

Influência de reservatórios em cascata nos dados de reflectância e de limnologia - Reservatórios de Passo Real e Dona Francisca, Rio Jacuí – RS

Waterloo Pereira Filho¹
Rosana Corazza¹
Flávio Wachholz²
Aline Biasoli Trentin¹
Gisieli Kramer¹
Cláudio Clemente Faria Barbosa³

¹Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Centro de Ciências Naturais e Exatas - CCNE / Departamento de Geociências
Prédio 17 - CEP 97105-970 - Santa Maria - RS, Brasil
waterloopf@gmail.com; {corazza_ro, abtrentin, gisaufsm@yahoo.com.br}

²Universidade Estadual Paulista – UNESP
Campus Rio Claro, Programa de Pós-Graduação em Geografia
Av. 24A, Bairro Bela Vista, Rio Claro, SP, 13506-900, Brasil
fwalemao@gmail.com

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
claudio@dpi.inpe.br

Abstract: The modification of a river for a series of reservoirs provides important alterations in the aquatic environment. Among innumerable alterations, the ones related to the water reflectance (such as the color and transparency) are outstood. In this perspective, this work had the objective of identifying the influence of the construction of reservoirs in cascades on the water reflectance in the Jacuí River – RS. Data of transparency (Secchi disc), solid totals in suspension, electric conductivity, pH and of reflectance of the water were collected in September - 2008 in the Passo Real and Dona Francisca reservoirs. Reflectance was identified with the use of the FieldSpec equipment for the spectral interval from 400 to 900nm. The results indicated that the all the variable of the water reveal to be different between the two reservoirs at 90% of confidence. In what competes to the first reservoir (Passo Real) the spectral characteristics of the water showed greater albedo of reflectance in the band of the red in relation to the other reservoir (Dona Francisca). Other characteristics are: a) The shift of the reflectance peak; in the Passo Real reservoir the peak was in greater wave length; b) In the Dona Francisca reservoir appeared absorption chlorophyll typical band in 675 nm; c) Continuum removal showed a significant correlation to TSS in 740 nm. The construction of reservoirs in series in the Jacuí River produced significant differences in all of the variables of the water and its reflectance.

Palavras-chave: remote sensing, limnological variables, spectral signature, descriptive statistics, sensoriamento remoto, variáveis limnológicas, assinatura espectral, estatística descritiva.

1. Introdução

A preocupação com os sistemas aquáticos vem se tornando emergente. Dentro deste contexto, sistemas como os reservatórios, formados pela interceptação de rios através da construção de barragens, necessitam de estudos aprofundados buscando a compreensão das implicações da mudança da dinâmica de um ambiente aquático de lótico para lântico. Os reservatórios são construídos com as mais diversas finalidades, como a produção de energia elétrica, captação de água para o abastecimento, ou para usos múltiplos da água.

Muitos reservatórios construídos em rios seguem a configuração de cascata, o que significa que dois ou mais reservatórios encontram-se distribuídos ao longo do curso d'água. A construção de reservatórios em seqüência implica em uma interrupção da natureza da água com comportamento típico de rio. Todavia, os impactos da modificação de um rio para uma

série de reservatórios têm produzido alterações no sistema aquático que ainda não são completamente conhecidas. As mudanças na velocidade, perfil de temperatura e perfil de oxigênio da água são somente alguns efeitos imediatos que a alteração de um sistema lótico para lêntico produz no ambiente aquático. Outros efeitos, que envolvem os componentes opticamente ativos são viáveis de serem avaliados com recursos de sensoriamento remoto.

Neste sentido, este trabalho teve o objetivo de identificar os principais impactos que a construção de uma série de reservatórios proporciona em relação aos dados de reflectância (componentes opticamente ativos) e de limnologia nos reservatórios das Usinas Hidrelétricas de Passo Real e Dona Francisca. Estas represas localizam-se no alto curso do Rio Jacuí – Rio Grande do Sul - conforme mostra a Figura 1. Destaca-se que o reservatório de Passo Real encontra-se à montante do de Dona Francisca, conforme pode ser verificado na Figura 2, com dois reservatórios entre eles, o de Jacuí e Itaúba.

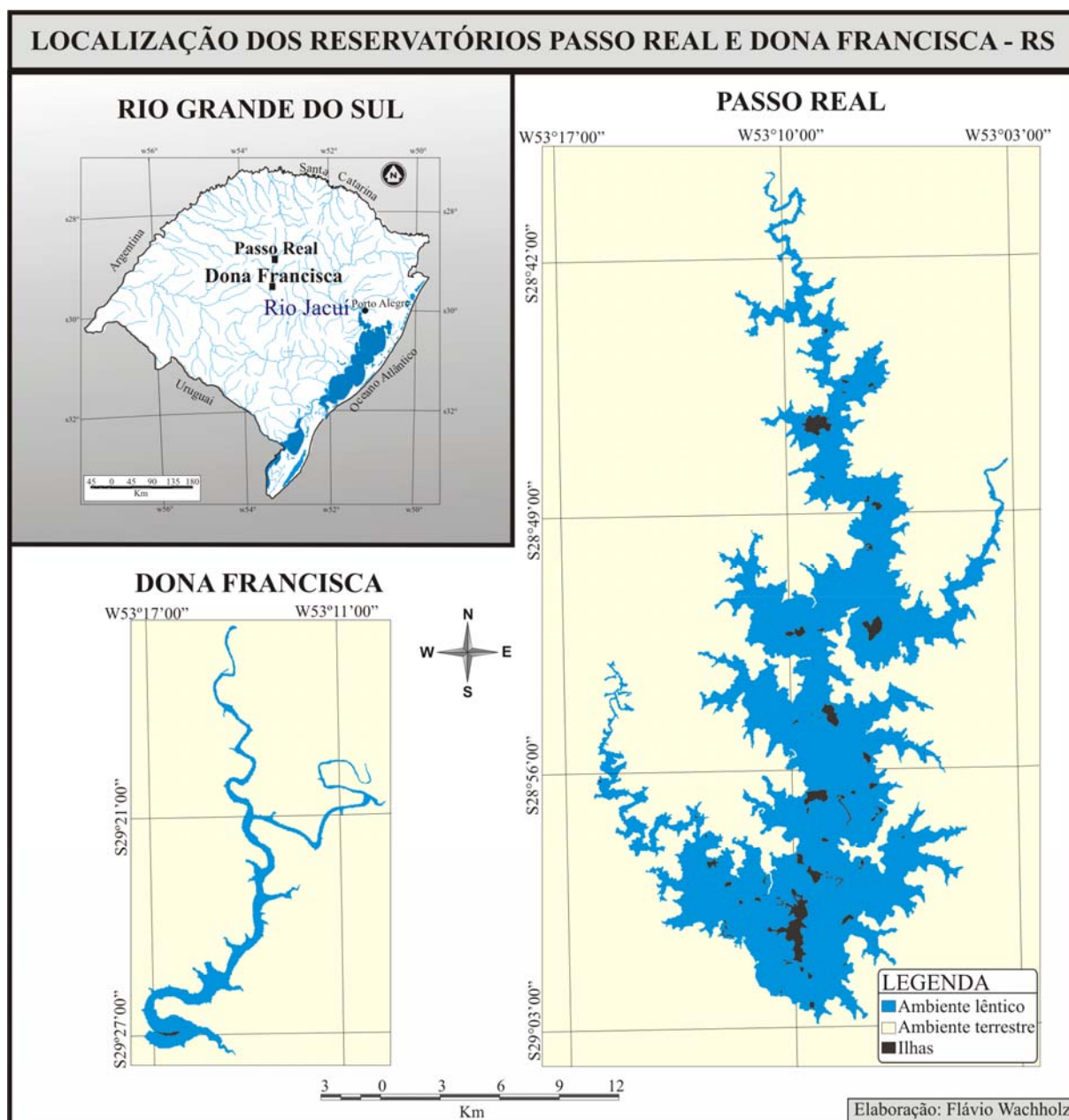


Figura 1 – Mapa de localização das represas.

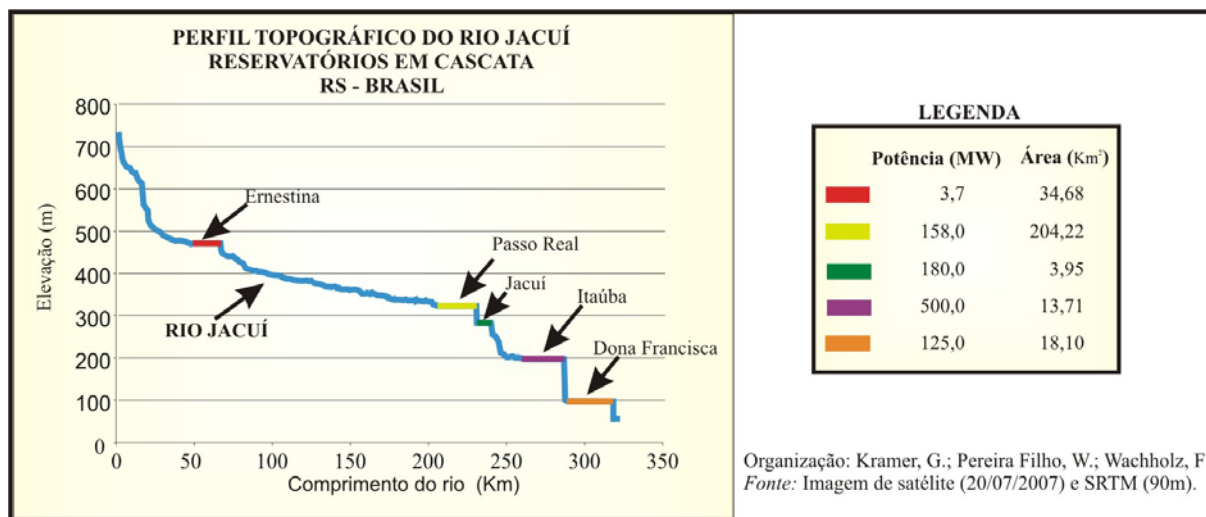


Figura 2 – Represas construídas no Rio Jacuí - RS.

2. Metodologia

O trabalho de campo para a coleta dos espectros de reflectância, dados limnológicos *in situ* e das amostras de água, foi realizado nos dias 3 e 4 de setembro de 2008. Foram utilizados 21 pontos amostrais definidos *a priori* em Dona Francisca e 8 em Passo Real. A localização geográfica foi identificada com aparelho de sistema de posicionamento global (*Global Positioning System* - GPS GARMIN Etrex – 60CSX).

As variáveis limnológicas verificadas em campo e em laboratório a partir da análise da água coletada em cada estação foram: potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), profundidade do disco de Secchi (DS), total de sólidos em suspensão (TSS), sólidos orgânicos em suspensão (SOS), sólidos inorgânicos em suspensão (SIS) e clorofila-a (Chl-a).

Para a verificação dos valores de pH e OD diretamente nos pontos de coleta utilizou-se o equipamento multi-sensor Horiba U-10 e para a CE foi empregado o condutivímetro Orion. A profundidade do disco de Secchi foi obtida com o aparelho de mesmo nome. As análises do TSS em laboratório foram identificadas com o uso de filtros de celulose (0,45µm) e de fibra de vidro. A determinação dos SOS e SIS foi realizada pelo processo de calcinação (em filtro de fibra de vidro) e a Chl-a conforme a metodologia descrita em Nush (1980).

Os dados de reflectância foram adquiridos simultaneamente aos parâmetros limnológicos, aproximadamente entre as 10 e 15 horas, buscando aproveitar os horários indicados para este tipo de coleta, levando-se em consideração a geometria de iluminação e visada do sensor durante as aquisições. Utilizou-se o espectrorradiômetro portátil de campo *FieldSpec® HandHeld* que produziu dados na faixa de 400 a 900nm (visível e infravermelho próximo) do espectro eletromagnético, com um campo de visada de 25°. O espectrorradiômetro foi posicionado com um ângulo de 45° de inclinação em relação à vertical e a uma altura de aproximadamente 60cm acima do nível da água. Para a calibração do sensor foi utilizada uma placa de referência de sulfato de bário, com reflectância próxima a 100% (superfície quase lambertiana). Os procedimentos de campo seguiram as metodologias apresentadas em Milton (1987) e Steffen et al. (1996).

Observações adicionais sobre o ponto de coleta e seu entorno também foram coletadas (coordenadas, horário, temperatura da água e do ar, cor da água, direção e intensidade do vento, cobertura de nuvens, rugosidade da superfície). Estas informações são de fundamental importância quando da interpretação dos dados limnológicos e, principalmente, dos dados espectrais, pois podem conferir mudanças nos espectros que não se devem unicamente aos

componentes opticamente ativos da água. O efeito do tempo pode alterar os dados de reflectância (Pereira Filho et al. 2005).

No que tange à análise estatística dos dados limnológicos utilizou-se o Teste-t de Student para gerar a comparação entre as médias das variáveis limnológicas (TSS-celulose, DS, pH, OD e CE) dos dois reservatórios. O Teste-t foi empregado visto que este se destina a comparação de duas amostras presumindo variâncias diferentes. O intervalo de confiança adotado para a análise estatística foi de 90%.

Em relação à identificação dos componentes opticamente ativos da água dos reservatórios procedeu-se com a análise descritiva/qualitativa dos espectros, além da aplicação da técnica de remoção do contínuo buscando identificar feições de absorção. A partir dos espectros de reflectância foi determinada a profundidade das bandas medidas com a remoção do contínuo para identificar correlações com o TSS e DS.

3. Resultados

A análise dos dados estatísticos de tendência central (média) e dispersão (variância) para os reservatórios Passo Real e Dona Francisca, contidos na Tabela 1, mostram que as variáveis limnológicas desses reservatórios não apresentam semelhanças. Este resultado também foi confirmado pelo Teste-t considerando duas amostras com variâncias diferentes e presumindo um intervalo de confiança estatística de 90%. Ou seja, as suas médias são consideradas diferentes.

Tabela 1: Média e variância dos dados limnológicos dos reservatórios Passo Real (PR) e Dona Francisca (DF).

Variáveis Limnológicas	Média		Variância		Amostras	
	DF	PR	DF	PR	DF	PR
TSS (celulose) mg/L	7,06	8,95	10,03	10,90	21	8
TSS (fibra de vidro) mg/L	4,18	5,48	2,90	1,23	10	8
SIS (fibra de vidro) mg/L	0,68	1,66	0,23	1,40	10	8
SOS (fibra de vidro) mg/L	3,50	3,82	1,93	0,21	10	8
DS (cm)	120,95	55,63	169,05	45,98	21	8
pH	7,03	6,85	0,19	0,01	21	8
CE μ s/cm	60,12	53,99	6,05	7,64	21	8
OD mg/L	9,08	7,77	0,72	0,10	21	8
Chl-a μ g/L	6,18	2,10	15,68	0,17	4	3

As variações dos valores considerando-se o número total das amostras estão relacionadas à localização dos reservatórios, uma vez que se apresentam em seqüência no Rio Jacuí. A existência dos reservatórios de Jacuí e Itaúba entre Passo Real e Dona Francisca também influencia nos resultados obtidos, pois, apesar das áreas alagadas serem menores, há contribuição no processo de precipitação dos sólidos em suspensão. Como resultado desse processo Passo Real apresentou a média do TSS de 8,95mg/L, enquanto que para Dona Francisca os valores do TSS foram de 7,06mg/L. Expressiva diferença foi verificada no SIS. Esta variável foi pelo menos duas vezes maior no reservatório de Passo Real e destaca-se que ela é importante na participação na reflectância da água. A distribuição dos reservatórios também influenciou na profundidade de Secchi para Dona Francisca (120,95cm) e Passo Real (55,63cm).

O relevo e ocupação do solo nas áreas de drenagem dos reservatórios também se configuram como fatores que influenciam nas características limnológicas diferenciadas entre os reservatórios. Além de Dona Francisca encontrar-se num vale encaixado e a jusante de Passo Real sua área de captação é menor do que Passo Real e seu entorno é dominado por

cobertura florestal. O reservatório de Passo Real apresenta uma extensa área de captação vinculada diretamente às atividades agrícolas e sobre um relevo de colinas suaves.

A localização do reservatório de Dona Francisca após três reservatórios em sequência proporcionou diferenças também nas demais variáveis (pH, CE, OD). Os seus valores foram superiores em relação ao reservatório Passo Real. A variância dos dados do DS para ambos os reservatórios foi acentuada, enquanto pH e OD foram pequenos. Apesar do número de amostras de clorofila ter sido pequeno observa-se que existe uma tendência de sua concentração ser maior (cerca de três vezes) no reservatório de Dona Francisca. Sua maior concentração se deve em função das condições mais favoráveis ao seu desenvolvimento como a maior transparência e condições ambientais.

A comparação entre os espectros de reflectância da água obtidos em campo por meio do espectrorradiômetro *FieldSpec* indica diferença entre os dois sistemas. No reservatório Dona Francisca o albedo da água é baixo em todos os comprimentos de onda, sendo que a taxa de maior reflectância é de 10% em torno de 580nm (Figura 3A). Em contrapartida, no reservatório Passo Real o albedo é maior e alcança reflectância de 20%, em torno de 595nm (Figura 3B).

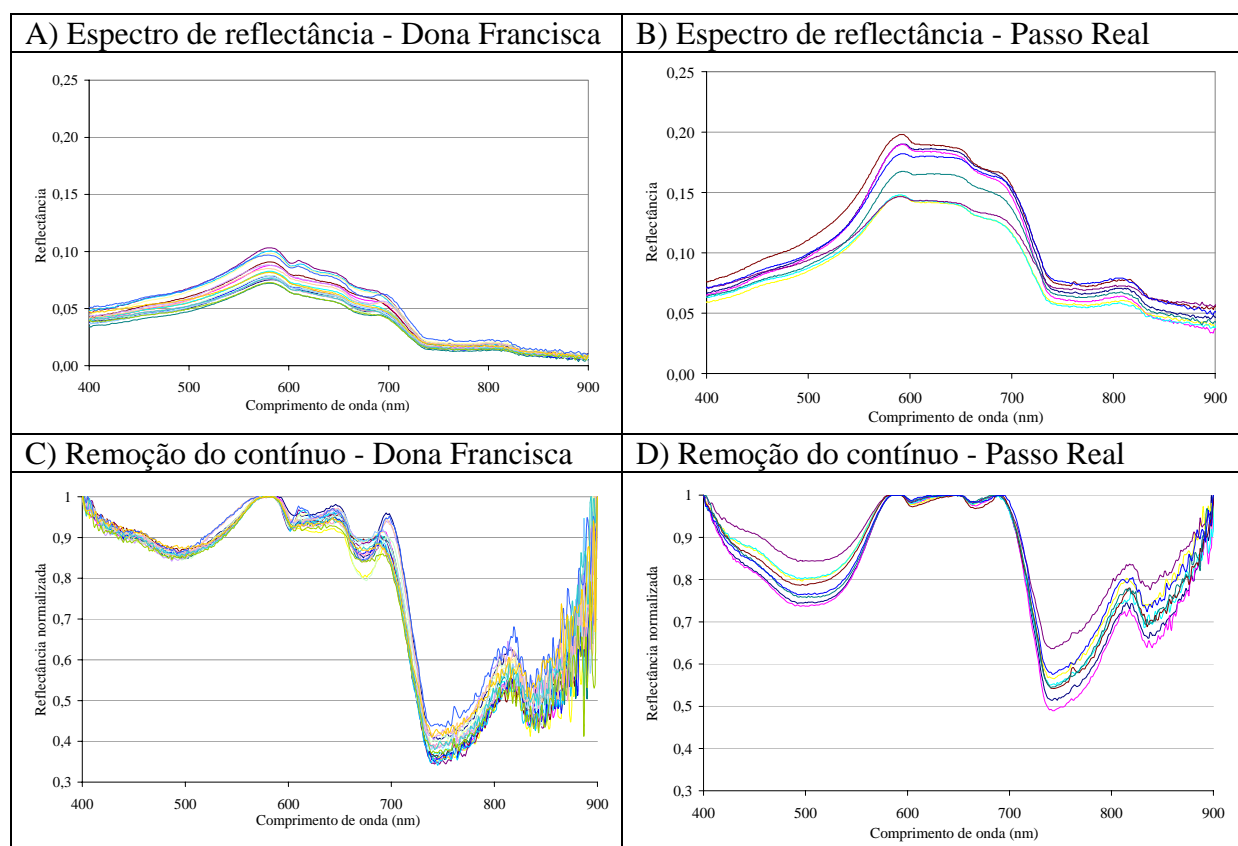


Figura 3: Espectros de reflectância da água e a remoção do contínuo para os reservatórios Dona Francisca (A e C) e Passo Real (B e D), respectivamente.

O contexto geográfico em que estão inseridos os reservatórios faz que ocorra um deslocamento do pico de máxima reflectância. Em Dona Francisca esse máximo ocorre em 580nm e em Passo Real encontra-se em 595nm. Essa diferença deve estar relacionada com o maior TSS (8,95mg/L) e maior SIS na água do reservatório Passo Real.

Com a aplicação da técnica de remoção de contínuo (Figura 3C e D) ocorreu o realce de feições de bandas de absorção. As maiores profundidades de bandas ocorreram para o reservatório de Dona Francisca, com centros de bandas em 675 e 740nm e para Passo Real em

495nm. A profundidade desses centros de banda foi relacionada com os dados de TSS e DS, sendo que para Dona Francisca não apresentou correlação significativa ($< 0,35$) com nenhuma das duas variáveis. Para o reservatório Passo Real a melhor relação foi encontrada para a profundidade da banda 740nm e o TSS, com correlação de $-0,74$ (Figura 4).

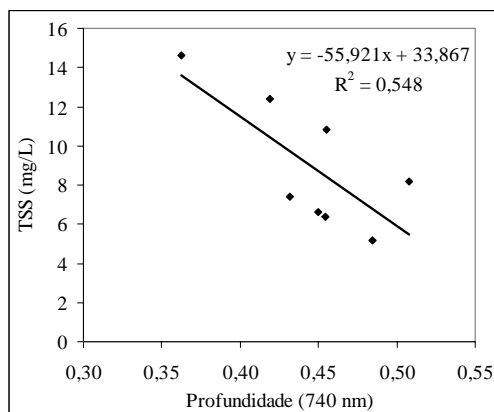


Figura 4: Relação entre TSS e a profundidade da banda 740nm – Passo Real.

A remoção do contínuo também indica a presença de banda de absorção típica da clorofila próximo a 675nm (Kirk, 1994). A correlação desta variável com esta feição não foi realizada em vista do pequeno número de amostras de clorofila, porém os dados indicam que existe forte influência da clorofila na determinação desta feição para o reservatório de Dona Francisca.

4. Considerações Finais

A construção de uma série de reservatórios no rio Jacuí com a transformação de seu sistema aquático de um ambiente lótico para lêntico alterou suas características limnológicas e espectrais. As variáveis limnológicas representadas pelo TSS, SIS, SOS, DS, pH, CE, OD e Chl-a mostraram médias diferentes para os reservatórios de Passo Real e Dona Francisca. As diferenças entre os reservatórios podem estar relacionadas: a) a localização destes reservatórios no contexto da bacia hidrográfica – o reservatório de Passo Real está mais vulnerável as atividades antrópicas (principalmente agrícolas) na bacia de captação do que o reservatório de Dona Francisca; b) o reservatório de Dona Francisca localiza-se a jusante a Passo Real, após outros dois reservatórios. Destaca-se que entre Dona Francisca e o reservatório localizado a sua montante (Itaúba) não há segmento de rio.

As diferenças registradas em dados da água proporcionaram diferenças nos espectros de reflectância dos reservatórios de Passo Real e Dona Francisca. Neste sentido, os principais impactos nos espectros da água foram os seguintes: maior albedo no reservatório de Passo Real, maior reflectância na faixa do vermelho do espectro eletromagnético, presença de feição típica de clorofila no reservatório de Dona Francisca e variação no pico de máxima reflectância, sendo que em Passo Real o pico ocorre em comprimento de onda maior. A remoção do contínuo permitiu identificar correlação significativa entre o TSS e o comprimento de onda de 740nm.

Uma melhor avaliação do impacto da construção de diversos reservatórios no rio Jacuí necessita um período maior de coleta de dados. A avaliação de dados correspondentes ao período de um ano permite a identificação da influência das diversas condições impostas ao sistema hídrico, como chuvas, temperatura, entrada de frentes frias, diferentes condições de vento, período de residência da água, diversas etapas da atividade agrícola e situações de uso e cobertura do solo. Este processo dinâmico pode imprimir distintos impactos em cada fase do ano nos reservatórios e que ainda não são conhecidos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio através dos Projetos n° 484712/2007-1 e 502646/2008-0. O doutorando Flávio Wachholz agradece à Fapesp (Projeto n° 2008/53364-1).

Referências bibliográficas

Kirk, J. T. O. **Light & Photosynthesis in Aquatic Ecosystems**. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 509 p.

Milton, E.J. Principles of field spectroscopy. **International Journal of Remote Sensing of Environment**, v. 08, n. 12, p. 1807-1827, 1987.

Nush, E. Comparison of different methods for chlorophylla and phaeopigments determination. **Arch. Hydrobiol.**, v. 4, p. 14-36, 1980.

Pereira Filho, W.; Barbosa, C. C. F.; Novo, E. M. L. M. Influência das condições de tempo em espectros de reflectância da água. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005. Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 415-422, 2005. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.20.51/doc/415.pdf>>. Acesso em: 1 de nov. 2008.

Steffen, C. A.; Moraes, E. C.; Gama, F. F. Radiometria Óptica Espectral: Tutorial. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996b, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. [CD-ROM]. ISBN 85-17-00014-5. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1908/2005/05.25.14.28>>. Acesso em: 31 ago. 2008.