



CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS POR ESPECTROFOTOMETRIA

CONCENTRATION OF SUSPENDED SOLIDS BY SPECTROPHOTOMETRY

Jonas de Sousa Correa^{1*}, Fábio Veríssimo Gonçalves², Cristiano Pereira da Silva³, Carlos Nobuyoshi Ide⁴

¹ Eng. Químico, Mestre e Dr. Em Tecnologias Ambientais, Docente Faculdade Estácio de Sá de Campo Grande / Ms. josoucorrea@gmail.com,

² Mestre em Tecnologias Ambientais, Dr. Engenharia Civil, Docente Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

³ Biólogo, Mestre e Dr. em Agronomia/Produção Vegetal. Docente Instituto Federal de Mato Grosso, cpsilva.cetec@gmail.com

⁴ Mestre e Dr. em Recursos Hídricos e Saneamento, Docente Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, carlos.ide@ufms.br.

Info

Recebido: 11/2023

Publicado: 01/2024

DOI: 10.37951/2358-260X.2024v11i1.7184

ISSN: 2358-260X

Palavras-Chave

Luz; Sedimentos; Turbidez; Qualidade de água.

Keywords:

Light; Sediments; Turbidity; Water quality

Abstract

The use of sensors with optical principles designed to estimate sediment transport, and mainly the concentration of suspended solids (CSS) constitutes a robust technique that is currently consolidated and well disseminated in the scientific community, thus configuring an important tool in research, management and control of river basins. The present study, carried out in a water body located near the mouth of the Coxim River - (Coxim, MS), consisted of comparing Nephelometric Techniques and the integrated area of absorbance at wavelengths in the spectrum from 400 to 600 nm (A400-600) and these are measured using a UV/VIS spectrophotometer for indirect determination of CSS. This water body showed characteristics of high sediment input; and for the purpose of

possible relationships between the parameters and the characterization of suspended sediments transported by the river, the granulometry (Medium Sand, Fine Sand, Silt and Clay) of the processed samples was determined. The interactions between the parameters to indirectly determine CSS showed the following correlations: ($p < 0.001$); Nephelometric with ($R = 0.942$) and A400-600 ($R = 0.959$); and the particle size fractions, in turn, indicated: (%) of Silt (52.6 ± 17.4), in addition to values close to the distribution of Clay (15.3 ± 6.73), Fine Sand (15.6 ± 10.83) and Medium Sand (16.7 ± 11.84). In this context, according to the results of the residues and correlations, it was observed that A400-600 behaved in a more allusive way compared to the Nephelometric technique in drought and flood events, thus estimating the Detection Limit for CSS (26.47 mg.L^{-1} and 44.67 mg.L^{-1}) respectively.

Resumo

O emprego de sensores com princípios ópticos destinados a estimar o transporte de sedimentos, e principalmente a concentração de sólidos suspensos (CSS) constitui uma técnica robusta que atualmente encontra-se consolidada e bem difundida no meio científico, configurando assim uma ferramenta importante na pesquisa, gestão e controle de bacias hidrográficas. O presente estudo realizado em um corpo hídrico presente nas proximidades da foz do Rio Coxim - (Coxim, MS), consistiu em comparar as Técnicas Nefelométricas e a área integrada da absorbância em comprimento de onda no espectro de 400 a 600 nm (A400-600) sendo estas medidas por meio de um espectrofotômetro UV/VIS para determinação indireta de CSS. Este corpo hídrico apontou características de alto aporte de sedimentos; e para efeito de possíveis relações entre os parâmetros e a caracterização dos sedimentos suspensos transportados pelo rio, foi determinada a granulometria (Areia Média, Areia Fina, Silte e Argila) das amostras processadas. As interações ocorridas dos parâmetros para determinar indiretamente CSS apresentaram as correlações: ($p < 0,001$); Nefelométrica com ($R = 0,942$) e A400-600 ($R = 0,959$); e as frações granulométricas, por sua vez, apontaram: (%) de Silte ($52,6 \pm 17,4$), além dos valores próximos de distribuição de Argila ($15,3 \pm 6,73$), Areia Fina ($15,6 \pm 10,83$) e Areia Média ($16,7 \pm 11,84$). Nesse contexto, de acordo com os resultados dos resíduos e as correlações, observou-se que A400-600 se comportou de modo mais alusivo em comparação a técnica Nefelométrica nos eventos de seca e cheia, estimando desta forma o Limite de Detecção para CSS ($26,47 \text{ mg.L}^{-1}$ e $44,67 \text{ mg.L}^{-1}$) respectivamente.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Carvalho (2000), a Concentração de Sedimentos em Suspensão (CSS), caracteriza-se pelos

sedimentos presentes no fluxo turbulento, os quais permanecem em movimentos ascendentes e

descendentes na coluna de água, e representam 99% da carga sólida total transportada pelo corpo hídrico.

Neste processo, através da deposição dos sedimentos, ocorrem alterações significativas em relação a morfologia dos corpos hídricos, e com efeito, a deterioração da qualidade da água torna-se um fato (Carvalho, 1994).

Além desses, há também outros efeitos em relação aos sedimentos transportados, Oliveira & Calheiros (2006) mencionam que muitos destes sedimentos são depositados na região do perífion, e conforme a magnitude dos pulsos de inundação e o aporte de material carregado acarretam a desestruturação e o desequilíbrio ecológico das comunidades dos microrganismos aquáticos, descaracterizando assim o ambiente tanto do ponto de vista físico quanto químico.

Nesse sentido, a determinação quantitativa do transporte de sedimentos em corpos hídricos constitui uma poderosa ferramenta capaz subsidiar a gestão, e o controle de bacias hidrográficas, fornecendo dessa maneira, diagnósticos e auxílio em monitoramentos das influências resultantes de atividades antrópicas e ou naturais, as quais são responsáveis pelo aumento da quantidade do transporte de sedimentos, principalmente a erosão.

Atualmente muitas técnicas para a estimativa de CSS são empregadas; entre as quais destacam-se: as técnicas gravimétricas, reflexão acústica, difração a laser, diferença de pressão, resposta de sensoriamento remoto, e por fim os ópticos que são amplamente apontados na literatura específica (Anderson et al., 2009; Sari et al., 2015).

Dentre essas técnicas, a principal que utiliza os princípios ópticos é a Turbidez; esta, é sem dúvida um parâmetro convencional, muito utilizada para fins de monitoramento de qualidade de água, e por meio de sua interação com os sedimentos, respeitando devidamente

as condições de calibração do equipamento (Hudson, 2001; Sari et al., 2015), correlacionam-se fortemente, condição esta que faz deste parâmetro uma importante ferramenta para determinação indireta de CSS.

Em linhas gerais, o princípio da Turbidimetria consiste em determinar indiretamente a turvação do meio através da detecção de parte da energia não absorvida de partículas suspensas e ou dissolvida na coluna de água em um ângulo de 180° , denominada Absorbância (cm^{-1}), ou, a energia refletida (dispersada) pelo corpo, geralmente em ângulos de 45° a 90° , denominada Nefelometria (NTU) (Anderson, 2005; EPA, 1993, APHA, 2012).

Todavia, para esta técnica, algumas recomendações devem ser consideradas: a quantidade de partículas (Kineke e Sternberg, 1992; Sadar, 2005), tamanho da partícula (Sari et al., 2017), composição (Asano e Sato, 1980; Hillel, 1982; Bunt et al., 1999), cor (Sutherland et al., 2000), especificações quanto ao ângulo de detecção do sensor (Downing, 2006; Anderson et al., 2010) e presença de gases, bolhas e turbulências (Lewis e Eads, 2009, Minella et al., 2008), e dependendo das condições do meio amostrado, as regressões entre Turbidez e CSS obtidas podem ser lineares, polinomiais, múltiplas e combinadas.

Em vários trabalhos foram obtidas equações iniciais com $R^2 = (0,55 \text{ a } 0,98)$, tais como os trabalhos de Riley (1998) e Minella et al. (2008) respectivamente. Em relação ao comprimento de onda empregados nos Turbidímetros, nota-se que tal parâmetro é variável, entretanto a maioria das pesquisas utilizam os sensores que empregam comprimentos de onda na região do Infravermelho próximo na faixa de 780 a 900 nm como é possível observar nos trabalhos de Sari et al. (2017); Harrington e Harrington (2013); Ziegler et al. (2014); Rasmussen et al. (2011). Outros sensores também utilizam comprimentos de onda na região do Visível - 400–600 nm – (Pinheiro et al. 2013).

Este método no Visível, encontra-se descrito na Norma (EPA, 1993), a qual descreve um sistema de medição com fonte policromática, baseado em fontes de luz tungstênio, e comprimento de onda entre 400 a 600 nm.

Atualmente alguns equipamentos são equipados com fontes de luz de LED; Sensores submersíveis disponíveis no mercado que operam no modo varredura na faixa (200~750nm) e os equipados com lâmpadas de LED, e suas combinações entre os comprimentos de onda permitem aumentar a gama de relações com outros parâmetros (DQO, TOC, COT, NO₃ e outros), melhorando dessa forma a acurácia e a eficiência da técnica para a determinação dos valores de CSS (Langergraber et al., 2004; Maribas et al., 2008; Brito et al., 2014).

Em face do contexto acima exposto e, tendo em mente a relevância da mensuração de CSS, propõe-se no presente trabalho uma alternativa servindo-se do cálculo de integração visando empregar a área integrada entre os comprimentos de onda 400 a 600 nm, em intervalos de 1,0 nm (A400-600).

2. METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

O presente estudo foi realizado nas proximidades da foz do Rio Coxim, um importante tributário do Rio Taquari, localizado na cidade de Coxim-MS, em um ponto de coleta (P), nas coordenadas geográficas 18°32'02" S e 54°44'09" W (Figura 1).

2.1 Análises

As amostras assim obtidas seguiram para laboratório e processadas conforme a metodologia usual (APHA, 2012). Em triplicatas foram determinadas CSS (2540.B), a partir da filtração através da membrana de fibra de vidro lavada com água

ultrapura, previamente pesados após sua calcinação entre 550 a 600 °C.

A varredura espectrofotométrica (HACH DR6000), imediatamente foi aplicada as amostras filtradas, no comprimento de onda entre 400 a 600 nm, e expressas em integração da área formada, em intervalos unitários de 1,0 nm, em cubeta constituída de quartzo, caminho óptico (1,0 cm), nova e única utilizada durante a pesquisa. Estes comprimentos de onda foram os escolhidos, uma vez que são utilizados no Turbidímetro em estudo.

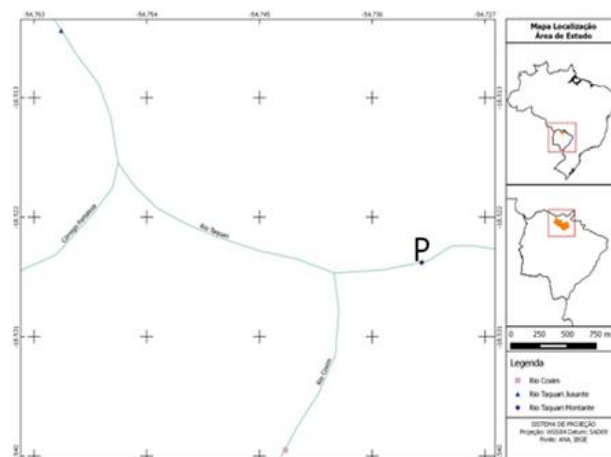


Figura 1. Ponto de Coleta e Monitoramento (P) - Município de Coxim-MS (ANA-IBGE, 2016) alterado pelo autor.

Foram medidos os valores de Turbidez (NTU), no equipamento Marca Orion AQ4500, comprimento de onda 400 e 600 nm. (A fim de calibrar corretamente antes do uso com padrões 0 a 1000 NTU de Formazina (C₁₇H₁₃N₅O₃) fornecido por empresa creditada e certificada dentro do prazo de validade.

Para efeito de composição (%) do tamanho da partícula do sedimento das amostras de água, a caracterização granulométrica foi utilizada a partir da técnica de Espalhamento a Laser, com faixa de detecção de 0,02 a 2000 µm através do equipamento MASTERSIZER 2000. As amostras de água foram adicionadas em Becker de 900 ml, com testemunho de

água destilada, sem a aplicação de ultrassom, e obscuração máxima de até 20% (Malvern, 2016).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a classificação de Koppen e Geiger (1928), a cidade de Coxim-MS, apresenta temperatura com média de 25,5 °C e pluviosidade média anual de 1480 mm aproximadamente. O clima possui características tropicais, apresentando estações com verão úmido e inverno predominantemente seco (INMET, 2017).

Durante as campanhas a média mensal acumulada de precipitação pluviométrica foi de 12,95 mm, com máxima diária de 73 mm e Temperatura ambiente média (°C) de 26, máxima de 31 e mínima de 20 (INMET, 2017).

Não ocorreram precipitações pluviométricas durante as coletas, porém os pontos de coleta na secção transversal foram variáveis, em virtude da constante migração das margens do rio, que possui características de elevado aporte de sedimentos e fundo móvel, impossibilitando a aferição e medição das alturas das réguas. Segundo Brito et al. (2013), Teles et al., (2022), as constantes migrações das margens dos rios tendem a apresentar quantidades elevadas de sedimentos impossibilitando a medição das alturas das réguas, sendo comum este tipo de acúmulo de sedimentos em alguns rios do país.

Para caracterizar e verificar possíveis interações com as outras variáveis (Turbidez e A400-600), a composição granulométrica foi classificada, de acordo com a Norma (ASTM, 2003), nas medidas correlatas a Argila, Silte, Areia Fina e Areia Média.

As distribuições das partículas (%), para todas as amostras apresentaram as seguintes distribuições: Argila ($15,3 \pm 6,73$), Areia Fina ($15,6 \pm 10,83$) e Areia Média ($16,7 \pm 11,84$), apesar de apresentarem valores

próximos, ocorreram aparentes desvios por meio da comparação dos extratos.

Silte apresentou maior porcentagem ($52,6 \pm 17,4$). Esses dados vêm de encontro com os obtidos por Teles et al., (2022) que analisaram a qualidade da água do rio Mogi-Guaçu no estado do Paraná, percebendo que o pH, Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e Turbidez apresentaram desvios semelhantes para a quantidade de argila, areia fina e média nas amostram, indicando aumento na turbidez e sólidos totais na medida que o rio apresentaram sem cobertura vegetal. Griego et al. (2017), citam que o aumento da condutividade está relacionado ao acúmulo de cargas poluidoras, turbidez e acúmulo de íons e sólidos dissolvidos. Segundo os mesmos autores, os valores médios de turbidez apresentaram diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre os pontos coletados no córrego tanquinho no município de Ribeirão Preto/SP, sendo que o aumento da turbidez pode estar associado à quantidade de lançamento de esgoto in natura e atividades agropecuárias na região.

As concentrações de CSS, registraram valores ($220 \pm 134,71$) mg.L⁻¹, alcançando o maior valor de 528 mg.L⁻¹ em (C11F) época de precipitação, e para as condições de Seca, registrou menor valor 38,7 mg.L⁻¹ (C4F). Os valores de A400-600, foram integradas através das funções lineares encontradas na varredura ($R > 0,98$ e $p < 0,001$). Para verificar as relações existentes entre as variáveis e fornecer alguma estimativa indireta de CSS, as correlações encontradas entre Turbidez e A400-600 com a composição granulométrica e CSS está de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Correlação entre as variáveis: A400-600 e Turbidez (NTU) com as frações granulométricas e CSS (mg. L⁻¹).

Tabela 1. Correlação entre as variáveis: A⁴⁰⁰⁻⁶⁰⁰ e Turbidez (NTU) com as frações granulométricas e CSS (mg. L⁻¹).

	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	CSS
A400-600	0,633	0,682	-0,762	-0,681	0,959
Turbidez	0,642	0,71	-0,776	-0,706	0,942

Correlação de Pearson (p<0,001)

As interações ocorridas, demonstram que a classe de Areia Fina e Média, correlacionam-se negativamente com Areia Fina e Turbidez, não influenciando na resposta do sinal conforme destacado por Conner e Visser (1992), ao contrário de Argila e Silte. Os trabalhos de Gomes (2013), Merten et al. (2014), Sari et al. (2017), demonstraram que frações mais finas de partículas (Silte e Argila), influenciam na leitura de Turbidez, corroborando os valores aqui elencados com correlação. Quanto a estimativa de CSS em função das Técnicas empregando sensores óticos, foram verificadas ótimas correlações (p<0,001), para Turbidez R²= 0,89 e, com melhor resultado para A400~600 R²=0,92 indo de encontro com os resultados obtidos por Gomes (2013).

Nas Figuras 2 e 3 encontram-se as regressões, predição para Turbidez e A400~600, respectivamente.

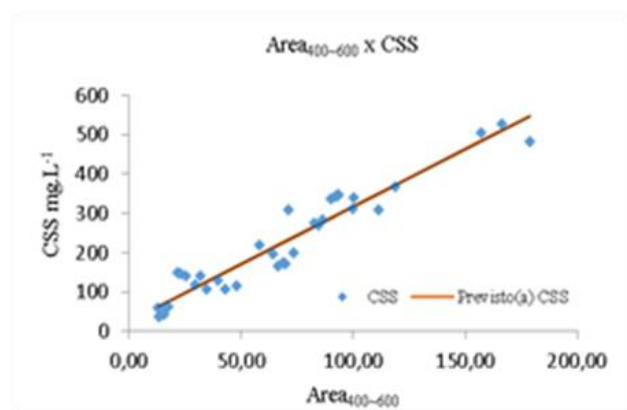


Figura 2. Gráfico de regressão (A400~600) nm x CSS.

A Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE) para a variável espectrofotométrico foi menor que o nefelométrico (37,52 e 44,73) respectivamente.

O limite de detecção de CSS para a variável Turbidez e A400-600 inicia-se acima de (44,67 e 24,77)

mg. L⁻¹ respectivamente, apesar dos valores encontrados apresentarem maiores concentrações, não sendo recomendável para medições em eventuais águas com menor quantidades de sedimentos. Estes resultados vêm de encontro com os obtidos por Silva et al., (2021) que na detecção de CSS para a variável turbidez e A400-600 destacam que as medições com menores quantidades de sedimentos dificultaram os resultados das análises.

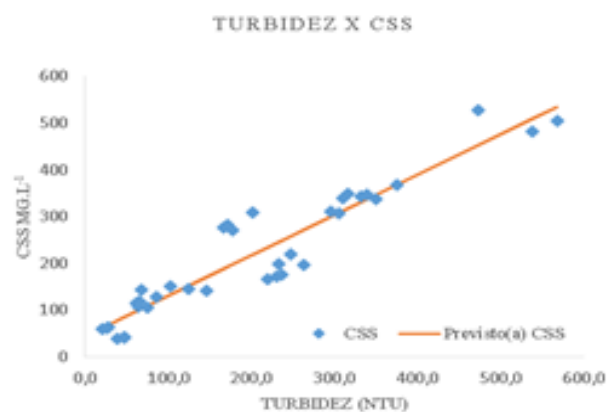


Figura 3. Gráfico de regressão (A400~600) nm x CSS

O comportamento da resposta da CSS, pelo ângulo de detecção 90 e 180 graus dos equipamentos utilizados, obtiveram respostas similares, obtendo uma predição de regressão linear simples (F<0,05). Sari et al. (2015) relata em seu trabalho que as características das partículas em relação ao tamanho por exemplo, possuem a mesma interação quanto a resposta dos sensores em equipamentos distintos, com pequenas variações em função do ângulo de detecção e comprimento de onda utilizado, ao contrário relatado por Anderson et al. (2010), em que as todas as características dos equipamentos, ângulo de emissão,

detecção de espectro, e mesma calibração, são únicas, gerando valores significativos.

Segundo os autores Medeiros et al., (2016), Martins (2022) destacando que para as análises físico-químicas de metais pesados, sólidos totais, turbidez e condutividade há necessário a padronização e a calibração do comprimento de onda influenciam nos resultados, sendo necessário os cuidados nas análises, na coleta e na equalização do aparelho.

O Sensor do Turbidímetro que possui ângulo de detecção em 90°, possui maior sensibilidade a resposta de sedimentos em uma gama variável de tamanho de partículas de sedimento, o que foi encontrada neste trabalho, o que corrobora com o pressuposto de Merten et al. (2014). O mesmo autor, descreve que os sensores a 180°, obteve menores interferências com os sensores posicionados a 180° ao emissor de luz, ângulo este utilizado por A400~600.

Quanto a varredura no espectro, o método apresentou resultados satisfatórios de acordo com o exposto, com correlação e resíduos adequados, tornando-se uma ferramenta opcional para determinação de CSS. Alguns sensores que utilizam a mesma técnica de assinatura óptica em faixa espectral maior, compreendida entre 200 a 750 nm (Brito et al. 2013; Maribas et al., 2008; Langergraber et al. 2004), consolidaram o método para fins de monitoramento on line.

Para Langergraber et al. (2004), o espalhamento ocorrido da dispersão promovida pelo tipo de sedimento, depende do comprimento de onda, assim, como a faixa de coleta de absorbâncias para A400-600 é maior, atenuaria de certa forma, possíveis desvios não reprodutíveis.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os dados obtidos pode-se concluir que as técnicas espectrofotométricas podem

ser uma alternativa viável para determinação de Sólidos Suspensos em corpos hídricos.

4. REFERÊNCIAS

- ANDERSON, C.A. TURBIDITY, National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data. United States Geological Survey Techniques of Water Resources Investigation, Book 9, USGS, Reston, VA. (2005).
- ANDERSON, C.A.; FISK, G.G.; GARTNER, K.W.; GLYSSON, G.D.; GOODING, D.J.; HORNEWER, N.J.; LARSEN, M.C.; MACY, J.P.; RASMUSSEN, P.P; WRIGHT, S.A.; ZIEGLER, A.C. Surrogate technologies for monitoring suspended-sediment transport in rivers. Em POLETO, C.; CHARLEWORTH, S. Sedimentology of aqueous systems. Singapore: Willey-Blackwell, 2010. P, 1-45.
- APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 22nd ed. Washington: American Public Health Association, 1360 pp; 2012.
- ASANO, S.; SATO, M. Light scattering by randomly oriented spheroidal particles. Appl. Optics, v. 19, n. 6, p. 962-974, 1980
- ASTM International. D1889-00. Standard test method for turbidity of water. ASTM International Annual Book of ASTM Standards. (SI): ASTM, 2003. (Water Environmental Technology, v. 11.01)
- BACANI, V. M., LUCHIARI, A. Geoprocessing applied to environmental zoning in the Upper Coxim River Basin, MS. GEOUSP: Espaço e Tempo, Vol.18(1), pp.184-197, 04/2014.
- BRITO, R.S. FERREIRA, F; LOURENÇO; N.D; PINHEIRO, H.M; MATOS, J.M. Espectrofotometria para monitorização da qualidade de água residual em drenagem urbana. Revista de Recursos Hídricos. v 34, n.1, p.5-16. 2013.
- BRITO, R.S.; PINHEIRO, H.M.; FERREIRA, F.; MATOS, J. S.; LOURENÇO, N.D. In situ UVVis spectroscopy to estimate COD and TSS in wastewater drainage systems, Urban Water Journal, 11:4, 261-273, 2014.

- BUNT, J. A. C.; LARCOMBE, P.; JAGO, C. F. Quantifying the response of optical backscatter devices and transmissometers to variations in suspended particulate matter. *Continental Shelf Research.*, v. 19, n. 9, p. 1199-1220, Julho 1999.
- CARVALHO, N. O., *Hidrossedimentologia Prática, Eletrobrás, CPRM, Rio de Janeiro, 1994.*
- CARVALHO, N.O; FILIZOLA JÚNIOR, N.P; SANTOS, P.M.C; LIMA, J.E.F.W. Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios. Brasília: ANEEL. 2000. 140p.
- CLIFFORD, N.J.; RICHARDS, K.S.; BROWN, R.A.; LANE, S.N. (1995) Laboratory and field assessment of an infrared turbidity probe and its response to particle size and variation in suspended sediment concentration. *Hydrological Sciences Journal*, v. 40, n. 6, p. 771-791
- CONNER, C.S. & VISSER, A.M. (1992) A laboratory investigation of particle size effects on an optical backscatterance sensor. *Marine Geology*, v. 108, p. 151-159.
- DOWNING, J. Twenty-FIVE years with OBS sensors: The good, the bad, and the ugly. *Continental Shelf Res.*, v. 26, n. 17-18, p. 2299-2318, Nov. 2006.
- GALDINO, S., VIEIRA, L.M., PELLEGRIN, L. A. Impactos Ambientais e Socioeconômicos na Bacia do Rio Taquari-Pantanal, Embrapa Pantanal, 2006 pg.48.
- GOMES, T. F. Determinação espectrofotométrica de sulfato em águas de chuva em um sistema de análises químicas em fluxo envolvendo troca-iônica. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, USP, 55 p. 2013.
- GRIECO, A. A., FREGONESI, B. M., TONANI, K. A. A., SILVA, T. V., CELERE, B. S., TREVILATO, T. M. B., MUÑOZ, S. I. S., & ALVES, R. I. S. Diagnóstico espacial e temporal de condições físico-químicas e microbiológicas do Córrego do Tanquinho, Ribeirão Preto, SP, Brasil. *Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science*, v.12, n.2, p. 282-298. 2017.
- HARRINGTON, S. T.; HARRINGTON, J. R. An assessment of the suspended sediment rating curve approach for load estimation on the Rivers Bandon and Owenabue, Ireland. *Geomorphology*, v. 185, n. 1, p. 27-38, Mar. 2013
- HILLEL, D. *Introduction to soil physics*. San Diego, CA: AcademicPress, 1982.
- HUDSON, R. *Intepreting Turbidity and Suspended Sediment Measurement in High-Energy Streams in Coastal British Columbia*. Nanaimo, Research Section, Vancouver Forest Region, BCMOF, 2001. Nota Técnica.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA (INMET), Disponível em: www.inmet.gov.br/html/queima/nesterov/?data=2016-03-04&estacao=A720, Acessado em 20 de dezembro de 2017.
- KINEKE, G.C.; STERNBERG, R.W., Measurements of high concentration suspended sediments using the optical backscattering sensor. *Marine Geology*, v. 108, n. 3 e 4, p. 253-258, Novembro, 1992.
- KÖPPEN, W., GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag JustusPerthes, 1928
- LANGERGRABER, G., FLEISCHMANN, N., HOFSTAEDTER, F., WEINGARTNER, A. Monitoring of a papermill wastewater treatment plant using UV/VIS spectroscopy. *Water Science and Technology*, 49 (1), 9–14. 2004.
- LEWIS, J.; EADS, R. (Ed.). *Implementation guide for turbidity threshold sampling: principles, procedures, and analysis*. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, 2009. (General Technical Report, PSW-GTR-212).
- LUDWIG, K.A. & HANES, D.M. (1990) A laboratory evaluation of optical backscatterance suspended solids sensors exposed to sand-mud mixtures. *Marine Geology*, v. 94, p. 173-179
- MALVERN INSTRUMENTS LTD. 2007. *Mastersizer 2000. User Manual. NO384 Issue 1.0. March 2007. 164 p.* https://www.labmakelaar.com/fjc_documents/mastersizer-2000-2000e-manual-eng1.pdf. Acesso em 20 de dezembro de 2016.

- MARIBAS, A., SILVA, M.C., LAURENT, N., LOISON, B., BATTAGLIA, P., PONS, M.N. Monitoring of rain events with a submersible UV/Vis spectrophotometer. *Water Science and Technology*, 57 (10), 1587–1593, 2008.
- MERTEN, G.H.; CAPEL, P.D.; MINELLA, J.P.G. (2014) Effects of suspended sediment concentration and grain size on three optical turbidity sensors. *Journal of Soils Sediments*, v. 14, p. 1235-1241.
- MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; REICHERT, J. M.; CLARKE, R. Estimating suspended sediment concentrations from turbidity measurements and the calibration problem. *Hydrol. Process.*, v. 22, n. 12, p. 1819-1830, Junho 2008
- PINHEIRO, E.A.R.; ARAUJO, J.C.; FONTENELE, S.B.; LOPES, J. W.B.; Calibração de turbidímetro e análise de confiabilidade das estimativas de sedimento suspenso em bacia semiárida. *Water Resources and Irrigation Management*, v.2, n.2, p.103-110, May-Aug., 2013
- RASMUSSEN, P. P.; GRAY, J. R.; GLYSSON, G. D.; ZIEGLER, A. C. Guidelines and Procedures for Computing Time-Series Suspended-Sediment Concentrations and Loads from In-Stream Turbidity-Sensor and Streamow Data. [S.l.]: U.S. Geological Survey. *Techniques and Methods*, 2011. Book 3, chap. C4
- RILEY, S.J. The Sediment Concentration-Turbidity Relation. Its value in monitoring at Ranger Uranium Mine. Northern Territory, Australia. *Catena* 32. (1), 1-14, 1998.
- SADAR, M.J. *Turbidity Science*, Boletim Técnico, ed. 11, Loveland, Colorado, HACH, 1998.
- SARI, V.; CASTRO, N.M.R.; KOBIYAMA, M. Estimativa da concentração de sedimentos suspensos com sensores ópticos: Revisão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH*, vol. 20, n 4, Porto Alegre, outubro-dezembro, 2015, p. 816-836.
- SARI, V.; PEREIRA, M. A.; CASTRO, N.M.R.; KOBIYAMA, M. Efeitos do tamanho da partícula e da concentração de sedimentos suspensos sobre a turbidez. *Engenharia Sanitária e Ambiental [online]*. 2017, vol.22, n.2.
- SILVA, R.F; SANTOS, J.V.V; PIRES, C.K. Análise dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas do bairro Enseada das Gaivotas (Rio das Ostras – Rio de Janeiro). *Revista Brasileira de Meio Ambiente*. v.9, n.3, p.99-110, 2021.
- SUTHERLAND, T. F.; LANE, P. M.; AMO, C. L.; DOWNING, J. The calibration of optical backscatter sensors for suspended sediment of varying darkness levels. *Marine Geology, Janeiro*. v. 162, n. 2-4, p. 587-597, 2000.
- TELES, I.B; FLORENTINO, L.A; RAMIRIO, L.D; BRUNINI, R.G. PEREIRA, W.R. Análise da qualidade das águas do rio Mogi-Guaçu por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 11, p.2-9. 2022.
- U.S. EPA. 1993. Method 180.1: Determination of Turbidity by Nephelometry. Rev. 2.0, Environmental Monitoring Systems, Laboratory Office of Research and Development. Cincinnati, Ohio.
- ZIEGLER, A. D.; BENNER, S. G.; TANTASIRIN, C.; WOOD, S. H.; SUTHERLAND, R. A.; SIDLE, R. C.; JACHOWSKI, N.; NULLET, M. A.; XI, L. X.; SNIDVONGS, A.; GIAMBELLUCA, T. W.; FOX, J. M. Turbidity-based sediment monitoring in northern Thailand: Hysteresis, variability, and uncertainty. *J. Hydrol.*, v. 519, pt. B, p. 2020-2039, Nov. 2014.