

Reconstrução de uma serie histórica de descarga de sedimentos usando imagens de satélite MODIS nos rios da Amazônia peruana

Raúl Espinoza Villar¹
Jean-Michel Martinez¹²
Jean-Loup Guyot²
Pascal Fraizy²
Elisa Armijos Cárdenas³
Hector Bazan Cordoba³
Alain Crave⁴
Philippe Vauchel²³⁵
Waldo Lavado Casimiro⁵

¹ Universidade de Brasilia, Insituto de Geociências,
Campus Darcy Ribeiro, 70910900 Brasilia (DF), Brazil
raulev@unb.br

² Institut de Recherche pour le Développement; LMTG; F-31400 Toulouse, France.
{jean-michel.martinez, jean-loup.guyot, pascal.fraizy, alain.crave, philippe.vauchel}@ird.fr

³ Universidad Nacional Agraria La Molina – Facultad de Ingeniería Agrícola,
Avenida La Molina s/n, Lima 12, Peru
{eliarmijos, hector_bazan}@hotmail.com

⁴ Université Rennes, Géosciences Rennes UMR 6118
Université de Rennes1. Campus de Beaulieu 35042 Rennes Cedex

⁵ Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
Jr. Cahuide 785 Jesús María, Lima11 - Peru
wlavado@senamhi.gob.pe

Abstract. The use of satellite imagery to assess river sediment discharge is discussed in the context of poorly gauged basins. The HYBAM program completed the Peruvian Meteorological and Hydrological Service (SENAMHI) network increasing water quality, allowing assessment of both river discharge and surface suspended sediment (SSS) concentration. We analyze the case of the three stations near the Marañón and Ucayali rivers confluence that form the Amazon River. Two stations present complete time series of 10-day SSS samples. The third station, along the Ucayali River, failed to provide valid estimates of SSS concentration at the river. The objective is to use the satellite data 1) to substitute the missing records in order to assess the Ucayali river sediment discharge that has never been assessed directly before; 2) to extend the river sediment discharge records over the two other stations. Water reflectance assessed from time series of MODIS images is calibrated using field sampling campaigns to provide SSS estimates from satellite. Validation is achieved on an independent dataset that is the 10-day SSS samples derived from the network. Over the 2004-2008 period, we demonstrate that there is a good agreement, better than 10%, for two stations for which we have complete field records. Making use of satellite-derived SSS estimate assessed from 2000-2009, we show that the river sediment balance is closed between upstream and downstream stations.

Palavras-chave: water color, sediment discharge, sediment concentration, hydrology, Amazon River, monitoring, cor d'água, descarga de sedimentos, concentração de sedimentos, hidrologia, rio Amazonas, monitoramento

1. Introdução

A demanda crescente de informações sobre os recursos hídricos para estudos do controle ambiental faz necessário considerar os diferentes métodos a fim de recolher os parâmetros de monitoramento. A eficácia do monitoramento hidrológico é dada em função do número de parâmetros, da frequência e da distribuição espacial das medições na bacia (Hooper, 1997). Portanto, as estações devem fornecer dados a longo e contínuos períodos, independentemente do

contingente político e institucional, como nas bacias multinacionais. No entanto, a instalação e o custo de manutenção, geralmente limitam a implementação de uma rede de monitoramento. Estima-se que três quartos do planeta, não permitem um monitoramento em plena escala da qualidade d'água e não será obtido em um futuro próximo (GEMS, 2003). As técnicas convencionais de monitoramento das águas não podem acompanhar a crescente demanda de controle da qualidade das águas, sendo necessário criar soluções alternativas.

As propriedades ópticas da água mostram robusta ligação com alguns parâmetros da qualidade d'água, tais como turbidez (AG Dekker, 2002; Mertes et al, 1993.), pigmento de algas (Gohin et al, 2002.; Schalles et al, 1998.), matéria orgânica (Vodacek et al., 1995) ou para a detecção de derrames de petróleo (Lennon et al., 2006). Estas observações têm sido geralmente limitadas a estudos pontuais, em corpos d'água continentais. Em estudo recente, sensores espaciais como *Moderate-Resolution Image Spectroradiometer* (MODIS) foram utilizados para completar a rede de monitoramento, e para avaliar a concentração de sedimentos em suspensão de superfície (SSS) do rio Amazonas no Brasil, (Martinez et al., 2009). Este trabalho abre novas perspectivas no monitoramento da qualidade das águas superficiais, a partir de dados dos sensores MODIS, pois fornecem cobertura global diária permitindo realizar estimativas de refletância de qualquer ponto da superfície terrestre.

Neste estudo, fazemos uso de dados MODIS para agregar informações à rede de monitoramento, na região de formação do Rio Amazonas, no Peru. Nessa região, o Serviço Nacional de Hidrologia e Meteorologia do Peru (SENAMHI), tem monitorado o nível das águas do rio, por mais de 20 anos, porém não sendo possível o levantamento de informações disponíveis, como parâmetros básicos de qualidade da água. Desde 2004, o programa HYBAM (www.ore-hybam.org) junto ao SENAMHI, instalou uma rede de estações, para o monitoramento nos principais rios do leste do Peru, para monitorar a concentração de sedimentos em suspensão de superfície, bem como outros parâmetros. A partir de informações de campo, foram calibrados os dados de satélite e utilizados para realizar estimativas dos fluxos sedimentares nos rios Marañon, Ucayali e Amazonas. A precisão do método será discutida, bem como a integração de medidas no terreno clássico, juntamente com técnicas espaciais.

2. Zona de estudo e metodologia

2.1. Hidrologia

A bacia amazônica drena 76% do território peruano (977,900 km²) e representa 98% dos recursos hídricos do Peru (Guyot et al., 2007b). O rio Amazonas é formado no Peru na confluência dos rios Marañon e Ucayali, que drenam 350.000 km² e 360.000 km², respectivamente.

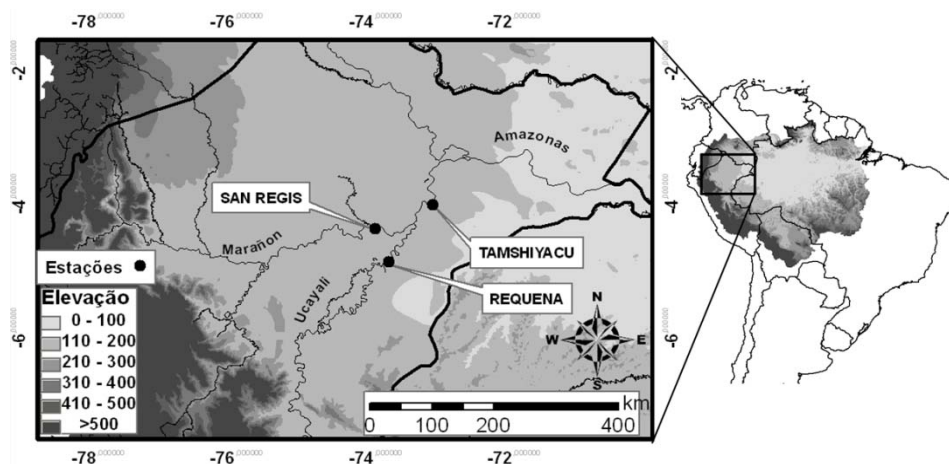


Figura 1. Localização das três estações hidrológicas estudadas no Peru. San Regis (SRG) no rio Marañon, Requena (REQ) no rio Ucayali e Tamshiyacu (TAM) no rio Amazonas.

A Figura 1 mostra a localização das três estações que serão objeto deste estudo: San Regis (SRG) (4.51°S, 73.91°W) no rio Marañom, Requena (REQ) (5,03° S; 73,83° W) no rio Ucayali e Tamshiyacu (TAM) (4,00°S; 73,16°W) no rio Amazonas. A Figura 2 apresenta a série temporal de descarga para as três estações. Nas estações SRG e REQ, o regime hidrológico é muito semelhante, com um pico de cheia entre março e maio, e período de águas baixas, que ocorre entre agosto e outubro. Como não há afluentes significativos entre as três estações, a descarga do rio TAM é simplesmente a soma dos REQ e SRG, sem considerar os erros de medição.

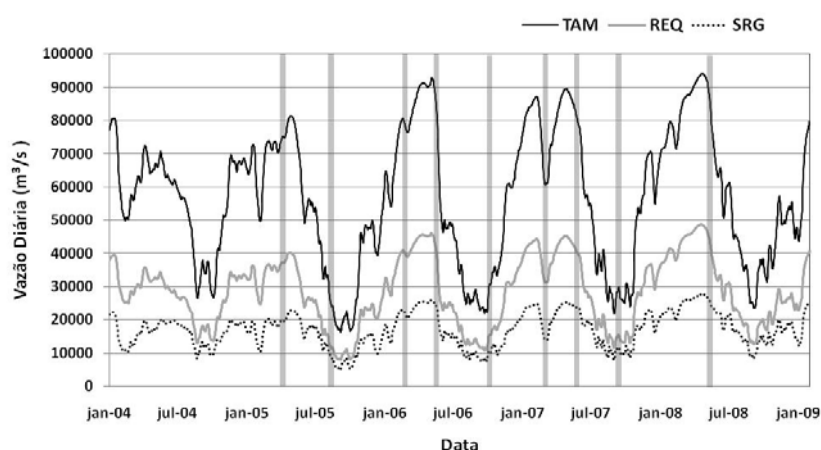


Figura 2. Vazão diária dos rios Marañom (SRG), Ucayali (REQ) e Amazonas (TAM). As barras cinza marcam as datas das nove campanhas de amostragem, as quais foram usadas para a calibração dos dados de satélite.

2.2. Rede de monitoramentos

De agosto de 2004 a julho de 2006, foram coletadas amostras de 500 ml de água, perfazendo um total de 65, 72 e 72 dados de SSS em REQ, SRG e TAM respectivamente. A amostra de SSS é coletada por um operador cada 10 dias em um ponto fixo nos rios. As amostras são passadas em filtros de acetato de celulosa de 0.45 μm , previamente secadas e pesadas. A diferença de pesos antes e depois do filtrado permite a estimativa da quantidade de matéria em suspensão por unidade de volume de água.

Na estação REQ, as amostras de SSS apresentaram valor muito inferior as outras estações e ao relacionar os dados de SSS das 3 estações, torna-se evidente que as medições na estação REQ foram mal amostradas. O deslocamento local dos meandros fez com que a pluma de um afluente afetasse a zona de amostragem causando erro nas medições. A amostragem neste local foi abandonada, que significa ausência de dados de SSS na rede HYBAM para o rio Ucayali.

2.3. Concentração média de sedimentos em suspensão.

Em cada estação, foram realizadas campanhas de amostragem entre 2005 e 2008 (8 na TAM, 9 em SRG, 9 em REQ) para relacionar amostras de superfície de cada 10 dias com a concentração média de sedimentos em suspensão (MSS), na secção transversal do rio. As medidas de campo foram definidas para que seja amostrado cada período hidrológico, pelo menos duas vezes (Figura 2). A MSS foi calculada com nove amostras de água coletadas em três pontos verticais e três horizontais, desde a superfície até o fundo da coluna d'água. Cada amostra foi processada usando o mesmo protocolo para a rede de 10 dias de medição HYBAM.

Na Figura 3, é possível observar a concentração de SSS como função de concentração da MSS para todas as campanhas. A concentração de MSS é fortemente correlacionada com as concentrações de SSS, confirmando que os dados da superfície são bons estimadores da concentração média do perfil do rio. Uma relação única pode ser usada para as três estações

juntas, mas para maior precisão, optou-se por trabalhar separadamente cada rio, usando a seguinte relação para as estações TAM, SRG e REQ:

$$MSS_{TAM} = 1,12 SSS_{TAM} + 34,3 \quad (1)$$

$$MSS_{SRG} = 1,00 SSS_{SRG} + 72,5 \quad (2)$$

$$MSS_{REQ} = 1,18 SSS_{REQ} + 67,6 \quad (3)$$

As Equações 1, 2 e 3 foram utilizadas para obter a concentração de MSS a partir da concentração de SSS durante todo o período, seja pela rede de medição (2004-2006), seja por dados de satélite (2000-2008).

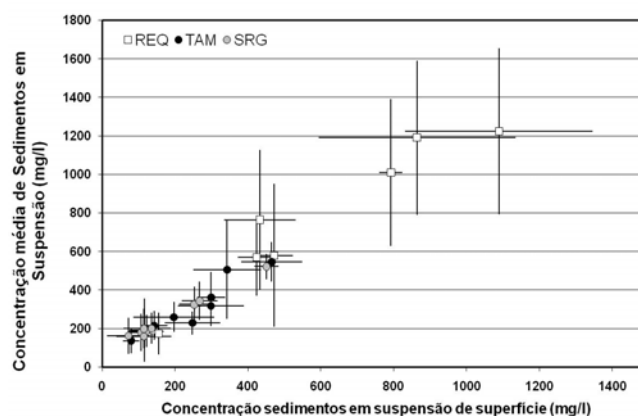


Figura 3. Concentração média de sedimentos em suspensão (MSS) em função da concentração de sedimentos em suspensão de superfície (SSS) medidos em 9 campanhas de campo nas estações REQ, TAM e SRG. As barras de erro são o desvio padrão das amostras.

2.4. Imagens de satélite

Neste estudo foram usados produtos de refletância superficial collection 5 com correção atmosférica, do sensor MODIS nos satélites TERRA e AQUA. Os dados do produto MODIS são MOD09Q1 (abordo do satélite TERRA) e MYD09Q1 (abordo do satélite AQUA). Estes são fornecidos previamente calibrados com duas bandas radiométricas medidas com uma resolução espacial de 250 m, oferecendo cobertura em tempo quase diária sobre as áreas tropicais (<http://modis.gsfc.nasa.gov>). Os dados de refletância MODIS compostos de 8 dias foram adquiridos desde março de 2000 até outubro de 2009 do *Earth Observing System* (EOS) da NASA. Foram utilizadas imagens compostas de 8 dias pois apresentaram as seguintes características: i) são compatíveis com a frequência de amostragem de campo, cada 10 dias, ii) isto reduz a quantidade de imagens com nuvens e consequentemente a quantidade de dados a serem analisados e iii) reduz significativamente o efeito da direção da refletância e da atmosfera.

A medição da refletância nos rios usando dados MODIS não é fácil devido à baixa resolução espacial do sensor. Isso resulta em poucos pixels puros (não misturados) de água dependendo da largura do rio e da geometria de aquisição da imagem. A mistura espacial é amplamente discutida na literatura e ocorre quando materiais diferentes estão presentes em um mesmo pixel. No contexto deste estudo a mistura espacial pode ocorrer entre água, vegetação ribeirinha ou bancos de areia. Assim sendo, foi desenvolvido um algoritmo específico que permite obter a refletância dos *endmembers* d'água em cada imagem. Primeiramente, os pixels do rio são divididos em grupos homogêneos usando o algoritmo *K-means* (Martinez et al., Submitted; Martinez et al., 2009). Logo, a fração de cada *endmember* em cada grupo é obtida por meio da aplicação da técnica dos mínimos quadrados para minimizar o resíduo não modelado. O conjunto de equações lineares é resolvido testando cada grupo como um possível *endmember* d'água "pura". O grupo que leva o menor residual é mantido como o *endmember* d'água (Martinez et al., Submitted).

3. Resultados

A calibração entre a refletância e a concentração de sedimentos em suspensão de superfície, foi feita comparando a refletância do *endmember* d'água calculada das imagens compostas de 8 dias com SSS medidos durante as campanhas de campo realizadas entre 2005 e 2008. A Figura 4 a, b e c mostra a refletância da imagem composta de 8 dias como função da concentração média de SSS nas estações TAM, SRG e REQ, respectivamente. A concentração média de SSS foi computada para cada amostragem calculando a média das 3 amostras da superfície coletadas no perfil do rio. O número de comparações é dada em função da cobertura de nuvens nos dias de amostragem de campo. A Figura 4a mostra que a refletância é fortemente correlacionado ($r^2 = 0,99$, $N = 7$) com o SSS medidos em uma alta amplitude de concentrações (142-500 mg/l) na estação TAM. Na Figura 4b é possível observar a refletância como função da concentração de SSS na estação SRG, mostrando uma dispersão razoável ($r^2 = 0,87$, $N = 6$) para uma amplitude mais limitada de concentrações (88-430 mg/l). A Figura 4c mostra a refletância superficial das imagens compostas de 8 dias como função da concentração de SSS na estação REQ. Encontra-se desta forma, uma fina correlação ($r^2 = 0,80$, $N = 6$) para uma grande amplitude de concentrações de 116-864 mg/l.

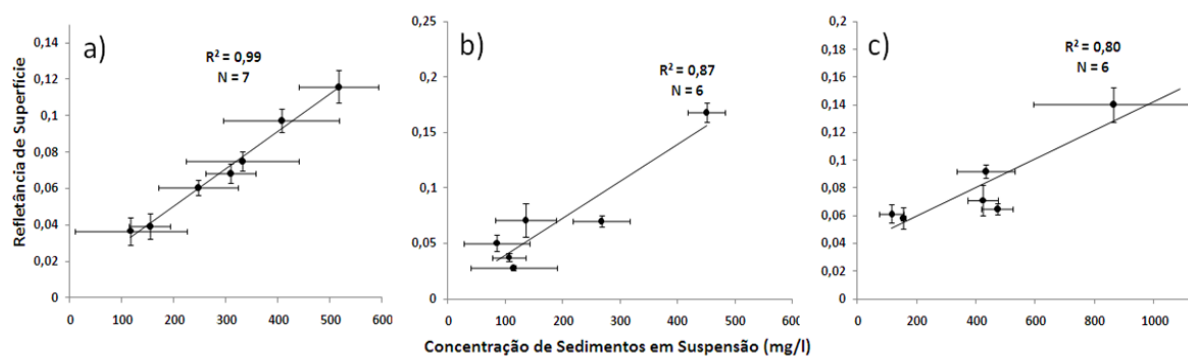


Figura 4. Relação entre a concentração de sedimentos em suspensão de superfície (calculado para as amostras de campanhas) e a refletância de superfície MODIS na estação: a) Tamshiyacu, b) San regis e c) Requena.

As curvas de calibração obtidas para cada estação demonstram a capacidade dos sensores MODIS para monitorar as concentrações de SSS sobre os 3 rios considerados. Nota-se que a relação entre concentração de SSS e refletância varia significativamente de um rio ao outro, mas pode permanecer estável no tempo. Essas diferenças podem estar relacionadas aos diferentes tipos de sedimentos entre as duas bacias hidrográficas. Conforme expressado por Kirk (1994) a busca de um algoritmo universal pode não ter sucesso. Como a relação entre sedimentos e a refletância é dada em função da granulometria e do tamanho médio das partículas de sedimentos, que depende das características de cada bacia hidrográfica. Guyot et al. (2007a) menciona que a composição das argilas são diferentes nos dois rios.

Para a validação das estimativas dos SSS derivados do satélite fazemos uso de um conjunto de dados independentes de campo, que é o banco de dados da rede de amostragem a cada 10 dias. Análise da variabilidade das amostras de SSS em curta escala de tempo mostra uma variação significativa de uma amostra para outra. Nas estações TAM e SRG, duas amostras consecutivas de 10 dias, mostram uma variação média de 35% e 60%, respectivamente, considerando todas as amostras coletadas em cada estação entre 2004 e 2006. Assim, a fim de reduzir o viés introduzido pela diferença de tempo nas comparações entre a refletância de imagens de 8 dias e as estimativas de 10 dias de SSS, são consideradas médias mensais. A Figuras 5 mostra a descarga mensal de sedimentos nas estações TAM e SRG calculada a partir da rede HYBAM e das imagens de satélite. A Figura 6 mostra a média mensal de descarga de sedimentos na estação REQ calculada a partir de imagens de satélite e do equilíbrio entre as estações SRG+REQ e TAM, pois não há rede

de dados válidos para produzir estimativas de descarga de sedimentos. Para todos os casos, o fluxo médio mensal de sedimentos é calculado multiplicando dados médios mensais de vazão para registros médios mensais de concentração MSS. A descarga média mensal é estimada com a média dos dados diários. Os dados de concentração de MSS são calculados usando as equações (1) em TAM, (2) em SRG e (3) em REQ com os dados estimados de concentração de SSS. A média mensal de concentração em MSS é calculada pela média de cada dado de 10 dias ou estimado do MODIS.

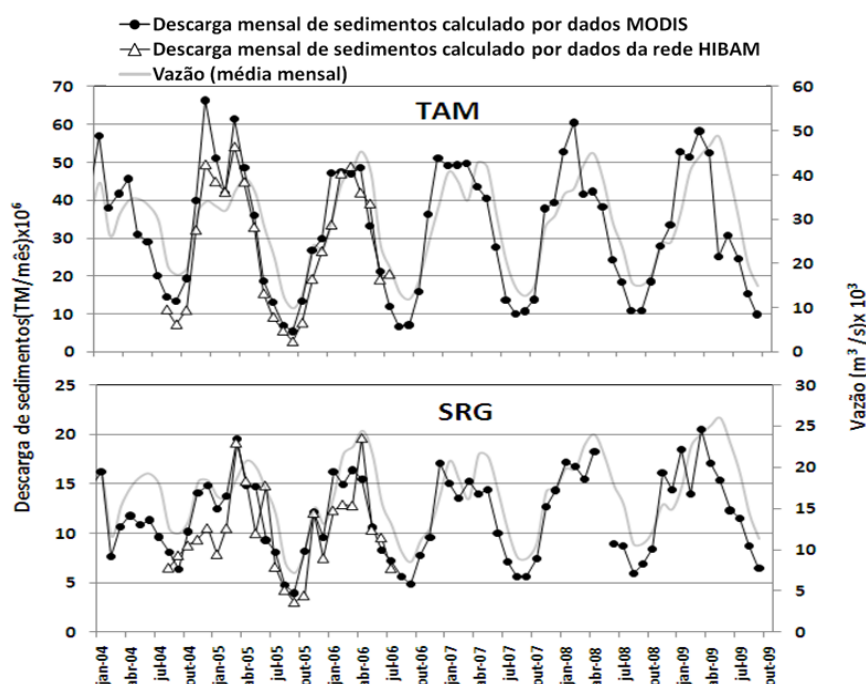


Figura 5: Comparação entre a vazão média mensal com a descarga de sedimentos estimado pelas medidas de campo e as imagens MODIS em TAM (rio Amazonas) e SRG (rio Marañon).

A descarga estimada é comparada durante 2 ciclos hidrológicos (Agosto de 2004 – Julho 2005 e Agosto de 2005 – Julho 2006) nos quais temos para ambos registros completos de dados de concentração de SSS, derivados da rede de monitoramento e obtidos por satélite. Ambos dados de descarga de sedimentos derivado da rede de monitoramento e as derivadas das imagens MODIS concordam estreitamente. Na estação TAM, a diferença relativa entre ambas estimativas de descarga solida anual é de -9,9% (descarga de sedimentos de 496×10^6 toneladas com os dados da rede de monitoramento e 546×10^6 toneladas com dados de satélite) para o ciclo hidrológico de 2004-2005. A diferença relativa cai para -2,7% para o ciclo hidrológico de 2005-2006 na mesma estação (descarga de sedimentos de 438×10^6 toneladas com os dados da rede de monitoramento e 450×10^6 toneladas com dados de satélite). Na estação SRG a diferença relativa é de -1,58% (descarga de sedimentos de 190×10^6 toneladas com os dados da rede de monitoramento e 193×10^6 toneladas com dados de satélite) para o ciclo hidrológico de 2004-2005 e +1,43% durante o ciclo hidrológico de 2005-2006 (descarga de sedimentos de 173×10^6 toneladas com os dados da rede de monitoramento e 170×10^6 toneladas com dados de satélite). Em ambos os casos, a descarga solida mínima e máxima são muito bem obtidas pelo satélite, embora algumas discrepâncias podem ser encontradas durante o pico de cheia em SRG. É provável que a variabilidade temporal muito maior de SSS na estação SRG (60%) introduza alguma viés nas comparações.

Foram comparadas as descargas de sedimentos calculadas a partir dos dados do satélite e a vazão registrada em cada estação. Por não ter rios tributários entre as estações de REQ, SRG e TAM, a descarga de sedimentos na estação TAM deveria ser a somatória das descargas nas estações REQ e SRG. A Figura 6 mostra a descarga média mensal de sedimentos na estação

TAM em função das estações REQ e SRG calculado por satélite para os meses correspondentes no período de 2000 até 2009, representando 104 meses. O *Root Mean Square Error* é perto de 6×10^6 toneladas/mês (18% relativamente à média da amostra). A dispersão parece aumentar em função da descarga de sedimentos causando uma ligeira subestimação da descarga de sedimentos a jusante de 3%.

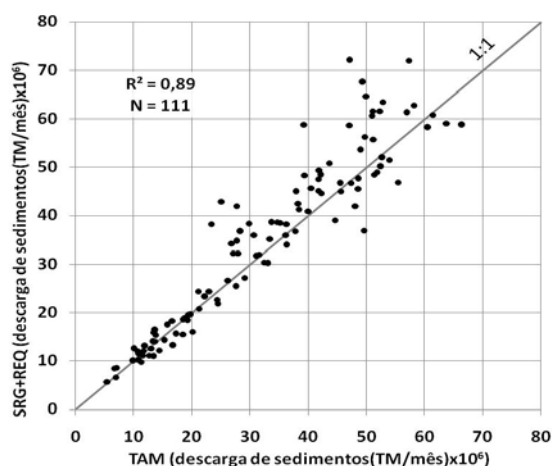


Figura 6: Média mensal de descarga de sedimentos no rio Amazonas (TAM) em função da média mensal de descarga de sólidos nos rios Marañon (SRG) e Ucayali (REQ). Valores estimados com as imagens de satélite e vazão média mensal de 2000 até 2009.

Esses resultados demonstram que, no contexto de ter uma bacia mal calibrada com um conjunto reduzido de estações da rede de monitoramento e com campanhas de amostragem, podem ser usados os dados de satélite para fornecer observações da descarga de sedimentos em suspensão. Desta forma, demonstra-se que os dados de satélite podem ser usados tanto para 1) complementar registros perdidos, 2) conferir a qualidade dos dados quando os registros estão disponíveis, 3) estender séries de tempo antes ou depois de uma estação ter sido instalada ou ter sido desinstaladas, 4) fornecer estimativas onde a montagem e/ou manutenção impedem a instalação de um posto de controle da qualidade da água. O caso da estação REQ se enquadra nas opções #2 e #4, pois essa estação não forneceu dados robustos. A aplicação #3 se adequa às estações SRG e TAM que exibem séries temporais curtas a partir de 2004, enquanto os dados MODIS estão disponíveis a partir de março de 2000. Finalmente, a opção #2 se aplica para qualquer estação de monitoramento no contexto da verificação da consistência entre as estações localizadas a montante e a jusante do rio.

Uma limitação pode ser encontrada no fato de que dados de satélite só podem fornecer estimativas para a camada superficial da água (menos de um metro, neste caso, devido à forte turbidez da água). Sabe-se que a concentração de SSS pode ser um preditor muito bom para a concentração em MSS, em todo perfil do rio para sedimentos finos, mas ruins para as partículas grossas. A resolução espacial das imagens MODIS limita o uso desses dados ao longo dos rios pequenos e médios, mas espera-se que em poucos anos, os satélites de observação da Terra ofereçam uma melhor resolução espacial, combinada com um tempo adequado de frequência de revisita.

4. Conclusão

Grandes bacias hidrográficas, como as dos trópicos ou em zonas boreais põem a primeira vista o impacto das mudanças climáticas e outras mudanças antrópicas. No entanto, essas áreas são provavelmente as menos monitoradas devido ao custo elevado das infra-estruturas necessárias. Deve ser considerado o uso de soluções alternativas para monitorar alguns

parâmetros básicos de qualidade da água, tais como concentração de sedimentos. Neste artigo, é possível perceber que os sensores existentes, tais como o MODIS, podem ser considerados para o monitoramento operacional da vazão de sedimentos em bacias hidrográficas de grande porte. A precisão do método é verificada de duas formas. Primeiro, a descarga de sedimentos do rio calculada por satélite é controlada e comparada com outras estimativas independentes, e avaliada a partir de amostras HYBAM de 10 dias entre 2004 e 2006. Para as duas estações, onde os dados de campo e dados de satélite estão disponíveis, observa-se que as descargas de sedimentos provenientes das estimativas têm uma concordância superior a 90% respeito a média. Em segundo, se mostra que usando as medições derivadas de satélite, o balanço de sedimento do rio está encerrada entre as estações a montante e a jusante.

Bibliography

A.G. Dekker, R.J.V., S.W.M. Peters, 2002. Analytical algorithms for lake water TSM estimation for retrospective analyses of TM and SPOT sensor data. **International journal of remote sensing**, 23(1): 15-35.

Adriaanse, M., Chilton, J., Diop, F., Henrik, N., Igarashi, S., Jimbow, T., Kariya, S., Lonergan, S., Maurer, T., Meybeck, M., Robarts, M., Yamashiki, Y. Improving Global Water quality monitoring - Technical Advisory Paper No. 1. Global Environment Monitoring System (GEMS) October 2003. Burlington, Ontario, Canada. Disponível em: http://www.gemswater.org/common/pdfs/tech_advisory_paper_1.pdf. Acesso em: 09 nov. 2010.

Gohin, F., Druon, J.N. and Lampert, L., 2002. A five channel chlorophyll concentration algorithm applied to SeaWiFS data processed by SeaDas in coastal waters. **International journal of remote sensing**, 23: 1639-1661.

Guyot, J.L., Jouanneau, J.M., Soares, L., Boaventura, G.R., Maillet, N., & Lagane, C. (2007). Clay mineral composition of river sediments in the Amazon basin. **Catena**, 71, 340-356

Guyot, J.L., Bazan, H. Frazy, P. Ordoñez, J. Armijos, E. Laraque, A., Suspended sediment yields in the Amazon basin of Peru: a first estimation. In: Water Quality and Sediment Behaviour of the Future: Predictions for the 21st Century Proceedings of Symposium HS2005-IUGG2007, Perugia, July 2007. IAHS Publ. 314, 2007, 3-10

Hooper, R.P., 1997. Sediment sampling in the national stream quality accounting network. In: U.S. Geological Survey (USGS) Sediment Workshop, February 4-7, 1997. Atlanta, GA. Disponível em: <http://water.usgs.gov/osw/techniques/workshop/hooper.html>. Acesso em: 09 nov. 2010.

Kirk, J.T. O. 1994 Characteristics of the Light Field in Highly Turbid Waters: A Monte Carlo Study. **Limnology and Oceanography**, Vol. 39, No. 3. (May, 1994), pp. 702-706.

Lennon, M., Babichenko, S., Thomas, N., Mariette, V., Mercier, G., Lisin, A. Detection and mapping of oil slicks in the sea by combined use of hyperspectral imagery and laser-induced fluorescence. In: European Association of Remote Sensing Laboratories (EARSeL eProceedings) 5, issue/2006, pp. 120-128. Disponível em <http://www.actimar.fr>. Acesso em: 09 nov. 2010.

Martinez, J.M., Guyot, J.L., Cochonneau, G., Espinoza Villar, R., Filizola, N., & Seyler, F. (2007). Surface water quality monitoring of rivers with MODIS data - Application to the Amazon River. **Submitted to Remote Sensing of Environment**

Martinez, J.M., Guyot, J.L., Filizola, N. and Sondag, F., 2009. Increase in suspended sediment discharge of the Amazon River assessed by monitoring network and satellite data. **Catena**, 79: 257-264.

Mertes, L.A.K., Smith, C.T. and Adams, J.B., 1993. Estimating Suspended Sediment Concentrations in Surface Waters of the Amazon River Wetlands from Landsat Images. **Remote Sensing Environment**, 43: 281-301.

Schalles, J.F., Gitelson, A., Yacobi, Y.Z. and Kroenke, A.E., 1998. Chlorophyll estimation using whole seasonal, remotely sensed high spectral-resolution data for an eutrophic lake. **Journal of Phycology**, 34: 383-390.

Vodacek, A. et al., 1995. The in situ and airborne fluorescence measurements to determine UV absorption coefficients and DOC concentrations in surface waters. **Limnology and Oceanography**, 40: 411-415.