

Um estudo da distribuição espacial de pigmentos totais na planície de inundação do Alto Rio Paraná a partir de imagens multiespectrais

Monique Sacardo Ferreira¹
Maria de Lourdes Bueno Trindade Galo¹
Luiz Henrique da Silva Rotta¹
Renata Ribeiro de Araújo¹
Nilton Nobuhiro Imai¹
Tiago Matsuo Samizava¹

¹ Universidade Estadual Paulista - UNESP/FCT
Rua Roberto Simonsen, 305 - 19060-900 - Presidente Prudente - SP, Brasil
mosacardo@hotmail.com, {mlourdes, rribeiro, nnimai}@fct.unesp.br, {luizhrotta, tiagosamizava}@yahoo.com.br

Abstract. This work intended to correlate measurements of total pigments concentration in the Upper Paraná River floodplain with Remote Sensing data, so as to infer the spatial distribution of this limnological variable in the study area. To estimate total pigments concentration was made a field survey between July 19th and 22th, 2008, nearest possible of the take of multispectral images TM/Landsat and CCD/Cbers 2B, which were processed to posterior correlation with total pigments data. The TM/Landsat scene was georeferenced and radiometrically corrected (atmosphere correction and radiometric calibration), while the CCD/Cbers 2B image was only georeferenced. At the points where was made the water sampling, the pixels attribute values were extracted on the images and these data were submitted to correlation analysis with the limnological variable in question. The spectral interval of red - visible (band 3) had the highest correlation coefficient with total pigments, as TM/Landsat data ($r=0.832$) as CCD/Cbers 2B ($r=0.825$). These correlated data were submitted to regression analysis and prediction models of total pigments concentration were generated. The consistency of models was evaluated based in statistical tests and applied to images for the inference of the spatial distribution of total pigments in the study area. The high correlation obtained and the performance in the statistical tests show two sensor systems data have potential in total pigments inference.

Palavras-chave: remote sensing, water quality, regression models, sensoriamento remoto, qualidade da água, modelos de regressão.

1. Introdução

Os grandes sistemas fluviais de planície de inundação comportam um complexo sistema de lagos conectados ou não ao canal principal e sustentam grande biodiversidade de espécies animais e vegetais (SAMIZAVA et al., 2008). Esses ambientes apresentam uma considerável variabilidade quanto às suas características limnológicas, a qual está associada ao grau de conexão com os rios, à área, profundidade, e, principalmente, ao regime hidrológico do canal principal. Assim, de acordo com Rocha (2003), a identificação de padrões espaciais e temporais de variação de variáveis limnológicas representa um importante passo para explicar a estrutura e o funcionamento dos sistemas rios - planícies de inundação.

Segundo Wetzel (1975 apud Cestari et al., 1996), os parâmetros indicadores de qualidade de água de um sistema aquático podem ser estimados através de análises qualitativas e quantitativas de determinados componentes como o fitoplâncton, material particulado, material orgânico dissolvido e nutrientes. Em especial, a produtividade primária fitoplanctônica, tem recebido atenção nos estudos limnológicos, uma vez que representa uma das maiores entradas de matéria orgânica e de energia potencial responsável pelo funcionamento do sistema.

O termo fitoplâncton designa um grupo heterogêneo de organismos aquáticos, composto principalmente por algas fotossintetizantes, que se distribui por grande parte dos ambientes marinhos e aquáticos continentais do mundo. Nesses ambientes, constitui-se o principal responsável pela captação da energia eletromagnética e sua transformação em energia

química, através do processo de fotossíntese, desempenhando importante função no sistema. As moléculas que captam e transformam a energia são chamadas de pigmentos fotossintetizantes (ARRAUT et al., 2005).

A clorofila é um dos principais pigmentos fotossintetizantes de organismos vivos, juntamente com os carotenóides e ficobilinas. Especificamente, a clorofila *a* tem sido o foco de vários estudos de Sensoriamento Remoto aplicado à qualidade da água (DEKKER, 1993; BARBOSA, 2005; entre outros), porém, devido exatamente à alta sensibilidade à luz desse pigmento fotossintetizante, pode ocorrer o processo de feofitinação (transformação da clorofila *a* em feofitina *a*) no processo de estimativa da concentração de clorofila.

A feofitina *a* é um produto da degradação da clorofila *a*, que pode interferir grandemente nas medidas desse pigmento, por absorver luz na mesma região do espectro que a clorofila *a* (CETESB, 2008). Desse modo, a soma dos teores de clorofila *a* e feofitina *a*, denominado pigmentos totais, constitui-se de uma medida indireta da concentração de clorofila *a* e conseqüentemente de biomassa fitoplanctônica.

Nesse contexto, visando disseminar a adoção da variável pigmentos totais como um indicador do estado trófico da água e contribuir com o conhecimento do comportamento espectral dessa variável usando Sensoriamento Remoto, este trabalho tem o objetivo de apresentar a caracterização espacial da concentração de pigmentos totais na área de estudos, por meio de inferências realizadas com o uso de imagens multiespectrais TM/Landsat e CCD/Cbers 2B, como um modo de avaliar o potencial dos sistemas sensores na identificação desse componente opticamente ativo.

2. Procedimento metodológico

2.1. A área de estudos

A planície de inundação do Alto Rio Paraná constitui-se num extenso sistema inundável, considerando a presença do rio Paraná, da planície fluvial, que inclui os rios Baía, baixo Ivinheima e canal Curutuba, além de inúmeras lagoas perenes e temporárias.

Como afirmam Comunello et al. (2003), a planície de inundação do Alto Rio Paraná possui uma elevada complexidade paisagística, expressa por uma grande diversidade de ecossistemas (canais, lagoas, baixios, etc.) que podem ser agrupados em três grandes sistemas hidrológicos, controlados pelos rios Baía, Ivinhema e Paraná, os quais apresentam significativas diferenças entre si no que diz respeito aos seus constituintes físico-químicos e bióticos.

2.2. Campanha de campo

Na missão de campo ocorrida entre os dias 19 e 22 de julho de 2008, foram realizadas observações em 29 elementos amostrais previamente definidos por Samizava et al. (2008). Além do posicionamento de cada elemento amostral, utilizando um receptor GPS Garmin 76, foram medidas as seguintes variáveis limnológicas: oxigênio dissolvido (OD), pH, condutividade elétrica, profundidade do disco de Secchi, turbidez e temperatura da água. Também foi feita a coleta de água em volume suficiente para estimativa da concentração de pigmentos totais em cada elemento amostral, iniciada em campo com a filtragem da água e posterior análise laboratorial

2.3. Estimativa da concentração de pigmentos totais

Para a obtenção da concentração de pigmentos totais foi empregada a metodologia proposta por Golterman (1978), a qual consiste na extração de pigmentos totais com acetona 90%, o que foi feito para cada elemento amostral. A Figura 1 apresenta a sistematização da metodologia utilizada.



Figura 1 - Procedimento para obtenção da concentração de pigmentos totais, segundo Golterman (1978).

Nesse sentido, a concentração de pigmentos totais (PT) é expressa pela razão entre a diferença nas absorvâncias em 663 e 750nm (U'), considerando o volume centrifugado (V_a), e o produto do coeficiente de absorção da feofitina pelo volume filtrado.

2.4. Tratamento das imagens multiespectrais TM/Landsat e CCD/Cbers 2B

As imagens TM/Landsat e CCD/Cbers 2B da área de estudos foram tomadas em 20/07/2008 e 15/07/2008, respectivamente, e ambas foram obtidas gratuitamente do *website* do INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

A cena TM foi submetida à calibração radiométrica e correção atmosférica, utilizando o aplicativo SCORADIS (Zullo Jr., 1994), o qual necessita da entrada de parâmetros da cena e do sistema sensor, bem como de parâmetros atmosféricos do local, que foram extraídos de produtos MODIS/Terra, especificamente MOD_04 (espessura óptica da atmosfera) e MOD_07 (vapor d'água e perfil de ozônio).

O georreferenciamento da imagem TM/Landsat foi feito no *software* Spring 5.0, utilizando uma imagem Landsat GeoCover como referência e usando 20 pontos de controle. O resíduo obtido, inferior a 0.8 pixel, foi considerado adequado, de modo que as coordenadas dos pontos de coleta puderam ser definidas na imagem e, com isso, realizada a leitura da reflectância de superfície nas bandas espectrais 1, 2, 3 e 4 do sensor TM. Esse último processamento foi efetuado no *software* ENVI e, para estimar um fator de reflectância representativo para cada elemento amostral, adotou-se a média dos valores lidos em uma janela de 3x3 pixels, centrada na coordenada do ponto.

Pelo fato de não se dispor de parâmetros para a calibração radiométrica da imagem CCD/Cbers 2B, foi feito apenas o seu georreferenciamento no Spring 5.0, utilizando também a cena GeoCover Landsat como referência. Com a utilização de 15 pontos de controle obteve-se um resíduo de 0.49 pixels. Após o georreferenciamento as imagens foram importadas no ENVI e realizada a leitura do nível de cinza registrado na posição de cada elemento amostral, nesse caso considerando a média dos níveis de cinza de uma janela de 3x3 pixels, atribuída ao elemento central, para cada uma das 4 bandas espectrais CCD/Cbers 2B.

2.5. Geração, validação e aplicação do modelo de regressão.

Um pressuposto básico para a análise de regressão é a normalidade do conjunto de dados referentes à variável resposta (y). Assim, aplicou-se o teste de normalidade Anderson-Darling para a variável pigmentos totais e os dados que não apresentaram comportamento de uma distribuição normal (o p valor < 0.05 , implicando na rejeição da hipótese H_0 de normalidade da amostra) foram submetidos a uma análise para remoção de *outliers*, buscando atingir a normalidade.

Em seguida foi feita uma análise de correlação para identificar a banda espectral com a qual a variável pigmentos totais apresentou-se mais fortemente relacionada. As variáveis que apresentaram o maior coeficiente de correlação foram submetidas a uma análise de regressão, na qual a banda espectral foi considerada a variável independente e a variável limnológica foi considerada variável resposta. Obteve-se, assim, uma função matemática representando o comportamento destes dados, assim como um coeficiente de determinação (R^2) que expressa

o quanto o modelo consegue ajustar os dados. Finalmente, foram realizados testes estatísticos nos resíduos do modelo gerado e uma análise de variância, com o intuito de verificar a consistência do modelo.

Para validar a função de regressão foram excluídos aleatoriamente pontos utilizados na estimativa e gerados modelos parciais denominados “modelos de validação”. Aplicou-se a equação dos modelos de validação aos pontos excluídos na geração dos mesmos, verificando-se a compatibilidade entre o valor calculado pelo modelo e o valor real, obtido na análise laboratorial da água e se esse último encontrava-se no intervalo de predição do modelo. A geração dos modelos de validação foi repetida até que cada um dos elementos amostrais utilizados na geração do modelo com a amostra completa fossem excluídos e estimados pelos modelos de validação parciais. Dessa forma, foi avaliada a adequação de cada um dos modelos de validação.

Visando constatar que a adequação dos modelos de validação poderia ser estendida para o modelo original foram apuradas as semelhanças entre este e os modelos utilizados para sua validação, analisando se os valores dos coeficientes β_0 e β_1 de cada modelo utilizado para validação foram contemplados no intervalo de confiança dos coeficientes β_0 e β_1 do modelo original.

Estes procedimentos foram realizados para as cenas TM/Landsat e CCD/Cbers 2B separadamente, utilizando o *software* Minitab.

Após a verificação da validade dos modelos gerados, estes foram aplicados à banda espectral 3 dos sistemas sensores TM e CCD, a qual foi considerada a variável preditora em ambos os modelos. A partir da aplicação dos respectivos modelos foram geradas, então, as imagens indicando a concentração de pigmentos totais na área de estudos. Foi realizado um fatiamento na imagem, o que possibilitou a elaboração das cartas temáticas representando intervalos de concentração de pigmentos totais na planície de inundação do Alto Rio Paraná.

3. Resultados e discussões

Para a análise de regressão entre pigmentos totais (“y”) e valores registrados nas bandas de cada um dos sistemas sensores (“x”), após a remoção de *outliers*, foi verificada a normalidade dos dados “y” e identificadas as correlações significativas com as bandas espectrais do TM/Landsat (valores de reflectância de superfície) e CCD/Cbers 2B (valores de brilho digitais), utilizando 17 e 15 elementos amostrais, respectivamente. Os valores obtidos nas análises de correlação são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Correlação entre pigmentos totais e as bandas do TM/Landsat e CCD/Cbers 2B.

	Landsat 5 – reflectância de superfície (n=17)				Cbers 2B - valores de brilho digitais (n=15)			
	TM1	TM2	TM3	TM4	CCD1	CCD2	CCD3	CCD4
Pigmentos totais	-0.265	0.707	0.832	0.795	-0.173	0.206	0.825	-0.139

Pode-se perceber que, para os dois sensores, a maior correlação foi verificada entre a banda espectral referente ao comprimento de onda da luz vermelha (TM-3 e CCD-3). Desse modo, esses conjuntos de dados foram submetidos a uma análise de regressão, cujas equações resultantes, parâmetros e estatísticas associadas estão indicados na Tabela 2.

Tabela 2 - Análise de regressão TM3 x Pigmentos totais e CCD3 x Pigmentos totais.

Sensor	TM/Landsat 5	CCD/Cbers 2B
Equação	$PT = -4.067 + 139.35 \cdot TM3$	$PT = -12.634 + 0.5446 \cdot CCD3$
P valor (β_0)	0.0016	0.002
P valor (β_1)	0.000	0.000
R²	69.3%	68.1%
F	33.85	27.2
DW	1.82444	1.61472

A Tabela 2 mostra que os coeficientes β_0 e β_1 definiram um bom ajuste para os modelos, uma vez que os *p valores* foram inferiores a 0.05, ou seja, em 95% dos casos eles serão bons estimadores. Os coeficientes de determinação (R^2) foram altos, indicando que os modelos de regressão explicam 69.3% e 68.1% dos dados para o TM/Landsat e CCD/Cbers 2B, respectivamente. Quanto à análise de variância, os valores encontrados para F foram maiores que os respectivos valores tabelados F_t ($F_{0.05,1,15}=4.54$ e $F_{0.05,1,13}=4.67$). Na análise de resíduos, os valores do teste de Durbin Watson (DW) obtidos para os dois modelos foram maiores que o d_u tabelado para cada caso, o qual indica que os resíduos não são autocorrelacionados, possibilitando a aprovação do modelo em relação a esse teste.

Conforme exposto anteriormente, a primeira etapa na validação dos modelos considerou a geração dos “modelos de validação” parciais com a exclusão aleatória de alguns elementos amostrais. No caso da validação do modelo usando a banda espectral TM-3 do satélite Landsat foram utilizados 17 elementos amostrais, o que possibilitou a geração de 6 modelos de validação, excluindo 3 elementos amostrais por vez, enquanto que para o modelo gerado a partir da banda CCD-3, foram realizadas 5 simulações excluindo-se 3 elementos cada vez. Os valores medidos (reais) de pigmentos totais para todos os elementos amostrais estão incluídos nos intervalos de predição dos modelos gerados (Tabela 3) e, essa constatação, aliada aos bons resultados obtidos nas análises de variância e de resíduos dos 6 modelos de validação do TM/Landsat e os 5 modelos de validação gerados para o CCD/Cbers 2B, levaram à aceitação dos modelos produzidos com as amostras completas.

Tabela 3 - Coeficientes dos modelos de validação parciais e intervalos de confiança modelo original relacionando banda 3 x Pigmentos Totais.

		Limite inferior do $IC_{original}$	Limite superior do $IC_{original}$	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
Landsat 5	β_0	-7.27629	-0.85771	-3.441	-4.635	-4.759	-3.341	-4.249	-3.838
	β_1	88.31255	190.3875	122.77	145.86	155.4	133.24	141.77	133.44
CBERS 2B	β_0	-19.6065	-5.66152	-10.918	-14.583	-13.104	-11.640	-12.833	---
	β_1	0.321256	0.767944	0.4802	0.6103	0.5634	0.5166	0.54929	---

Como se verifica na Tabela 3, os coeficientes β_0 e β_1 dos modelos utilizados para validação pertencem ao intervalo de confiança dos coeficientes estimados para os modelos originais, de modo que os modelos de regressão utilizando a banda 3 do sensores TM/Landsat e CCD/Cbers 2B foram considerados validados como preditores da variável pigmentos totais na planície de inundação do Alto Rio Paraná.

A aplicação dos modelos de regressão anteriores às imagens das bandas 3 correspondentes possibilitou representar a distribuição espacial da concentração de pigmentos totais e a elaboração dos mapas temáticos mostrados nas Figuras 2 e 3. A Figura 2 é o resultado da aplicação do modelo de regressão gerado a partir de dados pontuais de fator de reflectância de superfície obtidos na banda 3 do TM/Landsat e a Figura 3 resulta a aplicação do modelo em que se empregou os níveis de cinza registrados na banda 3 do CCD.

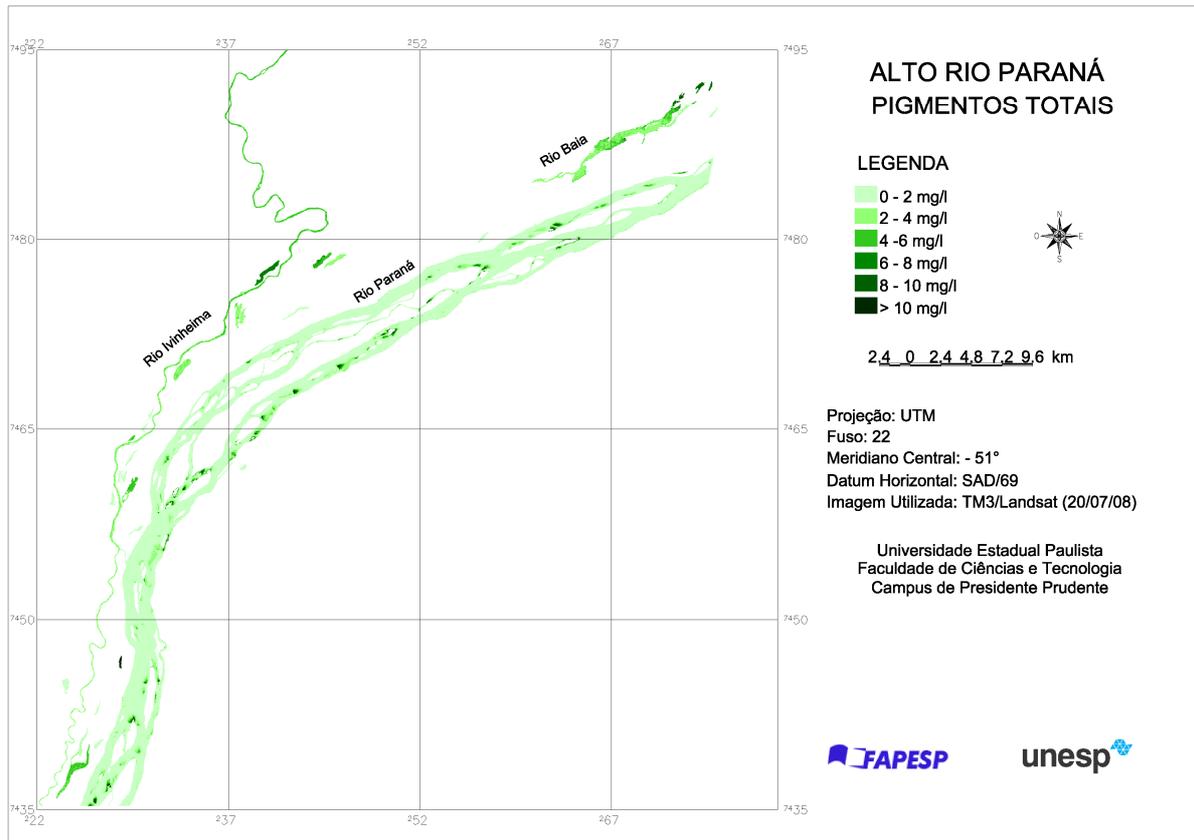


Figura 2 - Distribuição espacial de pigmentos totais inferida a partir de imagem TM/Landsat.

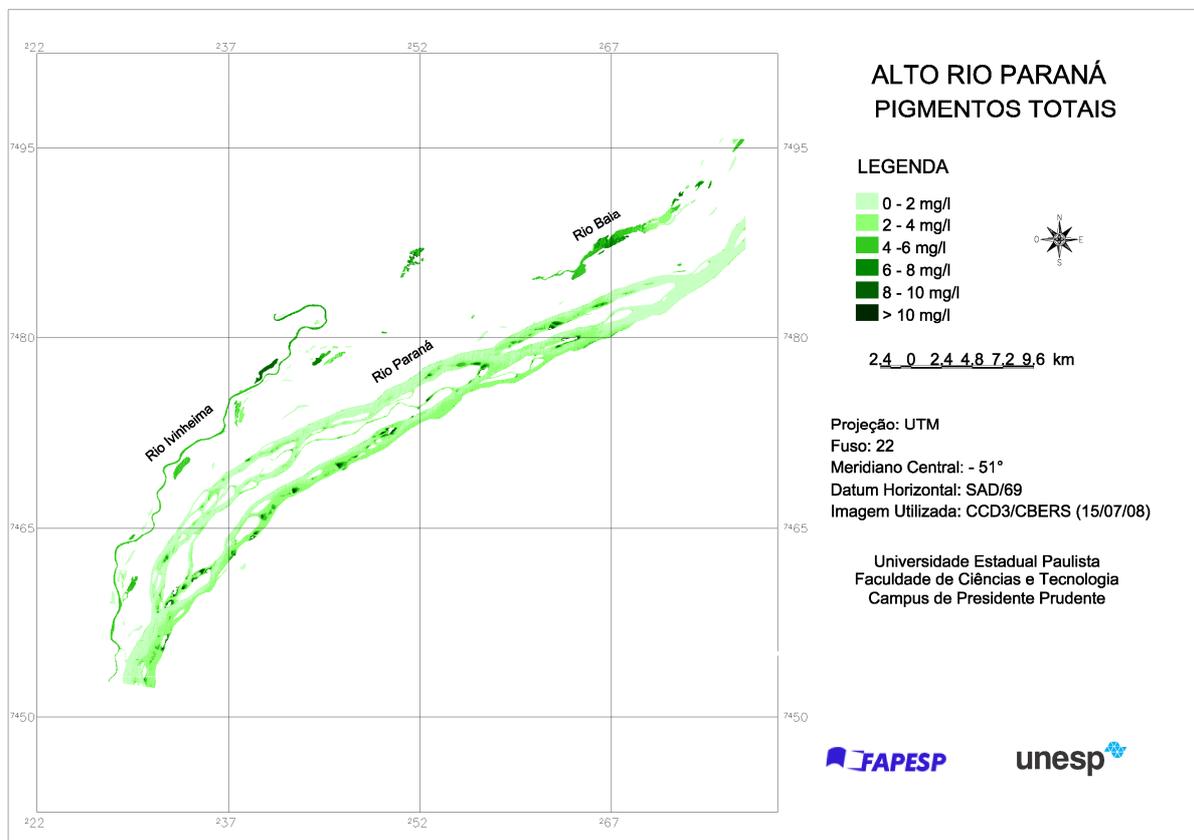


Figura 3 - Distribuição espacial de pigmentos totais inferida a partir de imagem CCD/CBERS 2B.

Percebe-se nas duas representações que as menores concentrações e variabilidade de pigmentos totais (medida indireta de clorofila *a*) ocorreram ao longo do rio Paraná, algo que também foi constatado por Rocha e Thomaz (2004), os quais registraram valores homogêneos e menores de clorofila *a* no rio Paraná.

De modo geral, as maiores concentrações de pigmentos totais estão nos rios Ivinheima e Baía e nas lagoas conectadas a esses ambientes. Nas representações geradas para os dois tipos de imagem o ambiente com valor máximo na concentração de pigmentos totais foi a lagoa Finado Raimundo, conectada ao rio Ivinheima.

Apesar de haver certa coerência entre as representações geradas pelos dois sistemas sensores, verifica-se que com a utilização da imagem CCD/Cbers 2B os ambientes foram enquadrados em classes temáticas de concentração de pigmentos totais superiores às classes encontradas para a imagem TM/Landsat. Como exemplo cita-se o rio Paraná que para imagem CCD/Cbers 2B apresentou concentrações de “0 a 2 mg/l” e “2 a 4 mg/l”, enquanto que na cena TM/Landsat foi enquadrado quase totalmente no intervalo “0 a 2 mg/l”.

Várias causas podem estar associadas à essa discrepância: a defasagem temporal entre a coleta da água para análise laboratorial (19 a 22/07/2008) e a data de tomada das imagens e entre as próprias imagens TM/Landsat (20/07/2008) e CCD/Cbers (15/07/2008); o fato dos dados TM terem sido submetidos à correção atmosférica e calibração radiométrica, o que não foi possível para as imagens CCD; entre outros. Deve-se ressaltar, porém, que o fato de se ter trabalhado com os números digitais brutos extraídos da cena CCD/Cbers, não comprometeu a alta correlação obtidas na banda 3, mesmo que tenha sido baixa para as demais bandas (Tabela 1).

4. Considerações finais

Embora necessária, a correção radiométrica da cena, envolvendo tanto parâmetros de calibração do sensor como a correção atmosférica, não foi possível de ser aplicada à imagem CCD/Cbers 2B, devido principalmente à ausência de um algoritmo de correção atmosférica específico e de parâmetros de calibração do sensor. Sabe-se, a princípio que esse procedimento é imprescindível para a adequada utilização dos dados para geração de modelos empíricos, porém, mesmo a utilização dos valores de brilho brutos extraídos da cena CCD/Cbers 2B forneceu bons resultados na inferência, comprovados pelos testes estatísticos na geração do modelo de regressão e na similaridade, em termos de variações observadas, entre os mapas temáticos gerados a partir de dados dos dois sistemas sensores.

O método empregado para o ajuste e validação dos modelos mostrou-se eficiente na inferência da variável limnológica na área de estudo em questão. Como sugestão para estudos posteriores, recomenda-se a aplicação dos modelos gerados em outras datas confrontando os valores gerados pelo modelo e valores adquiridos em campo, desde que esta verificação seja feita no período de águas baixas, para o qual os modelos do presente estudo foram desenvolvidos. Recomenda-se também que, além de conhecer a distribuição espacial de pigmentos totais, sejam realizados estudos no sentido de conhecer ou inferir a distribuição sazonal de tais componentes.

Enfim, verificou-se a possibilidade de desenvolver um modelo de inferência para estimar a concentração de pigmentos totais por meio de dados de Sensoriamento Remoto de média resolução espectral, neste caso tomados por dois sensores diferentes: TM/Landsat e CCD/Cbers 2B.

5. Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela concessão de bolsa de iniciação científica. À equipe do convênio PROCAD/CAPES e ao Prof. Dr. Paulo César Rocha pelo auxílio na execução da campanha de campo e à Profa. Dra. Maria de Lourdes

Corradi Custódio da Silva, responsável pelo Laboratório de Bioquímica de Carboidratos da UNESP/FCT, por disponibilizar equipamentos utilizados na estimativa da concentração de pigmentos totais. À Profa. Dra. Vilma Mayumi Tachibana pelas instruções quanto ao método de validação do modelo de regressão.

6. Referências bibliográficas

ARRAUT, E. M. et al. Estudo do comportamento espectral da clorofila e dos sólidos em suspensão nas águas do lago grande de Curuai (Pará), na época da seca, através de técnicas de espectroscopia de campo. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 2447-2456. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: < <http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.18.18.48/doc/2447.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2008.

BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto da dinâmica da circulação da água do sistema planície de Curuai/rio Amazonas**. 2005. 258p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.

CESTARI, A. C.; KRUG, T.; NOVO, E. M. L. M. Modelo empírico para a estimativa de concentração da clorofila na zona eufótica em função da concentração de clorofila na superfície. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 8, 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. Artigos, p. 93-98. CD-ROM, Online. ISBN 85-17-00014-5. Disponível em: < <http://marte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/01.28.09.11/doc/T75.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2008.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Água: Rios e Reservatórios, variáveis de qualidade da água**. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp>>. Acesso em 07 de outubro de 2008.

COMUNELLO, E. et al. Dinâmica de inundação de áreas sazonalmente alagáveis na planície aluvial do alto rio Paraná: estudo preliminar. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2003. Artigos, p. 2459 – 2466. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00017-X. Disponível em: < http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.14.17.20/doc/18_208.pdf >. Acesso em: 01 jun. 2008.

DEKKER, A. G. **Detection of optical water quality parameters for eutrophic waters by high resolution remote sensing**. 1993. PhD theses, Free University, Amsterdam. 1993.

GOLTERMAN, H. L. et al. **Methods for Physical and Chemical Analysis of Fresh Waters**. Oxford: Blackwell Scientific, 1978.

ROCHA, R.R. de A. **Limnologia comparativa e preditiva de rios e lagoas da planície de inundação do alto rio Paraná (PR/MS – Brasil)**. 2003. 86 p. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2003.

ROCHA, R. R. A.; THOMAZ, S. M. Variação temporal de fatores limnológicos em ambientes da planície de inundação do alto rio Paraná (PR/MS – Brasil). **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, Maringá, v 26, n 3, p. 261-271, 2004.

SAMIZAVA, T. M. et al. Proposta de delineamento amostral para levantamento de medidas de variáveis limnológicas e de dados espectrorradiométricos em planície de inundação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, II, 2008, Recife. **Anais...**

ZULLO JR., J. **Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações**. 1994. 204p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1994.