sobrevoaram, com helicóptero, diversas áreas do Estado do Acre georeferenciando queimadas e desmatamentos em uma campanha de fiscalização durante os meses de setembro e outubro. Segundo estimativa do setor de fiscalização do IBAMA-Ac, a operação identificou cerca de 40% das queimadas ocorridas naquele ano. Este percentual se deve a operação ter ocorrido simultaneamente ao período de queimadas, onde áreas já visitadas continuaram a queimar depois de sobrevoadas. A operação também não cobriu todas as áreas ocupadas do estado.

### **3.5 - Licenciamento oficial para corte e queima**

Em 2001 as licenças para corte e queima no Estado do Acre foram de responsabilidade conjunta entre o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA e o Instituto de Meio Ambiente do Acre - IMAC. O IBAMA (áreas maiores que 20 hectares) concedeu 60 autorizações e o IMAC (áreas menores que 20 hectares) concedeu 7.000 licenças. É importante lembrar que estes dados não consideram queimadas ilegais ou acidentais. Também podem ocorrer licenças que não resultaram em queimadas.

Figura 2 - Transecto videográfico realizado em 19 de setembro de 2001 na parte leste do Estado do Acre, Brasil. Com exemplos de imagens classificadas quanto a porcentagem de cobertura vegetal em classes de 25%.

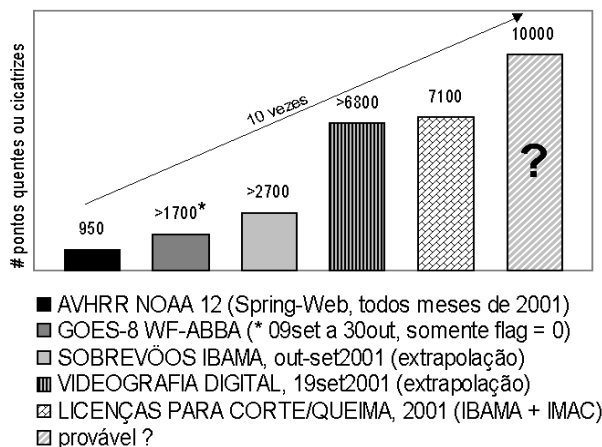


#### 4 - Indicadores de queimadas ocorridas no Estado do Acre em 2001

De acordo com as distintas fontes de dados a quantidade de queimadas alcançou diferenças de até 10 vezes em estimativas para o Acre em 2001. A **Figura 3** mostra uma subestimativa pelo satélite NOAA-12 e possivelmente pelo GOES-8, quando comparados com as outras estimativas, podendo ser resultado de: limitações da própria tecnologia como tamanho do pixel (mais problemático no GOES-8); impedimentos naturais como nuvens (comuns para ambos satélites); e principalmente a limitações orbitais, mais problemático no NOAA-12, devido a órbita polar com passagens no fim da tarde depois do horário de pico no número de queimadas que diariamente acontecem no Estado do Acre.

Os dados do GOES-8 não são completos para 2001, portanto não serão discutidos quanto a aproximação com as outras estimativas. Apesar disso estes dados ainda mostrou um número quase 2 vezes maior que a estimativa do NOAA-12 para 2001, devido o satélite coletar dados a cada meia hora, ou 48 vezes ao dia. Esta capacidade, devido a órbita geoestacionária, permite detectar queimadas ao longo de todo o dia, no entanto, queimadas registradas em vários horários consecutivos foram filtradas pelo algoritmo WF-ABBA versão 5.9.

Figura 3 - Indicadores de queimadas para o Estado do Acre em 2001. Alguns valores estão considerados como mínimos (>) conforme justificativa nos tópicos 3.2, 3.3 e 3.4.



## 5 - Limitações x possibilidades do uso de dados dos satélites GOES-8 e NOAA-12

Exemplos da utilização dos dados GOES-8 e NOAA-12 a nível estadual e municipal serão mostrados abaixo. Ressaltamos também algumas limitações ou problemas na série histórica de dados disponíveis para o Estado do Acre.

### 5.1 - Análise temporal

Uma pergunta central para entendermos a evolução do uso da terra no Acre e as implicações de políticas públicas de controle de queimadas é se as queimadas estão aumentando ou diminuindo nos últimos anos. Para verificar as tendências de aumento, diminuição ou estabilidade no número de queimadas de 1998 a 2001, usamos a série de dados disponíveis do GOES-8 e NOAA-12. A comparação da evolução de pontos quentes entre os satélites mostra tendências opostas se comparados o número de pontos quentes de 1998 com 2000 (**Figura 4**). Segundo dados do NOAA-12 houve aumento de 76% na quantidade de pontos quentes, enquanto os dados GOES-8 indicam diminuição de 44%, mesmo aumentada em 2 vezes a resolução temporal da coleta de dados pelo GOES-8 (4 horários em 1998 e 8 horários em 2000).

Análises evolutivas com dados NOAA são dificultadas pela variação na área de cobertura que é bem marcante nas regiões marginais ao nadir (linha mais vertical entre o satélite e a superfície). Estas áreas marginais correspondem aos Estados do Acre, Rondônia, Amazonas, os do Nordeste do Brasil, além de países como a Bolívia, Paraguai e Argentina (**Figura 1**). Mesmo com instalação da nova estação receptora de Cuiabá-MT e conseqüente melhoria na área de cobertura a detecção de queimadas pelo satélite NOAA-12 mostra inconsistências com observações de campo. A primeira quinzena de setembro é tradicionalmente o período com a maior intensidade de queimadas no Acre com dezenas a centenas de focos por dia. Porém como se vê na **Figura 5** o satélite NOAA-12 não registrou nenhum foco no período de 1 a 11 de setembro de 2001.

Figura 5 – Dados para o Estado do Acre do AVHRR NOAA-12 (INPE) completos e dados GOES-8 ABBA completos apenas nos anos de 1998 e 2000.

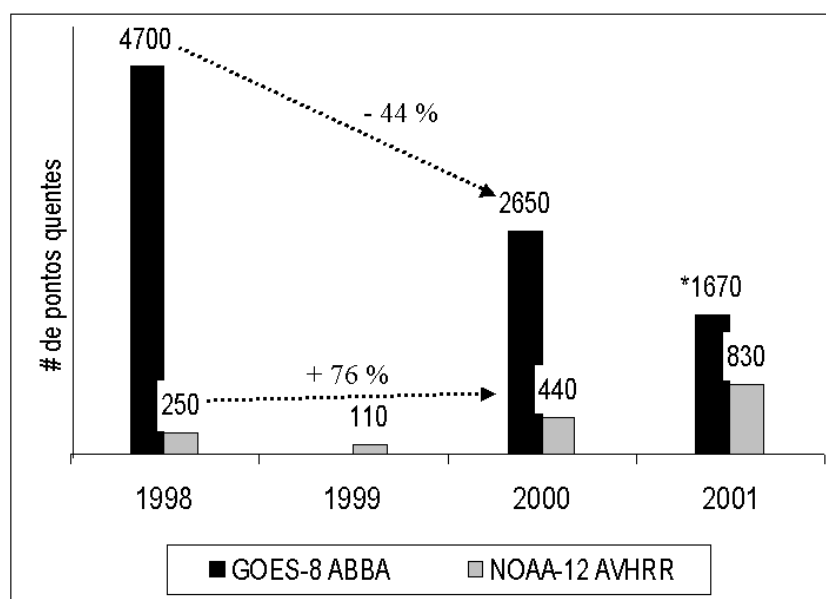
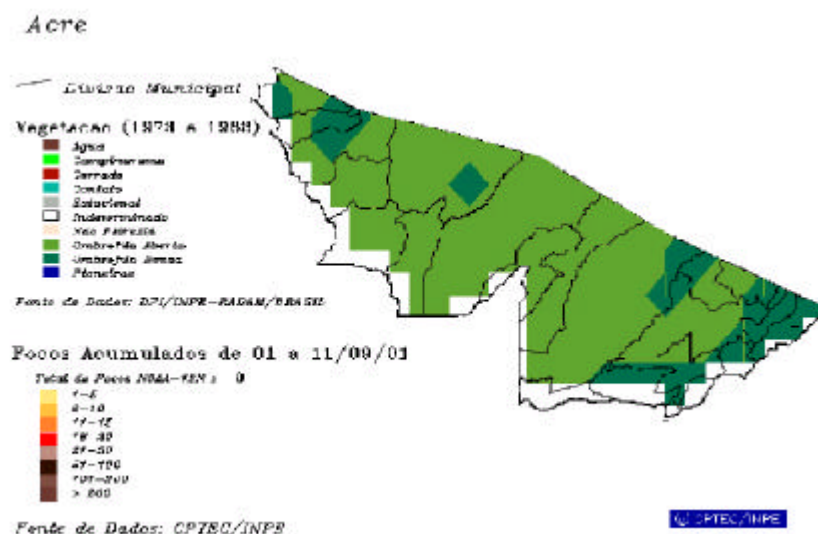


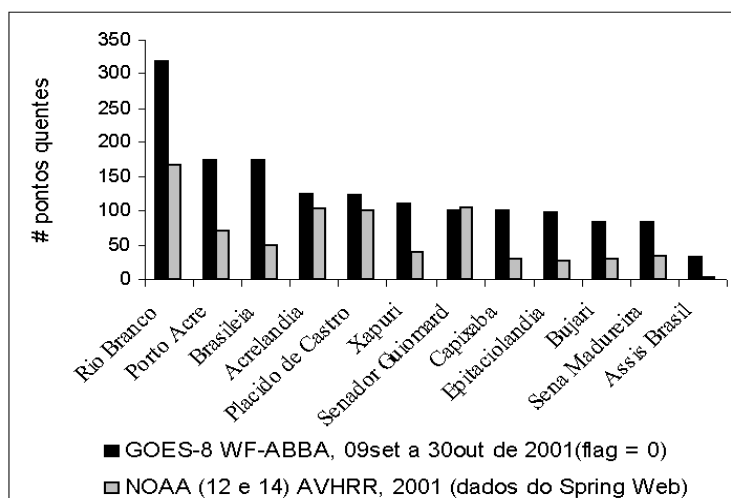
Figura 5 – Queimadas acumuladas de 01 a 11 de setembro de 2001 = 0 (zero). Dados do CPTEC/INPE para o Estado do Acre.



## 5.2 – Distribuição espacial (análise municipal).

A nível de municípios ou de projetos de assentamentos humanos pode-se eleger áreas prioritárias para prevenção e controle, dependendo da distribuição relativa dos pontos quentes. Os indicativos são diferentes quando comparados dados de dois satélites. Por exemplo, os dados do satélite GOES-8 mostram número de pontos quentes quase iguais nos municípios de Senador Guiomard e Xapuri. Mas segundo dados do NOAA-12, Xapuri tem menos da metade de pontos quentes em comparação com Senador Guiomard (**Figura 6**). Esta diferença complica a análise do efeito de políticas públicas no controle de queimadas na escala municipal.

Figura 6 - Número de pontos quentes por municípios do leste do Estado do Acre para 2001, com dados dos satélites NOAA-12 AVHRR e GOES-8 WF-ABBA (09set a 30out).



## 6 - Conclusões

Existem erros de omissão na detecção de queimadas tanto pelo GOES-8 quanto pelo NOAA-12. Estes erros de omissão são esperados por causa dos efeitos de nuvens e fumaça que podem

mascarar as queimadas. A detecção de queimadas pelos satélites é provavelmente na ordem de metade a um décimo das queimadas ocorrendo no campo.

As distribuições temporal e espacial de queimadas detectadas no Estado do Acre divergiram significativamente entre dados dos satélites NOAA-12 e GOES-8. Estas diferenças dificultam análises de impactos de fatores climáticos, socioeconômicos e de políticas públicas na ocorrência de queimadas no Acre.

Atualmente existe um crescente esforço da comunidade científica nacional e internacional dedicado ao refinamento das técnicas de detecção de queimadas para minimizar as incertezas. Portanto acreditamos que as divergências aqui levantadas sejam em breve resolvidas.

## 7 – Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer ao Alberto Setzer do INPE e ao Geraldo Lucatelli do IBAMA que incentivaram a nossa participação no sobrevôo pelo leste do Acre e que disponibilizaram a videografia usada nas análises, ao Manoel Morais de Sales do IBAMA e à equipe do PROARCO pelas informações dos sobrevôos de helicóptero, ao IMAC e IBAMA/AC pelos dados de licenciamento de queimadas, às demais pessoas colaboradoras deste trabalho.

## 8 – Bibliografia

Diaz, M. C. V., Nepstad, D., Mendonça, M. J. C., Motta, R. S., Alencar, A., Gomes, J. C., Ortiz, R. A., 2002. O preço oculto do fogo na Amazônia: os custos econômicos associados às queimadas e incêndios florestais. Relatório de pesquisa IPAM, IPEA & WHRC, 2002. Disponível em: <<http://www.amazonia.org.br/arquivos/29961.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2002.

Felz, J. M., Prins, E. M. and Setzer, A. W. A comparison of the GOES-8 ABBA and INPE AVHRR fire products for South America from 1995-2000: Proceedings of the 11<sup>th</sup> Conference on Satellite Meteorology and Oceanography, Madison, WI, October 15-18, p. 51-54, 2001.

INPE. Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite 2000-2001. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2002. Disponível em: <[http://www.inpe.br/Informacoes\\_Eventos/amz2000\\_2001/Capa.htm](http://www.inpe.br/Informacoes_Eventos/amz2000_2001/Capa.htm)> Acesso em: 10 nov. 2002.

Kirchhoff, V. W. J. H., Escada, P. A. S. O mega incêndio do século – 1998. São José dos Campos, SP: Transtec, 1998.

Nepstad, D. C., Veríssimo, A., Alencar, A., Nobre, C., Lima, E., Lefebvre, P., Schlesinger, P., Potter, C., Moutinito, P., Mendoza, E., Cochrane, M. and Brooks, V. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*, n. 398, 505-508, 1999.

Prins, E. M., Felz, J. M., Menzel, W. P., Ward, D. E. An overview of GOES-8 diurnal fire and smoke results for SCAR-B and 1995 fire season in South America. *Journal of Geophysical Research*, v. 103 n. D24. p. 31,821-31,825, December 27, 1998.

Prins, E. M., Schmetz, J., Flynn, L. P., Hillger, D. W., and Felz, J. M. An overview of diurnal active fire monitoring using a suite of international geostationary satellites. *Global and Regional Vegetation Fire Monitoring from Space: Planning a Coordinated International Effort*, p. 145-170. Academic Publishing. The Hague, The Netherlands, 2001.

Sassagawa, H. S. Y., Brown I. F. Desflorestamento e Queimadas no Acre: Análise de Tendências Recentes. Em: ACRE, Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre. Zoneamento Ecológico-Econômico: Aspectos Socioeconômicos e Ocupação Territorial. Documento final. Rio Branco: SECTMA, v. 2, p 151-161, 2000.

Sawyer, D., 2000. Demografia do Acre. Em: ACRE, Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre. Zoneamento Ecológico-Econômico: Aspectos Socioeconômicos e Ocupação Territorial. Documento final. Rio Branco: SECTMA, v. 2, p. 57 – 78, 2000.