



Revista Brasileira de Cartografia (2017), Nº 69/3: 495-503
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NOS VALORES DE REFLECTÂNCIA DA ÁGUA, NO RESERVATÓRIO PASSO REAL - RS

Influence of Rainfall on Water Reflectance Values, the Reservoir Passo Real – RS

**Daniela Wancura Barbieri Peixoto¹, Laurindo Antonio Guasselli²
& Waterloo Pereira Filho³**

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Centro de Sensoriamento Remoto- Programa de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto
Av. Bento Gonçalves, 9500 - Campus do Vale
CEP: 91501-970 - Porto Alegre - RS – Brasil
daniwbarbieri@gmail.com

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia
Av. Bento Gonçalves, 9500 - Campus do Vale
CEP: 91501-970 - Porto Alegre - RS – Brasil
laurindo.guasselli@ufrgs.br

³Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Centro de Ciências Naturais e Exatas- Departamento de Geociências
Campus da UFSM, 1000, Bairro Camobi, Santa Maria – RS, Brasil, 97105-970
waterloopf@gmail.com

Recebido em 30 de Maio, 2016/ Aceito em 4 de Janeiro, 2017

Received on May 30, 2016/ Accepted on January 4, 2017

RESUMO

O estudo tem por objetivo estabelecer a relação entre os índices pluviométricos da bacia de captação da área de estudo e as alterações nos valores de reflectância da água do reservatório da UHE Passo Real. Foram utilizadas 11 imagens do sensor MODIS- TERRA a fim de compor um ano hidrológico. Os dados de precipitação são provenientes da Defesa Civil do Rio Grande do Sul, totalizando 31 estações pluviométricas distribuídas na bacia de captação. A análise estatística levou em conta o acúmulo de precipitação no período de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias anteriores à passagem do satélite. A reflectância da banda do vermelho (648 nm) foi relacionada com a precipitação na área de captação reservatório. Correlações significativas foram verificadas entre a reflectância da água e a chuva antecedente a passagem do sensor. O valor acumulado de chuva em 20 dias anteriores a imagem de satélite apresentou correlação de 0,88 com a reflectância para o setor do rio Jacuí e 0,83 no setor do rio Jacuí-Mirim. As relações foram analisadas por compartimentos do reservatório definidos pela bacias de captação dos braços principais do reservatório, no entanto, o compartimento aquático definido pelo rio Ingaí apresentou a melhor correlação (0,83) que ocorreu com o acumulado de chuva no período de 25 dias. As imagens MODIS registram as chuvas ocorridas em um período de 20 dias antes da passagem do satélite. Especificamente no compartimento do rio Ingaí este efeito ocorre para um período de 25 dias.

Palavras chaves: Reservatório, Precipitação Pluviométrica, Reflectância.

ABSTRACT

This research establishes a relationship between pluviometric rates in the catchment basin on the studied area and changes of reflectance data of Passo Real reservoir. 11 images were used from MODIS-LAND sensor to compose a hydrological year profile. Rainfall data was provided from the Dept. of Civilian Defense of state of Rio Grande do Sul, adding up to 31 pluviometric stations spread around the catchment basin. The statistical analysis has considered the accumulation of rainfall in the period of 5, 10, 15, 20, 25, and 30 days before the satellite's passage. Red band (648nm) reflectance data were linked to the reservoir's catchment basin. A considerable relationship between reflectance of water and rain preceding the sensor's passage was noticed. The value of accumulated rainfall for the 20 preceding days to the satellite's passage presented correlation of 0.88 to the reflectance of the sector of Jacuí river and 0.83 to the sector of Jacuí-Mirim river. The relationship between the reservoir's compartments, defined by the river catchment basin and its derivations, were analyzed. However, the aquatic compartment defined by Ingaí river had the best correlation (0.83) that occurred on the accumulation of rainfall in a period of 25 days. Therefore, the MODIS images registered rain in a period of 20 days before the satellite's passage. This effect occurred in a period of 25 days, in particular, in the compartment of Ingaí river.

Keywords: Reservoir, Pluviometric Rainfall, Reflectance.

1. INTRODUÇÃO

A produção de energia é um dos principais usos da água no Brasil, suprimindo cerca de 85% da energia necessária ao país. Os reservatórios hidrelétricos, além da geração de energia, apresentam outros benefícios socioeconômicos como a estocagem de água para usos futuros, controle de inundação, atividades recreativas, pesca e abastecimento de água. Dentre os recursos naturais, a água é um dos que mais sofre alterações em suas características naturais, devido às formas de exploração, degradação e erosão da bacia de captação. Os recursos de água doce estão entre os requisitos mais básicos da sociedade humana. No entanto, a informação global sobre as variações espaço-tempo da área de corpos de água doce e a água armazenada neles é surpreendentemente limitada (KHANDELWAL, *et al.* 2017)

O regime fluvial depende, da quantidade de água que eles recebem, que varia em função da intensidade e da quantidade de chuva, da natureza do solo ou rocha e da topografia da superfície sobre os quais eles derivam.

No entanto, Montanher *et al.* (2014), afirmam que técnicas de sensoriamento remoto podem ser utilizadas para detectar as propriedades ópticas da água, sanando as dificuldades de amostragem em campo e contribuindo para a melhoria da informação espacial e temporal.

No estado do Rio Grande do Sul, no alto curso do Rio Jacuí foram construídas cinco usinas hidrelétricas com o intuito de aproveitar seu potencial hidráulico, devido a grande

dimensão da bacia hidrográfica. O reservatório Passo Real é considerado o maior lago artificial do Estado. Inserido neste contexto, este estudo tem por objetivo analisar e estabelecer a relação entre os índices pluviométricos e as alterações nos valores de reflectância da água medidos pelo MODIS no ambiente lântico definido pelo reservatório da UHE Passo Real- RS.

Neste sentido, considera-se relevante estudar a relação entre precipitação e reflectância da água, pois a precipitação é a principal causa da erosão e do escoamento superficial que transporta material particulado (sedimento) para o reservatório, aumentando assim a concentração de sedimentos em suspensão e estes provocam modificação nos valores de reflectância em imagens dos corpos de água.

2. METODOLOGIA DE TRABALHO

A identificação da relação da precipitação nas alterações dos valores de reflectância foi alcançada por meio das etapas metodológicas principais: busca de referencial teórico, coleta de dados, processamento e interpretação de dados e posterior correlação dos resultados obtidos e apresentados no item Resultados e Discussões.

2.1 Área de estudo

No Rio Grande do Sul foram construídos reservatórios no alto curso do Rio Jacuí com a finalidade de atender a demanda energética. O Reservatório Passo Real foi construído em 1973, com a maior área de inundação 233,4 Km² (COAJU, 2010). Considerado o maior lago artificial do Estado, com a contribuição de três

principais afluentes, o Rio Jacuí propriamente, o Rio Jacuí-Mirim e o Rio Ingai (CRUZ, 1996; COAJU, 2010).

É responsável por 65% da energia gerada pela Companhia Estadual de Energia Elétrica

(CEEE) e 35% da carga consumida pelo Estado, possuindo uma potência de 158 MW. O reservatório tem um volume de 3.671 km³ em uma área total de 24.882 hectares (COAJU, 2010). A Figura 1 mostra a localização da área de estudo.

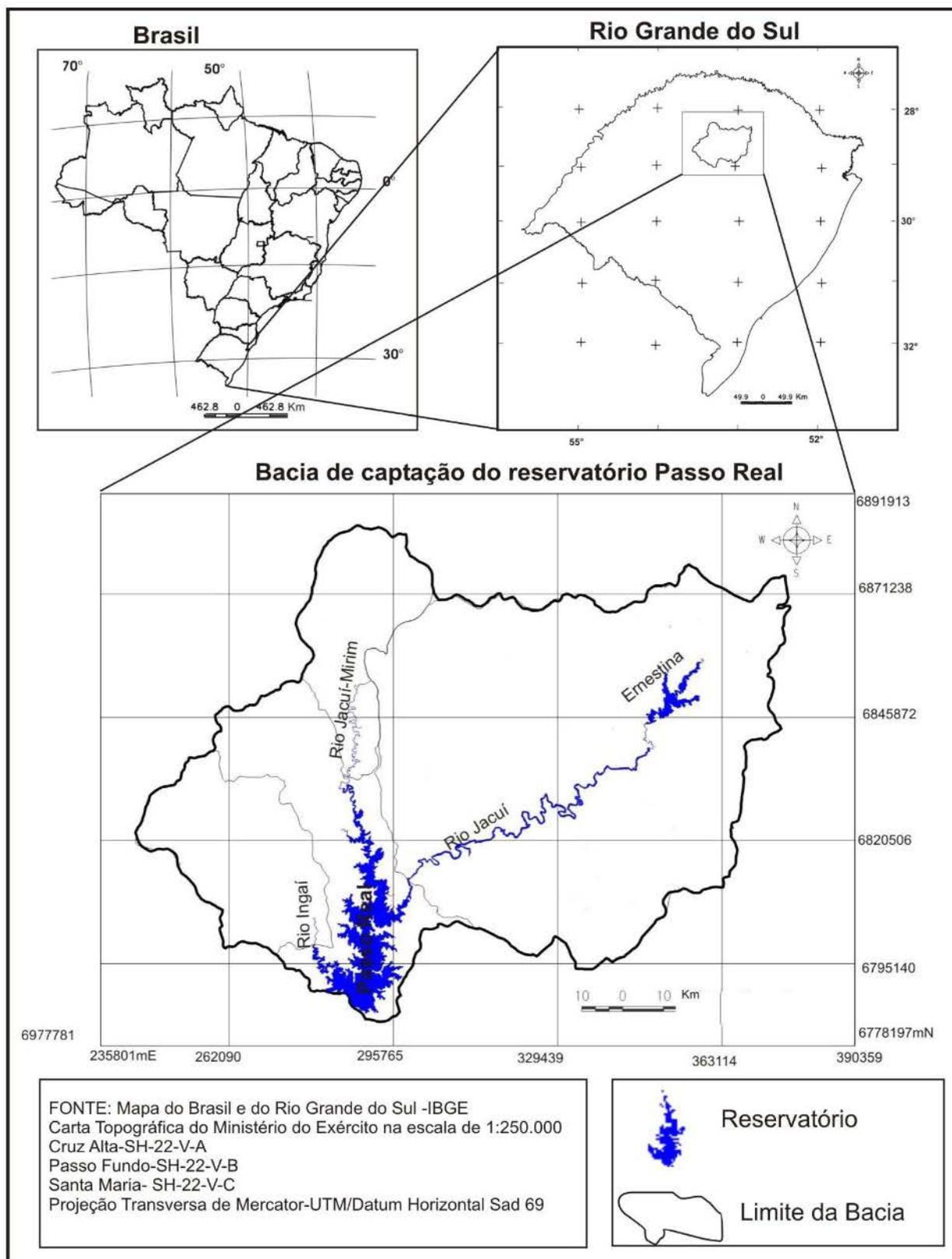


Fig.1 - Localização da bacia de captação do Passo Real no Rio Grande do Sul – Brasil.

2.2 Definição do período de análise

Definiu-se para coleta de dados o período entre janeiro e dezembro de 2009, a fim de compor um ano hidrológico, buscou-se dentro das possibilidades climáticas e de disponibilização de imagens realizar uma frequência mensal de análise.

2.3 Definição das estações amostrais e setores de análise

Para averiguar a reflectância da água no reservatório foram definidos setores para representar cada área de captação, ou seja, Ingaí, Jacuí-Mirim, Jacuí, Médio Curso e Dique (Figura 2) conforme compartimentos aquáticos observados nas imagens analisadas. Os pontos utilizados para cada setor foram originalmente determinados para a coleta de dados limnológicos. Foram escolhidos 31 pontos amostrais para contemplar as diferenças espectrais encontradas no corpo d'água, contemplando 1 coleta em cada ponto por mês.

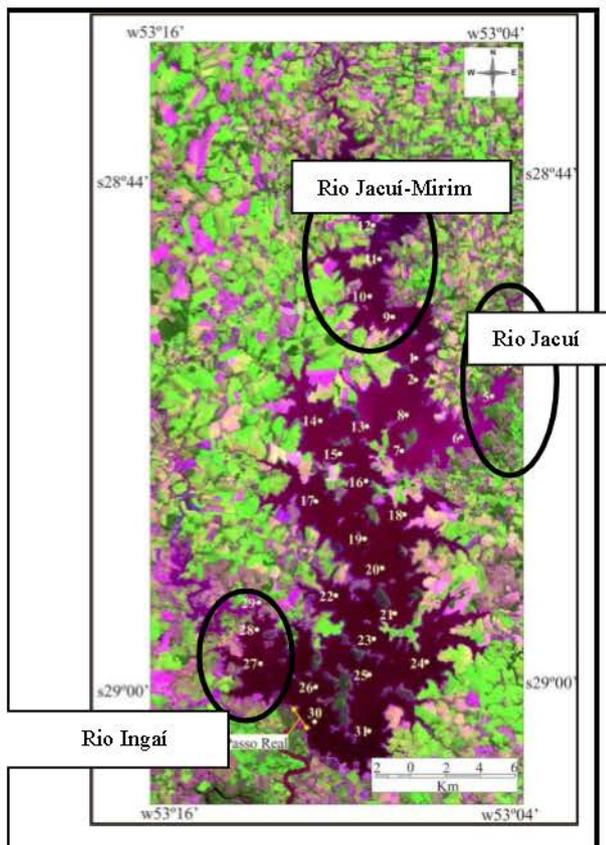


Fig. 2 - Representação dos pontos amostrais no reservatório Passo Real e pontos utilizados em cada setor do reservatório

2.4 Imagens MODIS

Nessa análise foram utilizados os produtos MOD09 - Surface Reflectance, provenientes do catálogo de imagens da NASA. Este produto estima a reflectância espectral de superfície para cada banda com correção atmosférica e função BRDF (Bi-directional Reflectance Distribution Function) (VERMOTE & VERMERULEN, 1999).

Estão organizadas em Tiles (quadrantes de 1200 x 1200 km) sendo estas identificadas pelo "tile" h13v11.

Foram utilizados os seguintes dados de reflectância de superfície diários:

- (a) MOD09GA - bandas de 1 até 7 com 500m (centradas em 648 nm; 858 nm; 470 nm; 555 nm; 1240 nm; 1640 nm; e 2130 nm);
- (b) MOD09GQ - bandas 1 (648 nm) e 2 (858 nm) com 250m.

O georreferenciamento do sensor MODIS foi estabelecido através do uso de uma técnica onde os pontos de controle são aplicados apenas para remover as direções tendenciosas (LATORRE, *et al.* 2003), neste sentido, segundo Wolfe *et al.* (2002), alguns progressos na precisão do georreferenciamento do MODIS têm sido obtidos através do ajuste de parâmetros internos do sensor, com planejamentos futuros para remover os erros sistemáticos de medidas de orientação externa.

2.5 Dados de reflectância

Foram obtidos espectros de reflectância dos 31 pontos amostrais, com centro de bandas nos comprimentos de onda de 0,648; 0,858; 0,470; 0,555 μm respectivamente, com uma resolução espacial de 250 m, utilizando o programa ENVI versão 4.5.. Foram utilizadas 11 imagens de 2009 com as respectivas datas: 22-01, 18-03, 17-04, 21-05, 13-06, 04-07, 13-08, 21-09, 28-10, 29-11, 26-12.

2.6 Dados de precipitação pluviométrica

Os dados de precipitação pluviométrica foram provenientes das estações pluviométricas administradas pela Defesa Civil do Rio Grande do Sul no ano de 2009. Os dados de precipitação pluviométrica (PP) foram obtidos em 31 municípios localizados na bacia hidrográfica do Passo Real. Os dados foram tabulados e

organizados tendo as coordenadas geográficas para plotagem da sede municipal (Figura 3). A primeira etapa na análise dos dados de

precipitação consistiu na identificação dos erros e em seguida foram preenchidas as falhas utilizando o método de ponderação regional.

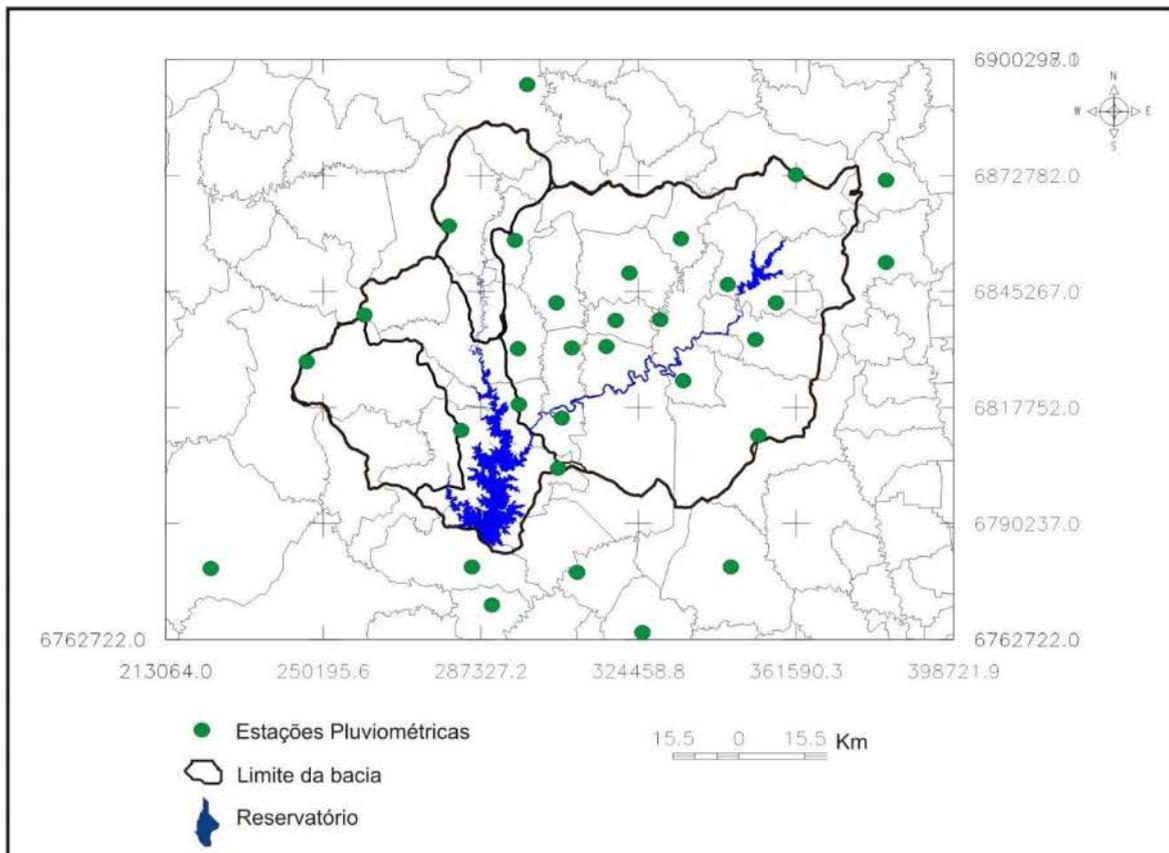


Fig. 3 - Localização das Estações Pluviométricas utilizadas.

2.7 Precipitação média na área de captação do reservatório Passo Real

Existem métodos para determinar a precipitação média numa área, no entanto utilizou-se o método da média aritmética onde se admite que todos os pluviômetros têm o mesmo peso. Este método, entretanto, de acordo com Tucci (1993), ignora as variações geográficas da precipitação, portanto são aplicáveis apenas em regiões climatológicas semelhantes, áreas planas com variação gradual e suave do gradiente pluviométrico e com cobertura de postos de medição bastante densa. No entanto, a precipitação no Rio Grande do Sul conforme Sartori (2003) apresenta uma distribuição relativamente equilibrada das chuvas ao longo de todo ano.

Para análise da relação entre precipitação antecedente à passagem do satélite e a reflectância da água calculou-se o total de precipitação pluviométrica média na bacia de captação do reservatório, utilizando os 31 pontos de coleta, acumulando valores de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias anteriores a passagem do satélite, considerando a média por setores conforme seus tributários.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da espacialização e análise dos dados de precipitação verificou-se que o ano de 2009 esteve acima da média anual do Estado, fator este que favoreceu a relação com os dados de reflectância principalmente no período chuvoso. Destaca-se que quanto maior foram os valores dos índices de chuva maior foi a reflectância. Seguindo a tendência em que as precipitações influenciam nos padrões de reflectância do reservatório, nos períodos em que o solo se encontra exposto, devido a agricultura, poderão impactar ainda mais os valores de reflectância. Neste sentido Li *et al.* (2015) destaca que a variação sazonal das condições hidrológicas causadas pela mudança de padrões de chuva observada nos últimos anos tem efeitos significativos na qualidade da água. Trabalho desenvolvido por Robert *et al.* (2016), também utilizou sensor MODIS associado a precipitação pluviométrica e verificaram que os eventos de chuva da estação chuvosa precoce (fevereiro-março) até a estação do meio-chuvoso (agosto) são decisivos para provocar o aumento da turbidez.

3.1 Influência da precipitação sobre a reflectância: análise dos resultados

De acordo com Tundisi (2008) o transporte de materiais pelos rios varia conforme a declividade, vazão, quantidade de precipitação pluviométrica e de diversas situações do continuum do rio, fatores estes que auxiliam no aumento de reflectância da água, mediados pela precipitação pluviométrica com a produção de sedimentos em suspensão. A hipótese mais provável para explicar esta evolução é uma mudança no uso da terra, e particularmente um aumento na quantidade de solos nus, o que aumenta o transporte de partículas pelo escoamento (ROBERT *et al.* 2016)

Considerando os períodos estabelecidos de precipitação pluviométrica, Passo Real apresentou dados de Total de Sólidos em Suspensão conforme a tabela 1.

Tabela 1: Total de Sólidos em Suspensão em mg/L do por períodos

Período seco	0,5 a 31 mg/L
Período chuvoso	1 a 33 mg/L

Robert *et al.* (2016) verificou em seu estudo que o transporte de sedimentos é observado no reservatório de montante para rio abaixo entre junho e setembro e um aumento significativo de

19% nos valores de turbidez é observado entre 2000 e 2015, principalmente para o período de julho a dezembro.

As menores concentrações de TSS foram encontradas no mês de Abr.09 1 mg/L quando foram registrados os menores índices de precipitação (<50mm) Wachholz (2011). No entanto a maior concentração ocorreu em Out.09 de 33 mg/L quando ocorrem as maiores concentrações pluviométricas na bacia de captação (224 mm).

3.2 Acumulado de vinte dias de precipitação pluviométrica

Com base no número de dias de chuva, e dias acumulados de precipitação pluviométrica foi possível estabelecer uma tendência entre a precipitação e a reflectância da água no reservatório Passo Real.

O acumulado pluviométrico em 20 dias na bacia de captação foi de 295 mm no mês de novembro (Figura 4). De acordo com Wachholz (2007) esse período caracteriza-se por fase de solo exposto, com maior susceptibilidade de perdas de solos. No entanto, foi possível verificar que a reflectância atingida de 1,97 % foi próxima da encontrada para um acúmulo de 277 mm no mês de setembro de 2009 para os setores do rio Jacuí e Jacuí-Mirim.

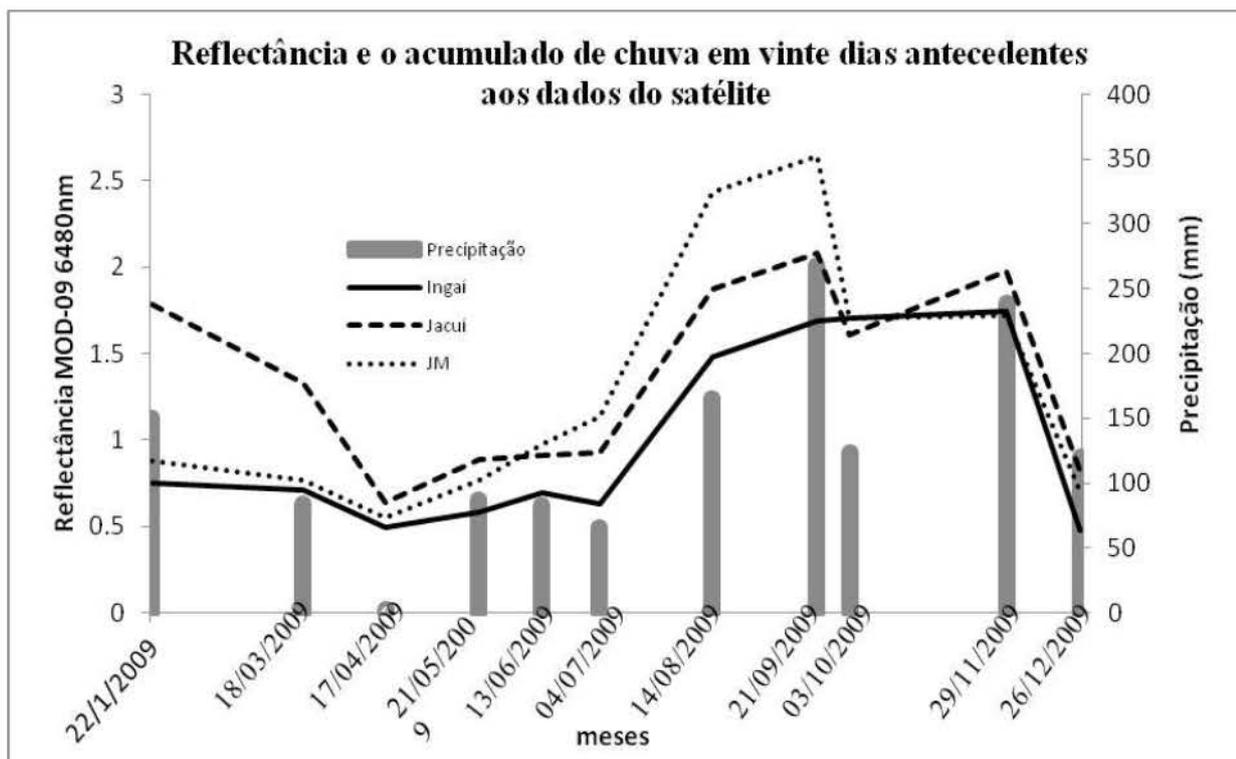


Fig. 4 - Reflectância e o acumulado de chuva para vinte dias antecedentes aos dados do satélite.

Isso indica que a partir de certa quantidade de chuva os valores de reflectâncias na água tendem a estabilizar, o que aponta para uma saturação dos níveis de reflectância, considerando o total de sólidos em suspensão registrados pelo MODIS (Figura 5), informação esta que pode ser confirmada com observações em campo. Neste sentido, também se verificou que os valores

de reflectância dos três tributários tiveram queda em outubro de 2009, o que pode ser explicado pela diminuição da precipitação média (aproximadamente 130 mm). Já em Novembro ocorreu aumento da reflectância da água nos três rios que o abastecem. O que comprova a influência da precipitação na variação dos valores de reflectância do reservatório.

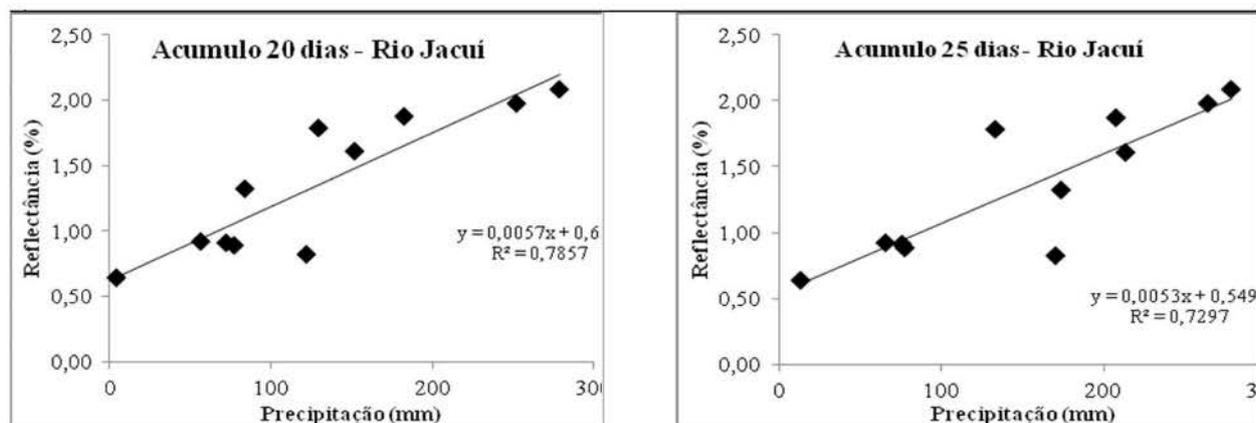


Fig. 5 - Dispersão da relação entre dados de precipitação pluviométrica e reflectância para 20 e 25 dias de acumulado de chuva.

Em relação a influência da resposta da precipitação na reflectância do reservatório, foram observadas variações conforme o setor que o abastece. A reflectância relacionada aos acúmulos de índices pluviométricos para 20 dias tiveram maior correlação na área de captação do Rio Jacuí e Jacuí Mirim ($r = 0,88$ e $r = 0,83$,

respectivamente). As águas provenientes da sub-bacia do Rio Ingaí apresentaram os menores valores de correlações se comparada aos outros tributários ($r = 0,78$) para o acumulado de 20 dias (Tabela 2), no entanto, teve sua melhor correlação (0,83) com o acumulado de chuva no período de 25 dias.

Tabela 2: Valores de r referentes as correlações de reflectância e precipitação (20 dias)

	Ingaí	Jacuí	Jacuí Mirim
5 dias	0.4072	0.558	0.5964
10 dias	0.8	0.745	0.7866
15 dias	0.7222	0.782	0.7153
20 dias	0.7869	0.886	0.8398
25 dias	0.8332	0.854	0.7751
30 dias	0.81	0.778	0.6397

* Estatisticamente significativo para 99,9% de confiança

A Figura 6 apresenta a correlação de Pearson entre os valores das variáveis reflectância e precipitação, destacando-se as correlações estatisticamente significativas para 95%, 99% e 99,9% de confiança (CALLEGARI-JACQUES, 2003). Verifica-se que no rio Ingaí e Jacuí-Mirim estas variáveis são significativas para 99,5% de confiança e no rio Jacuí estatisticamente

significativos para 99,9% de confiança.

Desta forma, estabeleceu-se através das correlações relacionadas entre as duas variáveis, que o acúmulo em 20 dias foi o que melhor representou o impacto da chuva sobre a reflectância da água no Reservatório Passo Real e registrada em imagens MODIS.

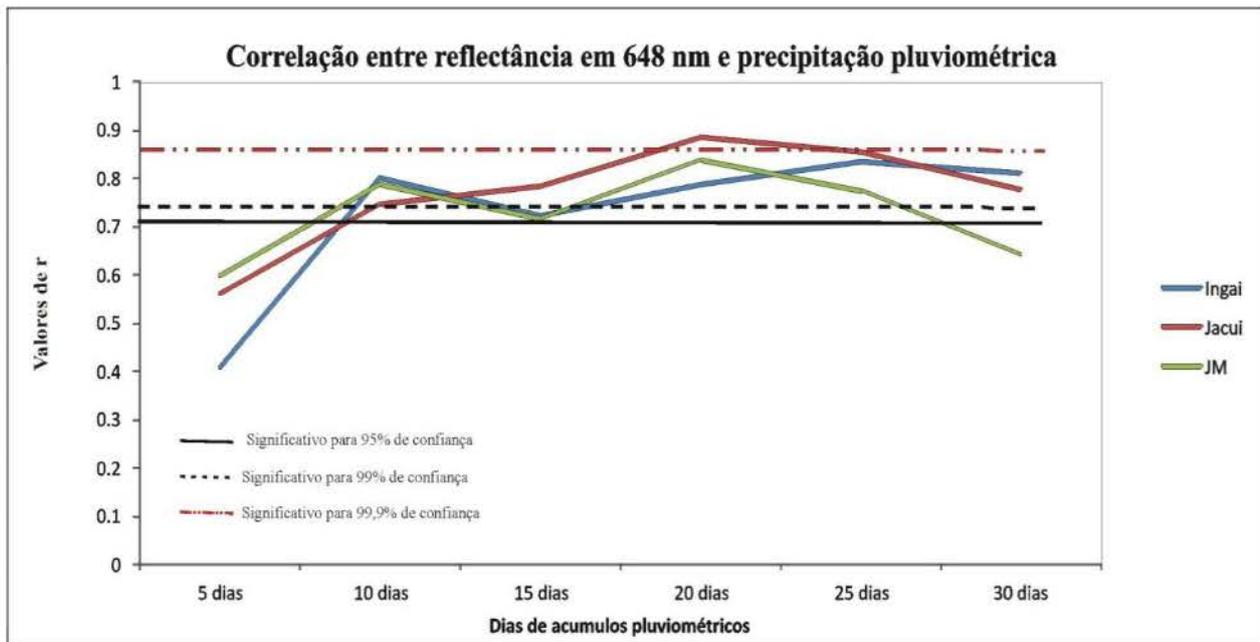


Fig. 6 - Correlações estatisticamente significativas com 95, 99 e 99,9% de confiança entre reflectância e precipitações acumuladas.

4. CONCLUSÕES

Pode-se afirmar que os valores de precipitação pluviométrica devem ser levados em consideração na análise dos dados de sensoriamento remoto e limnológicos, pois associados ao uso da terra apresentam fortes influências no transporte de material para as bacias de captação.

Com a periodicidade obtida foi possível entender a dinâmica da precipitação em relação a alteração dos valores de reflectância. Em relação à resposta da precipitação na reflectância do reservatório foi observada uma variação conforme o rio que o abastece. A reflectância relacionada aos valores pluviométricos acumulado em 20 dias anteriores a passagem do satélite mostrou maior correlação na área de captação do Rio Jacuí e Jacuí Mirim ($r=0,88$ e $r=0,83$, respectivamente). Considerando o nível de significância o setor do Rio Jacuí, obteve 99,9% de confiança com relação ao acumulado em 20 dias e reflectância da água. As águas provenientes da sub-bacia do Rio Ingai apresentaram correlação significativa de 99% da relação precipitação com a reflectância em 25 dias de acúmulo. O que pode ser considerado entre as diferenças encontradas são as dimensões dos setores de análise, e também possíveis diferenças no relevo do local.

Desta forma, estabeleceu-se através das correlações relacionadas entre as duas variáveis que o acúmulo em 20 dias foi o que melhor representou o impacto da chuva sobre a reflectância da água registrada em imagens MODIS no Reservatório Passo Real.

AGRADECIMENTOS

A autora agradece a CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003. 264 p.
- COAJU – **Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí. História do Sistema Jacuí**. Disponível em: <www.upf.br/coaju/download/Historia_Sistema_Jacui_1.ppt> Acesso em: 11 de outubro de 2014.
- CRUZ, P.T. 100 **Barragens Brasileiras: casos históricos, materiais de construção, projeto**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 1996. 680 p.
- KHANDELWAL, A.; KARPATNE, A.; MARLIER M.E.; JONGYOUN K.D.; LETTENMAIER P. & KUMAR, V. An approach for global monitoring of surface water extent variations in reservoirs using MODIS data. **Remote Sensing of Environment**. 2017. Available online 21 June 2017.

- LATORRE, M. L.; ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E.; CARVALHO JUNIOR, O. A. Sensor MODIS: características gerais e aplicações. **Espaço & Geografia**, Vol.6, No 1, 2003. 91-121pp.
- LI, X.; HUANG, T.; MA, W.; SUN, X.; ZHANG, H. Effects of rainfall patterns on water quality in a stratified reservoir subject to eutrophication: Implications for management. **Science of The Total Environment** v. 521-522, p.27-36. 2015.
- MONTANHER, O. C.; NOVO, E. M. L.; BARBOSA, C. C. F.; RENNÓ, C. D.; SILVA, T. S. F. Empirical models for estimating the suspended sediment concentration in Amazonian white water rivers using Landsat 5/TM. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation** v.29, p. 67-77. 2014.
- ROBERT E.; GRIPPA, M.; KERGOAT, L.; PINET, S.; GAL, L.; COCHONNEAU, G.; MARTINEZ J. M. Monitoring water turbidity and surface suspended sediment concentration of the Bagre Reservoir (Burkina Faso) using MODIS and field reflectance data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. V.52, 2016, 243-251pp.
- SARTORI, M.G.B. A dinâmica do clima no Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. **Terra Livre**. São Paulo, ano 19, v.1, n.20, p.27-49. jan/jul.2003.
- TUCCI, C.E.M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre, Ed. Universidade UFRGS, 1993. 678p.
- TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 632p.
- VERMOTE, E. F.; VERMERULEN, A. **Atmospheric correction algorithm: spectral reflectances (MOD09). Algorithm Theoretical Background: National Aeronautics and Space Administration**, 1999. 107 p. (NASA contract NAS5-96062). Disponível em: < http://modarch.gsfc.nasa.gov/MODIS/ATBD/atbd_mod08.pdf>. Acesso em: 05 de setembro de 2014.
- WACHHOLZ, F. **Compartimentação aquática do reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS, a partir de variáveis limnológicas e imagens orbitais**. 97f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- WACHHOLZ, F. **Influência das bacias hidrográficas e caracterização espaço-temporal de variáveis limnológicas em reservatório no Rio Grande do Sul**. 191f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.
- WOLFE, R. E., NISHIHAMA, M., FLEIG, A. J., KUYPER, J. A., ROY, D. P., STOREY, J. C., PATT, F. S. Achieving sub-pixel geolocation accuracy in support of MODIS land science. **Remote Sensing of Environment**. 83, 2002. 31–49pp.