

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUAS DO RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA DE FURNAS NO RIO GRANDE

Anderson Santos da Rocha^{*}

Marcos Callisto^{*}

Vanessa Nunes Alves^{**}

Resumo: A intensificação dos múltiplos usos de reservatórios hidrelétricos provoca alterações na qualidade da água, demandando monitoramento contínuo e gestão eficiente. Com o objetivo de avaliar a qualidade das águas do reservatório da UHE Furnas foi elaborado um plano de coleta de amostras de água superficial em 40 pontos amostrais na região litorânea do reservatório, classificados em um gradiente de distúrbios por atividades humanas em três categorias: máximo potencial ecológico, intermediário e impactado. Foram determinados os valores de temperatura, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), turbidez, *Escherichia coli*, alcalinidade total, clorofila-a, cor, nitrogênio, fósforo total e série iônica de ânions (Cl^- , SO_3^{2-} , F^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-}) e cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Li^+). A comparação com os limites da Resolução Conama nº 357 de 2005 evidenciaram que a maior parte dos pontos foram classificados em classe 2, porém, parâmetros como DBO e *E. coli* indicaram não conformidade em alguns pontos. Além disso, somente os resultados de DBO foram significativamente elevados em regiões impactadas, evidenciando o descarte de efluentes domésticos, que compromete a manutenção da sustentabilidade da qualidade da água no reservatório da UHE Furnas.

Palavras-chave: qualidade de água, reservatório, pressão antrópica, gestão hídrica.

INTRODUÇÃO

A água de boa qualidade é um recurso natural essencial para garantia de sobrevivência de todas as formas de vida, incluindo a oferta de bens e serviços ecossistêmicos a populações humanas. Garantir sua disponibilidade em quantidade suficiente e em qualidade adequada para sustentar a saúde humana, processos

^{*} Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Genética, Ecologia e Evolução – UFMG: anderson.asdr@gmail.com, mcallisto@gmail.com.

^{**} Instituto de Química – UFCAT: vanessa.nunes@ufcat.br

agrícolas e estabilidade do meio ambiente são desafios globais. Devido a essa importância há preocupação com a qualidade e na utilização sustentável da água em bacias de empreendimentos hidrelétricos.

No Brasil, o conhecimento sobre a qualidade das águas é um desafio ambiental, pois a disponibilidade de informações de monitoramentos ainda é limitada ou fragmentada. Além disso, há desafios quanto ao estabelecimento e manutenção de redes de monitoramento, frequência de amostragens, seleção de parâmetros e a representatividade do número de pontos amostrais. Este conjunto de desafios limita a elaboração de diagnósticos precisos sobre a real condição de qualidade de água dos ecossistemas aquáticos (CETESB; ANA, 2011).

Nesse contexto, a legislação ambiental brasileira classifica os corpos de água, define as classes de enquadramento e fixa os padrões nacionais de qualidade da água, servindo como referência básica para todo o território nacional, enquanto que as normas estaduais apresentam complementaridade na hierarquia normativa à lei (BRASIL, 2005). No estado de Minas Gerais o monitoramento da qualidade das águas superficiais é realizado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) através de uma rede colaborativa e hierarquizada (IGAM, 2024). Dentre as atribuições do IGAM, incluem-se avaliar as condições de qualidade das águas superficiais, analisar alterações em escalas espaciais e temporais, auxiliar na identificação e implementação de estratégias de gestão além de divulgar os dados para órgãos públicos e usuários de bacias hidrográficas.

Diversas atividades antrópicas afetam a qualidade da água em empreendimentos hidrelétricos. A construção de barragem com o objetivo de represar o fluxo natural dos rios resulta na formação de reservatório caracterizado como um ecossistema artificial e semi-lêntico. O represamento da água promove alterações significativas no funcionamento de ecossistemas na bacia hidrográfica onde o empreendimento está inserido. Isso deve-se a efeitos diretos da construção da barragem, de atividades de múltiplos usos devido à maior disponibilidade de água para a pecuária e a agricultura, aumento do turismo e à expansão urbana, que exercem influência sobre a qualidade da água (MARTINS *et al.*, 2015).

O reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas (UHE Furnas), conhecido como “Mar de Minas”, exemplifica bem essa complexidade, uma vez que, além de sua função principal de geração de energia hidrelétrica, sua operação exerce

influência direta sobre outros barramentos em cascata ao longo do Rio Grande. Ao regular a retenção de água, seu fornecimento e a gestão de seu tempo de residência, permitem usos múltiplos da água armazenada no reservatório o que leva a distúrbios sobre a paisagem, atividades econômicas e sociais (MENSAH *et al.*, 2022; CALLISTO *et al.*, 2025).

O objetivo deste estudo foi realizar uma avaliação da qualidade da água no reservatório da UHE Furnas a fim de responder às seguintes questões: Como é a qualidade da água no reservatório de Furnas? Quais parâmetros de qualidade estão alterados em um gradiente de distúrbio antrópico? Os resultados obtidos complementam o monitoramento do IGAM e contribuem com informações que poderão subsidiar investimentos em saneamento e futuros investimentos de restauração ambiental na bacia da UHE Furnas.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No Brasil o consumo de água cresceu cerca de 83% nas últimas décadas, impulsionado pela urbanização, desenvolvimento econômico e aumento da demanda agrícola, seguida pelos setores da indústria e de abastecimento público, enquanto a matriz energética nacional permanece fortemente dependente da geração hidrelétrica. Esse crescimento ocorre, sobretudo, em regiões com limitada disponibilidade hídrica, intensificando a pressão sobre os recursos e reforçando a necessidade de planejamento, gestão integrada e conservação da qualidade das águas (ANA, 2024).

A qualidade da água está diretamente associada ao uso e à ocupação do solo em uma bacia hidrográfica, sendo influenciada por fatores naturais e, principalmente, pela ação humana. Dentre os fatores naturais destacam-se a incorporação de partículas e gases provenientes do ar e mudanças do clima em escala global. Por outro lado, as interferências antrópicas decorrem de lançamentos pontuais ou difusos de efluentes domésticos, industriais e defensivos agrícolas. Além disso, a qualidade da água não se limita à sua pureza, mas às características necessárias para seus diferentes usos, uma vez que a poluição pode alterar as propriedades físicas, químicas e biológicas dos corpos hídricos, comprometendo seus múltiplos usos antrópicos (ARAÚJO *et al.*, 2018).

No Brasil a qualidade das águas é definida pela Resolução nº 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) de 17 de março de 2005, que trata da classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, estabelece padrões de qualidade essenciais para diferentes usos, sendo classificadas em águas de classe especial, classes 1, 2, 3 e 4, em um gradiente decrescente de qualidade para os usos mais exigentes (BRASIL, 2005). A classificação é realizada através de parâmetros que são indicativos das condições gerais da água e podem revelar a presença de contaminantes. Para isso, é necessário um conjunto de medidas incluindo: temperatura, *Escherichia coli*, pH, alcalinidade total, turbidez, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), condutividade elétrica, clorofila-*a*, fósforo, nitrogênio e demais elementos químicos.

Alguns parâmetros são influenciados pela atmosfera como a temperatura e o oxigênio dissolvido. A temperatura da água em ambientes aquáticos tropicais possui uma pequena amplitude na variação sazonal (GIANI *et al.*, 1988). O oxigênio dissolvido é essencial para a autodepuração dos ecossistemas e para a manutenção da vida aquática, sendo também um importante indicador dos efeitos da poluição orgânica. Para águas enquadradas como classe 2, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece o limite mínimo de 5,0 mg/L de oxigênio dissolvido.

A presença de sólidos em suspensão influencia a turbidez da água, que pode ter origem natural ou antrópica, sendo frequentemente intensificada por processos erosivos e despejos de efluentes (von SPERLING, 2005). Para corpos hídricos classificados como classe 2, o limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 é de 100 UNT.

A presença de íons e sais dissolvidos interfere em vários parâmetros, incluindo pH, alcalinidade total, condutividade elétrica e cor. O pH afeta diretamente os ecossistemas aquáticos, interferindo na fisiologia de organismos, solubilidade de substâncias e toxicidade de elementos químicos. A legislação brasileira estabelece que o pH das águas superficiais de classe 2 deve permanecer entre 6,0 e 9,0 (von SPERLING, 2005; BRASIL 2005).

A alcalinidade total representa a capacidade de um ecossistema em tamponar variações de pH, e está relacionada à concentração de bicarbonatos e carbonatos presentes na água que reagem e neutralizam ácidos. A condutividade elétrica é uma

medida indireta da concentração de íons em suspensão na água, sólidos dissolvidos e poluentes, podendo indicar alterações na composição mineral da água (von SPERLING, 2005). A Resolução CONAMA nº 357/2005 não estabelece limites para esses parâmetros que, em programas de avaliação de qualidade ambiental e monitoramento são confrontados aos limites da CETESB (BRASIL 2005).

A poluição por compostos orgânicos, em geral, é associada aos teores de nitrogênio, fósforo e DBO. O nitrogênio atua como nutriente para microrganismos e algas, tendo origem principalmente em efluentes domésticos e industriais, atividades agrícolas e excrementos de animais (ESTEVES, 2011). O nitrato indica matéria orgânica degradada, podendo sinalizar contaminação antiga. Para ecossistemas aquáticos classificados em classe 2, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece o limite de nitrato de até 10 mg/L.

O fósforo é elemento limitante à produtividade em ecossistemas aquáticos e pode desencadear a eutrofização quando presente em altas concentrações (ESTEVES, 2011). Ecossistemas lênticos classificados com águas de classe 2 pelos limites da Resolução CONAMA nº 357/2005 devem apresentar teores de fósforo total com concentrações até o limite de 0,03 mg/L. A DBO reflete cargas orgânicas em um corpo hídrico, que reduzem o oxigênio dissolvido, comprometem o metabolismo dos organismos aquáticos e podem causar desequilíbrios ecológicos (von SPERLING, 2005). Para águas classe 2, a Resolução CONAMA 357/2005 estabelece o limite máximo de 5,0 mg/L de O₂ para DBO₅.

A clorofila-a é um parâmetro indireto da biomassa fitoplanctônica e está associada à eutrofização. Para águas classificadas em classe 2, a Resolução CONAMA 357/2005 estabelece o limite de 30 µg/L para clorofila-a.

A contaminação por efluentes domésticos sem tratamento adequado é associada à dosagem de *Escherichia coli*, um importante indicador de contaminação fecal de origem humana ou animal (von SPERLING, 2005). Para águas doces em classe 2, a Resolução CONAMA 357/2005 estabelece o limite máximo de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mL.

A qualidade da água é determinada pela interação entre fatores naturais e antrópicos. Aspectos naturais como as características geológicas, geomorfológicas e climáticas, a cobertura e o uso do solo influenciam a qualidade das águas. As atividades humanas representam importantes ameaças à integridade dos

ecossistemas aquáticos, ao modificar a qualidade da água e a biota de forma complexa e interativa (MACEDO *et al.*, 2014). Avaliar qualidade de água e relacionar a gradientes de distúrbio antrópico considerando escalas locais e regionais permitem realizar diagnósticos ambientais de forma integrada. Há diversos índices para avaliar a integridade e o nível do impacto de atividades humanas, onde avaliações *in situ* em escalas local e regional são integrados para determinação de melhores e piores situações de integridade, ao longo de gradientes de distúrbios antrópicos (LIGEIRO *et al.*, 2013).

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

Este estudo foi realizado no reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas (UHE-Furnas), localizado no trecho alto da bacia do Rio Grande, no estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. Na bacia as altitudes variam de 400 a 1.800 m acima do nível do mar (ANA 2018), com solos predominantemente compostos por latossolos e argissolos (GUIDOLINI *et al.*, 2018). O clima tropical de altitude é caracterizado por temperaturas médias anuais entre 19 e 21 °C e a precipitação média anual varia de 1.200 a 1.500 mm (QUEIROZ *et al.*, 1980). A cobertura de vegetação natural predominante é a floresta estacional semidecidual (SOUZA *et al.*, 2020).

A UHE-Furnas possui grande relevância para a geração de energia hidrelétrica no país sendo responsável por aproximadamente 10% da energia consumida no Brasil (ONS, 2023). O reservatório da UHE Furnas constitui um mega represamento com capacidade instalada de 1.216 MW, volume total de 22,95 km³ e área inundada superior a 1.440 km² (MENSAH *et al.*, 2022). A área do entorno do reservatório é caracterizada por usos múltiplos do solo, com predomínio de formações de Cerrado, pastagens, áreas agrícolas e zonas urbanas, inseridas em uma área total de drenagem de 52.200 km² (Figura 1).

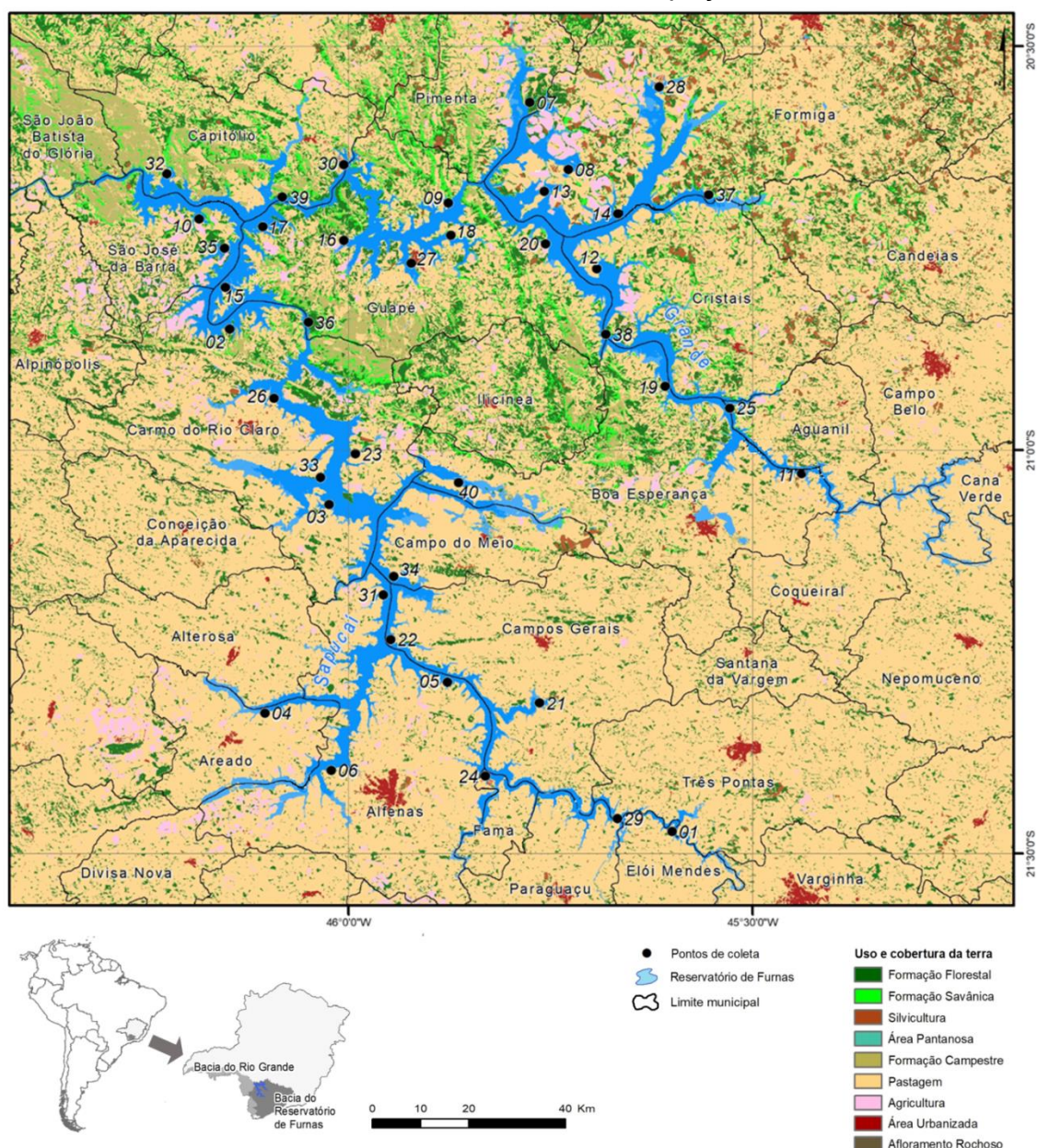
Desenho amostral e coleta

A amostragem foi realizada em 40 pontos distribuídos ao longo da zona litorânea do reservatório da UHE Furnas entre 1 e 2 m da margem (Figura 1). Os

pontos foram selecionados por amostragem espacialmente balanceada (MACEDO *et al.*, 2014) e distribuídos sistematicamente ao longo do perímetro do reservatório, em intervalos equidistantes, a partir de um ponto inicial selecionado aleatoriamente.

A coleta ocorreu no período de 3 a 13 de abril de 2023, ao final do período chuvoso, quando o reservatório apresentava seu nível máximo de água (CALLISTO *et al.*, 2019), mas sem desvios em relação à média histórica de longo prazo (ONS 2023).

Figura 1: Localização do Reservatório da UHE Furnas, distribuição dos sítios amostrais, uso da terra e ocupação.



Fonte: Mapa cedido por MADUREIRA *et al.* (2025).

As coletas de amostras de água foram realizadas conforme recomendações do *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017) e do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB; ANA, 2011). Em cada ponto foram coletados 2 L de água em garrafas de plástico rígido de polietileno âmbar, previamente descontaminadas e preservados sob refrigeração a 4°C. Para a determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) foi coletada água em frascos de vidro borossilicato âmbar tipo Winkler e incubados a 20°C.

As amostras foram encaminhadas para processamento em um laboratório de apoio instalado em campo. Para determinação da cor verdadeira, cátions e ânions, a água foi filtrada em um sistema de filtração a vácuo utilizando filtros de fibra de vidro 0,45 µm (Merck), sendo o filtrado preservado a -20° C. Os filtros foram recolhidos em envelopes ao abrigo da luz para determinação da clorofila-a. As análises espectrofotométricas e cromatográficas foram realizadas no Laboratório de Ecologia de Bentos (ICB) e no Laboratório Geomorfologia e Recursos Hídricos (IGC), UFMG.

Em campo também foram medidos *in situ*, uma única vez em cada ponto amostral, os valores de temperatura (°C) e concentração de oxigênio dissolvido (mg/L) (YSI ProSolo), pH (Digimed DM-2P), turbidez (UNT) (Digimed DM-TU) e condutividade elétrica (µS/cm) (Digimed DM-3P).

Determinação das variáveis limnológicas em laboratório

Após a coleta e processamento inicial, as amostras foram encaminhadas aos laboratórios para determinação dos parâmetros: alcalinidade total, coliformes fecais (*Escherichia coli*), clorofila-a, cor verdadeira, DBO, Nitrogênio Total e Fósforo Total e íons. As análises foram realizadas de acordo com o *Standart Methods* (APHA, 2017).

A alcalinidade total foi determinada através da titulação potenciométrica (2320-B; APHA, 2017) utilizando 100 mL de amostra, em triplicatas, e ácido clorídrico 0.1 M como titulante até o ponto final de pH 4.5. O resultado foi expresso em miligramas de CaCO₃/L.

As análises microbiológicas para determinação de *E. coli* foram realizadas através do método do Colipaper® Petri (Alfakit), no qual a cartela com meio de cultura em forma de gel desidratado foi imersa diretamente na água, ocorrendo

contato dos microrganismos com os nutrientes. O meio de cultura é um meio cromogênico diferencial que permite a contagem das colônias. Após a imersão, as cartelas foram incubadas em estufa a 35°C durante 15 horas, e logo após foi realizada a contagem das colônias, representadas pela coloração violeta a azul para *E. coli*. O resultado é expresso em unidades formadoras de colônias por 100 mL após o ajuste pelo fator de correção, conforme indicado pelo fabricante.

As determinações dos teores de clorofila-a e cor verdadeira foram realizadas através de espectrofotometria (Thermo, modelo Genesys 10 UV). Para a extração da clorofila-a foram filtrados 250 mL de água, em triplicatas, em filtros de fibra de vidro 0,45 µm (Merck). Os filtros foram armazenados ao abrigo da luz à temperatura de -20° C até a extração do pigmento, através de maceração utilizando acetona 90% como solvente. Após incubação por 24 horas a 4° C e posterior centrifugação, o solvente foi retirado e avaliado em cubeta de quartzo com leituras utilizando o método tricromático. Posteriormente foi realizada a correção com acidificação com HCl 0.1M, sendo o resultado expresso, após correção, em microgramas por litro (AMINOT; REY, 2001).

Os teores de cor verdadeira foram determinados, após a filtração das amostras, pelo método de um único comprimento de onda a 456 nm (2120-C; APHA, 2017), utilizando uma solução padrão de Platina/Cobalto (Dinâmica) para geração de uma curva padrão com os resultados expressos em unidade de cor (UC).

A DBO foi determinada utilizando o método de Winkler modificado, com titulação iodimétrica com tiossulfato de sódio. As amostras de água foram coletadas em frascos de vidro âmbar e incubadas por cinco dias (DBO₅) a 20 °C em ambiente escuro para evitar interferências. As concentrações de oxigênio dissolvido foram determinadas no início e ao final do período de incubação por titulação com solução padronizada de tiossulfato de sódio (Na₂S₂O₃) 0.0125 M, sendo o ponto final indicado pela mudança de coloração após a adição de indicador de amido. A DBO foi calculada a partir da diferença entre as concentrações inicial e final de oxigênio dissolvido e expressa em mg/L (4500-O C; APHA, 2017).

O nitrogênio total foi determinado utilizando o kit comercial HI93767A50 (Hanna Instruments), baseado no método do ácido cromotrópico, que requer digestão para a conversão do nitrogênio em nitrato. As leituras foram realizadas em

espectrofot metro de bancada (Hanna Instruments, modelo HI83399) e os resultados expressos em mg/L.

Para a análise de fósforo total foi utilizado o método colorimétrico do ácido ascórbico (4500-P E; APHA, 2017). Foi realizada a digestão da amostra, com adi o de persulfato de potássio ($K_2S_2O_8$), em chapa aquecedora por 90 minutos a 250  C. Em seguida, o reagente colorimétrico foi adicionado e as leituras realizadas em espectrofot metro (Hach, modelo DR 3900), no comprimento de onda de 880 nm e os resultados expressos em mg/L.

Os  nions (NO_2^- , NO_3^- , F^- , Cl^- , Br^- , PO_4^{3-} e SO_4^{2-}) e os cátions (Li^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) foram determinados por cromatografia de  ions (Metrohm, modelo ECO IC1). As amostras, previamente filtradas com filtro de fibra de vidro de 0.45 μm , foram acondicionadas em frascos de amostrador automático, sendo injetado o volume de 60 μL no aparelho com sistema supressor auto-regenerável e detector de condutividade. Os ânions foram separados em uma coluna analítica Metrosep A Supp 17 (250 mm $\times$ 4,0 mm), utilizando como fase móvel uma soluço eluente de 4 mM de Na_2CO_3 e 1 mM de $NaHCO_3$, com vazão de 0.8 mL/min. Os cátions foram separados em uma coluna analítica Metrosep C 4 (250 mm $\times$ 4,0 mm), utilizando uma soluço eluente de ácido oxálico di-hidratado a 2.7 mM, com vazão de 0,9 mL/min.

Classificação do gradiente de distúrbio antrópico

Para classificar as condições ambientais dos pontos avaliados foi utilizado um gradiente ambiental para classificação dos pontos amostrais em impactado, intermediário e com máximo potencial ecológico. Essa classificação foi baseada em um  ndice proposto por Ligeiro *et al.* (2013) denominado  ndice de Distúrbio Integrado (IDI), que integra outros dois índices de distúrbio em diferentes escalas espaciais: o  ndice de Distúrbio Local (LDI) e o  ndice de Distúrbio na Zona Tampão (BDI). O LDI quantifica a presença e a proximidade de distúrbios antrópicos no curso d'água e na zona litorânea, com base em onze observações, incluindo edificações, estradas, pavimentação, agricultura, pastagens, exploração madeireira e mineração (KAUFMANN *et al.*, 1999). O BDI estima o impacto potencial dos usos do solo em um raio de 500m no entorno de cada ponto, sendo calculado a partir do

mapeamento do uso do solo com imagens de satélite, através da seguinte fórmula modificada para uso em reservatórios de hidrelétricas (de MORAIS *et al.*, 2017), representada na Equação 1:

$$BDI = 4 \times (\% \text{ áreas residenciais}) + 2 \times (\% \text{ áreas agrícolas} + \% \text{ solo exposto})$$

$$(\% \text{ áreas de pastagem}) \quad (1)$$

O IDI, por sua vez, integra os efeitos locais e regionais em uma única métrica, calculada como a distância euclidiana entre os valores de LDI e BDI, com fatores de escala que garantem a contribuição balanceada de ambos os índices. Valores mais elevados de IDI indicam maiores níveis de distúrbio antrópico (LIGEIRO *et al.*, 2013), e é calculado através da Equação 2:

$$IDI = \left[\left(\frac{LDI}{5} \right)^2 + \left(\frac{BDI}{300} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

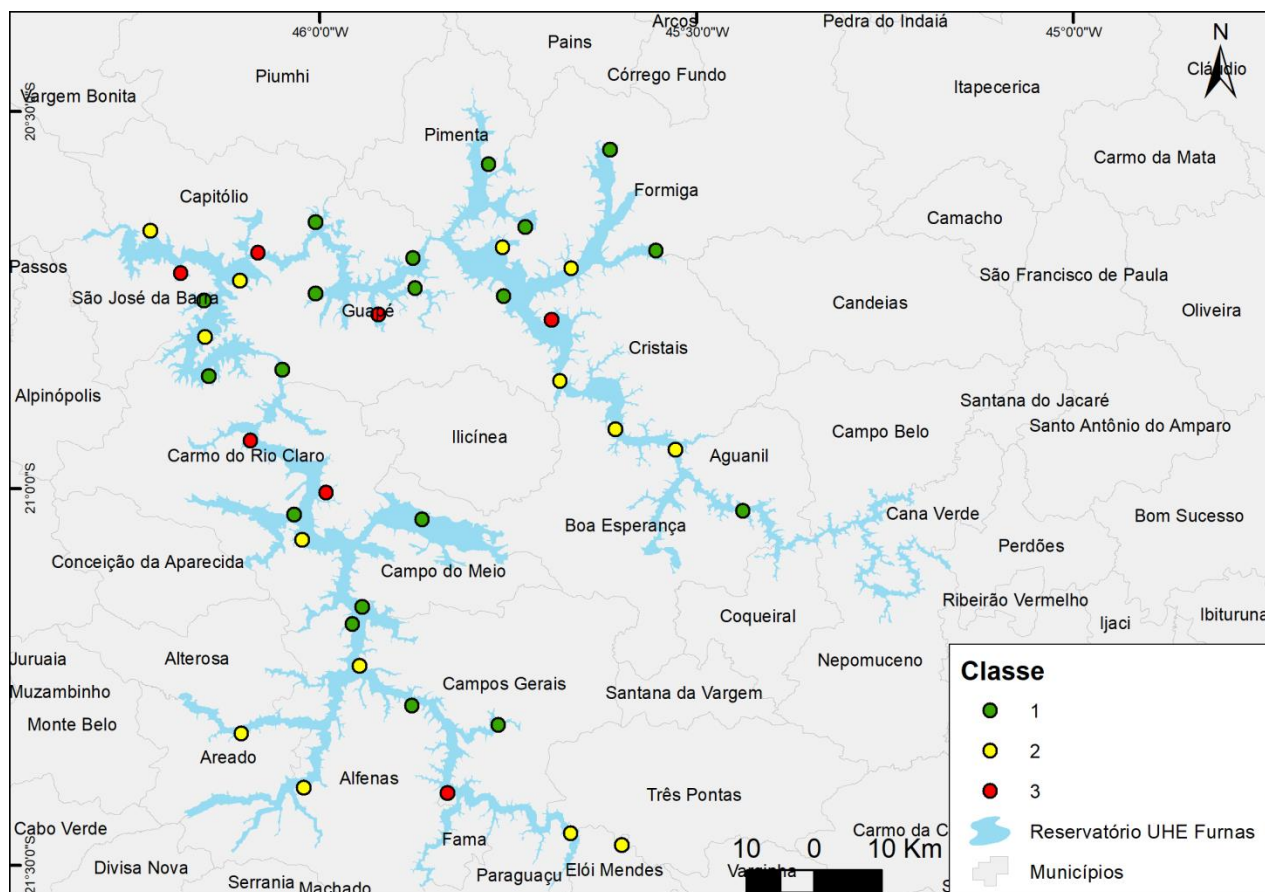
Análise de Dados

Foi realizada a classificação das águas superficiais do reservatório da UHE-Furnas com base nos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Adicionalmente, foi analisada a existência de diferenças estatisticamente significativas para cada parâmetro avaliado nos três tipos de ambientes — máximo potencial ecológico, intermediário ou impactado — por meio de análises de variância (ANOVA), ou do teste de Kruskal–Wallis, quando a distribuição dos dados não atendeu aos pressupostos de normalidade e estocasticidade (testes Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov e D’Agostino-Pearson). As análises estatísticas foram realizadas no software GraphPad Prism, versão 8.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação dos resultados obtidos com os limites de qualidade da água previstos pela Resolução Conama nº 357 de 2005 evidenciaram o enquadramento dos pontos amostrais no reservatório da UHE Furnas em: 19 pontos (47.5%) classificados como Classe 1, 14 pontos (35%) como Classe 2, representando águas de boa qualidade e que podem ser utilizadas para diferentes fins com baixo risco de

Figura 2: Classificação dos pontos amostrados.



O Reservatório da UHE Furnas é formado pelo represamento das águas dos rios Grande e Sapucaí e influencia diretamente as atividades socioeconômicas e ambientais de 35 municípios lindeiros. As atividades antrópicas relacionadas a atividades econômicas, agrícolas, urbanas e turísticas, resultaram em diferentes tipos de coberturas do solo, cujas contribuições afetam a qualidade da água e impactam o ecossistema (CASTRO *et al.*, 2025; MADUREIRA *et al.*, 2025).

Além da antropização da bacia, há ainda o despejo de esgotos domésticos não adequadamente tratados, que favorecem o enriquecimento com nutrientes e matéria orgânica, levando à eutrofização do reservatório (ESTEVES, 2011). Com

base nos resultados de avaliação de qualidade das águas, 5 pontos amostrais classificados como águas de classe 3 estão presentes em porções do braço do Rio Sapucaí que apresenta características de ecossistema mesotrófico (DELGADO, 1999; PINHEIRO, 2019).

A determinação de coliformes permitiu inferir sobre a contaminação por esgotos domésticos não tratados adequadamente que são lançados irregularmente nas águas do reservatório da UHE Furnas. Os elevados valores de *E. coli* em cinco pontos amostrais evidencia não conformidade ao limite estabelecido para águas Classe 2 (10^3 NMP/100mL, Tabela 1). Devido a este resultado, as prefeituras dos municípios lindeiros São José da Barra, Cristais, Carmo do Rio Claro, Fama e Guapé devem ser alertadas quanto ao risco de contato direto de pessoas que utilizam as águas do reservatório da UHE Furnas para atividades de recreação e turismo. Segundo a legislação vigente é permitido o uso dessas águas somente para abastecimento e consumo humano após tratamento convencional ou avançado, para a irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, pesca amadora, recreação de contato secundário ou a dessedentação de animais (BRASIL, 2005).

Tabela 1 – Valores Máximos, Mínimos e Médios de parâmetros avaliados nas águas do reservatório da UHE Furnas. Obs.: Temperatura (Temp.), Condutividade Elétrica (CE), pH, Oxigênio Dissolvido (OD), DBO, Turbidez (Turb.), *E. coli*, Alcalinidade Total (Alcalini.), Clorofila *a* (Chl *a*), Cor Verdadeira (Cor), Nitrogênio Total (NT), Fósforo Total (FT), Fluoreto (F⁻), Cloreto (Cl⁻), Nitrato (NO₃⁻), Nitrito (NO₂⁻), Sulfato (SO₄²⁻), Fosfato (PO₄³⁻), Lítio (Li⁺), Sódio (Na⁺), Potássio (K⁺), Cálcio (Ca²⁺), Magnésio (Mg²⁺) em três diferentes classes de distúrbio antrópico: Máximo Potencial Ecológico (MPE), Intermediário, e Impactado.

IDI	Temp.	Cond.	pH	OD	DBO	Turb.
MPE	26,2 — 29,2 27,7	31,8 — 85,5 47,6	5,9 — 7,8 6,9	6,4 — 8,7 7,5	0,3 — 5,1 2,3	1 — 28 8,3
Intermediário	24,6 — 29,2 27,2	31,3 — 75,5 49,4	6,3 — 7,8 7,2	5,5 — 8,7 7,3	0,1 — 4,7 1,9	1 — 22 9,7
Impactado	23,9 — 29,3 27,1	31,2 — 98,8 53,5	6,8 — 7,9 7,3	5,8 — 8,3 7,1	1,2 — 5,8 3,4	2 — 28 13,9
	<i>E. coli</i>	Alcalini.	Chl <i>a</i>	Cor	NT	FT
MPE	0 — 240 40	17,3 — 19,8 19,0	0,0 — 4,27 2,08	7,0 — 31,6 13,4	0,4 — 2,1 0,79	0,00 — 0,01 0,00
Intermediário	0 — 1920 408	15,8 — 22,2 19,2	0,0 — 5,34 2,83	5,1 — 27,8 13,8	0,3 — 1,4 0,69	0,00 — 0,01 0,00
Impactado	0 — 2480 688	17,1 — 22,7 19,0	0,0 — 3,2 2,03	4,1 — 36,4 13,8	0,3 — 1,5 0,68	0,00 — 0,03 0,00

	F^-	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	SO_3^{2-}	PO_4^{3-}
MPE	0,0 — 0,0 0,0	1,2 — 1,9 1,5	0,0 — 0,0 0,0	0,1 — 1,2 0,5	0,4 — 1,0 0,7	0,0 — 0,2 0,0
Intermediário	0,0 — 0,1 0,0	1,2 — 2,8 1,6	0,0 — 0,0 0,0	0,0 — 1,8 0,6	0,4 — 2,2 0,8	0,0 — 0,0 0,0
Impactado	0,0 — 0,1 0,0	1,2 — 1,9 1,5	0,0 — 0,0 0,0	0,0 — 1,8 0,6	0,5 — 0,9 0,7	0,0 — 0,1 0,0
	Li^+	Na	K^+	Ca^+	Mg^{+2}	
MPE	0,0 — 0,0 0,0	2,0 — 3,0 2,4	6,6 — 10,1 8,0	0,0 — 8,9 3,4	0,0 — 1,1 0,9	
Intermediário	0,0 — 0,0 0,0	1,9 — 2,9 2,4	6,3 — 11,5 8,3	0,0 — 31,4 6,9	0,0 — 1,5 0,8	
Impactado	0,0 — 0,0 0,0	2,1 — 2,8 2,4	6,3 — 9,9 7,8	0,1 — 22,5 8,2	0,0 — 1,1 0,8	

Fonte: Autores.

Os dados de monitoramentos históricos e avaliações limnológicas realizadas nas águas do reservatório da UHE Furnas no ano de 2023 indicaram elevadas concentrações de coliformes em determinados pontos do reservatório, possivelmente associadas ao lançamento de efluentes domésticos não adequadamente tratados pelos municípios lindeiros. A maioria das campanhas de amostragem do Programa de Monitoramento do Estado de Minas Gerais é realizada durante o período chuvoso, sugerindo que os altos valores de coliformes sejam relacionados ao maior carreamento de partículas contaminadas pelo escoamento superficial devido às chuvas, tendo em vista que na bacia encontram-se muitas áreas de pastagem, além de outras atividades antrópicas (IGAM, 2024).

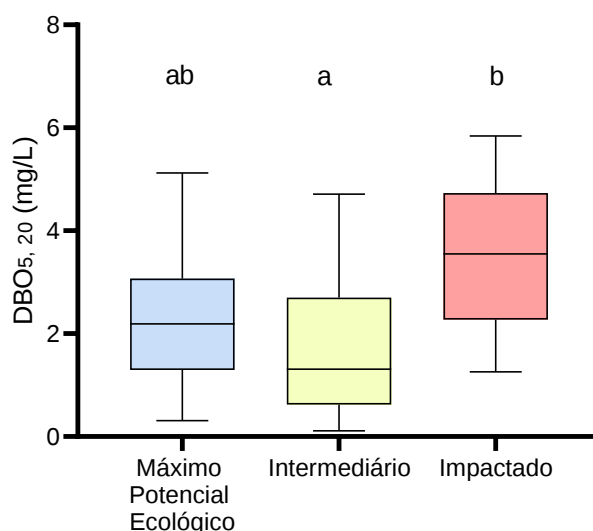
Os resultados da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) também evidenciaram não conformidade aos limites da legislação ambiental em três dos setes pontos, sendo, portanto, classificados como águas de classe 3. Estes pontos localizam-se próximos aos municípios lindeiros Carmo do Rio Claro e Guapé, onde foram registrados valores de DBO superiores a 5.00 mg/L O₂.

A DBO é um parâmetro fundamental na avaliação da qualidade da água, pois reflete o grau de poluição orgânica e a capacidade de autodepuração dos corpos hídricos (JOUANNEAU *et al.*, 2014). Trata-se de uma medida indireta das concentrações de matéria orgânica biodegradável, que uma vez elevadas aumentam o consumo de oxigênio dissolvido, podendo resultar em sua depleção. A redução dos níveis de oxigênio dissolvido compromete as atividades metabólicas dos

organismos aquáticos, promovendo desequilíbrios no ecossistema (von SPERLING, 2005). Valores elevados de DBO podem representar maior disponibilidade de alimento para algumas espécies, mas por outro lado, podem acarretar a redução de oxigênio dissolvido e, potencialmente, levando à mortandade de peixes (JOUANNEAU *et al.*, 2014).

Os valores de DBO diferiram significativamente ao longo do gradiente ambiental representado pelos valores do Índice de Distúrbio Integrado ($p = 0,018$, $gl = 2$, ANOVA, Figura 3). Os pontos em condição intermediária (média 1,9) apresentaram valores de DBO significativamente menores do que os pontos em condição impactada (média 3,4) (teste Tukey, $p = 0,013$). Em contrapartida, os pontos classificados como em Máximo Potencial Ecológico (média 2,3) não diferiram significativamente dos demais ($p > 0,05$, teste Tukey). Provavelmente os elevados valores de DBO estão relacionados ao aporte de matéria orgânica oriunda dos usos antrópicos e descargas de esgotos não tratados nas águas do reservatório da UHE Furnas.

Figura 3: Valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio nos pontos amostrais em diferentes níveis de distúrbio antrópico. Letras diferentes indicam diferenças entre grupos (teste Tukey, $p < 0,05$).



Fonte: Autores.

Os altos valores de DBO podem, provavelmente, também serem relacionados ao crescimento de atividades de pecuária, turismo sem responsabilidade ambiental e possivelmente, aumento da piscicultura em tanques-rede para cultivo de tilápia. A

instalação de tanques-rede para a produção aquícola em reservatórios é apresentada como uma excelente oportunidade de crescimento socioeconômico para a população ribeirinha, mas que apresenta grande preocupação ambiental, em especial ao risco aumentado de eutrofização, escape de peixes e introdução de espécies exóticas (CARVALHO, RAMOS, 2010; ATTAYDE, PANOSSO, 2018; MADUREIRA *et al.*, 2025).

Os resultados dos demais parâmetros avaliados apresentaram-se em conformidade com a legislação brasileira e não houve diferença independente do nível de distúrbio antrópico ($p > 0,05$). A maioria dos pontos amostrais tiveram qualidade de água entre as classes 1 e 2 reforçando a importância da conservação ambiental e do monitoramento contínuo da qualidade das águas do reservatório da UHE Furnas. É recomendável que as prefeituras, órgãos de fiscalização e diferentes setores econômicos continuem monitorando a qualidade das águas na região litorânea do reservatório buscando uma gestão ainda mais sustentável dos recursos hídricos na bacia da UHE Furnas.

CONCLUSÕES

Os valores dos parâmetros de qualidade de água mensurados na região litorânea do reservatório da UHE Furnas evidenciaram que na maioria do perímetro do ecossistema a qualidade da água está de acordo com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005. No entanto, os resultados encontrados nas águas do reservatório próximo aos municípios de São José da Barra, Cristais, Carmo do Rio Claro, Fama e Guapé evidenciaram não conformidade e potencial contaminação por atividades antrópicas.

É recomendável que sejam investidos recursos para: (i) monitorar continuamente a qualidade das águas nos 35 municípios lindeiros; (ii) sejam coletados e tratados os esgotos domésticos antes de serem lançados nas águas do reservatório; (iii) sejam avaliados continuamente indicadores físicos, químicos, microbiológicos e biológicos conforme a Resolução CONAMA 357/2005 e (iv) sejam divulgados os resultados de monitoramento de qualidade da água à população que utiliza as águas do reservatório sobre sua qualidade e riscos de contaminação.

AGRADECIMENTOS

Este TCC foi desenvolvido no âmbito do Projeto de Pesquisa e Inovação IBI UHE FURNAS & UFMG, desenvolvido, coordenado e gerenciado pela UFMG, financiado pela Axia Energia. As campanhas de campo foram realizadas com base na licença de coleta emitida pelo SISBIO (nº 10.635-7). MC foi Professor Residente do Instituto de Estudos Avançados Transdisciplinares (IEAT/UFMG) e recebeu bolsa de produtividade em pesquisa do CNPq (PQ-304060/2020-8). Agradecemos aos colegas do Laboratório de Ecologia de Bentos do ICB, ao professor Getúlio Fonseca do Departamento de Cartografia pelo auxílio na confecção dos mapas e ao Fernando César do Laboratório de Geomorfologia e Recursos Hídricos do IGC/UFMG pelo auxílio no processamento das amostras.

REFERÊNCIAS

- ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: informe anual 2024. Brasília, 2024. 154 p., il. Disponível em: <https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/acervo/detalhe/106160> Acesso em: 12 dez. 2025.
- ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) **PIRH - Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Grande**: resumo executivo, 2018. Disponível em <http://biblioteca.ana.gov.br/index.asp?codigo_sophia=74232> Acesso em 12 nov. 2025.
- AMINOT, A.; REY, F. Chlorophyll a: Determination by spectroscopic methods. In: International Council for the Exploration of the Sea (ICES), 30, 2001, Copenhagen: Techniques in Marine Environmental Sciences, 2001.
- APHA—American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23 Ed, American public health association/American water works association/water environment federation. Washington, DC, 2017.

- ARAÚJO P. L. *et al.* Relação entre a qualidade da água e o uso do solo em microbacias do reservatório Billings, na Região Metropolitana de São Paulo - SP. **Revista de Gestão de Água da América Latina**. v. 15. 2018.
- ATTAYDE, J. L.; PANOSSO, R. Capacidade de Suporte de Oito Açudes do Rio Grande do Norte Para a Piscicultura Intensiva Em Tanques-Rede. **Associação Brasileira de Recursos Hídricos**. 2018
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Seção 1, Brasília, DF, p. 53. 2005.
- CALLISTO, M. *et al.* **Bases Conceituais Para Conservação e Manejo de Bacias Hidrográficas**. 1 ed. Belo Horizonte, Cemig. Série Peixe Vivo 7, 2019.
- CARVALHO, E. D.; RAMOS, I. P. A aquicultura em grandes represas brasileiras: interfaces ambientais, socioeconômicas e sustentabilidade. **Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia**. v. 38. p. 49-57. 2010
- CASTRO, D. M. P. *et al.* Anthropogenic pressures reduce aquatic macroinvertebrate diversity through decreased physical habitat heterogeneity. **Water Biology and Security**. 2025.
- DELGADO, D. P. C. **Variação sazonal e espacial da comunidade fitoplânctonica do Reservatório de Furnas, município de Guapé (MG)**. 1999. Dissertação (Mestrado em Ecologia). ICB, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999.
- CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo); ANA (Agência Nacional de Águas) **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**, 2011. . Disponível em <<https://repositorio.cetesb.sp.gov.br/items/8a791941-ad42-462f-98e1-e0ff6c733e9d/full>> Acesso em 05 set. 2025.
- de MORAIS L. *et al.* Assessment of disturbance at three spatial scales in two large tropical reservoirs. **Journal of Limnology**. v. 76, 2017.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3.Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

- GIANI, A., *et al.* Ciclo sazonal de parâmetros físico-químicos da água e distribuição horizontal de nitrogênio e fósforo no Reservatório da Pampulha (Belo Horizonte, MG, Brasil). **Ciência e Cultura**. v. 40, n.1, p. 69–77. 1988.
- GUIDOLINI, J.F. *et al.* Legal basis for water resources management in Brazil: case study of the Rio Grande basin. **International Journal of Energy and Environmental Engineering**. v.12. p. 268–274, 2018.
- IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas). **Avaliação da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2023**: resumo executivo anual / Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Belo Horizonte: IGAM, 244 p. 2024
- JOUANNEAU, S. *et al.* Methods for assessing biochemical oxygen demand (BOD): a review. **Water Research**. v. 49. p. 62–82. 2014
- KAUFMANN, P.R. *et al.* Lakeshore and littoral physical habitat structure in a national lakes assessment. **Lake and Reservoir Management**, v. 30. p. 192–215, 2014.
- LIGEIRO R. *et al.* Defining quantitative stream disturbance gradients and the additive role of habitat variation to explain macroinvertebrate taxa richness. **Ecological Indicators**, v. 25. p. 45–57, 2013.
- MACEDO, D.R. *et al.* Sampling site selection, land use and cover, field reconnaissance, and sampling. In: CALLISTO, M., *et al.* (Eds.). **Ecological conditions in hydropower Basins**. Belo Horizonte: Série Peixe Vivo 3 Companhia Energética de Minas Gerais, 2014. p 61–83.
- MADUREIRA, K. H.; LINARES, M. S.; CALLISTO, M. Influence of local environmental factors on the distribution of the invasive species *Macrobrachium pantanalense* dos Santos, Hayd and Anger, 2013 in a large hydropower reservoir. **Biological Invasions**, v. 27. nº 124, 2025.
- MARTINS, I. *et al.* Avaliação Ecológica de um reservatório no sudeste do Brasil. **Biota Neotropica**. v.15. p. 1– 10. 2015.
- MENSAH, J.H.R. *et al.* Energy and economic study of using pumped hydropower storage with renewable resources to recover the Furnas reservoir. **Renew Energy**. v. 199. p. 320–334., 2022.
- ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) **Plano de Operação Energética**, 2023. Disponível em

<https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/ONS_PEN_2021_VF.pdf> Acesso em 20 nov. 2025.

- PINHEIRO, P. L. **Uso do solo e suas relações com a qualidade da água em locais de implantação de parques aquícolas no reservatório de Furnas (MG)**. 2019. Dissertação (Mestrado em Geografia). Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de São João del Rei, 2019
- QUEIROZ, R. *et al.* **Zoneamento agroclimático do Estado de Minas Gerais**. Viçosa: Viçosa Editora, 1980.
- SOUZA, C. M. *et al.* Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with landsat archive and earth engine. **Remote Sensing**. v. 12, n. 17. 2020.
- von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte. Editora SEGRAC. 3 ed. 452 p. 2005