



Avaliação espaço-temporal de constituintes opticamente ativos e caracterização espectral das águas de um reservatório no cerrado brasileiro

Patrícia da Silva Gomes¹, João Batista Pereira Cabral², Assunção Andrade de Barcelos³, Fernanda Luisa Ramalho⁴, Isabel Rodrigues da Rocha⁵, Waterloo Pereira Filho⁶,

¹Mestranda em Geografia, Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGGEO) - Universidade Federal de Jataí-UFJ, e-mail patriciaslvogomes@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1834-1244>. ²Professor Associado IV da Universidade Federal de Jataí-UFJ, pesquisador na área de Geociência com ênfase em Limnologia, Hidrossedimentologia, Metais Pesados e Geotecnologias, e-mail jbcabral2000@yahoo.com.br, <https://orcid.org/0000-0003-2046-5975>. ³Doutor em Geografia, Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGGEO) - Universidade Federal de Jataí-UFJ, e-mail assuncao-barcelos@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0792-5618>. ⁴Doutoranda em Geografia, Programa de Pós-graduação em Geografia/UFJ - Instituto de Estudos Socioambientais/IESA, e-mail ramalho_luisa@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9410-4948>. ⁵Doutora em Geografia, Programa de Pós-graduação em Geografia - Universidade Federal de Goiás (PPGEO/IESA/UFJ), e-mail isabel8720@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0188-7910>. ⁶Professor Doutor, Docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, e-mail waterloopf@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6449-6322>.

Artigo recebido em 04/03/2022 e aceito em 20/08/2022

RESUMO

Nas últimas décadas, o uso de geotecnologias tem ganhado destaque como recurso auxiliar na análise da distribuição espacial e temporal da qualidade das águas de rios e reservatórios. O presente trabalho teve como objetivo analisar espacialmente e temporalmente os constituintes opticamente ativos (COAs) representados pelas variáveis: Concentração de Sólidos em Suspensão (CSS), Clorofila-a (Chl-a) e Transparência da água (Ta), e verificar os comprimentos de ondas mais relevantes em comparação aos (COAs) na água, a partir das respostas espectrais da água e técnicas de Remoção do contínuo do Reservatório de Espora. As coletas de dados foram realizadas em períodos distintos, um chuvoso e outro seco. Foram definidos 33 pontos de amostragem e realizadas duas campanhas de campo, em janeiro de 2018 (verão) e agosto de 2018 (inverno). As variáveis Chl-a, CSS e Ta foram analisadas conforme metodologia de APHA 2005. A refletância em janeiro variou entre 4,5 a 12 %, com maiores valores entre a faixa de 550 a 600 nm (faixa verde); em agosto, variou entre 3 a 8 %, com aumento entre 400 a 550 nm (faixa do azul). A remoção do contínuo no período de janeiro apresentou duas feições de absorção nos comprimentos de onda de 400 a 590 nm. Em agosto, ocorreu maior refletância entre as bandas (600 a 850 nm), do vermelho a infravermelho.

Palavras-chave: Refletância da água; Componentes Opticamente Ativos; Espectrorradiômetro; Reservatório.

Space-temporal evaluation of optically active constituents and spectral characterization of the water of a reservoir in the brazilian cerrado

ABSTRACT

In recent decades the use of geotechnologies has gained prominence as an auxiliary resource in the analysis of the spatial and temporal distribution of water quality in rivers and reservoirs. The present work aimed to analyze spatially and temporally the optically active constituents (COAs) represented by the variables: Concentration of Suspended Solids (CSS), Chlorophyll-a (Chl-a) and Water Transparency (Ta), and to verify the wavelengths more relevant compared to (COAs) in water, from the spectral responses of water and continuum Removal techniques from the Spur Reservoir. Data collection was carried out in different periods, one rainy and one dry. 33 sampling points were defined and two field campaigns were carried out, in January 2018 (summer) and August 2018 (winter). The variables Chl-a, CSS and Ta were analyzed according to the APHA 2005 methodology. The reflectance in January ranged from 4.5 to 12%, with higher values between the range of 550 to 600 nm (green band); in August, it varied between 3 and 8%, with an increase between 400 and 550 nm (blue band). The removal of the continuum in the period of January presented two absorption features in the wavelengths from 400 to 590 nm. In August, there was greater reflectance between the bands (600 to 850 nm), from red to infrared.

Keywords: Water reflectance; Optically Active Components; Spectrum-Radiometer, Reservoir.

Introdução

As modificações causadas pelas atividades antrópicas contribuem para a alteração e qualidade das águas. Essas atividades, juntamente com a construção de reservatórios, degradam o meio ambiente e causam efeitos adversos à biota aquática, podendo afetar a qualidade das vidas existentes. Devido às degradações sofridas pelos corpos hídricos nos últimos anos, aumentou-se a necessidade do monitoramento da qualidade das águas, possibilitando avaliar seu comportamento espacial e temporal (Tassara e Rutkowski, 2008; Tundisi e Matsumura-Tundisi, 2008; Fraga et al., 2021). Um dos meios utilizado para o monitoramento dos corpos hídricos é o sensoriamento remoto, que possibilita observar as bacias hidrográficas e os sistemas aquáticos e identificar áreas de poluição e entrada de nutrientes em reservatórios que pode levar ao surgimento de algas prejudiciais (Jensen, 2009; Lopes et al., 2016; Barbosa, Novo e Martins, 2019; Pahlevan et al., 2021).

Nas últimas décadas, cada vez mais tem-se utilizado estudos com uso das geotecnologias para melhor compreender os processos de alteração dos recursos hídricos. O Sensoriamento Remoto (SR), os Sistemas de Posicionamento Global (SPG), os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) e a reflectância possibilitam realizar análises dinâmica dos ambientes aquáticos ao estudar as relações entre os Componentes Opticamente Ativos (COAs) e a radiação solar que chega à superfície do corpo hídrico (Sari, Castro e Kobiyama, 2015; Carvalho Júnior, 2018; Santos et al., 2018; Viso-Vázquez et al., 2021; Ogashawara et al., 2022).

A interação entre a radiação eletromagnética na superfície terrestre é um procedimento complexo que proporciona informações sobre padrões espectrais em determinado alvo, como a água e seus constituintes opticamente ativos (Santos et al., 2018; Lopes et al., 2021). A interpretação dos dados espectrais possibilita detectar mudanças multitemporais nos objetos de interesse, porém, alguns fatores afetam a resposta espectral, como condições atmosféricas, incidência de iluminação, ângulo de visada, limites na precisão e universalidade das relações de imagens de sensoriamento remoto (Caldeira et al., 2018; Wen et al., 2019; Ventura et al., 2022).

Com o uso das geotecnologias nos estudos em reservatórios, fornece mais uma linha de evidências científicas, a partir da utilização dos espectrorradiômetros e de imagens de satélites, estabeleceram-se novos procedimentos para entender as características limnológicas do corpo hídrico, visto que os sólidos em suspensão absorvem e dispersam a luz, afetando, assim, a

resposta espectral das águas superficiais (Robert et al., 2016; Coimbra, Alcântara e Souza Filho, 2021; Paula et al., 2021; Schaeffer et al., 2022).

O monitoramento da dinâmica e distribuição da CSS, Cha-a, matéria orgânica dissolvida e outros parâmetros em reservatórios, por meio das geotecnologias, tornaram-se uma alternativa mais acessível, pois as pesquisas limnológicas em reservatórios demandam a utilização de uma ampla gama de equipamentos, técnicos e alto custo operacional das análises da qualidade da água, impossibilitando um acompanhamento periódico constante. Portanto, o estudo do ambiente por intermédio da espectrorradiometria torna-se uma ferramenta de monitoramento eficiente, superando as limitações espaço-temporais dos métodos tradicionais (Pinto et al., 2014; Watanabe et al., 2015; Cabral e Pereira Filho, 2018; Castro, Pereira e Barros, 2018; Peixoto, Guasselli e Pereira Filho, 2018).

Com isso, a absorção e o espalhamento da radiação solar nos corpos hídricos são influenciados pela concentração e pelos tipos de materiais suspensos ou dissolvidos na água, que são conhecidos como coas (Daraigan et al., 2007; Wachholz, 2011; Alvado et al., 2021). Os principais coas são: Cha-a (pigmento fotossintetizante presente nas plantas) considerada como fitoplâncton e os sólidos em suspensão, que interferem diretamente na transparência, turbidez d'água, níveis de eutrofização, sendo os mesmos utilizados para avaliar a dinâmica e o nível de poluição dos corpos hídricos (Binding et al., 2008; Kramer, Pereira Filho e Faccin, 2017; Yang e Anderson, 2016; Santos et al., 2018; Bramich, Bolch e Fischer, 2021; Kavak, 2021).

Devido ao potencial hídrico, à quantidade e à extensão dos reservatórios no Brasil, fica claro que é necessário o uso de novas ferramentas para monitorar ambientes aquáticos, visto que, como se sabe, esses reservatórios têm como principal objetivo a geração de energia elétrica e abastecimento público d'água (Esteves, 2011; Castro, Pereira e Barros, 2017).

Em razão da importância de se compreender o comportamento espectral das águas em empreendimentos hidrelétricos, o presente estudo tem como principal objetivo avaliar espacialmente e temporalmente as COAs, CSS, Cha-a e Transparência da água, e caracterizar espectralmente a água do Reservatório de Espora em dois períodos distintos, sendo, janeiro de 2018 (período chuvoso) e agosto de 2018 (período seco).

A escolha do reservatório da Usina Hidrelétrica de Espora (UHE) deve-se ao fato dos intensos processos antrópicos, proporcionados pela agricultura (cana-de-açúcar, milho e soja) e pela

pecuária extensiva, presentes na bacia de Espora. Os mesmos contribuem com o aumento do escoamento superficial de sedimentos para os cursos d'água, resultando nas transformações da dinâmica do ambiente lótico para lântico e degradação do ecossistema aquático (Barcelos et al., 2019; Birro, Ross e Cabral, 2019).

Características física da área de estudo

O reservatório da UHE Espora (Figura 1) está localizado na região Sudoeste de Goiás, entre os municípios de Aporé, Serranópolis e Itarumã, entre as coordenadas 7927000 e 7963000 Sul, e

370000 e 410000 Oeste, Zona 22S. O reservatório encontra-se no terço médio do rio Corrente, que é formado pela junção dos rios Formoso e Jacuba, os quais nascem no interior do Parque Nacional das Emas (PNE).

A UHE Espora teve início de funcionamento para geração de energia elétrica em 2006, com potencial energético de 32 MW, área alagada em torno de 30,66km², com tempo de residência de 41 dias e volume de 216.501,000m³, conforme a Portaria 409/2.010-GAB, da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

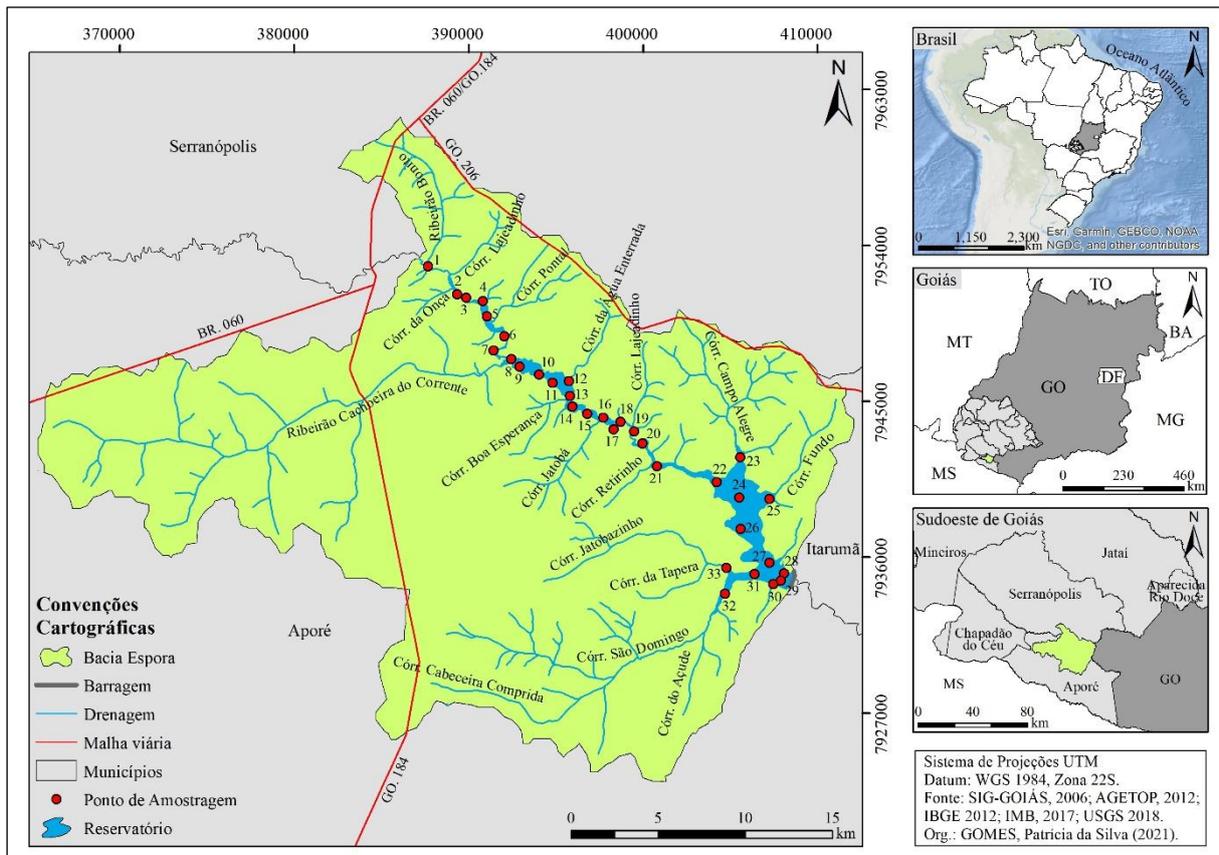


Figura 1. Localização da área do reservatório da UHE Espora (GO). Fonte: Autores, 2021.

Geologicamente, a área de influência direta da UHE Espora faz parte da Bacia Sedimentar do Paraná e é composta pelas rochas areníticas pertencentes às Unidades coberturas detríticas indiferenciadas (17,7%), Depósitos Aluvionares (31,9%), Formação Cachoeirinha (0,3%) e Formação Vale do Rio do Peixe (34,4%). As rochas basálticas existentes na área de estudo pertencem ao Grupo São Bento, constituído pela Formação Serra Geral (15,7%).

Na área de influência direta da UHE Espora, foram identificados quatro tipos de classe de solos: Neossolos Quartzarênicos – RQ (10%) e Neossolos Litólicos Distróficos – RLd (0,2%), que se encontram na margem direita e no alto curso do

reservatório. Os Latossolos Vermelhos – LV (29,8 %) ocupam as áreas próximas ao reservatório enquanto os Latossolos Vermelhos Distróficos – LVd (60%) são encontrados nos trechos fora dos vales fluviais, conforme dados do SIEG (2019).

Em relação ao relevo, a altitude varia com cotas entre 553 a 850 metros. A Superfície Regional de Aplainamento SRAIIB-RT (mfr) ocupa 0,2 % da bacia e é representada por chapadões tabuliformes. A SRAIIB-RT (fr) predomina na maior parte da bacia, com 73,3 %, possui dissecação fraca e relevos tabulares. Ocupando 26,5 % da área, encontra-se o relevo com ondulações suaves e dissecação fraca a média. As Zonas de Erosão Recuante (ZER) abrangem 0,1

% da área, com dissecação média (Latrubesse e Carvalho, 2006).

Material e métodos

Definição dos pontos de amostragem e campanhas de campo

A fim de compreender o comportamento espectral a partir de uma análise espacial, foram definidos 33 pontos de amostragem, especializados no reservatório, em que foram adquiridos dados da CSS, Cha-a, Ta e os espectros de reflectância. As coletas foram realizadas entre 09h00m e 16h00m (horário de Brasília), horário mais indicado para as coletas, compreendendo o mesmo intervalo de horário para todas as campanhas de coleta de dados (Rocha, 2018).

A coleta de água no reservatório da UHE Espora foi realizada em dois períodos distintos. A primeira coleta foi realizada em 27 de janeiro de 2018 e corresponde a estação de verão, considerado período chuvoso, e a segunda coleta em 28 de agosto de 2018, inverno, período menos chuvoso (seco) no Cerrado brasileiro.

Procedimentos cartográficos

A confecção dos mapeamentos físicos e a espacialização dos dados limnológicos foram realizadas no software ArcGIS 10.6.1, licenciado pelo Laboratório de Geoinformação da Universidade Federal de Jataí (UFJ).

Os dados limnológicos da CSS, Cha-a e Ta foram organizados no software Excel. Em seguida, foram especializados utilizando o modelo matemático do Inverso do Peso da Distância (IDW), no software ArcGIS 10.6.1, que é um procedimento de interpolação, sendo um dos mais utilizados para pontos distribuídos espacialmente, em que as áreas entre os pontos amostrados são estimadas pelos valores do seu entorno, de forma que os mais próximos têm um peso maior do que os mais afastados (Vargas et al., 2018).

Dados Pluviométricos

Para análise dos dados de precipitação na região da UHE Espora, foi consultado o banco de dados fornecido pelo portal HidroWeb, que é coordenado pela Agência Nacional de Águas (ANA), a qual permite acesso às informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN).

Foram selecionadas quatro estações pluviométricas próximas à área de influência direta da UHE Espora: Espora Ribeirão Cachoeira do Corrente, Espora Barramento, Espora Fazenda Perdizes e Queixada Barramento.

Com as estações definidas, foram consultadas as séries históricas de dados disponíveis no ano de 2018. Os dados foram baixados no formato de Planilha do Microsoft Excel (xlsx) e gerado gráfico de precipitação média mensal e total no ano de 2018, além de uma tabela com as chuvas diárias nos 7 dias que antecederam os trabalhos de campo.

Concentração de Sólidos em Suspensão (CSS)

As amostras de água foram coletadas no epilímnio, que corresponde aos primeiros 30 cm de profundidade, camada mais superficial do corpo d'água, em que tende a ocorrer as temperaturas mais elevadas e maiores aportes de nutrientes (Esteves, 2011; Tundisi e Matsumura Tundisi, 2008). Para determinar a concentração de sólidos em suspensão em cada ponto de amostragem, foram coletados 1.000 ml de água, conforme os procedimentos descritos por Wetzel e Likens (1991) e APHA (2005).

Para filtrar as amostras, utilizou-se bomba sucção a vácuo, com o uso do filtro de nitrocelulose de 0,45µm de porosidade e 47 mm de diâmetro. Antes da coleta de água, os filtros foram secos em estufa a 50° C, por uma hora, para eliminar a umidade; em seguida, foram pesados em uma balança analítica modelo AY220, com acurácia de 0,0001, para se obter o Peso Inicial (Pi). Após a filtragem, os filtros retornaram à estufa por 1 hora a uma temperatura de 50°C, para retirada da umidade, e foram pesados novamente para obtenção do Peso final (Pf). A CSS foi determinada com base na equação 1:

Equação 1 - CSS

$$CSS = Pf - Pi / V * 1000$$

Onde: CSS = concentração de sólidos em suspensão (mg/L); Pf = peso final dos filtros (g); Pi = peso inicial dos filtros (g); V = volume de água filtrada (ml); 1000 = constante.

Análise da concentração de clorofila-a (Cha-a)

Para cada ponto, foram coletados 1.000 ml de água. As garrafas de coleta foram envolvidas em papel alumínio e conservadas em caixa de isopor com gelo a uma temperatura de, no máximo, 15° C, conforme os procedimentos descritos em APHA (2005). Em laboratório, foram filtrados 300 ml de cada amostra em filtros de microfibras de vidro da marca Milipore AP20, com 47 mm de diâmetro.

Após esse procedimento, os filtros foram acondicionados em um recipiente plástico, sendo adicionados 10 ml de metanol 100%, e o filtro permaneceu submerso para extração do pigmento.

Depois, os potes foram tampados e embrulhados em papel alumínio e preservados a uma temperatura de 4° C, por cerca de 12 a 24 horas.

A leitura da concentração de clorofila é realizada a partir da medida da absorbância pelo método espectrofotométrico, sem acidificação (sem a determinação da feofitina), em comprimentos de onda de 663 nm e 750 nm, conforme proposto por Mackinney (1941). O instrumento utilizado para as leituras dos resultados de clorofila-*a* foi o espectrofotômetro modelo UV – 1000, cuja faixa de operação é de 320 nm à 1100 nm.

Obtidos os resultados, foram feitos a tabulação e os cálculos dos dados no software Excel, para, assim, adquirir os valores finais de clorofila-*a* em µg/L, visto na equação 2:

Equação 2 - Chl-*a*

$$\text{Chl-}a \text{ (}\mu\text{g/L)} = \text{Abs (663 - 750)} \times 12,63 \times \text{Vmet (ml)} \times 1000.$$

Logo: Chl-*a* = Clorofila-*a*; Abs = medida de absorbância; 12,63 = constante; Vmet = Volume de metanol; 1000 = constante e V = volume da amostra.

Transparência da água (Ta)

A transparência da água foi medida em cada ponto de monitoramento do reservatório, nos períodos chuvoso e menos chuvoso de 2018, utilizando o disco de Secchi, conforme proposto por Preisendorfer (1986) e Esteves (2011), em que o disco de Secchi usado tem 20 cm de diâmetro, com cores alternadas de partes preto e branco. Para se obter a medida, o disco é mergulhado na água com auxílio de uma corda, atingindo até uma profundidade que a radiação refletida não seja mais perceptível à vista desarmada (olho nu). O desaparecimento do disco é inversamente proporcional a quantidade de material orgânico e inorgânico na água.

Técnicas de análise dos espectros de refletâncias

Para a obtenção dos espectros de refletância, foi utilizado o espectrorradiômetro portátil, modelo FieldSpec®HandHeld2™, *in situ*, simultaneamente com a coleta dos parâmetros limnológicos, posicionado em um ângulo azimutal solar de 90°. O espectrorradiômetro é acoplado a um suporte portátil, posicionado com inclinação de 45°, de modo a mirar na água. Assim, quando posicionado, o espectrorradiômetro é calibrado com uma placa de superfície Lambertiana de referência (Spectralon®), para poder realizar as leituras da radiação da água. A calibração é feita

em todos os pontos de coleta (Rocha, 2018). Antes de iniciar as coletas dos dados espectrais, é necessário observar as condições de tempo, tais como a presença de sol, de vento e a condição da superfície da água, que não pode se apresentar rugosa e com ondulações, pois, podem interferir na leitura.

O espectrorradiômetro gera dados na faixa de 325 nm a 1075 nm. Após coletados, os dados de radiação são convertidos em refletâncias, procedimento que foi realizado com o uso do software ViewSpec™, específico do equipamento. Posteriormente, os dados de reflectância foram organizados no Excel para serem trabalhados.

Filtragem - Remoção dos ruídos

Para suavizar os ruídos dos dados espectrais, foram aplicados filtros de suavização linear de média móvel de três pontos. Eles possibilitaram a interpretação das curvas espectrais, por conta da quantidade de pontos selecionados para filtragem, pois, não houve alteração significativa na posição das feições λ_{max} (comprimento de onda máxima) e λ_{min} (comprimento de onda mínima) (Breunig et al., 2007; Pereira, 2015).

Remoção do Contínuo

O procedimento de remoção do contínuo utiliza uma função matemática que consiste em isolar bandas de absorção particulares dos espectros de reflectância, possibilitando qualificar a análise espectral, apresentar suas feições de absorção e um maior entendimento dos distintos parâmetros das bandas espectrais (Clark e Roush, 1984). A remoção do contínuo foi adquirida com base na equação 3:

Equação 3 - Remoção do contínuo

$$PCR\lambda = \frac{P_{Original\lambda}}{P_{contínuo\lambda}}$$

Onde: PCRλ = é o fator de reflectância direcional cônico com o contínuo removido; P_{Originalλ} = Espectro de reflectância; P_{contínuoλ} = Curva do contínuo; λ = Comprimento de onda.

A profundidade de banda “Pd” foi obtida a partir da equação 4:

Equação 4 - Profundidade de banda

$$Pd = (1 - PCR\lambda)$$

Onde:

Pd = é a profundidade de banda; PCRλ = é o fator de reflectância direcional cônico com o contínuo removido.

Resultados e discussão

Análise da precipitação

Compreender a dinâmica climática é de grande importância, pois, permite analisar como a precipitação influencia no volume de água dos rios, no uso e ocupação do solo, erosão e temperatura da região, assim como o volume e duração das chuvas podem afetar o meio ambiente, atividades agrícolas, economia e a população, direta ou indiretamente.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região centro-oeste é o Aw - clima tropical, com temperaturas elevadas, com estação chuvosa no verão e seca no inverno (Gomes e Matos, 2018). De acordo com Lopes e Mariano (2018), o tempo seco em julho (inverno) tem sua

origem na estabilidade gerada pela influência do anticiclone subtropical do Atlântico Sul, e de pequenas dorsais que se formam sobre a parte continental sul-americana.

Conforme análise da Figura 2, nas quatro estações pluviométricas próximas da área de influência direta do reservatório da UHE Espora, o volume de chuva é semelhante aos apresentados na literatura, corroborando com a classificação de Köppen (1948), para o Centro-Oeste do Brasil, e estudos realizados por Marcuzzo, Cardoso e Faria (2012), por Lima e Mariano (2014) e por Lopes e Mariano (2018), que apresentam duas estações climáticas distintas, invernos secos e menos chuvosos, de maio a setembro, e verões chuvosos, de outubro a abril.

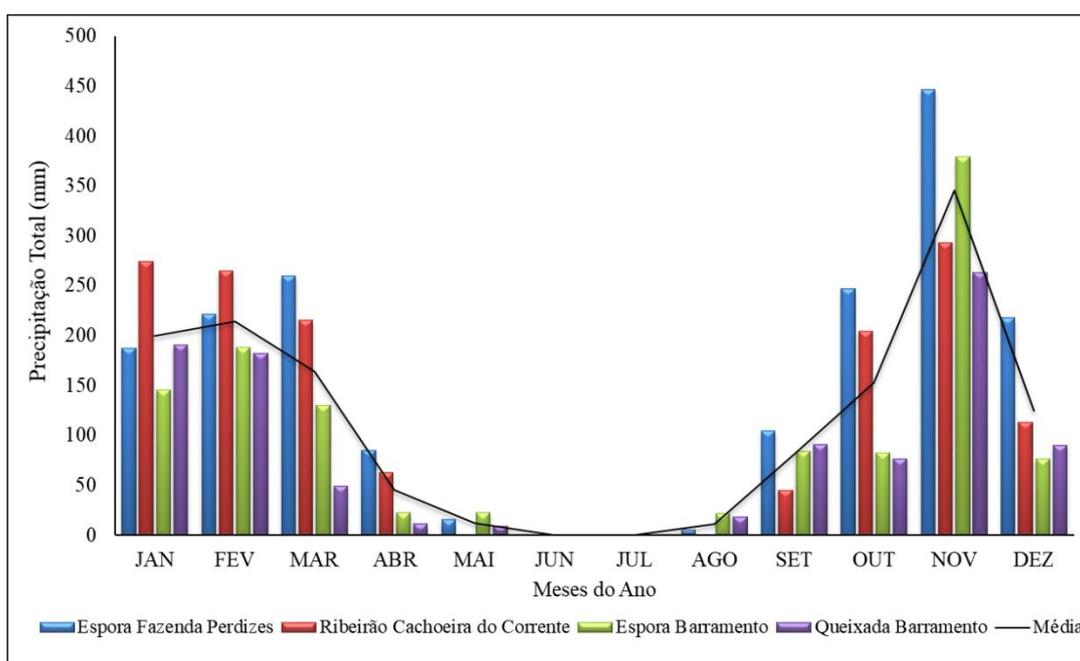


Figura 2. Gráfico de precipitação total mensal de 2018 das estações pluviométricas localizadas próximas à UHE Espora. Fonte: ANA (2020). Organização: Autores, 2021.

A precipitação total anual da bacia de Espora para o ano de 2018 foi de 982,6 mm na estação da PCH Queixada Barramento (precipitação mínima), a jusante da bacia, e o valor máximo total de precipitação foi de 1790,0 mm na estação Espora Fazenda Perdizes, a montante da bacia (Figura 2). A média mensal analisada com os maiores valores registrados foi na estação Espora Fazenda Perdizes, em novembro (446,2 mm). Os menores valores de precipitação foram nos meses de junho (0,1 mm) e julho (0,0 mm), característica que a região possui, no período mais seco, compreendido de abril a setembro.

Na Figura 3A e B, apresentam-se os valores de precipitações referentes aos sete dias antecedentes aos dois trabalhos de campo. No mês

de agosto, período seco, o volume pluviométrico foi menor em relação ao período chuvoso, indicando baixa influência no escoamento superficial das águas pluviais para o reservatório.

No período chuvoso (Figura 3A), o maior valor de precipitação ocorreu no dia 22 de janeiro de 2018, no posto pluviométrico Ribeirão Cachoeira Corrente, com 31,2 mm que está localizado a montante do barramento, no trecho inicial do reservatório. A segunda maior concentração foi verificada no dia 25/01/2018 no posto pluviométrico Barramento da UHE Espora com 10,8 mm. A precipitação total nos sete dias antecedentes ao campo no período chuvoso foi de 63,6 mm.

No período menos chuvoso (seco), é possível verificar, por meio dos dados tabulados (Figura 3B), que nos dias 24 e 25/08/2018, ocorreram precipitações nos postos pluviométricos analisados, com exceção do posto Ribeirão Cachoeira do Corrente. Nos sete dias antecedentes,

a precipitação total no período seco foi de 34,2mm. As precipitações foram inferiores quando comparadas ao período chuvoso, sendo que no dia da coleta do período seco não ocorreram precipitações.

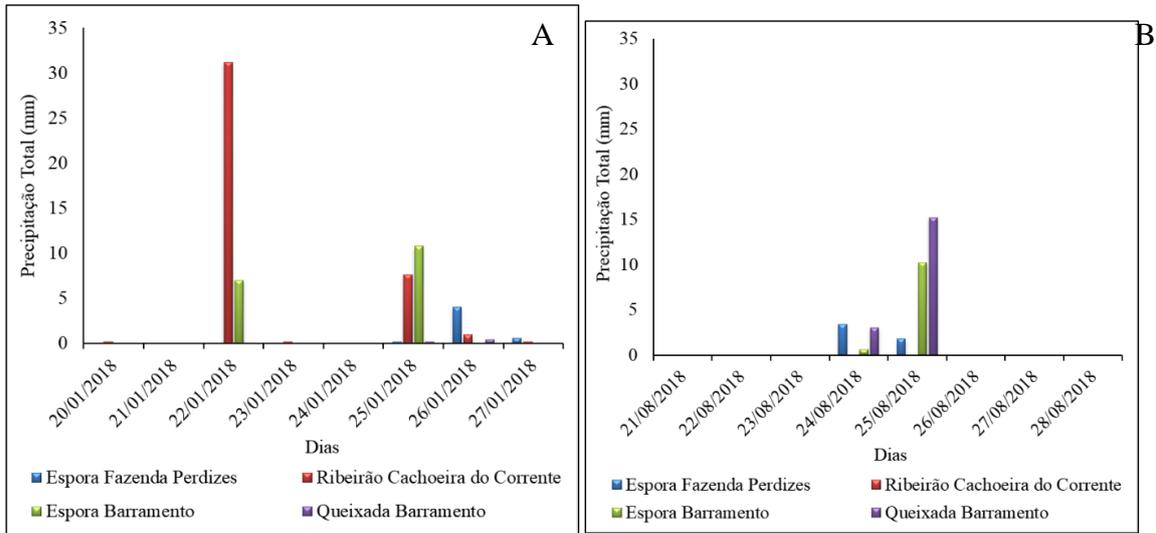


Figura 3. Gráficos (A) e (B) Precipitação pluviométrica das estações analisadas dos últimos sete dias que antecederam as coletas de água no reservatório da UHE Espora (GO). Fonte: ANA (2020). Organização: Autores, 2021.

Análise das variáveis físicas e biológica das águas Concentração de Sólidos Suspensos-CSS

A CSS no reservatório da UHE Espora, nos dois períodos de análise, exibe valores de acordo

com o estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas de Classe 1, sendo inferior a 500 mg/L quando relacionados a sólidos totais (Figura 4).

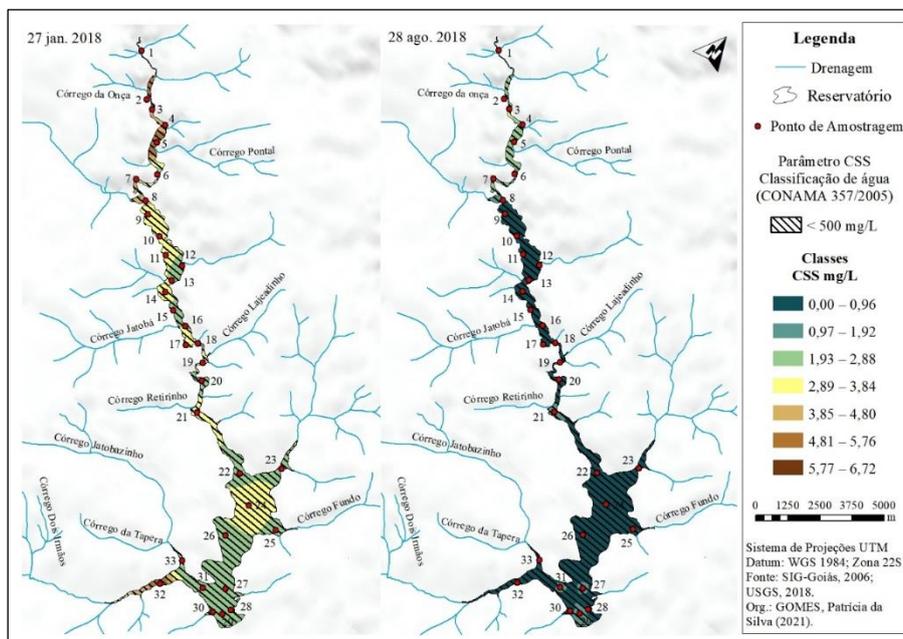


Figura 4. CSS nas águas da UHE Espora nos campos de janeiro e agosto/2018. Fonte: Autores, 2021.

No período chuvoso, foram obtidos os maiores valores da CSS, entre os pontos 1 a 5, no alto curso do reservatório, e no ponto 32, no baixo curso, o maior índice, com valor de 6,67 mg/L, localizado no ponto 5, próximo à área de influência

do córrego Pontal, que se encontra sob influência da Formação Dendrítica Indiferenciada e Neossolos Quartzarênicos.

Essas elevadas concentrações entre os pontos 1 e 5 podem ser associadas ao tipo de solo e

à ação antrópica na bacia, que resultam em maior escoamento superficial, influenciado pelos maiores índices pluviométricos no período chuvoso, fato este também constatado por Cabral et al. (2009) e Braga et al. (2018) nos reservatórios Reservatório de Cachoeira Dourada e Barra dos Coqueiros, ambos situados na bacia do Paraná e no Cerrado brasileiro. Esses pontos amostrais também representam a zona de transição do ambiente lótico para lântico.

No período menos chuvoso, foram detectados os valores mais baixos de CSS, em que o maior valor foi de 3,33 mg/L no ponto 7, no alto curso do reservatório. Este ponto de amostragem sofre influência das litologias pouco cimentadas e compactadas das formações dendríticas indiferenciadas e Vale do Rio do Peixe, que deram origem aos neossolos quartzarênicos e latossolos vermelho distrófico.

De modo geral, é possível verificar que entre os pontos 1 e 7 ocorrem as maiores concentrações de CSS em ambos os períodos. Tal fato pode ser associado ao material erodido da bacia e ao fato desse setor do reservatório possuir características de ambiente lótico (baixa profundidade e alta velocidade de escoamento da

água), e ter força para transportar as maiores frações granulométricas, fato este também constatado nos estudos realizados por Gentil et al. (2021) e Cabral et al. (2021) para os reservatórios de Caçu e Cachoeira Dourada e Foz do rio Claro, situados na bacia do rio Claro, no Sudoeste Goiano.

As menores concentrações foram detectadas entre os pontos de amostragem 22 e o barramento do reservatório, sendo tal fato associado ao ambiente lântico, local em que ocorre a deposição do material de granulometria mais fina, devido à menor velocidade de escoamento da água, maior tempo de residência e profundidades (Kimmel, Lind e Paulson, 1990).

Clorofila-a (Cha-a)

Em relação à Cha-a (Figura 5), no mês de janeiro (período chuvoso), as concentrações variaram entre 0,1 e 3,79 µg/L. No mês de agosto (período seco – menos chuvoso), os dados apresentaram variação entre 0,1 a 3,37 µg/L.

Nos dois períodos analisados, os dados apresentaram-se bastante similares, sendo as águas classificadas entre ultraoligotróficas e mesotróficas (OECD, 1982; Lamparelli, 2004).

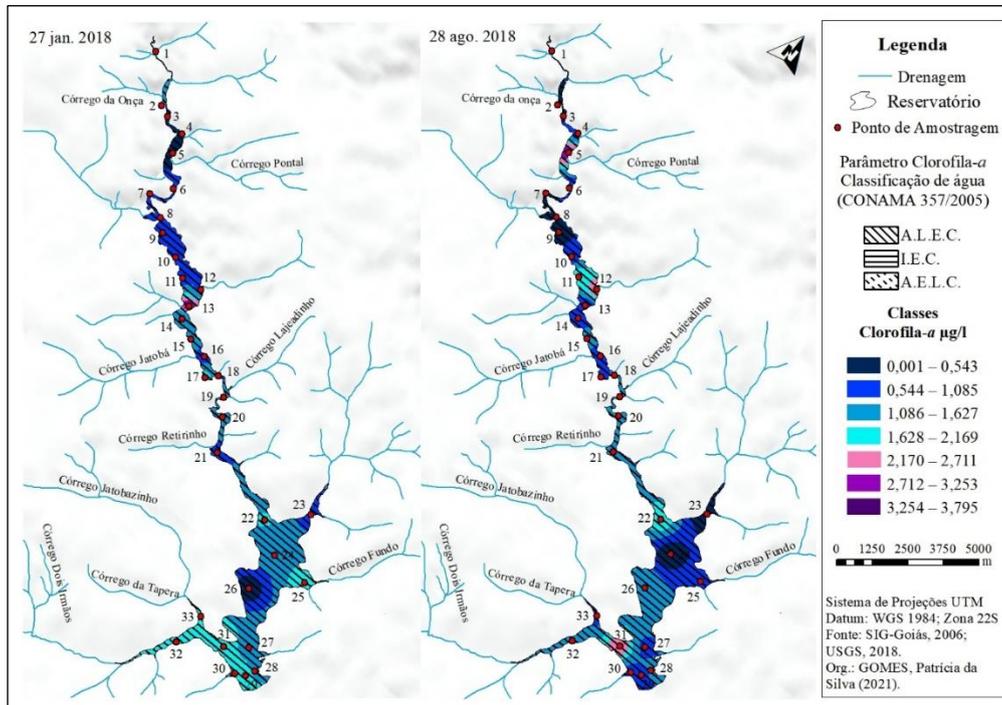


Figura 5. Clorofila-a nas águas da UHE Espora nos campos de janeiro e agosto/2018. Fonte: Autores, 2021.

No trabalho de campo de janeiro, os maiores valores foram verificados nos pontos 1, 13, 17, 25, 29, 30, 31 e 33. No mês de agosto, as concentrações mais elevadas foram nos pontos 5, 11, 12, 22 e 31 (Figura 5). As concentrações verificadas para o reservatório de Espora podem ser consideradas baixas quando comparadas a

estudos de outros reservatórios brasileiro (Buzelli e Cunha-Santino, 2013; Lima et al., 2015). Tal fato pode ser associado ao reservatório estar totalmente em área rural, não recebendo efluentes não tratados dos centros urbanos e dos setores industriais.

Ao se analisar espacialmente a clorofila-a, verifica-se que, entre os pontos 12 e 13, em ambos

os períodos, ocorreram as maiores concentrações. Nesse trecho do reservatório, não ocorreu a retirada de toda a vegetação, sendo possível verificar a existência de troncos e galhos de árvores dentro da água (Barcelos, 2021). Quando comparados com os pontos de amostragem a montante, é possível verificar que o trecho apresenta maior largura e profundidade, fazendo com que o tempo de residência das águas seja maior, permitindo uma maior acumulação de nutrientes, o que poderia causar a proliferação de algas e plantas aquáticas, ocasionando a eutrofização do ambiente (Barreto et al., 2013; Cunha, Calijuri e Lamparelli, 2013).

O efeito da proliferação de algas, aliados com o carreamento de sedimentos para os cursos d'água e reservatório, acarreta, na diminuição da transparência da água (SILVA et al., 2020).

Transparência

Com base nos valores adquiridos, a transparência das águas na UHE Espora apresentou uma variação entre 1,00 e 4,15 m (Figura 6) nos

períodos analisados. Os locais que apresentam as maiores transparências da água têm as menores concentrações de CSS, enquanto que, nos locais em que ocorreram as menores transparências, foram detectadas as maiores concentrações de CSS, demonstrando uma relação inversa à CSS, fato este também constatado por Cabral et al. (2013), no reservatório de Caçu-GO e Nogueira et al. (2015) no reservatório de Foz do rio Claro, ambos localizado na região sudoeste de Goiás e no bioma Cerrado.

Ao comparar os valores da transparência da água em relação aos períodos estudados, verificou-se que, no trabalho de campo de janeiro de 2018, as medidas foram inferiores as de agosto de 2018. Este efeito foi influenciado pela maior precipitação pluviométrica que ocorreu no mês de janeiro, além do uso da terra na bacia, que favoreceu o escoamento superficial, proporcionando o carreamento de sedimentos para dentro do reservatório e que reduziu a transparência.

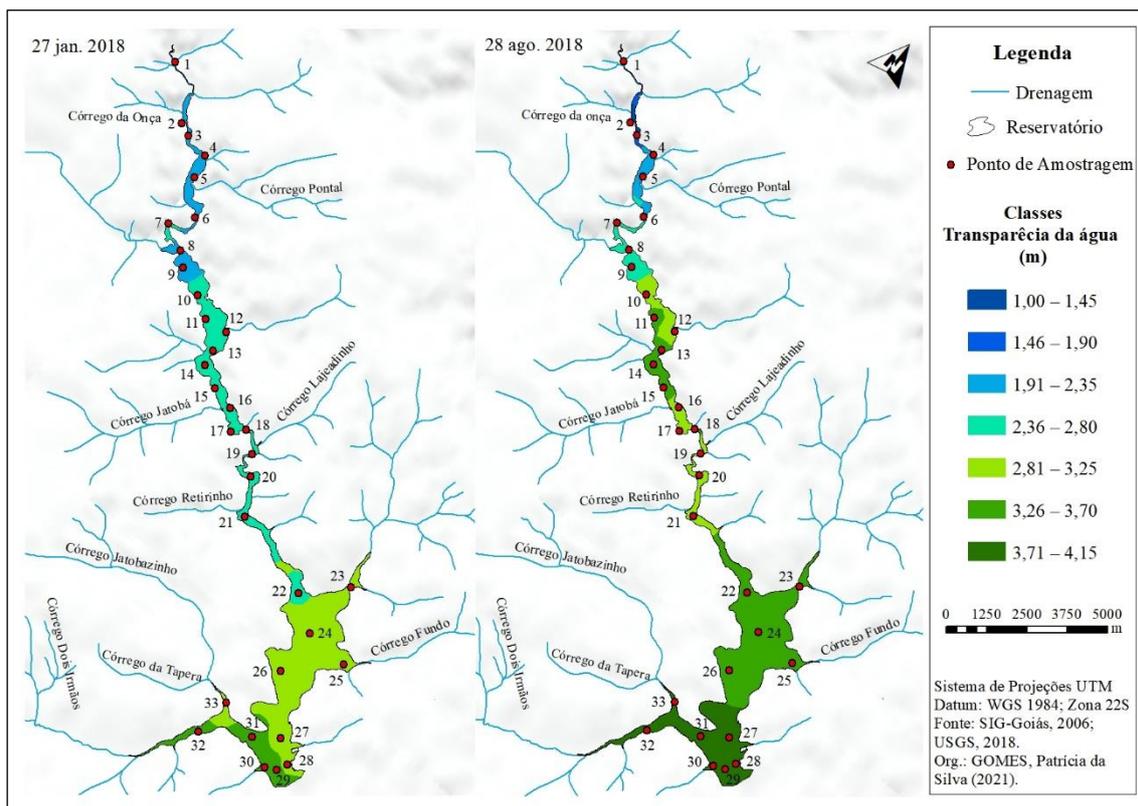


Figura 6. Transparência nas águas da UHE Espora nos campos de janeiro e agosto/2018. Fonte: Autores, 2021.

No reservatório da UHE Espora, as menores transparências foram registradas na zona fluvial (entre os pontos de amostragem 1 e 7) (Barcelos, 2021) devido ao transporte de partículas em suspensão, maior velocidade de escoamento da água, demonstrando que o aporte de sólidos suspensos neste reservatório leva ao estabelecimento de gradientes longitudinais na

transparência da água e, portanto, podem limitar a produção primária e os níveis de eutrofização, fato este destacado nas pesquisas desenvolvidas por Ribeiro Filho et al. (2011) e Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013).

Os maiores valores de transparência foram verificados entre os pontos 29 a 31, trecho do reservatório em que ocorrem as maiores

profundidades, as menores concentrações de sedimentos em suspensão e maior tempo de residência da água (Barcelos, 2021).

Dados de reflectâncias de feições originais e os COAs

Conforme as curvas espectrais obtidas, no mês de janeiro (Figura 7A) ocorreu uma variação da reflectância entre 4,5 e 12 % e, em agosto, variou entre 3 e 8 % (Figura 7B). O albedo da água é baixo em todos os comprimentos de onda, sendo que a taxa de maior reflectância é de 12 % em torno

de 580nm no período chuvoso. Em contrapartida, no período menos chuvoso (seco), o albedo é menor e alcança reflectância de 8%, no mesmo comprimento de onda.

Em ambos os períodos, é possível verificar que, na faixa espectral entre 400 e 500nm, as curvas obtidas revelaram uma baixa reflectância das águas, fato que pode ser associado à absorção da matéria orgânica dissolvida e clorofila (Gitelson, 1992; Kirk, 2011).

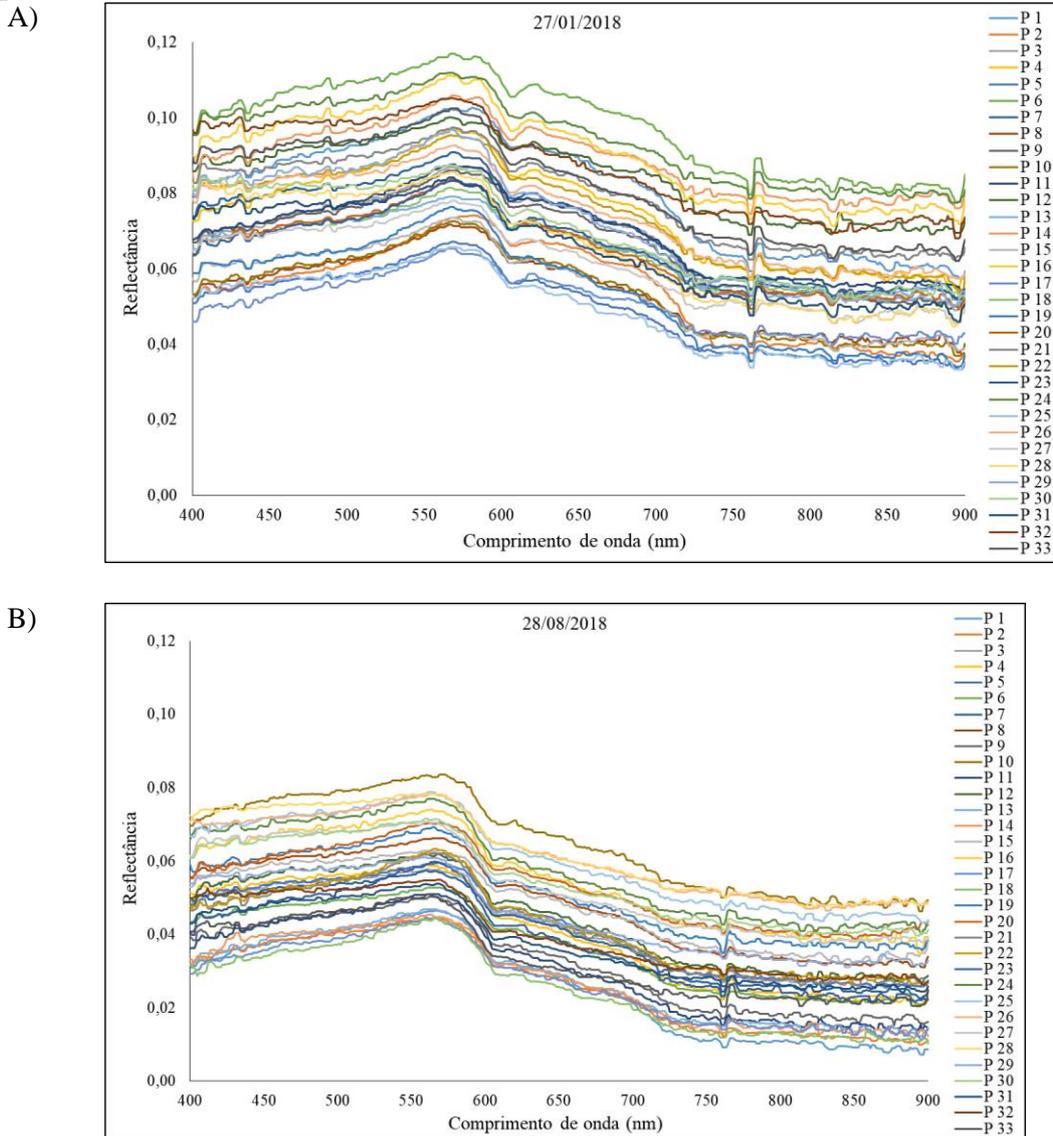


Figura 7. Espectros de reflectância das águas da UHE Espora (A – Período chuvoso, B - período seco).

Fonte: Autores, 2021.

No período chuvoso (janeiro de 2018) foram verificados os maiores valores de reflectância entre a faixa de 560 a 580 nm (faixa Verde), ocasionados, possivelmente, pela presença de Chl-*a* e CSS na água. As maiores absorções ocorreram na faixa do infravermelho, entre 600 a 770 nm, faixa de absorção mínima da água, como também observado em estudos realizados por

Ferreira e Pereira Filho (2009), Cabral e Pereira Filho (2018) e Rocha (2018).

Os campos de janeiro e agosto de 2018 apresentaram valores de reflectância com maiores picos na faixa do verde, local em que as COAs predominantes são a clorofila-*a*, devido à provável presença de fitoplâncton, na faixa do azul, que tem menor reflectância da água, visto que são bandas em que ocorre absorção da matéria orgânica e

inorgânica. As menores reflectâncias nas faixas do verde e vermelho podem ser associadas às menores concentrações de CSS e clorofila-a e às maiores profundidades da transparência da água no mês de agosto (Cabral e Pereira Filho, 2018; Santos, 2018).

Remoção do contínuo

A técnica consiste em isolar bandas de absorção, específicas dos espectros de reflectância e destacar as feições de absorção nas campanhas de campo (Figura 8A e B), nos períodos de janeiro e agosto de 2018, nas faixas de 400 a 900 nm, com variação de 0 a 1, permitindo uma melhor compreensão dos distintos parâmetros das bandas espectrais.

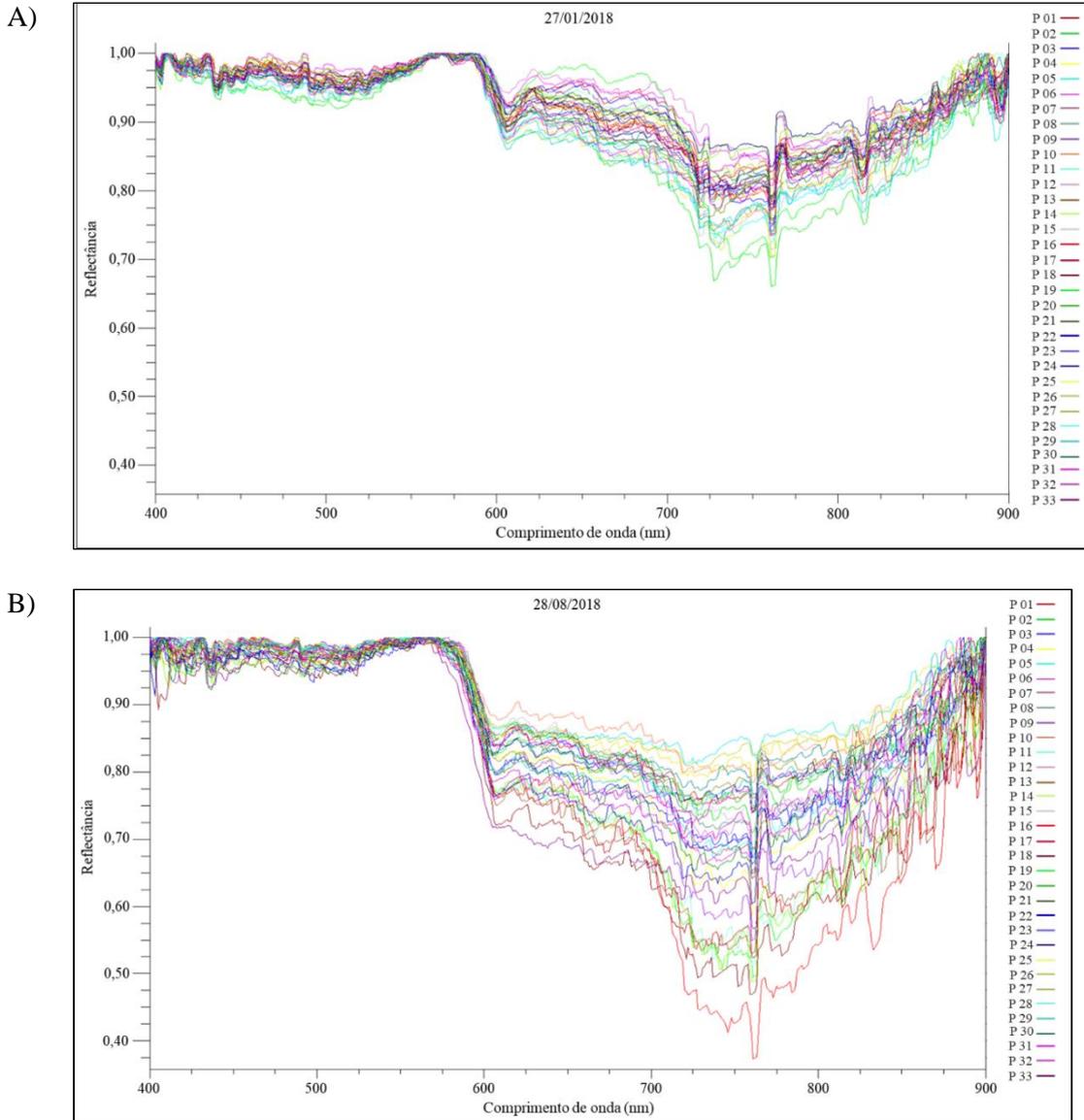


Figura 8. Remoção do contínuo (A – Período chuvoso, B – Período seco). Fonte: Autores, 2021.

Com a aplicação da técnica de remoção de contínuo, houve o realce de feições de bandas de absorção. Para os dados de reflectância do período chuvoso, destacaram-se os centros de bandas em 605 e 720nm, e as faixas de absorções foram menos profundas em relação ao período seco, pois, nos meses de maior índice pluviométrico, o aumento de sedimentos no meio aquático impossibilita o realce de clorofila na água, sendo observados resultados semelhantes em estudo de Rocha (2018).

Conforme Figura 8B, no período menos chuvoso (seco), as faixas de absorções mais acentuadas foram em 605 e 740 nm, sendo a profundidade desses centros de banda relacionada com os dados de CSS e Transparência da água, pois, o aumento da absorção está sujeito à presença de partículas orgânicas e inorgânicas, e elementos dissolvidos e em suspensão (Wachholz, 2007; Ferreira e Pereira Filho, 2009).

No período chuvoso (Figura 8A), as pequenas inflexões de absorção da água, entre as

faixas do azul e verde (400 a 590 nm), podem estar relacionadas à fraca feição de absorção da clorofila, e a segunda feição entre 725 a 800 nm, faixa do infravermelho, a uma profundidade de 0,65 a 0,85 dos espectros de reflectância podem estar relacionadas à CSS.

No campo de agosto/2018, período de baixa precipitação pluviométrica, na remoção do contínuo, observou-se que a maior absorção da água se encontra entre as bandas 600 a 850 nm, faixa do vermelho a infravermelho, com profundidade de 0,40 a 0,85 dos espectros de reflectância, absorção maior em relação ao período chuvoso (Figura 8B). Em agosto, constatou-se, na remoção do contínuo, o aumento da reflectância na faixa do verde e aumento da concentração de clorofila-a, em razão da baixa absorção pelos pigmentos nessa faixa, e ao espalhamento interno nas células do fitoplâncton (Lobo, 2009; Trentin, 2009; Corazza, 2010).

Analisando os gráficos de remoção do contínuo, foi possível observar que as feições de absorção mais acentuadas foram constatadas no mês de agosto, que, mesmo com valor baixo de clorofila, obteve realce de absorção devido à presença de fitoplâncton na água.

No geral os dados do reservatório UHE-Espora apresentaram baixos em relação à algumas pesquisas limnológicas do sudoeste goiano, quando comparados ao trabalho desenvolvido por Rocha (2018) no reservatório do Salto do Rio Verdinho, sobre os parâmetros de clorofila, CSS, transparência e COAs, pode ser citado também o reservatório de Caçu com resultados menores de CSS comparados com o trabalho de Braga (2017).

Vale ressaltar que a região do reservatório da pesquisa de Rocha (2018), Braga (2017), são regiões onde o uso da pecuária é predominante, os resultados mais elevados podem estar relacionados às áreas de APP's ao longo do reservatório e que quando presentes às margens dos cursos d'água ocorre a conservação da qualidade das águas (SILVA et al., 2021).

Conclusões

Não foram detectadas diferentes características climáticas em relação aos dados de chuva na bacia do reservatório da UHE Espora, quando comparadas aos dados existentes na literatura. Os dados limnológicos adquiridos demonstram que as águas do reservatório apresentam alterações no comportamento da qualidade da água, segundo a sazonalidade das chuvas.

A CSS foi mais elevada no período chuvoso, com 6,67 mg/L, e no período menos

chuvoso a concentração foi de 3,33 mg/L. A clorofila-a apresentou uma similaridade nos dois períodos avaliados, com concentração entre 0,001 e 3,79 µg/L.

A transparência da água apresentou maiores profundidades no período menos chuvoso, e uma redução na transparência no mês de janeiro, devido à maior precipitação e carreamento de sedimentos.

A baixa reflectância para as águas do reservatório é resultado da baixa concentração dos componentes opticamente ativos, pois, este apresenta baixas concentrações de CSS e de Cha_a e elevada transparência. Apesar da baixa reflectância, no período chuvoso foi maior do que no período seco.

Todas as amostras apresentaram uma taxa de aumento em direção à faixa do verde (entre 500 nm e 600 nm), em que atingiram seu máximo. Este comportamento, provavelmente, deve-se à presença de CSS e clorofila, a qual exerce influência na reflectância principalmente neste comprimento de onda (faixa do verde – 500nm a 600nm).

No período seco, a COAs predominante é a Chl-*a* na faixa do verde, devido à provável presença de fitoplâncton. As menores reflectâncias nas faixas (verde e vermelho) estão associadas à redução das concentrações de CSS e de clorofila-a e a maiores profundidades da transparência da água. Assim, os resultados dos espectros de reflectâncias foram influenciados pela presença de sedimentos na água.

As técnicas das feições originais destacaram-se nos campos de janeiro e agosto/2018, que, na faixa espectral entre 400 e 500nm, obteve uma baixa reflectância das águas associada à absorção da matéria orgânica dissolvida e clorofila. Para janeiro/2018, destacaram-se os maiores valores de reflectância entre a faixa de 560 a 580 nm (faixa Verde), e maiores absorções na faixa do infravermelho próximo, entre 600 a 770 nm, e em ambos os campos os maiores picos na faixa do verde, local onde as COAs predominantes são a clorofila-a.

A aplicação da técnica de remoção do contínuo destacou as feições de absorção dos comprimentos de ondas mais relevantes, possibilitando uma análise e correlação com as variáveis limnológicas dos COAs. Para o mês de janeiro/2018, as faixas de absorções foram menores em relação ao período seco, devido ao maior índice pluviométrico. Foi observado que, em agosto/2018, ocorreu a maior absorção da água entre as faixas de 600 a 850 nm, apresentando correlação com os dados de CSS e Transparência da água.

As técnicas das feições originais e remoção do contínuo exibiram as feições de realce e absorção dos comprimentos de ondas mais relevantes. Assim, a pesquisa possibilitou um melhor entendimento do comportamento espectral da água, com os COAs, sendo essencial para prevenir e garantir uma boa qualidade das águas.

Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão da bolsa de iniciação científica que possibilitou dedicação integral ao desenvolvimento deste trabalho, e ao Laboratório de Geociências Aplicadas da Universidade Federal de Jataí (UFJ).

Referências

- Alvado, B., Sòria-Perpinyà, X., Vicente, E., Deleigido, J., Urrego, P., Ruíz-Verdú, A., Soria, J.M., Moreno, J., 2021. Estimating Organic and Inorganic Part of Suspended Solids from Sentinel 2 in Different Inland Waters. *Water* 13, 1-22.
- APHA. American Public Health Association, 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, DC.
- Barbosa, C.C.F., Novo, E.M.L.M., Martins, V.S., 2019. Introdução ao sensoriamento remoto de sistemas aquáticos: princípios e aplicações, 1 ed. INPE, São José dos Campos.
- Barcelos, A.A., 2021. Avaliação das condições limnológicas e sedimentológicas do reservatório da usina hidrelétrica de Espora-GO. Tese (Doutorado). Jataí, Universidade Federal de Jataí - UFJ.
- Barcelos, A.A., Ramalho, F.L., Gomes, P.S., Cabral, J.B.P., Camara, M.A.B., 2019. Avaliação da concentração de fósforo e clorofila-*a* nas águas do reservatório de Espora, in: Morato, R.G., Kawakubo, F.S., Galvani, E., Ross, J.L.S. (Org.), *Análise Integrada em bacias hidrográficas: estudos comparativos com distintos usos e ocupação do solo*. Editora FFLCH/USP, São Paulo, pp. 549-568.
- Barreto, L.V., Barros, F.M., Bonomo, P., Rocha, F. A., Amorim, J.S., 2013. Eutrofização em rios brasileiros. *Enciclopédia Biosfera* [online] 9. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013a/biologicas/EUTROFIZACAO.pdf>>. Acesso: 10 out. 2021.
- Binding, C.E., Jerome, J.H., Bukata, R.P., Booty, W.G., 2008. Spectral absorption properties of dissolved and particulate matter in Lake Erie. *Remote Sensing of Environment* [online] 112. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.08.017>>. Acesso: 10 out. 2021.
- Birro, S.O.G., Ross, J.L.S., Cabral, J.B.P., 2019. Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Rio Corrente/GO, Brasil, in: Morato, R.G., Kawakubo, F.S., Galvani, E., Ross, J.L.S. (Org.), *Análise integrada em bacias hidrográficas: estudos comparativos com distintos usos e ocupação do solo*. Editora FFLCH/USP, São Paulo, pp. 213- 237.
- Braga, C.C., 2017. Análise espaço-temporal dos processos hidrossedimentológicos e sedimentação no reservatório da UHE Caçu. Tese (Doutorado). Goiânia, Universidade Federal de Goiás.
- Braga, C.C., Cabral, J.B.P., Lopes, S.M.F., Oliveira, S.F., Rocha, I.R., 2018. Qualidade dos sedimentos em relação à presença de metais pesados no reservatório da usina hidrelétrica de Caçu - GO. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 11. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.3.p959-972>. Acesso: 1 ago. 2021.
- Bramich, J., Bolch, C.J.S., Fischer, A., 2021. Improved red-edge chlorophyll-a detection for Sentinel 2. *Ecological Indicators* 120, 1-9.
- Breunig, F.M., Wachholz, F., Pereira Filho, W., Rudorff, C.M., 2007. Análise das propriedades ópticas da água do reservatório Rodolfo Costa e Silva - Itaara, RS, Brasil, usando dados espectrais de campo e imagens orbitais multiespectrais. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science* 2, 88-102.
- Buzelli, G.M., Cunha-Santino, M.B., 2013. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. *Ambiente & Água* [online] 8. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.930>. Acesso: 14 jan. 2022.
- Cabral, J.B.P., Fernandes, L.A., Becegato, V.A., Silva, S.A., 2009. Concentração de sedimentos em suspensão: reservatório de Cachoeira Dourada - GO/MG, Brasil. *Mercator* [online] 8. Disponível: <https://doi.org/10.4215/RM2009.0816.0018>. Acesso: 3 jun. 2021.
- Cabral, J.B.P., Nogueira, P.F., Becegato, V.A., Becegato, V.R., Paulino, A.T., 2021. Avaliação Ambiental e Nível de Contaminação por Metais Tóxicos em Sedimentos Superficiais de um Reservatório de Água no Cerrado Brasileiro. *Water* [online] 13. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w13081044>. Acesso: 27 jan. 2022.
- Cabral, J.B.P., Pereira Filho, W., 2018. Técnicas de sensoriamento remoto aplicada análise da concentração de sólidos em suspensão na UHE Foz do Rio Claro - GO. *Revista Brasileira de*

- Geografia Física [online] 11. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.4.p1526-1541>. Acesso: 16 jun. 2021.
- Cabral, J.B.P., Wachholz, F., Becegato, V.A., Nascimento, E.S., 2013. Diagnóstico Hidrossedimentológico do Reservatório da UHE Caçu - GO. *Geofocus* [online] 13. Disponível em: <https://geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/276>. Acesso: 3 ago. 2021.
- Caldeira, C.R.T., Galo, M., Imai, N.N., Galo, M.L. B.T., Hasegawa, J.K., Amorim, A., Shimabukuro, M.H., Pinto, M.S., 2018. Detecção de mudanças de forma automática no entorno de reservatórios: estudo de caso - Canoas I. *Revista Brasileira de Cartografia* [online] 70. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/rbcv70n4-46508>. Acesso: 15 jul. 2021.
- Carvalho Júnior, O.A., 2018. Aplicações e perspectivas do sensoriamento remoto para o mapeamento de áreas inundáveis. *Revista de Geografia* [online] 35. Disponível em: <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2018.238239>. Acesso: 15 jul. 2021.
- Castro, P.H.M., Pereira, A.C.F., Barros, M.V.F., 2017. Modelagem amostral para o monitoramento de componentes opticamente ativos no rio Tibagi/PR, utilizando imagens Landsat 8/oli. *Revista Brasileira de Cartografia* [online] 69. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43985>. Acesso: 16 jun. 2021.
- Castro, P.H.M., Pereira, A.C.F., Barros, M.V.F., 2018. Modelos empíricos para inferência de componentes opticamente ativos em ambientes lóticos e semilóticos do rio Tibagi/PR, aplicados à imagens Landsat 8/OLI. *Raega - O Espaço Geográfico em Análise* [online] 43. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v43i0.50545>. Acesso: 15 jul. 2021.
- Chen, Z., Curran, P.J., Hansom, J.D., 1992. Derivative reflectance spectroscopy to estimate suspended sediment concentration. *Remote Sensing of Environment* [online] 40. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(92\)90127-6](https://doi.org/10.1016/0034-4257(92)90127-6). Acesso: 1 set. 2021.
- Clark, R.N., Roush, T.L., 1984. Reflectance spectroscopy: quantitative analysis techniques for remote sensing applications. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 89, 6329-6340.
- Coimbra, K.T.O., Alcântara, E., Souza Filho, C.R., 2021. Satellite evidence for pervasive water eutrophication in the Doce River reservoirs following the collapse of the Fundao dam in Brazil. *Environmental Pollution* 272, 1-11.
- Corazza, R., 2010. Relações entre variáveis espectrais e limnológicas no reservatório da Usina Hidrelétrica Dona Francisca-RS. Dissertação (Mestrado). Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria.
- Cunha, D.G.F., Calijuri, M.C., Lamparelli, M.C., 2013. A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSI_{tr}). *Ecological Engineering* [online] 60. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.058>. Acesso: 10 out. 2021.
- Daraigan, S.G., Hashim, S.A., Jafri, M.Z.M., Abdullah, K., Jeng, W.C., Saleh, N.M., 2007. Multispectral absorption algorithm for retrieving TSS concentrations in water. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* [online]. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2007.442343>. Acesso: 17 ago. 2020.
- Esteves, F.A., 2011. Fundamentos de limnologia, 3. ed. Interciência, Rio de Janeiro.
- Ferreira, A.B., Pereira Filho, W., 2009. Avaliação da reflectância espectral de corpos d'água em Santa Maria-RS por meio de espectrorradiometria de campo. *Geoambiente-On-Line* [online]. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/rev.%20geoambie.v0i13.25996>. Acesso: 6 jul. 2021.
- Fraga, M.S., Almeida, L.T., Abreu, M.C., Silva, F.B., Reis, G.B., Ferreira, R.G., 2021. Avaliação da qualidade das águas superficiais na circunscrição hidrográfica do rio Piranga utilizando análise estatística multivariada e não-paramétrica. *Revista Brasileira de Geografia Física* 14, 694-710.
- Gentil W. B., Ramalho, F.L., Braga., C., C., Barcelos., A. A., Cabral., J. B. P., 2021. Diagnóstico Batimétrico do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Cacu-GO *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1541-1558>. Acesso: 27 jan. 2022.
- Gitelson A., 1992. The peak near 700 nm on radiance spectra of algae and water relationships spectra of algae and water: relationships of its magnitude and position with chlorophyll concentration *International Journal of Remote Sensing* [online] Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0143116920890412>. Acesso: 31 jan. 2022.
- Gomes, J.G., Matos, R.M.P., 2018. Análise de tendências multitemporal nos municípios de Alto Paraíso, Cavalcante e Colinas do Sul – GO. *Revista Tocantinense de Geografia*

- [online] 7. Disponível em: <https://doi.org/10.20873/rtg.v7n12p117-127>. Acesso: 15 jul. 2021.
- Jensen, J.R., 2009. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres, 2. ed. Parêntese, São José dos Campos.
- Kavak, M.T., 2021. Long time SST and Chlorophyll-a Pigment concentration of Lake Van Using MODIS. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences* 5, 12-22.
- Kirk, J.T.O., 2011. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems, 3. ed. Cambridge University Press, New York.
- Kimmel, B.L., Lind, O.T., Paulson, L.J., 1990. Reservoir Primary Production, in: Thornton, K.W., Kimmel, B.L., Payne, F.E. *Reservoir limnology: ecological perspectives*. John Wiley and sons, Canadá, pp. 133-194.
- Köppen, W., 1948. *Climatologia: con un studio de los climas de la tierra*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Kramer, G., Pereira Filho, W., Faccin, C.C., 2017. Alterações limnológicas de ambientes lênticos relacionadas as condições da bacia hidrográfica – rio Jacuí-mirim – RS. *Ciência e Natura* [online] 39. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460X27927>. Acesso: 5 ago. 2021.
- Lamparelli, M.C., 2004. Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. Tese (Doutorado). São Paulo, Universidade de São Paulo.
- Latrubesse, E.M., Carvalho, T.M., 2006. Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal. Secretaria de Indústria e Comércio de Goiás, Goiânia.
- Lima, A.M., Mariano, Z.F., 2014. Análise microclimática no interior e fora das florestas estacionais semidecíduais na área da bacia da usina Hidrelétrica de Caçu-GO. *Revista do Departamento de Geografia* [online] 27. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rdg.v27i0.444>. Acesso: 1 fev. 2022.
- Lima, P.F., Sousa, M.S.R., Porfírio, A.F., Almeida, B.S., Freire, R.H.F., Santaella, S.T., 2015. Preliminary analysis on the use of Trophic State Indexes in a brazilian semiarid reservoir. *Acta Scientiarum, Biological Sciences* [online] 37. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v37i3.27160>. Acesso: 22 nov. 2021.
- Lobo, F.L., 2009. Biblioteca espectral: determinação de espectros de referência para a classificação de tipos de água das áreas alagáveis da Amazônia. Dissertação (Mestrado). São José dos Campos, INPE.
- Lopes, F.B., Novo, E.M.L.M., Barbosa, C.C.F., Andrade, E.M., Ferreira, R.D., 2016. Simulation of spectral bands of the MERIS sensor to estimate chlorophyll-a concentrations in a reservoir of the semi-arid region. *Revista Agro@mbiente On-Line* [online] 10. Disponível: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v10i2.3482>. Acesso: 1 set. 2021.
- Lopes, R.M., Mariano, Z.F., 2018. Análise dos episódios de verão e inverno na área de influência dos reservatórios Caçu e Barra dos Coqueiros-GO. *Geoambiente on-line* [online]. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i30.52925>. Acesso: 15 jul. 2021.
- Lopes, F.B., Barbosa, C.C.F., Novo, E.M.L.M., Carvalho, L.A.S., Andrade, E.M., Teixeira, A.S., 2021. Modelling chlorophyll-a concentrations in a continental aquatic ecosystem of the Brazilian semi-arid region based on remote sensing. *Revista Ciência Agronômica* [online] 52. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20210028>. Acesso: 1 set. 2021.
- Mackinney, G., 1941. Absorption of light by chlorophyll solutions. *Journal of Biological Chemistry* [online] 140. Disponível: [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)51320-X](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)51320-X). Acesso: 1 set. 2021.
- Marcuzzo, F.F.N., Cardoso, M.R.D., Faria, T.G., 2012. Chuvas no cerrado da região Centro-Oeste do Brasil: análise histórica e tendência futura. *Ateliê Geográfico* [online] 6. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/619>. Acesso: 16 jul. 2021.
- Nogueira, P.F., Cabral, J.B.P., Oliveira, S.F., Rocha, I.R., 2015. Eutrofização no Reservatório da UHE Foz do Rio Claro (GO). *Revista do Departamento de Geografia (USP)* [online] 30. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rdg.v30i0.90090>. Acesso: 27 jan. 2022.
- OECD. Organization for Economic Cooperation and Development, 1982. *Eutrophication of water: monitoring, assessment and control*. Paris.
- Ogashawara, I., Li, L., Howard, C., Druschel, G.K., 2022. Monitoring Phycocyanin with Landsat 8/Operational Land Imager Orange Contrast Band. *Environments* 9, 1-11.
- Pahlevan, N., Smith, B., Binding, C., Gurlin, D., Li, L., Bresciani, M., Giardino, C., 2021. Hyperspectral retrievals of phytoplankton absorption and chlorophyll-a in inland and

- nearshore coastal waters. Remote sensing of environment 253, 1-15.
- Paula, M.R., Sarmiento, F.L., Santos, F.C., Alberti, E.A., Mattos, E., Pereira Filho, W., Breunig, F.M., 2021. Resposta espectral da água com diferentes concentrações de sólidos em suspensão. *Raega - O Espaço Geográfico em Análise* [online] 50. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v50i0.77005>. Acesso: 16 jun. 2021.
- Peixoto, D.W.B., Guasselli, L.A., Pereira Filho, W., 2018. Estimativa de concentração de sedimentos em suspensão a partir de imagens Landsat 8 em PCHS no rio Ivaí-RS. *Geociências*, 37, 147-154.
- Pereira, A.C.F., 2015. Water quality researches: spectral variability of the water body analysis to define a sampling scheme. *Revista Brasileira de Cartografia*, 67, 1017-1024.
- Pinto, C.E.T., Menezes, P.H.B.J., Martinez, J.M., Roig, H.L., Villar, R.A.E., 2014. Uso de imagens MODIS no monitoramento do fluxo de sedimentos no reservatório de Três Marias. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [online] 18. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000500007>. Acesso: 16 jun. 2021.
- Preisendorfer, R.W., 1986. Secchi disk science: Visual optics of natural waters. *Limnology and Oceanography* [online] 31. Disponível em: <https://doi.org/10.4319/lo.1986.31.5.0909>. Acesso: 22 nov. 2021.
- Ribeiro Filho, R.A., Petre Junior, M., Benassi, S.F., Pereira, J.M.A., 2011. Itaipu Reservoir limnology: eutrophication degree and the horizontal distribution of its limnological variables. *Brazilian Journal of Biology* [online] 71. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842011000500010>. Acesso: 31 jan. 2022.
- Robert, E., Grippa, M., Kergoat, L., Pinet, S., Gal, L., Cochonneau, G., Martinez, J.M., 2016. Monitoring water turbidity and surface suspended sediment concentration of the Bagre Reservoir (Burkina Faso) using MODIS and field reflectance data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* [online] 52. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.06.016>. Acesso: 3 jun. 2021.
- Rocha, I.R., 2018. Influência da bacia hidrográfica nas análises limnológicas e espectrais das águas do reservatório Salto do Rio Verdinho - GO. Tese (Doutorado). Goiânia, Universidade Federal de Goiás.
- Santos, A.K.F., 2018. Análise do comportamento espectral das águas do reservatório da usina hidrelétrica Barra dos Coqueiros (GO). Dissertação (Mestrado). Jataí, Universidade Federal de Goiás.
- Santos, A.K.F., Facco, D.S., Cabral, J.B.P., Pereira Filho, W., 2018. Técnicas de remoção do contínuo por meio de uma biblioteca espectral nas águas do reservatório da usina hidrelétrica Barra dos Coqueiros (GO). *Geoambiente-Online* [online] 30. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i30.52854>. Acesso: 14 jan. 2022.
- Santos, E.P., Santos, R.A., Carneiro, A.S.R., Jesus, T.B., 2018. Sensoriamento remoto hiperespectral no estudo do corpo hídrico do baixo curso do rio Subaé, Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 11. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.6.p2018-2028>. Acesso: 24 set. 2020.
- Santos, J.J., Júnior, A.S., Pita, N.S., Conceição, E.K.S., Souza, V.M.B., Faria, A.C.F., 2018. Qualidade das águas das bacias hidrográficas da cidade de Salvador e do município de Lauro de Freitas, Bahia. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais* [online] 6. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/gesta.v6i1.24346>. Acesso: 10 jul. 2021.
- Sari, V., Castro, N.M.R., Kobiyama, M., 2015. Estimativa da concentração de sedimentos suspensos com sensores ópticos: revisão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* [online] 20. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/230373>. Acesso: 3 jun. 2021.
- Schaeffer, B.A., Urquhart, E., Coffey, M., Salls, W., Stumpf, R.P., Loftin, K.A., Werdell, P.J., 2022. Satellites quantify the spatial extent of cyanobacterial blooms across the United States at multiple scales. *Ecological Indicators* 140, 1-14.
- SIEG. Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás, 2019. Downloads/SIG-Shapefiles. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/siegdownloads/>. Acesso: 14 nov. 2019.
- Silva, F.L., Smith, W.S., Cunha-Santino, M.B., Bianchini Jr, I., 2021. Usos e cobertura da terra e a sua relação com a naturalidade de paisagens culturais: o caso de Sorocaba (SP). *Ciência e Natura* 43, 151-159.
- Silva, T.J.M., Callado, N.H., Souza, V.C.B., Vasconcelos, M.R.S., 2020. Respostas da qualidade da água e fitoplânctons à redução de vazão e recepção de cargas de sedimentos no reservatório de Xingó/AL. *REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina* [online] 17.

- Disponível em:<
<https://dx.doi.org/10.21168/reg.v17e15>>.
Acesso: 16 ago. 2022.
- Tassara, E.T.O., Rutkowski, E.W., 2008. Mudanças climáticas e mudanças socioambientais globais: reflexões sobre alternativas de futuro. UNESCO, Brasília.
- Trentin, A.B., 2009. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo do comportamento espectral da água no reservatório Passo Real – RS. Dissertação (Mestrado). Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria.
- Tundisi, J.G., Matsumura Tundisi, T., 2008. Limnologia, 1 ed. Oficina de Textos, São Paulo.
- Vargas, T., Gomes, M.G., Belladonna, R., Adami, M.V.D., 2018. Aplicação do interpolador IDW para elaboração de mapas hidrogeológicos paramétricos na região da Serra Gaúcha. *Scientia cum Industria* [online] 6. Disponível em:<http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v6iss3p38>. Acesso: 18 fev. 2021.
- Ventura, D.L.T., Martinez, J.M., Attayde, J.L., Martins, E.S.P.R., Brandini, N., Moreira, L.S., 2022. Long-Term Series of Chlorophyll-a Concentration in Brazilian Semiarid Lakes from Modis Imagery. *Water* 14, 1-16.
- Viso-Vázquez, M., Acuña-Alonso, C., Rodríguez, J.L., Álvarez, X., 2021. Remote Detection of Cyanobacterial Blooms and Chlorophyll-a Analysis in a Eutrophic Reservoir Using Sentinel-2. *Sustainability* 13, 1-17.
- Wachholz, F., 2007. Compartimentação aquática do reservatório Rodolfo Costa e Silva-RS, a partir de variáveis limnológicas e imagens orbitais. Dissertação (Mestrado). Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria.
- Wachholz, F., 2011. Influência da bacia hidrográfica e características espaço-temporais de variáveis limnológicas sobre reservatórios no Rio Jacuí – RS. Tese (Doutorado). Rio Claro, Universidade Estadual Paulista.
- Watanabe, S., Laurion, I., Markager, S., Vincent, W.F., 2015. Abiotic control of underwater light in a drinking water reservoir: photon budget analysis and implications for water quality monitoring. *Water Resources Research* 51, 6290-6310.
- Wen, Z., Song, K., Liu, G., Shang, Y., Fang, C., Du, J., Lyu, L., 2019. Quantifying the trophic status of lakes using total light absorption of optically active components. *Environmental Pollution* [online] 245. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.058>>. Acesso: 23 jun. 2021.
- Wetzel, R.G., Likens, G.E., 1991. *Limnological analyses*, 2 ed. Springer-Verlag, New York.
- Yang, Z., Anderson, Y., 2016. Estimating chlorophyll-a concentration in a freshwater lake using Landsat 8 Imagery. *Journal of environment and earth science* 6, 134-142.