

## Mapeamento de áreas afetadas pela exploração madeireira seletiva por imagens de satélite no Distrito Florestal Sustentável BR-319

Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça<sup>1</sup>  
Sâmia Amorim de Vasconcelos<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA  
Caixa Postal 478 - 60083-000 - Manaus - AM, Brasil  
pmlag@inpa.gov.br; samiamorim@gmail.com

**Abstract.** Brazil's current policy on forest concessions in public forests in the Amazon region, together with the recent creation of Sustainable Forest Districts (SFDs), makes monitoring necessary that is specifically designed for detection of selective logging. The objective of present study was to monitor selective timber exploitation in the sustainable forest district proposed for the region of influence of the BR-319 (Manaus-Porto Velho) Highway. A total of 53 scenes obtained by the Landsat-TM sensor were interpreted visually for the years 2008 and 2009. The delimitation of the areas under exploitation was carried out using the soil-fraction image derived from a linear spectral mixture model and from the color composite image obtained from the soil, vegetation and shade fraction images. The results permitted us to observe that the existing timber-exploitation activity in the BR-319 SFD is concentrated near to the state capitals of Porto Velho (Rondonia State) and Rio Branco (Acre State). This is probably due to infrastructure (especially roads) being more developed in these regions than elsewhere. Selective logging areas were not observed in Conservation Units (CUs) in the "integral protection" category in the BR-319 SFD, nor was logging observed in indigenous lands. Logging activity was concentrated in CUs in the "sustainable use" category under state management at both dates analyzed. This fact could be due to greater effectiveness of the "integral protection" CUs in restraining the expansion of deforestation and of forest degradation caused by illegal selective logging.

**Keywords:** remote sensing, selective logging, tropical forest, Amazonia, sensoriamento remoto, corte seletivo, floresta tropical, Amazônia.

### 1. Introdução

A extração seletiva de madeira na Amazônia é uma das principais atividades econômicas que levam à degradação da floresta, quando realizada de forma predatória (Johns *et al*, 1996; Nepstad *et al*, 1999). Esta atividade leva à redução dos estoques de biomassa e de espécies de alto valor comercial, gerando condições favoráveis para o desenvolvimento de cipós e a um ambiente propício às queimadas, além de aumentar o risco de extinção local de espécies nativas. A exploração seletiva pode atuar como vetor de desmatamento, pois a retirada de espécies de alto valor comercial dá início a uma série de ações que pode ser finalizada também com a remoção total da cobertura florestal remanescente.

Alguns trabalhos na área de sensoriamento remoto têm sido desenvolvidos com objetivo de mapear florestas afetadas pela exploração madeireira na Amazônia. A detecção e o monitoramento desta atividade por imagens de satélite são complexos, em consequência das alterações pouco perceptíveis causadas pela redução parcial da cobertura florestal no processo de extração seletiva das árvores. As técnicas de mapeamento do corte seletivo de árvores incluem desde a interpretação visual das imagens até métodos automatizados a partir da identificação de pátios de estocagem de madeira e estradas de acesso (Souza Jr e Barreto, 2000; Santos *et al*, 2001; Graça, 2004, 2005; Asner *et al*, 2005).

A implantação de uma política de concessões de áreas para a exploração de madeira (Lei nº 11.284/06 de Gestão de Florestas Públicas) reforça a necessidade de um monitoramento específico desta atividade, indispensável à produção florestal sustentável. Neste sentido, o Serviço Florestal Brasileiro está implementando um sistema de monitoramento desta atividade, denominado DETEX (Sistema de Detecção de Exploração Florestal), com a finalidade de monitorar as florestas públicas, especialmente aquelas que entrarão em regime

de concessão. Deste modo, o monitoramento da atividade madeireira na Amazônia é uma peça chave para a conservação dos recursos florestais permitindo detectar áreas onde esta atividade ocorre de forma ilegal e com alto impacto ambiental.

Assim, este trabalho teve como objetivo mapear a atividade de exploração madeireira no Distrito Florestal Sustentável BR-319<sup>1</sup>, por meio de técnicas de sensoriamento remoto utilizando imagens orbitais do satélite LANDSAT TM5, no período de 2008 a 2009.

## 2. Metodologia

### 2.1 Área de estudo

Este estudo foi realizado na área proposta para a criação do Distrito Florestal Sustentável BR-319 (DFS BR319), localizada no interflúvio dos rios Purus-Madeira, que abrange as áreas sob influência da rodovia BR 319 que liga Porto Velho a Manaus. Os distritos florestais foram criados com a finalidade de fomentar a atividade florestal em bases sustentáveis, incluindo política fundiária, de infraestrutura, de desenvolvimento industrial, de gestão de áreas públicas, assistência técnica e de educação, entre outros. O DFS 319 ocupará cerca de 31 milhões de hectares de áreas pertencentes aos estados do Amazonas, Rondônia e Acre (Figura 1). As formações vegetais predominantes nesta região são compostas por florestas ombrófilas densas e florestas ombrófilas abertas, com presença de algumas manchas de cerrado e campinas (vegetação herbácea sobre solos arenosos) (IBGE,1997). A geomorfologia da região é caracterizada pela ocorrência de grandes interflúvios tabulares com topografia muito plana e altitudes variando entre 30 e 50 m. O solos predominantes são do tipo Argissolo Vermelho Amarelo, Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho Amarelo. (Brasil, 1978).

### 2.2 Descrição das imagens e pré-processamento

Para a realização do mapeamento da atividade madeireira foram utilizadas 53 cenas obtidas pelo sensor TM/Landsat5, referentes às áreas de interesse do estudo, para os anos de 2008 e 2009. As imagens foram utilizadas na resolução de 30m, utilizando-se para as análises as bandas ópticas do sensor TM. As fases de pré-processamento e processamento foram realizadas no aplicativo computacional ENVI. O banco de dados geográfico foi elaborado no aplicativo computacional SPRING.

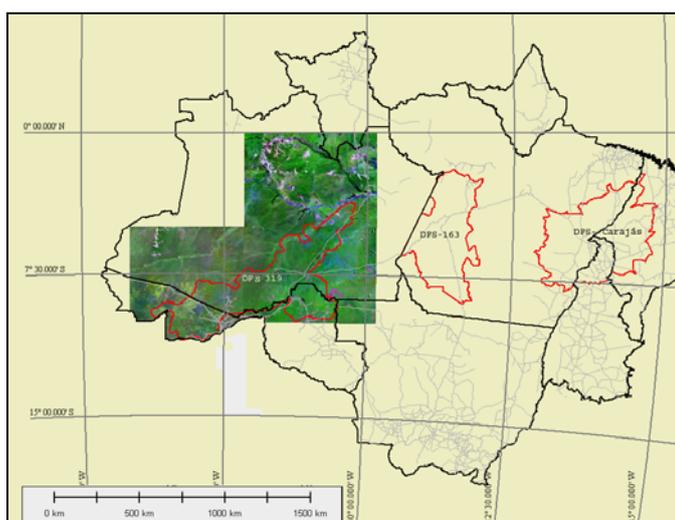


Figura 1. Distritos Florestais Sustentáveis (BR-319, BR-163 e Carajás) na Amazônia, com o mosaico de imagens Landsat-Geocover (2000) destacando a região do DFS BR-319.

<sup>1</sup> Distrito florestal proposto pelo Serviço Florestal Brasileiro para a região de influência da rodovia BR 319. A primeira concessão florestal na Amazônia, realizada na Floresta Nacional do Jamari (RO), está localizada no DFS da BR319.

As imagens de interesse foram georreferenciadas a partir do Mosaico Geocover da NASA para o ano de 2000, considerando-se o RMS (Root Mean Square Error) do modelo inferior a meio pixel. Posteriormente, as imagens foram pré-processadas utilizando-se um Modelo Linear de Mistura Espectral – MLME (Shimabukuro e Smith, 1991) para a obtenção das imagens fração solo, sombra e vegetação. Este modelo supõe que a reflectância de cada pixel da imagem é uma combinação linear da reflectância de cada componente puro (solo, vegetação e sombra) presente dentro do pixel. O modelo de mistura tem se mostrado útil na classificação da cobertura da terra e monitoramento do desmatamento na Amazônia (*apud* Graça, 2004). Souza *et al*, (2003) utilizaram o modelo de mistura espectral para mapear a degradação da floresta originada por incêndios e pela exploração madeireira na Amazônia Oriental. O MLME também tem sido uma ferramenta importante no mapeamento da atividade madeireira na Amazônia, permitindo a detecção de pátios de estocagem de madeira em imagens fração solo (Souza e Barreto, 2000; Monteiro *et al*, 2003) .

### 2.3. Mapeamento da exploração madeireira

O mapeamento da exploração madeireira no DFS BR319 foi realizado para os anos de 2008 e 2009, com as análises realizadas em imagens adquiridas durante o período de estação seca, de junho a setembro. O ano de 2008 foi considerado o ano base, o qual serviu de referência para o incremento anual de áreas exploradas em 2009. Para a realização do mapeamento foi utilizada a técnica de interpretação visual de imagens, observadas diretamente na tela do computador. A delimitação destas áreas foi realizada com auxílio da imagem fração solo derivada do MLME e pela composição colorida das frações R(solo);G(vegetação);B(sombra) (Figura 2). As características espaciais de estruturas típicas de áreas sob exploração florestal, tais como, os pátios de estocagem (forma pontual, pequenas áreas retangulares), estradas ou ramais (formas lineares) e clareiras resultantes da remoção das árvores (forma amorfa), realçadas nas imagens fração solo, serviram para detectar as áreas de corte seletivo. Adicionalmente, as características espaciais associadas à resposta espectral (textura e cor, por exemplo) observadas na composição colorida das imagens fração resultantes do MLME auxiliaram na delimitação destas áreas. As áreas delimitadas de corte seletivo foram representadas na forma de vetorial (polígonos), armazenadas em um banco de dados geográficos, onde cada polígono gerado contém informações correspondentes à data de detecção, sua área e perímetro. Não foram consideradas neste mapeamento as informações relacionadas à qualidade do manejo utilizado (tipo convencional ou com técnicas de redução de impacto), assim como, a intensidade da exploração.

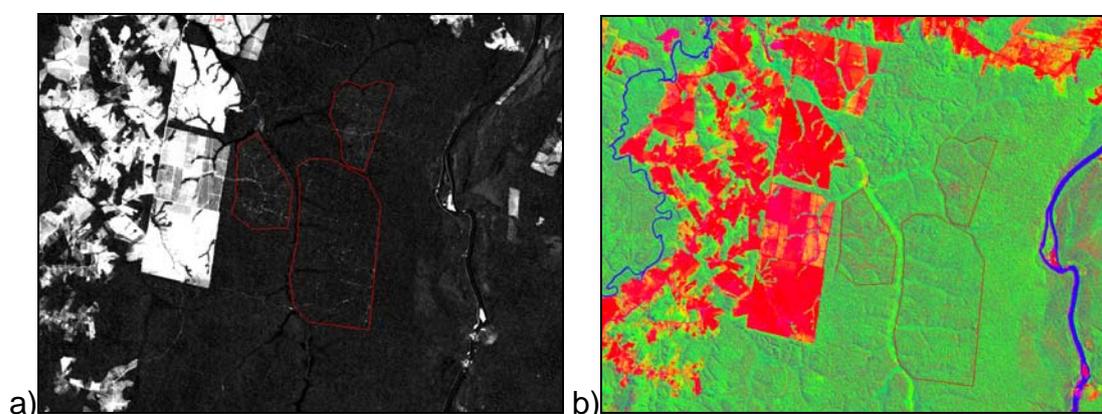


Figura 2. Exemplos de identificação de exploração madeireira a partir de imagem fração solo (a) e da composição colorida das imagens fração (R(solo), G(vegetação);B(sombra)) (b).

Posteriormente, o cruzamento dos mapas contendo as informações geradas para as áreas de exploração seletiva de madeira com mapa de Unidades de Conservação (UCs) foi feito pela sobreposição dos mesmos utilizando operações de álgebra de mapas em ambiente de Sistema de Informações Geográficas. Este procedimento foi realizado com o intuito que verificar o estado de conservação destas UCs em relação a este tipo de atividade antrópica. O plano de informação (*shapefile*) contendo os dados das Unidades de Conservação foi obtido do IBAMA, atualizados para 2009.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Mapeamento das áreas sob exploração seletiva de madeira

O mapeamento da atividade madeireira abarcou 31.646.061,4 hectares correspondentes a área total do DFS da BR-319 (Figura 3). Em 2008 (ano base) foram detectados 47.926,8 hectares de áreas sob exploração florestal, ou seja, um percentual correspondente a 0,15% da área total do DFS BR-319, contabilizando 106 polígonos. Por sua vez, o ano de 2009 apresentou um incremento de 47.010,8 hectares (0,15%) de novas áreas sob exploração, um valor ligeiramente menor do que àquele observado em 2008, porém em uma quantidade maior de polígonos (123 polígonos) (Tabela 1).

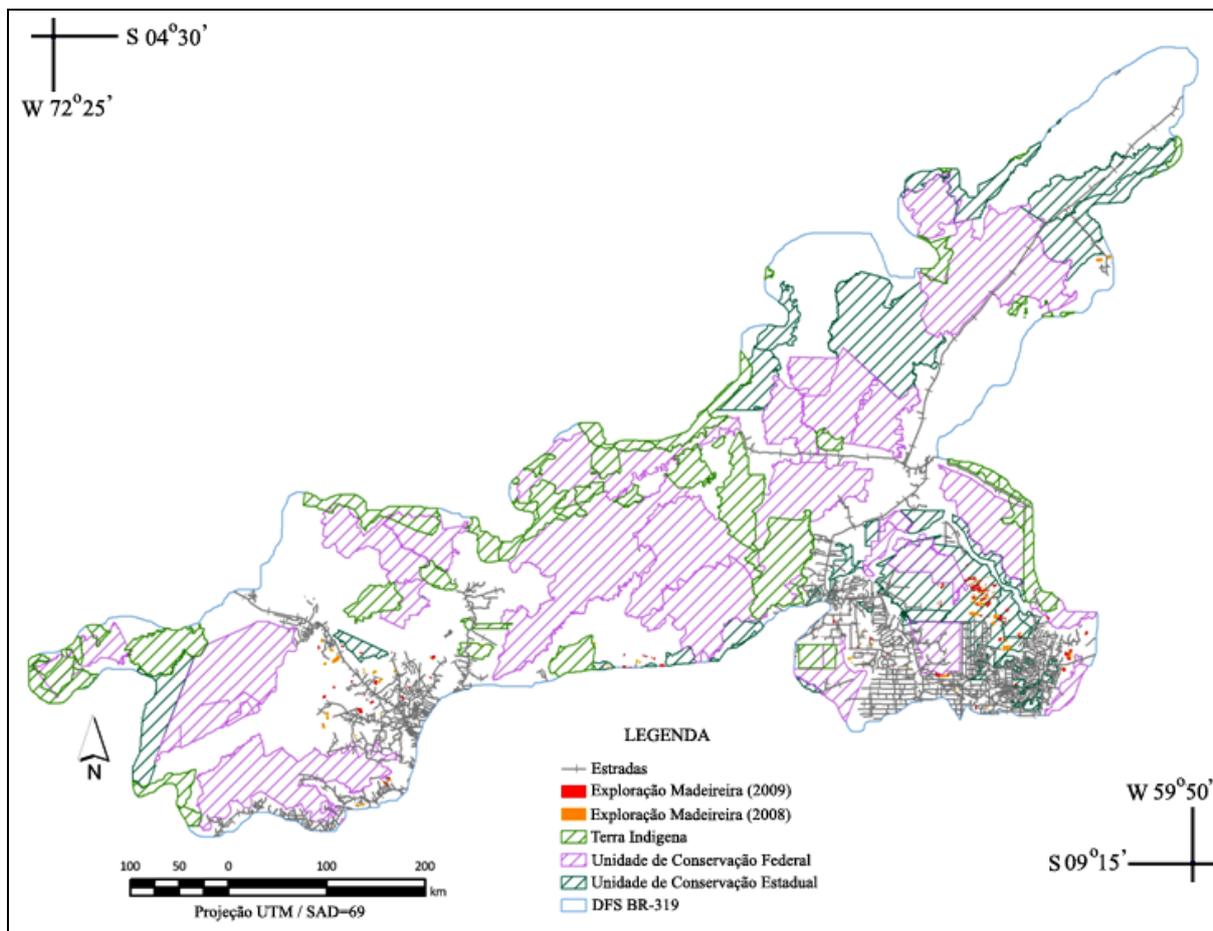


Figura 3. Áreas sob exploração madeireira (2008 e 2009), áreas protegidas e rede viária existentes no Distrito Florestal Sustentável BR-319.

Para ambos os anos a atividade madeireira ficou concentrada na parte sul da região do DFS BR319, onde estão localizadas as sedes das capitais de Rondônia e Acre, respectivamente, Porto Velho e Rio Branco. Estas cidades atuam como centros de atratividade para a atividade madeireira, que se beneficia da infraestrutura viária existente (malha viária

mais densa) e da proximidade de pólos madeireiros. Ressalta-se, ainda, que uma grande parte do DFS possui uma densidade de estradas muito baixa, o que dificulta o avanço desta atividade na região.

Tabela 1. Áreas mapeadas sob exploração madeireira no DFS BR-319 (área em hectares, porcentagem correspondente à área total do DFS BR-319 e quantidade de polígonos).

| Ano de mapeamento            | Área (ha)     | %       | Nº de polígonos |
|------------------------------|---------------|---------|-----------------|
| Exploração madeireira (2008) | 47.926,8      | 0,15145 | 106             |
| Exploração madeireira (2009) | 47.010,8      | 0,14855 | 123             |
| DFS BR-319                   | 31.646.061,40 | 100,00  |                 |

### 3.2 Quantificação da exploração madeireira em Unidades de Conservação

O Distrito Florestal Sustentável BR-319 possui 58,77% de área protegida, sendo 20,51% de Terras Indígenas, 35,08% de Unidades de Conservação Federais e 13,18% de Unidades de Conservação Estaduais (Tabela 2). Analisando a presença de atividade madeireira em relação a estas áreas protegidas foi possível observar a presença de exploração somente em Unidades de Conservação de Uso Sustentável. No ano base (2008), as UCs que apresentavam áreas sob atividade madeireira foram: Floresta de Rendimento Sustentado do Rio Vermelho (FLORSU do Rio Vermelho)<sup>2</sup> (RO), Floresta Extrativista Rio Preto-Jacundá (FLOREX Rio Preto/Jacundá)<sup>3</sup> (RO) e Reserva Extrativista Rio Preto-Jacundá (RESEX Rio Preto/Jacundá)<sup>4</sup> (RO). Estas UCs totalizaram 20.430,1 hectares sob atividade de exploração madeireira.

Para o ano de 2009, houve o incremento de 22.566,0 hectares de exploração madeireira localizados nas seguintes UCs: FLORSU do Rio Vermelho, FLOREX Rio Preto-Jacundá, RESEX Rio Preto-Jacundá, Floresta Estadual do Antimary (FES do Antimary)<sup>5</sup> (AC) e Reserva Extrativista Castanheira (RESEX Castanheira)<sup>6</sup> (RO) (Tabela 3).

Tabela 2. Áreas protegidas presentes no DFS BR-319 (área em hectares, porcentagem correspondente à área total do DFS BR-319 e número de unidades).

| Categoria                         | área (ha)     | %     | nº unidades |
|-----------------------------------|---------------|-------|-------------|
| Terras Indígenas <sup>7</sup>     | 3.326.587,90  | 10,51 | 51          |
| Unidades de Conservação Estaduais | 4.170.279,20  | 13,18 | 47          |
| Unidades de Conservação Federais  | 11.100.053,40 | 35,08 | 29          |
| TOTAL                             | 18.596.920,50 | 58,77 | 127         |

Os resultados encontrados para o período analisado de 2008 a 2009 revelam que a exploração madeireira foi detectada apenas em unidades de conservação de uso sustentável sob gestão estadual. Nota-se que apesar do contrato de concessão florestal na Floresta Nacional do Jamari (gestão federal) ter sido firmado em outubro de 2008, o início da exploração florestal só ocorreu em setembro de 2010, não sendo possível sua detecção no período analisado. Não houve indício de exploração madeireira, também, em áreas de proteção integral e terras indígenas. Como a degradação florestal causada pela exploração madeireira é observável em imagens de satélites em um curto período de tempo (até 3 anos), é

<sup>2</sup> Decreto - 4.582 - 28/03/1990.

<sup>3</sup> Decreto - 4.245 - 17/07/1989.

<sup>4</sup> Decreto - 7.336 - 17/01/1996.

<sup>5</sup> Portaria - 19 - 22/06/2005.

<sup>6</sup> Decreto - 7.105 - 04/09/1995.

<sup>7</sup> Apesar das terras indígenas não obedecerem aos critérios do SNUC (Sistema Nacional de Unidades de Conservação), estas foram consideradas como áreas de proteção ambiental, conforme (Ferreira et al. 2005).

possível que explorações antigas não tenham sido detectadas no ano período em análise deste estudo. Apesar desta limitação, para o período analisado os resultados encontrados indicam que as Unidades de Conservação de proteção integral, tais como, parques nacionais, reservas e estações biológicas, assim como, as terras indígenas, estejam contribuindo como uma barreira, não apenas à expansão do desmatamento, como observado por Ferreira et al. (2005), mas também para a degradação florestal oriunda da atividade madeireira.

Tabela 3. Exploração madeireira presente em UCs por categoria de uso no DFS BR-319 (área em hectares, porcentagem correspondente à área total do DFS BR-319 e quantidade de polígonos).

| Ano de mapeamento                         | Área (ha) | %       | Nº de polígonos |
|---|-----------|---------|-----------------|
| <b>Exploração madeireira em UC (2008)</b> | 20.430,1  | 0,06456 | 43              |
| FLORSU do Rio Vermelho (RO)               | 654,8     | 0,00207 | 2               |
| FLOREX Rio Preto/Jacundá (RO)             | 18.926,1  | 0,05981 | 39              |
| RESEX Rio Preto/Jacundá (RO)              | 849,2     | 0,00268 | 2               |
| <b>Exploração madeireira em UC (2009)</b> | 22.566,0  | 0,07131 | 67              |
| FES do Antimary (AC)                      | 335,5     | 0,00106 | 1               |
| FLORSU do Rio Vermelho (RO)               | 188,7     | 0,00060 | 2               |
| RESEX Castanheira (RO)                    | 471,0     | 0,00149 | 1               |
| FLOREX Rio Preto/Jacundá (RO)             | 17.666,0  | 0,05582 | 53              |
| RESEX Rio Preto/Jacundá (RO)              | 3.904,9   | 0,01234 | 10              |

### 3.3. Avaliação do mapeamento

A grande extensão da área de estudo não permitiu que houvesse uma validação abrangente do mapeamento realizado a partir de dados de coletados em campo. Apesar de que em algumas das áreas exploradas puderam ser observadas durante campanhas de campo em Rondônia em 2009. Dessa forma, análise da exatidão do mapeamento obtido pelo sensor TM/Landsat, neste estudo, deverá ser realizada posteriormente a partir de imagens com alta resolução espacial (até 1 m) como referência terrestre, tais como, aquelas obtidas pelos sensores do QuickBird e Ikonos,

## 4. Conclusões

O monitoramento de atividade madeireira por imagens de satélite demonstra grande importância na avaliação do estado de conservação dos recursos florestais na Amazônia, possibilitando a elaboração de estratégias e planejamento para a utilização destes recursos que possam se adequar melhor ao sistema de concessão florestal.

Os resultados encontrados permitiram observar que a atividade de exploração madeireira existente no DFS BR-319 se concentra próxima às sedes das capitais do estado de Rondônia (Porto Velho) e Acre (Rio Branco), se beneficiando da proximidade de pólos madeireiros e da infraestrutura mais desenvolvida nestas regiões, em especial a malha viária.

Não foram detectadas áreas sob exploração seletiva de madeira em áreas de proteção ambiental integral no DFS BR-319 (incluindo terras indígenas). Estas se concentraram apenas em UCs de Uso Sustentável, sob gestão estadual, em ambas as datas analisadas. Este fato pode estar associado uma maior efetividade das UCs de proteção integral em conter, não apenas, a expansão do desmatamento, mas também a degradação florestal oriunda da atividade madeireira ilegal.

### **Agradecimentos:**

Ao Projeto PIME/Finep/MCT pelo financiamento (processo No.01.07.0108.00) e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por fornecer as imagens.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Asner, G. P.; Knapp, D. E.; Broadbent, E. N.; Oliveira, P. J. C.; Keller, M.; Silva, J. N. Selective logging in the Brazilian Amazon. **Science**, v. 310, n. 5747, p. 480-482, 2005.

Brasil. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SB.20 Purus; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: D.N.P.M. Vol. 17. p. 566.

Graça, P.M.L.A. Monitoramento e Caracterização de Áreas Submetidas à Exploração Florestal na Amazônia por Técnicas de Detecção de Mudanças. 2004.275p. (INPE-13644-TDI/1046). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.

Ferreira, L. V.; Venticinque, E.; Almeida, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos avançados**, vol.19, n.53, p. 1-10, 2005.

IBGE. **Recursos naturais e meio ambiente: uma visão do Brasil**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro:IBGE. 1997. 208 p.

Johns, S.J.; Barreto, P.; Uhl, L. Logging damage during planned and unplanned logging operations in the eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v.89, n.1-3, p. 59-77, 1996.

Monteiro, A.L.; Souza Jr, C.; Barreto, P. Detection of logging in Amazonian transition forest using spectral mixture models. **International Journal of Remote Sensing**, v.1, n.24, p.151-159, 2003.

Nepstad, D.C.; Veríssimo, J.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, p. 504-508, 1999.

Santos, J.R.; Krug, T.; Araújo, L.S.; Meira Filho, G.; Almeida, C.A. Dados multitemporais TM/Landsat aplicados ao estudo da dinâmica de exploração madeireira na Amazônia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto(SBSR), 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. Artigos, p.1751-1755. CD-ROM.

Shimabukuro, Y.E.; Smith, J.A. The least-square mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, v.29, p.16-20, 1991.

Souza, C.; Firestone, L.; Silva, L.M.; Roberts, D. Mapping forest degradation in the Eastern Amazon from SPOT 4 through spectral mixture models. **Remote Sensing of Environment**, v.87, n.4, p.494-506, 2003.

Souza Jr., C.; Barreto, P. An alternative approach for detecting and monitoring selectively logged forests in the Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 1, p. 173-179, 2000.