

## Aplicação da técnica AHP para análise do uso e cobertura da terra na região nordeste do Mato Grosso

Yhasmin Mendes de Moura<sup>1</sup>  
Lênio Soares Galvão<sup>1</sup>  
João Roberto dos Santos<sup>1</sup>  
Egídio Arai<sup>1</sup>  
Marcos Adami<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{yhasmin, lenio, jroberto, egidio, adami}@dsr.inpe.br

**Abstract.** The objective of this work is to analyse land use change in the municipality of Querência (MT) and to predict areas more susceptible to deforestation. Information about roads, rivers, vegetation cover, slope, soil types, and deforestation areas were obtained using remote sensing and GIS data. The methodology was based on the Analytic Hierarchy Process (AHP) that uses the criterion of relative importance between factors that influence the processes of land use change. The criterion of relative importance, or the so called *weights*, uses statistical analysis of main components (PCA) in order to compute the contribution of each studied variable. Using the AHP technique, areas more likely to be deforested matched those detected by the DETER system from April to July 2010. In conclusion, the method is satisfactory and consistent with predicted land use change caused by deforestation process.

**Palavras-chave:** AHP, deforestation, Amazon, AHP, desflorestamento, Amazônia.

### 1. Introdução

O processo de desflorestamento na Amazônia é apontado como um dos agentes que mais contribuem para emissão do CO<sup>2</sup> e o que mais tem ameaçado a biodiversidade desta região. O que torna o ambiente amazônico complexo e de grande fragilidade (Santilli et al. 2005; Aguiar, 2006). Diversos estudos têm sido desenvolvidos para compreensão das mudanças de uso e ocupação do solo na Amazônia, principalmente para conservação, direcionamento de ações do poder público e projeções futuras da expansão do desmatamento (Andersen, 2002; Brito, 1995; Laurance, 2001). Segundo Lambin (1997) o entendimento dos processos que permeiam as mudanças de uso e cobertura da terra ainda se encontra muito fragmentado para avaliar e estimar os impactos causados nos sistemas naturais e humanos. Desta forma, produtos de sensoriamento remoto e os sistemas de informação geográfica se colocam como ferramentas importantes para se detectar e mapear estas mudanças, e melhorar a compreensão dos processos que ocorrem nestas áreas.

Estudos demonstram que o desmatamento tende a ocorrer em maior ritmo nas proximidades de estradas, principais e/ou secundárias, em áreas com pouca presença do poder público (Alves, 2001; Alves 2002; Aguiar, 2006), em áreas com características naturais favoráveis a conversão da vegetação natural para expansão da fronteira agrícola e/ou assentamentos humanos, vetores esses que facilitam a ocupação pioneira. Além destes fatores, apontados como determinantes no processo de conversão florestal, a floresta amazônica também é influenciada com aspectos relacionados à economia nacional e internacional, bem como o desenvolvimento tecnológico agrícola e a demanda regional e nacional por carne bovina (Arima et al., 2005; Becker, 2005).

Diversos trabalhos têm sido realizados para observar as mudanças através da visão sinóptica de fatores naturais e antrópicos, e desta forma buscar uma maior eficiência nas elaborações dos planos de manejo de recursos naturais, assim como na análise das mudanças na paisagem, ou ainda como subsídios importantes no desenvolvimento de trabalhos sobre mudanças globais (Anderson, 2004). De acordo com Maeda et al. (2008), o entendimento das

mudanças no uso e cobertura da terra também permite um melhor direcionamento das políticas públicas, visando o planejamento adequado para favorecer ações conservacionistas em áreas mais susceptíveis aos problemas ambientais decorrentes destes processos.

Neste sentido, o presente trabalho apresenta uma metodologia tendo como base o uso da técnica AHP para tratamento de dados sensorizados na análise de alguns fatores determinantes no processo de conversão do uso e cobertura da terra, com vista à predição de áreas mais susceptíveis a ocorrência do desmatamento.

## 2. Materiais e Métodos

O município de Querência está localizado a nordeste do estado do Mato Grosso, a uma latitude  $12^{\circ}35'49''\text{S}$  e longitude  $52^{\circ}11'59''\text{W}$  (Figura 1), com altitude média de 350 metros, e área de 17.850 km<sup>2</sup>. Dentro de seus limites encontra-se parte da Reserva Indígena do Xingu.

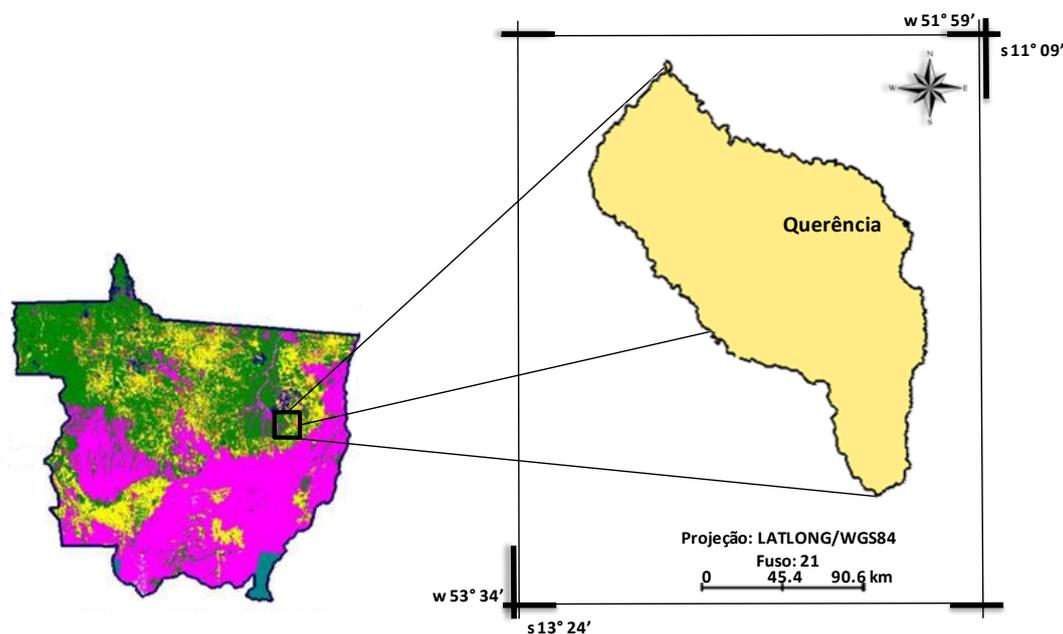


Figura 1. Localização da área de estudo.

As informações utilizadas foram obtidas junto a Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Mato Grosso (SEMA). Os dados fazem referência a mapas temáticos da cobertura vegetal (Classes: Formações Pioneiras, Áreas de Tensão Ecológica e Savana), solos (Classes: Argiloso, Indeterminado, Médio Siltoso/Argiloso), drenagem (características naturais) e estradas (políticas públicas). Também foi utilizado dados referentes à altimetria da região obtido através de imagens *Shuttle Radar Topography Mission* - SRTM (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/dataproduct.htm>), os quais permitiram a geração de um mapa de declividade da área de estudo.

Os dados das áreas desmatadas do município foram mapeados pelo Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica brasileira por Satélite (PRODES), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2002). Estes dados fazem referência às áreas desmatadas no período de 1997 a 2009. Para validação dos resultados obtidos, foram também utilizados dados do Sistema Detecção do Desmatamento em Tempo Real – DETER (INPE, 2005) referentes aos meses de abril a julho de 2010. O objetivo do DETER é monitorar o desflorestamento ocorrido a cada quinze dias, através de imagens MODIS/Terra e/ou WFI/CBERS-2 que possuem moderada resolução espacial e alta resolução temporal. Devido a este caráter operacional, o sistema é de grande potencialidade nas ações de fiscalização pelos

órgãos governamentais. Na Figura 2 é apresentado o fluxograma que representa as etapas desenvolvidas neste trabalho.

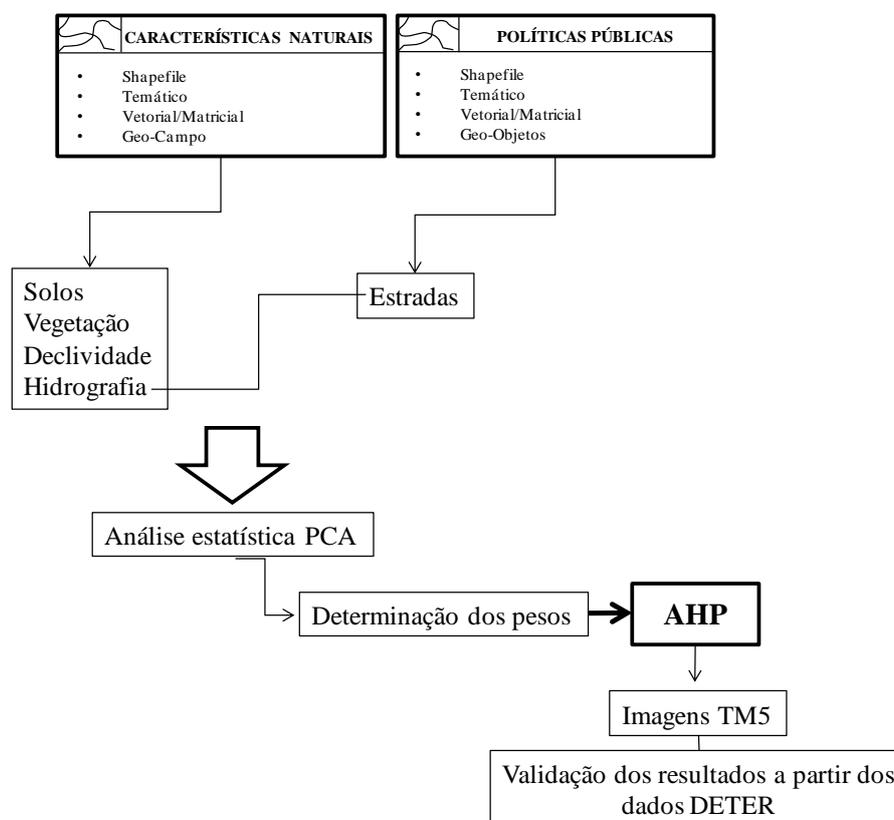


Figura 2. Fluxograma com a metodologia do trabalho.

Primeiramente, as informações coletadas do município (vegetação, solos, declividade, hidrografia, estradas e áreas desmatadas) foram inseridas num Sistema de Informações Geográficas (SIG). Os mapas temáticos foram convertidos para grades numéricas, de forma que se pudesse realizar a intersecção entre as áreas desmatadas dentro de cada classe das variáveis analisadas. Desta forma, foi possível quantificar todos os polígonos correspondentes às áreas desmatadas e em quais classes ocorriam, transformados posteriormente numa lógica binária, de forma a identificar quais áreas desmatadas estavam contidas ou não dentro de cada classe. Este procedimento permitiu a manipulação das variáveis em formatos compatíveis para realização da análise estatística de componentes principais (Johnson e Wichern, 1998) de maneira mais consistente e considerando todas as variáveis em função da ocorrência do desmatamento.

Após este primeiro tratamento dos dados, foi aplicado a análise de componentes principais, através do *software* Statistica 7, a qual permitiu avaliar estatisticamente qual a contribuição de cada variável na ocorrência das áreas desmatadas. Isto serviu como um critério no estabelecimento dos pesos a serem utilizados na aplicação da técnica de Processo Analítico Hierárquico - AHP, (Saaty, 1986). Esta técnica é baseada na lógica de comparação pareada, onde os diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão são comparados em pares. Um critério de importância relativa é atribuído ao relacionamento entre estes fatores, e podem ser utilizados para a combinação das diversas variáveis. Também foi utilizada uma imagem Landsat-TM5 (órbita/ponto: 224/69), de 08 de agosto de 2009, para comparação e análise da distribuição espacial das variáveis estradas e rios em relação ao mapa AHP.

### 3. Resultados e discussão

A Figura 3 apresenta o mapa AHP. O peso para cada variável foi estabelecido a partir da técnica de componentes principais, sendo a variável “estradas” (0,89) aquela que apresentou maior influência no processo de desmatamento, seguida pela variável “rede de drenagem” (0,065), “vegetação” (0,020), “solos” (0,019) e “declividade” (0,00), respectivamente. As áreas em vermelho mais intenso indicam as áreas em que a técnica apontou como mais propensas (8-10) para ocorrência do desmatamento; e as áreas amarelas, o contrário (0-2).

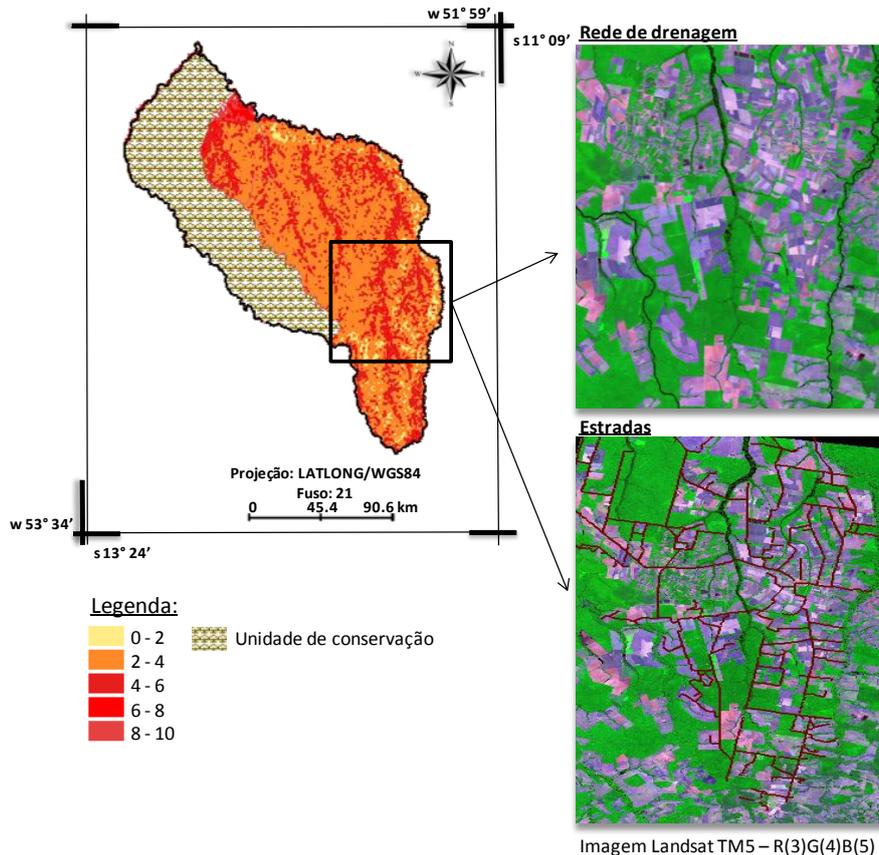


Figura 3. Mapa do Processo Analítico Hierárquico (AHP). À direita, imagem Landsat-TM5, mostrando acima a rede de drenagem, e abaixo as estradas.

As áreas apontadas pelo mapa AHP como mais propensas a ocorrência do desmatamento na região de estudo foram identificadas principalmente ao longo das estradas (6-8 e 8-10), demonstrando a forte influência que esta variável possui no processo de desmatamento. Em relação à rede de drenagem identifica-se uma influência moderada (2-4). Os resultados demonstram uma coerência com estudos anteriores, em que as estradas são apontadas como vetores iniciais no processo de retirada da cobertura vegetal (Nepstad, 2002; Espírito-Santo et al., 2004). As estradas também são apontadas com forte influência no processo de desmatamento devido à operacionalidade que possuem em termos de deslocamento de exploração madeireira e ao baixo custo de escoamento da produção (Souza, 2001). Ainda, de acordo com Aguiar (2006), os fatores apontados como mais fortes para previsão do desflorestamento se concentram em áreas anteriormente desmatadas e distância a rodovias (pavimentadas e não pavimentadas), por sua vez, parâmetros associados ao relevo da região, rede de drenagem e reservas indígenas são elementos importantes no processo de retardamento do desmatamento. Como é o caso da presença da Reserva Indígena do Xingu na porção norte deste município, tendo um significativo papel no processo de diminuição da conversão florestal, auxiliando a conservação da biodiversidade local. Importante salientar

que áreas de vegetação nativa ao longo da rede de drenagem fazem parte dessa porção passível de ação antrópica, conforme indicado pelo mapa AHP, porém estas áreas devem ser consideradas nas quotas de preservação permanente estabelecido pela legislação de uso da terra.

A Figura 4 apresenta o mapa AHP, em ênfase, as áreas detectadas como desmatadas pelo sistema DETER, no ano de 2010.

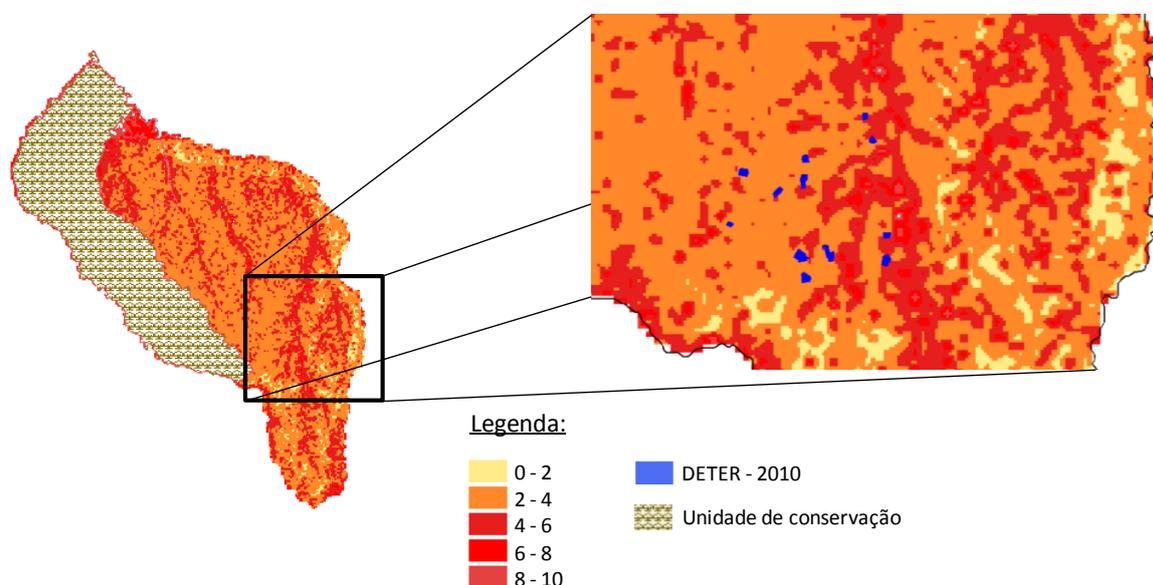


Figura 4. Mapa do Processo Analítico Hierárquico (AHP) das variáveis utilizadas. À direita, mapa demarcado com os polígonos detectados como desmatamento pelo Sistema DETER para o ano de 2010.

Verifica-se que, em sua maioria, os polígonos do sistema DETER concordam com as áreas de maior propensão indicadas pelo mapa AHP, indicando que os parâmetros utilizados na geração do mapa foram satisfatórios. No entanto, outros parâmetros devem ser levados em consideração, já que a complexidade da região apresenta diferentes padrões espaciais de desmatamento, entre aqueles apontados por Lambin et al, 2003, como os associados aos fatores tecnológicos, principalmente no desenvolvimento do setor agrícola, medidas políticas, estabelecimento de novas leis sobre a exploração e uso da terra, etc.

#### 4. Conclusões

Neste trabalho, pode-se verificar a potencialidade na utilização da técnica AHP na predição de áreas suscetíveis ao desmatamento. As imagens Landsat-TM5 permitiram analisar visualmente os padrões espaciais relacionados à rede de drenagem e as estradas do município, que, quando comparados com o mapa AHP, indicaram as áreas próximas às redes de drenagem com menores índices de influência (2-4) do que as áreas próximas às rodovias (6-8 e 8-10). O mapa gerado a partir das variáveis utilizadas permitiu a identificação de áreas mais propensas à ocorrência do desmatamento, as quais, em sua maioria, concordaram com aquelas indicadas pelo sistema DETER. Cabe salientar, ainda, a importância na utilização de outras variáveis, que envolvem o entendimento das relações complexas relacionadas ao processo de mudança de uso e ocupação do solo.

**Agradecimentos:** A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado e ao CNPq pela concessão das Bolsas Individuais de Produtividade em Pesquisa.

## Referências Bibliográficas

AGUIAR, A. P. D. Modelagem de mudança do uso da terra na amazônia: explorando a heterogeneidade intra-regional. 2006. 2004 p. (INPE--TDI/). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2006.

Anderson, L. O. A. Classificação e monitoramento da cobertura vegetal de Mato Grosso utilizando dados multitemporais do sensor MODIS. 2004. 247 p. (INPE-12290-TDI/986). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.

Alves, D. S. O Processo de desflorestamento na Amazônia. **Parcerias Estratégicas**. n. 12, p. 259-275, 2001.

Alves, D. S. Space-time Dynamics of Deforestation in Brazilian Amazônia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 14, p. 2.903-2.908, 2002.

Andersen, L.; Granger, C.; Reis, E.; Winhold, D.; Wunder, S. **The dynamics of Deforestation and Economic Growth in the Brazilian Amazon**. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.

Arima, E.; Barreto, P.; Brito, M. **Pecuária na Amazônia: tendências e implicações para a conservação ambiental**. Belém: Instituto do Homem e Meio Ambiente na Amazônia, 2005.

Becker, B. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados** – Dossiê Amazônia Brasileira I, v.19, n. 53, p. 71-86, 2005.

Brito, M. S. Políticas Públicas e Padrões de Uso da Terra na Amazônia Legal. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 57, n. 3, p. 73-93, 1995.

Espírito-Santo, F. D. B.; Santos, J. R.; Silva, P. G. Técnicas de processamento de imagens e de análise espacial para estudo de áreas florestais sob a exploração madeireira. **Revista Árvore**, v. 28, n. 5, p. 699-706, 2004.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite**. São José dos Campos, 2002. 22p.

Johnson, R.A.; Wichern, D.W. Applied multivariate statistical analysis. 3 ed. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 1992. 642 p.

Lambin, E. F. Modeling and monitoring land-cover changes processes in tropical regions. **Progress in Physical Geography**, v. 2, n. 3, p. 375-393, 1997.

Lambin, E. F.; Geist, H. Regional differences in tropical deforestation. **Remote Sensing of Environment**, v. 45, n. 6, p. 22-36, 2003.

Laurance, W.; Cochrane, M.; Bergen, S.; Fearnside, P.; Delamonica, P.; Barber, C.; D'angelo, S.; Fernandes, T. The future of the Brazilian Amazon. **Science**, v. 291, p. 438-439, 2001.

Maeda, E. E.; Formaggio, A. R.; Shimabukuro, Y. E. Impacts of Land Use and Land Cover Changes on Sediment Yield in a Brazilian Amazon Drainage Basin. **GIScience and Remote Sensing**, v. 45, p. 1548-1603, 2008.

Nepstad, D.C. et al. Frontier governance in Amazonia. **Science**, v.295, n.25, p. 629-631, 2002.

Santilli, M., Moutinho, P.; Schwartzman, S.; Nepstad, D.; Curran, L.; Nobre, C. Tropical deforestation and the Kyoto Protocol: an editorial essay. **Climate Change**, v. 71, p. 267-276, 2005.

Saaty, T. L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. **Management Science**, v.32, n.7, p. 841-855, 1986.

Shimabukuro, Y. E.; Duarte, V.; Moreira, M. A.; Arai, E.; Rudorff, B. F. T.; Anderson, L. O.; Espírito-Santo, F. D. B.; Freitas, R. M.; Aulicino, L. C. M.; Maurano, L. E.; ARAGÃO, J. R. L. **Detecção de áreas desflorestadas em tempo real**: Conceitos básicos, desenvolvimento e aplicação do projeto DETER. São José dos Campos: INPE, 2005. 63 p. (INPE-12288-RPQ/796). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1912/2005/04.01.16.28>>. Acesso em: 17 nov. 2010.

Souza, C.M. et al. Extração de informações de imagens Landsat para modelos de alcance econômico da atividade madeireira. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – (SBSR), 10, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. Artigos, p. 509-526. CD-ROM, On-line. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.19.07.24/doc/0509.516.233.pdf>