

## Viabilidade de estimativa de sedimentos suspensos com dados TM/Landsat-5 para o rio Araguaia

Édipo Henrique Cremon<sup>1</sup>  
Otávio Cristiano Montanher<sup>2</sup>  
Maximiliano Bayer<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG  
Rua 75, nº46. Centro - CEP: 74055-110 - Goiânia – GO, Brasil  
edipo.cremon@ifg.edu.br

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Maringá - UEM/GEMA  
Avenida Colombo, 5790 - Bloco 024 - Bairro: Zona Sete  
CEP: 87.020-900 - Maringá - PR, Brasil  
otaviocmontanher@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Universidade Federal de Goiás - UFG  
Caixa Postal 131 - 74001-970 - Goiânia - GO, Brasil  
maxibayer@yahoo.com.ar

**Abstract.** The aim of this study was to evaluate the feasibility of integrating TM/Landsat 5 data and *in situ* suspended sediment concentration (SSC) data to generate empirical models for estimating SSC in the Araguaia River. The results of this assessment show that only 7 out of 9 SSC gauging stations can be used. These stations shows 70 samples with almost simultaneous TM sensor data ranging from 4 to 260 mg/l. Statistical distribution of these samples is similar to the distribution of the entire sample set available for the Araguaia River. There would be an increase of about 607% of SSC samples by each gauging station in the database, if remote sensing models were implemented. The results showed feasibility to develop remote sensing SSC estimates based in enough concurrent TM/Landsat-5 data and *in situ* measures, which could be used to increase the SSC sample density of the Araguaia River. Thus, the next step of this research is the development and test of these empirical models.

**Palavras-chave:** remote sensing, sediment transport, empirical models, Araguaia River, sensoriamento remoto, transporte de sedimentos, modelos empíricos, rio Araguaia.

### 1. Introdução

A degradação dos biomas tropicais por desmatamento, mudança de uso e cobertura do solo, mineração, barragens hidroelétricas e outras atividades tem chamado a atenção de ambientalistas, a imprensa e a comunidade científica nas últimas décadas. Localizado na porção central do Brasil, o bioma Cerrado está inserido em zonas tropicais e subtropicais e ocupa uma área de aproximadamente dois milhões de km<sup>2</sup>, predominando neste bioma o estrato herbáceo (Huber, 1987), com ocorrências de árvores e formações arbustivas. Aproximadamente 40% das áreas de vegetação nativa foram convertidas nas últimas décadas em outros usos em função de atividades como a pecuária e a agricultura (Sano et al., 2001; Sano et al., 2010; Ferreira et al., 2013). Dado este contexto, tem-se que nenhum outro bioma no mundo sofreu tamanha supressão de sua vegetação nativa em tão pouco tempo na história humana (Latrubesse et al., 2009).

Mudanças intensas de uso e cobertura do solo tem impacto direto nos sistemas fluviais. Dentre os parâmetros possíveis de serem mensurados que caracterizam um sistema fluvial e tem forte dependência com o uso do solo é variação hidrossedimentar. A concentração de sedimentos em suspensão (CSS) é um parâmetro útil em estudos de sistemas fluviais e lacustres como para a biota de ecossistemas aquáticos (Wetzel, 2001), para a construção e

evolução de planícies de inundação (Pierce e King, 2008) e em muitos problemas de engenharia, como no assoreamento de reservatórios (Thornton, 1990).

A bacia do rio Araguaia está sendo influenciada por mudanças intensas de uso e cobertura do solo (p.e. Latrubesse et al., 2009; Bayer, 2010; Coe et al., 2011) e há uma baixa quantidade de dados *in situ* relativos a CSS. Com isso, a geração de modelos para estimativa da CSS para este sistema fluvial é interessante devido a dificuldade do monitoramento sistemático por meio de coletas em campo. O maior detalhamento da série histórica de dados de CSS do rio Araguaia permitiria uma avaliação mais robusta do impacto das mudanças intensas de uso e cobertura do solo no cerrado sob um grande sistema fluvial ainda livre de barragens. Adicionalmente, no contexto da bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia, a ampliação da série histórica de CSS é um importante dado em virtude da usina hidrelétrica de Tucuruí, localizada a jusante da confluência do rio Araguaia com o Tocantins. A melhor avaliação da carga sedimentar transportada por este rio permitiria a melhor gestão operacional e da vida útil deste reservatório.

Produtos de sensoriamento remoto permitem a coleta de dados sistemática e com ampla distribuição areal sobre a superfície terrestre. A relação entre a energia eletromagnética com os alvos tem permitido estimar uma série de atributos biogeofísicos, inclusive em corpos d'água continentais, como é o caso da CSS (p.e. Mertes et al., 1993; Martinez et al., 2009).

A estimativa da CSS por produtos de sensoriamento remoto permitem a ampliação da série histórica já existente e ainda avaliar sua variação espacial (Dekker; Bukata, 1999; Ritchie; Shiebe, 2000). Uma vez que não é possível voltar no tempo para fazer a coleta *in situ*, o uso de imagens orbitais permitiria o aumento considerável de informações em condições até então irreversíveis de se solucionar.

A série de satélites orbitais Landsat possui o maior acervo sistemático de coleta de dados da superfície terrestre da história do sensoriamento remoto e, mesmo com suas limitações radiométricas e espectrais, têm sido utilizadas para a estimativa de CSS em diversos rios do mundo (p.e. Mertes et al. 1993; Aranuvachapun; Walling, 1988; Wang et al. 2009; Montanher et al., 2014; Lobo et al., 2015), inclusive com um trabalho preliminar no rio Araguaia com o sensor OLI/Landsat-8 (Borges et al., 2015). Este trabalho apresenta os resultados de um estudo de viabilidade de se integrar dados orbitais multitemporais do sensor TM/Landsat-5 com dados sedimentológicos existentes no rio Araguaia para gerar modelos empíricos de estimativa de CSS.

## 2. Área de estudo

O rio Araguaia está localizado na região centro-norte do Brasil e sua bacia de drenagem abrange os estados de Mato Grosso, Goiás, Tocantins e Pará (Figura 1). Este rio possui 2.110 km de comprimento, uma área de drenagem de 375.000 km<sup>2</sup> e descarga média anual de 6500 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (Aquino et al., 2009). O clima dominante na região é tropical úmido-seco e a precipitação aumenta de sul para norte, variando de 1500 a 2000 mm ano<sup>-1</sup>. A bacia de drenagem do rio Araguaia possui 70% de sua área dominada pelo bioma cerrado, com o restante fazendo parte da Amazônia (Figura 1).

Este rio é dividido em três trechos, sendo eles: Alto, Médio e Baixo Araguaia (Latrubesse; Stevaux, 2002). O Alto Araguaia tem 450 km de comprimento drenando rochas sedimentares Paleozóicas-Mesozóicas e rochas cristalinas pré-cambrianas em uma área de relevo montanhoso com altitude de até 1000 m. Neste trecho, o rio Araguaia é um curso fluvial de leito rochoso e fortemente controlado pela litologia e lineamentos estruturais pré-cambrianos. O Médio Araguaia tem comprimento de 1.160 km, entre Registro do Araguaia até Conceição do Araguaia, sobre uma ampla área plana formada por sedimentos pleistocênicos denominada de planície do Bananal onde se desenvolve uma planície aluvial de

3 à 6 km de largura. Por fim, no Baixo Araguaia o rio volta a ser de leito rochoso ao longo de 500 km a jusante até sua confluência com o rio Tocantins (Latrubesse; Stevaux, 2002).

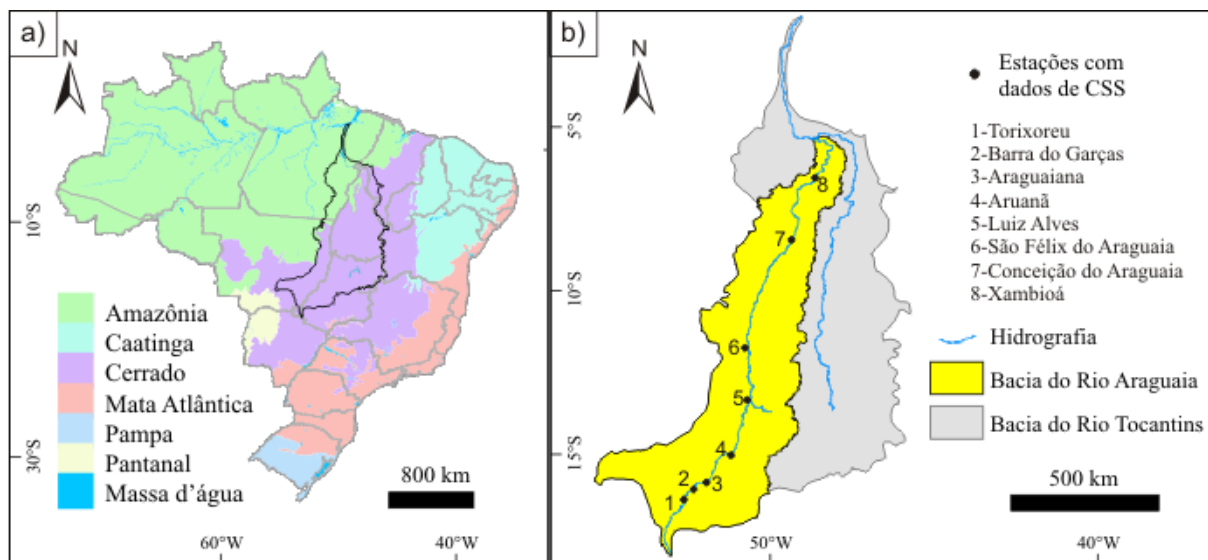


Figura 1. Localização da área de estudo; a) Contexto dos biomas brasileiros e a bacia de drenagem dos rios Tocantins-Araguaia; b) Bacia hidrográfica do rio Araguaia com as respectivas estações de monitoramento de CSS dentro da bacia do rio Tocantins.

### 3. Metodologia

Este trabalho foi baseado no estudo de viabilidade de estimativa de CSS com dados TM/Landsat-5 para rios amazônicos (Montanher et al., 2013) que culminou na elaboração de modelos empíricos para tal (Montanher et al., 2014). Para a elaboração de modelos empíricos ou semi-empíricos com dados de sensoriamento remoto é necessário medidas quase simultâneas de reflectância e dados biogeofísicos (Figura 2), que, no caso deste trabalho, é a CSS.

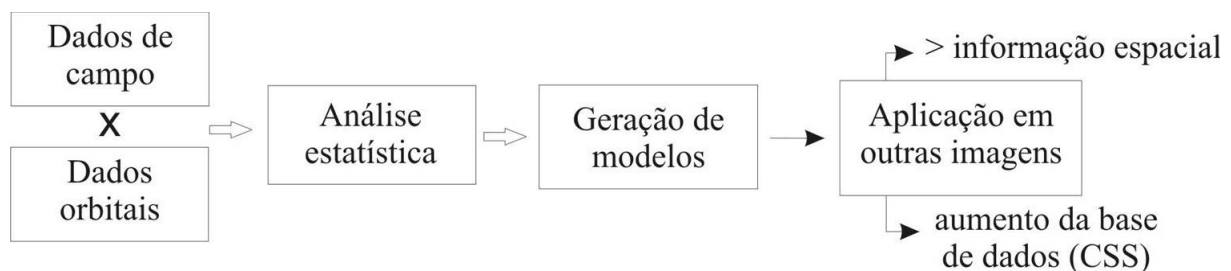


Figura 2. Abordagem geral do uso de dados orbitais para estimativas de CSS por meio de relações empíricas e semi-empíricas (Montanher et al., 2013).

Com base nas limitações de resolução espacial nominal de 30 m do sensor TM, porém com resolução espacial efetiva em torno de 50 m para algumas bandas (Boggione, 2014), optou-se por escolher estações de monitoramento hidrossedimentológica da Agência Nacional de Águas (ANA) localizadas onde o canal fluvial tenha uma largura superior a 150 m, de modo que se possa evitar possíveis misturas espectrais de pixels vizinhos de fora do canal, como vegetação ou solo exposto ou ainda por barras fluviais intra-canal. Essa verificação foi efetuada no aplicativo Google Earth. Adicionalmente, optou-se por escolher estações de monitoramento com número de coleta superior a 25 amostragens em sua série histórica (<http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>) e que essa série fosse em maior parte concordante

com o período de funcionamento do sensor TM, ou seja, entre março de 1984 e novembro de 2011.

Foram avaliadas as imagens disponíveis do sensor TM/Landsat-5 em que o dia de imageamento coincidissem +/- 5 dias com a data da coleta de CSS nos catálogos do Serviço Geológico Americano (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) e da Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). Foram selecionadas imagens com a menor cobertura de nuvens possível ou que não tivesse cobertura de nuvens sobre as estações de monitoramento selecionadas de acordo com os critérios anteriormente mencionados. Com base nesses critérios foi avaliada a distribuição estatística de todo o conjunto amostral do rio Araguaia, bem como das amostras que tivessem imageamento quase concomitantes com os dados de *in situ*.

#### 4. Resultados e discussões

Das estações fluviométricas disponíveis no rio Araguaia, pode ser constatado a presença de nove estações com dados de CSS, sendo que dessas nove, sete possuem largura de canal superior a 150 m (Tabela 1) e amostragem com maior periodicidade. Dessas estações há 257 amostragens com variações de CSS entre 4,4 a 1255 mg/l.

Tabela 1. Relação das estações no rio Araguaia com largura acima de 150 m possíveis e descrição dos dados de CSS (mg/l).

Código	Estação	Nº de coletas	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
24700000	Barra do Garças	34	7,95	728,44	131,75	167,18
24850000	Araguaiana	39	8,79	1255,00	116,87	206,00
25200000	Aruanã	28	20,70	318,50	102,62	85,94
25950000	Luiz Alves	31	34,01	314,44	94,44	69,30
26350000	São Felix	40	14,77	262,81	47,84	46,93
27500000	Conceição do Araguaia	52	5,90	567,90	36,84	85,06
28300000	Xambioa	33	4,42	513,00	41,75	98,35

Dada a disponibilidade de dados de CSS, verificou-se a disponibilidade de imagens TM/Landsat-5 com a data da coleta de CSS, tanto da base de dados da ANA quanto de outros trabalhos com dados independentes relacionados ao tema (Aquino, 2007; Bayer, 2010). Foi constatado que há 70 amostras com imageamento quase concomitante aos dias de coleta de CSS no rio Araguaia (Tabela 2).

Tabela 2. Disponibilidade de dados de campo e imagens TM-5 para as estações selecionadas.

Estação	Barra dos			Luiz		C. do	
	Garça	Araguaiana	Aruanã	Alves	São Felix	Araguaia	Xambioa
Dados <i>in situ</i>	34	39	28	31	40	52	33
Órbita/ponto	224/71	224/71	223/70	223/69	223/68	223/66	223/64
Imagens com dados quase <i>in situ</i>	4	5	16	13	15	12	5
Imagens aptas para estimativa	239	238	226	245	216	199	137
Aumento relativo da base de dados (%)	703	610	807	790	540	383	415

A distribuição estatística destas 70 amostras aptas para serem utilizadas em um modelo empírico para estimativa de CSS com base em dados TM é bem próxima da distribuição estatística de todo o conjunto amostral atualmente disponível, com exceção de *outliers* (Figura

3), tal fato corrobora para que esse conjunto amostral seja representativo de ser utilizado em uma modelagem empírica. Os dados disponíveis podem ser utilizados para estimativas entre 4 a 260 mg/l devido a disponibilidade de imagens com esse intervalo de variação de dados de CSS.

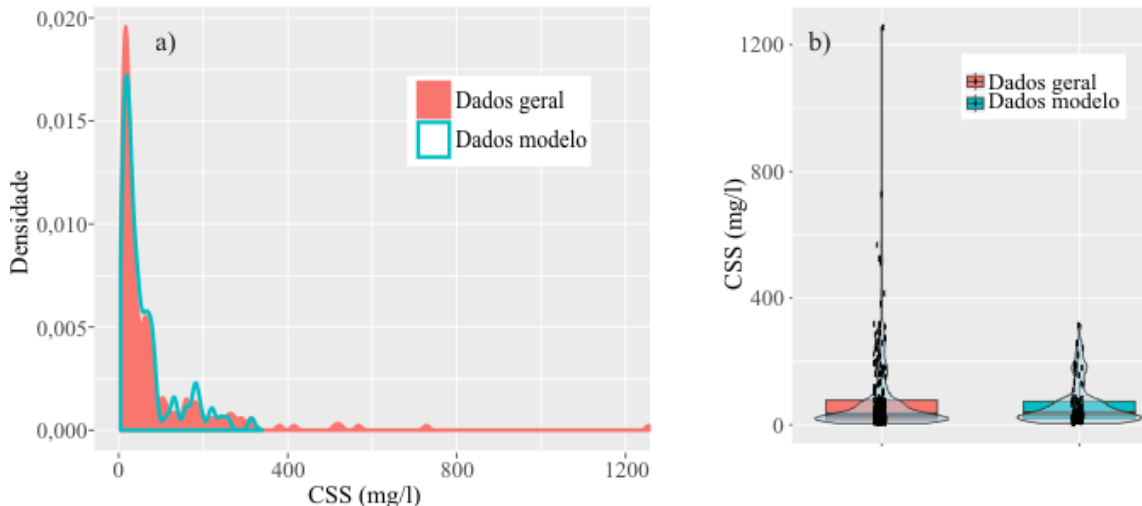


Figura 3. Distribuição estatística das amostras de CSS para o rio Araguaia; a) Histograma normalizado da distribuição dos dados de CSS disponíveis para o rio Araguaia (dados geral) e das 70 amostras que tem imageamento quase concomitante (dados modelo); b) Boxplot com *violinplot* sobreposto mostrando a dispersão estatística dos dados.

Caso seja viável realizar um modelo empírico global para todo o rio Araguaia será possível ampliar a série histórica atual na média de 607 % para cada estação (Tabela 2). O maior incremento da série histórica poderia ser feita junto à estação de Aruanã, com um aumento de dados de 807 %. Esta estação vem sendo detalhada em termos hidrossedimentares por Aquino (2007) e Bayer (2010) e o incremento de dados de CSS seria útil para a continuidade desses trabalhos.

O aumento de dados de CSS para o rio Araguaia, mesmo com os erros associados à estimativa, permitirá um melhor entendimento da dinâmica hidrossedimentar deste sistema fluvial principalmente entre os anos de 1984 e 2011, período de dados do sensor TM. Com isso, seria possível avaliar com maior acervo de dados os padrões espaciais de transporte, produção e variabilidade dos sedimentos suspensos, em escalas intranual e interanual, assim como foi feito para os rios amazônicos de águas brancas (Montanher et al., 2016), permitindo também avaliar com maior detalhe como os impactos de mudança de uso e cobertura da terra tem influenciado a carga sedimentar do rio Araguaia.

## 5. Conclusões

É possível concluir que há viabilidade para se elaborar um modelo empírico para estimativa de CSS para o rio Araguaia. A disponibilidade de 70 amostras de dados *in situ*, representativas dos dados existentes, com dados TM/Landsat-5 quase concomitante mostra que até 260 mg/l poderia ser feito um modelo nesse sentido inclusive com dados suficientes para sua validação. A possibilidade de incremento dos dados de CSS para este sistema fluvial na média de 607 % para cada estação é um fator motivador para que em uma próxima etapa desse estudo seja feita testes e desenvolvimento dos modelos de estimativa de CSS para o rio Araguaia baseado em dados TM/Landsat-5.

A melhoria radiométrica e espectral de novos sensores em relação ao TM abre margem para novos estudos com a mesma abordagem em estudos futuros.



## Agradecimentos

Os autores agradecem aos colegas Gustavo Bayma-Silva (Embrapa) e Gabriel Pereira (UFESJ) pelas conversas iniciais sobre os estudos no Cerrado e também ao Lino Augusto Sander de Carvalho, Marcelo Pedroso Curtarelli, Pétala Bianchi Augusto-Silva e Fabio Corrêa Alves (INPE) pelas discussões sobre a aplicação de sensoriamento remoto em corpos d'água continentais que originaram este trabalho.

## Referências Bibliográficas

- Aquino, S. **Mecanismos de transmissão de fluxos de água e sedimentos em dois grandes rios aluviais impactados pela atividade humana: o Araguaia e o Paraná**. 2007. 142p. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2007
- Aquino, S.; Latrubesse, E.; Bayer, M. Assessment of wash load transport in the Araguaia River (Aruana gauge station), Central Brazil. **Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis**, v. 16 (2), p. 119-128, 2009.
- Aranuvachapun, S.; Walling, D. E. Landsat-MSS Radiance as a Measure of Suspended Sediment in the Lower Yellow River (Hwang Ho). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 2, p. 145-165, 1988.
- Bayer, M. **Dinâmica do transporte, composição e estratigrafia dos sedimentos da planície aluvial do Rio Araguaia**. 2010. 104p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2010.
- Boggione, G. A. **Avaliação da resolução espacial de sensores ópticos orbitais**. 2014. 157 p. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/03.14.13.05-TDI). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos. 2014.
- Borges, R. O.; Camargo, F. F.; Campagnoli, F.; Bayer, M. Aplicação do índice da diferença normalizada da água (NDWI) na delimitação de fluxos de sedimentos em suspensão no Rio Araguaia: avaliação das imagens Landsat 8 para o monitoramento hidroviário. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. Artigos, p. 2022-2029. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-0076-8. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1240.pdf> >. Acesso em: 07 out. 2016.
- Coe, M. T.; Latrubesse, E. M.; Ferreira, M. E.; Amsler, M. L. The effects of deforestation and climate variability on the streamflow of the Araguaia River, Brazil. **Biogeochemistry**, v. 105, p.119-131, 2011.
- Dekker, A.G.; Bukata, R.P. Remote Sensing of Inland and Coastal Waters. In: STONE W. R. (Ed.). **Review of Radio Science 1996 – 1999**. Wiley-IEEE, 1999, p. 519 - 534.
- Ferreira, L.G.; Fernandez, L.E.; Sano, E.E.; Field, C.; Sousa, S.B.; Arantes, A.E.; Araújo, F.M. Biophysical Properties of Cultivated Pastures in the Brazilian Savanna Biome: An Analysis in the Spatial-Temporal Domains Based on Ground and Satellite Data. **Remote Sensing**, n. 5, p. 307-326, 2013.
- Huber, O. Neotropical savannas: their flora and vegetation. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 2, n. 3, p. 67-71, 1987.
- Latrubesse, E.M.; Amsler, M.; Morais, R.P.; Aquino, S. The Geomorphologic response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: the case of the Araguaia River. **Geomorphology**, v. 113, p. 239- 252, 2009.
- Latrubesse, E.M.; Stevaux, J.C. Geomorphology and environmental aspects of the Araguaia fluvial basin, Brazil. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 129, 109-127, 2002.
- Lobo, F.L.; Costa, M.P.F.; Novo, E.M.L.M. Time-series analysis of Landsat-MSS/TM/OLI images over Amazonian Waters impacted by gold mining activities. **Remote Sensing of Environment**, v. 157, p. 170–184, 2015.

- Martinez, J. M.; Guyot, J.L.; Filizola, N.; Sondag, F. Increase in suspended sediment discharge of the Amazon River assessed by monitoring network and satellite data. **Catena**, v. 79, n. 3, p. 257-264, 2009.
- Mertes, L. A. K.; Smith, M.O.; Adams, J. B. Estimating Suspended Sediment Concentrations in Surface Waters of the Amazon River Wetlands from Landsat Images. *Remote Sensing of Environment*, v. 43, p. 281–301, 1993.
- Montanher, O. C.; Barbosa, C. C. F.; Novo, E. M. L. M. Integração de dados TM/LANDSAT e medidas *in situ* para a estimação de sedimentos em suspensão nos rios amazônicos: um estudo de viabilidade. **Geografia**, 2013.
- Montanher, O.C.; Novo, E.M.L.M.; 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/TM. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.29, p. 67-77, 2014.
- Pierce, A.R.; King, S.L. Spatial dynamics of overbank sedimentation in floodplain systems. **Geomorphology**, v. 100, n. 4, p. 256-268, 2008.
- Ritchie, J. C.; Shiebe, F. R. Water Quality. In: Shultz, G. A.; Engman, E. T (Eds.) **Remote Sensing in Hydrology and Water Management**. Berlin: Springer, 2000. P. cap. 13, p. 287-303.
- Sano, E. E. ; Rosa, R. ; Brito, J. L. ; Ferreira, L. G. . Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, p. 113-124, 2010.
- Sano, E. E.; Barcellos, A. O.; Bezerra, H. S. Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian savanna. **Pasturas Tropicales**, v. 22, n.3, p. 2-15, 2001.
- Thornton, K.W. Perspectives on reservoir limnology. In K. W. Thornton, B. L. Kimmel, Payne, F. E. (Ed.) **Reservoir limnology: ecological perspectives**. New York: Wiley. cap. 1, p. 1-13, 1990.
- Wang, J. J.; Lu, X. X.; Liew, S. C. ; Zhou, Y. Retrieval of suspended sediment concentrations in large turbid rivers using Landsat ETM+: an example from the Yangtze River, China. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 34, p. 1082–1092. 2009.
- Wetzel, R. G. **Limnology: lake and river ecosystems**. San Diego: Academic press, 1006p, 2001.