

Detecção de alterações na distribuição da cobertura vegetal entre 1975 e 2007 na planície de inundação do alto curso rio Paraná – Centro Sul do Brasil

Tiago Matsuo Samizava¹
Nilton Nobuhiro Imai¹
Paulo Cesar Rocha¹
Fernanda Sayuri Yoshino Watanabe¹

¹ Universidade Estadual Paulista – FCT/UNESP
19060-900 – Presidente Prudente - SP, Brasil

tiagosamizava@yahoo.com.br; {nnimai, pcrocha}@fct.unesp.br; fernandasyw@yahoo.com.br

Abstract. The goal of this work is to detect the alteration in distribution of the vegetable covering in floodplain Paraná River between 1975 and 2007. This area might have been affected by human occupation and alteration on stream flow. Those mappings were accomplished using the multi-font data: multispectral images of sensor MSS and TM/Landsat, integrated with SRTM topography data, texture and vegetation index (NDVI) extracted from the multispectral images. The adopted approach was oriented by supervised classification based on region segmentation for 1975 and multi-layer neural networks for other images in subsequent years, due to the use of some non-parametric attributes. For this temporal analysis, several radiometric transformations on TM data were necessary, such as atmospheric correction of the reference scene with the model based on radiative transfer theory (5S) through the software SCORADIS and radiometric normalization of the other scenes by the Multivariate Alteration Detection (MAD) method. As a preliminary result it was noticed that there was alteration in the vegetable covering in that period of time and the multi-font approach allows to obtain more suitable results.

Palavras-chave: remote sensing, vegetation covering, floodplain, sensoriamento remoto, cobertura vegetal, planície de inundação.

1. Introdução

A planície de inundação do alto rio Paraná sempre foi foco de ocupação antrópica, que se intensificaram a partir de 1950, com a chegada do café. Além da intensa ocupação antrópica, o fluxo das águas do alto curso do rio Paraná foi sendo regulado a partir da construção de barragens no canal principal e nos seus afluentes, seja pra fins de produção de energia elétrica, captação para agricultura ou abastecimento público.

A regulação do fluxo do rio Paraná a montante dessa área tem provocado alterações hidrológicas (ROCHA, 2002), como a redução dos picos de máxima e elevação do nível de base, que se intensificaram a partir da construção do reservatório de Porto Primavera em 1998. Essas alterações tem provocado a diminuição da intensidade e frequência dos pulsos de inundação, que são característicos nessas áreas. Os pulsos de inundação, segundo Junk et al. (1989), são responsáveis pela interação dos componentes físico-químicos das águas, da vegetação ripária e dos organismos na planície de inundação, que proporciona alta produtividade primária e biodiversidade de espécies.

Nesse contexto, este trabalho pretende contribuir para o entendimento do comportamento temporal da hidrodinâmica do sistema rio-planície do Alto curso do Rio Paraná. Dessa forma, parte-se da hipótese que a distribuição espacial da cobertura vegetal pode indicar o grau de alteração dos padrões ecológicos da planície por conta da redução dos pulsos de inundação e ocupação antrópica.

Dessa forma, realizou-se o mapeamento da cobertura vegetal da planície em 1975, 1985, 1996 e 2007. Para a cena de 1975 foram utilizadas imagens MSS/Landsat 1, e para as outras épocas foram utilizados imagens TM/Landsat 5. Esses mapeamentos foram realizados pela integração de dados multiespectrais do MSS e TM/Landsat, de variação altimétrica oriundas

da missão SRTM, além da textura e do índice de vegetação NDVI extraídos das imagens multiespectrais.

A classificação da cobertura vegetal adotada foi baseada em duas abordagens: para a classificação de 1975, das cenas MSS, foi utilizada uma classificação supervisionada baseada em regiões; e para as cenas do TM foi adotada a classificação supervisionada por redes neurais multicamadas, devido a sua maior robustez para lidar com um conjunto de atributos de natureza não paramétrica.

2. Área de estudos

A área de estudo é a planície do alto rio Paraná, que compreende a região da foz do rio Paranapanema até Porto Guaíra (Figura 1). A área foi definida pelas coordenadas UTM/WGS84 aproximadas: canto superior esquerdo: 180.000 E; 7.530.000 N; canto inferior direito: 330.000 E; 7.350.000 N.

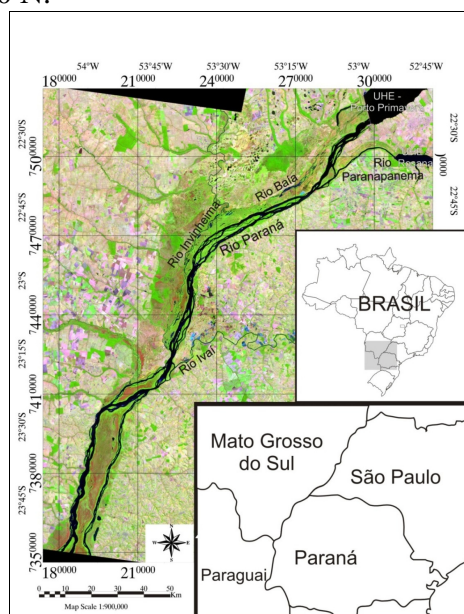


Figura 1. Definição da área geográfica de estudos.

3. Metodologia

3.1. Seleção das cenas MSS e TM/Landsat

Para abranger toda a área de estudo foi necessário a utilização de 2 cenas para cada período avaliado. No caso das imagens TM foram necessárias cenas de órbitas diferentes, enquanto que para MSS foram necessárias imagens de pontos diferentes, na mesma órbita.

A seleção das imagens baseou-se nos seguintes critérios: disponibilidade de imagens; datas entre as cenas mais próximas possíveis; características hidrológicas similares. Esses critérios buscam obter imagens em que a vegetação apresente características mais similares de um mesmo período sazonal e hidrológico.

3.2. Pré-processamentos das imagens multiespectrais MSS e TM/Landsat

Os pré-processamentos envolvem o processo de georreferenciamento das imagens MSS e TM e as correções radiométrica somente nas imagens TM, que correspondem à eliminação dos efeitos atmosféricos e da normalização radiométrica entre as cenas.

3.2.1. Georreferenciamento das imagens MSS e TM

A correção geométrica das imagens foi realizada no software ENVI, utilizando dados do Mosaico Geocover, do ano de 2000, como imagem de referência devido à falta de uma base cartográfica mais confiável na área de estudos. O mosaico geocover possui resolução espacial de 15 m, com erro médio quadrático de 50 m. Para fins do trabalho, considerou-se um erro associado aceitável.

No processo de georreferenciamento da cena, adotou-se um mínimo de 10 pontos de controle, com erro médio quadrático máximo de 0,5 pixels. A transformação utilizada foi uma função de primeiro grau, com reamostragem dos pixels pelo método vizinho mais próximo. As imagens Landsat, originalmente na projeção UTM e sistema de referência SAD/69, foram convertidas para o referencial geodésico WGS/84 no processo de transformação.

A imagem MSS/Landsat 1, apresentou problemas no georreferenciamento. Dessa forma, procurou-se selecionar pontos de controle mais próximos a área de sobreposição entre as cenas para o georreferenciamento, para que o mosaico possa ser realizado sem grandes deslocamentos. Contudo, essa abordagem resulta em aumento no erro de posicionamento quanto mais distante da área de sobreposição.

3.2.2. Correção atmosférica das imagens TM

A correção atmosférica foi realizada utilizando o modelo de transferência radiativa 5S (*Simulation the Satellite Signal in the Solar Spectrum*) (Tanré et al., 1990), implementado no aplicativo SCORADIS (ZULLO JUNIOR, 1994). A imagem corrigida foi a cena de 2007, de 04/09/2007, pois essa data coincidiu com a passagem do satélite TERRA, sendo possível obter os parâmetros atmosféricos das imagens do sensor MODIS.

A recuperação dos parâmetros atmosféricos foi realizada com os produtos MOD04 (Produto de aerossol) e MOD07 (Perfil atmosférico) (Mercante, 2007). Os parâmetros obtidos foram: espessura óptica de aerossóis, concentração de vapor d'água e de ozônio. A cena corrigida de efeitos atmosféricos registra valores de percentagem de reflectância de superfície.

As outras cenas TM foram transformadas em reflectância aparente. Essa transformação é baseada nos coeficientes de calibração do sensor, e parâmetros da distância Sol-Terra.

Em seguida, essas imagens são normalizadas em relação a cena de referência (04/09/2007), a qual foi corrigida dos efeitos atmosféricos.

3.2.3. Normalização radiométrica das imagens TM

A correção absoluta (correção atmosférica) foi realizada na cena de referência (27/09/2007) e para as outras cenas aplicou-se uma transformação baseada na imagem de referência.

Para tanto, foi utilizado o método *Multivariate Alteration Detection* (MAD), desenvolvido por Nielsen (1998), utilizando algoritmos implementados em IDL/ENVI por Canty, Nielsen e Schmidt (2004) e Canty e Nielsen (2008). Nesse método, a função de transformação linear é ajustada automaticamente por regressão ortogonal a partir dos pixels pseudo-invariantes selecionados por meio de análise de correlação canônica.

As cenas a serem normalizadas radiometricamente foram, primeiramente, convertidas para radiância aparente e, posteriormente, reflectância aparente. Essa conversão é necessária uma vez que a transformação para reflectância aparente não é linear, ou seja, não é capaz de ser modelada através da normalização radiométrica.

A partir da cena de referência foi aplicada a normalização radiométrica nas cenas a serem corrigidas. Dessa forma, ao mesmo tempo em que é realizado o ajuste radiométrico, as outras cenas são convertidas para reflectância de superfície.

3.2.4. Geração dos índices de vegetação e textura a partir das imagens MSS e TM

Foram gerados os índices de vegetação e de fragmentação da paisagem buscando realçar as características biofísicas e captar a variabilidade espacial da cobertura vegetal na planície, respectivamente. Essas informações podem auxiliar no processo de classificação da cobertura vegetal no tempo.

O índice de vegetação gerado foi o NDVI, dada pela equação abaixo:

$$NDVI = (\rho_{ivp} - \rho_v) / (\rho_{ivp} + \rho_{ivp}) \quad (1)$$

em que:

ρ_{ivp} : reflectância no infravermelho-próximo

ρ_v : reflectância no vermelho

Para as imagens MSS foi selecionada a banda 7, referente ao comprimento de onda (800-1100 nm). A imagem textura foi gerada a partir do cálculo do índice de fragmentação, implementado no Idrisi, a partir da equação:

$$F = (n-1)/(c-1) \quad (2)$$

em que, n é o número de pixels com diferentes atributos (valores radiométricos atribuídos aos pixels) presentes em uma janela quadrada de número de pixels c (9,25, 49,...).

O índice de fragmentação foi computado sobre as bandas espectrais TM4 e MSS7, uma vez que, segundo Galo (2000), essa região do infravermelho apresenta superioridade em representar a variabilidade espacial da vegetação. Adotando os mesmos critérios de Galo (2000), utilizou-se a janela de 3x3 para cálculo do operador de contexto nas imagens TM e MSS.

3.2.5. Processamento de dados do SRTM

O modelo digital de elevação (DEM) do SRTM disponível possui resolução espacial de 90m e apresenta ruídos. Nesse sentido, existe a necessidade de uma correção dos dados e reamostragem dos pixels para 30 m, compatíveis com as imagens TM/Landsat para realizar a classificação da cobertura vegetal.

Segundo Valeriano (2004), a interpolação por krigagem pode melhorar a qualidade desses dados, o que motivou a utilização desse procedimento. Previamente aos processamentos constatou-se que existia uma tendência regional nos dados, que deveria ser suprimida uma vez que um dos pressupostos da krigagem ordinária é que os dados apresentem média nula ou constante. Para tanto, foi ajustada uma superfície plana sobre pontos amostrais extraídos de forma aleatória sobre os dados. Assim foram realizados os procedimentos de geração dos semivariogramas e ajuste de uma função teórica isotrópica. Posteriormente foi aplicada a interpolação por krigagem ordinária.

Dessa forma, a representação altimétrica foi normalizada para o intervalo de 0 a 1 para ser inserida na classificação da cobertura vegetal.

3.3. Classificação da cobertura vegetal

A seguir apresentam-se as duas abordagens para classificação da cobertura da terra adotadas no presente trabalho.

3.3.1. Classificação das imagens MSS baseada em regiões

Para a classificação das cenas MSS foram utilizadas quatro bandas espectrais, referentes ao verde, vermelho e duas no infravermelho próximo, o NDVI e a imagem textura. Esses processamentos foram efetuados no SPRING.

Para tanto, as imagens foram segmentadas pelo algoritmo crescimento de regiões, utilizando como parâmetros de similaridade o valor 10 e área mínima de 20 pixels. Posteriormente à segmentação foram selecionadas amostras que serviram de treinamento para a classificação supervisionada. As amostras foram adquiridas a partir da interpretação visual da composição colorida falsa-cor da imagem MSS e através de algumas fotos aéreas em monocromático adquiridas em 1970. Foram cinco classes de informação: água (rios, lagoas, riossecos), vegetação de áreas úmidas (higrófilas que se adaptam às condições de saturação do solo), vegetação de herbáceas (pequenos arbustos e espécies gramíneas e de campos), vegetação arbórea (vegetação arbustiva e arbórea de grande porte) e solo exposto (solos sem ou com baixíssima cobertura vegetal, sob condições de saturação ou não pela água).

A classificação da cobertura da terra foi baseada no classificador Battacharya. Foi utilizado um limiar de aceitação de 99,9%.

3.3.2. Classificação das imagens TM baseada em Redes Neurais Artificiais

Para a classificação por redes neurais utilizou-se o software IDRISI, que tem disponível o algoritmo *backpropagation*, com a inserção do termo *momentum* para minimizar os efeitos de mínimos locais.

Para as entradas foram utilizadas as seis bandas espectrais do TM/Landsat, a informação do índice de vegetação normalizado (NDVI), o índice de fragmentação da paisagem e a representação da superfície topográfica. As classes de informação de interesse foram as mesmas da classificação de 1975.

No processo de treinamento foram coletados elementos amostrais na imagem de 2007. Durante a etapa de treinamento, a coleta das amostras foi realizada com trabalhos de campo realizados durante o desenvolvimento do trabalho, bem como o registro fotográfico disponibilizado por Andrade (2008). Outra forma de auxílio são as imagens aéreas multiespectrais de alta resolução espacial adquiridas em um trecho da planície, além das imagens disponíveis pelo software Google Earth.

Foi utilizado uma taxa de aprendizado de 0,01 e fator momentum de 0,5 no treinamento dessa rede. Dentre os critérios de parada, o erro médio quadrático (EMQ) e a taxa de acurácia foram utilizados para avaliar o melhor resultado, com relação à arquitetura e número de ciclos de treinamento. Os pesos das conexões da rede obtidos no treinamento são gravados em arquivo para aplicação da classificação no conjunto de dados de interesse.

Dessa forma, esses pesos são utilizados para a classificação das imagens de 1985, 1996 e de 2007. Parte-se do pressuposto que o conhecimento adquirido pela rede neural na fase de treinamento pode ser aplicado para qualquer período no tempo, mantidas as condições hidrológicas e sazonais.

4. Resultados e discussão

No processo de classificação da época de 1975, durante o treinamento foram coletadas amostras de treinamento e algumas para validação, cujos resultados foram de 100% de exatidão global. Contudo, visualmente o que se pôde notar foi alguma confusão entre as classes mapeadas. As imagens aéreas de 1970 auxiliaram no processo de avaliação, porém uma validação ainda deve ser realizada.

Em relação à classificação baseada em redes neurais, foi adotada arquitetura 9-7-6, por apresentar: simplicidade da arquitetura; gráfico do erro médio quadrático (EMQ) sem grandes flutuações; pouca diferença no EMQ comparado com os resultados das outras arquiteturas mais complexas. Verifica-se que no gráfico do EMQ entre as amostras de treinamento e validação existem baixas oscilações e a curva dos erros tende a se estabilizar no final do treinamento. Outro fato que chama atenção é que depois que o algoritmo atinge uma taxa de acurácia em torno de 95 a 97%, a convergência parece estabilizar-se, sem grandes ganhos na acurácia com o aumento do número de iterações. Dessa forma, adotou-se como critério de parada uma taxa de acurácia de 97%. Para atingir essa taxa foram necessários 5200 ciclos de treinamento.

Finalizada o treinamento, a arquitetura e os pesos do treinamento são salvos para a aplicação da classificação nos dados de 1996 e 1985. Entretanto, a estimativa de acurácia do mapeamento da cena de 2007 em relação à verdade terrestre somente será realizada após a finalização do processo de restituição das imagens aéreas de alta resolução espacial, que vem sendo desenvolvida.

A seguir é apresentado o resultado da classificação da cobertura vegetal para as quatro datas (Figura 2). A Figura 3 apresenta as proporções em área da evolução das classes de informação mapeadas ao longo do tempo.

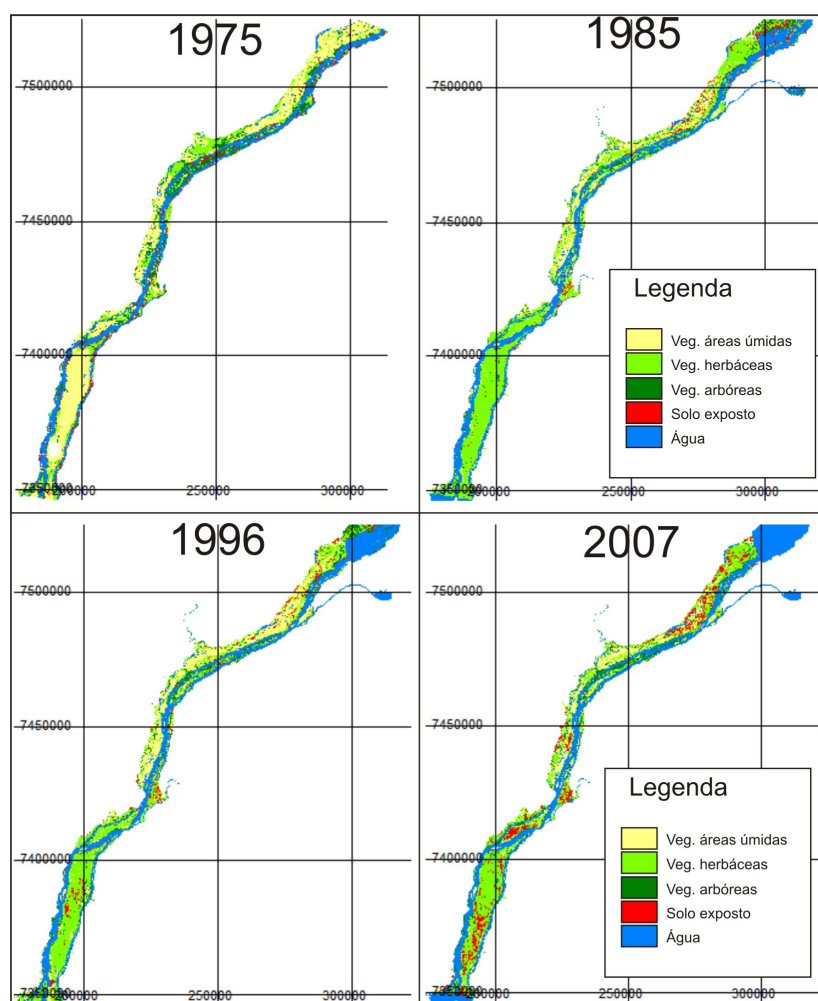


Figura 2. Classificação da cobertura vegetal da planície de inundação do alto rio Paraná.

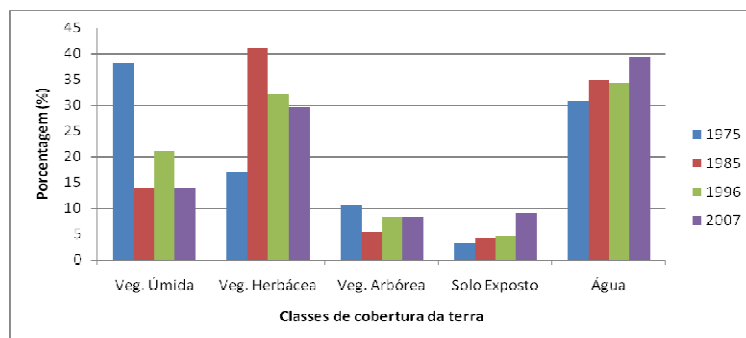


Figura 3. Proporção das classes de informação ao longo do tempo na planície de inundação do alto rio Paraná.

Segundo períodos de alteração do fluxo do rio Paraná definidos por Rocha (2002) e Souza Filho et al. (2007), cada imagem representa um período de alteração hidrológico do rio Paraná.

Dessa forma, verifica-se na Figura 3 que em 1975 a proporção de vegetação típica de áreas úmidas era em média o dobro que nas outras épocas. Essa brusca diminuição já em 1985 pode estar associada ao fato da construção das barragens hidroelétricas a montante da área de estudos. Em relação à vegetação de herbáceas nota-se que existe aumento de 1975 a 1985, sendo que após esse período as áreas desse estrato vegetal vêm decrescendo. É provável que esse decréscimo esteja associado ao aumento do solo exposto, que é bastante típico das ocupações antrópicas, principalmente para fins agrícolas e para criação de gado. Essas áreas são mais visíveis na Ilha Grande, porção sul da planície, e a jusante da barragem de Porto Primavera, nas várzeas que drenam o rio Baía. Embora esse cenário seja preocupante, em outros trechos da planície houve redução da ação antrópica e a vegetação, por sua vez, vem se recompondo naturalmente, principalmente nas ilhas. Isso se deve principalmente a implantação de unidades de conservação na planície do alto rio Paraná, que inibiram a ação humana. Esse aspecto pode ser verificado pela estabilização das áreas de vegetação arbórea entre 1996 e 2007.

O aumento da classe relacionada com água, que incluem os rios, lagos e ressacos, está associado com a área alagada pelo enchimento da represa de Porto Primavera, no rio Paraná, e de Rosana, no rio Paranapanema.

5. Considerações Finais

A classificação da cobertura vegetal multitemporal permitiu verificar as mudanças na vegetação na planície de inundação, em diversos períodos hidrológicos e de ação antrópica. De forma geral, notou-se que em 2007 a classe relacionada com o solo exposto vem aumentando na planície principalmente pelo uso agropecuário na região do rio Baía. Embora, no processo evolutivo do tempo geológico a planície de inundação venha sendo abandonada pelo rio Paraná, as constantes ações antrópicas vem acelerando o processo de ressecamento dessa área. Em relação a vegetação de áreas úmidas houve um decréscimo acentuado após a década de 70, que pode estar associado às alterações hidrológicas no sistema fluvial do rio Paraná. Contudo, a influência dos pulsos de inundação, bem como as interações físico-químicas da água com a vegetação ripária, merece maiores estudos na região.

Dessa forma, os resultados obtidos são preliminares. Imagens multiespectrais aéreas de alta resolução espacial, recentemente adquiridas, poderão auxiliar ainda mais na discriminação dos elementos amostrais das classes de informação da cobertura vegetal e ainda ser utilizado como verdade terrestre na análise de acurácia do mapeamento.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem ao CNPq e a CAPES pelo auxílio financeiro do projeto, à FAPESP pela bolsa de mestrado, ao PIBIC/CNPq pela bolsa de iniciação científica e à UNESP que, através do Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas e do Departamento de Cartografia forneceram o suporte físico necessário ao desenvolvimento do trabalho.

Referências Bibliográficas

- Canty, M. J.; Nielsen, A. A.; Schmidt, M. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 91(3–4), p. 441–451, 2004.
- Canty, M. J.; Nielsen, A. A. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery with the iteratively re-weighted MAD transformation. **Remote Sensing of Environment**, v. 112(3–4), p. 1025-1036, 2008.
- Galo, M. L. T. **Aplicação de redes neurais artificiais e sensoriamento remoto na caracterização ambiental do parque estadual morro do diabo**. 2000. 197f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Junk, W.J.; Bayley, P.B.; Sparks, R.E. The Flood Pulse Concept in River-Floodplain Systems. In: **D.P. Dodge (Ed) Proceedings of the International Large River Symposium**. **Can. Spec. Public. Fish. Aquat. Sci.**, 106. p.110-127, 1989.
- Mercante, E. **Dinâmica espectral da cultura da soja ao longo do ciclo vegetativo e sua relação com a produtividade na região oeste do Paraná**. 2007. 221f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Nielsen, A. A.; Conradsen, K.; Simpson, J. J. Multivariate alteration detection (MAD) and MAF post-processing in multispectral, bitemporal image data: new approaches to change detection studies. **Remote Sensing of Environment**, v.64, p.1–19, 1998.
- Nielsen, A. A. The regularized iteratively reweighted MAD method for change detection in multi- and hyperspectral data. **IEEE Transactions on Image Processing**, v.16(2), p. 463–478, 2007.
- Rocha, P. C. **Dinâmica dos Canais no Sistema Rio-Planície Fluvial do Alto Rio Paraná, nas Proximidades de Porto Rico-PR**. 2002. Tese (Doutorado em Ecologia de ambientes aquáticos) – Universidade Estadual de Maringá – Maringá.
- Souza Filho, E. E. et al. Geologia e geomorfologia. In: AGOSTINHO, A. A. et al. (Coord.). **A planície de inundação do alto rio Paraná** (Relatório técnico). Universidade Estadual de Maringá, NUPÉLIA, 2007, p. 1-86.
- Tanré, D. et al. Description of a computer code to simulate the satellite signal in the solar spectrum: the 5S code. **International Journal of Remote Sensing**, v.11, p.659-668, 1990.
- Valeriano, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. (Boletim).São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004, 72p.
- Zullo Junior, J. **Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações**. 1994. 190f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.