

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS NATURAIS, HUMANAS E SOCIAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

Rhavel Salviano Dias Paulista

**MODELOS DE ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO DE
SEDIMENTOS SUSPENSOS VIA SENSORIAMENTO REMOTO PARA
O RIO TELES PIRES**

**SINOP
MATO GROSSO - BRASIL
2023**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE SINOP
INSTITUTO DE CIÊNCIAS NATURAIS, HUMANAS E SOCIAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

Rhavel Salviano Dias Paulista

**MODELOS DE ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO DE
SEDIMENTOS SUSPENSOS VIA SENSORIAMENTO REMOTO PARA
O RIO TELES PIRES**

Orientador: Prof. Dr. Frederico Terra de Almeida

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus Universitário de Sinop, na área de concentração Biodiversidade e Bioprospecção, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Linha de pesquisa: Recursos Naturais.

**SINOP
MATO GROSSO - BRASIL
2023**

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

P328m Paulista, Rhavel Salviano Dias.

MODELOS DE ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO DE
SEDIMENTOS SUSPENSOS VIA SENSORIAMENTO
REMOTO PARA O RIO TELES PIRES [recurso eletrônico] /
Rhavel Salviano Dias Paulista. -- Dados eletrônicos (1 arquivo :
41 f., il. color., pdf). -- 2023.

Orientador: Frederico Terra de Almeida.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato
Grosso, Instituto de Ciências Naturais, Humanas e Sociais,
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Sinop,
2023.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://ri.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

FOLHA DE APROVAÇÃO

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS
FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "Estimativa da concentração de sedimentos suspensos via sensoriamento remoto para o rio Teles Pires"

AUTOR (A): MESTRANDO (A) Rhavel Salviano Dias Paulista

Dissertação defendida e aprovada em **28/02/2023**.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

Presidente Banca / Orientador Doutor(a) **FREDERICO TERRA DE ALMEIDA**

Instituição : **UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**

Examinador Interno Doutor(a) **HANDREY BORGES ARAUJO**

Instituição : **UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**

Examinador Externo Doutor(a) **CELSO BANDEIRA DE MELO RIBEIRO**

Instituição : **UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**

Examinador Suplente Doutor(a) **TANIA MARIA DE CARVALHO**

Instituição : **UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**

Examinador Suplente Doutor(a) **ANDRÉ ALMAGRO**

Instituição : **UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL**

SINOP, 28/02/2023.



Documento assinado eletronicamente por **HANDREY BORGES ARAUJO**, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso, em 01/03/2023, às 10:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **FREDERICO TERRA DE ALMEIDA**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 01/03/2023, às 17:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **CELSO BANDEIRA DE MELO RIBEIRO**, **Usuário Externo**, em 01/03/2023, às 17:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5531900** e o código CRC **1E2DFFF7**.

DEDICATÓRIA

A ciência brasileira acaba de passar por anos de provação, com um governo que vê a ciência como uma inimiga. Dedico este trabalho a todos os cientistas brasileiros que passaram pela tempestade e permaneceram de pé e desejo a todos o reconhecimento que merecem.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa não seria possível sem o apoio e o esforço de todos os integrantes do grupo de Tecnologia em Recursos Hídricos no Centro-Oeste – TREHCO, que em muitas ocasiões sacrificaram fins de semana e feriados para me auxiliar na pesquisa.

Em especial agradeço a meu orientador Dr. Frederico Terra de almeida, que sempre garantiu que a infraestrutura para a execução do projeto estivesse disponível.

RESUMO

A erosão hídrica é um fenômeno natural intrínseco a formação de solos, mas é potencializado por ações antrópicas inadequadas do uso do solo nas bacias hidrográficas. Uma das consequências do manejo inadequado ou falta de ações conservacionistas em bacias hidrográficas é o aumento da concentração de sedimentos suspensos (Css) em rios e lagos, provocando a alteração na morfologia dos canais e o assoreamento dos reservatórios. À medida que as demandas sobre os recursos hídricos aumentam, conflitos pelo uso da água podem ocorrer, implicando no desenvolvimento e execução de metodologias de monitoramento da água, que são decisivas para uma gestão adequada dos recursos hídricos. A determinação da Css em cursos hídricos pode fornecer um diagnóstico do estado de uso e ocupação do solo de uma bacia hidrográfica, no entanto os métodos de obtenção deste dado são onerosos e o caráter pontual das amostragens dificulta a extrapolação ao longo dos rios e dos reservatórios. O sensoriamento remoto se apresenta como uma alternativa viável para sanar estes obstáculos, uma vez que a variação nas concentrações de sedimentos suspensos é perceptível em imagens de satélites. Desta forma é possível utilizar a reflectância das imagens de satélite para estimar a Css espacialmente e temporalmente. Para efetuar tal tarefa os produtos de plataforma Sentinel 2a e b foram empregados, sua resolução espacial de 10 metros aliada a resolução temporal de 5 dias pode fornecer informações relevantes sobre a dinâmica da Css na bacia. As imagens utilizadas no estudo corresponderam ao mesmo dia das coletas de campo, proporcionando a criação de modelos empíricos. O ambiente de processamento utilizado foi o Google Earth Engine, ferramenta que permitiu agilidade e flexibilidade na aplicação da metodologia. O acesso a diversas fontes de dados e a robustez no processamento mostram que a ferramenta pode ser uma aliada no estudo de parâmetros de qualidade de água via sensoriamento remoto. Entre as bandas e índices estudados o melhor estimador da Css foi a reflectância da banda B4, que corresponde a faixa do vermelho do espectro visível, e o modelo exponencial apresentou o melhor ajuste e precisão se comparado ao modelo linear.

Keywords: Amazônia, Google Earth Engine, hidrossedimentologia, refletância, imagens de satélite

.

ABSTRACT

Water erosion is a natural phenomenon intrinsic to the formation of soils, but it is potentiated by inappropriate anthropic actions of land use in watersheds. One of the consequences of inadequate management or lack of conservation actions in watersheds is the increase in the concentration of suspended sediments (C_{ss}) in rivers and lakes, causing changes in the morphology of channels and silting up of reservoirs. As demands on water resources increase, conflicts over water use may occur, implying the development and implementation of water monitoring methodologies, which are decisive for proper management of water resources. The determination of C_{ss} in watercourses can provide a diagnosis of the state of land use and occupation of a hydrographic basin, however the methods for obtaining this data are costly and the punctual character of the samples makes it difficult to extrapolate along the rivers and reservoirs. Remote sensing presents itself as a viable alternative to remedy these obstacles, since the variation in suspended sediment concentrations is noticeable in satellite images. In this way it is possible to use the reflectance of the satellite images to estimate the C_{ss} spatially and temporally. To accomplish this task, the Sentinel 2a and b platform products were employed, their spatial resolution of 10 meters combined with the temporal resolution of 5 days can provide relevant information on the dynamics of the C_{ss} in the basin. The images used in the study corresponded to the same day as the field collections, providing the creation of empirical models. The processing environment used was Google Earth Engine, a tool that allowed agility and flexibility in the application of the methodology. Access to several data sources and processing robustness show that the tool can be an ally in the study of water quality parameters via remote sensing. Among the studied bands and indices, the best C_{ss} estimator was the reflectance of the B4 band, which corresponds to the red range of the visible spectrum, and the exponential model presented the best fit and accuracy compared to the linear model.

Keywords: Amazonia, Google Earth Engine, hydro-sedimentology, reflectance, satellite imagery

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL DA DISSERTAÇÃO	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	3
CAPÍTULO I.	6
Estimativa da concentração de sedimentos suspensos via sensoriamento remoto para o rio Teles Pires	6
1. Introdução	7
2. Material e métodos	9
2.1. Área de estudo	9
2.2. Dados de C _{ss}	10
2.3. Dados de Sensoriamento remoto	11
2.4. Calibração atmosférica	12
2.5. Processamento dos dados	13
3. Resultados	16
4. Discussão	19
5. Conclusões	20
6. Referências	20
Apêndice A	23
Conclusão geral	26
Anexo II-Normas do periódico	27

INTRODUÇÃO GERAL DA DISSERTAÇÃO

A erosão hídrica é um processo que envolve o desprendimento das partículas do solo, o transporte e a deposição destes por conta da diminuição do escoamento superficial, ficando retidos, normalmente, nas regiões mais baixas da bacia hidrográfica, mas que a intensidade deste processo pode ser alterada por diversos fatores, como as propriedades físicas e químicas do solo, o tipo da vegetação, topografia e as atividades econômicas exercidas na bacia.

Sempre existirá a erosão hídrica, pois se trata de um dos processos de formação do solo, sendo inicialmente um processo natural, mas que pode ser potencializada por atividades antrópicas inadequadas e usos do solo não conservacionistas, impactando diretamente o meio ambiente e as produções agrícolas e energéticas, uma vez que a erosão modifica o perfil físico do solo e a partícula desprendida chega ao corpo hídrico na forma de sedimento.

A deposição gradual dos sedimentos em corpos hídricos ocasiona as alterações na forma dos canais e na capacidade de armazenamento de reservatórios, quer sejam para uso de produção de energia, de abastecimento, ou outro fim. Logo o monitoramento da concentração de sedimentos suspensos (Css) nos corpos hídricos é um termômetro dos processos erosivos sofridos pela bacia, do transporte de sedimentos e do assoreamento ocasionado por estes.

A Css fornece informações relevantes sobre o status da qualidade da água, o estudo da evolução da dinâmica deste parâmetro é fundamental para o gerenciamento dos corpos hídricos e para a construção de previsões do comportamento do estado da bacia hidrográfica (ANTUNES et al., 2018; CREMON; DA SILVA; MONTANHER, 2020; MASOCHA et al., 2017). De acordo com Arab et al. (2019) e Azizullah et al. (2011) é perceptível o aumento da contaminação de corpos hídricos superficiais nos últimos anos, em que os autores destacam a importância de práticas de monitoramento que auxiliem na previsão de possíveis variações da qualidade da água, uma vez que os sólidos suspensos podem transportar metais pesados, poluentes e nutrientes, contribuindo para a contaminação do corpo hídrico (BALASUBRAMANIAN et al., 2020). Segundo Arango e Nairn (2020), a partir monitoramento adequado pode-se compreender como as atividades antrópicas interferem nos sistemas aquáticos. Luís et al. (2021) esclarecem que a distribuição da Css pode ser calculada por meio da coleta de dados em uma rede sedimentométrica, e a partir de certa periodicidade é possível acompanhar a evolução da dinâmica dos sedimentos, como foi feito no trabalho de Borella et al. (2022), que estudou o comportamento da Css em diferentes épocas e em vários afluentes da margem direita do rio Teles Pires, encontrando resultados que relacionavam a Css a condição de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio. No Brasil, de forma geral, o monitoramento da Css é regido

pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e possui uma densidade de estações entorno de 1/17.000 km², estabelecendo aproximadamente quatro medições por ano na maioria das estações sedimentométricas (BORELLA et al., 2022; NAVRATIL et al., 2011). No entanto Pandey et al. (2016) expõem a dificuldade de obter uma representação da dinâmica da C_{ss} devido à baixa frequência de amostragens e da cobertura espacial limitada, além disso Navratil et al. (2011) alertam que os erros envolvidos na medição do C_{ss} podem chegar a 70% mesmo em medidas tradicionais. Wirasatriya et al. (2023) descrevem as amostragens de campo como ineficazes devido ao alto custo de execução e a pequena área de cobertura, e Carvalho (2008) enfatiza a importância de desenvolver métodos alternativos de obtenção da C_{ss}.

Dado este cenário, o Sensoriamento Remoto (SR) se apresenta como uma ferramenta promissora para compreender a ligação entre as condições da bacia hidrográfica e a C_{ss} em várias escalas espaço-temporais (CHEN et al., 2021). Pinese (2014) afirma que o SR pode ser relevante na verificação da variação espacial e temporal da composição dos corpos hídricos. Através dos valores de refletância obtidos nas imagens de satélites, é possível fazer o delineamento, verificar a qualidade física, mensurar a turbidez e estimar a profundidade dos corpos d'água. Segundo (BORGES et al., 2015) a aplicação do SR para fins de estudos hidrológicos tornou-se comum nos últimos anos. Trabalhos como os de Aires et al. (2022) e Espinoza Villar et al. (2013) obtiveram sucesso ao modelar a C_{ss} a partir de dados de SR ancorados a amostras *in situ*, demonstrando o potencial desta tecnologia no estudo de rios brasileiros. Fagundes et al. (2020) utilizaram produtos do SR para a criação de modelos de predição de erosão e transporte de sedimentos, e constataram que dados de SR podem ser utilizados neste tipo de modelagem. A validação da consistência de dados de SR é de extrema relevância devido à facilidade do acesso a este tipo de informação, e atualmente existem diversas plataformas orbitais com sensores multiespectrais embarcados, em que tais sensores geram imagens com diferentes resoluções espaciais, espectrais, temporais e radiométricas e as disponibilizam de forma gratuita para comunidade científica. Logo a validação da consistência deste tipo dado pode proporcionar um avanço significativo em diversas áreas do conhecimento. Um dos sensores disponíveis de forma gratuita para a comunidade científica é o Multi-Spectral Instrument (MSI) a bordo das plataformas Sentinel-2 a e b, ele possui resolução espacial de 10 metros e foi desenvolvido pela Agência Espacial Européia (ESA), sua resolução espacial aliada à sua resolução temporal de 5 dias oferece novas perspectivas para observações terrestres (TOMING et al., 2016). Tais características tornam o sensor um forte aliado no estudo de grandes bacias hidrográficas.

Com aproximadamente 141.524 km² e situada entre os estados de Mato Grosso e Pará, a bacia hidrográfica do rio Teles Pires é uma grande bacia inserida na Região Hidrográfica Amazônica. Atualmente existem 4 complexos hidrelétricos na calha principal do rio Teles Pires, tornando a bacia uma protagonista na geração de energia a nível nacional (GALLARDO et al., 2017). No entanto BORELLA et al. (2022) alertam para possíveis conflitos entre a geração de energia e os usos múltiplos da água, como por exemplo a irrigação, visto que a agricultura e a pecuária são atividades predominantes na bacia. KRAESKI et al. (2022) avaliaram as condições das áreas de preservação permanente – APP contidas na bacia e constataram que a degradação nestas áreas é baixa, porém há um contraste na preservação, com algumas regiões apresentando piores condições de preservação. Esta situação pode ser modificada à medida que novos complexos hidrelétricos são construídos e os conflitos pela água aumentam. E em seu trabalho, GALLARDO et al. (2017) enfatizam a importância do desenvolvimento de metodologias que possam avaliar os impactos ambientais no passado, presente e o futuro, não somente das hidrelétricas, mas de todos os agentes que influenciam o uso e ocupação da bacia.

Desta forma esta dissertação busca desenvolver um modelo de estimativa de C_{ss} via sensoriamento remoto e amostras *in situ*, utilizando imagens do sensor MSI e dados disponibilizados pela ANA, complementados com expedições próprias para aquisição da C_{ss}.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRES, U. R. V.; SILVA, D. D. ; FERNANDES FILHO, E. I.; RODRIGUES, L. N.; ULIANA, E. M.; AMORIM, R. S. S.; RIBEIRO, C. B. de M.; CAMPOS, J. A. Modeling of surface sediment concentration in the Doce River basin using satellite remote sensing. **Journal of Environmental Management**, v. 323, p. 116207, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116207>

ANTUNES, I. M. H. R.; ALBUQUERQUE, M. T. D.; OLIVEIRA, S. F.; SÁNZ, G. Predictive scenarios for surface water quality simulation - A watershed case study. **Catena**, v. 170, p. 283–289, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.06.021>

ARAB, S.; BOUCHELOUCHE, D.; HAMIL, S.; ARAB, A. Application of Water Quality Index for Surface Water Quality Assessment Boukourdane Dam, Algeria. In: 2019, **Advances in Science, Technology and Innovation**. : Springer Nature, 2019. p. 385–387. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-01572-5_90

ARANGO, J. G.; NAIRN, R. W. Prediction of optical and non-optical water quality parameters in oligotrophic and eutrophic aquatic systems using a small unmanned aerial system. **Drones**, v. 4, n. 1, p. 1–21, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/drones4010001>

AZIZULLAH, A.; KHATTAK, M. N. K.; RICHTER, P.; HÄDER, D. P. Water pollution in

Pakistan and its impact on public health - A review. **Environment International**, v.37,p. 479-497, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.10.007>

BALASUBRAMANIAN, S. v *et al.* Robust algorithm for estimating total suspended solids (TSS) in inland and nearshore coastal waters. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111768>.

BORELLA, D. R.; DE SOUZA, A. P.; DE ALMEIDA, F. T.; DE ABREU, D. C.; HOSHIDE, A. K.; CARVALHO, G. A.; PEREIRA, R. R.; DA SILVA, A. F. Dynamics of Sediment Transport in the Teles Pires River Basin in the Cerrado-Amazon, Brazil. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 23, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su142316050>

BORGES, R. de 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. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, 6022-6029.

CHEN, W.; WANG, J.; CAO, X.; RAN, H.; TENG, D.; CHEN, J.; HE, X.; ZHENG, X. Possibility of using multiscale normalized difference vegetation index data for the assessment of total suspended solids (TSS) concentrations in surface water: A specific case of scale issues in remote sensing. **Environmental Research**, v. 194, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110636>

CREMON, H.; DA SILVA, A. M. S.; MONTANHER, O. C. Estimating the suspended sediment concentration from TM/Landsat-5 images for the Araguaia River–Brazil. **Remote Sensing Letters**, v. 11, n. 1, p. 47–56, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/2150704X.2019.1681597>

FAGUNDES, O. H.; DIAS DE PAIVA, R. C.; FAN, F. M.; BUARQUE, D. C.; FASSONI-ANDRADE, A. C. Sediment modeling of a large-scale basin supported by remote sensing and in-situ observations. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104535>.

ESPINOZA VILLAR, R.; MARTINEZ, J. M.; LE TEXIER, M.; GUYOT, J. L.; FRAIZY, P.; MENESES, P. R.; OLIVEIRA, E. de. A study of sediment transport in the Madeira River, Brazil, using MODIS remote-sensing images. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 44, p. 45–54, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2012.11.006>

GALLARDO, A. L. C. F.; DA SILVA, J. C.; GAUDERETO, G. L.; SOZINHO, D. W. F. A avaliação de impactos cumulativos no planejamento ambiental de hidrelétricas na bacia do rio Teles Pires (região amazônica). **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 43, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/dma.v43i0.53818>

KRAESKI, A.; ALMEIDA, F. T.; SOUZA, A. P.; CARVALHO, T. M. Identification of land use conflicts in Permanent Preservation Area in a Brazilian Amazon sub-basin. **Sociedade & Natureza**, v. 35, n. 1, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/sn-v35-2023-65724>

LUÍS, R.; DIAS, S.; DAVID DA SILVA, D.; FERNANDES-FILHO, I.; HUMMEL DO AMARAL, C.; PINTO, E.; SANTOS, D.; MARQUES, J. F.; VIEIRA VELOSO, G. Machine learning models applied to TSS estimation in a reservoir using multispectral sensor onboard to

RPA. **Ecological Informatic**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101414>.

MASOCHA, M.; MURWIRA, A.; MAGADZA, C. H. D.; HIRJI, R.; DUBE, T. Remote sensing of surface water quality in relation to catchment condition in Zimbabwe. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 100, p. 13–18, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2017.02.013>

NAVRATIL, O.; ESTEVES, M.; LEGOUT, C.; GRATIOT, N.; NEMERY, J.; WILLMORE, S.; GRANGEON, T. Global uncertainty analysis of suspended sediment monitoring using turbidimeter in a small mountainous river catchment. **Journal of Hydrology**, v. 398, n. 3–4, p. 246–259, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.12.025>

NEWTON DE OLIVEIRA CARVALHO. **HIDROSEDIMENTOLOGIA PRÁTICA**. 2ª EDIÇÃO. Rio de Janeiro: Interciência. 599 p

PANDEY, A.; HIMANSHU, S. K.; MISHRA, S. K.; SINGH, V. P. Physically based soil erosion and sediment yield models revisited. **Catena**, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.08.002>

PINESE, J. F. Avaliação dos sedimentos em suspensão com o uso de imagens multiespectrais nos reservatórios de Caçu e Barra dos Coqueiros – GO. 75 f. **Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Feredal de Uberlândia, Minas Gerais**.

TOMING, K.; KUTSER, T.; LAAS, A.; SEPP, M.; PAAVEL, B.; NÖGES, T. First experiences in mapping lakewater quality parameters with sentinel-2 MSI imagery. **Remote Sensing**, v. 8, n. 8, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs8080640>

WIRASATRIYA, A.; MASLUKAH, L.; INDRAYANTI, E.; YUSUF, M.; PINCTA MILENIA, A.; ADAM, A. A.; HELMI, M. Seasonal variability of Total Suspended Sediment off the Banjir Kanal Barat River, Semarang, Indonesia estimated from Sentinel-2 images. **Regional Studies in Marine Science**, v. 57, p. 102735, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102735>

CAPÍTULO I.

Estimativa da concentração de sedimentos suspensos via sensoriamento remoto para o rio Teles Pires

O presente manuscrito seguirá as padronizações adotadas pelo periódico *Sustainability*, no qual presente trabalho será submetido (ANEXO II).

Estimativa da concentração de sedimentos suspensos via sensoriamento remoto para o rio Teles Pires

Rhavel Salviano Dias Paulista ¹, Frederico Terra de Almeida ^{1,2}

1 Programa de pós-graduação em ciências ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop 78557-287, MT, Brasil. rhavelsalviano@gmail.com (R.S.D.P.)

2 Instituto de ciências agrárias, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop 78557-287, MT, Brasil. fredterr@gmail.com or frederico.almeida@ufmt.br (F.T.A.).

Abstract: A concentração de sedimentos suspensos (Css) é um parâmetro de grande importância, pois está relacionado a morfologia dos cursos d'água, ao uso e ocupação do solo da bacia de contribuição e ao transporte e acúmulo de sedimentos. Os métodos para a aquisição deste dado já estão estabelecidos, no entanto são onerosos e o caráter pontual das amostragens dificulta a extrapolação ao longo dos corpos hídricos e dos reservatórios. O sensoriamento remoto se apresenta como uma alternativa viável para sanar estes obstáculos, uma vez que a variação nas concentrações de sedimentos suspensos é perceptível em imagens de satélites. Desta forma é possível utilizar a reflectância das imagens de satélite para estimar a Css espacialmente e temporalmente. Para efetuar tal tarefa os produtos de plataforma Sentinel 2a e b foram empregados. As imagens do sensor corresponderam ao mesmo dia das coletas de campo. O ambiente de processamento utilizado foi o Google Earth Engine, ferramenta que permitiu agilidade e flexibilidade na aplicação da metodologia. O acesso a diversas fontes de dados e a robustez no processamento mostram que a ferramenta pode ser uma aliada no estudo de parâmetros de qualidade de água via sensoriamento remoto. Entre as bandas e índices estudados o melhor estimador da Css foi a reflectância da banda B4, que corresponde a faixa do vermelho do espectro visível, e o modelo exponencial apresentou o melhor ajuste e precisão.

Keywords: Amazonia, Google Earth Engine, hydro-sedimentology, reflectance, satellite imagery.

1. Introdução

A concentração de sedimentos suspensos (Css) é um parâmetro de relevância no estudo da qualidade dos corpos hídricos, pois ele está diretamente conectado à morfologia dos canais e aos processos de assoreamento sofridos pelos reservatórios [1,2]. Embora a erosão e a sedimentação das partículas seja um fenômeno natural ela pode ser potencializada pelas ações antrópicas, acarretando consequências na qualidade da água, no assoreamento dos corpos hídricos e no tempo de vida útil dos reservatórios [3,4]. Embora os métodos tradicionais para a aquisição de dados sedimentológicos sejam confiáveis, Carvalho [5] ressalta a importância da busca por métodos alternativos que torne a quantificação da concentração dos sedimentos suspensos mais ágil, precisa e menos onerosa. Ainda existem outros empecilhos quanto aos métodos tradicionais, a dificuldade de se estabelecer observações contínuas prejudica a caracterização da determinação ao longo do tempo, e o caráter pontual das amostragens dificulta a extrapolação dos valores para outros locais do corpo hídrico [4].

O sensoriamento remoto se insere como uma alternativa para a determinação do Css, no princípio, sua aplicação se limitava apenas ao oceano ou a grandes lâminas d'água, mas com o surgimento de sensores orbitais com melhor resolução espacial foi possível aplicar esta tecnologia em corpos d'água menores [6]. De acordo com Ritchie [7], a medida em que a concentração de sedimentos suspensos se eleva, a reflectância de superfície dos

corpos hídricos também aumenta, o que possibilita a detecção da variação do C_{ss} ao longo do corpo hídrico. Para Chelotti et al. [3], a vantagem no monitoramento sedimentológico por imagens de satélite é a possibilidade de monitorar diversos locais de entradas de sedimentos nos reservatórios, uma vez que essas são de difícil monitoramento. Logo, a partir das imagens de satélite é possível monitorar diversos pontos do corpo hídrico ao mesmo tempo, inclusive lugares de difícil acesso, enquanto a resolução temporal dos satélites proporciona a aquisição de informação em uma escala de dias, variando de acordo com o sensor. Outra benesse do sensoriamento remoto é a facilidade do acesso aos dados, serviços como a USGS-EarthExplorer e o Copernicus Science Hub disponibilizam imagens de satélites de forma gratuita para comunidade científica, e a plataforma Google Earth Engine (GEE), além de disponibilizar os dados, permite o processamento dos mesmos, democratizando o acesso a computação de alto desempenho [8,9]

Em seu trabalho Giardino et al. [10] esclarecem que existem três abordagens principais no emprego do sensoriamento remoto para caracterização dos parâmetros de qualidade da água, sendo elas: a abordagem empírica, semi-empírica e analítica. Na abordagem empírica são elaboradas regressões simples ou múltiplas entre os valores de reflectância obtidos nas imagens de satélite e os parâmetros de qualidade de água. Na semi-empírica deve-se conhecer o comportamento espectral dos parâmetros estudados através de medições *in loco* ou em laboratório e selecionar bandas específicas que capturem tal resposta. A analítica é uma abordagem física, onde se estuda as propriedades ópticas inerentes específicas ao longo de toda a coluna d'água, e posteriormente essas características são relacionadas às propriedades ópticas aparentes dos parâmetros de qualidade de água.

Diversos autores têm utilizado imagens de satélite na quantificação do C_{ss} [11–16]. Utilizando a abordagem empírica Simões et al [17] encontraram fortes relações entre o C_{ss} e o índice radiométrico NDWI para o rio Teles Pires. Aires et al. [18] aplicaram o método para duas plataformas orbitais diferentes, a Landsat e o Sentinel 2a e b, e avaliaram diversas bandas e índices radiométricos, encontrando bons estimadores de C_{ss} para o rio Doce. Ambos os autores se depararam com o problema da sincronização entre a data das imagens de satélites e as campanhas de campo e optaram por inserir imagens de dias posteriores e anteriores a coleta, levando em consideração as variações das vazões. Empregando o método semi-empírico Marinho et al. [19] e Santos et al. [20] obtiveram bons resultados relacionando repostas obtidas por espectrômetros em campo com imagens do sensor MSI e Modis. Martinez et al. [4] aplicaram o processo analítico para compreender o comportamento das propriedades ópticas da água ao longo da bacia amazônica. Utilizando o mesmo procedimento Dekker et al. [21] construíram modelos de estimativa da matéria em suspensão para o lago Frisian no nordeste da Holanda.

De acordo com Pahlevan et al. [6], independentemente da abordagem utilizada, é imprescindível que as reflectâncias nas imagens de satélite sejam referentes aos parâmetros de qualidade de água, e não de ruídos causados pela atmosfera. O autor enfatiza a necessidade de fazer a calibração atmosférica, que é um procedimento que busca recuperar a reflectância de superfície ao subtrair as contribuições atmosféricas da reflectância no topo da atmosfera capturada pelos sensores orbitais. Com a difusão e popularização de dados de sensoriamento remoto, algoritmos de calibração atmosférica foram desenvolvidos para minimizar este ruído, dentre eles está o corretor atmosférico Dark Spectrum Fitting (DFS) proposto por Vanhellemont and Ruddick [9]. O DFS originalmente foi desenvolvido para imagens com resolução métrica, mas Vanhellemont [22] obteve resultados satisfatórios ao implementar o algoritmo em imagens dos satélites Landsat e Sentinel-2, que possuem resolução decamétrica. O DFS está contido no ACOLITE, um processador de calibração atmosférica que abrange vários sensores, e foi desenvolvido pela Royal Belgian Institute of Natural Sciences (RBINS) para aplicações aquáticas de imagens de satélites. Outro fator relevante é o Sun glint, ele é o reflexo da luz solar direta no sentido do campo de visão do sensor, impedindo a captura adequada das reflectâncias derivadas dos parâmetros de qualidade de água [23]. O Sun glint é um problema recorrente no estudo de superfícies aquáticas via sensoriamento remoto e

alguns autores vem estudando e propondo soluções [24–26]. No processador ACOLITE está implementada a solução proposta por Harmel et al. [27], que desenvolveram uma metodologia de extração do Sunlint para sensor MSI baseado na banda SWIR. Em seus estudos Gao et al. [28] já relatavam que sensores que possuem a banda SWIR facilitam o processo de calibração atmosférica, devido a reflectância da água ser igual a zero neste comprimento de onda em condições ideais, e Harmel et al. [27] ressaltam que a utilização da banda SWIR como parâmetro para extração do Sunlint influencia positivamente nos resultados.

De acordo com Giardino et al. [10] ao sincronizar os dados de campo com as passagens dos satélites, os produtos de sensoriamento remoto podem ser validados para a avaliação da presença de sedimentos. Assim este estudo tem por objetivo gerar um modelo empírico de estimativa da C_{ss}, via sensoriamento remoto, utilizando imagens do sensor Sentinel 2a e b capturadas no mesmo dia das coletas de campo. E avaliar a plataforma Google Earth Engine tanto na manipulação dos dados como no processamento dos mesmos, por meio de um método semi-automático.

2. Material e métodos

2.1. Área de estudo

O objeto de estudo é o rio Teles Pires, sua bacia hidrográfica possui aproximadamente 141.524 km² de área e está localizada entre as latitudes 7° 16' 47" e 14° 55' 17" sul e longitudes 53° 49' 46" e 58° 7' 58" oeste. Ela ocupa territórios dos estados de Mato Grosso e Pará e está inserida na Região Hidrográfica Amazônica. Devido a sua grande extensão, a bacia do Teles Pires é comumente dividida em alto, médio e baixo Teles Pires. Na região do baixo e médio o bioma predominante é a Floresta Amazônica enquanto o Cerrado predomina no Alto Teles Pires. A bacia apresenta dois climas de acordo com a classificação de Köppen, na região do alto e grande parte do médio o clima é classificado como Aw, clima tropical com inverno seco e verão chuvoso, já a região próxima à foz, apresenta clima Am, clima tropical úmido com estação seca de pequena duração e valores de precipitação mais elevados [29]. O rio Teles Pires abriga atualmente 4 complexos hidroelétricos sendo eles as UHE's São Manuel, Teles Pires, Colíder e Sinop Figura 1.

A UHE São Manuel está localizada no baixo Teles Pires nas coordenadas 9°11'11.06"Sul e 57° 3'1.13"Oeste e possui capacidade instalada de 700MW, e área de reservatório de 66 Km². A UHE Teles Pires está localizada nas coordenadas 9°21'04" Sul e 56°46'39" Oeste e possui capacidade instalada de 1820 MW e a área do reservatório é de 150 km². A UHE Colíder está localizada nas coordenadas 10° 59' 06.62" Sul e 55° 45' 52.06" Oeste sua capacidade instalada é 300 MW a área do reservatório 114,9 km². Localizada nas coordenadas 11°16'1" Sul, 55°27'14" Oeste a UHE Sinop possui capacidade instalada de 401,88 MW e área de reservatório de 342 Km² [30].

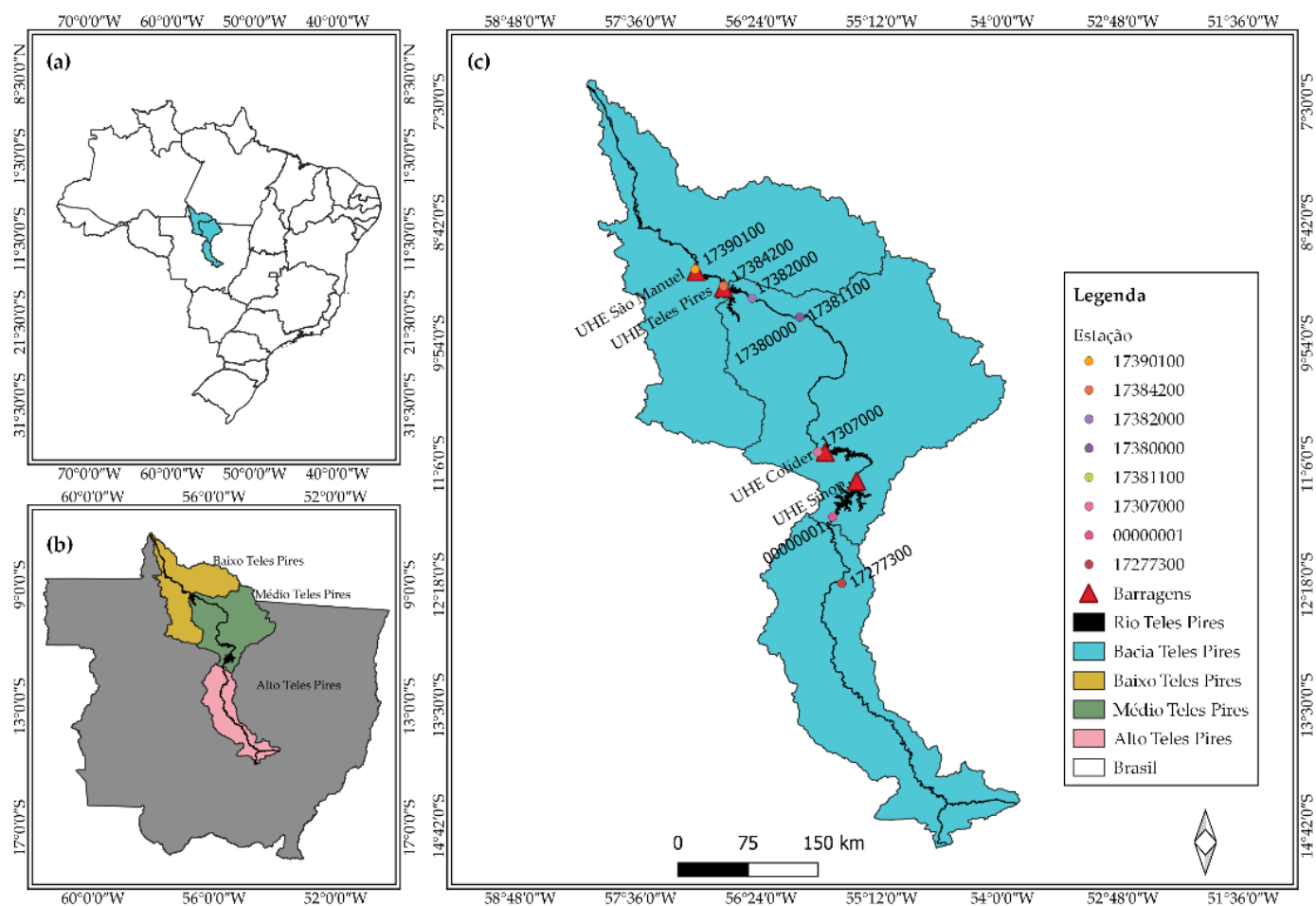


Figura 1. Localização da área de estudo; (a) Bacia hidrográfica em azul e Brasil em linhas pretas; (b) Divisão entra alto médio e baixo Teles Pires e Estado de Mato Grosso em cinza; (c) Localização das barragens e estações utilizadas.

2.2. Dados de Css

Os dados de Css empregados neste trabalho foram oriundos de duas fontes. A primeira são os próprios autores, que realizaram 5 campanhas de coletas dos dados no mesmo dia da passagem dos satélites Sentinel 2 a e b em uma seção nas proximidades do reservatório da UHE Sinop. A segunda é Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA [31]. A resolução conjunta ANA ANEEL nº 03/2013 estabelece o acompanhamento de vários parâmetros hidrológicos por parte das concessionárias que operam os complexos hidroelétricos, sendo um desses o levantamento hidrossedimentológico. Além dos operadores o Serviço Geológico do Brasil-CPRM também efetua o monitoramento deste parâmetro em uma seção no rio Teles Pires. Foram selecionadas todas as estações que estavam em operação entre os anos de 2016 e 2020 e continham dados de descarga sólida. Na Tabela 1 são apresentadas as informações da seção estudada pelos autores e das 7 estações provenientes da ANA que atenderam a estes quesitos.

Tabela 1. Características das estações de monitoramento no rio Teles Pires

Código	Nome	Operador	Localização	
			Sul	Oeste
00000001	Seção Curio	Autores	11°37'35"	055°41'23"
17277300	UHE Sinop montante 1	UHE Sinop	12°17'17"	055°36'03"
17390100	UHE São Manuel jusante 1	UHE São Manuel	09°09'55"	057°03'39"

17307000	UHE Colíder Pesqueiro do Gil	UHE Colíder	10°58'59"	055°46'06"
17380000	Jusante foz Peixoto de Azevedo	CPRM	09°38'26"	056°01'10"
17381100	UHE Teles Pires montante 2	UHE Teles Pires	09°38'23"	056°01'09"
17382000	UHE Teles Pires montante 1	UHE Teles Pires	09°27'11"	056°29'32"
17384200	UHE Teles Pires jusante	UHE Teles Pires	09°19'52"	056°46'41"

Para a coleta da descarga sólida tanto os autores como os operadores das UHE's utilizam a metodologia proposta por Carvalho [5], que é a amostragem por igual incremento de largura – ILL, com amostras integradas na vertical. Com relação aos operadores a resolução ANA ANEEL nº 03/2013 exige uma frequência de coletas trimestral, contemplando 4 medidas anuais nos períodos de seca, enchente, cheia e vazante. Um fato relevante é que as estações 17380000 e 17381100 se encontram no mesmo local, proporcionando um maior volume de dados para local. O Apêndice A contém os dados brutos empregados neste trabalho

2.3. *Dados de Sensoriamento remoto*

O processamento das imagens foi realizado por meio da plataforma Google Earth Engine (GEE). De acordo Gorelick et al. [8] o GEE é uma plataforma de computação em nuvem que além de fornecer uma vasta coleção de dados orbitais, ainda permite o processamento destes dados. Os autores ainda ressaltam que o GEE é uma ferramenta que democratiza o acesso a computação de alto desempenho, sendo capaz de processar grandes volumes de dados de sensoriamento remoto. Neste trabalho foi utilizado o pacote geemap de [32] que permite a manipulação e visualização dos dados do GEE através da linguagem python. Uma das coleções de dados orbitais disponíveis no GEE é a coleção COPERNICUS que é composta por imagens provenientes do sensor MSI (Multi Spectral Instrument) a bordo do satélite Sentinel 2a e 2b.

O satélite é parte do programa copernicus de monitoramento terrestre, que é coordenado pela Comissão Europeia (CE) e a Agência Espacial Europeia (ESA). O sensor MSI (Multi Spectral Instrument) possui resolução temporal de 5 dias e amostra 13 bandas espectrais, no entanto neste trabalho, serão empregadas apenas as bandas B3, B4 e B8 que correspondem as bandas do verde, vermelho e infravermelho próximo, respectivamente. Tais bandas possuem resolução espacial de 10 metros, a banda B3 está centralizada no comprimento de onda em 560 nm e possui largura de 35 nm, o centro de banda B4 é localizado em 665 nm e sua largura corresponde a 30 nm, a banda B8 possui seu centro em 842 nm e largura de 20 nm [33]. A principal motivação para escolha deste sensor é em virtude da sua resolução temporal, ao revisitar um mesmo local em um intervalo de 5 dias o sensor aumenta a probabilidade da captura de imagens no mesmo dia das campanhas de campo. A escolha das bandas é fundamentada pelas conclusões de Jensen [34] onde a baixa concentração de sedimentos suspensos gera maior reflectância na faixa do verde e concentrações mais elevadas apresentam maior reflectância na região do vermelho e do infravermelho. Pensando neste comportamento, além de testar as bandas de forma isolada, dois índices radiométricos que trabalham nestas faixas do espectro também foram testados o NDVI e o NDWI. O índice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) apresentado Rouse et al [35] é razão normalizada entre as bandas do vermelho e infravermelho próximo, onde os autores aproveitaram o comportamento físico de plantas saudáveis e não saudáveis frente ao espectro-eletromagnético para discretizar o estado das vegetações. O outro índice empregado foi o NDWI (Normalized Difference Water Index) proposto por McFeeters [36], ele é uma ramificação do NDVI, utilizando a banda verde ao invés da banda vermelha, com a intenção de delinear as feições no ambiente aquático e realçar corpos d'água nas imagens de satélites. O índice varia de -1 a 1 sendo que os valores positivos correspondem aos ambientes aquáticos.

As imagens de satélite são disponibilizadas em coleções, onde cada coleção corresponde a um nível de processamento. Neste trabalho o nível de processamento das imagens utilizadas foi o 2A que indica que os produtos foram geometricamente corrigidos,

e calibrados com relação a atmosfera, apresentando os valores de reflectância da superfície. No entanto, as imagens do GEE foram utilizadas apenas para análise exploratória, identificando as imagens que não possuíam obstrução por nuvens e haviam passado em todos os parâmetros de qualidade. Através das coordenadas das estações e das datas das coletas em *in situ* foi elaborado um algoritmo via plataforma GEE que verifica a ocorrência de imagens do sensor Sentinel-MSI para no mesmo dia das coletas *in situ*. Das 108 datas, o algoritmo verificou a ocorrência de 34 imagens que correspondiam aos dias de coleta. A partir de uma inspeção visual foi verificada a ocorrência de nuvens em 15 imagens, apenas 19 não possuíam obstrução por nuvens e haviam passado em todos os parâmetros de qualidade. Das 19 imagens 14 foram separadas para a criação dos modelos e 5 para validação da eficiência dos modelos. A escolha levou em consideração que o local das estações 17380000 e 17381100 está na intersecção de dois tiles, o que proporciona duas imagens para o mesmo local com intervalo de minutos. Logo as 3 imagens selecionadas para a avaliação dos modelos são as imagens que se repetem em conjunto com mais 2 imagens referentes as campanhas dos autores. A figura 2 demonstra as imagens utilizadas neste estudo, as datas e os respectivos tiles, e identifica quais serão empregadas na criação e validação dos modelos.

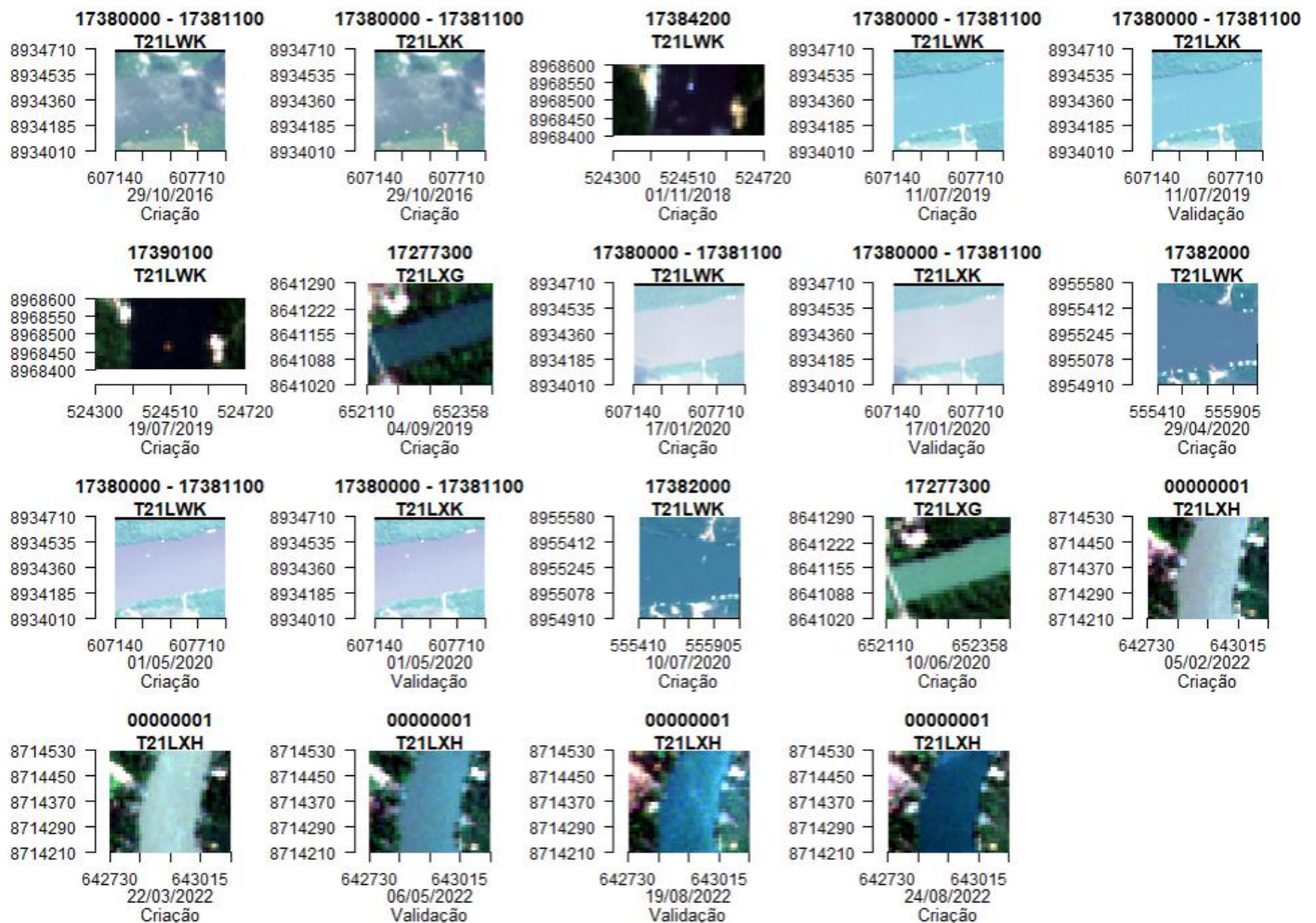


Figura 2. Imagens utilizadas no estudo

2.4. Calibração atmosférica

A calibração atmosférica busca recuperar a reflectância de superfície, extraindo as contribuições atmosféricas da reflectância no topo da atmosfera [6]. Para realizar este procedimento o algoritmo Dark Spectrum Fitting (DFS) proposto por Vanhellemont and Ruddick [9] foi utilizado, ele está contido no processador ACOLITE, e inicialmente foi

desenvolvido para imagens com resolução métrica, no entanto Vanhellemont [22] obteve bons resultados aplicando o algoritmo em imagens de satélites com resolução decamétrica. O autor supracitado descreve em seu trabalho que para estimar a contribuição atmosférica o DSF se baseia em duas premissas. A primeira é que a atmosfera é homogênea e a reflectância proveniente é constante na imagem ou em parte dela, uma vez que o algoritmo permite a seleção de regiões específicas para a correção. A segunda pressupõe que haverá refletâncias próximas a zero em pelo menos uma das bandas do sensor, possibilitando a estimativa da reflectância atmosférica. A partir destas premissas a refletância no topo da atmosfera ρ_T é corrigida para interface gás-água utilizando o método proposto por Gordon et al. [37]. Após este processo reflectância do objeto escuro ρ_{Escuro} é definido ao utilizar o intercepto de uma regressão contendo as menores refletâncias em cada banda. A espessura do aerossol é estimada pela comparação dos valores ρ_{Escuro} encontrados na etapa anterior com modelos de aerossol criados via uma tabela de Look Up Table (LUT) gerada usando o modelo 6SV de Kotchenova et al [38] o LUT simula curvas espectrais que variam de acordo com a espessura óptica do aerossol τ_a em 550 nm, para cada modelo de aerossol contido no LUT, a banda que fornecer a menor τ_a é escolhida. A combinação de banda e modelo que apresentar a menor τ_a é finalmente usada no processamento da calibração, e os parâmetros necessários são importados do LUT.

Outro fator relevante no estudo de ambientes aquáticos via sensoriamento remoto é o reflexo da luz solar direta no sentido do campo de visão do sensor, o Sunlint. Este fenômeno produz anomalias na captura das reflectâncias derivadas dos parâmetros de qualidade de água por sensores orbitais [23]. O processador ACOLITE incorporou o método desenvolvido por [27] o algoritmo GRS foi desenvolvido para corrigir este efeito em sensores que possuem a banda SWIR. O algoritmo estima a função de distribuição da reflectância bidirecional (BDRF) para a interface ar-água para a banda SWIR e propaga tal estimativa pra as bandas do visível e NIR [23]. As imagens selecionadas na etapa de verificação da intersecção com dados de campo foram novamente baixadas através da biblioteca Sentinel hub no nível de processamento 1C, a alteração na fonte de aquisição das imagens se dá pelo fato de o acolite exigir arquivos auxiliares para calibração. Após a aplicação da calibração atmosférica as imagens foram importadas para o GEE para o processamento dos dados.

2.5. *Processamento dos dados*

Com as imagens importadas para o GEE a extração dos valores dos pixels se deu por um processo semiautomático. Para todas estações foi traçada manualmente uma linha perpendicular ao rio, de uma margem a outra, a partir disto todo o processo foi automatizado. Primeiramente foi estabelecido um buffer de 30 metros com relação a linha traçada e efetuado um recorte. Para extrair apenas os pixels referentes a água foi aplicado o índice radiométrico MNDWI proposto por [39] que substitui no NDWI a banda do infravermelho próximo pelo infravermelho médio. Segundo o autor esta alteração proporciona menores interferências de objetos antrópicos e devido a maior absorção energética do infravermelho médio por ambientes aquáticos, aumenta a eficiência no delineamento corpos hídricos. Assim como o NDWI o índice varia de -1 a 1 sendo o valor 0 é o limiar entre ambientes aquáticos e não aquáticos, com os valores positivos correspondentes a água. Desta forma foi elaborada uma máscara vetorial baseada apenas nos pixels que possuíam valores maiores que 0. Para minimizar os efeitos das margens um novo buffer foi realizado reduzindo a área em -10 metros. Para extração dos valores dos pixels, uma malha amostral de 10x10m foi criada, seu tamanho levou em consideração a resolução espacial das imagens evitando interpolações desnecessárias. Como a amostragem ILL representa a média da concentração de sedimentos suspensos, foi realizado a média dos pixels contidos dentro da máscara para análise estatística. A figura 3 a seguir descreve todo o processo e a Figura 4 descreve de forma geral o delineamento do trabalho.

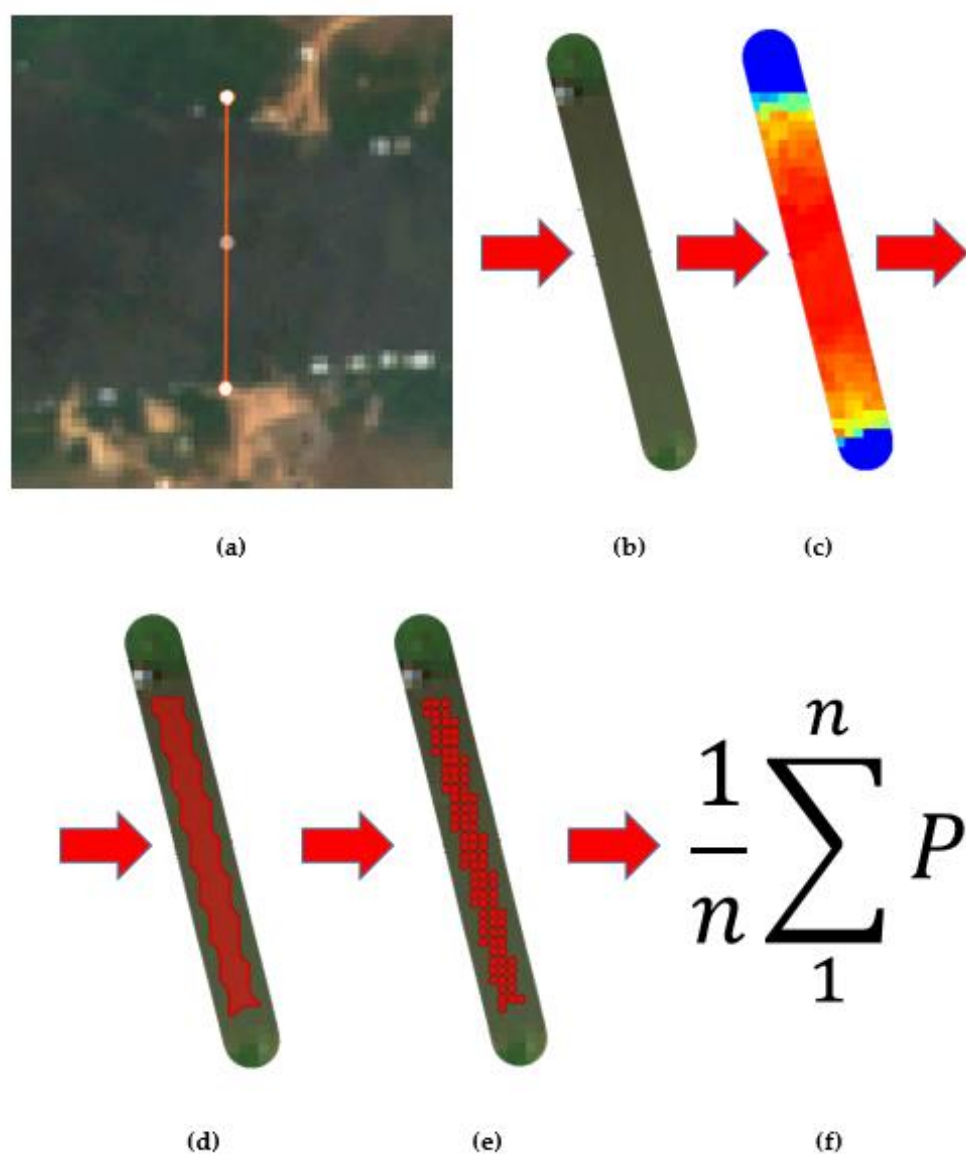


Figura 3. Processamento dos dados: (a) Vetor traçado manualmente de uma margem a outra; (b) Aplicação de um buffer de 30 metros partir da linha e recorte; (c) Aplicação do MNDWI para extrair somente o ambiente aquático; (d) Aplicação de um buffer de -10 metros; (e) Criação de uma malha amostral de 10x10 metros; (f) Média dos valores capturados pela malha amostral.

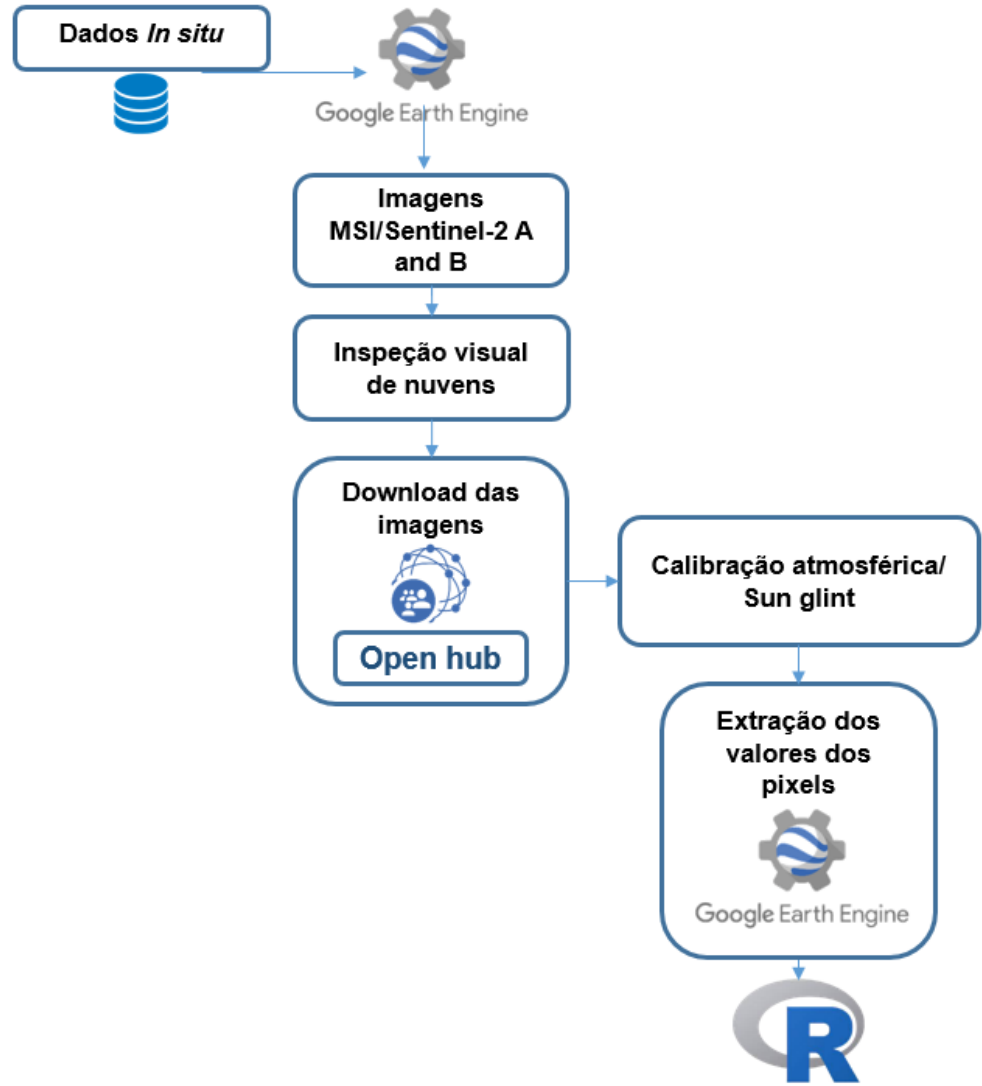


Figura 4. Delineamento do trabalho

Todas as análises estatísticas foram elaboradas no ambiente R 4.0.2. Primeiramente verificou-se a normalidade dos dados aplicando o teste Shapiro-wilk onde a normalidade é aferida se a variável apresentar um p significativo acima de 0.05. Para avaliar quais variáveis possuíam maior correlação com os dados de C_{ss} uma matriz de correlação Spearman foi utilizada e posteriormente ajustado dois modelos de regressão. O pacote hidroGOF de [40] foi utilizado para implementar os parâmetros estatísticos que aferem a eficiência dos modelos, os dados estimados foram comparados com os dados observados, por meio dos parâmetros, erro absoluto médio (MAE) Equação (1), raiz do erro quadrático médio (RMSE) Equação (2), viés Equação (3), Índice de concordância de Willmott (d) Equação (4) e Índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (E_{NS}) Equação (5).

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |O_i - P_i| \quad (1)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2 \right]^{0.5} \quad (2)$$

$$VIÉS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - P_i) \quad (3)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (4)$$

$$E_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - O)^2} \quad (5)$$

Em que: P_i - é o valor da C_{ss} estimada (mg L^{-1}); O_i - a C_{ss} observada (mg L^{-1}); O - a média das concentrações observadas (mg L^{-1}); e N - o número de valores da amostra. Para avaliar a variação dos erros nas estimativas de C_{ss} pelas bandas B3 e B4 os índices MAE e o RMSE foram empregados. Os dois índices indicam ajuste perfeito do modelo quando seus valores são iguais a zero [41]. O índice viés foi utilizado para verificar se o modelo subestima ou superestima, valores positivos apontam uma subestimativa e valores negativos sugerem uma superestimativa do modelo. O índice de concordância de Willmott foi aplicado para observar o desempenho do modelo na predição. Seus valores variam de 0 a 1, onde 1 indica concordância perfeita. Para medir o desempenho dos modelos o índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (E_{NS}) foi empregado, a partir da classificação proposta por [42], onde $E_{NS} = 1$ significa ajuste perfeito dos dados preditos pelo modelo, $E_{NS} > 0,75$ sugere que o modelo é adequado e bom, E_{NS} variando entre 0,36 e 0,75 indica que o modelo é considerado satisfatório, e $E_{NS} < 0,36$ indica que o modelo não é satisfatório.

3.Resultados

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos através do processamento, e apresenta quais dados foram utilizados para criação e validação dos modelos.

Tabela 2 Valores extraídos dos pixels

Código	Data	Função	B3	B4	B8	NDWI	NDVI	Css (mg/L)
17381100	29/10/2016	Criação	0,0407	0,0246	0,0160	0,4265	-0,1964	17,55
17381100	29/10/2016	Criação	0,0407	0,0246	0,0160	0,4272	-0,1964	17,55
17384200	01/11/2018	Criação	0,0159	0,0019	0,0335	-0,3538	0,8846	12,66
17380000	11/07/2019	Criação	0,0337	0,0181	0,0148	0,3809	-0,0870	5,10
17380000	11/07/2019	Validação	0,0337	0,0181	0,0151	0,3809	-0,0869	5,10
17384200	19/07/2019	Criação	0,0188	0,0089	0,0138	0,1495	0,2172	11,88
17277300	04/09/2019	Criação	0,0557	0,0404	0,0378	0,1962	-0,0372	8,91
17381100	17/01/2020	Criação	0,0351	0,0312	0,0521	-0,1882	0,2450	9,82
17381100	17/01/2020	Validação	0,0351	0,0312	0,0521	-0,1884	0,2452	9,82
17382000	29/04/2020	Criação	0,0297	0,0273	0,0121	0,4232	-0,3896	9,39
17381100	01/05/2020	Criação	0,0298	0,0264	0,0140	0,3569	-0,3020	6,74
17381100	01/05/2020	Validação	0,0298	0,0264	0,0140	0,3591	-0,3014	6,74
17277300	10/06/2020	Criação	0,0479	0,0351	0,0126	0,5767	-0,4708	14,42
17382000	10/07/2020	Criação	0,0275	0,0112	0,0097	0,4817	-0,0727	5,05
00000001	05/02/2022	Criação	0,0570	0,0609	0,0303	0,3067	-0,3400	17,42
00000001	22/03/2022	Criação	0,0480	0,0507	0,0316	0,2043	-0,2329	24,37
00000001	06/05/2022	Validação	0,0467	0,0363	0,0212	0,3799	-0,2632	11,63
00000001	19/08/2022	Validação	0,0369	0,0212	0,0400	-0,0391	0,3176	6,53
00000001	24/08/2022	Criação	0,0379	0,0184	0,0150	0,4340	-0,0975	10,74

Os valores de B3, B4 e NDVI apresentaram normalidade com $p=0.056$, $p=0.340$ e $p=0.186$, já os valores *Css in situ*, B8 e NDWI não apresentaram normalidade com $p=0.013$, $p=0.011$ e $p=0.017$. Das variáveis analisadas, a banda B4 apresentou o maior coeficiente de correlação com $Rho=0,829$, a B3 apresentou $Rho=0,725$ indicando correlação forte entre o espectro do vermelho e verde com a concentração de sedimentos suspensos. A Tabela 3 demonstra os demais resultados e suas significâncias.

Tabela 3 Avaliação da normalidade, correlação e significância das bandas selecionadas

Elementos	Shapiro-wilk	ρ	p
Css	0,013		
B3	0,056	0,725	0,002
B4	0,340	0,829	0,001
B8	0,011	0,294	0,288
NDWI	0,017	-0,149	0,597
NDVI	0,186	-0,414	0,125

Foram ajustados dois modelos de regressão para B4 e B3, sendo os modelos linear e exponencial.

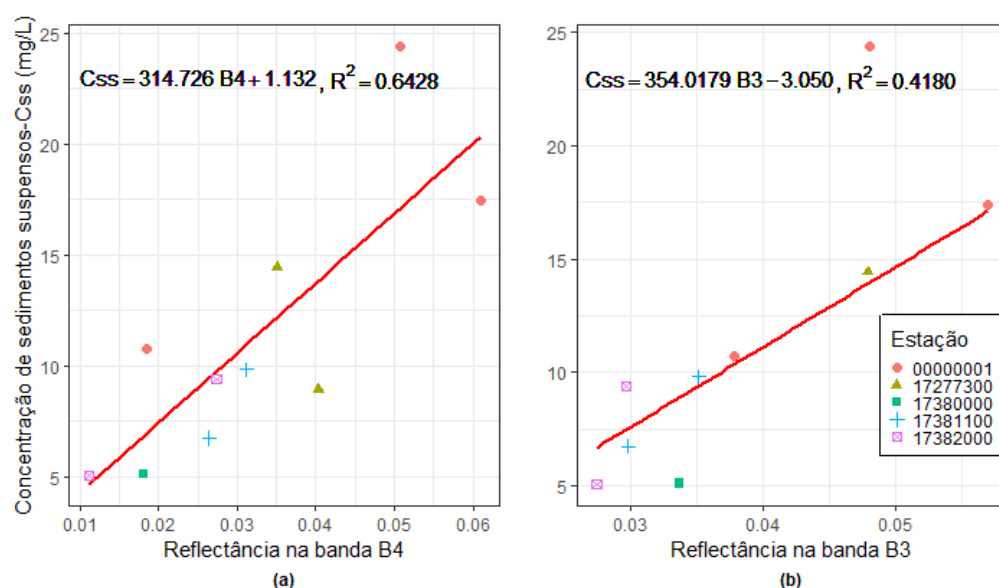


Figura 5. Modelos lineares: (a) ajuste linear a partir da banda B4 (vermelho); (b) ajuste linear a partir da banda B3 (verde)

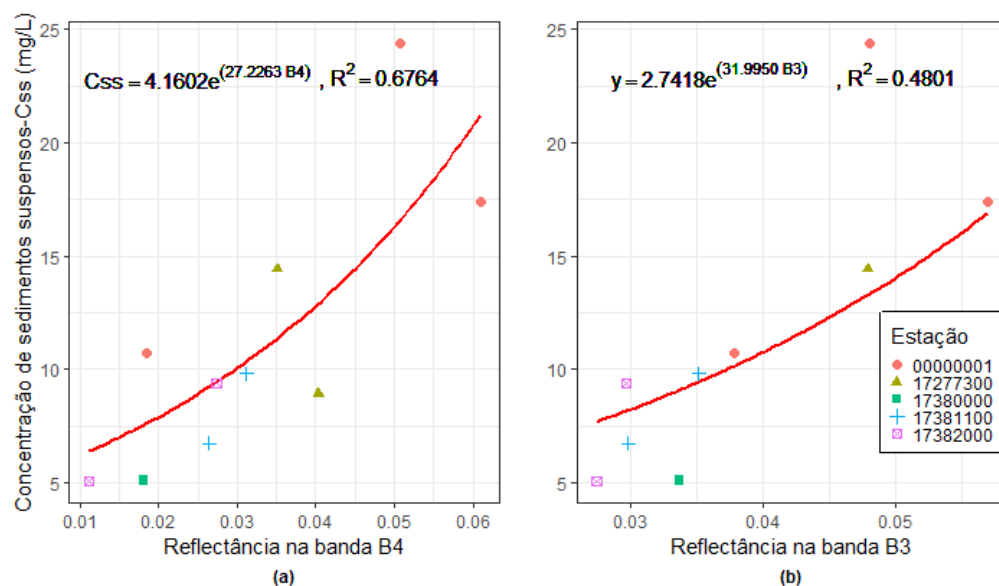


Figura 1. Modelos exponenciais: (a) ajuste exponencial a partir da banda B4 (vermelho); (b) ajuste exponencial a partir da banda B3 (verde)

Em ambos os modelos a banda B4 apresentou o melhor coeficiente de determinação, com $R^2 = 0.6428$ para o modelo linear e $R^2 = 0.6764$ para o exponencial, indicando que para a banda B4 o modelo exponencial proporciona o melhor ajuste. Na banda B3 ocorreu o mesmo comportamento, com o ajuste linear com $R^2 = 0.4180$ e o ajuste exponencial com $R^2 = 0.4801$. Em ambos os modelos a banda B4 apresentou o melhor coeficiente de determinação, com $R^2 = 0.6428$ para o modelo linear e $R^2 = 0.6764$ para o exponencial, indicando que para a banda B4 o modelo exponencial proporciona o melhor ajuste. Na banda B3 ocorreu o mesmo comportamento, com o ajuste linear com $R^2 = 0.4180$ e o ajuste exponencial com $R^2 = 0.4801$.

A avaliação dos modelos pode ser observada na Tabela 3. Para as duas bandas em questão o modelo exponencial apresentou os menores valores dos índices MAE e o RMSE indicando que o modelo erra menos para os dois estimadores. O VIÉS demonstrou que todos os modelos subestimaram o C_{ss} . O índice de concordância de Willmott constatou que a maior concordância ocorreu para o estimador B4 e o modelo exponencial apresentou o valor mais próximo de 1, esta combinação também apresentou o melhor resultado para o índice de eficiência de Nash-Sutcliffe com $ENS = 0.74$, indicando o modelo como satisfatório.

Tabela 3 Avaliação estatística dos modelos

Parâmetros	B3		B4	
	linear	Exponencial	linear	Exponencial
MAE	2.06712773	1.5430913	1.5537049	0.9899554
RMSE	2.48075868	1.8439761	1.6786464	1.1980330
VIÉS	1.89343424	0.9898738	1.5537049	0.7684981
D	0.75225872	0.8039733	0.8798404	0.9141637
E_{NS}	-0.07472081	0.4062041	0.5079094	0.7493520

4. Discussão

Entre os dados analisados, valores de *Css in situ*, NDWI e B8 não apresentaram normalidade, isso pode ter ocorrido devido a quantidade das observações que foram limitadas pela intersecção de coletas in situ/satélite. Tanto B3 com B4 apresentaram normalidade, mas foi a B4 que demonstrou ser melhor estimador, tanto para o modelo linear como para o modelo exponencial. Tal resultado vai ao encontro com o trabalho realizado por Marinho et al [19], que encontraram fortes relações entre a *Css* e a banda B4 (vermelho) do sensor MSI para rio Negro, e Santos et al [20] chegaram a mesma conclusão para o rio Purus utilizando o sensor Modis, fato que se repetiu em Lobo et al. [15] para os sensores Landsat-MSS/TM/OLI no rio Tapajós. Contrariando as observações de Jensen [34] a banda B4 (vermelho) explicou melhor os sedimentos suspensos, mesmo este, sendo evidenciado em baixas concentrações. Este comportamento pode ser explicado através do trabalho do próprio autor, que esclarece que o deslocamento das reflectâncias do vermelho e infravermelho para o verde, em baixas concentrações de sedimentos, está ligada a concentração de clorofila contida no ambiente aquático. A hipótese que o rio Teles Pires possui uma baixa concentração de clorofila explicaria como a banda B4 (vermelho) foi mais eficiente ao estimar a *Css*, mesmo em baixas concentrações, no entanto para validar tal afirmação é necessário a quantificação da concentração da clorofila ao longo do rio Teles Pires.

Os índices radiométricos não apresentaram correlação com os dados de *Css*, em especial os resultados obtidos pelo NDWI contrariam os encontrados por Simões et al. [17]. Essa diferença pode ter ocorrido devido a utilização de imagens de dias posteriores e anteriores aos dias das coletas campo. Outra hipótese está no trabalho de McFeeters [36], que já alertava que o aspecto de banda larga do NDWI seria eficiente na estimativa da turbidez geral, no entanto essa eficiência se perderia ao relacionarmos o índice com variáveis isoladas, como a clorofila e os sedimentos em suspensão. Krug and Noernberg, [43] aplicaram o NDWI na determinação da batimetria e detectaram que o índice também sofre interferências com as variações de profundidade. Como Simões et al. [17] utilizaram o índice em duas seções fixas, a profundidade foi constante, desta forma os valores de NDWI foram principalmente afetados pela variação do material em suspensão, o que explicaria a divergência entre os resultados. A baixa correlação do NDVI com a *Css* pode ser explicada pelas ínfimas reflectâncias nas bandas B4 e B8. A gênese do índice indica que a obtenção de resultados satisfatórios está ligada a diferenças significativas entre as reflectâncias dos objetos de estudo [35]. A concentração de sedimentos suspensos do rio Teles Pires proporciona uma pequena reflectância na região do vermelho, este comportamento espectral aliado a alta absorção do infravermelho pela água torna o índice ineficaz no realce dos sedimentos.

O modelo matemático que proporcionou o melhor ajuste e precisão foi o exponencial, apresentando os menores erros em relação aos dados observados. Algumas seções estão em pontos de sobreposição das imagens de satélite, o que proporcionou duas imagens para o mesmo dia, reforçando o teste do modelo. A média da *Css* para o rio Teles Pires é de aproximadamente 11 mg/L e os valores de *Css* utilizados para criação do modelo variaram de 5,05 a 24,37 mg/L, demonstrando que o modelo é viável para este corpo hídrico. Não foi possível avaliar nenhuma medida para o último trimestre anual de 2019 ou 2020, isto está relacionado ao período chuvoso onde a ocorrência de nuvens em imagens de satélite é comum. Essa dificuldade pode ser minimizada com o emprego de outros sensores orbitais, aumentando a probabilidade de captura de imagens sem nuvens, como foi feito nos trabalhos de [15,18]. Outra solução seria a abordagem utilizada por [44] e [45] que empregaram aeronaves não tripuladas com sensores espectrais embarcados em coletas de campo. Com aplicação da metodologia correta, esta abordagem reduziria os impactos da atmosfera e atribuiria certa liberdade no planejamento de campanhas de campo.

A ferramenta GEE demonstrou flexibilidade no processamento das imagens e na aplicação da metodologia, permitindo diversos ajustes no processo sem grandes acréscimos de mão de obra, com apenas algumas linhas de código foi possível verificar a

ocorrência ou não de imagens para as 53 datas das campanhas de campo. O poder de processamento e a vasta coleção de dados de sensoriamento remoto, faz do GEE uma ferramenta robusta para o estudo dos parâmetros de qualidade da água.

5. Conclusões

O sensoriamento remoto demonstrou ser uma ferramenta eficiente na estimativa do C_{ss}, uma vez que, mesmo o rio Teles Pires apresentando baixas concentrações de sedimentos a metodologia foi capaz detectar as variações do C_{ss} nas seções estudadas.

As bandas isoladas proporcionam correlações mais fortes quando comparadas com índices radiométricos, e a banda B4 (vermelho) apresentou ser o melhor estimador de C_{ss}, e o modelo exponencial proporcionou os melhores ajustes.

A ferramenta GEE foi ágil na análise exploratória e eficiente na aquisição das imagens e aplicação da metodologia.

6. Referências

1. Aldrees, A.; Bakheit Taha, A.T.; Mustafa Mohamed, A. Prediction of Sustainable Management of Sediment in Rivers and Reservoirs. *Chemosphere* **2022**, *309*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136369>.
2. Grant, G.E. The Geomorphic Response of Gravel-Bed Rivers to Dams: Perspectives and Prospects. In *Gravel-Bed Rivers: Processes, Tools, Environments*; John Wiley and Sons: Hoboken, New Jersey, USA, 2012; pp. 165–181. ISBN 9780470688908.
3. Chelotti, G.B.; Martinez, J.M.; Roig, H.L.; Olivietti, D. Space-Temporal Analysis of Suspended Sediment in Low Concentration Reservoir by Remote Sensing. *Rev. Bras. de Recur. Híd.* **2019**, *24*. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920180061>.
4. Martinez, J.M.; Espinoza-Villar, R.; Armijos, E.; Moreira, L.S. The optical properties of river and floodplain waters in the Amazon River Basin: Implications for satellite-based measurements of suspended particulate matter. *J. Geophys. Res. Earth Surf.* **2015**, *120*(7), 1274–1287, <https://doi.org/10.1002/2014JF003404>.
5. Oliveira Carvalho, N. de. Practical Hydrosedimentology, 2nd Edition, Interciência: Rio de Janeiro, Brazil, 2008; 599p
6. Pahlevan, N.; Mangin, A.; Balasubramanian, S. v.; Smith, B.; Alikas, K.; Arai, K.; Barbosa, C.; Bélanger, S.; Binding, C.; Bresciani, M.; Giardino, C.; Gurlin, D.; Fan, Y.; Harmel, T.; Hunter, P.; Ishikaza, J.; Kratzer, S.; Lehmann, M.K.; Ligi, M.; Ma, R.; Martin-Lauzer, F.-R.; Olmanson, L.; Oppelt, N.; Pan, Y.; Peters, S.; Reynaud, N.; Carvalho, L.A.S. de; Simis, S.; Spyarakos, E.; Steinmetz, F.; Stelzer, K.; Sterckx, S.; Tormos, T.; Tyler, A.; Vanhellemont, Q.; Warren, M. ACIX-Aqua: A global assessment of atmospheric correction methods for Landsat-8 and Sentinel-2 over lakes, rivers, and coastal waters. *Remote Sens. Environ.* **2021**, *258*, 112366. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112366>.
7. Ritchie, J.C.; Zimba, P.V.; Everitt, J.H. Remote Sensing Techniques to Assess Water Quality. *Photogramm. Eng. Remote Sensing* **2003**, *69*(6), 695–704. Available online: https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/2003journal/june/2003_jun_695-704.pdf (accessed on 10 October 2022).
8. Gorelick, N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S.; Thau, D.; Moore, R. Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis for Everyone. *Remote Sens. Environ.* **2017**, *202*, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
9. Vanhellemont, Q.; Ruddick, K. Acolite for Sentinel-2: Aquatic Applications of MSI Imagery. Living Planet Symposium Proceedings, Ouwehand, L., Ed., Prague, Czech Republic, ESA-SP Volume 740, 9–13 May 2016. ISBN: 978-92-9221-305-3, p.55.
10. Giardino, C.; Bresciani, M.; Stroppiana, D.; Oggioni, A.; Morabito, G. Optical Remote Sensing of Lakes: An Overview on Lake Maggiore. *J. Limnol.* **2014**, *73*(S1), 201–214. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2014.817>.
11. Oliveira Fagundes, H. de; Paiva, R.C.D. de; Fan, F.M.; Buarque, D.C.; Fassoni-Andrade, A.C. Sediment Modeling of a Large-Scale Basin Supported by Remote Sensing and in-Situ Observations. *Catena (Amst)* **2020**, *190*, 104535. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104535>.
12. Doxaran, D.; Froidefond, J.-M.; Lavender, S.; Castaing, P. Spectral Signature of Highly Turbid Waters Application with SPOT Data to Quantify Suspended Particulate Matter Concentrations. *Remote Sens. Environ.* **2002**, *81*(1), 149–161. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00341-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00341-8).
13. Espinoza Villar, R.; Martinez, J.M.; le Texier, M.; Guyot, J.L.; Fraizy, P.; Meneses, P.R.; Oliveira, E. de. A study of sediment transport in the Madeira River, Brazil, using MODIS remote-sensing images. *J. South Am. Earth Sci.* **2013**, *44*, 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2012.11.006>.
14. Lin, H.; Yu, Q.; Wang, Y.; Gao, S. Assessment of the potential for quantifying multi-period suspended sediment concentration variations using satellites with different temporal resolution. *Sci. Tot. Environ.* **2022**, *853*, 158463. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158463>.
15. 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 Sens. Environ.* **2015**, *157*, 170–184. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.04.030>.
16. 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 5/TM. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* **2014**, *29*, 67–77. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.01.001>.

17. Simões, J.M.; Terra De Almeida, F.; Uliana, E.M.; Gonçalves Vendrusculo, L. Uso de Sensoriamento Remoto No Monitoramento de Sólidos Em Suspensão Do Reservatório de Uma Usina Hidrelétrica Na Transição Cerrado-Amazônia. *Gaia Scientia* **2021**, *15*(3), 69–88. <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2021v15n3.57559>. Available online: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1138716/1/AP-Uso-sensoriamento-remoto-2021.pdf> (accessed on 10 October 2022)
18. Aires, U.R.V.; Silva, D.D. da; Fernandes Filho, E.I.; Rodrigues, L.N.; Uliana, E.M.; Amorim, R.S.S.; Ribeiro, C.B. de M.; Campos, J.A. Modeling of Surface Sediment Concentration in the Doce River Basin Using Satellite Remote Sensing. *J Environ. Manag.* **2022**, *323*, 116207. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116207>.
19. Marinho, R.R.; Harmel, T.; Martinez, J.M.; Junior, N.P.F. Spatiotemporal Dynamics of Suspended Sediments in the Negro River, Amazon Basin, from in Situ and Sentinel-2 Remote Sensing Data. *ISPRS Int. J. Geoinf.* **2021**, *10*(2), 86. <https://doi.org/10.3390/ijgi10020086>.
20. Santos, A.L.M.R. dos; Martinez, J.M.; Filizola, N.P.; Armijos, E.; Alves, L.G.S. Purus River Suspended Sediment Variability and Contributions to the Amazon River from Satellite Data (2000–2015). *CR Geosci.* **2018**, *350*(1-2), 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2017.05.004>.
21. Dekker, A.G.; Vos, R.J.; Peters, S.W.M. Comparison of Remote Sensing Data, Model Results and $\checkmark$ / in Situ Data for Total Suspended Matter TSM in the Southern Frisian Lakes. *Sci. Tot. Environ.* **2001**, *268*(1-3), 197–214. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00679-3](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00679-3).
22. Vanhellemont, Q. Adaptation of the Dark Spectrum Fitting Atmospheric Correction for Aquatic Applications of the Landsat and Sentinel-2 Archives. *Remote Sens. Environ.* **2019**, *225*, 175–192. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.010>.
23. Tavares, M.H.; Lins, R.C.; Harmel, T.; Fragoso, C.R.; Martínez, J.M.; Motta-Marques, D. Atmospheric and Sun glint Correction for Retrieving Chlorophyll-a in a Productive Tropical Estuarine-Lagoon System Using Sentinel-2 MSI Imagery. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* **2021**, *174*, 215–236. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.01.021>.
24. Ottaviani, M.; Spurr, R.; Stamnes, K.; Li, W.; Su, W.; Wiscombe, W. Improving the Description of Sun glint for Accurate Prediction of Remotely Sensed Radiances. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.* **2008**, *109*(14), 2364–2375. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2008.05.012>.
25. Kutser, T.; Vahtmäe, E.; Paavel, B.; Kauer, T. Removing Glint Effects from Field Radiometry Data Measured in Optically Complex Coastal and Inland Waters. *Remote Sens. Environ.* **2013**, *133*, 85–89. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.02.011>.
26. Harmel, T.; Chami, M. Estimation of the Sun glint Radiance Field from Optical Satellite Imagery over Open Ocean: Multidirectional Approach and Polarization Aspects. *J. Geophys. Res. Oceans* **2013**, *118*(1), 76–90. <https://doi.org/10.1029/2012JC008221>.
27. Harmel, T.; Chami, M.; Tormos, T.; Reynaud, N.; Danis, P.A. Sun glint Correction of the Multi-Spectral Instrument (MSI)-SENTINEL-2 Imagery over Inland and Sea Waters from SWIR Bands. *Remote Sens. Environ.* **2018**, *204*, 308–321. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.10.022>.
28. Gao, B.C.; Montes, M.J.; Li, R.R.; Dierssen, H.M.; Davis, C.O. An Atmospheric Correction Algorithm for Remote Sensing of Bright Coastal Waters Using MODIS Land and Ocean Channels in the Solar Spectral Region. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* **2007**, *45*(6), 1835–1843. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.895949>.
29. Dubreuil, V.; Fante, K.P.; Planchon, O.; Neto, J.L.S. Os Tipos de Climas Anuais No Brasil : Uma Aplicação Da Classificação de Köppen de 1961 a 2015. *Confins* **2018**. ISSN: 1958-9212 (Online). <https://doi.org/10.4000/confins.15738>. Available online: <https://doaj.org/article/7b1a63c089d3444f961c85dec0ddd4ff> (accessed 24 January 2023).
30. Gallardo, A.L.C.F.; da Silva, J.C.; Gaudereto, G.L.; Sozinho, D.W.F. A Avaliação de Impactos Cumulativos No Planejamento Ambiental de Hidrelétricas Na Bacia Do Rio Teles Pires (Região Amazônica). *Desenvolvimento e Meio Ambiente* **2017**, *43*. <https://doi.org/10.5380/dma.v43i0.53818>.
31. Agência Nacional de Águas (ANA). HIDROWEB v3.2.7. Available online: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao> (accessed on 1 January 2021).
32. Wu, Q. Geemap: A Python Package for Interactive Mapping with Google Earth Engine. *J. Open Source Softw.* **2020**, *5*, 2305. <https://doi.org/10.21105/joss.02305>.
33. Drusch, M.; del Bello, U.; Carlier, S.; Colin, O.; Fernandez, V.; Gascon, F.; Hoersch, B.; Isola, C.; Laberinti, P.; Martimort, P.; Meygret, A.; Spoto, F.; Sy, O.; Marchese, F.; Bargellini, P. Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sens. Environ.* **2012**, *120*, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>.
34. Jensen, J.R. *Sensoriamento Remoto Ambiente: Uma Perspectiva Em Recursos Terrestres*; 2009; Pearson Prentice Hall: Upper Saddle River, New Jersey, USA; pp. 1–661. ISBN: 978-85-60507-06-1. Available online: <https://www.scribd.com/document/456069018/Sensoriamento-Remoto-do-Ambiente-Uma-Perspectiva-em-Recursos-Terrestres-John-R-Jensen-pdf> (accessed on 22 January 2021).
35. Rouse, R.W.H.; Haas, J.A.W.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. 3rd ERTS-1 Symposium, Vol. 1, Sect. A, Goddard Space Flight Center, NASA, 1 January 1974. Available online: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614> (accessed on 16 February 2021).
36. McFeeters, S.K. The Use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features. *Int. J. Remote Sens.* **1996**, *17*(7), 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.
37. Gordon, H.R.; Brown, J.W.; Evans, R.H. Exact Rayleigh Scattering Calculations for Use with the Nimbus-7 Coastal Zone Color Scanner. *Appl. Opt.* **1988**, *27*(5), 862–871. <https://doi.org/10.1364/AO.27.000862>.

38. Kotchenova, S.Y.; Vermote, E.F.; Matarrese, R.; Klemm, F.J. Validation of a Vector Version of the 6S Radiative Transfer Code for Atmospheric Correction of Satellite Data. Part I: Path Radiance. *Appl. Opt.* **2006**, *45*(26), 6762–6774. <https://doi.org/10.1364/AO.45.006762>.
39. Xu, H. Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. *Int. J. Remote Sens.* **2006**, *27*(14), 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>.
40. Zambrano-Bigiarini, M. HydroGOF: Goodness-of-Fit Functions for Comparison of Simulated and Observed Hydrological Time Series, 2020. Available online: <https://github.com/hzambran/hydroGOF> (accessed on 10 October 2022).
41. Moriasi, D.N.; Arnold, J.G.; Liew, M.W. van; Bingner, R.L.; Harmel, R.D.; Veith, T.L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. ASABE* **1983**, *50*(3), 885–900. Available online: <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/9298> (accessed on 6 September 2022).
42. Liew, M.W. van; Veith, T.L.; Bosch, D.D.; Arnold, J.G. Suitability of SWAT for the Conservation Effects Assessment Project: Comparison on USDA Agricultural Research Service Watersheds. *J. Hydrol. Eng.* **2007**, *12*(2), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2007\)12:2\(173\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2007)12:2(173)).
43. Krug, L.A.; Noernberg, M.A. Extração de batimetria por sensoriamento remoto de áreas rasas dos sistemas estuarinos do estado do Paraná Paraná – Brasil. In Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16 to 21 April, 2005, INPE, pp. 3077–3084. Available online: <https://www.scribd.com/document/485410630/3077-pdf#> (accessed on 10 October 2022).
44. Olmanson, L.G.; Brezonik, P.L.; Bauer, M.E. Airborne Hyperspectral Remote Sensing to Assess Spatial Distribution of Water Quality Characteristics in Large Rivers: The Mississippi River and Its Tributaries in Minnesota. *Remote Sens. Environ.* **2013**, *130*, 254–265. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.11.023>.
45. Kwon, S.; Shin, J.; Seo, I.W.; Noh, H.; Jung, S.H.; You, H. Measurement of Suspended Sediment Concentration in Open Channel Flows Based on Hyperspectral Imagery from UAVs. *Adv. Water Resour.* **2022**, *159*, 104076. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2021.104076>.

Apêndice A

Tabela a. Dados utilizados no trabalho.

Código	nome	date	Css
17307000	UHE Colíder Pesqueiro do Gil	16/04/2019	15,40
17307000	UHE Colíder Pesqueiro do Gil	17/07/2019	2,40
17390100	UHE São Manuel jusante 1	05/02/2016	24,24
17390100	UHE São Manuel jusante 1	25/06/2016	12,61
17390100	UHE São Manuel jusante 1	02/09/2016	10,78
17390100	UHE São Manuel jusante 1	15/12/2016	25,64
17390100	UHE São Manuel jusante 1	15/02/2017	25,43
17390100	UHE São Manuel jusante 1	22/05/2017	10,96
17390100	UHE São Manuel jusante 1	07/08/2017	8,95
17390100	UHE São Manuel jusante 1	06/11/2017	9,95
17390100	UHE São Manuel jusante 1	31/01/2018	14,11
17390100	UHE São Manuel jusante 1	28/06/2018	12,55
17390100	UHE São Manuel jusante 1	03/09/2018	9,40
17390100	UHE São Manuel jusante 1	05/11/2018	10,35
17390100	UHE São Manuel jusante 1	20/02/2019	26,98
17390100	UHE São Manuel jusante 1	23/05/2019	11,43
17390100	UHE São Manuel jusante 1	21/08/2019	9,18
17390100	UHE São Manuel jusante 1	20/11/2019	14,56
17390100	UHE São Manuel jusante 1	04/02/2020	13,78
17390100	UHE São Manuel jusante 1	08/10/2020	11,21
17390100	UHE São Manuel jusante 1	26/11/2020	11,40
17277300	UHE Sinop montante 1	05/03/2019	36,10
17277300	UHE Sinop montante 1	13/06/2019	10,65
17277300	UHE Sinop montante 1	04/09/2019	8,90
17277300	UHE Sinop montante 1	11/12/2019	42,17
17277300	UHE Sinop montante 1	18/03/2020	34,59
17277300	UHE Sinop montante 1	10/06/2020	14,42
17277300	UHE Sinop montante 1	09/09/2020	6,77
17277300	UHE Sinop montante 1	12/12/2020	17,36
17381100	UHE Teles Pires montante 2	03/02/2016	29,22
17381100	UHE Teles Pires montante 2	10/05/2016	16,97
17381100	UHE Teles Pires montante 2	19/07/2016	13,31
17381100	UHE Teles Pires montante 2	29/10/2016	17,55
17381100	UHE Teles Pires montante 2	25/01/2017	19,93
17381100	UHE Teles Pires montante 2	17/04/2017	13,77
17381100	UHE Teles Pires montante 2	27/07/2017	12,30
17381100	UHE Teles Pires montante 2	30/10/2017	12,01
17381100	UHE Teles Pires montante 2	24/01/2018	17,81
17381100	UHE Teles Pires montante 2	15/04/2018	12,15
17381100	UHE Teles Pires montante 2	05/07/2018	9,60
17381100	UHE Teles Pires montante 2	31/10/2018	14,31
17381100	UHE Teles Pires montante 2	18/01/2019	9,42

17381100	UHE Teles Pires montante 2	24/04/2019	4,90
17381100	UHE Teles Pires montante 2	20/07/2019	6,28
17381100	UHE Teles Pires montante 2	31/10/2019	6,52
17381100	UHE Teles Pires montante 2	17/01/2020	9,8
17381100	UHE Teles Pires montante 2	01/05/2020	6,74
17381100	UHE Teles Pires montante 2	11/07/2020	56,40
17381100	UHE Teles Pires montante 2	16/09/2020	5,64
17381100	UHE Teles Pires montante 2	22/10/2020	4,27
17382000	UHE Teles Pires montante 1	03/02/2016	25,13
17382000	UHE Teles Pires montante 1	13/05/2016	17,26
17382000	UHE Teles Pires montante 1	15/07/2016	12,79
17382000	UHE Teles Pires montante 1	21/10/2016	14,04
17382000	UHE Teles Pires montante 1	28/01/2017	18,49
17382000	UHE Teles Pires montante 1	15/04/2017	16,44
17382000	UHE Teles Pires montante 1	24/07/2017	10,39
17382000	UHE Teles Pires montante 1	28/10/2017	11,43
17382000	UHE Teles Pires montante 1	26/01/2018	17,08
17382000	UHE Teles Pires montante 1	16/04/2018	15,50
17382000	UHE Teles Pires montante 1	07/07/2018	10,04
17382000	UHE Teles Pires montante 1	02/11/2018	18,02
17382000	UHE Teles Pires montante 1	17/01/2019	11,43
17382000	UHE Teles Pires montante 1	23/04/2019	7,18
17382000	UHE Teles Pires montante 1	23/07/2019	5,96
17382000	UHE Teles Pires montante 1	01/11/2019	3,75
17382000	UHE Teles Pires montante 1	21/01/2020	5,86
17382000	UHE Teles Pires montante 1	29/04/2020	9,38
17382000	UHE Teles Pires montante 1	10/07/2020	5,05
17382000	UHE Teles Pires montante 1	17/09/2020	3,12
17382000	UHE Teles Pires montante 1	22/10/2020	3,47
17384200	UHE Teles pires jusante	11/02/2016	10,35
17384200	UHE Teles pires jusante	26/06/2016	10,85
17384200	UHE Teles pires jusante	20/07/2016	11,62
17384200	UHE Teles pires jusante	02/11/2016	11,42
17384200	UHE Teles pires jusante	27/01/2017	13,50
17384200	UHE Teles pires jusante	18/04/2017	10,41
17384200	UHE Teles pires jusante	28/07/2017	8,58
17384200	UHE Teles pires jusante	03/11/2017	9,26
17384200	UHE Teles pires jusante	29/01/2018	10,02
17384200	UHE Teles pires jusante	17/04/2018	8,93
17384200	UHE Teles pires jusante	03/07/2018	11,3
17384200	UHE Teles pires jusante	01/11/2018	12,66
17384200	UHE Teles pires jusante	16/01/2019	2,62
17384200	UHE Teles pires jusante	22/04/2019	4,17
17384200	UHE Teles pires jusante	19/07/2019	11,88
17384200	UHE Teles pires jusante	01/11/2019	2,63

17384200	UHE Teles pires jusante	20/01/2020	3,27
17384200	UHE Teles pires jusante	28/04/2020	4,191
17384200	UHE Teles pires jusante	09/07/2020	5,88
17384200	UHE Teles pires jusante	18/09/2020	2,91
17384200	UHE Teles pires jusante	21/10/2020	0,45
17380000	Jusante foz Peixoto de Azevedo	24/08/2016	5,80
17380000	Jusante foz Peixoto de Azevedo	30/11/2016	19,90
17380000	Jusante foz Peixoto de Azevedo	02/05/2017	80
17380000	Jusante foz Peixoto de Azevedo	24/07/2017	3,10
17380000	Jusante foz Peixoto de Azevedo	31/10/2017	6,10
17380000	Jusante foz Peixoto de Azevedo	20/07/2018	4,60
17380000	Jusante foz Peixoto de Azevedo	25/10/2018	9,80
17380000	Jusante foz Peixoto de Azevedo	06/05/2019	13,30
17380000	Jusante foz Peixoto de Azevedo	11/07/2019	5,10
17380000	Jusante foz Peixoto de Azevedo	30/10/2019	13,8
1	Estação curio	19/08/2022	6,53
1	Estação curio	05/02/2022	17,42
1	Estação curio	24/08/2022	10,74
1	Estação curio	22/03/2022	24,37
1	Estação curio	06/05/2022	11,63

Conclusão geral

Na avaliação da estimativa de determinação da concentração de sedimentos em suspensão em corpos hídricos por meio do uso de imagens de satélite, verificou-se que tanto o modelo exponencial como o linear mostraram que as imagens do sensor MSI podem ser utilizadas para a estimativa da C_{ss}, e a banda B4 (vermelho) apresentou a melhor estimativa, com um R² acima 0.6 e valores RMSE e MAE abaixo 2 mg/L nos dois modelos. Tais resultados indicam que o sensoriamento remoto apresenta grande potencialidade de ser utilizado no monitoramento da C_{ss}, e a periodicidade das imagens de satélite podem ser utilizadas para o estudo da evolução da dinâmica deste parâmetro, contemplando passado e presente, e auxiliando em estudos de avaliação das erosões em bacias hidrográficas, que são consequências do uso e ocupação do solo de uma bacia hidrográfica e que seus efeitos podem ser avaliados no transporte de sedimentos em corpos hídricos.

Deste modo o monitoramento da qualidade de água pode estar associado a variável quantidade de água, e de forma contínua e espacial, permitindo uma gestão dos recursos hídricos mais integrada e provavelmente minimizando os futuros conflitos relacionados aos usos múltiplos da água, garantindo o acesso a água a todos que necessitam.

Pensando na evolução deste tipo de trabalho recomenda-se que os operadores priorizem que as coletas *in situ* sejam executadas no mesmo dia das passagens dos satélites. Recomenda-se também a utilização de outros sensores orbitais, incluindo os privados como o RapidEye que podem fornecer maior resolução espacial e uma resolução temporal de 1 dia.

Anexo II-Normas do periódico

Type of the Paper (Article, Review, Communication, etc.)

Title

Firstname Lastname ¹, Firstname Lastname ² and Firstname Lastname ^{2,*}

¹ Affiliation 1; e-mail@e-mail.com

² Affiliation 2; e-mail@e-mail.com

* Correspondence: e-mail@e-mail.com; Tel.: (optional; include country code; if there are multiple corresponding authors, add author initials)

Abstract: A single paragraph of about 200 words maximum. For research articles, abstracts should give a pertinent overview of the work. We strongly encourage authors to use the following style of structured abstracts, but without headings: (1) Background: Place the question addressed in a broad context and highlight the purpose of the study; (2) Methods: briefly describe the main methods or treatments applied; (3) Results: summarize the article's main findings; (4) Conclusions: indicate the main conclusions or interpretations. The abstract should be an objective representation of the article and it must not contain results that are not presented and substantiated in the main text and should not exaggerate the main conclusions.

Keywords: keyword 1; keyword 2; keyword 3 (List three to ten pertinent keywords specific to the article yet reasonably common within the subject discipline.)

0. How to Use This Template

The template details the sections that can be used in a manuscript. Note that each section has a corresponding style, which can be found in the "Styles" menu of Word. Sections that are not mandatory are listed as such. The section titles given are for articles. Review papers and other article types have a more flexible structure.

Remove this paragraph and start section numbering with 1. For any questions, please contact the editorial office of the journal or support@mdpi.com.

1. Introduction

The introduction should briefly place the study in a broad context and highlight why it is important. It should define the purpose of the work and its significance. The current state of the research field should be carefully reviewed and key publications cited. Please highlight controversial and diverging hypotheses when necessary. Finally, briefly mention the main aim of the work and highlight the principal conclusions. As far as possible, please keep the introduction comprehensible to scientists outside your particular field of research. References should be numbered in order of appearance and indicated by a numeral or numerals in square brackets—e.g., [1] or [2,3], or [4–6]. See the end of the document for further details on references.

2. Materials and Methods

The Materials and Methods should be described with sufficient details to allow others to replicate and build on the published results. Please note that the publication of your manuscript implicates that you must make all materials, data, computer code, and protocols associated with the publication available to readers. Please disclose at the submission stage any restrictions on the availability of materials or information. New methods and protocols should be described in detail while well-established methods can be briefly described and appropriately cited.

Citation: To be added by editorial staff during production.

Academic Editor: Firstname
Lastname

Received: date

Revised: date

Accepted: date

Published: date



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Research manuscripts reporting large datasets that are deposited in a publicly available database should specify where the data have been deposited and provide the relevant accession numbers. If the accession numbers have not yet been obtained at the time of submission, please state that they will be provided during review. They must be provided prior to publication.

Interventionary studies involving animals or humans, and other studies that require ethical approval, must list the authority that provided approval and the corresponding ethical approval code.

3. Results

This section may be divided by subheadings. It should provide a concise and precise description of the experimental results, their interpretation, as well as the experimental conclusions that can be drawn.

3.1. Subsection

3.1.1. Subsubsection

Bulleted lists look like this:

- First bullet;
- Second bullet;
- Third bullet.

Numbered lists can be added as follows:

1. First item;
2. Second item;
3. Third item.

The text continues here.

3.2. Figures, Tables and Schemes

All figures and tables should be cited in the main text as Figure 1, Table 1, etc.



Figure 1. This is a figure. Schemes follow the same formatting.

Table 1. This is a table. Tables should be placed in the main text near to the first time they are cited.

Title 1	Title 2	Title 3
entry 1	data	data
entry 2	data	data ¹

¹ Tables may have a footer.

The text continues here (Figure 2 and Table 2).

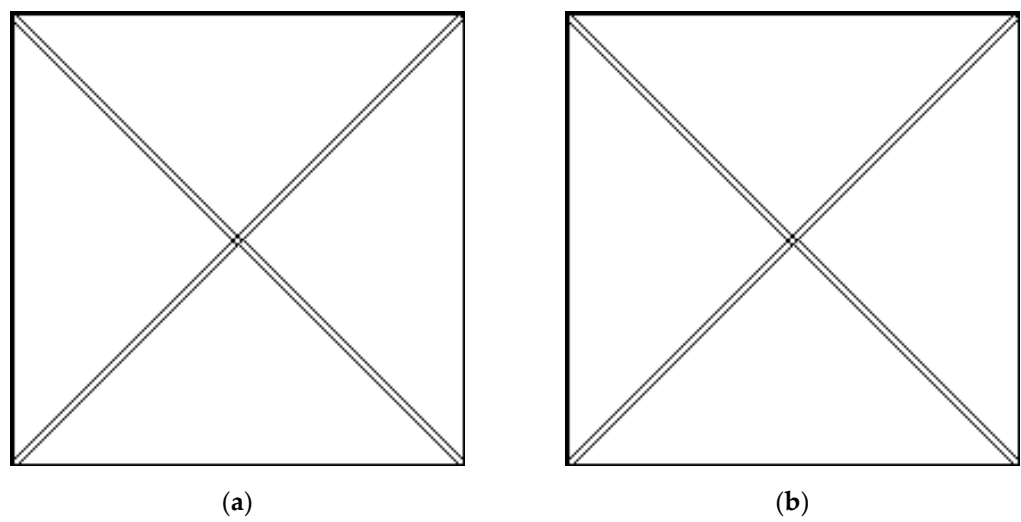


Figure 2. This is a figure. Schemes follow another format. If there are multiple panels, they should be listed as: **(a)** Description of what is contained in the first panel; **(b)** Description of what is contained in the second panel. Figures should be placed in the main text near to the first time they are cited.

Table 2. This is a table. Tables should be placed in the main text near to the first time they are cited.

Title 1	Title 2	Title 3	Title 4
entry 1 *	data	data	data
	data	data	data
	data	data	data
entry 2	data	data	data
	data	data	data
entry 3	data	data	data
	data	data	data
	data	data	data
	data	data	data
entry 4	data	data	data
	data	data	data

* Tables may have a footer.

3.3. *Formatting of Mathematical Components*

This is example 1 of an equation:

$$a = 1, \tag{1}$$

the text following an equation need not be a new paragraph. Please punctuate equations as regular text.

This is example 2 of an equation:

$$a = b + c + d + e + f + g + h + i + j + k + l + m + n + o + p + q + r + s + t + u + v + w + x + y + z \tag{2}$$

the text following an equation need not be a new paragraph. Please punctuate equations as regular text.

Theorem-type environments (including propositions, lemmas, corollaries etc.) can be formatted as follows:

Theorem 1. *Example text of a theorem. Theorems, propositions, lemmas, etc. should be numbered sequentially (i.e., Proposition 2 follows Theorem 1). Examples or Remarks use the same formatting, but should be numbered separately, so a document may contain Theorem 1, Remark 1 and Example 1.*

The text continues here. Proofs must be formatted as follows:

Proof of Theorem 1. Text of the proof. Note that the phrase “of Theorem 1” is optional if it is clear which theorem is being referred to. Always finish a proof with the following symbol. □

The text continues here.

4. Discussion

Authors should discuss the results and how they can be interpreted from the perspective of previous studies and of the working hypotheses. The findings and their implications should be discussed in the broadest context possible. Future research directions may also be highlighted.

5. Conclusions

This section is not mandatory but can be added to the manuscript if the discussion is unusually long or complex.

6. Patents

This section is not mandatory but may be added if there are patents resulting from the work reported in this manuscript.

Supplementary Materials: The following supporting information can be downloaded at: www.mdpi.com/xxx/s1, Figure S1: title; Table S1: title; Video S1: title.

Author Contributions: For research articles with several authors, a short paragraph specifying their individual contributions must be provided. The following statements should be used “Conceptualization, X.X. and Y.Y.; methodology, X.X.; software, X.X.; validation, X.X., Y.Y. and Z.Z.; formal analysis, X.X.; investigation, X.X.; resources, X.X.; data curation, X.X.; writing—original draft preparation, X.X.; writing—review and editing, X.X.; visualization, X.X.; supervision, X.X.; project administration, X.X.; funding acquisition, Y.Y. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.” Please turn to the [CRediT taxonomy](#) for the term explanation. Authorship must be limited to those who have contributed substantially to the work reported.

Funding: Please add: “This research received no external funding” or “This research was funded by NAME OF FUNDER, grant number XXX” and “The APC was funded by XXX”. Check carefully that the details given are accurate and use the standard spelling of funding agency names at <https://search.crossref.org/funding>. Any errors may affect your future funding.

Institutional Review Board Statement: In this section, you should add the Institutional Review Board Statement and approval number, if relevant to your study. You might choose to exclude this statement if the study did not require ethical approval. Please note that the Editorial Office might ask you for further information. Please add “The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board (or Ethics Committee) of NAME OF INSTITUTE (protocol code XXX and date of approval).” for studies involving humans. OR “The animal study protocol was approved by the Institutional Review Board (or Ethics Committee) of NAME OF INSTITUTE (protocol code XXX and date of approval).” for studies involving animals. OR “Ethical review and approval were waived for this study due to REASON (please provide a detailed justification).” OR “Not applicable” for studies not involving humans or animals.

Informed Consent Statement: Any research article describing a study involving humans should contain this statement. Please add “Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.” OR “Patient consent was waived due to REASON (please provide a detailed justification).” OR “Not applicable.” for studies not involving humans. You might also choose to exclude this statement if the study did not involve humans.

Written informed consent for publication must be obtained from participating patients who can be identified (including by the patients themselves). Please state “Written informed consent has been obtained from the patient(s) to publish this paper” if applicable.

Data Availability Statement: We encourage all authors of articles published in MDPI journals to share their research data. In this section, please provide details regarding where data supporting reported results can be found, including links to publicly archived datasets analyzed or generated during the study. Where no new data were created, or where data is unavailable due to privacy or ethical restrictions, a statement is still required. Suggested Data Availability Statements are available in section “MDPI Research Data Policies” at <https://www.mdpi.com/ethics>.

Acknowledgments: In this section, you can acknowledge any support given which is not covered by the author contribution or funding sections. This may include administrative and technical support, or donations in kind (e.g., materials used for experiments).

Conflicts of Interest: Declare conflicts of interest or state “The authors declare no conflict of interest.” Authors must identify and declare any personal circumstances or interest that may be perceived as inappropriately influencing the representation or interpretation of reported research results. Any role of the funders in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results must be declared in this section. If there is no role, please state “The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results”.

Appendix A

The appendix is an optional section that can contain details and data supplemental to the main text—for example, explanations of experimental details that would disrupt the flow of the main text but nonetheless remain crucial to understanding and reproducing the research shown; figures of replicates for experiments of which representative data is shown in the main text can be added here if brief, or as Supplementary data. Mathematical proofs of results not central to the paper can be added as an appendix.

Appendix B

All appendix sections must be cited in the main text. In the appendices, Figures, Tables, etc. should be labeled starting with “A”—e.g., Figure A1, Figure A2, etc.

References

References must be numbered in order of appearance in the text (including citations in tables and legends) and listed individually at the end of the manuscript. We recommend preparing the references with a bibliography software package, such as EndNote, ReferenceManager or Zotero to avoid typing mistakes and duplicated references. Include the digital object identifier (DOI) for all references where available.

Citations and references in the Supplementary Materials are permitted provided that they also appear in the reference list here.

In the text, reference numbers should be placed in square brackets [] and placed before the punctuation; for example [1], [1–3] or [1,3]. For embedded citations in the text with pagination, use both parentheses and brackets to indicate the reference number and page numbers; for example [5] (p. 10), or [6] (pp. 101–105).

46. Author 1, A.B.; Author 2, C.D. Title of the article. *Abbreviated Journal Name* **Year**, *Volume*, page range.
47. Author 1, A.; Author 2, B. Title of the chapter. In *Book Title*, 2nd ed.; Editor 1, A., Editor 2, B., Eds.; Publisher: Publisher Location, Country, 2007; Volume 3, pp. 154–196.
48. Author 1, A.; Author 2, B. *Book Title*, 3rd ed.; Publisher: Publisher Location, Country, 2008; pp. 154–196.
49. Author 1, A.B.; Author 2, C. Title of Unpublished Work. *Abbreviated Journal Name* year, *phrase indicating stage of publication* (submitted; accepted; in press).
50. Author 1, A.B. (University, City, State, Country); Author 2, C. (Institute, City, State, Country). Personal communication, 2012.
51. Author 1, A.B.; Author 2, C.D.; Author 3, E.F. Title of Presentation. In Proceedings of the Name of the Conference, Location of Conference, Country, Date of Conference (Day Month Year).
52. Author 1, A.B. Title of Thesis. Level of Thesis, Degree-Granting University, Location of University, Date of Completion.
53. Title of Site. Available online: URL (accessed on Day Month Year).

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.