

UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO PARA ANÁLISE DO GRAU DE TROFIA DO PARQUE AQUÍCOLA SUCUPIRA (LAGO DE PALMAS, TO) NA ESTAÇÃO SECA

Clauber **ROSANOVA**¹; Vailton Alves de **FARIA**²; Flávia Tavares **MATOS**³; Emílio Sousa **PINHO**⁴;
Alberto **AKAMA**⁵; Daniela Barbosa de **MACEDO**⁶

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - IFTO, Campus Palmas. Doutorando no Programa de Doutorado em Ciências do Ambiente da UFT. Endereço: AE 310 Sul, Avenida LO 05, s/n, Plano Diretor Sul, CEP: 77.021-090, Palmas, TO, Brasil. Autor Para Correspondência: E-mail: clauber@ifto.edu.br

²Universidade Federal do Tocantins – UFT, *Campus* Palmas, Mestre. Doutorando no Programa de Doutorado em Ciências do Ambiente da UFT. Endereço: Av. NS 15, ALCNO, 14, 109 Norte, CP 114, CEP 77001-090, Palmas, TO, Brasil.

³Embrapa Pesca e Aquicultura do Tocantins, Palmas, Tocantins, Brasil. Doutora. Prolongamento da Avenida NS 10, cruzamento com a Avenida LO 18, sentido Norte, s/n - Loteamento Água Fria, CEP 77008-900, Palmas, TO, Brasil.

⁴Faculdade Católica do Tocantins, Palmas, Tocantins. Graduado pelo Curso Superior em Gestão Ambiental. Endereço: Rodovia TO-050, Lote 7, s/n - Loteamento Coqueirinho, CEP 77000-000, Palmas, TO, Brasil.

⁵Universidade Federal do Tocantins – UFT, *Campus* Palmas, Doutor. Endereço: Av. NS 15, ALCNO, 14, 109 Norte, CP 114, CEP 77001-090, Palmas, TO, Brasil.

⁶Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - IFTO, Campus Palmas. Graduada pelo Curso Superior Tecnológico em Agronegócio. Endereço: AE 310 Sul, Avenida LO 05, s/n, Plano Diretor Sul, CEP: 77.021-090, Palmas, TO, Brasil.

<http://doi.org/10.29327/ouricuri.v8.i1.a3>

Resumo: A aquicultura é a atividade que mais cresce dentre os setores de produção de alimentos, porém, sua prática pode causar impactos ambientais no ambiente aquático, caso não haja um plano de monitoramento eficiente. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o grau de trofia do ambiente utilizando o Índice de Estado Trófico (IET) em uma atividade aquícola de sistema de produção em tanques-rede no reservatório do Lajeado, Palmas, Tocantins na estação seca do ano. O monitoramento foi realizado no período de maio a agosto de 2017 e envolveu a coleta de amostras para análises dos seguintes parâmetros de qualidade de água: fósforo total e clorofila-a. Paralelamente, houve a realização de coleta de dados de temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido, condutividade, pH e sólidos totais dissolvidos *in loco*. Os resultados do cálculo do Índice de Estado Trófico (IET) mostraram que a área em estudo durante os meses de maio e agosto apresentou-se predominantemente em grau supereutrófico. O que indica que o estado trófico do lago nas proximidades da área aquícola sofre forte influência de atividades antrópicas externas. Assim, os efeitos desta atividade a médio e longo prazo são difíceis de serem previstos, havendo a necessidade constante do monitoramento e controle da qualidade da água.

Palavras-chave: Aquicultura; Eutrofização; Impacto Ambiental; Poluição; Tanque Rede.

USE OF THE TROPIC STATUS INDEX FOR ANALYSIS OF THE TROPHY DEGREE OF SUCUPIRA AQUACULTURE PARK (LAKE OF PALMAS, TO) IN THE DRY SEASON

Abstract: Aquaculture is the fastest growing activity among food production sectors, however, its practice can cause environmental impacts, in case if a monitoring plan is not applied. The objective of the present study was to evaluate the trophic environment status using the Trophic State Index (TSI) in an aquaculture activity in a netcage system in the Lajeado reservoir, Palmas, Tocantins during the dry season. The monitoring was carried out from May/2017 to August/2017 and involved the water sampling for analysis of the following water quality parameters: total phosphorus and chlorophyll-a. At the same time, data were collected on temperature, turbidity, dissolved oxygen, conductivity, pH and total dissolved solids in loco. The Trophic State Index (TSI) results showed that the area under study during the months of May and August was predominantly under a supereutrophic condition. It indicates that the lake trophic state in the aquaculture surrounding area is strongly influenced by external anthropogenic activities. Thus, the effects of this activity in the medium and long term are difficult to predict, so it's necessary to monitor and control the water quality.

Keywords: Aquaculture; Eutrophication; Environmental Impact; Pollution; Net Cage.

UTILIZACIÓN DEL ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO PARA ANÁLISIS DEL GRADO DE TROFÍA DEL PARQUE ACUÍCOLA SUCUPIRA (LAGO DE PALMAS, TO) EN LA ESTACIÓN SECA

Resumen: La acuicultura es la actividad que más crece entre los sectores de producción de alimentos, pero su práctica puede causar impactos ambientales en el ambiente acuático, si no hay un plan de monitoreo eficiente. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el grado de trofia del ambiente utilizando el Índice de Estado Trófico (IET) en una actividad acuícola de sistema de producción en tanques-red en el embalse del Lajeado, Palmas, Tocantins en la estación seca del año. El monitoreo fue realizado en el período de mayo / 2017 a agosto / 2017 e involucró la recolección de muestras para análisis de los siguientes parámetros de calidad de agua: fósforo total y clorofila-a. Paralelamente, hubo la realización de recolección de datos de temperatura, turbidez, oxígeno disuelto, conductividad, pH y sólidos totales disueltos in situ. Los resultados del cálculo del Índice de Estado Trófico (IET) mostraron que el área en estudio durante los meses de mayo y agosto se presentó predominantemente en grado supereutrófico. Todo indica que el estado trófico del lago en las proximidades del área acuícola sufre fuerte influencia de actividades antrópicas externas. Así, los efectos de esta actividad a medio y largo plazo son difíciles de predecir, habiendo la necesidad constante del monitoreo y control de la calidad del agua.

Palabras-chave: Acuicultura; Eutrofización; Impacto ambiental; Contaminación; Tanque de red.

INTRODUÇÃO

A grande disponibilidade de áreas cobertas de água em reservatórios de usinas hidrelétricas faz do estado do Tocantins um grande potencial para produção de pescado em tanques-rede. A implantação das áreas aquícolas no reservatório do Lajeado que ocorreu no ano de 2015 é resultado de ações do Ministério de Pesca e Aquicultura, juntamente com Agência Nacional de Águas (ANA), Marinha do Brasil e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). No contexto geral da produção de peixes de modo racional e responsável são necessárias técnicas de monitoramento ambiental para o acompanhamento da qualidade da água no decorrer da linha de cultivo. O monitoramento

ambiental de sistemas aquáticos é uma ótima ferramenta para subsidiar tomadas de decisões e previsão de impactos (ALCÂNTARA et al., 2013).

A produção de peixes em tanques-rede embora seja uma tecnologia com grande capacidade de produção, baixo investimento e de fácil instalação (ONO e KUBITZA, 2003), traz preocupações ambientais em relação ao modo de produção. A excreção de fezes dos peixes e o acúmulo de ração é um dos principais problemas. O acúmulo de nutrientes derivados de nitrogênio e fósforo é causador de várias alterações nos parâmetros da qualidade da água (BUENO et al., 2008).

O aumento de nutrientes à base de fósforo e nitrogênio em ecossistemas aquáticos é considerado processo dinâmico de eutrofização com grandes prejuízos ao ambiente natural (ESTEVES, 1998). A eutrofização artificial causa grandes perdas à qualidade da água a partir de ações antrópicas, como a irrigação e a descarga de efluente doméstico. Geralmente está eutrofização leva ao aumento de algas, muitas delas produtoras de citotoxinas (BARBOSA et al., 2006). De acordo com Smith e Schindler (2009), Tundisi e Tundisi (2008) e Esteves (1998), o processo de eutrofização leva a alteração nas condições de qualidade de água, sabor, odor, turbidez, redução de oxigênio dissolvido e alteração da biodiversidade aquática.

Na tentativa de se monitorar ambientes aquáticos, torna-se importante o conhecimento das condições de trofia destes corpos hídricos, a partir de limites calculados por indicadores correlacionados ao favorecimento da eutrofização, por exemplo, o cálculo do Índice de Estado Trófico (IET) (CETESB, 2009a).

De acordo com a CETESB (2009a), o indicador de estado trófico tem por finalidade classificar os corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas. O estado trófico de um corpo de água pode ser classificado como oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico, de acordo com a classificação do estado trófico dos cursos d'água continentais utilizado pela CETESB para identificar o grau de poluição ou a condição ambiental da região.

Nesse contexto, o objetivo desse estudo foi avaliar o grau de trofia do ambiente em uma atividade aquícola de sistema de produção em tanques-rede, localizado no reservatório de Lajeado, Palmas – TO, especificamente no Parque Aquícola Sucupira, na estação seca do ano, utilizando-se como parâmetro o Índice de Estado Trófico de Lamparelli (2004).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

A região de estudo delimitada neste trabalho foi a área de influência de produção de pescado em tanques-rede do Parque Aquícola Sucupira, localizada no reservatório do Lajeado a

15 km da cidade de Palmas, Tocantins, tendo as coordenadas geográficas dos pontos amostrais demonstradas na Tabela 1 e coordenadas geográficas latitude -10,0857 e longitude -48,3668 em SIRGAS 2000, conforme a Figura 1. O reservatório do Lajeado ocupa uma área de 630 Km² de lâmina de água, representando 0,23% da área do estado do Tocantins, sendo construído basicamente para geração energética em 2001, com uma produção aproximada de 902,5 MW por dia. Além disso, há outros usos, como: abastecimento, irrigação, aquicultura, navegação, lazer entre outros.

Tabela 1. Coordenadas geográficas dos pontos de amostragens, reservatório de Lajeado, Palmas, Tocantins, Brasil.

| Ponto | Longitude | Latitude |
|-------|------------|------------|
| A1 | -10,086566 | -48,373270 |
| A2 | -10,086566 | -48,371020 |
| A3 | -10,086566 | -48,368770 |
| A4 | -10,088816 | -48,373270 |
| A5 | -10,088816 | -48,371020 |
| A6 | -10,088816 | -48,368770 |
| A7 | -10,091066 | -48,373270 |
| A8 | -10,091066 | -48,371020 |
| A9 | -10,091066 | -48,368770 |
| A10 | -10,094148 | -48,372102 |

Fonte os autores.

Coleta de Dados

As coletas de água foram realizadas em nove pontos equidistantes, abrangendo toda área de produção de pescado nos tanques-rede, e um ponto de coleta que se encontra fora da área de produção como forma de controle. Foram feitas quatro campanhas entre maio e agosto de 2017 uma a cada mês, no intuito de se determinar as concentrações de fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) e clorofila-a ($\mu\text{g L}^{-1}$), para os cálculos dos Índice de Estado Trófico segundo Lamparelli (2004).

As coletas de água foram feitas na lâmina superficial (30 cm), com auxílio da garrafa de Van Dorn, a água coletada foi armazenada em frascos de polietileno de 1 L e mantidas refrigeradas a 4 °C e protegidas da luz. Posteriormente, as amostras foram transportadas para o laboratório de Saneamento Ambiental, do Instituto Federal do Tocantins para análise (fósforo total e clorofila-a). Parâmetros como temperatura (°C), pH, condutividade (mS cm^{-1}), oxigênio dissolvido (mg L^{-1}), sólidos totais (mg L^{-1}) e turbidez (NTU) foram analisados *in loco* mediante o uso de medidor multiparâmetros Horiba U-52G.

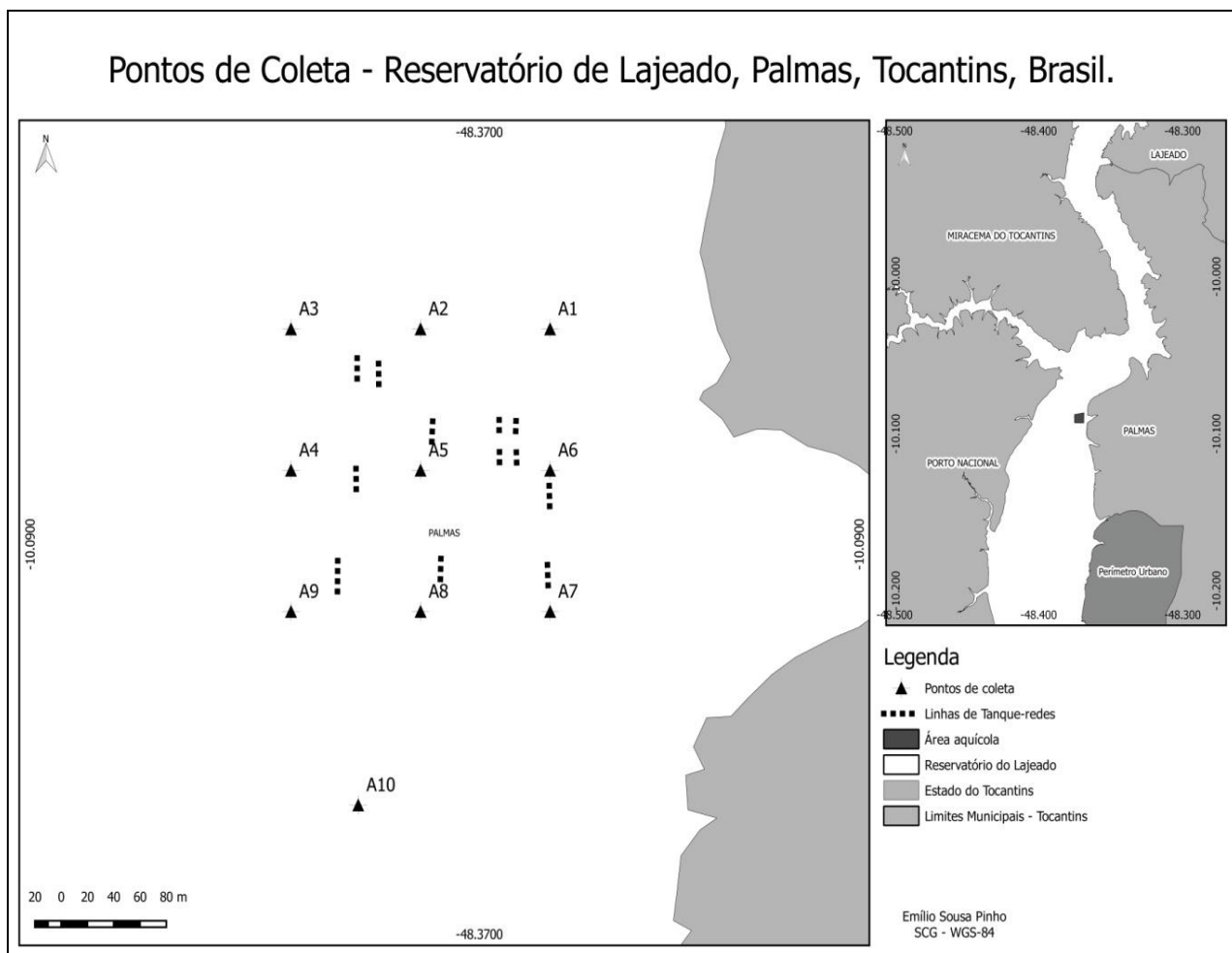


Figura 1. Pontos de coleta (A1 a A10) com as coordenadas em WGS-84; monitoramento da área aquícola, reservatório de Lajeado, Palmas - TO e coordenadas geográficas dos pontos de amostragem. Fonte: Os autores.

Análises de Qualidade de Água

Determinação da concentração de clorofila-a

A determinação de clorofila-a foi obtida por filtração de 0,5 L de amostra em membranas de fibra de vidro de 0,45 µm. A extração das clorofilas foi feita por meio de choque térmico com acetona a 90% e a maceração de cada amostra. Posteriormente, foram centrifugadas à 4000 rpm por 10 minutos e armazenadas em ambientes refrigerado a 4 °C por 24 horas para posterior análise. A leitura do sobrenadante foi feita com o auxílio de um espectrofotômetro em comprimento de onda 664, 665 e 750 nm de acordo Standard Methods (APHA, 1998). Os valores das concentrações de clorofila-a foram obtidos por meio da seguinte equação 1:

$$Cla \left(\frac{mg}{m^3} \right) = \frac{26,7 \times [644_b - 665_a] \times V1}{V2 \times L} \quad (1)$$

Onde:

664_b: subtração da absorvância obtida em $\lambda = 664nm$ e $\lambda = 750nm$

665_a: subtração da absorvância obtida em $\lambda = 665nm$ e $\lambda = 750nm$ (densidade óptica após a acidificação);

V1: Volume do extrato de acetona (mL);

V2: Volume filtrado da amostra (Litros);

L: Caminho ótico da cubeta.

Determinação da concentração de fósforo total

A quantificação de fósforo total foi feita por meio de dois métodos: primeiro, digestão alcalina utilizando 0,210 mg L⁻¹ de persulfato de potássio 0,210 mg L⁻¹ em autoclave à 125 °C por 25 minutos para determinação de todas as formas de fósforos presentes. Posteriormente, foi realizada a quantificação do fósforo total a partir do método do ácido ascórbico com concentração 17,6 g L⁻¹. As leituras das amostras foram feitas em espectrofotômetro a um comprimento de onda de 880 nm. A determinação da concentração de fósforo total foi realizada por meio de curva de calibração, obtida pela correlação de concentrações padrões e os resultados de leituras, na qual, o resultado da equação da reta terá uma soma dos quadrados o mais próximo de R²=1, obtida na curva de calibração para fósforo total (MURPHY e RILEY, 1962; APHA, 1998).

Índice de estado trófico (IET)

O IET foi calculado com base na média aritmética da concentração das variáveis, clorofila-a e fósforo total, analisadas nos 10 pontos amostrais.

Conforme Alves et al. (2012), o Índice do Estado Trófico (IET) é composto por dois outros Índices: Índice de Estado Trófico para o Fósforo e o Índice de Estado Trófico para a clorofila-a, usados por Lamparelli (2004), sendo estabelecidos para ambientes idênticos.

Para a determinação do IET, conforme Lamparelli (2004) utilizam-se as seguintes equações:

$$IET_L(Cla) = 10 \times \left(6 - \left(\frac{0,92 - 0,34(\ln(Cla))}{\ln 2} \right) \right) \quad (2)$$

$$IET_L(PT) = 10 \times \left(6 - \left(\frac{1,77 - 0,42(\ln(PT))}{\ln 2} \right) \right) \quad (3)$$

$$IET_L = \frac{IET(PT) + IET(Cla)}{2} \quad (4)$$

Onde:

IET_L : Índice de Estado Trófico por Lamparelli (2004);

PT: concentração de fósforo total medida na superfície da água, em $\mu\text{g L}^{-1}$

CL: concentração de clorofila total medida na superfície da água, em $\mu\text{g L}^{-1}$

Ln: logaritmo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Localizado em uma região de clima tropical, o reservatório do Lajeado está sujeito a mudanças em função do regime pluviométrico. Desta forma, a região do reservatório define-se em duas fases climáticas bem distintas: entres os meses de outubro a março há o regime de chuvas e entres os meses de maio a setembro há restrições de chuvas, de acordo com os dados climatológicos apresentados pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) onde a normal climatológica e precipitação média em milímetros (mm) entre janeiro e agosto de 2017 na cidade de Palmas (TO) foi de 115 mm, com máxima de 240 mm em janeiro e 0 (zero) mm nos meses de junho, julho e agosto, respectivamente.

Os gráficos representados na Figura 2 apresentam os resultados dos parâmetros de Turbidez (NTU), Oxigênio Dissolvido (mg L^{-1}), Sólidos Totais Dissolvidos (g L^{-1}), Temperatura $^{\circ}\text{C}$, pH e Condutividade (mS cm), durante os meses de maio e agosto de 2017.

Os parâmetros de temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido, condutividade, pH e sólidos totais dissolvidos apresentam valores médias de $29,62 \pm 0,95$ $^{\circ}\text{C}$, $6,11 \pm 2,23$ NTU, $6,37 \pm 1,93$ mg L^{-1} , $0,074 \pm 0,01$ mS cm , $7,17 \pm 0,33$ e $0,039 \pm 0,002$ g L^{-1} , respectivamente, entre os meses de maio e agosto (Figura 2). A partir desses parâmetros pode-se afirmar que não houve mudanças significativas durante o monitoramento que pudessem representar alguma alteração da condição do meio aquático, conforme Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005).

A temperatura da água é fator controlador das atividades metabólicas dos organismos aquáticos que não suportam variações bruscas dessa variável (PÁDUA 1996). No período estudado, a temperatura média da água foi de $29,62 \pm 0,95$ $^{\circ}\text{C}$, o que favoreceu o desenvolvimento e desempenho de peixes tropicais via aceleração do metabolismo com conseqüente aumento da ingestão de alimentos (PEZZATO et al., 2004). De acordo com Kubitzka (2004) temperaturas da água entre 27 a 30 $^{\circ}\text{C}$ correspondem a valores ótimos para o cultivo de peixes. Segundo Marques

(2006) no reservatório da Usina Hidrelétrica do Lajeado ocorrem variações de temperaturas entre 25 e 31,7 °C.

A condutividade elétrica na área de produção de pescado apresentou valores médios de $0,07 \pm 0,01$ mS/cm, resultados semelhantes aos observados por Peixoto (2007) em estudos na UHE Lajeado. A Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) não determina limites de tolerância específicos para cada parâmetro, porém, a CETESB (2009b) aponta, que valores para condutividade elétrica acima de 0,100 mS/cm, indicam a possibilidade de entrada de esgoto no ambiente.

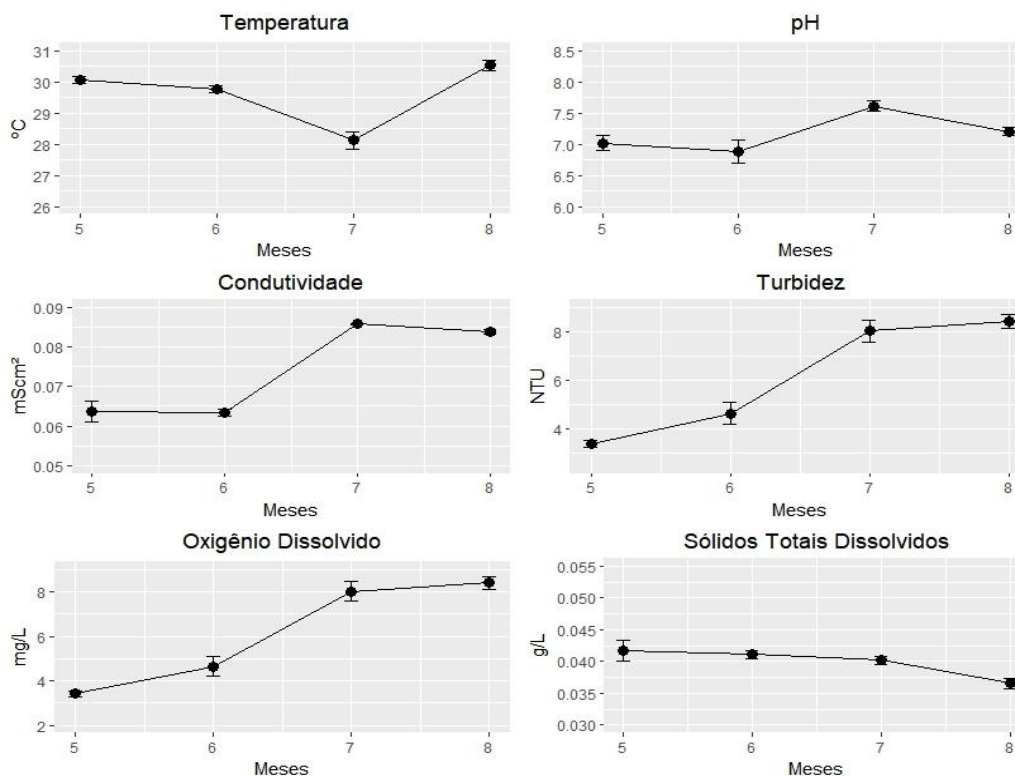


Figura 2. (a) Resultados dos parâmetros de temperatura: (a) turbidez; (b) Oxigênio Dissolvido-OD; (c) Condutividade; (d) pH e Sólidos Totais Dissolvidos-TDS; e (g) obtidos na área de produção de pescado Sucupira, no reservatório de Lajeado, Palmas, Tocantins, (n=9). Fonte: Os autores.

Os parâmetros de pH e turbidez apresentaram resultados no intervalo dos limites exigidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, da Resolução de N° 357/05, pH 6,0-9,0 e turbidez menor e igual a 100 NTU, na classificação de corpos d'água, classe 2. Peixoto (2007), observou em estudos realizados na UHE Lajeado valores de pH na faixa de 7,6 variando de ligeiramente alcalino a neutro, o que segundo Vinatea-Arana (1997) pode ser considerado com a faixa de pH adequada para produção de pescado, variando de 6,5 a 9,0 e que, valores de 4,0 e 11,0 (ácido e básico) são letais para vida aquática.

Os valores de oxigênio dissolvido e sólidos totais dissolvidos (STD) em alguns pontos apresentaram resultados fora do limite da Resolução, conforme o enquadramento de classe 2:

oxigênio dissolvido menor ou igual a $5 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$, nos meses de maio e junho apresentaram valores abaixo da legislação em grande parte dos pontos de coleta no decorrer do monitoramento. Embora um pouco acima dos parâmetros do CONAMA, estes parâmetros não sugerem indícios de alteração na qualidade da água.

Peixoto (2007) e Marques (2006) em estudos na UHE Lajeado observaram valores diferentes de oxigênio dissolvido para a estação seca, com concentração desse gás variando entre $6,74$ e $8,60 \text{ mg L}^{-1}$. De acordo com Prado (1999), a concentração de oxigênio dissolvido em um corpo hídrico pode ser usada para a determinação da qualidade da água. Quanto mais reduzida for a concentração de oxigênio dissolvido, mais poluído o curso d'água se encontra, influenciando diretamente na biodiversidade aquática. Os valores abaixo ($4,25 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$) do limite tolerado da concentração de oxigênio dissolvido no reservatório de Lajeado podem estar relacionados ao consumo de oxigênio pela degradação da quantidade excessiva de matéria orgânica ou possuir forte influência dos processos climáticos.

A concentração de clorofila-a nos pontos de amostragens coletados permaneceram dentro do valor tolerado pela Resolução do CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005), concentração de clorofila-a inferiores a $30 \mu\text{g Cl-aL}^{-1}$, para corpo hídrico enquadrado na classe 2 (Tabela 1). O trabalho de Marques (2006) apontou médias próximas a $5,5 \mu\text{g Cl-aL}^{-1}$ no período das chuvas na UHE Lajeado. Enquanto, Reis Pereira (2002) observou concentrações de $12,78 \mu\text{g Cl-aL}^{-1}$ na fase de enchimento do reservatório.

Os níveis médios de concentração de fósforo total encontrados durante o monitoramento apresentaram valores acima do permitido de acordo com a Resolução 357/05 (BRASIL, 2005) (Tabela 1), para ambientes lênticos de água doce, classe 2 ($0,030 \text{ mg PL}^{-1}$). Neste caso, a concentração do fósforo pode ter sido influenciada tanto pela atividade da piscicultura, como por atividades antrópicas externas, dificultando diferenciar o principal contribuinte de fósforo no sistema. O fósforo está diretamente ligado à produtividade da condição de um reservatório e tem sido apontado como o principal responsável pela eutrofização artificial (ESTEVES, 1998; BUZELLI e SANTINO, 2013). Peixoto (2007) calculou a concentração máxima de fósforo afluente admissível por ano para manter o ambiente do reservatório da UHE Lajeado mesotrófico e concluiu que haveria necessidade de reduzir a carga afluente de fósforo de $31.225 \text{ kg P ano}^{-1}$ para $3.148 \text{ kg P ano}^{-1}$, ou seja, uma redução de $28,07 \text{ kg P ano}^{-1}$.

Na Tabela 1, são apresentados os valores utilizados para o cálculo do IET, Número de repetições (N), média e Desvio Padrão (Desv Pad) nas concentrações de Clorofila-a ($\mu\text{g L}^{-1}$) e fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) da área de estudo, entre os meses de maio a agosto de 2017.

A partir desses dados, foram calculados os Índices de Estado Trófico segundo Lamparelli, (2004), considerando os parâmetros de clorofila-a e fósforo total. A Tabela 2 apresenta os resultados da média dos índices de estados tróficos de clorofila-a e fósforo total e o grau do trofia

do ambiente a partir dos valores aproximados de todos os pontos de amostragens no período de maio a agosto de 2017.

Tabela 1. Número de repetições (N), média e Desvio Padrão (Desv Pad) nas concentrações de Clorofila-a ($\mu\text{g L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) da área de estudo, entre os meses de janeiro a abril de 2017.

| Meses | N | Média | Mediana | Mín | Máx | Desv Pad |
|--|---|-------|---------|-------|-------|----------|
| Maio | | | | | | |
| Clorofila-a ($\mu\text{g L}^{-1}$) | 9 | 9,42 | 10,1 | 0 | 13 | 3,964 |
| Fósforo Total ($\mu\text{g L}^{-1}$) | 9 | 0,358 | 0,35 | 0,29 | 0,5 | 0,0714 |
| Junho | | | | | | |
| Clorofila-a ($\mu\text{g L}^{-1}$) | 9 | 4,91 | 4,6 | 4 | 7,1 | 0,886 |
| Fósforo Total ($\mu\text{g L}^{-1}$) | 9 | 0,103 | 0,1 | 0,092 | 0,121 | 0,011 |
| Julho | | | | | | |
| Clorofila-a ($\mu\text{g L}^{-1}$) | 9 | 2,6 | 2,3 | 1,8 | 4,1 | 0,81 |
| Fósforo Total ($\mu\text{g L}^{-1}$) | 9 | 0,41 | 0,391 | 0,32 | 0,48 | 0,058 |
| Agosto | | | | | | |
| Clorofila-a ($\mu\text{g L}^{-1}$) | 9 | 9,71 | 9,3 | 8 | 12 | 1,389 |
| Fósforo Total ($\mu\text{g L}^{-1}$) | 9 | 0,35 | 0,36 | 0,2 | 0,41 | 0,062 |

Fonte: Os autores.

Com os índices calculados, foram elaboradas imagens produzidas pelo *software Quantum Gis 2.18*, a partir da técnica de interpolação de pontos IDW (Inverse Distance Weighting). A Figura 3 demonstra o perfil do grau de trofia durante os meses amostrados.

Nos meses de maio e junho, quando apresentaram índices de precipitação abaixo de 20 mm e zero mm de chuva, respectivamente, todos os pontos localizados da área de criação de peixes, apresentaram índice “eutrófico” (59-63), (Figura 3-a e 3-b).

Tabela 2. Resultados da média dos índices de estados tróficos de clorofila-a e fósforo total e o grau de trofia do ambiente a partir dos valores aproximados de todos os pontos de amostragens no período de maio a agosto de 2017.

| Ponto | Maio | Junho | Julho | Agosto |
|-------|--------|--------|--------|--------|
| A1 | 64 (E) | 64 (E) | 69 (H) | 68 (H) |
| A2 | 66 (E) | 66 (E) | 68 (H) | 70 (H) |
| A3 | 65 (E) | 65 (E) | 67(E) | 70 (H) |
| A4 | 64 (E) | 64 (E) | 68 (H) | 71 (H) |
| A5 | 65 (E) | 65 (E) | 66 (E) | 70 (H) |
| A6 | 64 (E) | 64 (E) | 66 (E) | 70 (H) |
| A7 | 64 (E) | 64(E) | 66 (E) | 70 (H) |
| A8 | 64 (E) | 64 (E) | 67 (E) | 69 (H) |
| A9 | 65 (E) | 65 (E) | 66 (E) | 70 (H) |

E: Eutrófico; H: hipereutrófico. Fonte: Os autores.

Nos meses de julho e agosto, o índice do estado trófico predominante na área foi o hipereutrófico, no mês de agosto (Figura 3-d). No mês anterior, grande parte da área apresentou índice “eutrófico”, havendo medições pontuais de hipereutrófico (1, 2 e 4) (Figura 3-c).

O resultado do valor médio do índice de estado trófico de Lamparelli (2004) apresenta alto grau de trofia na região de produção de pescado, sendo classificado como supereutrófico ($63 < IET \leq 67$) na maioria dos pontos amostrados, durante os meses de maio, junho e julho (Figura 3). A grande influência de atividades antrópicas no local e o fato da área de pescado ser a jusante da zona de mistura da estação de tratamento de efluente, dificultam mensurar e diferenciar o efeito antrópico e da atividade da piscicultura sobre o estado trófico da área em estudo.

Pena et al. (2004), realizaram campanhas de monitoramento em 16 pontos amostrais ao longo deste reservatório, durante os anos de 2002 e 2003, onde foram quantificados os parâmetros de transparência, clorofila-a e fósforo total. Os autores observaram que o reservatório da UHE Lajeado apresentou características mesotróficas a partir do cálculo de estado trófico pelo método de Toledo (1983), durante todo o período de estudo e sugeriram que as oscilações nos valores do cálculo de IET podem estar relacionadas à interferência de sólidos totais que implicam na condição do grau de trofia do ambiente.

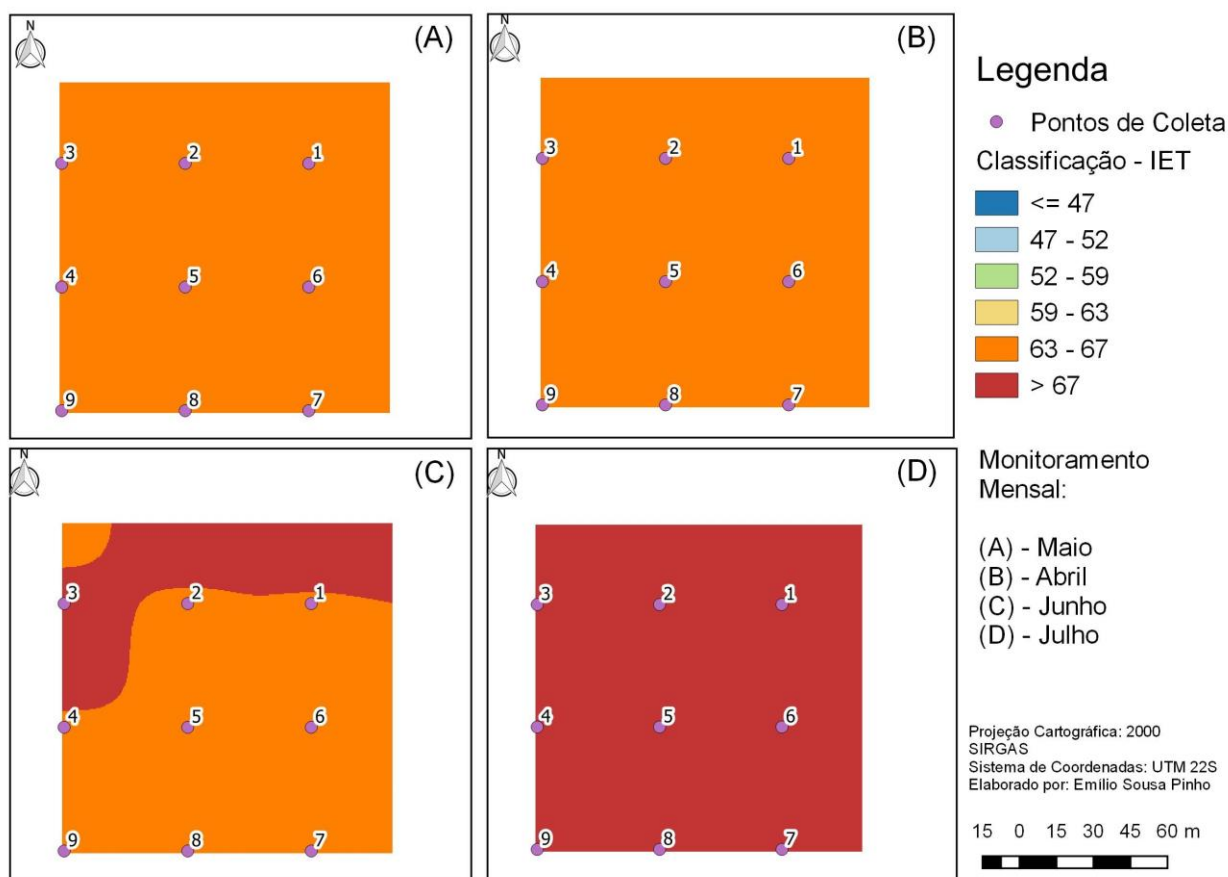


Figura 3. Perfil do estado trófico do polo aquícola localizado no município de Palmas – TO entre os meses de maio e agosto de 2017. Fonte: LAMPARELLI (2004).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados obtidos permitem concluir que a área aquícola apresentou predominância de estado trófico supereutrófico e que o estado trófico do lago nas proximidades dos tanques-rede sofre forte influência externa de atividades antrópicas.

As variáveis limnológicas, com exceção do fósforo total apresentaram-se dentro dos padrões recomendados pela Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005), sendo que os resultados de oxigênio dissolvido e sólidos totais em alguns pontos amostrais apresentaram resultados pouco acima destes parâmetros, não sugerindo, porém, indícios de alteração na qualidade da água.

Os efeitos da atividade são difíceis de serem previstos a longo prazo, bem como o comportamento do reservatório mediante aumento de produção dos parques aquícolas, porém, caso não haja monitoramento e controle eficiente sobre a qualidade da água, a piscicultura em tanques-rede pode vir a promover degradação do ecossistema aquático.

É importante observar o zoneamento ambiental do reservatório proposto por Tundisi (2006), que indica para aquicultura o terço a jusante do reservatório, próximo a barragem, devido à grande circulação de água, promovendo rápida recuperação da qualidade da água após impacto do acúmulo de ração e da excreção dos peixes.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, E.; CURTARELLI, M.; OGASHAWARA, I.; STECH, J.; SOUZA, A. Long-term environmental time series of continuously collected data in hydroelectric reservoirs in Brazil. *Ambi-Agua*, 8(1), 6-17, 2013.

APHA - American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20^a ed. Washington, 4-75/4-93, 1998.

ALVES, I. C. C.; EI-ROBRINI, M.; SANTOS, M. L. S.; MONTEIRO, S. M.; BARBOSA, L. P. F.; GUIMARÃES, J. T. F. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). *Acta Amazônica*, 42(1), 115–124, 2012.

BARBOSA, J. E. L.; ANDRADE, R. S.; LINS, R. P.; DINIZ, C. R. Diagnóstico do estado trófico e aspectos limnológicos de sistemas aquáticos da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá, Trópico semi-árido Brasileiro. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 12(1), 80-89, 2006.

BRASIL, 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”. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: 28 set. 2016.

BUENO, G. W.; MARENGONI, N. G.; GONÇALVES JÚNIOR, A. C.; BOSCOLO, W. R.; TEIXEIRA, R. A. Estado trófico e bioacumulação do fósforo total no cultivo de peixes em tanques-rede na área do reservatório de Itaipu. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, 30(3), 237-243, 2008.

BUZELLI, G. M.; SANTINO, M. B. C. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP). *Ambi-Agua*, 8(1), 186-205, 2013.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2008/CETESB. São Paulo: Série Relatórios-Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 1, 531p. 2009a.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Variáveis de qualidade de água. São Paulo, 2009b. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp#transparencia>. Acesso em: 20 out. 2016.

ESTEVES, F. A. Fundamentos em limnologia. Interciência/FINEP. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1998.

KUBITZA, F. Coletânea de informações aplicadas ao cultivo do tambaqui, do pacu e de outros peixes redondos. Panorama da Aquicultura, 14, 27-37, 2004.

LAMPARELLI, M. C. Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. 2004. 207 f. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MARQUES, A. K. Análise da diversidade fitoplanctônica no reservatório da Usina Hidroelétrica Luis Eduardo Magalhães, no médio Tocantins – TO: estrutura da comunidade, flutuações temporais e espaciais., 2006. 158 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2006.

TUNDISI, J. E. M. Indicadores da qualidade da bacia hidrográfica para gestão integrada dos recursos hídricos. Estudo de caso: Bacia hidrográfica do Médio Tocantins (TO). 2006. 153 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A Modified Single Solution Method for the Determination of Phosphate in Natural Water. Analytica Chimica Acta, 27, 31-36, 1962.

OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). Eutrophication of water: monitoring, assessment and control. Paris: OECD, 1982, 154 p.

ONO, E. A.; KUBITZA, F. Cultivo de peixes em tanques-rede. Jundiá - SP: 112 p. 2003.

PÁDUA, H. B. Principais variáveis físicas e químicas da água na aquicultura. In: Workshop – Qualidade de água na aquicultura. p. 1-58. CEPTA/IBAMA, São Paulo - SP, 1996.

PEIXOTO, R. H. P. B. Efeitos da implantação do reservatório da Usina Hidrelétrica Luis Eduardo Magalhães sobre a qualidade da água do rio Tocantins (TO, Brasil). Rio de Janeiro, 2007. 222 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

PENA, L.; FERREIRA, C.; ALMEIDA, M. Comportamento dos índices do estado trófico de Carlson (IET) e modificado (IETM) no reservatório da UHE Luís Eduardo Magalhães. Tocantins-Brasil. In: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 2004. 6 p.

PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M.; FRACALOSSO, D. M.; CYRINO, J. E. P. Nutrição de Peixes. In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALOSSO, D. M.; CASTAGNOLLI, N. Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva. São Paulo: TecArt, p. 75-170. 2004.

PRADO, R. B. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água: estudo no médio rio Pardo – SP (período de 1985 a 1997). 209 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1999.

REIS-PEREIRA, V. L. A Limnologia e o gerenciamento integrado do reservatório da Usina Hidrelétrica Luis Eduardo Magalhães – UHE Lajeado, Tocantins. São Carlos/SP. Tese (Doutorado

em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2002.

SMITH, V. H., SCHINDLER, D. W. Eutrophication science: where do we go from here? Trends in Ecology and Evolution, 24(4), 201-207, 2009.

TOLEDO, A. P. J.; TALARICO, M.; CHINEZ, S. J.; AGUDO, E. G. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12., Balneário Camboriú, Santa Catarina. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. p.1-34. 1983.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Limnologia. São Paulo: Oficina de Textos. 631 p. 2008.

VINATEA-ARANA, L. Princípios químicos de qualidade da água em aquicultura. Florianópolis: Editora da UFSC. 166 p.1997.