

SENSORIAMENTO REMOTO E GOOGLE EARTH ENGINE COMO AUXÍLIO NA VALIDAÇÃO DO MODELO HIDROSEDIMENTOLÓGICO MGB-SED: SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL.

Eduardo Nascimento Manara¹; Fernando Mainardi Fan²; Fernando Comerlato Scottá³.

ABSTRACT – The low availability of *in situ* measured data makes it difficult to calibrate and validate sediment generation and transport models. Alternative methods of obtaining data then emerge. Thus, this work seeks to evaluate the feasibility of finding a correlation between the concentration of suspended sediments and the spectral reflectance of the water surface in the red band, with data obtained from the Google Earth Engine (GEE) cloud geoprocessing platform, as an aid in the validation of the MGB-SED sediment model applied to the *Paraíba do Sul* river basin. The GEE tool proved to be highly effective in data acquisition, making the process of analyzing remote sensing data much more practical, fast, and effective. The reflectance data were compared with the suspended sediment data measured using Pearson's correlation (r) presented values higher than 0.5 ($r > 0.50$) at all points of analysis, making this framework a promising tool to aid in the validation of hydrosedimentological models.

Palavras-Chave – Google Earth Engine, Sensoriamento Remoto, Modelos Hidrossedimentológicos.

1 - INTRODUÇÃO

A erosão é capaz de gerar danos severos ao ambiente, promovendo a destruição de nascentes, remoção das camadas férteis e o empobrecimento do solo. Há também, deposição de sedimento em reservatórios, reduzindo a capacidade de regularização de vazões e seus benefícios no fornecimento de água. Nesse sentido, é importante o uso de modelos para a análise de informações referentes a processos erosivos e suas consequências ao meio ambiental, salientando-se a simulação computacional como uma forma prática de investigar os impactos no meio ambiente (CARVALHO, 2008; MORRIS & FAN, 1998)

A maioria dos modelos desenvolvidos até então, que simulam a erosão e a qualidade da água em bacias hidrográficas, são inadequados para diferentes escalas de aplicação (MERRIT *et al.*, 2003).

1) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 9500 – Agronomia, Porto Alegre/ RS, CEP 91501-970, eduardonmanara@gmail.com, (51) 98155-7200

2) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 9500 – Agronomia, Porto Alegre/ RS, CEP 91501-970, fernando.fan@ufrgs.br, (51) 3308-6414

3) Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul, Departamento de Recurso Hídricos e Saneamento, Av. Borges de Medeiros, 261, 12º andar – Centro, Porto Alegre/ RS, CEP 90020-021, fernandoscotta.sema@gmail.com, (51) 3288-8140

Muitos apresentam de condições específicas com resultados mais exatos em pequena escala, já modelos com foco em maior escala utilizam métodos simplificados que impedem a representação de efeitos hidrodinâmicos que ocorrem em grandes bacias. Neste contexto foi desenvolvido o modelo de sedimentos MGB-SED (BUARQUE, 2015), acoplado ao modelo hidrológico MGB-IPH (COLLISCHONN *et al.*, 2007), capaz de representar os processos hidrossedimentológicos em grandes áreas, considerando erosão laminar e em sulcos, erosão de leito e o transporte e deposição dos sedimentos ao longo do canal.

Existe considerável dificuldade em utilizar modelos de erosão e transporte de sedimentos em grande escala, principalmente devido a descontinuidades no tempo e espaço, e baixa disponibilidade de dados *in situ*, necessários para calibração e validação. Neste sentido surgem novas técnicas de obtenção de dados, como a obtenção de uma correlação com a concentração de sedimentos em suspensão com o comportamento espectral da água, obtida através de produtos de sensoriamento remoto. Nos últimos anos, foi disponibilizado um novo método de aquisição de dados de sensoriamento remoto através da plataforma *Google Earth Engine* (GEE – GORELICK *et al.*, 2016). O GEE consiste em um banco de dados global, em uma única plataforma, no qual estão catalogados grande parte dos dados de sensoriamento remoto, como por exemplo, toda a coleção de satélites *Landsat*. O GEE funciona através de computação em nuvem, excluindo a necessidade de downloads de grande quantidade de dados, reduzindo o tempo de manipulação de dados, conferindo assim aumento na capacidade de processamento de séries temporais de imagens. (BUARQUE, 2015; FAGUNDES *et al.*, 2017; JENSEN, 2009).

O presente trabalho tem como objetivo fazer a utilização do GEE como forma de rápida obtenção de dados de sensoriamento remoto que serviram de auxílio na validação do modelo MGB-SED na bacia do rio Paraíba do Sul.

2 - ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul (Figura 1) atravessa os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, ocupando uma área de aproximadamente 57.000 km² referentes a 184 municípios. O rio Paraíba do sul é formado pela união dos rios Paraibuna e Paraitinga, na serra do Mar, no estado de São Paulo, e o seu comprimento, calculado a partir da nascente do rio Paraitinga até o seu deságue no mar, é de mais de 1.100 km. Atualmente a bacia está consideravelmente descaracterizada em relação às condições ambientais originais, não somente pela devastação quase total da cobertura vegetal, mas também pela expansão urbanas e industrial e a construção de barragens (MARENGO & ALVES, 2005; AGEVAP, 2014). Convém ressaltar que as medições sedimentométricas disponíveis na bacia apresentam períodos curtos e baixa frequência

de medições, tornando a bacia uma região interessante para aplicações de técnicas de sensoriamento remoto como obtenção de dados. (AGEVAP, 2014).

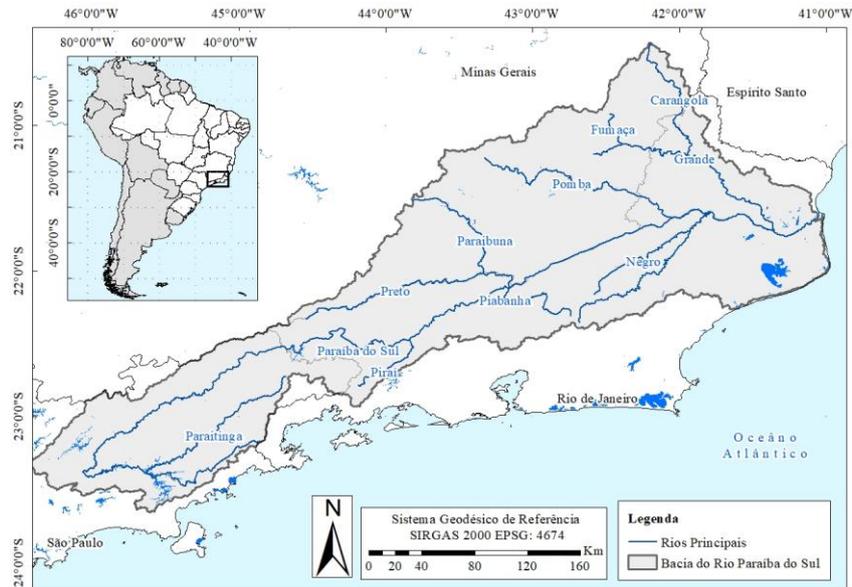


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul.

3 - BANCO DE DADOS

Para a realização da simulação hidrossedimentológica são necessários dados de chuva vazão e sedimentos para calibração e validação do modelo hidrológico e do modelo de sedimentos. Os dados foram obtidos, em escala diária, do sistema *Hidroweb*, mantido pela Agência Nacional de Águas (ANA). Para a simulação hidrológica, foram utilizados dados de chuva de 440 estações pluviométricas, dispostos ao redor da bacia com disponibilidade temporal superior a 1% entre o período de 1979 a 2010, e dados de vazão de 31 estações fluviométricas que apresentavam melhor distribuição espacial na bacia, representatividade dos principais rios da bacia, variações da área de drenagem à montante e 100% de dados medidos, sem falhas, em um longo período de tempo.

Há disponível ao todo, 37 estações com medições de sedimento. Porém a grande maioria apresenta menos de 10 medições ao longo do registro histórico e algumas se encontram em regiões da bacia com forte influência de reservatórios. Por fim, restaram seis estações (Figura 2) para serem utilizadas na calibração e validação do modelo de sedimentos, dentre eles, cinco utilizadas na calibração do modelo MGB-IPH. Mesmo sendo poucos, os postos se dispõem bem distribuídos pela bacia hidrográfica, possuem diferentes áreas de drenagem e representam a possibilidade de avaliar a dinâmica de sedimentos de quatro rios principais da bacia.

Para extração dos dados de sensoriamento remoto foi escrita uma rotina para *download* automático dos dados a partir do GEE. A rotina foi escrita com o intuito de adquirir dados

respectivos à banda do vermelho (0,64 – 0,67 μm) dos sensores TM e ETM+ dos satélites *Landsat 5* e *7*, respectivamente, com resolução espacial de 30 metros, a partir de um *shapefile* de pontos de interesse. As coleções de imagens selecionadas possuem a conversão de imagens brutas em reflectância de superfície, incluindo a correções atmosféricas. O Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) utiliza o *software Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System* (LEDAPS), que realiza o processamento em larga escala para toda coleção de imagens, incluindo: conversão de imagens brutas em reflectância de Topo da Atmosfera (TOA), detecção de *pixels* com nuvens com base na refletância do TOA e conversão para reflectância de superfície a partir da reflectância de topo da atmosfera (SCHIMIDT, *et al.*, 2013). Foram então definidos 8 pontos virtuais estratégicos (Figura 2) de extração de dados que possuem largura de rio superior à resolução espacial dos satélites.

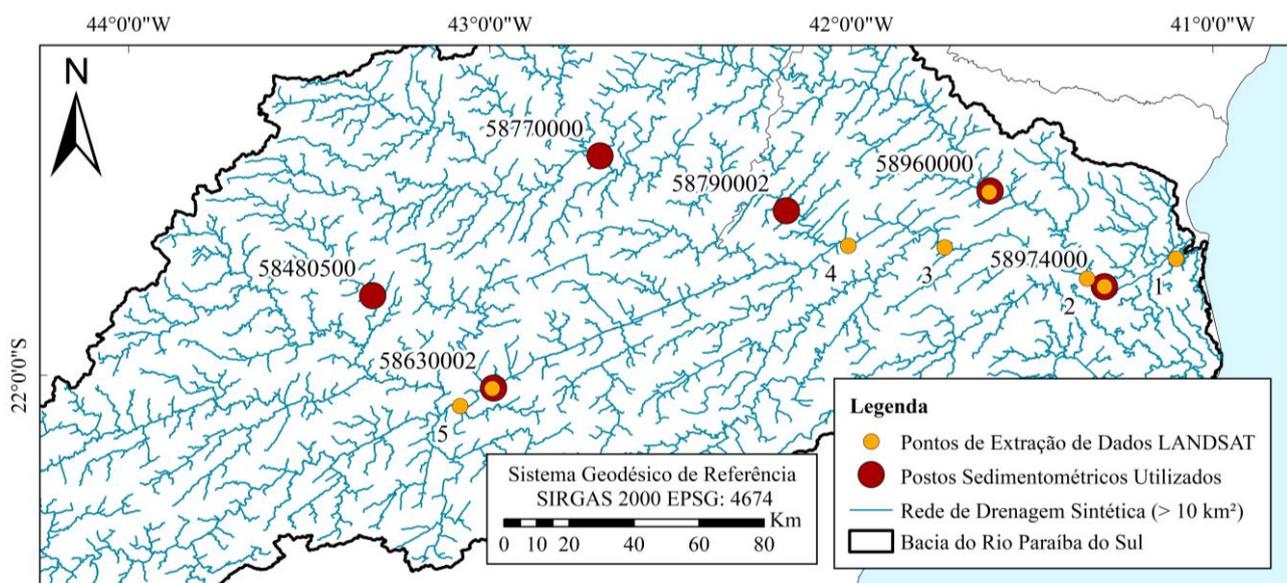


Figura 2 – Localização das estações de sedimentos e dos pontos de extração da reflectância da superfície.

4 - SIMULAÇÃO HIDROSSEDIMENTOLÓGICA

A simulação hidrossedimentológica divide-se em duas etapas: simulação hidrológica (MGB-IPH) e simulação da produção e transporte de sedimentos (MGB-SED). A simulação hidrológica contou com um período de calibração de 01/01/1979 a 01/01/2000, e de validação de 02/01/2000 a 31/12/2010, contando com a comparação entre os dados simulados pelo modelo frente aos dados medidos das 31 estações fluviométricas pré-selecionadas. Os resultados foram comparados, em termos de métricas de desempenho, pelos coeficientes de Nash-Sutcliffe (NASH), NASH do logaritmo das vazões (NASHlog) e erro de volume (BIAS). A calibração foi realizada de forma manual a partir do modificações de parâmetros calibráveis do modelo a partir de uma discretização espacial da bacia em 46 sub-bacias.

Os resultados do modelo hidrológico, após calibrado e validado, foram inseridos como dados de entrada no modelo de sedimentos, juntamente com a inserção de parâmetros físicos e calibráveis de fator de uso e cobertura do solo “C”, porcentagens de silte, argila, areia e carbono orgânico do solo, que foram obtidos através de aproximações por sub-bacia a partir de dados de tipos de solo da FAO (FAO, 2003). Os parâmetros foram calibrados de forma manual para as 46 sub-bacias e comparados com os dados das estações de sedimento a partir dos índices de eficiência de NASH, PBIAS e índice de correlação de Pearson (r). A calibração do modelo também contou com alterações nos parâmetros α e β da MUSLE, que eram fixos no modelo em seu formato original. Devido ao fato de os dados de sedimentos serem escassos, o modelo foi comparado posteriormente com os dados de sensoriamento remoto extraídos, através da correlação de Pearson, na busca de conferir maior grau de confiança na verificação do modelo.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 - Modelo Hidrológico

Das 32 estações, de acordo com as indicações de Moriasi *et al.* (2007), tanto para o período de calibração, quanto para o período de validação, mais de 90% das estações apresentaram valores satisfatórios para todas as métricas de validação. Mais de 35% apresentaram valores maiores do que 0,75 para NASH, mais de 60% apresentaram valores maiores do que 0,75 para NASHlog e mais de 93% das estações apresentaram valores de erro de volume inferiores a mais ou menos do que 10%. Esses valores indicam uma boa qualidade dos dados obtidos através da simulação hidrológica e podem ser evidenciados a partir da Figura 3A, na qual são especializados os índices de NASH obtidos e nas Figuras 3B e 3C, a partir da comparação dos hidrogramas simulados e observados para duas estações, inseridos no período de calibração do modelo.

5.2 - Modelo de Sedimentos

A simulação de sedimentos se restringiu apenas às cargas de sedimentos em suspensão (silte + argila). Os resultados, após a calibração, da simulação atingiram resultados considerados satisfatórios, quando comparados com as indicações de Moriasi *et al.* (2007), considerando algumas flexibilizações nas faixas dos valores por virtude dos autores terem realizado um trabalho em escala mensal, diferente da escala de análise da simulação deste trabalho (diária). A simulação apresentou para o período de calibração apenas uma estação com dados considerados insatisfatórios para cada métrica de desempenho analisada (NASH, PBIAS e r). Para o período de validação, houve piora nos dados, apresentando três estações consideradas insatisfatórias para NASH e duas para PBIAS e r . Salienta-se que mesmo que as estações selecionadas sejam as que

apresentam maior número de dados, ainda assim são poucos dados para se considerar satisfatória a comparação com os dados simulados.

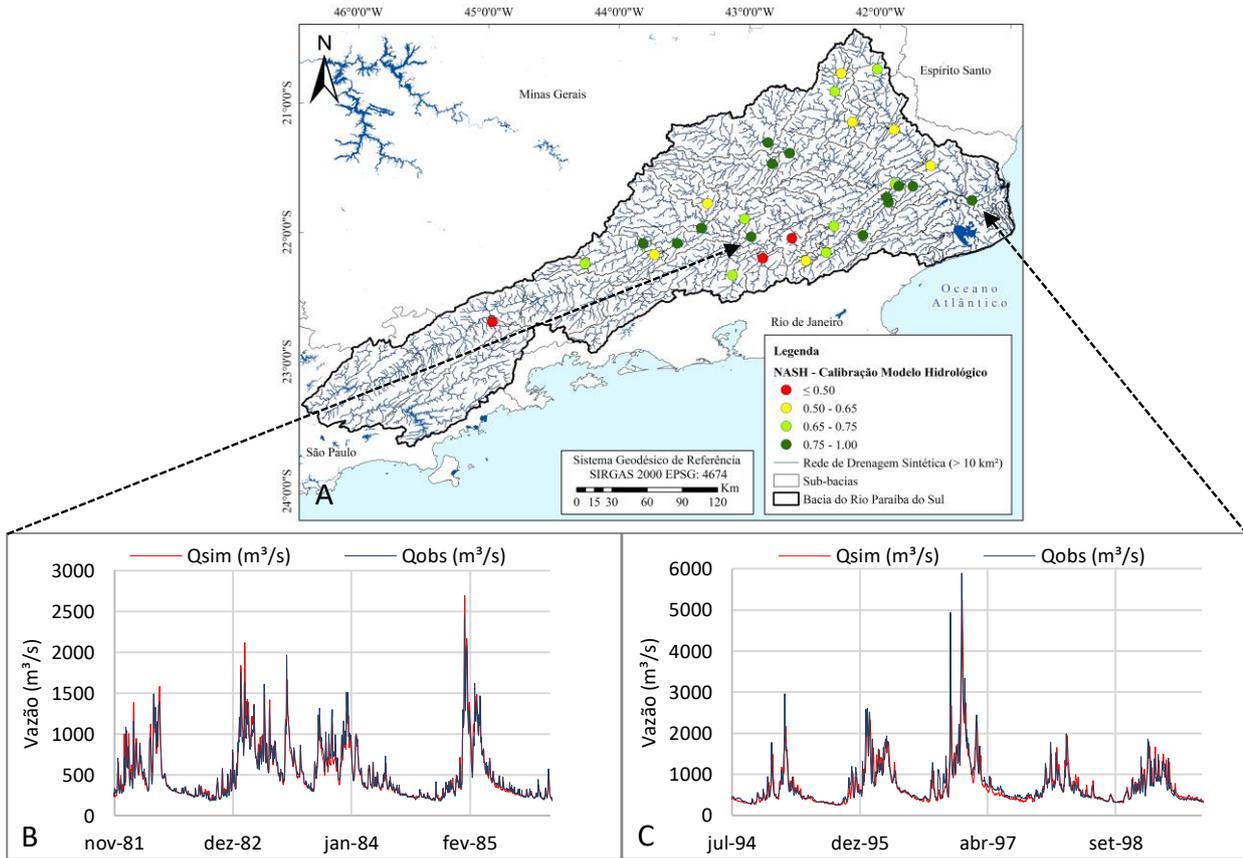


Figura 3 – Resultados do modelo hidrológico para o período de calibração: A) Coeficiente de NASH; B) Hidrograma simulado e observado na estação Anta G (58630002) e C) Hidrograma simulado e observado na estação Campos - Ponte Municipal (58974000).

Neste sentido, o foco de apresentação dos resultados será expresso na forma das comparações entre os dados simulados e a reflectância da banda do vermelho das imagens de satélites. Em todos os pontos de extração, as simulações do modelo de sedimentos apresentaram correlações maiores do que 0,5, tanto no período de calibração, quanto no período de validação. A Figura 4A apresenta a Espacialização dos resultados do coeficiente de correlação de Pearson nos pontos de extração de dados selecionados para o período de calibração do modelo de sedimentos MGB-SED, salientando que todos os pontos apresentaram correlação maior do que 0,5 e 3 apresentaram valores maiores do que 0,7. A Figura 4B apresenta um comparativo entre os valores de correlação obtidos entre os dados simulados, a reflectância da banda do vermelho e os dados de CSS medidos, onde é possível perceber que a correlação dos dados simulados com a reflectância da banda do vermelho é maior, em todos os casos onde o ponto virtual corresponde à uma estação de medição, do que a própria correlação com os dados de CSS medidos. A Figuras 4C e 4D apresentam comparações dessas variáveis para dois pontos: a estação sedimentométrica

Campos – Ponte Municipal (58974000), no rio Paraíba do Sul e estação Cardoso Moreira (58960000), no rio Muriaé, respectivamente.

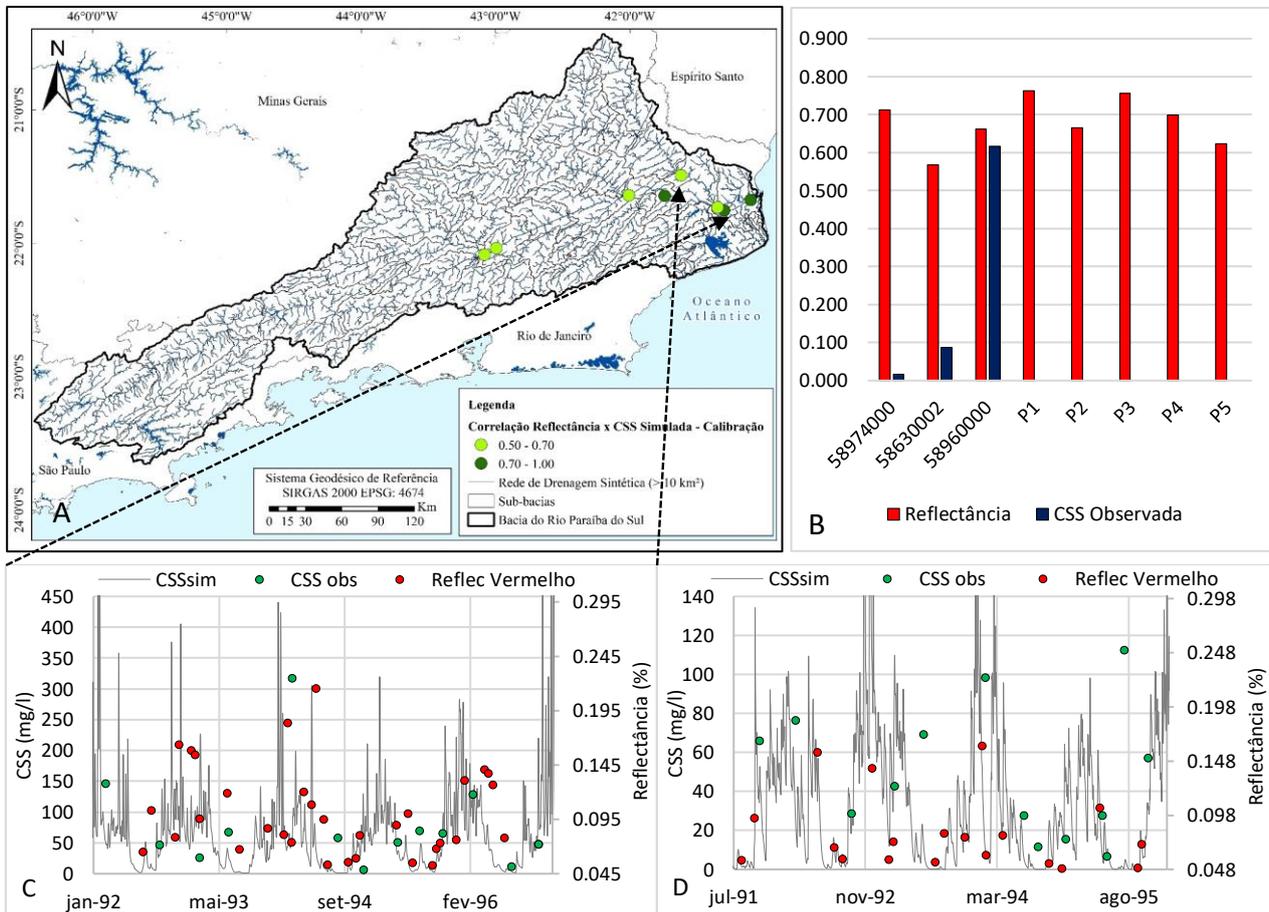


Figura 4 – Resultados do MGB-SED para o período de calibração do : A) r entre os dados simulados e a reflectância da banda do vermelho; B) CSS simulada, a reflectância espectral da banda do vermelho e os dados observados; C) CSS simulada, a reflectância espectral da banda do vermelho e os dados observados para o ponto da estação 58974000 e D) CSS simulada, a reflectância espectral da banda do vermelho e os dados observados para o ponto da estação 58960000.

6 - CONCLUSÕES

Os dados obtidos através das simulações mostraram que foi possível aplicar o modelo MGB-SED na bacia do rio Paraíba do sul. O modelo hidrológico apresentou resultados considerados muito bons em diferentes partes da bacia, apresentando altas porcentagens de métricas de desempenho consideradas satisfatórias, tanto para o período de calibração como validação do modelo. Sobre a simulação de sedimentos, foi possível perceber que os dados medidos *in situ* não são suficientes, em escala espacial e temporal, para calibrar e validar o modelo, mesmo havendo métricas de desempenho consideradas satisfatórias em algumas estações de análise.

Neste sentido, a ferramenta GEE se mostrou muito eficaz da aquisição de dados, tornando o processo de análise de dados de sensoriamento remoto muito mais prático, rápido e eficaz. Esses dados foram importantes para validação dos dados simulados, por apresentarem altas correlações para todos os pontos analisados. As correlações dos dados de sensoriamento remoto foram maiores do que a correlação com os dados medidos, conferindo maior peso e importância no auxílio das simulações hidrossedimentológicas.

BIBLIOGRAFIA

- AGEVAP. (2014) *Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e Planos de Ação de Recursos Hídricos das Bacias Afluentes – Relatório Diagnóstico (RP-06)*.
- BUARQUE, D, C. (2015) *Simulação da geração e do transporte de sedimentos em grandes bacias: Estudo de caso do Rio Madeira*. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS. 224p.
- CARVALHO, N, O. (2007). *Hidrossedimentologia Prática*. 2ª edição. Rio de Janeiro: Interciência.
- COLLISCHONN, W; ALLASIA, D; SILVA, B, C; TUCCI, C, E, M. (2007). The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling. *Hydrological Sciences Journal*, v. 52. p. 878-895.
- FAGUNDES, H, O; PAIVA R. C. D; FAN, F. M; (2017). Sedimentos em suspensão observados com imagens *Landsat* para modelagem de grandes bacias. XXII *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Anais. Florianópolis.
- FAO. (2007). *Digital Soil Map of the World 3.6*. FAO Geonetwork. Escala 1:5.000.000.
- GORELICK, N. *et al.* (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. v. 202. p. 18–27.
- JENSEN, J, R. (2009). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. New Delhi: Pearson Education India. 613 p.
- MARENGO, J, A; ALVES, L, M. (2005). Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba Do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*. v.20. n.2. p. 215-226.
- MERRITT, W, S; LETCHER, R, A; JAKEMAN, A, J. (2003). A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling and Software*. v. 18. n. 8–9. p. 761–799.
- MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. Transactions of the ASABE. v. 50. p. 885-900.
- MORRIS, G, L; FAN, J. (1998) *Reservoir Sedimentation Handbook*. New York: McGraw-Hill Book Co.
- SCHMIDT, G.L., JENKERSON, C.B., MASEK, J., VERMOTE, E., GAO, F. (2013). Landsat ecosystem disturbance adaptive processing system (LEDAPS) algorithm description: U.S. *Geological Survey Open-File Report*. 17 p.