

Estimativas de áreas afetadas pelo fogo no leste do Acre associadas à seca de 2005

Nara Vidal Pantoja¹
Irving Foster Brown^{2,3}

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
nara@dsr.inpe.br

²Universidade Federal do Acre, Parque Zoobotânico, Setor de Estudos do Uso da Terra e Mudanças Globais - UFAC/PZ/SETEM
Campus Universitário, BR-364 – km 04
Caixa Postal 500 - 69915-900 - Rio Branco - AC, Brasil

³Woods Hole Research Center - WHRC
Caixa Postal 296 - 02543 - Woods Hole - MA, Estados Unidos
fbrown@uol.com.br

Abstract. This research was developed in eastern Acre State, Brazil to refine the estimates that Brown et al. (2006b) made using CCD/CBERS-2, ASTER, and TM/LANDSAT-5 imagery of the areas burned during the 2005 drought. The area of standing forests burned estimated by Brown et al (2006b) as >267,200 ha was first modified by including a combined error of omission and commission (26%) based on overflight observations, resulting in an estimate of 337,000 ha in unfragmented forests. Field work along 100 km of settlement roads suggests that for the most affected municipality, Rio Branco, omission of burned forest fragments <3 ha would increase estimates by 12 ha km⁻¹ of settlement roads. For the Rio Branco municipality inclusion of this factor would raise the combined error from 26% to 55%. If this were representative for all of eastern Acre, the area of standing forest burned would be 417,000 ha. These estimates provide bounds of 337,000 and 417,000 ha for burned standing forests. For open areas burned, Brown et al. (2006b) estimated >202,300 ha, using burn scars from images taken before the end of the burning season. Correction of non-observed burning raised this value by a factor of 1.83 using hot pixel data and by 2.79 using more recent Landsat TM satellite imagery, resulting in estimates of 372,000 and 566,900 ha for open area burned in eastern Acre, respectively. The new estimates reinforce the importance of designing municipal, state, and federal public policies to avoid similar disasters in future droughts.

Palavras-chave: Accuracy, remote sensing data, estimate burned area, Amazonia. Acurácia, dados de sensoriamento remoto, estimativa de área queimada, Amazônia.

1. Introdução

A seca prolongada que ocorreu na região Amazônica em 2005 marcou a história do Acre com uma situação crítica de queimadas e fogo em florestas. A redução drástica do fluxo de água do Rio Acre somada à baixa umidade relativa do ar (cerca de 30%), altas temperaturas, ocorrência de ventos fortes e ausência de chuvas durante o verão contribuíram para a ocorrência de incêndios que danificaram dezenas de milhares de áreas causando a morte de árvores e conseqüentemente a emissão de milhões de toneladas de gases de efeito estufa para a atmosfera (Brown et al. 2006a).

Aragão et al. (2007) relatam que durante a seca de 2005, a área florestal coberta por incêndios foi cinco vezes maior do que a área diretamente desmatada. Shimabukuro et al. (no prelo) estimaram que 370.000 ha de área aberta queimada e 280.000 ha de florestas foram afetadas em 2005 no Acre. Porém, estes autores usaram dados do sensor MODIS com resolução de 250 m para essas estimativas.

Um grupo de técnicos de várias instituições fez estimativas de áreas afetadas por fogo em 2005 no leste do Estado do Acre, tanto em áreas abertas quanto em florestas. As estimativas foram feitas como limites inferiores, isto é, >202.300 ha para áreas abertas queimadas e

>267.200 ha para florestas com copas afetadas por incêndios (Brown et al. 2006b). O grupo fez esta abordagem conservadora por dois motivos: 1) fornecer informações rápidas à sociedade regional em tempo para a época de queimadas em 2006; e 2) fornecer uma referência mínima para orientar o debate sobre políticas públicas (Morgan e Henrion, 1990).

Para fins de implementar programas de controle de incêndios é necessário estimar melhor as áreas afetadas pelo fogo associadas à seca de 2005. O objetivo deste trabalho é produzir estimativas mais representativas de áreas queimadas para a região e responder a questão: quanta área queimou no leste do Acre em 2005?

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Área de estudo

A região de estudo está localizada no estado do Acre, extremo sudoeste da Amazônia brasileira, abrange o município de Sena Madureira e os municípios das regionais do Alto e Baixo Acre, totalizando 12 municípios que cobrem 6.200.000 ha (Figura 1).

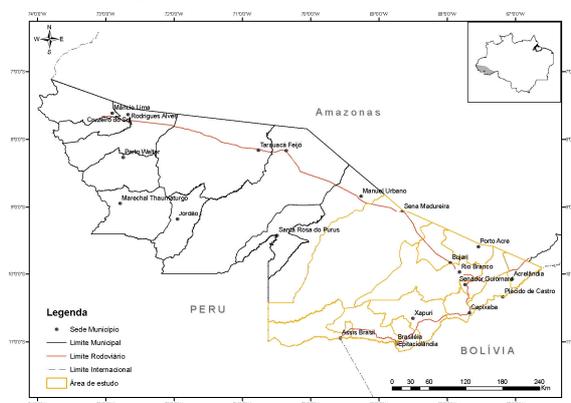


Figura 1. Área de estudo, destacando os municípios da região leste do Estado do Acre.

2.2. Dados utilizados

2.2.1. Floresta impactada por incêndios

Foram utilizados dados levantados na Rodovia AC-90 para verificar possíveis erros de estimativas usando imagens TM/LANDSAT-5, cena 002-67, de 13/10/2005 e CCD/CBERS-2, órbita-ponto 179/112 e 180/112, datadas de 12/10/2005 e 29/07/2005, respectivamente.

Existem duas definições relacionadas, porém distintas: floresta com copa afetada (FCA) por incêndio e floresta impactada por incêndio (FII). FCA é detectável por sensoriamento remoto; algumas florestas foram impactadas por incêndios que não afetaram a copa e conseqüentemente são mais difíceis de detectar via sensoriamento remoto. Deste modo, as estimativas da área de FCA poderiam ser subestimativas da de FII. A estimativa das áreas de floresta com copa afetada pelas queimadas foi feita com base na interpretação visual e digitalização manual de polígonos diretamente nas imagens citadas com a utilização do software ArcGis 9.1. Brown et al. (2006b) adotaram este método, pois as imagens CCD/CBERS-2 mostram ruídos com faixas que dificultaram a classificação automática para florestas, e as formas freqüentemente arredondadas da distribuição das manchas de florestas impactadas ajudaram na sua identificação visual.

2.2.2. Área aberta queimada

As estimativas de área aberta queimada (AAQ) geradas por Brown et al. (2006b) a partir dos satélites CCD/CBERS-2 e ASTER foram feitas baseando-se em diferentes datas, geralmente antes do fim da época de queimadas. Para melhorar as estimativas de área aberta foi utilizado o número de focos de calor detectados no período de aquisição das imagens CCD/CBERS-2 utilizadas para classificação, conforme mostra a Tabela 1. Sabendo que as

imagens são de períodos de agosto até meados de outubro e usando a premissa de que os focos de calor são proporcionais às áreas queimadas, obtivemos o valor aproximado de área não incluído nas estimativas.

A imagem TM/LANDSAT-5, composição colorida, cena 002/67, de 13/10/2005 sobreposta em uma parte das imagens do satélite CCD/CBERS-2 foram usadas na classificação manual. Deste modo, as imagens CCD/CBERS-2, órbita/ponto 179/111 e 179/112, datadas de 24/08/05 foram selecionadas para saber qual percentual de área queimada não foi incluída na estimativa, pois após esse período ainda houve ocorrência de fogo em toda região, que se estendeu até meados de outubro.

2.3. Dados de levantamento de campo

Para validar as estimativas de floresta com copa afetada foi realizado um levantamento de campo no município de Rio Branco-AC, onde foram percorridos em torno de 100 km de estradas em um veículo 4x4 com GPS no dia 03/08/2007 (Figura 2). Foram utilizados 18 pontos oriundos desse levantamento para validar as estimativas a partir da visualização dos pontos que se sobrepunham aos polígonos de FCA.

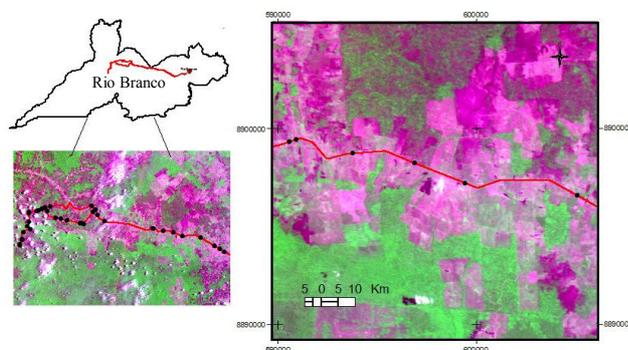


Figura 2. Pontos de GPS coletados ao longo da Rodovia AC-90, município de Rio Branco-AC. O trecho em vermelho mostra a parte da rodovia que foi percorrida e no destaque (lado direito) pontos de GPS georreferenciados para identificar fragmentos de floresta que foram afetados pelo fogo em 2005. Imagem CCD/CBERS-2 179/111 de 12/10/2005.

2.4. Análise dos dados

Os pontos de GPS foram sobrepostos aos polígonos de FCA editados por Brown et al. (2006b) e para os pontos onde não havia polígonos foi realizada uma edição para calcular a área que foi omitida nas estimativas para a região percorrida.

As estimativas de área aberta queimada foram obtidas usando o número total de focos de calor para todo o ano de 2005 no Acre *versus* o número de focos até a data das imagens CCD/CBERS-2 para obter o fator de aumento da área queimada para o período depois da última imagem usada, assumindo que a área queimada é proporcional ao número de focos de calor. A nova estimativa foi feita usando média ponderada por considerar datas diferentes para as imagens.

Um segundo método de estimativa usou a edição manual de polígonos na imagem TM/LANDSAT-5 (002-67 de 13/10/2005) para estimar o aumento da área queimada após a data das imagens 179/111 (03/07/05, 29/07/05 e 24/08/05) e 179/112 (03/07/05, 29/07/05 e 24/08/05) do CCD/CBERS-2. A seleção da área aberta queimada foi de acordo com o formato e a tonalidade vista nas imagens. A Figura 4 mostra que as bandas 4 e 5 do TM/LANDSAT-5 permitem uma clara distinção entre áreas abertas queimadas e não queimadas e florestas.

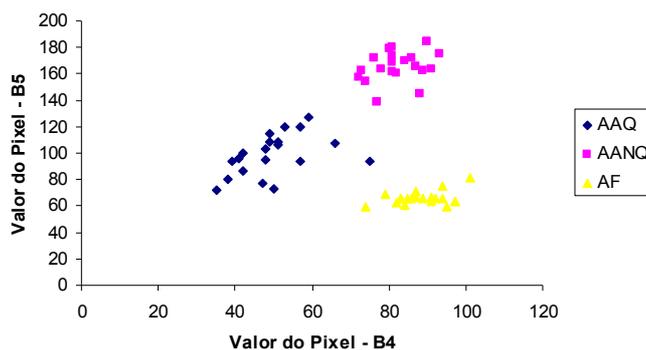


Figura 4. Valor de pixel nas bandas 4 e 5 do satélite TM/LANDSAT-5 de 13/10/2005. A banda 4 tem valores de pixels mais altos em florestas e baixos em áreas queimadas. As amostras selecionadas na imagem mostraram a similaridade na classificação manual adotada para área aberta queimada em 2005 (AAQ), área aberta não queimada em 2005 (AANQ) e área de floresta (AF), mostrando a distinção dos alvos da classificação.

3. Resultados e Discussão

3.1. Floresta impactada por incêndios

Brown et al. (2006b) reportaram erros de omissão (28%) e de inclusão (2%) nos dados baseados em observações de sobrevôos, mas não incluíram estes erros na estimativa de >267.200 ha de FCA. Ao considerar este percentual, obtivemos aproximadamente 26% de incêndios que não foram detectados. Ao utilizar o valor total de FCA (>267.200 ha) e incluindo os erros de omissão detectados, a estimativa mais aproximada baseada nos erros de omissão citados por estes autores é de cerca de 337.000 ha (267.200 ha x 1,26) para o leste do Acre, assumindo que as áreas omitidas são proporcionais aos pontos de observação. As observações de omissão foram principalmente em regiões onde a cobertura florestal predominava, e não nas áreas de colonização e florestas fragmentadas com menos de 3 ha.

Na análise de floresta com copa afetada, os fragmentos florestais com menos de 3 ha não foram contabilizados, pois o método usado pelos autores foi a digitalização manual, que omitiu também áreas menores que 3 ha, o que geralmente ocorre em projetos de colonização e próximo de estradas. Estas áreas não foram amostradas porque os incêndios florestais e as queimadas ocorreram tão próximos um do outro que impediram a identificação de incêndios dentro dos fragmentos.

No trabalho de campo os pontos de florestas queimadas validados com os polígonos de FCA mostraram que somente dois pontos foram confirmados e conferidos para testar possíveis erros de inclusão na digitalização, o que não ocorreu. A Figura 5 mostra um exemplo de polígono que foi confirmado.

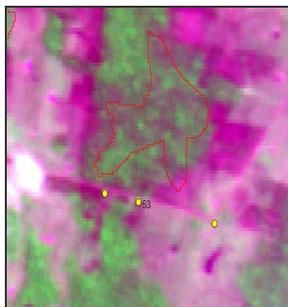


Figura 5. Polígono de FCA que foi confirmado durante levantamento de campo. Imagem CCD/CBERS-2 179/111 de 12/10/2005.

A Tabela 2 apresenta os pontos do levantamento de campo onde não havia polígonos de FCA em que foi calculada a área que foi omitida nas estimativas para a região observada, de modo que nos 100 km houve cerca de 1.200 ha.

Tabela 2. Classificação de fragmentos florestais atingidos pelo fogo em 2005 na Rodovia AC-90 baseada na interpretação visual (feições indicadoras de floresta impactada) e confirmada com os pontos de GPS.

Nº	Área (ha)	Nº	Área (ha)	Nº	Área (ha)
1	46	7	23	13	15
2	35	8	21	14	13
3	246	9	7	15	49
4	42	10	8	16	4
5	283	11	19	17	58
6	85	12	26	18	196
Total (ha)					1.173

Foram mapeados via edição manual 1.173 ha. Desta forma, podemos dizer que 1.173 ha/100 km resulta em cerca de 12 ha por km que não foram mapeados, pois estas áreas representam pequenos fragmentos próximos de projetos de colonização. O município de Rio Branco possui 1.697 km de ramais e portanto, estima-se que cerca de 20.000 ha (1700 km x 12 ha/km) de fragmentos não foram calculados.

Neste caso, a área estimada inicialmente de 66.100 ha somada aos erros de omissão (26%) e os fragmentos calculados, passa a ser de 103.300 ha (66.100 ha x 1,26 + 19.000 ha) em Rio Branco, representando um aumento de 56% (102.000 ha/66.100 ha). Assumindo que Rio Branco é representativo para todo o Estado, a área afetada seria de 417.000 ha (267.200 ha x 1,56). Estimamos, portanto, que a área de florestas impactadas por incêndios no leste do Acre em 2005 foi entre 337.000 e 417.000 ha.

3.2. Área aberta afetada

Os dados já existentes de área aberta queimada (>203.200 ha) permitiram melhorar esta estimativa usando dois fatores independentes: i) focos de calor e ii) cicatrizes detectadas na imagem TM/LANDSAT-5 de 13 de outubro de 2005.

Difícilmente tem-se uma seqüência de imagens no fim da época de queimadas devido a presença de nuvens, conseqüentemente, as imagens raramente capturam toda a área queimada. Uma maneira de estimar a área total queimada seria utilizar o número de focos de calor de todo o período de queimadas comparados com o número desses focos até a data das imagens usadas para estimar a área por Brown et al. (2006b). A premissa desta análise é que a área aberta queimada é proporcional ao número de focos de calor. Na Tabela 3 encontra-se o total de focos de calor no Estado do Acre durante o ano 2005 até a data das imagens usadas para estimar a área aberta queimada.

O fator de expansão calculado varia entre 1,01 (aumento de 1%) até um fator de 2,97 com relação ao número de focos de calor. A média ponderada destas imagens é 1,83, ou seja, a área aberta queimada seria 83% maior do que a que foi medida por Brown et al. (2006b), expandindo de 203.200 ha para 372.000 ha.

Tabela 3. Estimativas do fator de expansão da área aberta queimada baseada na soma de todos os focos de calor e a premissa que a área queimada é proporcional ao número de focos.

Data	Total de focos*	Fator	Nº de Imagens
24/08/2005	7.499	2,97	2
22/09/2005	18.365	1,21	1
12/10/2005	21.953	1,01	2
Total ano	22.292		
Média ponderada		1,83	

*Representa o total de focos do período até a aquisição da imagem.

A comparação do fator de expansão baseado nos focos de calor com os polígonos digitalizados na imagem TM/LANDSAT-5, que mostrou as áreas acrescentadas após as imagens CCD/CBERS-2 de 24/08/2005, resultou que até 13/10/2005 ocorreram 99% dos focos de calor, portanto, consideramos as áreas abertas queimadas desta data como o limite para o ano de 2005.

No caso da órbita/ponto 179/111 de 24/08/2005, foi selecionada uma região de interesse de 408.200 ha, um pouco inferior que metade da cena. Nesta área havia 17.060 ha de área aberta queimada (Brown et al. 2006b). Usando a imagem TM/LANDSAT-5 de 13/10/2005 foram editadas na mesma região de interesse as áreas abertas queimadas ainda não identificadas, totalizando 590 novos polígonos com 14.980 ha. A tabela 4 mostra esta comparação. O fator de expansão foi 1,88 ((17.060 ha + 14.980 ha) / 17.060 ha), sendo consideravelmente menor do que 2,97 derivados de focos de calor para o período até 24/08/2005.

Tabela 4. Resultados da comparação dos métodos utilizados para obtenção da nova estimativa de área aberta afetada na cena 179/111. A classificação manual refere-se às áreas que foram acrescentadas no período entre a data da imagem CCD/CBERS-2 e TM/LANDSAT-5.

Classificação	Automática (Brown et al. 2006b)	Manual
	CCD/CBERS-2 179/111 até 28/08/2005	TM/LANDSAT-5 até 13/10/2005
Amostras	589	153
Área mínima (ha)	0,02	3
Área máxima (ha)	1.423	1.583
Soma (ha)	17.061	14.975
Média (ha)	28	97
Desvio Padrão (ha)	107	198
CV (%)	380	204

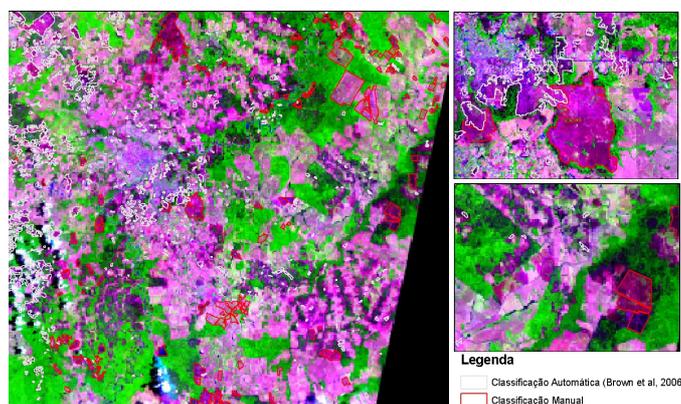


Figura 6. Classificação automática e manual de áreas abertas afetadas usando imagem TM-LANDSAT-5, 002/67 (13/10/2005) sobreposta em um limite selecionado da imagem CCD/CBERS-2 179/111 para comparar as estimativas de área queimada.

Para verificar essa tendência, testou-se uma nova região de interesse de 219.600 ha também na imagem TM/LANDSAT-5, correspondente a parte da cena 179/112 do CCD/CBERS-2 do dia 24/08/2005. Brown et al. (2006b) observaram nesta região 526 ha de área aberta queimada. Foram encontrados 240 novos polígonos totalizando 4.132 ha na imagem TM/LANDSAT-5 do dia 13/10/2005, conforme mostra a comparação na Tabela 5. Esta diferença resulta em um fator de expansão de 8,85 $((526 \text{ ha} + 4.130 \text{ ha}) / 526 \text{ ha})$, maior do que o valor derivado de focos de calor (2,97).

Tabela 5. Resultados da comparação dos métodos utilizados para obtenção da nova estimativa de área aberta afetada na cena 179/112. A classificação manual refere-se às áreas que foram acrescentadas no período entre a data da imagem CCD/CBERS-2 e TM/LANDSAT-5.

Classificação	Automática (Brown et al., 2006b)	Manual
	CCD/CBERS-2 179/112 até 28/08/2005	TM/LANDSAT-5 até 13/10/2005
Amostras	50	240
Área mínima (ha)	0,02	0,21
Área máxima (ha)	116	185
Soma (ha)	526	4132
Média (ha)	10	17
Desvio Padrão (ha)	18	27
CV (%)	180	158

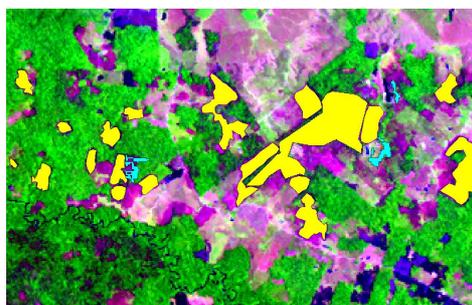


Figura 7. Classificação automática (polígonos em azul) e manual (polígonos em amarelo) de áreas abertas afetadas usando imagem TM/LANDSAT-5 sobreposta em uma região na cena CCD/CBERS-2, 179/112 para comparar as estimativas de área queimada.

A média das duas estimativas para a data 24/08/07 é de 5,36. Ao usar esta média no lugar de 2,97, o resultado da média ponderada para o fator de expansão é de 2,79. As duas médias ponderadas (1,83 e 2,79) produzem uma expansão da área aberta queimada de 374.000 a 566.900 ha. A área desflorestada, segundo o PRODES (Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia) até 2006 para os 12 municípios estudados foi 1.490.000 ha. As três estimativas de área aberta queimada, 203.200 ha, 372.000 ha e 566.900 ha são 14%, 25% e 38% respectivamente, da área desflorestada, o que requer novos levantamentos para verificar a reprodutibilidade desta faixa.

4. Conclusões

As estimativas de área afetada pelo fogo no leste do Acre associadas à seca de 2005 são de 337.000 ha a 417.000 ha para florestas impactadas por incêndios e 372.000 ha a 566.900 ha para área aberta queimada. As novas estimativas reforçam a necessidade de abordar este tema nas políticas públicas municipais, estaduais e federais para evitar impactos semelhantes no futuro.

Agradecimentos

Ao Wilfrid Schroeder (Universidade de Maryland) pela ajuda na realização deste trabalho. Ao Henrique Anastácio (Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Rio Branco) pelo apoio no levantamento de campo. Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a Universidade Federal do Acre (UFAC), ao Programa de Grande Escala da Biofera-Atmosfera na Amazônia (LBA) por meio do projeto (LC-02), ao componente LBA-ECO, a United States Agency for International Development (USAID), ao Programa BECA do Instituto Internacional de Educação do Brasil (IEB) (processo B/2007/01/DEP/02) e a Fundação Moore pelo apoio financeiro e logístico dos autores. Os autores agradecem também o excelente sítio do CPTEC/INPE sobre queimadas que forneceu alguns dos dados usados nesta análise.

Referências Bibliográficas

- Aragão, L. E. O. C., Malhi, Y., Roman-Cuesta, R. M., Saatchi, S., Anderson, L. O., Shimabukuro, Y. E. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, v. 34, L07701, doi:10.1029/2006GL028946, 2007.
- Brown, I. F., Schroeder, W., Setzer, A., Maldonado, M. J. R., Pantoja, N., Duarte, A. F., Marengo, J. Monitoring fires in Southwestern Amazonia rain forest. **EOS**, Transaction American Geophysical Union, 87 (26): 253-264, 2006a.
- Brown, I. F., Moulard, E. M. N. P., Nakamura, J., Schroeder, W., Maldonado, M. J. R., Vasconcelos, S. S., Serlhost, D. **Relatório preliminar do mapeamento de áreas de risco para incêndios no leste do Estado do Acre**. (UFAC/FUNTAC). Rio Branco, 20p. 2006b.
- Morgan, M.G. e Henrion, M. **Uncertainty: A guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis**. Cambridge University Press. Cambridge. 1990.
- Shimabukuro, Y. E. Duarte, V. Arai, E. Freitas, R. M., Lima, A. Valeriano, D. M., Brown, I. F. Maldonado, M. L. R. Fraction images derived from Terra Modis data for mapping burnt areas in Brazilian Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**. No prelo. 2008.