

## Compartimentação aquática espectral dos reservatórios em cascata no alto Jacuí – RS

Flávio Wachholz<sup>1</sup>  
Waterloo Pereira Filho<sup>2</sup>  
Archimedes Perez Filho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade 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; archi@ige.unicamp.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Departamento de Geociências  
Av. Roraima, 1000, Santa Maria, RS, 97105-970, Brasil  
waterloopf@gmail.com

**Abstract.** The water characteristics in reservoirs built in cascade system alter significantly in space and time context, being able to form several aquatic compartments. The Passo Real, Jacuí, Itaúba, and Dona Francisca reservoirs are located sequentially in the high way of the Jacuí River – center northern – Rio Grande do Sul state. This work has the objective of characterizing the aquatic compartments found in the remote sensing images and verifying the total solids in suspension participation on the reflectance spectra. The seasonal Landsat images 5 TM (Apr-28-2006, Oct-21-2006, July-20-2007, Mar-16-2008) were acquired, corrected from atmosphere effects and converted to reflectance. Band 3 was utilized for the aquatic compartmentation and reflectance spectra obtained from the main compartments. A greater number of aquatic compartments were identified for the Passo Real, with bigger reflectances, mainly in the tributary entrances. The Jacuí reservoir presented only one aquatic compartment, with the reflectance similar to the water of the Passo Real dam. The Itaúba and Dona Francisca reservoirs generally have a reflectance similar to the upstream reservoirs and with few compartments, but the increase in the number of compartments depends on the tributary water characteristics. In higher rainfall periods as the occurred in July-20-2007, a larger input from the watersheds with increase in the reflectance values and in the number of aquatic compartments was provided. It was pointed out that the solids in suspension are the main responsible for reflectance increase in red range wavelength.

**Palavras-chave:** reflectance, total solids in suspension, watersheds, precipitation, reflectância, total de sólidos em suspensão, bacias hidrográficas, precipitação.

### 1. Introdução

A compartimentação aquática é uma forma de individualizar áreas em reservatórios que contenham um mesmo padrão limnológico, segundo um ou vários parâmetros. Esse comportamento é observado em diferentes escalas espaciais e temporais, dependendo de fatores como: topografia do reservatório e do entorno, profundidade, recepção de bacia hidrográfica, climatologia (e.g., vento, chuva, energia solar, período do ano), uso e ocupação das terras e a formação do reservatório (Wetzel, 2001). Nesse sentido, a configuração de compartimentos aquáticos em um reservatório está associada com as características de cada bacia hidrográfica, estando muitas vezes, proporcionalmente definidos, resultando vários compartimentos ambientais. A compreensão da compartimentação aquática é fundamental para o planejamento da amostragem e elaboração de modelos (Tundisi, 1988).

A construção de um reservatório causa modificações na qualidade da água à jusante, resultando em um sistema em cascata, como é o caso do alto rio Jacuí – Rio Grande do Sul, compreendendo quatro reservatórios sequencialmente. Acredita-se que o uso e a ocupação agrícola das bacias hidrográficas contribuintes e o sistema em cascata exerçam influência na definição da compartimentação aquática encontrada em função do tempo. Contudo os reservatórios situados mais a jusante do alto Jacuí possuem um fluxo mais rápido, repercutindo em menor tempo de residência.

Portanto, pode-se dizer que são três principais fundamentos para a compartimentação aquática: a primeira relacionada com as características do reservatório e suas bacias hidrográficas; a segunda por ordem hidrodinâmica dos reservatórios, com a formação das estações montante, intermediária e jusante; e a terceira pela formação de seqüência ou não de reservatórios.

Por outro lado, o sensoriamento remoto tem contribuído na realização de estudos de ambientes aquáticos, ajudando a entender as complexidades de um ecossistema e suas interações. Estudos da variação espacial e temporal da qualidade da água são possíveis com o uso do sensoriamento remoto, pois essa tecnologia permite identificar a gênese e o deslocamento de substâncias específicas em suspensão ou dissolvidas na água (Rudorff, 2006). Sólidos em suspensão, pigmentos fotossintetizantes e substâncias húmicas são os principais componentes opticamente ativos (COAs) responsáveis pela variação do comportamento espectral da água. As propriedades de absorção e espalhamento dos COAs irão definir seletivamente a forma e amplitude final da curva de reflectância.

As maiores concentrações de sólidos em suspensão produzem uma maior reflectância em comprimentos de onda do vermelho (Kirk, 1994). O crescimento da reflectância na região do infravermelho é expressivo (Novo, 2001). De modo geral, os pigmentos que atuam na fotossíntese provocam a diminuição da reflectância nas faixas do azul (400-515 nm) e do vermelho (630-700 nm) e o aumento na faixa do verde (515-600 nm) (Mantovani, 1993).

Nesse sentido, o trabalho em questão está inserido no projeto intitulado “Caracterização Espectral e Limnológica de Ambientes Lênticos no Rio Grande do Sul, com Abordagem Espaço-Temporal” (CNPq nº 484712/2007-1), tendo por objetivo a identificação e caracterização os principais compartimentos aquáticos nos reservatórios em sistema de cascata do rio Jacuí.

## **2. Área de estudo**

Situado no centro-norte do Estado do Rio Grande do Sul e no Planalto Sul-Riograndense, os reservatórios de Passo Real (PR), Jacuí (J), Itaúba (I) e Dona Francisca (DF), tipicamente formam o sistema em cascata no alto Jacuí (Figura 1). Esses reservatórios foram construídos para a produção de energia elétrica sob concessão da Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE). O reservatório que apresenta maior regulação sobre as águas do alto Jacuí é Passo Real. Esse reservatório tanto permite o controle das cheias como fornecimento regular do volume das águas para os reservatórios à jusante, garantindo a produção de energia elétrica.

O reservatório de Passo Real apresenta a maior área alagada com captação das águas do rio Jacuí, Jacuí-mirim e Ingaí. Sendo que as suas bacias hidrográficas apresentam um relevo predominante colinoso e com uso agrícola. As culturas predominantes são o trigo (inverno) e a soja (verão), cultivadas, principalmente em grandes propriedades na margem direita e em pequenas propriedades na margem esquerda do reservatório.

O reservatório Jacuí não possui bacias hidrográficas particulares, dependendo exclusivamente das águas recebidas do reservatório Passo Real. Os reservatórios de Itaúba e Dona Francisca, por outro lado, distinguem-se por estarem localizadas em um vale encaixado, que conseqüentemente reduz a área alagada e aumenta da queda líquida, proporcionando uma maior produção de energia. Ambos os reservatórios apresentam um rio com significativa participação no volume hídrico, sendo de Dona Francisca o rio Jacuízinho e de Itaúba o rio Ivaí.

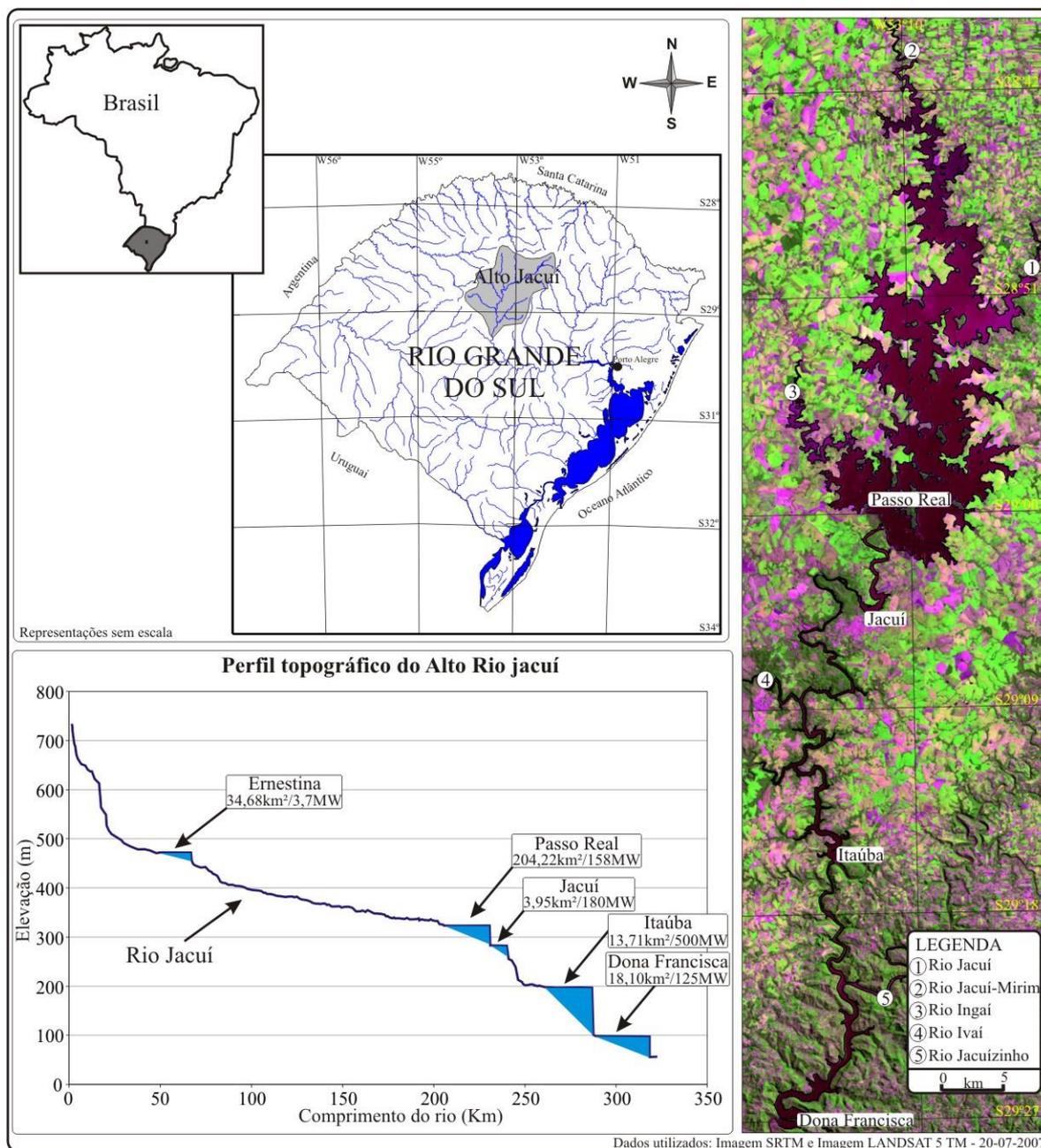


Figura 1 – Localização dos reservatórios em sistema de Cascata no alto rio Jacuí.

O alto Jacuí é uma das regiões mais chuvosas do Estado do Rio Grande do Sul. No entanto, a distribuição ao longo do ano é irregular com os meses mais chuvosos em março, abril, maio e agosto, sendo os demais meses os mais chuvosos, totalizando 2.000 mm por ano (Foss e Ferraz, 2007).

A bacia hidrográfica do alto rio Jacuí, geologicamente está inserida na Formação Serra Geral com rochas que compõem principalmente os basaltos. Os principais solos formados são o Latossolo vermelho a montante de Passo Real e argissolo à sua jusante (Streck et al, 2008).

### 3. Metodologia

As imagens de satélite selecionadas compreendem aos períodos sazonais representando a dinâmica das áreas agrícolas nas bacias hidrográficas do rio Jacuí (Tabela 1). As imagens adquiridas, LANDSAT 5 TM, compreendeu três anos, decorrente da limitação por cobertura de nuvens parcial ou total das demais cenas. Os reservatórios em estudo estão localizados na

mesma órbita/ponto. As imagens foram convertidas para radiância e convertidas para reflectância no software ENVI 4.5. A correção atmosférica foi realizada pelo modelo Modtran4+, implementado no mesmo software.

Tabela 1 – Características das imagens Landsat 5 TM utilizadas para a compartimentação aquática

Imagem	Bandas	Órbita/ponto	Data	Estação do ano	Uso da área agrícola
LANDSAT 5 TM	1, 2, 3, 4	222/80	2006-10-21	Primavera	Solo exposto
			2006-04-28	Abril	Entressafra
			2007-07-20	Inverno	Ciclo do trigo
			2008-03-16	Verão	Ciclo da soja

A banda 3 (TM3) convertida para reflectância foi utilizada para a definição de compartimentos aquáticos. O fatiamento das imagens foi realizado no ENVI, com classes de intervalos 0,25%, sendo considerado compartimento aquático com o enquadramento de 4 classes de reflectância (1%). No entanto, o espectro de reflectância foi obtido com as bandas 1, 2, 3 e 4 para os principais compartimentos aquáticos, com enfoque da reflectância do vermelho sobre os demais canais multiespectrais. Verificando, nesse caso, a participação dos sólidos em suspensão na cor da água sobre os demais componentes opticamente ativos.

#### 4. Resultados

Os reservatórios em cascata do alto Jacuí apresentaram compartimentos aquáticos com dependência temporal (Figura 2). O maior número de compartimentos aquáticos foi encontrado em 20/07/2007, período em que as áreas agrícolas encontram-se ocupadas pelo trigo (desenvolvimento vegetativo), mas o maior volume pluviométrico proporcionou uma maior perda de material da bacia hidrográfica para os reservatórios (Figura 3).

A maior diversidade de compartimentos aquáticos foi encontrada no reservatório de Passo Real. Ainda o mesmo reservatório possui as maiores reflectâncias no vermelho (TM3) para todas as datas analisadas em relação aos demais reservatórios e forma um maior número de compartimentos aquáticos. As maiores reflectâncias são encontradas nas principais entradas de água no reservatório, rios Jacuí, Jacuí-Mirim e Ingaí. Essa maior reflectância está relacionada a carga de sólidos em suspensão, pois a participação de maior volume de material orgânico produz uma maior reflectância no vermelho.

O reservatório Jacuí apresenta apenas um compartimento aquático para todas as datas. O padrão espectral desse compartimento é semelhante ao compartimento encontrado no setor montante do dique de Passo Real, uma vez que o Jacuí não recebe outra entrada de água e possui um menor tempo de residência. Essas características espectrais são as mesmas para o reservatório de Itaúba em 28-04-2006 e 16-03-2008. Para as outras duas datas, as águas do rio Ivaí passa a ter outras características e determina a formação de um novo compartimento aquático no setor de entrada, sendo que a jusante ocorre o retorno as características espectrais iniciais.

Dona Francisca recebe um padrão de águas com uma menor carga de sólidos em suspensão, porém recebe o rio Jacuízinho que altera o espectro da água. Normalmente esse rio proporciona um compartimento aquático a ele associado, mas ao aproximar do dique essas características se alteram e retornam as características do compartimento localizado a jusante de Itaúba.

A formação de mais de um compartimento aquático para os reservatórios de Dona Francisca e Itaúba depende de seus afluentes rio Jacuízinho e Ivaí e da suas características (vale encaixado, menores áreas alagadas e pouca complexidade morfológica do entorno). Por outro lado, Passo Real com uma ampla massa d'água com a significativa influência dos rios Jacuí-Mirim, Jacuí e Ingaí proporciona, logo na sua entrada no reservatório as maiores

reflectâncias, indicando uma alta carga de sólidos em suspensão na água. Esse material é depositado, na medida em que a água se desloca para as áreas centrais do reservatório.

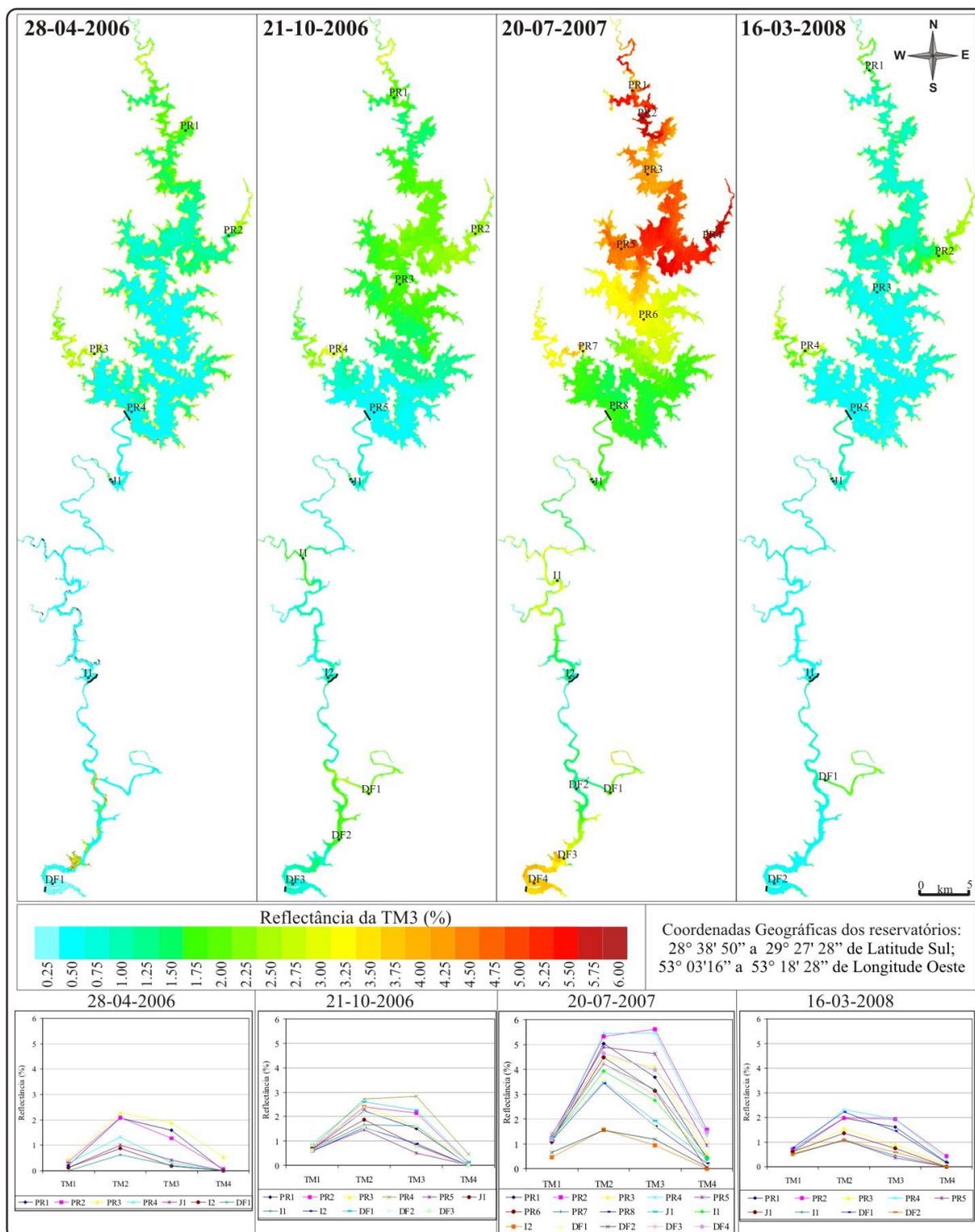


Figura 2 – Compartimentação aquática sazonal dos reservatórios do alto Jacuí e os espectros de reflectância.

As médias mensais de precipitação compreendendo o período evidenciaram que entre as cenas utilizadas, a de 20-07-2007 decorreu-se de um período mais chuvoso. Por outro lado, em 28-04-2006 e 16-03-2008 foram os períodos com menores índices pluviométricos. O

maior volume de chuvas, nesse caso produziu maiores reflectâncias, indicando também a participação significativa advinda das bacias hidrográficas. O aumento na reflectância, aproximando a 6% no faixa do vermelho, está relacionado provavelmente a perda de solo Latossolo Vermelho na montante do reservatório de Passo Real.

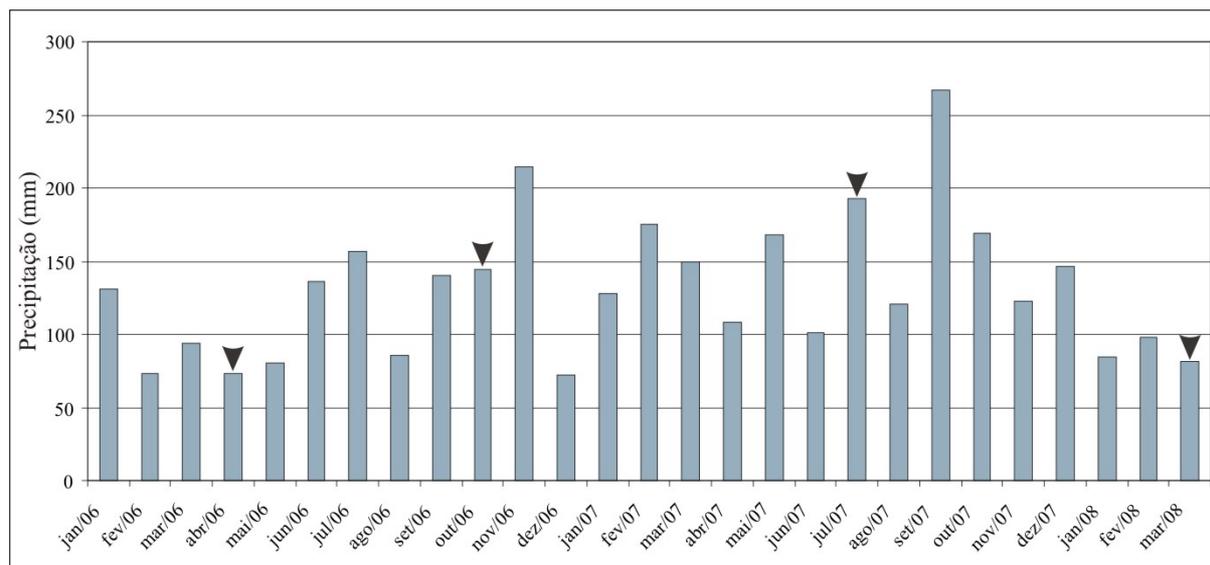


Figura 3 – Média mensal de precipitação municípios da bacia hidrográfica do alto Jacuí e alguns municípios do baixo Jacuí.

Fonte: Defesa Civil.

## 5. Considerações Finais

A maior quantidade de chuvas na bacia hidrográfica do alto Jacuí produziu maiores reflectâncias em comprimentos de onda faixa do vermelho (TM3), como identificado na imagem de 20-07-2007 e ainda define maior número de compartimentos aquáticos nos reservatórios. As precipitações mensais tiveram relação com a reflectância média da TM3 dos compartimentos aquáticos, estabelecendo a ordem: 20-07-2007(192,8 mm e 3,13%), 21-10-2006(144,8 mm e 1,50%), 16-03-2008(81,3mm e 1,10%) e (73,2mm e 0,84%). O reservatório de Passo Real apresenta maior número de compartimentos aquáticos sendo os principais fatores: maior área alagada, presença de várias ilhas, reentrâncias, possui três grandes bacias hidrográficas e é o primeiro reservatório da série de reservatórios, neste caso, mais vulnerável a influência da área de captação na reflectância da água. O sistema em cascata proporciona uma diminuição da reflectância no sentido montante a jusante, provavelmente relacionado à precipitação dos sólidos em suspensão.

## Agradecimentos

À Fapesp – Projeto nº 2008/53364-1 e ao CNPq – Projeto nº 484712/2007-1.

## Referências

FOSS, M.; FERRAZ, S. E. T. Variabilidade do período chuvoso no Estado do Rio Grande do Sul. *In: II Encontro Sul Brasileiro de Meteorologia, 2007, Florianópolis. Anais...* Florianópolis: CEFET-SC, 2007. 1 CD-ROM.

KIRK, J. T. O. **Light & photosynthesis in aquatic ecosystems.** 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

MANTOVANI, J. E. **Comportamento espectral da água: faixas espectrais de maior sensibilidade ao fitoplâncton na presença de matéria orgânica dissolvida e de matéria inorgânica particulada.** 1993, 99 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1993.

NOVO, E. M. L. M. Comportamento Espectral da Água. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. da S. (Org.). **Sensoriamento Remoto: Reflectância dos Alvos Naturais.** Brasília: ed. UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001, p.203-224.

RUDORFF, C. M. **Estudo da composição das águas da planície amazônica por meio de dados de reflectância do sensor Hyperion/EO-1 e de espectrorradiômetro de campo visando a compreensão da variação temporal dos seus constituintes opticamente ativos.** 2005, 138 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul.** 2. ed. Porto Alegre: EMATER, 2008.

TUNDISI, J. G. (Org). **Limnologia e manejo de represas.** São Carlos: USP, 1988. Série Monografias–Tomo 2.

WETZEL, R. G. **Limnology: lake and river ecosystems.** 3 rd. San Diego: Academic Press, 2001.