

Geração de algoritmos para predição de carga em suspensão em corpos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Paraná com uso de imagens Landsat TM5

Otávio Cristiano Montanher¹
Edvard Elias de Souza Filho^{1,2}

¹ Universidade Estadual de Maringá - UEM/GEMA
Av. Colombo, 5790 – Jardim Universitário – CEP 87.020-900 - Maringá – PR
otaviocmontanher@yahoo.com.br¹, edvardmarilia@wnet.com.br²

Abstract. The dynamics of limnological features of water bodies are essential in evaluating these systems, because they represent physicochemical and biological characteristics of a given condition. Remote sensing techniques can provide spatial and temporal data concerning these environmental variables in a shorter time and at a lower cost. This paper aims to make algorithms for suspended sediment load prediction from multi-temporal Landsat TM5 digital data at different sample places. RBF from atmospherically corrected TM digital data were extracted from 19 images at 13 sample places. The relationships found show that although the database include large temporal interval (1985 – 2009) and different sample places, it is possible to define patterns of behavioral characteristics of each large set of active optical components. Two classes of active optical components were defined: predominance of inorganic sediments and chlorophyll together with inorganic sediments. Statistical tests were realized for elaboration of mathematical models to enable the prediction of total suspended sediment in Landsat 5 path without field samples. Nevertheless these relationships will be useful only in similar limnological conditions of inorganic sediments and trophic state. In Paraná River basin, these algorithms may allow the retrieval of a large amount of limnological data on rivers, reservoirs and floodplains from previous years.

Palavras-chave: remote sensing, water quality monitoring, 6S atmospheric correction, suspended sediments, sensoriamento remoto, monitoramento da qualidade da água, correção atmosférica 6S, sedimentos em suspensão.

1. Introdução

O reconhecimento da dinâmica dos sistemas fluviais possui grande relevância em diversos âmbitos da sociedade, como nos fatores econômicos e recreativos, um papel importante em relação ao funcionamento de ecossistemas vinculados e à dinâmica de funcionamento do ambiente físico. A dinâmica espaço-temporal das características limnológicas é fundamental na interpretação destes ambientes. A pesquisa e análise destes fenômenos são, portanto, imprescindíveis para profissionais desta área de estudo, porém, a amostragem de dados *in situ* é morosa e cara, o que dificulta o acesso aos dados (Ritchie *et al.* 1990). Observando-se a intensa dinâmica dos corpos fluviais, contínua no tempo, não é plausível que poucas amostras e coletas de campo pontuais no tempo e no espaço gerem modelos e interpretações próximas da realidade. Neste ponto, frisa-se o papel da aquisição de dados a partir de sensores remotamente situados. O caráter de baixo custo, acesso espacialmente ilimitado e a multitemporalidade da aquisição de dados do sensoriamento remoto o perfazem como potencial ferramenta em ciências ambientais (Jensen, 2009), e pontualmente à este trabalho, em pesquisas de corpos fluviais.

O estudo dos corpos aquáticos não dispõe de um grande número de aplicativos devido às dificuldades apresentadas pela água. Apenas uma pequena parte da radiação medida pelo sensor contém informações sobre os componentes limnológicos, considerando diversos efeitos de espalhamento e absorção da atmosfera, da própria coluna d'água e do material de leito. O princípio de determinação das características dos objetos reside no fato de que objetos com diferentes composições apresentam diferentes assinaturas espectrais. Assim, as imagens multiespectrais permitem a distinção dos diferentes objetos de acordo com sua resposta espectral (Novo, 1988). Porém, os diferentes componentes opticamente ativos presentes na água possuem distintas respostas espectrais, e normalmente estão misturados em sua forma de

ocorrência. Neste ponto existe a diferenciação entre águas oceânicas (caso 1) com variações basicamente em componentes como a clorofila e as águas interiores de alta complexidade do caso 2 (Dekker e Bukata, 1999). Isto dificulta ainda mais as pesquisas em corpos aquáticos a partir do sensoriamento remoto, sendo necessária uma alta resolução espectral para maior detalhamento das características limnológicas de determinado corpo d'água. Porém, dados hiperespectrais normalmente possuem resolução espacial que não permite o monitoramento de grande parte de corpos fluviais, não possuem registro de informação de décadas anteriores e/ou são onerosos para trabalhos multitemporais, onde são necessárias grandes quantidades de imagens, com poucas exceções, como o trabalho de Martinez *et al.* (2009). Desta forma, os produtos do satélite Landsat 5, sensor TM (*Thematic Mapper*) são importantes fontes de dados em pesquisas de corpos d'água, apesar de possuir baixa resolução espectral, e não direcionada para qualidade da água. Este sensor apresenta ampla cobertura temporal (1984 – atual), resolução espacial de 30 metros, que permite trabalhar em corpos fluviais a partir de 100 metros de largura, e seus produtos são disponibilizados gratuitamente pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), a partir do site: www.dgi.inpe.br.

Assim, este trabalho visa a elaboração de algoritmos que possibilitem o resgate de informações acerca da carga em suspensão transportada por corpos fluviais, a partir de dados do sensor supracitado, base de dados de carga suspensa da SUDERHSA (Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) e análises estatísticas de regressão. A existência de aplicativos que apresentem boa resposta para o transporte de sedimentos em suspensão a partir do sensor TM, com a possibilidade de resgate de informações pretéritas, é de grande aplicabilidade em um país que possui um conjunto de rede de drenagem tão vasta como é a brasileira, vista sua importância em geração de energia, navegabilidade em alguns trechos e em relação a estudos de ecossistemas.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Base empírica de dados

Os dados de carga suspensa requisitados à SUDERHSA possuem identificação da estação, data de coleta, coordenadas geográficas, valores de carga em suspensão total e características de fluxo, como cota e vazão. A base de dados refere-se a coletas realizadas em rios do Estado do Paraná (Figura 1):

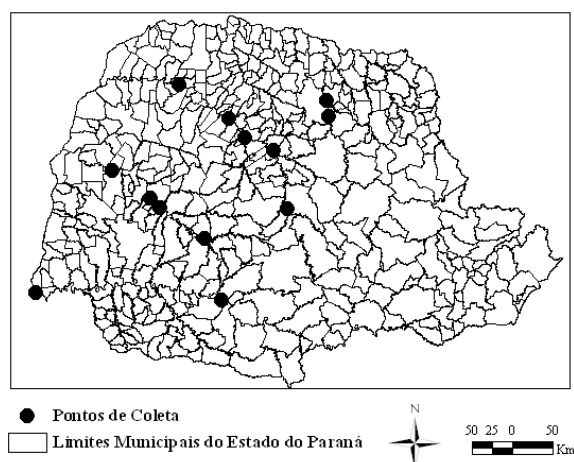


Figura 1. Localização dos pontos de coleta.

Como o sensor TM possui 30 metros de resolução espacial, não foi possível utilizar as coletas em todos os rios, foram aproveitados apenas trechos de rios que possuíssem

aproximadamente mais do que 100 metros de largura, para que as coletas não registrassem informação das margens dos canais fluviais. Os valores de FRB (fator de reflectância bidirecional) de superfície foram coletados em recortes de áreas dos corpos fluviais com o mínimo possível de interferências do leito e das margens. Estes recortes recobriram áreas entre 180000 e 270000 metros quadrados, que equivalem respectivamente entre 200 e 300 pixels de informação do sensor TM, valores considerados suficientes para representação das condições reais. A definição do valor de FRB de cada banda foi realizada a partir do valor modal das coletas descritas acima. Não foram considerados os valores médios, porque considera-se que podem existir fatores que podem alterar os valores de reflectância do corpo aquático que não estão ligados às variações limnológicas, como diferentes ângulos de visada impostos pela irregularidade da superfície, provocados pelo vento, ou as imperfeições radiométricas do sensor TM5.

Os dados da SUDERHSA não são temporalmente contínuos, a coleta é feita de forma aleatória no tempo, de forma que isto reduz as datas que são concomitantes com passagens TM, porém, o serviço exaustivo e cansativo foi realizado para identificar cada data de coleta com a data de passagem TM em sua respectiva órbita/ponto. Foi identificado que as datas/órbita/ponto de: (05/06/85 - 222/77), (07/07/1985 - 222/77), (08/09/88 - 223/76), (20/09/1989 - 222/76), (28/07/1990 - 223/077), (17/07/1991 - 221/77), (14/04/1992 - 221/77), (06/08/1996 - 222/77), (14/09/1996 - 223/077), (24/07/1997 - 222/77), (02/05/1999 - 223/077), (17/09/1997 - 223/76), (25/06/1998 - 222/76), (30/09/1999 - 224/078), (27/04/2000 - 222/76), (25/09/2000 - 223/76), (19/08/2003 - 221/078), (07/03/2008 - 223/077) e (02/09/2009 - 223/077) possuem tanto dados de coletas *in situ* (SUDERHSA) como imageamentos do satélite LANDSAT 5.

As bandas utilizadas nas análises de regressão foram: 1, 2, 3 e 4, pois abrangem o intervalo espectral mais adequado ao estudo da qualidade da água em corpos aquáticos, na faixa de 400 a 800 nm (Dekker, 1993). A energia incidente interage com os componentes opticamente ativos presentes na água, que absorvem determinada quantidade de radiação, refletindo energia em seletivos comprimentos de onda eletromagnéticos, perfazendo assim a utilidade dos comprimentos de onda azul, verde, vermelho e infravermelho próximo para estudos em corpos d'água. As bandas 5 e 7 do sensor TM abrangem intervalos espectrais do infravermelho médio, que por causa da forte absorção de energia pela coluna d'água, não fornecem informações sobre os constituintes limnológicos dos corpos aquáticos.

2.2 Processamento das Imagens

Uma imagem orbital apresenta não apenas os valores de radiância emitidos pelos objetos terrestres, mas também condições atmosféricas e possíveis falhas radiométricas do sensor. Estes problemas devem ser corrigidos ou amenizados antes de se realizar pesquisas quantitativas com imagens orbitais. Primeiramente os dados em ND foram convertidos em valores de FRB, conforme a metodologia proposta por Markhan e Barker (1986).

Como os dados obtidos através da base especificada são espacialmente diversificados, não abrangem apenas uma órbita ponto, o que impossibilita a técnica usualmente utilizada em estudos de comparação de dados radiométricos multitemporais, que consiste na correção atmosférica de uma imagem base, e as outras imagens são normalizadas em relação a esta (Hall *et al.* 1991). A solução proposta foi a correção atmosférica individual de cada imagem, que aumenta consideravelmente o esforço humano empregado, mas possibilita uma comparação entre dados radiométricos variáveis no tempo e no espaço, e vem sendo apontada em alguns casos como uma opção de correção em dados multitemporais que mais aproximasse da realidade de campo (Pereira *et al.* 2007), principalmente para o alvo específico deste estudo, a água, que normalmente no processo de normalização é apontado como objeto

invariante (Ponzoni e Santos, 2008). Seria contraditório adotar uma técnica que indicaria que a água é um objeto invariante em duas ou mais imagens, se o objetivo do estudo é analisar a variação dos componentes opticamente ativos deste alvo.

Para eliminação ou amenização dos efeitos atmosféricos das imagens, foi adotado o modelo de transferência radiativa *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum* (6S) (Vermote *et al.* 1997). Este modelo foi adotado por possibilitar a correção dos efeitos de espalhamento e absorção que os diferentes constituintes atmosféricos possuem, e não apenas os efeitos de espalhamento, como o método de subtração do objeto escuro (Chávez, 1988), utilizado em estudos anteriores de qualidade de água em base de dados multitemporais (Wang *et al.* 2009).

Foi utilizado o aplicativo RODA, versão adaptada do modelo 6S por Mauro Antônio Homem Antunes para correção de imagens em formato *.RAW*. Foram adotados como condições iniciais o modelo de aerossóis “continental” e a atmosfera “tropical”, já o parâmetro “visibilidade” variou entre 30 e 55 km, estabelecido a partir de uma avaliação qualitativa das bandas eletromagnéticas que compreendem a faixa do visível, em especial a banda 1, que é mais susceptível às variações das concentrações de aerossóis. Porém, sabe-se que os valores adotados para este parâmetro podem possuir uma margem de erro considerável, mas esta limitação é inerente ao método, considerando que a tentativa de recuperação de dados de décadas anteriores não permite a aquisição de dados atmosféricos em campo. Todos os processos foram realizados em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) e foi utilizado o software SPRING 5.1 (Câmara *et al.* 1996).

3. Resultados e Discussão

A partir do comportamento espectral dos pontos coletados nas imagens, levantamento bibliográfico sobre o comportamento dos componentes opticamente ativos e avaliação visual baseada na tonalidade e intensidade das cores das águas, o comportamento espectral dos dados foram agrupados em duas classes distintas: Predominância de sedimentos inorgânicos em suspensão, e mistura entre sedimentos inorgânicos e clorofila.

1 – Predominância de sedimentos inorgânicos em suspensão: A banda 3 (região espectral do vermelho) é sensível à variação de carga suspensa inorgânica, e quando não existem outros componentes opticamente ativos em grande quantidade, os valores de FRB aumentam da banda 1 para a 3 e diminuem para a banda 4 (Figura 2), conforme também encontrou Wang *et al.* (2009) em trabalho realizado com o sensor ETM+. Isto ocorre pelo aumento da refletância do comprimento de onda azul para o vermelho e proeminente diminuição no infravermelho próximo (Lodhi *et al.* 1997). Nesta classe, duas curvas de regressão foram realizadas, uma aplicada em baixas concentrações de até 50 mg/l aproximadamente, e outra para concentrações de mais de 100 mg/l (Figura 3).

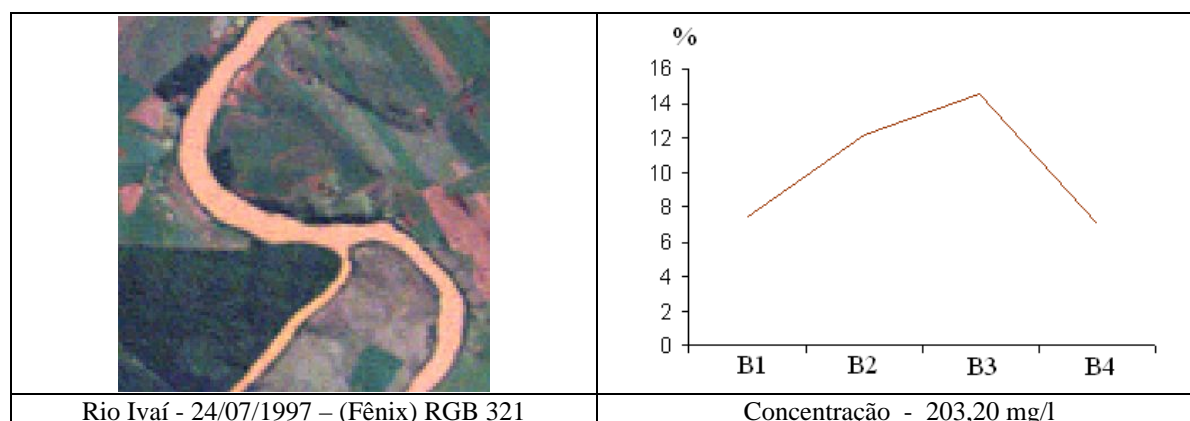


Figura 2 – Classe 1 (Inorgânicos) - Ponto de coleta de carga suspensa e dos dados radiométricos (à esquerda) e o respectivo comportamento espectral (à direita).

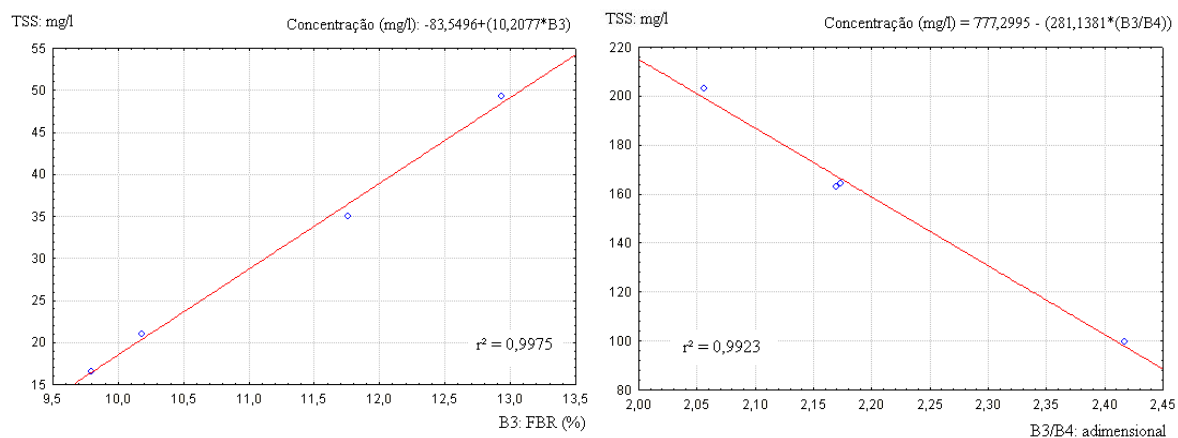


Figura 3: Relação entre o FRB da banda 3 e concentrações de sedimentos até 50 mg/l (à esquerda). Relação entre a razão B3/B4 e concentrações acima de 100 mg/l (à direita).

Analisando-se os dados obtidos por Lodhi *et al.* (1997), observa-se que o aumento da concentração de sedimentos em suspensão promove um aumento nas regiões do vermelho e infravermelho próximo. Porém, esta relação não é linear, conforme aumentam os valores de concentração, há uma maior resposta para baixas concentrações, enquanto que para altas concentrações a resposta tende a saturar-se (Curran e Novo, 1988). Por este motivo foram adotadas duas retas distintas de ajuste. Para concentrações maiores do que 100 mg/l, observou-se que a relação entre a reflectância na banda 3 e a concentração de sedimentos em suspensão não manteve-se, sendo necessário realizar a razão entre as bandas, pois com a tendência à saturação da resposta na região do vermelho, e continuidade da resposta no infravermelho próximo, a razão entre estas duas bandas ofereceu um ajuste adequado.

2 - O pico de refletância encontrado na banda 2 em algumas amostras pode ser explicado pela presença de clorofila que causa absorção nos comprimentos de onda azul (banda 1) e vermelho (banda 3), mas possui um máximo de reflectância no verde (banda 2), mais especificamente em 550 nm (Gitelson, 1992), conforme apresentado na Figura 4. Porém, as águas interiores podem possuir uma complexa mistura de componentes opticamente ativos (Dekker e Bukata, 1999) e 14 amostras apresentaram variações nas respostas das bandas 2 e 3, conforme variam as proporções dos componentes inorgânicos e do fitoplâncton. Desta forma, a razão das bandas 2, 3 e 4 apresentou um bom ajuste para estas amostras (Figura 5).

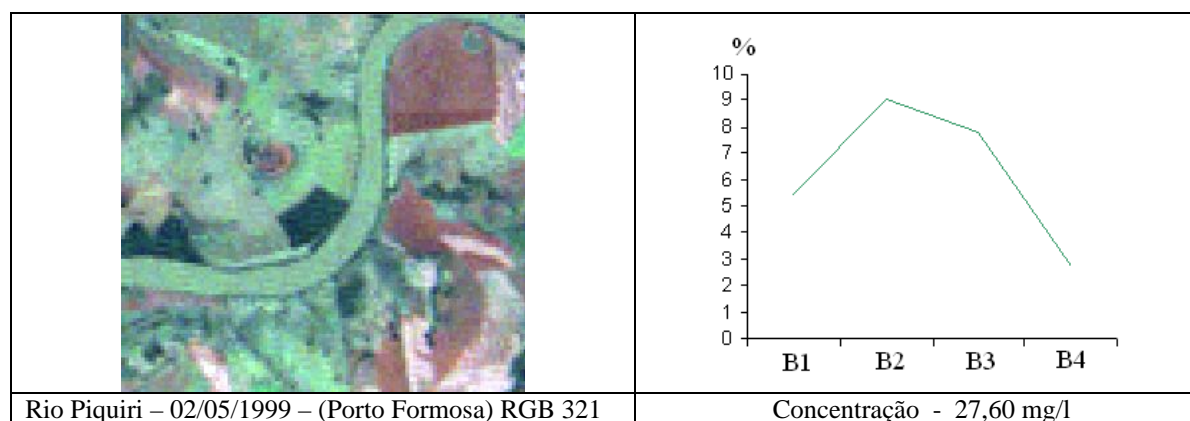


Figura 4 - Classe 2 (Clorofila) - Ponto de coleta de carga suspensa e dos dados radiométricos (à esquerda) e o respectivo comportamento espectral (à direita).

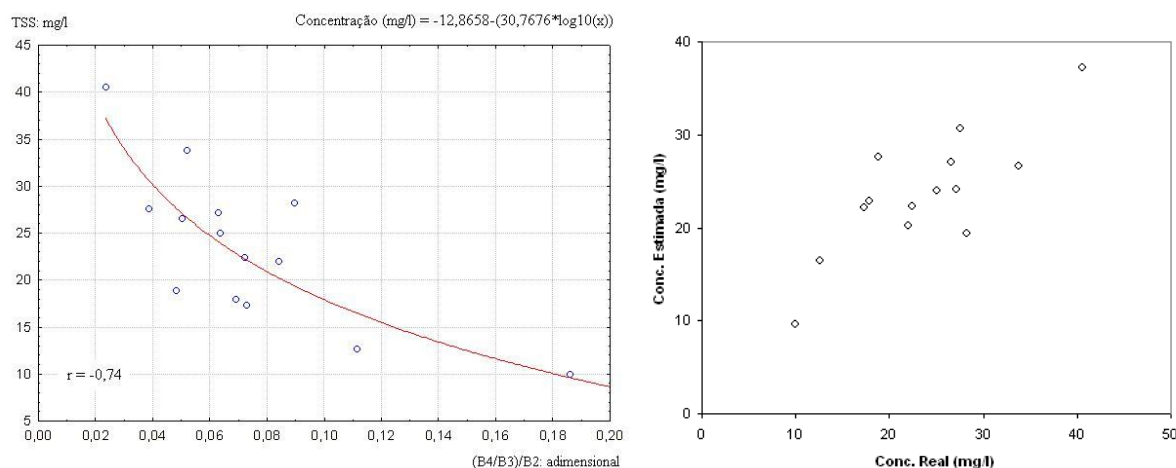


Figura 5. Ajuste entre a razão das bandas 2, 3 e 4 e os valores de carga suspensa total (à esquerda), e a dispersão entre os valores reais e estimados (à direita).

Os modelos linear e logarítmico foram testados para este conjunto de dados. O modelo linear apresentou um erro médio para os valores estimados de 4,16 mg/l, já o modelo logarítmico apresentou um erro médio de 3,66 mg/l, para mais ou menos.

Para aplicação dos modelos apresentados, inicialmente deve ser feita uma avaliação qualitativa do comportamento espectral do corpo aquático a ser estudado. Uma diferenciação inicial entre as classes 1 e 2 pode ser observada na Figura 6, a partir da relação entre as bandas 2 e 3 do sensor TM.

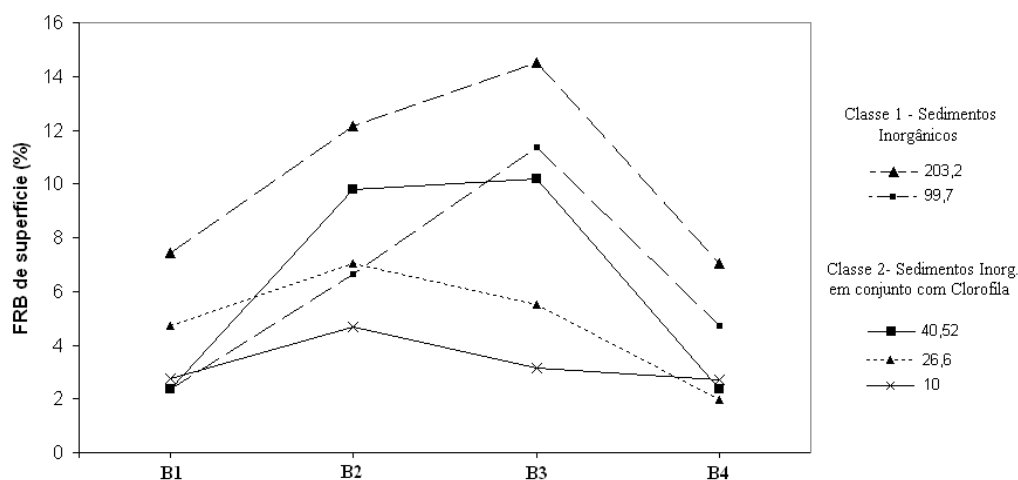


Figura 6. Diferenciação entre as classes 1 e 2 a partir do comportamento espectral da amostra.

Uma clara diferenciação da aplicação das duas equações apresentadas para a classe 1: concentrações até 50 mg/l, ou concentrações até 200 mg/l, não foi encontrada até o presente momento. Para predição da carga em suspensão da classe 1, é necessária uma reunião de evidências, a partir do conhecimento da dinâmica hidrossedimentar do sistema específico, em conjunto com os valores de FRB. De maneira geral, os valores de FRB para as bandas 2, 3 e 4 aumentam conforme crescem os valores de sedimentos inorgânicos em suspensão (Curran e Novo, 1988; Lodhi *et al.* 1997). Contudo, não foram observadas formas de diferenciação para aplicação das equações, sendo necessária uma análise qualitativa para aplicação destes modelos, até que resultados de novos testes em curso possibilitem esta diferenciação.

4. Conclusões

Diferenciações entre tipos de clorofila, ácidos húmicos ou fúlvicos, ou entre classes de sedimento (silte e argila) suspensos na água, não são possíveis a partir da resolução espectral do sensor TM, porém, observou-se que características marcantes dos principais componentes opticamente ativos são identificáveis.

Apesar de que os algoritmos desenvolvidos neste trabalho possuem grandes limitações, devendo ser testados com maiores conjuntos de dados, foram baseados sobre uma grande variação temporal (19 imagens) e a partir de 13 diferentes pontos de coleta, com diversas condições atmosféricas, radiométricas e limnológicas. Tal amplitude espaço-temporal de dados pode ser comparada com diversos trabalhos anteriores: Lavery et al. (1993) que utilizaram 4 imagens, Wang *et al.* (2009) que utilizaram 5 imagens, Ritchie *et al.*, (1990), utilizando 6 imagens, ou ainda com as relações encontradas por Ritchie *et al.*, (1987) a partir de 14 imagens, porém no mesmo corpo hídrico (Moon Lake, no estado do Mississippi/Estados Unidos) por exemplo. Segundo Ritchie e Schiebe (2000), muitos algoritmos tem sido desenvolvidos especificamente para uma data e local específicos, e não são utilizados para estimar sedimentos em suspensão em outras condições espaços-temporais. Os algoritmos desenvolvidos neste trabalho já foram testados em caráter experimental em Montanher e Souza Filho (2010), alcançando bons resultados na estimação da carga em suspensão para a planície do Rio Paraná em eventos de cheia anteriormente (1985) e posteriormente (2007) ao barramento da UHE de Porto Primavera.

A partir do estabelecimento de relações matemáticas entre dados radiométricos TM5 e parâmetros limnológicos, a aquisição de informações sobre condições limnológicas de corpos aquáticos, via dados orbitais TM5, é então uma alternativa para obtenção de dados em datas que não possuem coletas *in situ*. Isto abre um imenso leque de possibilidades em estudos de evolução e dinâmica de parâmetros limnológicos em cursos fluviais. Porém, considerando-se as limitações do sensor TM5 e destas curvas de regressão, estas relações estatísticas podem ser empregadas com baixas margens de erro apenas nos sistemas fluviais que estejam em condições tróficas, ou que tenham características mineralógicas dos sedimentos inorgânicos semelhantes às condições encontradas nas imagens utilizadas neste trabalho. Isto pode limitar a utilização destas relações à uma parcela do território brasileiro, porém, grandes rios da bacia hidrográfica do Rio Paraná, dentre as grandes bacias brasileiras a mais intensamente utilizada para produção de energia, uso do solo agrícola, e também com grandes áreas urbanizadas, podem ser melhor estudados a partir destas equações.

Agradecimentos

À Flávio Jorge Ponzoni (INPE) pelos esclarecimentos sobre as técnicas de correção atmosférica e radiometria de dados TM e ao eng. civil Edson Sakae Nagashima (SUDERHSA) pelo atendimento e disponibilização da base de dados.

Referências Bibliográficas

- Camara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M.; Garrido, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- Chavez, P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 459-479, 1988.
- Curran, P.J.; Novo, E.M.L.M. The relationship between suspended sediment concentration and remotely sensed spectral radiance: a review. **Journal of Coastal Research**, v. 4, n. 3, p. 351-368, 1988.
- Dekker, A.G. Detection of optical water quality parameters for eutrophic waters by high resolution remote sensing. 1993. PhD teses, Free University, Amsterdam, 1993.

Dekker, A.G. e Bukata, R.P. Remote Sensing of Inland and Coastal Waters. In: STONE W. R. (Editor). **Review of Radio Science 1996 – 1999**. Wiley-IEEE, 1999, p. 519 – 534.

Gitelson, A.A. The Peak Near 700 nm on Radiance Spectra of Algae and Water: Relationships of its Magnitude and Position with Chlorophyll Concentration. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 13, n. 17, pag. 3367 – 3373, 1992.

Hall, F.G.; Strebel, D.E.; Nickeson, J.E.; Goetz, S.J. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multitemporal, multisensor images. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, n. 1, p. 11-27, 1991.

Jensen, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

Lavery, P.; Pattiaratchi, C.; Wyllie, A.; Hick, P. Water Quality Monitoring in Estuarine Waters Using the Landsat Thematic Mapper. **Remote Sensing of Environment**, v. 46, n.3, p. 268-280, 1993.

Lodhi, M.A.; Rundquist, D.C.; Han, L.; Kuzila, M.S. The Potential for Remote Sensing of Loess Soils Suspended in Surface Waters. **Journal of the American Water Resources Association**. v. 33, n. 1, p. 111 – 117, 1997.

Markham, B.L. e Barker, J.L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperature. EOSAT Landsat Technical Notes, No.1, august, 8p., 1986.

Martinez, J.M.; Guyot, J.L.; Filizola, N.; Sondag, F. Increase in suspended sediment discharge of the Amazon River assessed by monitoring network and satellite data. **Catena**, v. 79, n. 3, p. 257-264, 2009.

Montanher, O.C.; Souza Filho, E.E. Avaliação da Alteração da Concentração de Sedimentos em Suspensão em Eventos de Cheia do Rio Paraná: O Uso de Imagens Orbitais para Avaliação de Impactos Provocados pela Barragem de Porto Primavera. **Revista de Geografia**. Edição especial do VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia, n. 2, p. 164-176, 2010.

Novo, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher. 1988. 308 p.

Pereira, G.; Oliveira, L.G.L.; Ponzoni, F.J.; Adami, M.; Moraes, E.C.; Arcoverde, G.F.B. (2007). Comparação temporal de medidas radiométricas: uma abordagem metodológica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 6375-6381. CD-ROM, On-line. Disponível em <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.17.23.25>> Acesso em: 05 jul. 2010.

Ponzoni, F.J.; Santos, S.B. Conversão de Números Digitais de Imagens Orbitais em Valores de FRB de Superfície. **Bol. Ciênc. Geod.**, v. 14, n. 4, p.541-556, 2008.

Ritchie, J.C.; Cooper, C.M.; Yongqing, J. Using Landsat Multispectral Scanner Data to Estimate Suspended Sediments in Moon Lake, Mississippi. **Remote Sensing of Environment**. v. 23, n.1, p. 65-81, 1987.

Ritchie, J.C.; Cooper, C.M.; Schiebe, F.R. The relationship of MSS and TM digital data with suspended sediments, chlorophyll, and temperature in moon lake, Mississippi. **Remote Sensing of Environment**, v.33, n. 2, p.137-148, 1990.

Ritchie, J.C.; Schiebe, F.R. Water Quality, pp. 291-294. In: G.A. Schultz and E.T. Engman (eds.), **Remote Sensing in Hydrology and Water Management**, Springer, Berlin, 2000.

Wang, J.J.; Lu, X.X.; Liew, S.C.; Zhou, Y. Retrieval of suspended sediment concentrations in large turbid rivers using Landsat ETM+: an example from the Yangtze River, China. **Earth Surface Processes and Landforms**. v. 34, n. 8, p. 1082 – 1092, 2009.

Vermote, E.F; Tanre, D.; Deuze, J.L.; Herman, M.; Morcrette, J.J. Second Simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. **IEEE Trans. Geosc. And Remote Sens**, v. 35, n. 3, p. 675-686, 1997.