

Caracterização espectral das águas da Planície do Rio Paraná a partir de imagens Landsat TM.

Vivian Fróes Renó¹
Luiz Eduardo de Souza Moraes¹
Érika Akemi Saito¹
Renata Fernandes Figueira Nascimento¹
Felipe de Lucia Lobo¹
Tiago Matsuo Samizava²
Evlyn Marcia Leão de Moraes Novo¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{vivianfr, lemoraes, renata, lobo, evlyn}@dsr.inpe.br; erika@dpi.inpe.br

² Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista - FCT/UNESP
Rua Roberto Simonsen, 305 - 19060-900 - Presidente Prudente - SP, Brasil
tiagosamizava@yahoo.com.br

Abstract. Paraná River water types were mapped using image processing and classification techniques based on Spectral Linear Mixture Models, applied on a TM Landsat image. Spectral characterization of water types was performed using both *in situ* radiometric and limnological parameters sampling. Both set of attributes were employed in end-member definition for the TM image classification. Results yielded only two distinct types of water classes, the first constituted by high transparency and chlorophyll Paraná water, and the second by turbid waters from channels and lagoons, found in connected rivers like Baía and Ivinheima. Best classification results were derived from the no supervised model, yielding a more reliable map of water type distribution for the studied section of Paraná river.

Palavras-chave: Hydrological resources, spectral linear mixing model, image classification, recursos hídricos, modelo linear de mistura espectral, classificação de imagem.

1. Introdução

Os recursos hídricos são fundamentais na preservação dos ciclos naturais e da biodiversidade e têm sido amplamente utilizados em diversas atividades econômicas como o abastecimento público e a geração de energia elétrica. Dada essa intensa apropriação dos recursos fluviais pelo homem, houve uma crescente necessidade de prever os impactos biológicos associados ao manejo dos corpos d'água, identificar metas a serem atingidas para manter a biota fluvial e os adequados valores sociais e de serviços associados com o ecossistema fluvial (Rocha, 2002).

O manejo adequado de recursos hídricos pressupõe um alto grau de compreensão acerca do funcionamento destes sistemas em um contexto dinâmico (Junk et al., 1989; Junk 1989). Desse modo, as atividades de análise e monitoramento da qualidade da água tornam-se fundamentais, e podem ser mais bem planejadas e implementadas através da utilização de recursos tecnológicos de outras áreas do conhecimento. O uso de dados de Sensoriamento Remoto apresenta grande potencialidade para identificação e representação espacial e temporal da qualidade da água (Rudorf, 2006), permitindo o monitoramento de grandes áreas em diferentes escalas de tempo.

No sensoriamento remoto dos corpos d'água buscam-se relações entre respostas no domínio espectral e características limnológicas, como composição e componentes biofísicos da água, relevantes para o monitoramento de ecossistemas aquáticos continentais. As respostas espectrais de corpos d'água estão diretamente relacionadas aos seus Componentes Opticamente Ativos (COAs), ou seja, a própria água pura, as partículas orgânicas e

inorgânicas em suspensão, as substâncias amarelas e os pigmentos fitoplanctônicos (Kirk, 1994). A variabilidade espectral na refletância de um corpo d'água é influenciada, ainda, pela profundidade local (Maritorena et al., 1994) e pela rugosidade superficial (Sá et al., 2004).

Uma das questões fundamentais para a interpretação das informações de sensores remotos é a de atribuir significado às diferentes “cores” com as quais os objetos da superfície são registrados. A cor da água pode ser interpretada como um indicador de suas propriedades químicas, podendo, no caso de ecossistemas de várzea, ser considerada também como indicadora da produtividade biológica (Kampel e Novo, 2005).

O sensoriamento remoto de corpos d'água, entretanto, apresenta limitações tecnológicas e metodológicas, que restringem a obtenção de medidas com precisão satisfatória para águas continentais e costeiras. As limitações tecnológicas estão relacionadas às características dos instrumentos em termos de resoluções espaciais, espectrais e radiométricas, já as metodológicas estão principalmente relacionadas à questão de como isolar a componente da refletância da água que traz a informação sobre os COAs dos demais fluxos de radiação detectados pelos sensores (Rudorf, 2006). Por outro lado, a utilização de informações radiométricas obtidas através de medidas em campo e de sensores orbitais, em conjunto com dados físico-químicos e biológicos de amostragens *in situ* proporciona subsídios para uma avaliação limnológica mais completa de grandes corpos d'água naturais como rios, reservatórios e lagos.

O principal objetivo deste trabalho consiste na caracterização espectral e mapeamento dos principais tipos de água da bacia do alto Paraná, com auxílio de imagens TM/LANDSAT e de dados limnológicos e radiométricos de campo. Como objetivo específico buscou-se a avaliação do desempenho de duas estratégias de classificação baseada em regiões: supervisionada e não-supervisionada, com base na aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral (Shimabukuro e Smith, 1991) para o mapeamento das classes de água.

1.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se no segmento da bacia do alto Paraná, compreendido entre a foz do Rio Paranapanema e a foz do Rio Ivaí, abrangendo a metade superior da Área de Proteção Ambiental (APA) das Ilhas e Várzeas do Rio Paraná (526.752 ha.). A região engloba os municípios paranaenses de Diamante do Norte, Marilena, São Pedro do Paraná, Porto Rico, Querência do Norte e Icaraíma, o município paulista de Rosana na porção oeste, e os municípios sul-mato-grossenses de Nova Andradina, Bataiporã, Ivinheima e Naviraí (Nupelia, 2000).

O Rio Paraná percorre 4605 km de sua nascente, no Planalto Central, até a foz no estuário do Rio La Plata, atravessando regiões de clima tropical e subtropical. Grande parte da rede hidrográfica da bacia encontra-se sob controle de barramentos. O alto curso do Paraná encontra-se barrado à jusante pela Usina Hidrelétrica (UHE) de Itaipu, à montante pelas UHE de Porto Primavera e Jupia (Souza-Filho e Steveaux, 1997).

O sistema fluvial é caracterizado por um regime de pulsos sazonais de inundação (Comunello, 2001), de grande importância para os ecossistemas aquáticos e marginais da região (Thomaz et al., 1997). O segmento do rio compreendido pela APA constitui uma das áreas de várzea remanescentes (Rocha, 2002), sendo caracterizado por um amplo canal anastomosado com extensa planície aluvial e grande acúmulo de sedimento no leito, originando feições como barras e ilhas fluviais (Souza-Filho e Steveaux, 1997). Os habitats aquáticos do sistema rio-planície de inundação apresentam características limnológicas distintas, discrimináveis em função do rio ao qual estão conectados. O Rio Paraná e as lagoas a ele conectadas apresentam água com elevada transparência, altas concentrações de íons totais e baixas concentrações de nutrientes. Os habitats conectados ao Rio Ivinhema apresentam maior turbidez e maior concentração de nutrientes. As lagoas e canais do rio Baía

apresentam baixos valores de Oxigênio dissolvido e pH. O processo de represamento à montante também tem atuado na modificação das características limnológicas do Rio Paraná, resultando em progressiva redução da concentração de fosfatos e no incremento da transparência da água (Nupelia, 2000).

2. Metodologia de Trabalho

Para a caracterização espectral e mapeamento dos principais tipos de água da área de estudo foi utilizada uma imagem TM/Landsat (órbita/ponto 224/76), referente a 20 de julho de 2008, adquirida do Banco de Imagens da DGI/INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). A imagem foi registrada utilizando como referência uma imagem LANDSAT GeoCover.

Com o intuito de permitir a obtenção de perfis de reflectância diretamente da imagem, seus valores de níveis digitais (ND) foram transformados em valores de refletância de superfície. Primeiramente foi feita a transformação dos ND para valores de refletância aparente e, em seguida, através do modelo de transferência radiativa *Second Simulation the Satellite Signal in the Solar Spectrum* (6S) (Vermote et al., 1997), foi feita a correção atmosférica da imagem, obtendo-se valores de refletância de superfície.

Os dados espectrorradiométricos de campo adquiridos em 19 pontos distribuídos ao longo dos Rios Paraná, Baía e Ivinhema (Figura 1) foram utilizados para a simulação da resposta espectral nas bandas TM/LANDSAT através de um processo de reamostragem implementado no programa ENVI. Estes dados foram obtidos no âmbito do projeto CT-Hidro/CNPq "Hidrodinâmica, ritmo climático e zoneamento de áreas alagáveis na planície fluvial do alto Rio Paraná, Centro-Sul do Brasil" e do projeto vinculado ao Programa Nacional de Cooperação Acadêmica - PROCAD/CAPES, intitulado "Desenvolvimento de estudos e métodos para análise das características da água no contexto espaço-temporal", que integra participantes dos Programas de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da UNESP, em Sensoriamento Remoto do INPE e em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria.



Figura 1 – Distribuição espacial dos pontos coletados em campo na Planície do Rio Paraná

Com base na comparação dos perfis radiométricos simulados e dos perfis adquiridos da imagem Reflectância de Superfície (R_{sup}) foi possível identificar semelhanças e estabelecer padrões entre as assinaturas espectrais dos dois diferentes dados. A partir daí, foi feita a seleção dos membros de referência para posterior aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME). Nesse trabalho foram selecionados os membros de referência correspondentes aos componentes Sólidos Suspensos (MR_{ss}) e Clorofila (MR_{chl}), por serem os principais responsáveis pelas diferenças espectrais dos principais corpos d'água presentes na área de estudo. Em seguida foi aplicado o MLME para estimar a proporção de cada componente selecionado, para cada pixel, a partir da resposta espectral nas diversas bandas do TM, gerando as imagens-fração Sólidos Suspensos (f_{ss}) e Clorofila (f_{chl}).

As imagens fração resultantes foram segmentadas pelo método de crescimento de regiões, utilizando limiares de similaridade 15 e de área 10 (valores definidos empiricamente). No processo classificatório as imagens-fração segmentadas foram submetidas a dois algoritmos de classificação: 1) não-supervisionada (ISOSEG), a qual leva em consideração os atributos estatísticos de regiões, dentro de certos limiares de aceitação pré-determinados, para a definição de diferentes temas; 2) classificação supervisionada, com base no algoritmo Bhattacharya, que usa as amostras de treinamento para estimar a função densidade de probabilidade para as classes apontadas e avalia, para cada região, sua distância de Bhattacharya a cada classe candidata. Devido aos objetivos pretendidos e à complexidade da paisagem investigada, para ambas as técnicas foi utilizado um limiar de aceitação igual a 95%.

As classes de informações geradas após os processos classificatórios foram: **SS alto** (água com alta concentração de sólidos suspensos), **SS** (água com presença de sólidos suspensos), **Água clara** (água com baixa concentração de sólidos suspensos e baixa concentração de clorofila) e **Água chl** (água com presença de clorofila). Para a validação dos resultados obtidos nas classificações foram utilizados os perfis radiométricos e os dados limnológicos adquiridos em campo. Os dados de cada ponto de coleta foram analisados e rotulados de acordo com as classes pré-definidas no processo de classificação. Em seguida, a localização dos pontos de coleta foi plotada no mapa resultante e os dados comparados visualmente, permitindo uma análise do desempenho dos classificadores.

3. Resultados e Discussão

O erro médio quadrático obtido no registro a partir da imagem GeoCover foi de 0,91 pixels. Considerando a resolução espacial de 30x30m, o erro em metros foi de, aproximadamente, 27,3 m, considerado aceitável por corresponder a menos de um pixel da imagem.

Após o registro os pontos de coleta de campo foram plotados na imagem para verificar suas localizações. Três amostras de campo foram eliminadas por corresponderem a pequenos canais não distinguíveis na imagem TM/LANDSAT.

Os perfis radiométricos simulados (curva espectral) e os adquiridos da imagem mostram pouca similaridade entre as assinaturas espectrais e uma grande diferença na magnitude dos valores (Figura 2). Porém, foi possível identificar padrões correspondentes às duas principais classes estabelecidas nesse trabalho e, a partir daí, foi possível selecionar pixels representativos dos componentes utilizados no MLME.

A diferença entre os perfis simulados e o perfil obtido da imagem pode ser resultante de incertezas no processo de correção atmosférica e da discrepância entre as áreas mínimas representadas pelo elemento de resolução numa imagem TM e em um espectrorradiômetro de campo, devido às questões relacionadas à mistura espectral.

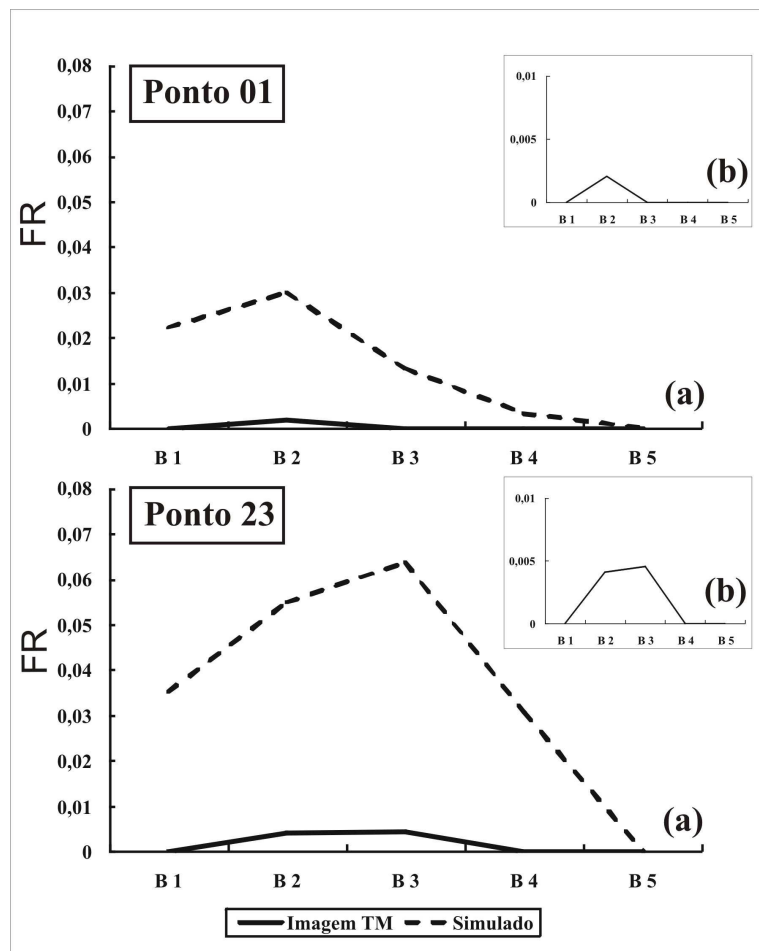


Figura 2 – Diferenças e similaridades entre os perfis radiométricos. a) Perfil adquirido da imagem TM e perfil simulado adquirido em campo. b) Detalhamento do perfil adquirido da imagem TM.

Os pontos 01 e 23 (Figura 2), correspondentes à água com clorofila e água turva de lagoas marginais do rio Ivinhema respectivamente, apresentaram perfis bastante diferentes em termos da magnitude dos valores de refletância e da resposta nas bandas 3 e 4 (vermelho e IV próximo).

O mapa resultante da classificação supervisionada (Figura 3) indica predominância de águas com presença de clorofila no Rio Paraná, porém, grande parte das águas na margem esquerda do rio apresentam sólidos suspensos. Provavelmente esses sólidos suspensos são provenientes da carga sedimentar do rio Paranapanema, que deságua a jusante da represa de Porto Primavera. No Rio Ivinhema há maior ocorrência de águas com sólidos suspensos. Já as lagoas no entorno da planície, apresentam variações entre águas claras e águas com alta quantidade de sólidos em suspensão. Como as amostragens foram realizadas em lagoas que apresentam alguma conexão com os rios, esses ambientes apresentam características similares aos canais os quais estão conectados. As lagoas mapeadas como águas claras, provavelmente foram classificadas erroneamente, pois são lagoas fechadas (não apresentam conexão com os canais) e normalmente apresentam características de alta concentração de sólidos em suspensão e matéria orgânica. Uma vez que esses ambientes não foram amostrados não se pode obter um perfil espectral de referência para aplicação do MLME.

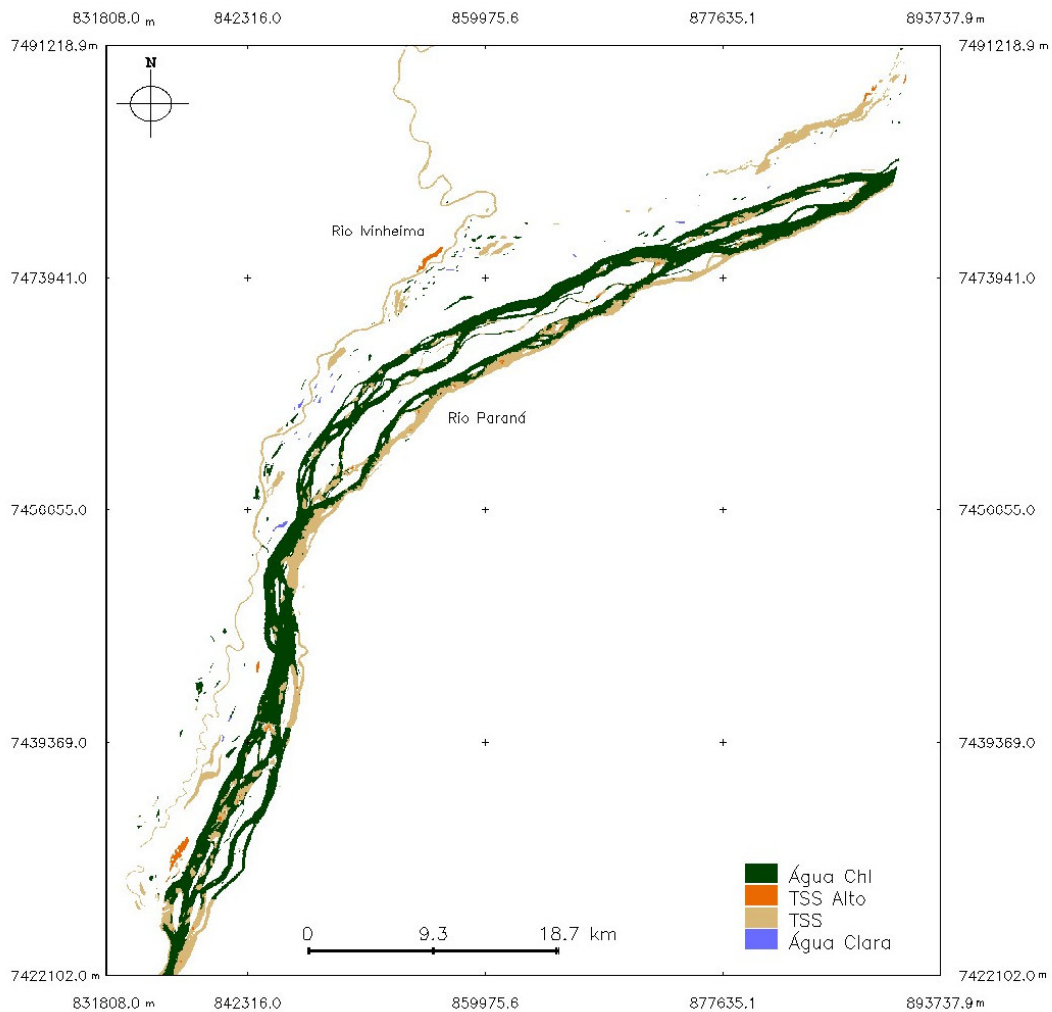


Figura 3. Resultado da classificação supervisionada das águas da Planície do Rio Paraná.

No mapa obtido a partir da classificação não-supervisionada (Figura 4) o Rio Paraná também apresenta predominância de águas com presença de clorofila, porém, poucas regiões apresentam maiores concentrações de sólidos suspensos. Essas áreas de sólidos suspensos podem estar relacionadas com os bancos de areia existentes ao longo do curso do rio Paraná. O Rio Ivinheima e as lagoas da planície apresentam comportamento semelhante ao obtido pelo método supervisionado, entretanto algumas lagoas foram classificadas diferentemente.

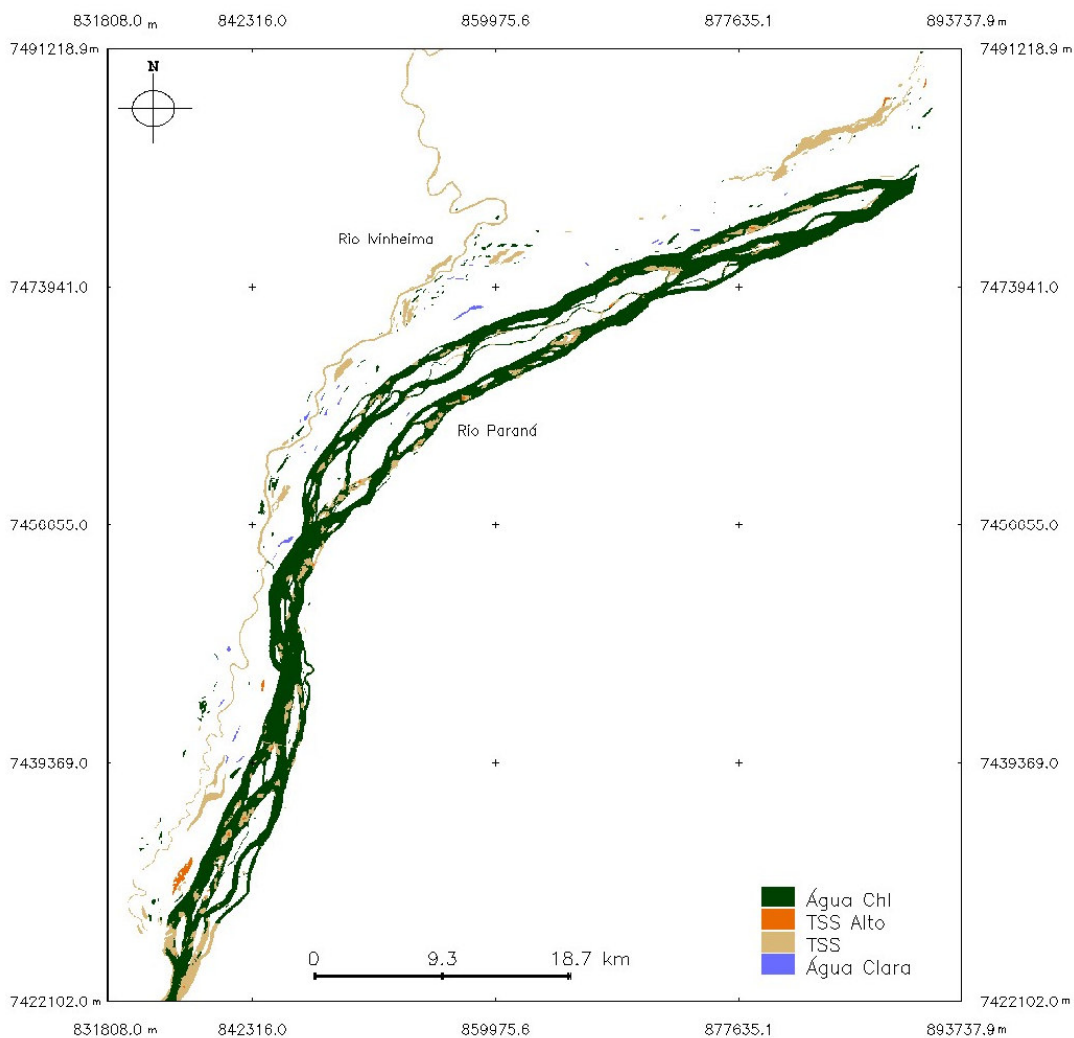


Figura 4. Resultado da classificação não-supervisionada das águas da Planície do Rio Paraná.

Os pontos de coleta rotulados e plotados nos mapas foram utilizados para avaliar o resultado das classificações. Dos dezessete pontos analisados, apenas um foi classificado incorretamente. Já a classificação supervisionada apresentou dois pontos classificados de forma errada. Apesar de esse procedimento ter mostrado boa concordância entre os dados de campo e ambos os mapas, uma análise visual - com base na imagem original e conhecimento de campo - permite-nos verificar que os melhores resultados foram alcançados a partir da classificação não-supervisionada. O melhor desempenho do classificador não-supervisionado pode ser devido a menor subjetividade em relação ao método supervisionado, que requer maior conhecimento da área de estudo por parte do intérprete para a seleção de amostras representativas de cada classe.

4. Conclusões

Embora o sensor TM/LANDSAT possua limitações tecnológicas para estudos relacionados a caracterização espectral de corpos d'água, a imagem adquirida permitiu identificar e mapear os principais tipos de águas presentes na área de estudo, com o auxílio de dados limnológicos e radiométricos de campo. Porém, são necessárias técnicas adequadas de processamento que permitam uma melhor extração das informações contidas nas imagens.

Nesse sentido a aplicação do MLME demonstrou-se eficiente na estimação de alguns dos principais componentes opticamente ativos da água. A seleção dos membros de referência, no entanto, é de grande importância na qualidade das imagens-fração resultantes.

Ambos os classificadores permitiram a identificação das classes pré-estabelecidas no trabalho. Os melhores resultados, no entanto, foram obtidos a partir do método não-supervisionado por ser este menos subjetivo e requerer menor conhecimento da área de estudo.

5. Referências Bibliográficas

Comunello, E.. **Dinâmica de Inundação de Áreas Sazonalmente Alagáveis na Planície Aluvial do Alto Rio Paraná**. 2001. 47p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Estadual de Maringá/CBS/PEA, Maringá-PR. 2001.

Junk, W. J. Flood tolerance and tree distribution in central Amazonia. In: Holm-Nielsen, L. B.; Nielsen, I. C.; Balslev, H. (Org.) **Tropical Forest Botanical Dynamics. Speciation and Diversity**. London: Academic Press, p.47-64. 1989.

Junk, W.J., Bayley, P.B. & Sparks, R.E. The Flood pulse concept in river-floodplain systems. In: International Large River Symposium, Ottawa. **Proceedings...** Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Science, Canadian Government Publishing Centre/Canada Communication Group, Ottawa, 1989. n.106, p.110-127, 1989.

Kirk, J. T. O. **Light and photosynthesis in aquatic ecosystems**. Cambridge: Cambridge University Press, 509p. 1994.

Kampel, M. e Novo, E. M. L. O sensoriamento remoto da cor da água. In: Souza, R.B. (Org.). **Oceanografia por satélites**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 179-196. 2005

Maritorena, S.; Morel, A.; Gentili, B. Diffuse reflectance of oceanic shallow waters: Influence of water depth and bottom albedo. **Limnol. Oceanogr.**, v.39, p. 1689–1703, 1994.

Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aqüicultura – NUPELIA. A Planície alagável do Rio Paraná: Estrutura e Processos Ambientais. Disponível em: <http://www.peld.uem.br/> 2000. Acesso em: 20.ago.2008.

Rudorf, C.M. **Estudo da composição das águas da planície amazônica por Meio de dados de refletância do sensor HYPERION/EO-1 e de Espectrorradiômetro de campo visando a compreensão da Variação temporal dos seus constituintes opticamente ativos**. 2006, 138p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos – SP, 2006.

Sá, I.B.; Silva-Filho, P.P.; Silva, D.F. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento como ferramenta para o estudo da sedimentação do Rio São Francisco. Anais – In: Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Aracaju. **Anais...** Aracaju, Artigos, 9p. 2004.

Shimabukuro, Y.E. e Smith, J.A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29. n.1, p.16-20. 1991.

Souza-Filho, E. E. e Steveaux, J.C. Geologia e Geomorfologia do Complexo Rio Baía, Curitiba, Ivinheima. In: A.E.M. Vazzoler, A.A. Agostinho e N.S. Hahn (Eds). **A planície de inundação do alto Paraná: Aspectos físicos, biológicos e sócio-econômicos**. Maringá: EDUEM. NUPELIA, p.3–72. 1997.

Thomaz, S. M.; Roberto, M. C. E Bini, L.M. Caracterização limnológica dos ambientes aquáticos e influencia dos níveis fluviométricos. In: A.E.M. Vazzoler, A.A. Agostinho e N.S. Hahn (Eds). **A planície de inundação do alto Paraná: Aspectos físicos, biológicos e sócio-econômicos**. Maringá: EDUEM. NUPELIA, p. 73–102. 1997.

Rocha, P. C. **Dinâmica dos Canais no Sistema Rio-Planície Fluvial do Alto Rio Paraná, nas Proximidades de Porto Rico-PR**, 2002, 171p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais). Universidade Estadual de Maringá – PR.

Vermote, E.F. et al. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An overview. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.35, n.3, p.675–686. 1997.