

O uso dos focos de calor imageados pelo satélite NOAA-AVHRR para identificação das áreas em processo de desflorestamento.

Daniel Assumpção Costa Ferreira ¹
Ralph Trancoso ¹
Santiago Palácios Noguera ¹
Arnaldo Carneiro Filho ¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA
Laboratório de Sistemas de informação Geográfica - SIGLAB
Caixa Postal 478 - 69011-870 - Manaus - AM, Brasil
ralph@inpa.gov.br

Abstract Fires in the Amazon forest are mainly concentrated in a region know as the "Arc of deforestation". Many fires escape beyond their intended boundaries and spread into nearby forest. The objective of this study was to (1) understand the spatial relation between hotspot counts and land-use/land-cover change in the Brazilian Legal Amazônia and (2) investigate the potential of hotspots derived from NOAA-AVHRR satellite data to identify areas of high deforestation risk. Seventy-seven Landsat-TM scenes were selected as sample sites. These cover 90% of annual deforestation. Fire hotspot data were obtained from PROARCO and deforestation data from PRODES for 2002 and 2003. Correlation between total annual hotspots (summed daily counts) and deforestation was significant for each year ($R = 0.73$, $R = 0.61$; Pearson correlation coefficient). Hotspots for 2002 had an even stronger correlation with the total biannual increment in deforestation for 2002 and 2003 ($R = 0.778$).

Palavras-chave: geographic information system, land-cover change, burn, arc of deforestation

1. Introdução

Na Amazônia as queimadas concentram-se principalmente no chamado arco de desflorestamento, que corresponde à área de expansão da fronteira agrícola. A prática cultural da queimada está relacionada com o método tradicional de limpeza da terra para introdução e/ou manutenção de pastagem e campos agrícolas (Nepstad et. al., 1999b; 2001). Este método consiste em derrubar a floresta, esperar que a massa vegetal seque, e em seguida por fogo, para que os resíduos grosseiros como troncos e galhos sejam eliminados e as cinzas resultantes enriqueçam temporariamente o solo. Parte destas queimadas acaba fugindo do controle e penetra na floresta sob a forma de incêndio florestal. Todos os anos milhares de Km² da floresta Amazônica são queimados por incêndios acidentais independente da ocorrência de fenômenos climáticos como o El Niño (Cochrane & Shulze, 1998), que entre final de 1997 e início de 1998 criou condições para que uma área estimada entre 38.144 e 40.678 Km² de diversas fitofisionomias queimasse no estado de Roraima (Barbosa & Fearnside, 2000).

Os efeitos ecológicos dos incêndios na Amazônia atingem uma escala global, pois influenciam a composição química da atmosfera, a refletância da superfície da terra e fenômenos que estão fortemente ligados ao clima (Nepstad et al., 1999b). Um dos impactos ecológicos mais importantes dos fogos na floresta talvez seja o aumento da probabilidade do fogo tornar-se uma característica permanente da paisagem, também aumenta o fluxo de carbono para a atmosfera (Nepstad et. al 1999a). A estrutura da floresta é modificada, havendo um aumento da população de espécies tolerantes ao fogo (Ivanauskas et al., 2003). O ciclo hidrológico é alterado, afetando o

clima que esta ligado com a floresta principalmente por o intercambio de vapor de água (Nobre et al 1991).

Se os padrões de ocupação da Amazônia continuarem da mesma forma, onde o uso indiscriminado do fogo como ferramenta do processo de desmatamento esta amplamente difundido, e poucas iniciativas governamentais forem tomadas para reverter este processo, estima-se um aumento significativo na frequência e área afetada pelo fogo (Cardoso et al., 2003).

A mudança na cobertura do solo na Amazônia é monitorada desde 1988 pelo satélite Landsat e tornou-se uma ferramenta fundamental para se estimar com relativa precisão a área total desflorestada por ano. Estes dados são divulgados anualmente pelo PRODES (INPE, 2004), e vem sendo utilizados, entre outras funções, para a análise da dinâmica de mudanças no uso e cobertura do solo. Outro satélite que vem sendo amplamente utilizado para estudos ambientais é o NOAA-AVHRR que fornece dados de focos de calor ocorridos em uma determinada região. Estes dados são computados pelo INPE e disponibilizados ao público via Internet.

Embora os dados do Landsat tenham uma boa resolução espacial e sejam eficientes para quantificar mudanças na cobertura do solo (desflorestamento), eles são disponibilizados somente uma vez por ano, impedindo assim qualquer ação que vise coibir ou frear processos ilegais de desmatamento. Contudo, os dados do satélite NOAA-AVHRR, indicando a ocorrência de focos de calor, são disponibilizados duas vezes ao dia e permitem a identificação de áreas críticas que podem ainda estar em processo de desflorestamento.

Estudos realizados na escala da paisagem por Eva & Lambin (2000) e Eva & Fritz (2003), utilizando dados originados de sensoriamento remoto, relacionaram focos de incêndio com as mudanças na cobertura do solo em diversos países tropicais e verificaram que na maioria deles há uma forte correlação.

O objetivo deste estudo foi compreender a relação espacial entre a ocorrência de focos de calor e a dinâmica de mudanças no uso e cobertura do solo na Amazônia Legal e avaliar o potencial da utilização dos dados de focos de calor fornecidos pelo NOAA-AVHRR para apontar áreas com maior probabilidade de serem desflorestadas.

2. Incêndios Florestais e queimadas no Brasil

Para compreender melhor este processo, é importante ter claro que existem diferenças entre incêndios florestais e queimadas. O incêndio florestal é qualquer fogo sem controle que incide sobre a vegetação e a queimada é uma pratica agropastoril ou florestal que usa a queima controlada como instrumento de produção.

Todos os anos milhares de incêndios ocorrem por todo o Brasil em taxas tão elevadas que se torna difícil estimar com precisão a área total atingida pelo fogo. Analisando os dados de focos de calor do PROARCO, numa serie temporal de 1992 até outubro de 2004 para todo o território brasileiro foi observado um elevado número de focos de calor nos anos 1992 e 1993, a partir daí os focos de calor diminuíram até 1996. Nos últimos nove anos foram registrados aumentos expressivos na quantidade de focos de calor, indicando uma tendência crescente.

No período entre 1 de janeiro e 6 de outubro de 2004 foram registrados 153.175 focos de incêndio no Brasil (INPE, 2004), dos quais 123.175 (80,4%) ocorreram na Amazônia Legal (**figura 1**). Observa-se claramente que a Amazônia Legal controla as tendências do total anual de focos de calor ocorrendo no Brasil. Analisando os focos de calor por estado observar-se que assim como a Amazônia controla o padrão dos focos no Brasil, alguns estados exercem o mesmo papel dentro da Amazônia, como é o caso de Mato Grosso, Para e Rondônia. Isto se deve ao fato

de estarem situados na fronteira de colonização e expansão agrícola, onde o fogo é usado como ferramenta de limpeza do terreno.

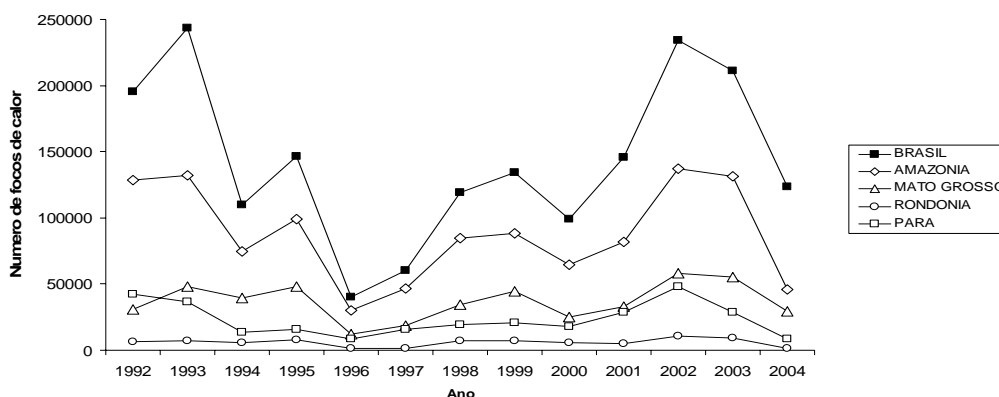


Figura 1: número total de focos de calor por ano em um intervalo de 13 anos para todo o território brasileiro, Amazônia Legal e estados do Mato Grosso, Pará e Rondônia. Os dados para o ano 2004 são parciais até o dia seis de outubro.

Os principais tipos de incêndio que ocorrem na região amazônica do arco do desflorestamento são: incêndios de desmatamento que objetivam limpar áreas recém desflorestadas e prepará-las para campos agrícolas e pastagens, incêndios em áreas desmatadas e incêndios florestais acidentais (Nepstad et al., 1999b). Estudos indicam que a área total de floresta Amazônica afetada por fogo de superfície pode ter a mesma magnitude da área afetada pelo desflorestamento (Nepstad et al., 1999a).

3. Área de estudo

O estudo foi realizado na Amazônia Legal ao longo do arco de desflorestamento, faixa localizada ao sul-sudeste da Amazônia, compreendendo parte dos estados do AC, RO, MT, TO, PA e MA, com área total estimada em 1,6 milhões de Km². Foram escolhidas também algumas áreas afetadas situadas fora do arco de desflorestamento (**figura 2**).

4. Métodos

Foram selecionadas 77 cenas Landsat com desflorestamento classificado pelo PRODES para o ano de 2002 e 2003 (**figura 2**). As cenas estão dispostas ao longo da Amazônia Legal e representam 90% do total desflorestado na região (INPE, 2004). Cada cena Landsat-TM tem dimensões de 180 x 180 Km. As 77 cenas juntas compõem nossa unidade amostral que abrange 2.494.800 Km².

Os dados de focos de calor foram extraídos do PROARCO (INPE, 2004). Foi utilizado o satélite NOAA-AVHRR de detecção noturna para este estudo. Este satélite apresenta resolução espacial de 1,0 x 1,0 Km.

Os dados de desflorestamento foram extraídos do PRODES (INPE, 2004), que utiliza a classificação digital não supervisionada das imagens Landsat para a gerar um mapa temático de desflorestamento. Foi quantificada a área total desflorestada e o número de focos de calor anuais

para cada uma das cenas Landsat em 2002 e 2003. O processamento foi feito através do programa ARCVIEW 3.3 (ESRI, 1997).

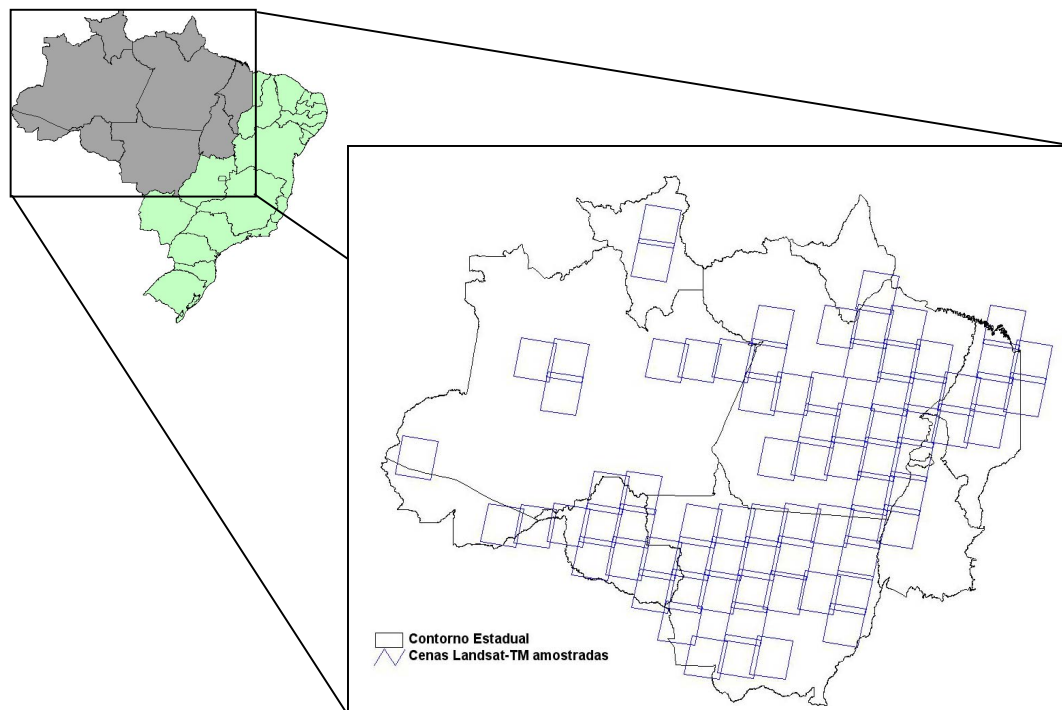


Figura 2: Área de estudo contendo as 77 cenas Landsat utilizadas.

5. Análise dos dados

Foram calculadas as correlações de Pearson em cada cena no ano de 2002 e 2003 entre a área total desflorestada e o número total de focos de calor e entre a área total desflorestada e os focos associados exclusivamente a áreas de floresta. Estas mesmas análises também foram efetuadas para os focos de calor em 2002 com desflorestamento total em 2002 e 2003. A ANOVA foi utilizada para verificar se havia diferença entre o número de focos de calor em 2002 e 2003 e também para o desflorestamento nos mesmos anos. As análises foram efetuadas no software SYSTAT 8.0.

6. Resultados e Discussão

Os dois anos estudados indicaram uma forte correlação, estatisticamente significativa, entre o número anual de focos de calor e o desflorestamento no mesmo ano (**tabela 1**). Isto se deve ao fato de que a queimada vem sendo amplamente utilizada como o principal método de limpeza de terreno nas regiões de fronteira agrícola, onde ocorrem as maiores mudanças no uso e cobertura do solo na Amazônia legal, seja para abertura de novas áreas agrícolas seja para a manutenção das já existentes.

Tabela 1: Coeficientes de correlação de Pearson entre número de focos de calor e área desflorestada em unidades amostrais de 180 por 180 Km.

Período do estudo	Coef. de Pearson	n	Significância
Focos totais de calor em 2002 ⁰ x desflorestamento em 2002	R = 0,731	72	> 99%
Focos de calor em floresta 2002 ¹ x desflorestamento em 2002	R = 0,679	72	> 99%
Focos totais de calor em 2003 ⁰ x desflorestamento em 2003	R = 0,610	76	> 99%
Focos de calor em floresta em 2003 ¹ x desflorestamento em 2003	R = 0,631	76	> 99%
Focos totais de calor em 2002 ⁰ x desflorestamento em (2002 + 2003)	R = 0,778	71	> 99%
Focos de calor em floresta em 2002 ¹ x desflorestamento em 2002 e 2003	R = 0,768	71	> 99%

0. focos de calor totais sem distinção se localizados em áreas previamente desmatadas; 1. focos localizados em áreas não assinaladas como desmatadas pelo PRODES

A hipótese de que haveria maior correlação entre os focos de calor ocorridos somente nas áreas classificadas como não desflorestada pelo PRODES foi rejeitada, pois a correlação foi mais forte quando analisados os focos de calor em sua totalidade. Eva & Fritz (2003) encontraram estes mesmos padrões e justificaram que a diferença na resolução espacial dos sensores pode estar gerando um erro na localização dos focos de calor. Somente no ano de 2003 a utilização dos focos de calor nas áreas não desflorestadas gerou correlação mais forte (R = 0,631) do que com os focos totais (R = 0,610).

A análise de variância entre o número total de focos de calor para os anos de 2002 e 2003, nas 77 cenas Landsat TM na Amazonia legal, não apontou diferenças significativas (F = 1,762; n = 154; P = 0,186). Quando comparado o desflorestamento entre os dois anos nas 77 cenas, foi verificado que também não houve diferença entre eles (F = 0,025; n = 148; P = 0,874). Este fato indica que a pequena variação encontrada nas correlações provavelmente ocorreu ao acaso.

A comparação entre focos de calor em 2002 e desflorestamento acumulado em 2002 e 2003 (**figura 2E e F**) mostrou boa correlação (R = 0,778; R = 0,768). Este fato reforça a hipótese de que uma área queimada pode não ser classificada como desflorestada no mesmo ano, principalmente no caso de incêndios de superfície e incêndios de pequeno impacto, uma vez que o sensor NOAA-AVHRR capta focos maior ou igual a 30 metros. Ademais os dados do PRODES não necessariamente cobrem todo o desmatamento no ano, pois são dependentes das datas das imagens disponíveis. Porém no intervalo de dois anos as chances das áreas que foram queimadas serem classificadas como desflorestadas aumenta.

Estes resultados eram esperados, pois outros estudos já haviam indicado correlações mais fortes quando os focos de calor foram relacionados com o desmatamento acumulado nos anos posteriores, na América do Sul (Eva & Fritz, 2003), na África e em diferentes fitofisionomias no Mato Grosso (Eva & Lambin, 2000). Entretanto, os autores encontraram forte correlação para o Mato Grosso somente na região de fronteira agrícola (R = 0,610), enquanto nas regiões de floresta e savana os coeficientes foram R = 0,240 e R = -0,070 respectivamente.

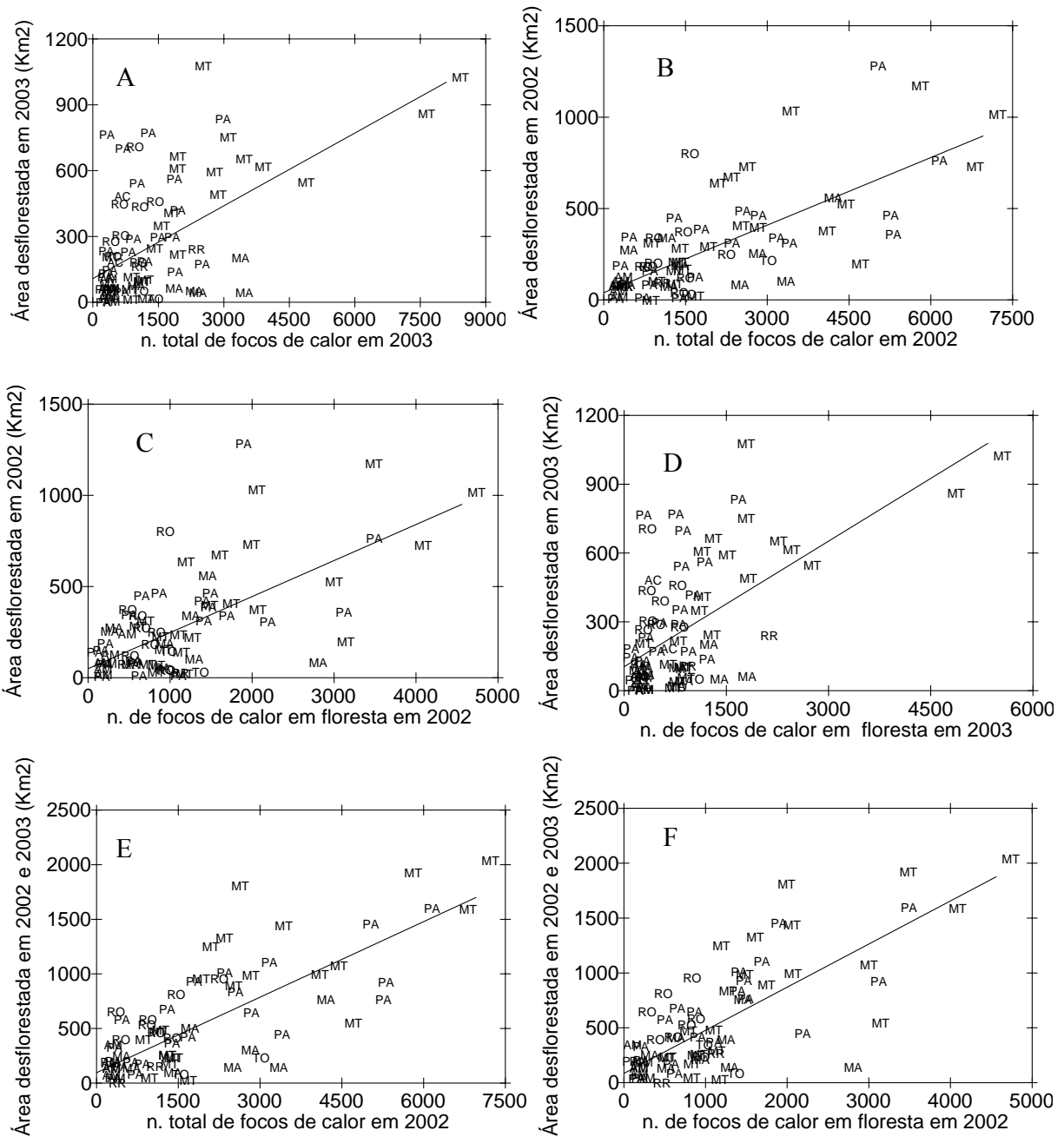


Figura 2: Correlação entre número de focos de calor e área desflorestada, para o total dos focos de calor de 2002 (A), somente para os focos de calor em florestas em 2002 (B), para o total dos os focos de calor em 2003 (C), somente para os focos de calor em florestas em 2003 (D), para o total dos focos de calor em 2002 com desflorestamento acumulado nos anos 2002 e 2003 (E) e para os focos de calor em floresta em 2002 com desflorestamento acumulado nos anos 2002 e 2003 (F).

Para toda a América do sul o coeficiente foi de $R = 0,720$ e quando analisados separadamente os sítios do Brasil o coeficiente de Pearson chegou a $R = 0,940$. Acredita-se que esta variação encontrada possa ocorrer em função de fatores como as diferentes metodologias de amostragem, a variabilidade espacial dos sites amostrados e fatores climáticos.

No ano de 2002 e 2003 os estados que tiveram as maiores áreas desmatadas por cena foram MT, PA e RO. Entretanto algumas diferenças podem ser verificadas na dinâmica de ocorrência de focos de calor e mudanças na cobertura do solo. Com exceção de algumas cenas, no estado do MT há uma forte relação entre focos de calor e desflorestamento, ou seja, quando o número de focos de calor é alto, a área desflorestada também é alta e quando o número de focos é baixo, a ocorrência de desflorestamento é muito baixa. Porém nos estados do PA e RO, principalmente em 2003, esta relação não é clara, pois algumas cenas apresentam extensas áreas desflorestadas e baixo número de focos de calor. Acredita-se que estas diferenças podem estar associadas a fatores como a fisionomia da vegetação, precipitação, tamanho das propriedades, tipo de empreendimento agropecuário e aspectos culturais dos colonos que habitam as regiões de fronteira agrícola.

No MT, por exemplo, predomina o cerrado, a floresta ombrófila aberta e a zona de transição, o que caracteriza uma vegetação mais seca, além disso é o estado com precipitação mais baixa nos meses de seca. As propriedades são grandes e os principais empreendimentos agropecuários são a pecuária e a soja. No PA, predomina a floresta ombrófila fechada e aberta e o principal empreendimento é a exploração madeireira, que não costuma utilizar as queimadas, mas aumenta a suscetibilidade ao fogo, pois modifica a composição e estrutura da floresta. A precipitação só é baixa no sul do PA na região do arco de desflorestamento, porém é superior a do MT. Em RO há um predomínio de pequenas propriedades, principalmente originadas de assentamentos rurais, o que caracteriza uma dinâmica de utilização da terra completamente diferente dos outros estados. A precipitação é baixa nos meses secos, porém superior a do MT.

Conforme enfatizado, cada estado apresenta suas peculiaridades e detém grande variabilidade espacial, portanto deve-se ter cautela com as generalizações, atentando também para os fatos isolados para compreender os processos como um todo.

7. Conclusões

- Há uma forte correlação, estatisticamente significativa, entre número anual de focos de calor e o desflorestamento no mesmo ano, porém quando utilizou-se desflorestamento acumulado em 2002 e 2003 a correlação foi mais forte ($R = 0,778$; $R = 0,768$).
- Quando analisados os focos de calor em sua totalidade a correlação foi mais forte do que com os focos de calor somente em floresta. Acredita-se que a diferença de resolução espacial entre os sensores tenha influência neste processo.
- Embora o estudo tenha mostrado uma boa correlação entre os focos de calor e o desflorestamento, é preciso cautela na generalização dos resultados, pois fatores como a fisionomia da vegetação, a precipitação, o padrão das áreas desflorestadas, o tipo de empreendimento agropecuário e aspectos culturais dos colonos variam bastante devido a escala do estudo. Por esta razão, para obter uma maior acurácia nos resultados, o estudo deve ser estratificado por região de interesse levando em conta os fatores mencionados.

8. Referencias bibliográficas

- Barbosa,R.I. & Fernside, P.M. As lições do fogo. **Ciência Hoje**, v.27, n. 157, p. 35-39, 2000.
- Cardoso, M. F., Hurtt, G., Moore, B., Nobre, C. A. & Prins, E. Projecting future fire activity in Amazonia. **Global Change Biology**, v.9, n. 5, p. 656-669, 2003.
- Cochrane, M. A., Alencar, A., Schulze, M. D., Souza, C. M., Nepstad, D. C.,Lefebvre, P. & Davidson, E. A. Positive Feedbacks in the Fire Dynamic of Closed Canopy Tropical Forests. **Science**, v. 284, n. 5421, p. 1832-1835, 1999.
- Cochrane,M. A. & Schulze,M. D. Forest Fires in the Brazilian Amazon. **Conservation Biology**, v. 12, n. 5, p. 948-950, 1998.
- Eva, H. & Fritz, S. Examining the potential of using remotely sensed fire data to predict areas of rapid forest change in South America. **Applied Geography**, v. 23, n. 23, p. 189-204, 2003.
- Eva,H. & Lambin,E. F. Fires and land-cover change in the tropics:a remote sensing analysis at the landscape scale. **Journal of Biogeography**, v. 27, n. 3, p. 765-776, 2000.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite projeto Prodes. (www.obt.inpe.br/prodes/), 2004.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Monitoramento das Queimadas por Satélite projeto Proarco. (www.cptec.inpe.br/products/queimadas/), 2004.
- Ivanauskas, N. M., Monteiro, R. & Rodrigues, R. Alterations following a fire in a forest community of Alto Rio Xingu. **Forest Ecology and Management**, v. 184, n. 1-3, p. 239-250, 2003.
- Nepstad, D.C., Moreira, A. & Alentar A. A Floresta em chamas: origens, impactos e prevenção de fogo na Amazônia., **Programa Piloto para a Proteção das florestas tropicais do Brasil**, 1999 b, 172p.
- Nepstad, D. C., Carvalho, G., Cristina B. A., Alencar, A., Paulo C. J., Bishop, J.,Moutinho, P., Lefebvre, P., Lopes Silva, U. & Prins, E. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. **Forest Ecology and Management**, v. 154, n. 3 p. 395-407, 2001.
- Nepstad, D. C., Verssimo, A., Alencar, A., Nobre, C., Lima, E., Lefebvre, P., Schlesinger, P.,Potter, C., Moutinho, P., Mendoza, E., Cochrane, M. & Brooks, V. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature**,v. 398, n. 6727, p. 505-508, 1999 a.
- Nobre, C.A., Sellers, P.J. & Shukla, J. Amazonian deforestation and regional climat change. **J. Clim**, v. 4, p. 957-988, 1991.