

Mapeamento e análise multitemporal do uso e ocupação do solo em região do município de Santarém-PA através de imagens Landsat 5-TM

Sérgio Caldas Soares¹
João Paulo Domingos Gonçalves¹
Leila Maria Garcia Fonseca¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{sergio, jpaulo}@dsr.inpe.br; leila@dpi.inpe.br

Abstract. This paper presents a multitemporal analysis of the land cover and soil uses in city of Santarém, in Pará state (Brazil), which has the highest rates of deforestation in the nation. We emphasize that this area is part of the Brazilian Amazon biome, therefore needs a special attention due to a high biodiversity, which are not found in other locations worldwide. In the municipality of Santarém much of this economic activity is related to logging and agricultural production, supported by a large amount of wood industries and the expansion of cropland in the region, which results in further increasing the rate of deforestation. For analysis of changes, images from Landsat-5/TM satellite from 2005, 2007 and 2009, were used. To this, techniques of digital image processing were tested and applied supervised algorithms of automatic classification, such Parallelepiped, Mahalanobis Distance and Maximum Likelihood. After processing the images, results showed that Maximum Likelihood classification presented the most accurate and higher Kappa index, when tested in the 2009 image, which justifies their use in previous images. So, we can note dramatic changes in land cover and soil uses, like as the advance of the deforested areas, expansion of agricultural area, mainly for agriculture and capitalized areas of exposed soil, requiring constant attention to the preservation of native rainforest areas of this country.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, rainforest, sensoriamento remoto, processamento digital de imagens, Amazônia

1. Introdução

O uso desordenado dos recursos naturais tem demandado um acompanhamento constante do seu estado atual e uso antrópico por meio de fiscalização e zoneamento ecológico-econômico (Duarte et al., 1999).

Segundo Turner et al. (1994), cobertura do solo está relacionado com as características do estado físico, químico e biológico da camada superficial terrestre, podendo ser representada, dentre outros, por floresta gramínea, água ou área construída. Já o uso do solo refere-se às motivações humanas associadas à cobertura em questão, podendo-se destacar a pecuária, agricultura, áreas de conservação e área residencial.

As mudanças nos padrões de uso e cobertura do solo causam preocupações em âmbito local e global (Running et al., 1994). Dentre as preocupações existentes no âmbito global pode-se destacar o aquecimento global, enquanto a nível local destacam-se os processos de desertificação, degradação da fauna e flora e a perda da biodiversidade. Pode-se também relacionar os impactos das mudanças de uso e cobertura a questões sócio-econômicas, como a diminuição da disponibilidade de alimentos e água em face de tais alterações. Os problemas relacionados a estas alterações não são exclusividade de países subdesenvolvidos, muitos países desenvolvidos tem suas terras afetadas, principalmente nas regiões urbanas. Segundo Soares Filho (1998), muitos problemas têm surgido por conta das mudanças ambientais, portanto é imprescindível manter a vegetação natural de áreas florestais.

O município de Santarém apresenta alta taxa de desmatamento. As principais causas desta prática estão relacionadas com a agricultura, pecuária e a indústria madeireira. Segundo Alencar et al. (1996), o setor madeireiro é a principal atividade econômica de uso do solo no município. A agricultura é caracterizada por dois tipos principais, a de subsistência, praticada

por pequenos produtores e a agricultura capitalizada, que tem como modelo principal a soja acompanhada pelo milho, sendo o modelo capitalizado provocador de mudanças mais rápidas e drásticas.

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho é identificar e quantificar as áreas ocupadas com atividade agrícola, a fim de determinar a expansão ao longo do tempo.

2. Metodologia de trabalho

2.1. Área de Estudo

A área de estudo é a porção do município de Santarém localizada a leste do rio Tapajós e ao sul do rio Amazonas (região onde a ação antrópica é mais acentuada), localizado no noroeste do Estado do Pará (Figura 1). As coordenadas geográficas do município são: 2° 24' 52" S e 54° 42' 36" W.

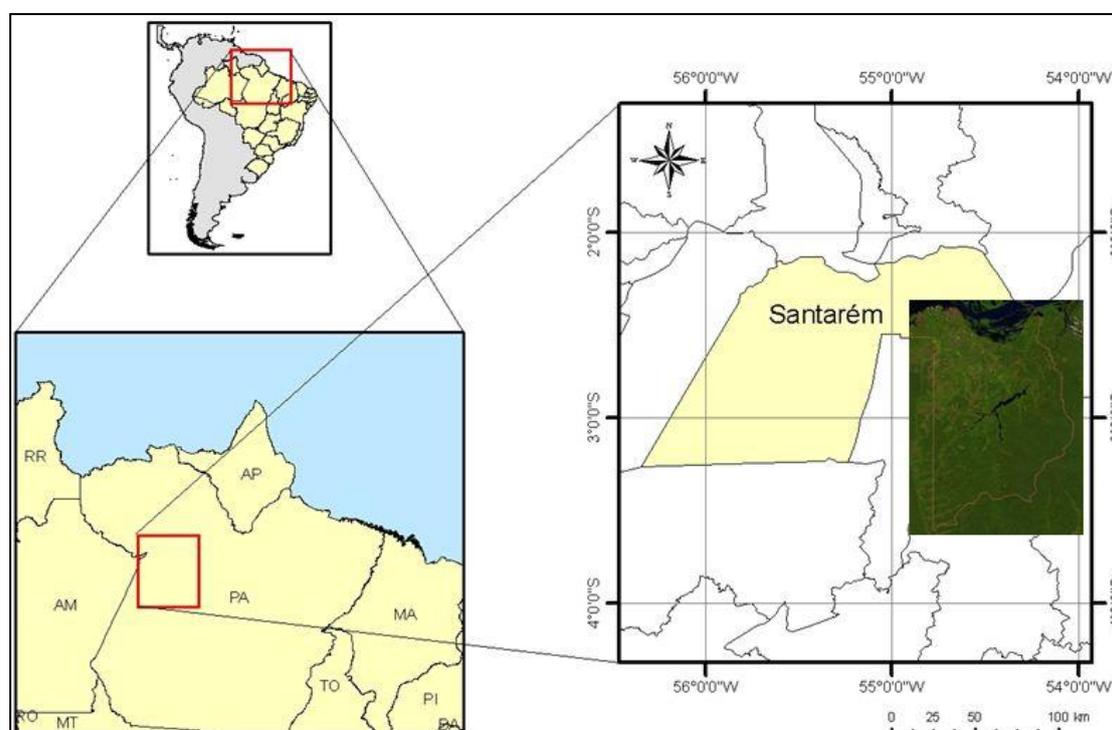


Figura 1. Localização do município de Santarém-PA e recorte de imagem Landsat-5/TM (órbita: 227; ponto: 62) utilizado neste trabalho.

O município, situado na Mesorregião do Baixo Amazonas, microrregião de Santarém, é o centro polarizador da região oeste do Pará. Por oferecer melhor infra-estrutura econômica e social, ter um setor de serviços mais desenvolvido e pela sua localização estratégica privilegiada, que permite a utilização dos três principais meios de transporte, Santarém é o Município que canaliza a maior parte do fluxo de bens e serviços e recursos financeiros dessa Região e, portanto, apresenta-se mais susceptível a ação do homem.

Sua superfície ocupa 1,83% do território paraense e sua extensão é de 22.887 km² (IBGE 2000). Sua sede político-administrativa, localizada na margem direita do rio Tapajós, na confluência com o rio Amazonas, ocupa uma área urbana de aproximadamente 77 km².

2.2. Imagens orbitais e Dados de campos

Imagens do sensor TM do sistema Landsat-5 órbita/ponto 227/62, com a menor cobertura de nuvens possível e com datas de aquisição próximas ao dia de coleta de dados de campo, foram selecionadas de acordo com a Tabela 1. No caso da imagem 21/06/2007 a cobertura de

nuvens de 50% no quadrante 2 não interferiu no processamento dos dados, pois fica praticamente fora da área de estudo.

Tabela 1. Datas e porcentagem (%) de cobertura de nuvens das imagens TM selecionadas.

Data/Quadrante	Q1	Q2	Q3	Q4
01/06/2005	20	30	0	0
21/06/2007	30	50	0	0
12/07/2009	10	0	0	0

As imagens originais possuem correções de nível 2, ou seja, possuem correção radiométrica e correção geométrica parcial.

No processo de registro das imagens TM foi utilizado como referência uma imagem ortorretificada da área de interesse produzida pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (*U.S. Geological Survey*), disponível no sítio <http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>.

Fotografias aéreas relativas aos alvos de interesse, obtidas no dia 21/05/2009 para a missão de validação do projeto DETER (Detecção de Desmatamento em Tempo Real) e que se encontram disponíveis no sítio: <http://www.obt.inpe.br/fototeca/fototeca.html>, foram selecionadas como verdade de campo para validação das classificações realizadas neste trabalho. Estas fotos foram obtidas no período entre onze horas da manhã e cinco horas da tarde. Todas as imagens possuem coordenadas geográficas (latitude e longitude), que permitiram associá-las aos pontos correspondentes na imagem.

2.3. Processamento

Para o registro de cada imagem foram usados 15 pontos de controle no terreno, com um erro médio quadrático de 0,435232, 0,446755 e 0,458811, respectivamente, para as imagens de 2005, 2007 e 2009.

Posteriormente, um recorte nas imagens registradas foi realizado para delimitar a área de interesse. Os rios Amazonas e Tapajós, a área urbana e os municípios vizinhos foram mascarados antes de realizar o processamento das imagens.

No processamento, os seguintes classificadores supervisionados foram testados: Paralelepípedo, Distância de Mahalanobis e Máxima Verossimilhança (Richards, 1995; Schowengerdt, 1997).

Na fase de treinamento, 30 polígonos para cada classe foram selecionados como amostras de treinamento. De acordo com a análise visual e trabalho de campo, as seguintes classes foram definidas: Solo Exposto, Área Agrícola (soja), Gramínea, Água, Floresta Nativa, ilustradas na Figura 2.



a)



b)

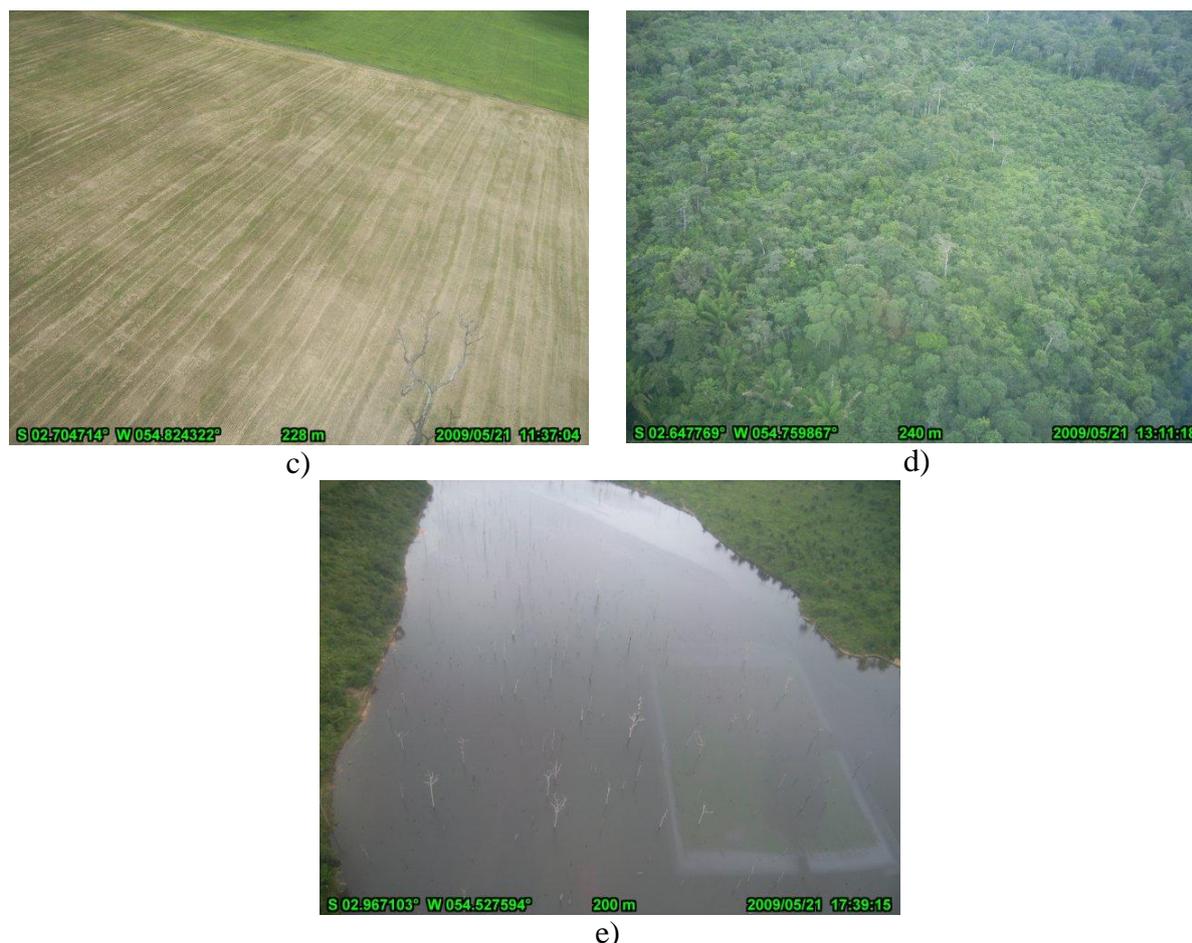


Figura 2. Fotos correspondentes aos alvos de interesse. a) Área Agrícola; b) Gramínea; c) Solo Exposto; d) Floresta; e) Água. Fonte: <http://www.obt.inpe.br/fototeca/fototeca.html>

No processo de validação, o número de amostras foi limitado a um total de 60 pontos georreferenciados, distribuídos para cada classe da seguinte forma: Floresta Nativa (20), Área Agrícola (20), Gramínea (10), Solo Exposto (5) e Água (5).

Na análise comparativa entre o desempenho dos classificadores foram usadas a matriz de confusão e o índice Kappa (Colgaton, 1991). Segundo Colgaton (1991), o índice Kappa é apropriado para avaliação da precisão de uma classificação, pelo fato de levar em conta toda a matriz de confusão no seu cálculo, inclusive os elementos fora da diagonal principal, que representam as discordâncias na classificação. O fluxograma resumido da metodologia, empregada neste estudo, é apresentado na Figura 3.

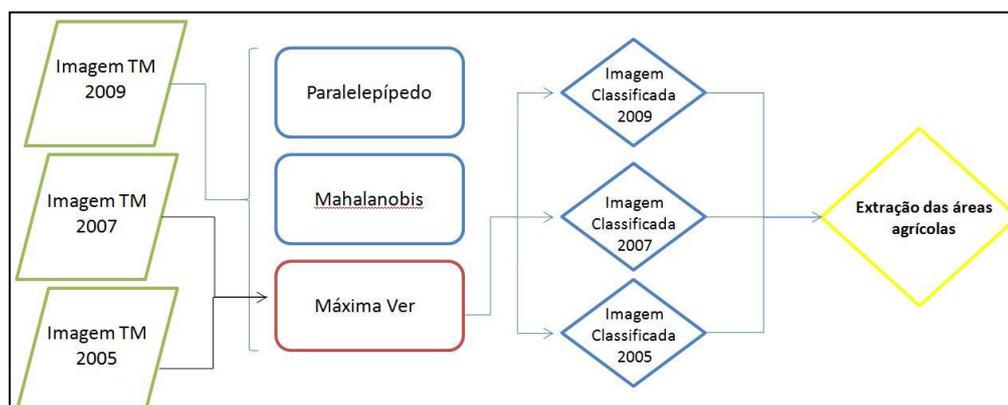


Figura 3. Fluxograma resumido da metodologia de trabalho utilizada.

3. Resultados e discussão

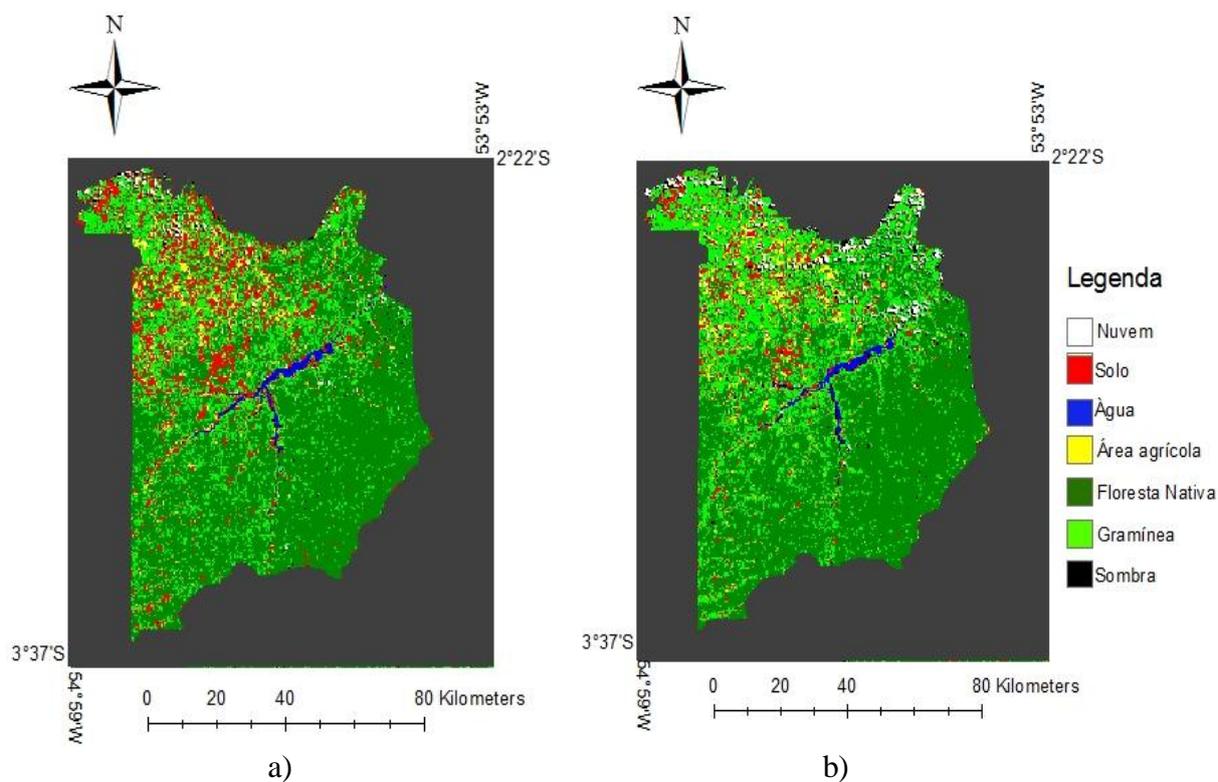
A análise do desempenho dos classificadores foi realizada apenas para a imagem de 2009, já que sua data de aquisição era a mais próxima da data de realização de trabalho de campo. A avaliação consistiu em comparar a acurácia dos mapas temáticos, usando como referência os dados de campo e um conjunto de amostras, diferente do conjunto usado como amostra de treinamento, selecionadas nas imagens. Os resultados da acurácia e do índice Kappa obtidos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Acurácia (%) e índice Kappa da imagem TM de 2009 classificada.

Imagem 12/07/2009	Paralelepípedo	Distância de Mahalanobis	Máxima Verossimilhança
Dados de Campo	80,76% 0,70	77,96% 0,70	82,75% 0,76
Amostras Selecionadas	86,98% 0,78	86,53% 0,82	96,27% 0,94

As áreas classificadas como sombra e nuvem, presentes em todas as imagens temáticas, não foram avaliadas.

Como o classificador por máxima verossimilhança apresentou o melhor resultado de uma forma geral, ele foi aplicado também nas imagens de 2005 e 2007. Os mapas temáticos e as áreas mapeadas para cada classe podem ser observados na Figura 3 e Tabela 3, respectivamente.



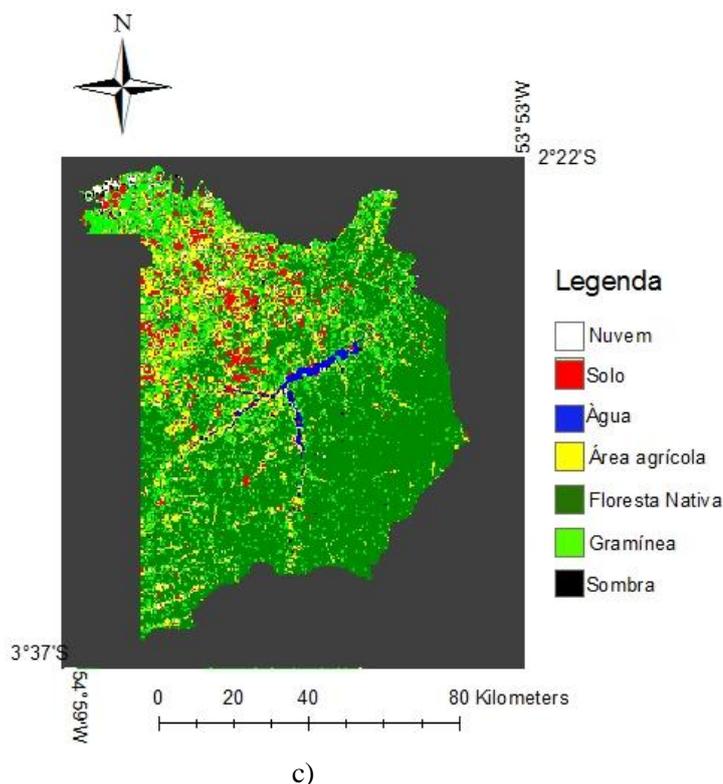


Figura 3. . Imagens classificadas a partir do algoritmo de Máxima Verossimilhança. a) 01/05/2005; b) 21/06/2007; c) 12/07/2009

Tabela 3. Área Mapeada (%), para cada uma das classes pré-definidas, pelo classificador por Máxima Verossimilhança.

Classe/Data	01/05/2005	21/06/2007	12/07/2009
Agrícola	3,27	3,84	12,66
Água	0,98	0,91	0,99
Floresta	55,98	54,63	57,29
Gramínea	24,23	28,17	18,95
Nuvem	1,27	2,72	2,35
Solo	13,19	7,24	7,14
Sombra	1,06	2,48	0,59
Total	100	100	100

A maior confusão observada foi entre a separação das classes floresta e gramínea e entre sombra a porque estes alvos são espectralmente similares. Uma porcentagem maior de sombra na imagem 2007 é devido a maior ocorrência de nuvens nesta data. Além disso, pode-se observar o aumento do percentual da área agrícola na área de estudo, principalmente entre as datas 2007 e 2009 em detrimento das áreas de gramínea. O aumento de área agrícola na região coincide com a intensa expansão da produção agrícola neste período, provavelmente, em substituição às áreas de pastagem.

4. Conclusão

O classificador por Máxima Verossimilhança foi o que apresentou o melhor resultado na identificação das áreas ocupadas com atividade agrícola, quando comparado aos demais.

Os resultados mostraram a ocorrência de uma alta taxa de expansão agrícola na região, coincidente com a expansão agrícola na região. O uso de tecnologias de sensoriamento

remoto tornou viável este estudo devido, principalmente, à disponibilidade de ferramentas computacionais, que automatizaram o processamento, e da distribuição gratuita de imagens TM, pelo INPE.

O uso de imagens de alta resolução para este fim pode não ser apropriado, pois a extensão das áreas a serem monitoradas geraria um volume de dados muito grande e um alto custo computacional e financeiro.

5. Agradecimentos

Ao INPE, por disponibilizar gratuitamente as imagens orbitais e as fotos aéreas utilizadas no presente trabalho. Às nossas famílias, pelo carinho, compreensão e apoio.

6. Referências Bibliográficas

Alencar, A. A. C.; Vieira, I. C. G.; Nepstad, D. C.; Lefebvre, P. Análise multitemporal do uso do solo e mudança da cobertura vegetal em antiga área agrícola da Amazônia Oriental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8. (SBSR), 1996, Salvador. Anais... São José dos Campos: INPE, 1996. p. 475-478. CD-ROM. ISBN 85-17-00014-5. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/deise/1999/01.29.14.46>>. Acesso em: 5 out. 2010.

COLGATON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, n. 12, p. 1671-1678, 1991.

Crósta, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. UNICAMP, Instituto de Geociências, Departamento de Metalogênese e Geoquímica, Campinas – SP. 1993.

Duarte, V. Shimabukuro, Y.E.; Santos, J.R. dos; Mello, E.M.K.; Moreira, J.C.; Moreira, M.A.; Souza, R.C.M. de; Shimabukuro, R.M.K.; Freitas, U.M. de. **Metodologia para a criação de dados digitais da Amazônia** - Projeto BADDAM. São José dos Campos. 33p. (INPE-7039-PUD/036). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1999.

Justice, C., Vermote, E., Townshend, J. R. G., Defries, R., Roy, D. P., Hall, D. K., Salomonson, V. V., Privette, J., Riggs, G., Strahler, A., Lucht, W., Myneni, R., Knjazihhin, Y., Running, S., Nemani, R., Wan, Z., Huete, A., van Leeuwen, W., Wolfe, R., The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research, **IEEE Transactions. On Geoscience. and Remote Sensing**, v. 36, p. 1228-1249, 1998.

Running, S.W., Justice, C., Salomonson, V., Hall, D., Barker, J., Kaufman, Y., Strahler, A., Huete, A., Muller, J.P., Vanderbilt, V., Wan, Z.M., Teillet, P., Carneggie, D. 1994. Terrestrial remote sensing science and algorithms planned for EOS/MODIS **International Journal. of Remote Sensing**, v. 15, p. 3587-3620, 1994.

Paranhos Filho, A.C. Análise Geo-Ambiental Multitemporal : O estudo de Caso da Região de Coxim e Bacia do Taquarizinho. Tese de doutoramento. Curso de Pós-Graduação em Geologia - UFPR. 2000.213 p.

Richards, J.A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. 2.ed. Berlin: Springer-Verlang, 1995. 340 p.

Schowengerdt, R.A. **Remote sensig: model and methods for image processing**. 2.ed. San Diego: Academic, 1997. 522p.

Soares filho, B.S. Modelagem da Dinâmica da Paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica. 1998. 264 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

Turner, B.L. II; Meyer, B.L. **Global Land Use and Land Cover Change: An Overview**. Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective. Disponível em: <http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/references.htm> . Acesso em: 27 de set. 2010