Qualidade da água e do sendimento de lagoas marginais no sul da Amazônia: influências da conectividade fluvial e dos usos da terra

Water and sediment quality of marginal lagoons in southern Amazonia: influences of fluvial connectivity and land use

Oliveira, Franciele Fernanda de; Cruz, Rúbia Fantin da; Figueiredo, Daniela Maimoni de

Franciele Fernanda de Oliveira
francielebio@gmail.com
Secretaria de Estado de Educação de Mato Grosso , Brasil

Rúbia Fantin da Cruz
rubiafantin@uol.com.br
Aquanálise Análise de Água e Consultoria, Brasil

Daniela Maimoni de Figueiredo
dani_figueiredo@uol.com.br
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Revista Presença Geográfica
Fundação Universidade Federal de Rondônia, Brasil
ISSN-e: 2446-6646
Periodicidade: Frecuencia continua
vol. 11, núm. 2, 2024
rpgeo@unir.br

Recepção: 28 Dezembro 2023
Aprovação: 12 Março 2024

URL: http://portal.amelica.org/ameli/journal/274/2744935001/

Resumo: Os objetivos principais desta pesquisa foram identificar e avaliar quais as influências da conectividade do rio, dos usos da terra e da sazonalidade hidrológica sobre as condições físicas e químicas da água e do sedimento das lagoas Aguapé e do Padre, marginais ao rio Teles Pires, no Estado de Mato Grosso. Esse rio é um importante tributário da Região Hidrográfica Amazônica, cuja área de drenagem é intensamente ocupada pela atividade agropecuária. Foram realizadas 11 amostragens de água e sedimento nas lagoas nas épocas de chuva e estiagem. O rio Teles Pires é o principal elo das lagoas com a bacia de drenagem, particularmente na época de chuva, quando transporta a esses sistemas água, sedimento e nutrientes com as influências naturais e antrópicas de montante. A influência do uso da terra foi relativamente baixa sobre as lagoas, mas a presença de mercúrio na lagoa do Padre pode indicar retenção de contaminantes de pesticidas. O estado de conservação das matas ciliares e do entorno das lagoas e a presença de macrófitas aquáticas também influenciaram no metabolismo aquático das lagoas. Este estudo é um importante *background* desses ecossistemas aquáticos, tendo em vista que atualmente encontram-se na área de influência do reservatório da hidrelétrica UHE Sinop.

Palavras-chave: Sazonalidade hidrológica, Agropecuária, Mercúrio, Rio Teles Pires.

Abstract: The main objectives of this research were to identify and evaluate river connectivity, land use and hydrological seasonality influences on the physical and chemical conditions of the water and sediment of the Aguapé and Padre lagoons, marginal to the Teles Pires River, in the Mato Grosso State. This river is an important tributary of the Amazon Hydrographic Region, whose drainage area is intensively occupied by agricultural and cattle raising land use. A total of 11 water and sediment samples were taken in the lagoons during the rainy and dry seasons. The Teles Pires River is the main link between the lagoons and the drainage basin, particularly in the rainy season, when it transports water, sediment and nutrients to these systems with the natural and anthropogenic influences upstream. The influence of land use was relatively low on the ponds, but the presence of mercury in the Padre pond may indicate retention of pesticide contaminants. The conservation status of the riparian forests and the surroundings of the lagoons

Modelo de publicação sem fins lucrativos para preservar a natureza acadêmica e aberta da comunicação científica

PDF gerado a partir de XML JATS4R

and the presence of aquatic macrophytes also influenced the aquatic metabolism of the lagoons. This study is an important background of these aquatic ecosystems, considering that they are currently located in the area of influence of the reservoir of the Sinop hydroelectric plant.

Keywords: Hydrological seasonality, Agricultural, Mercury, Teles Pires River.

INTRODUÇÃO

Lagoas marginais são ambientes localizados lateralmente aos rios de médio a grande porte, que estão sujeitos à inundação periódica, e o principal tipo encontrado em regiões tropicais. Essas lagoas são consideradas como áreas úmidas e desempenham um importante papel ecológico e hidrodinâmico no sistema da bacia hidrográfica (ARANHA; HORN; TRINDADE, 2019).

Com as cheias anuais, típicas de regiões tropicais, os rios invadem as depressões laterais e, quando as águas baixam, formam-se verdadeiros lagos, interligados ou não com o canal principal ao longo de todo o ano (JUNK, 1989). Na época da cheia há maior influência do rio sobre a lagoa, transportando sedimentos, nutrientes, organismos e água para a área inundada. Na estiagem, quando as águas baixam, a conexão rio-lagoa diminui ou cessa completamente. Do ponto de vista hidrodinâmico e ambiental, as lagoas marginais exercem papel fundamental na retenção de parte da carga fluvial transportada, principalmente nos períodos de cheia, e na acumulação de nutrientes, materiais orgânicos e contaminantes geralmente adsorvidos aos sedimentos (TRINDADE, 2013).

A oscilação e retenção de água na lagoa, cujo tempo de residência é maior do que o rio, resulta na variação das condições físicas e químicas da água e do sedimento, proporcionando um ecossistema diverso e produtivo para a biota aquática. Com isso, a variação do nível da água é um dos principais fatores reguladores das comunidades em lagoas marginais (ZERLIN; HENRY, 2014), que funcionam ainda como refúgio para os animais aquáticos, provendo importantes habitats para a reprodução e contribuindo com biomassa para o rio, aumentando a base das cadeias alimentares nos sistemas fluviais (GÜNTZEL et al., 2010).

Vários rios brasileiros, sujeitos à sazonalidade hidrológica anual, têm conexão com lagoas marginais, em particular na região Amazônica, como é o caso do rio Teles Pires. A confluência desse rio com o Juruena forma o rio Tapajós, um dos principais afluentes da margem direita do rio Amazonas.

Apesar da importância desta bacia, são escassos os estudos sobre os sistemas aquáticos, tanto dos rios quanto das lagoas marginais associadas, com abordagem de ecologia de ecossistemas. Destacam-se as pesquisas sobre qualidade da água e limnologia em rios e córregos desenvolvidas por Prado et al. (2021), Andrietti et al. (2016), Bleich et al. (2016), Ferreira et al. (2014), Moreira (2011), Caovilla et al. (2008), Umetsu et al. (2007), Umetsu (2009), Dalmagro et al. (2007) e Fonseca e Zeilhofer (2007), além dos relatórios técnicos de monitoramento ambiental publicados pelo órgão gestor do meio ambiente de Mato Grosso (SEMA-MT, 2020).

Com relação ao sedimento, não há estudos qualitativos disponíveis para essa bacia, mesmo considerando que são locus de retenção de compostos poluentes, inclusive agrotóxicos, que são intensamente usados na bacia. Mato Grosso é o estado que mais usa agrotóxicos no Brasil, sendo que metade do total é pelos municípios localizados na bacia do Teles Pires (BOMBARDI, 2017). Sua bacia de drenagem é intensamente ocupada por monocultura de grãos anuais e pecuária, sendo uma das áreas hot spot do agronegócio brasileiro, com agricultura mecanizada e altamente dependente de insumos, como agrotóxicos e fertilizantes.

Este cenário motivou a realização da presente pesquisa em duas lagoas marginais ao rio Teles Pires, dada a importância da bacia hidrográfica e a escassez de estudos nesses ambientes aquáticos. Além disso, este trabalho

foi realizado antes da formação do reservatório da hidrelétrica UHE Sinop, área de influência dessas lagoas, servindo, portanto, como referência ao período anterior à essa usina. Os objetivos principais foram identificar e avaliar quais as influências da conectividade do rio, dos usos da terra e da sazonalidade hidrológica, nas épocas de chuva e estiagem ao longo de três anos, sobre as condições físicas e químicas da água e do sedimento em duas lagoas marginais ao rio Teles Pires, em sua porção média.

Formulou-se as seguintes hipóteses: i) em lagoas marginais na porção sul da região Amazônica, as condições físicas e químicas da água e do sedimento oscilam com a sazonalidade hidrológica e o grau de conexão com o rio; ii) essas condições são influenciadas pelo uso da terra na bacia; iii) o sedimento das lagoas é locus de retenção de agrotóxicos, fertilizantes e sedimentos oriundos dos deflúvios da atividade agropecuária na bacia.

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A porção sul da Região Hidrográfica Amazônica (RH), uma das 12 regiões hidrográficas brasileiras, tem como um dos principais rios o Teles Pires que, juntamente com o rio Juruena, forma o rio Tapajós, que deságua na margem direita do rio Amazonas (Figura 1). A bacia hidrográfica do rio Teles Pires (latitude 15º00' S e 7º00' N e meridianos 54º00' L e 58º00' O), tem cerca de 141.483 km² de área e a extensão do rio principal é de cerca de 1.481 km (EPE, 2009; Figura 1). A bacia engloba total ou parcialmente 35 municípios, sendo 33 localizados em Mato Grosso e dois no Pará (EPE, 2009), com destaque aos mais populosos que são Nova Mutum, Lucas do Rio Verde, Sorriso, Sinop e Alta Floresta.

Na bacia predomina uso da terra para cultivo de pastagens, milho, arroz e, principalmente, soja, em grandes fazendas do agronegócio, e uso da água para irrigação e produção de energia elétrica (FIGUEIREDO, 2019). Encontram-se em operação quatro hidrelétricas no rio Teles Pires, sendo duas na porção média, dentre elas a UHE Sinop, cujo reservatório, formado em 2019, possui cerca de 337 km2, na área de influência direta das duas lagoas do presente estudo (ROSTIROLLA, 2018).

Os solos da porção média da bacia do Teles Pires são principalmente do tipo Latossolo Vermelho Escuro e Vermelho Amarelo, ambos profundos, bem drenados, intemperizados, com teor de ferro entre 8 e 18%, ácidos a muito ácidos e com atração magnética fraca, com porosidade média e alta, respectivamente (MOREIRA; VASCONCELOS, 2007). Predominam os biomas cerrado nas partes altas, área de transição cerrado-floresta na porção média (área de estudo) e floresta amazônica na parte baixa da bacia.

O clima na área de estudo é do tipo Equatorial Continental Úmido, com temperatura média anual variando de 24,2 a 24,8º C, com duas épocas do ano bem definidas, chuva de novembro a abril e estiagem de maio a setembro, com maior concentração de chuva entre dezembro e fevereiro (800-1.000 mm; TARIFA, 2011) e precipitação média de 1.787 mm (ALCANTARA, 2009). A altitude varia de 400 a 500m e a declividade é de cerca de 1,41 graus (ALCANTARA, 2009).

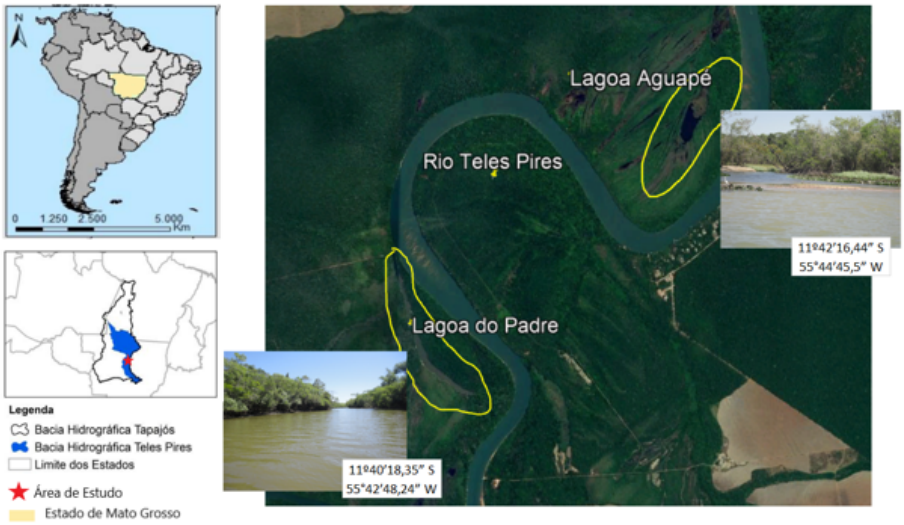

FIGURA 1
Localização da área de estudo na bacia do rio Teles Pires, no Estado de Mato Grosso e no Brasil
Fonte: Própria autora (2021) e modificado de Google Earth e Santos et al. (2017)

Coletas em campo e análises em laboratório

As amostragens foram realizadas no início da porção média da bacia do Teles Pires (logo após a foz do rio Verde), em duas lagoas marginais localizadas na margem esquerda do rio Teles Pires, Lagoa do Padre e do Aguapé, ambas originadas de meandros abandonados (oxbow lakes), com vegetação ciliar nas margens, solo arenoso e ocorrência de macrófitas aquáticas, predominantes na Lagoa do Aguapé (Figura 1). A Lagoa do Aguapé está situada em uma área úmida formada entre o rio Teles Pires e sua confluência com o córrego Vai-Vem, coma densa cobertura de macrófitas aquáticas (Eichhornia sp), que limitam o acesso a área central da lagoa para a coleta, como foi feito na Lagoa do Padre.

Para avaliar a sazonalidade hidrológica e sua influência nas lagoas, foram obtidos dados de vazão do rio Teles Pires, disponíveis na Agência Nacional de Água (Portal Hidroweb) da estação fluviométrica Cachoeirão (código – 17280000; localizada próxima da área de estudo). Essa estação fluviométria corresponde a uma área de drenagem relativamente plana e com área de cerca de 34.783 km2, de acordo com Alcantara (2009). Foram utilizadas as médias mensais de vazão de cada mês nos três anos deste estudo (2016 a 2018), obtidas a partir da média diária disponível no banco de dados, e calculada uma única média de cada mês para os três anos de estudo (2016-2018).

O período de amostragem da água e do sedimento ocorreu entre fevereiro de 2016 e agosto de 2018, totalizando 11 eventos trimestrais, sendo cinco no período chuvoso (fevereiro e novembro) e seis na estiagem (maio e agosto). Vale mencionar que os meses de novembro e maio, dependendo do ano, podem ser considerados como de transição entre final da estiagem e início da chuva e entre final da época de chuva e início da estiagem, respectivamente. Na Lagoa do Padre, a coleta foi realizada na área central e na do Aguapé onde era possível entrar embarcado, devido ao bloqueio das macrófitas aquáticas (plantas aquáticas vasculares).

Em campo foram medidas as variáveis temperatura da água (°C), pH, condutividade elétrica (µS/cm) e oxigênio dissolvido (mg/L) com sonda multiparamétrica YSI Professional Plus com calibração acreditada pela RBC (Rede Brasileira de Calibração).

Na água foram analisados em laboratório cor verdadeira (mgPt/L), turbidez (UNT), fósforo total e ortofosfato (mg/L), nitrogênio total, nitrogênio orgânico, nitrato e nitrogênio amoniacal (mg/L), sólidos

totais e dissolvidos (mg/L) e ferro total (mg/L). Todos os métodos de coleta, preservação, armazenamento e análises de água e sedimento seguiram AWWA-APHA (2012 e 2017).

O sedimento foi coletado utilizando o amostrador tipo Van Veen (área de 0,03 m^2), as amostras armazenadas em recipientes plásticos e mantidas sob refrigeração.

Em laboratório o sedimento foi analisado quanto à composição granulométrica, carbono orgânico total (COT), nitrogênio Kjeldahl total, fósforo total, metais (arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco), Tributilestanho, pesticidas organoclorados (HCH, clordano, DDD, DDE, DDT, Dieldrin, Endrin), PCBs, Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos/HAPs (Benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, criseno, dibenzo(a,h)antraceno, acenaftaleno, acenaftileno, antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, 2-metilnaftaleno, naftaleno, e pireno), conforme os parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) nº 454/2012.

Os resultados das análises de água, foram comparados com os padrões da Resolução CONAMA nº 357 de 2005, para corpos d´água da classe 2, como é o caso das lagoas estudadas, considerando que ainda não foram formalmente enquadradas (BRASIL, 2005). Os resultados do sedimento foram comparados com os padrões estabelecidos pela Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA nº 454 de 2012, referencial utilizado para o padrão nacional para qualidade do sedimento (BRASIL, 2012). Os resultados obtidos nas duas matrizes, água e sedimento, foram analisados através de médias e desvio padrão.

Para o tratamento dos dados, foram construídos gráficos e tabelas, com os resultados das médias, máximas, mínimas e desvio padrão das variáveis físicas e químicas da água e do sedimento. Os cálculos foram obtidos considerando cinco amostragens no período chuvoso, realizadas nos meses de fevereiro e novembro, e seis na estiagem, nos meses maio e agosto, entre 2016 e 2018.

Na análise dos resultados, considerou-se a sazonalidade hidrológica e os padrões de conexão das lagoas com o rio e com os ecossistemas terrestres do entorno, bem como a ocorrência de macrófitas aquáticas em cada lagoa, com base nas observações de campo e imagens de satélite. Todos esses aspectos foram integrados e abordados sob a perspectiva da ecologia de ecossistemas. Com relação ao uso da terra, toda a bacia a montante das lagoas marginais é predominantemente ocupada por atividade agropecuária, conforme descrito nos estudos de Alcantara (2009) e Silva et al. (2017).

RESULTADOS

Chuva e vazão

A precipitação total anual na área de estudo oscilou entre 1669,2mm (2016), 1551,7mm (2017) e 2021,9mm (2018). O mês de dezembro foi o que apresentou maior pluviosidade (347mm) e julho a menor (0mm), considerando a média dos três anos, como detalhado na Figura 2, que apresenta também a precipitação total mensal de cada ano. O ano de 2018 foi o mais chuvoso, porém com estiagem mais intensa e três meses sem registro de chuva (junho a agosto). A precipitação foi maior em meses diferentes de cada ano (março em 2016, dezembro em 2017 e janeiro em 2018), mas manteve-se no trimestre mais chuvoso de acordo com as séries históricas.

A Figura 2 apresenta a variação temporal das chuvas e da vazão do rio Teles Pires, próximo das lagoas marginais. No mês de março foi registrada a maior vazão do rio Teles Pires nos três anos de estudo, as menores foram registradas em agosto (2016) e setembro (2017 e 2018). A vazão variou de 306,2 m^3/s (setembro/2017) a 1520,7 m^3/s (março/2017), com média anual nos três anos de 752,2 m^3/s (± 356,9 m^3/s) (Figura 2). A maior precipitação em 2018 resultou na maior média da vazão nesse ano (840,8 m3/s) em relação à 2016 (651,9 m3/s) e 2017 (763,9 m3/s), bem como na maior média da vazão na época de estiagem (523,7 m3/s) e de chuva (1.157,9 m3/s) em relação aos demais anos de estudo.

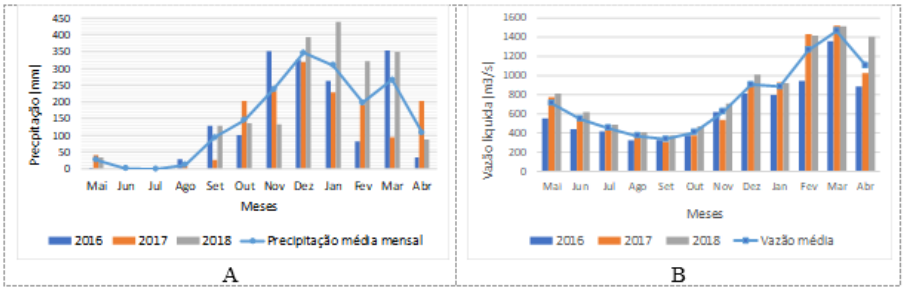

FIGURA 2
Média mensal da precipitação em cada ano e total de cada mês (A); média mensal da vazão líquida do rio Teles Pires a cada ano e média mensal anual dos três anos (B), medidos na estação fluviométrica Cachoeirão (código – 17280000), de 2016 a 2018
Fonte: Adaptado da ANA (2018)

Características físicas e químicas da água

Os resultados das características físicas e químicas da água nas duas lagoas estão expressos na Tabela 1. O pH (padrão de 6 – 9), o oxigênio dissolvido (padrão de ≤ 5,0 mg/L) e o fósforo total (padrão de ≤ 0,05 mg/L) não atenderam aos padrões estabelecidos pela Resolução Conama nº 357/2005 (BRASIL, 2005) para corpos de água Classe 2 em alguns eventos, sendo o fósforo e o pH com maior recorrência. O pH apresentou tendência de acidez em ambas as lagoas, principalmente na estiagem. Observou-se redução do oxigênio principalmente na época de chuva, com menores médias na Lagoa do Aguapé. Os resultados de cor e turbidez, que refletem a concentração de sólidos dissolvidos (menor tamanho, principalmente coloides orgânicos e inorgânicos) e suspensos (maior tamanho, como partículas inorgânicas e detritos orgânicos) na água, respectivamente, foram mais elevados na época de chuva, indicando entrada de sedimento pelo rio Teles Pires. A maior média de cor ocorreu na Lagoa do Aguapé e de turbidez na Lagoa do Padre. As concentrações de nitrogênio e fósforo total não apresentaram uma nítida variação temporal, mas os maiores resultados na estiagem ocorreram na Lagoa do Padre, onde também se obteve a maior média de fósforo, e na época de chuva na Lagoa do Aguapé, onde também se obteve a maior média de nitrogênio.

TABELA 1
Valores máximos, mínimos, médias e desvio padrão das variáveis físicas e químicas da água em duas lagoas marginais ao rio Teles Pires, entre fevereiro de 2016 e agosto de 2018

Lagoa	Resultados	Temp.	pH	CE	OD	Cor	Turbidez	N. total	Nitrato	N.org.	N. amon.	P total	P. orto	Sólidos totais	Sólidos dissol.	Ferro total
		°C		µS/cm	mg/L	uH	UNT	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Aguapé	Máximo	27,8	6,56	13,1	7,54	61,0	17,2	3,97	0,34	2,15	0,14	0,13	0,11	80,0	25,0	1,61
	Mínimo	23,5	4,49	5,9	0,22	17,0	2,7	0,30	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	10,0	4,0	0,35
	Média	25,7	5,12	9,6	4,46	33,9	7,5	0,92	0,18	0,48	0,03	0,04	0,02	20,6	10,6	0,81
	Desvio padrão	±1,2	±0,5	±2,6	±2,0	±11,2	±4,6	±1,0	±0,1	±0,62	±0,0	±0,0	±0,03	±21,5	±5,7	±0,4
	Média Estiagem	24,9	4,95	8,6	5,09	29,7	5,7	0,51	0,16	0,40	0,04	0,02	0,03	14,5	10,6	0,94
	Média Chuva	26,7	5,32	10,5	3,71	39,0	9,5	0,63	0,20	0,31	0,00	0,04	0,01	20,6	9,5	0,63
Padre	Máximo	31,6	7,26	12,3	7,49	40,0	29,1	3,80	0,36	2,36	0,10	0,36	0,21	116,0	120,0	1,57
	Mínimo	26,4	4,63	3,6	2,87	8,0	3,3	0,20	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	10,0	3,0	0,35
	Média	28,4	5,78	6,8	4,92	24,2	9,7	0,73	0,18	0,70	0,02	0,12	0,04	23,7	18,9	0,78
	Desvio padrão	±1,7	±0,7	±2,7	±1,5	±10,1	±7,4	±0,6	±0,1	±1,1	±0,0	±0,1	±0,0	±33,3	±35,8	±0,4
	Média Estiagem	28,6	5,51	5,0	5,53	22,5	8,1	0,85	0,14	0,78	0,02	0,12	0,04	23,9	20,0	0,48
	Média Chuva	28,1	6,11	8,3	4,19	26,3	11,8	0,58	0,22	0,32	0,01	0,11	0,01	13,8	7,1	1,02

Fonte: próprios autores. Legenda: Temp.=temperatura da água; CE= condutividade elétrica; OD= oxigênio dissolvido; N.=nitrogênio; org.= orgânico; P= fósforo; orto=ortofosfato; dissolv.= dissolvidos

PDF gerado a partir de XML JATS4R

Características físicas e químicas do sedimento

Na análise granulométrica do sedimento, conforme ilustrado na Figura 3, foram observadas diferenças na composição entre as lagoas, mas com predomínio de partículas menores (silte, areia fina e muito fina) em ambas, com 70% e 84% na Lagoa do Aguapé e 51% e 80% na Lagoa do Padre, nas épocas de estiagem e chuva, respectivamente.

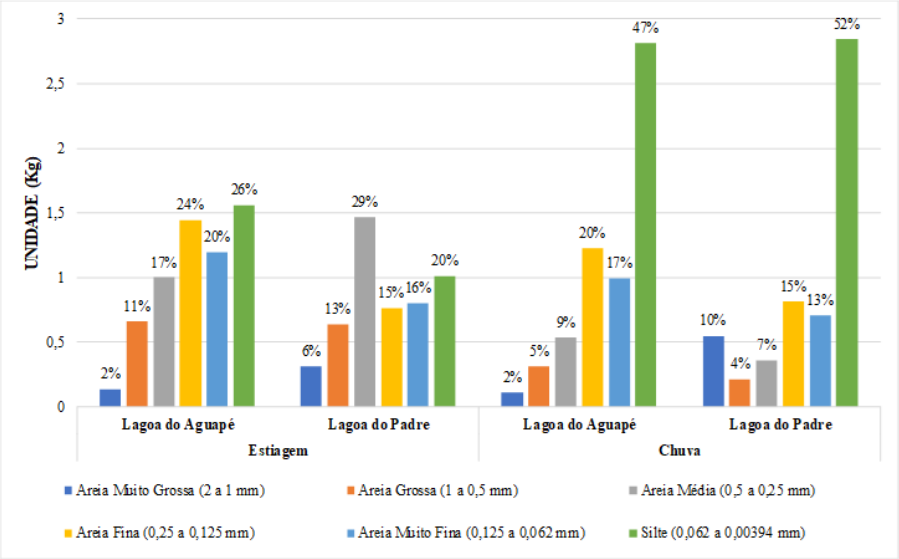

FIGURA 3
Distribuição granulométrica média dos sedimentos analisados nas duas lagoas marginais ao rio Teles Pires (MT), nas épocas de chuva e estiagem, de fevereiro de 2016 a agosto de 2018
Fonte: próprios autores

No período avaliado não foram detectadas concentrações de Tributilestanho, pesticidas organoclorados, PCBs e Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos/HAPs superiores aos padrões estabelecidos na Resolução CONAMA nº 454/12, Nível 1, ou seja, quando a probabilidade de efeitos adversos à biota é menor. Dentre os metais avaliados, somente o mercúrio foi detectado na lagoa do Padre em maio/2016, com 0,219 mgHg/kg, acima do referencial para o Nível 1 (≤ 0,17 mgHg/kg), mas em atendimento ao Nível 2 (≤ 0,486 mg/kg), limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota (Tabela 2). A variação espaço-temporal das concentrações de fósforo total, nitrogênio Kjeldhal total e carbono orgânico total no sedimento foram todas muito abaixo do limite máximo dos padrões legais para sedimentos Nível 1.

TABELA 2

Concentração de Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio Kjeldahl Total (NKT) e Fósforo total (PT) no sedimento de duas lagoas marginais ao rio Teles Pires, em comparação com a Resolução Conama nª 454 de 2012, entre fevereiro de 2016 e agosto de 2018

Mês/ano	Lagoa do Aguapé			Lagoa do Padre		
	COT (% pp)	NKT (mg/kg)	Pt (mg/kg)	COT (% pp)	NKT (mg/kg)	Pt (mg/kg)
Máximo	3,4	3080,0	417,0	3,9	1290,0	323,0
Mínimo	0,8	62,4	6,1	0,9	292,0	54,1
Média	2,4	842,1	176,1	2,3	746,6	126,8
Média na estiagem	2,3	546,1	185,0	2,3	684,2	135,2
Média na chuva	2,8	1197,4	165,4	2,3	821,6	116,7
Desvio Padrão	0,9	799,3	114,6	0,8	318,2	87,1
Limite Conama	10,0	4800,0	2000,0	10,0	4800,0	2000,0

Fonte: próprios autores

PDF gerado a partir de XML JATS4R

DISCUSSÃO

As duas lagoas marginais estudadas são sistemas complexos e independentes entre si, ecologicamente explicados, em grande parte, pelas variáveis físicas e químicas analisadas no presente estudo, tanto da água como do sedimento. O rio Teles Pires é o principal elo das lagoas com a bacia de drenagem, particularmente na época de chuva, quando transporta a esses sistemas água, sedimento e nutrientes com as influências naturais e antrópicas de montante.

Esse rio apresentou uma variação hidrológica tipicamente sazonal e dirigida, mesmo com resposta tardia, pelo regime de chuvas na bacia. As maiores precipitações, de modo geral, entre dezembro e janeiro, resultaram nas maiores vazões do rio no mês de março nos três anos estudados (2016 a 2018). Alcantara (2009), avaliando a mesma estação fluviométrica do presente estudo (Cachoeirão), constatou que a razão de residência, a taxa de incremento de deflúvio e a resposta hidrológica tardia mostraram-se associadas ao predomínio de relevo plano a montante, na área de captação dessa estação, bem como ao aumento do desmatamento, evidenciando que a retirada da vegetação (floresta e cerrado) influência no escoamento superficial, devido à diminuição dos processos de interceptação e infiltração.

Dentre as variáveis físicas e químicas da água, a maioria atendeu aos padrões da Resolução CONAMA nº 357/05 para rios de classe 2 (BRASIL, 2005), na qual se enquadram as lagoas. Os parâmetros que apresentaram valores em desacordo foram o pH, oxigênio dissolvido e fósforo total. Em ambas as lagoas, a média do pH foi inferior ao que estabelece a Resolução CONAMA nº 357/2005 (6,0 a 9,0), o que caracteriza as águas como ácidas a levemente ácidas. Sioli (1951) classificou os rios da Bacia do Teles Pires como de águas claras, por apresentarem dentre outras características o pH entre 5-7. Prado et al. (2021) pesquisou tributários nessa bacia, na mesma área das lagoas, e também observou valores similares em córregos (4,66 a 5,86), corroborando com Umetsu et al. (2007) e Bleich et al. (2016), que mencionam que essa característica da água na Bacia do Teles Pires, se deve à influência dos solos do tipo Latossolos, de caráter ácido a levemente ácido, predominantes na bacia. O pH do rio Teles Pires, no entanto, é mais elevado do que o registrado nas duas lagoas, variando de 6,0 a 6,9 próximo à presente área de estudo (SEMA, 2020), o que permite inferir que, além da influência dos solos ácidos, outros fatores, como a substâncias húmicas, resultantes da decomposição da vegetação, podem estar influenciando no baixo pH das lagoas. Os Latossolos, predominantes na bacia, além de ácidos, são pobres em eletrólitos, o que influenciou nos resultados relativamente baixos de condutividade elétrica da água em ambas as lagoas, com discreto aumento na época de chuva, causado pela entrada de eletrólitos pelas águas do rio Teles Pires. Nesse rio, em local próximo das lagoas, a condutividade elétrica variou de 15-20 µS/cm entre 2018 e 2019 (SEMA, 2020).

Os valores de oxigênio dissolvido (OD) em ambas as lagoas foram, quase sempre, abaixo das médias registradas no rio Teles Pires, em 2018 e 2019 em local próximo das lagoas (7,3 mg/L; SEMA, 2020), e do mínimo preconizado pela legislação (≥ 5 mg/L). Prado et al. (2021) também verificaram redução do OD em córregos na Bacia do Teles Pires, inclusive em bom estado de conservação, como é o caso das lagoas estudadas. Os autores atribuíram a baixa oxigenação da água a fatores naturais, como ácidos húmicos liberados do processo de decomposição, observado também por Rocha e Thomaz (2004) em lagoas marginais, corroborando com os resultados de pH do presente estudo, bem como com o predomínio do nitrogênio orgânico em relação às demais formas nitrogenadas medidas. Güntzel et al (2020) no Pantanal e de Freire et al. (2015) no Vale do Rio Ribeira do Iguape (SP) também constataram menores concentrações de oxigênio na época da cheia em lagoas marginais, que atribuíram à menor conexão com o rio. Esse fator também pode explicar as menores médias de oxigênio na Lagoa Aguapé em relação à Lagoa do Padre, nas duas épocas do ano, somada à expressiva ocorrência de macrófitas. Altas densidades de macrófitas aumentam consideravelmente a entrada de matéria orgânica no sedimento, o que por sua vez, pode aumentar a demanda por oxigênio, como observado por Bilia et al. (2015) em lagoas marginais na planície do rio Paraná. Em suma, a variação da concentração de oxigênio dissolvido em ambas as lagoas refletiu o bom estado de conservação da vegetação

terrestre do entorno e o padrão de conexão de cada uma com o rio Teles Pires, além da presença de macrófitas aquáticas, como no caso da Lagoa Aguapé.

O nitrogênio orgânico, predominante dentre as formas nitrogenadas analisadas, também pode ser fator de demanda de oxigênio na água. As reduzidas concentrações de oxigênio, os baixos valores de nitrogênio amoniacal e nitrato e na água e de nitrogênio total no sedimento sugerem que o processo de decomposição nas lagoas é rápido e que os produtos da decomposição podem estar sendo prontamente absorvidos pelas plantas aquáticas ou convertidos em formas refratárias, como ácidos húmicos.

A maior conectividade da Lagoa do Padre com o rio Teles Pires favoreceu não apenas maior oxigenação da água, como também maior concentração de fósforo total na água, quase sempre acima do limite máximo definido pela legislação. Estudos demonstram que em bacias agrícolas, o fósforo tende a aumentar na época de chuva como indicador de processos erosivos naturais e artificiais, particularmente na região amazônica (DEEGAN et al., 2011; UMETSU, 2009). De maneira geral, esse fósforo não está biodisponível para os organismos produtores, como indicado pelas baixas concentrações ortofosfato em ambas as lagoas no período estudado.

O aumento da vazão do rio Teles Pires aumenta a conexão desse ambiente com as lagoas marginais, transportando partículas finas, indicado pelas maiores médias de cor e turbidez na água em ambas as lagoas nessa época do ano, que provavelmente devem se depositar rapidamente no sedimento, devido à redução da velocidade da água e considerando o aumento expressivo dessas partículas no sedimento nessa época do ano. Junto, há também aporte de nitrogênio total, que apresentou maior concentração no sedimento das duas lagoas na época de chuva e na água na Lagoa do Aguapé. Por outro lado, os resultados de carbono orgânico total no sedimento foram relativamente baixos em ambas lagoas nas duas épocas do ano, mesmo na Aguapé onde há grande quantidade de macrófitas aquáticas, o que pode indicar que há rápida conversão da matéria orgânica em compostos inorgânicos, sendo um fator de demanda de oxigênio disponível, como mencionado à frente.

Quanto ao fósforo total no sedimento, em ambas as lagoas foi observado concentrações levemente mais altas no período de seca. É provável que a circulação total ou parcial na coluna d'água durante o período de seca leve à disponibilização de nutrientes que estavam concentrados no sedimento ou nas macrófitas aquáticas, no caso da Lagoa Aguapé, resultando em maiores valores de fósforo total nessa época.

Na estiagem, o expressivo aumento das macrófitas aquáticas e a quase total desconexão da Lagoa Aguapé com o rio Teles Pires (observações in loco), refletiram nas menores médias de cor, turbidez, oxigênio dissolvido, pH, nitrogênio e fósforo na água e de carbono orgânico total, nitrogênio total e fósforo total no sedimento nessa época do ano. O isolamento da lagoa nessa época reduz a entrada de água do rio com oxigênio, nutrientes e sedimentos, favorece o aumento das macrófitas aquáticas, que absorvem parte desses compostos e demanda oxigênio na decomposição, reduzindo a oxigenação da água também pela ação do vento e de contato água-ar.

O aporte de água e sedimento do rio às lagoas poderiam transportar agrotóxicos e metais, tendo em vista o intenso uso de pesticidas e o desmatamento na bacia a montante das lagoas, que podem carrear esses compostos para os corpos d´água. Os raros estudos sobre os efeitos negativos do uso de agrotóxicos na bacia do Teles Pires revelaram a vulnerabilidade dos sistemas de água e riscos de contaminação por pesticidas em córregos e rios (FIGUEIREDO, 2019). No entanto, a presença de mata ciliar ao longo de quase todo o rio Teles Pires nessa região (SANTANA et al., 2018) e no entorno das próprias lagoas, que são barreira à poluição difusa, somado às macrófitas aquáticas, que podem absorver pesticidas na água (ALENCAR et al., 2020), podem ter evitado a entrada desses compostos nas lagoas. Além disso, o pH ácido do solo e com elevada concentração de óxido de ferro (MOREIRA; VASCONCELOS, 2007), que refletiram na acidez da água e na expressiva concentração de ferro total na água das lagoas, favorece a retenção de metais, a exemplo do mercúrio (COELHO-SOUZA et al., 2007). Por outro lado, a detecção de mercúrio em uma campanha na Lagoa do Padre (maio/2016), mesmo em baixa concentração, provavelmente tem origem no aporte

de pesticidas com mercúrio em sua formulação (SANCHES, et al., 2003) ou do desmatamento na bacia (COELHO-SOUZA et al., 2007), favorecido pela entrada e deposição de sedimento fino, típico de lagoas marginais (ARANHA; HORN; TRINDADE, 2019). Segundo Salomons e Förstner (1984), o principal fator de acumulação de contaminantes nos sedimentos é a alta capacidade de adsorção apresentada, sobretudo pelas partículas menores que 0,063 mm, pois estas são eletricamente ativas e possuem uma grande superfície específica que contribui significativamente para adsorção dos metais pesados. O material particulado fino é o local que apresenta maior concentração de mercúrio total no sistema aquático, sendo acumulado nas raízes das macrófitas aquáticas e transformado em metilmercúrio (COELHO-SOUZA et al., 2007). Monteiro et al. (2024) consideram que a expansão do desmatamento e o aumento da frequência de queimadas no hemisfério sul, incluindo o Cerrado e a Floresta Amazônica, biomas predominantes na bacia do Teles Pires, são fatores de aporte de mercúrio às lagoas marginais, sendo que a ocorrência de fogo é um fator que deve ser incluído em estudos sobre o ciclo biogeoquímico desse metal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo reforçou a importância da conectividade hidrológica das lagoas marginais com o rio principal, no caso o Teles Pires, na manutenção da variabilidade física e químicas da água e do sedimento e como aporte de nutrientes, sedimento e água entre rio e lagoas, fundamentais para promover a diversidade biótica desses sistemas hídricos. Além da conectividade, a variação hidrológica sazonal influenciou nas variações das condições físicas e químicas da água e do sedimento.

A influência da atividade agropecuária, predominante na bacia do rio Teles Pires a montante das lagoas, foi discreta e indicada, principalmente, pelo aporte de sedimento fino, de fósforo e pela ocorrência de mercúrio no sedimento da Lagoa do Padre, favorecido pela maior conexão desse ambiente com o rio Teles Pires. A ocorrência de vegetação ciliar no entorno das lagoas funciona como amortecedor dos deflúvios agrícolas da bacia, que podem ser transportados pelo rio Teles Pires. A menor conexão do rio com a Lagoa Aguapé influenciou nas menores concentrações de fósforo, cor e turbidez e, por conseguinte, na menor influência da bacia de drenagem. Ou seja, se por um lado a conectividade com o rio, maior na época de chuva, é fundamental para manter essa variabilidade e o funcionamento ecológico das lagoas marginais, por outro, aumenta a ligação das lagoas com os deflúvios agrícolas da bacia de drenagem a montante. Vale destacar ainda que, a discreta influência dos usos da terra sobre as duas lagoas tem relação com o expressivo volume do rio Teles Pires, somado ao estado relativamente conservado de suas matas ciliares, fatores que favorecem a diluição e retenção dos deflúvios agrícolas, respectivamente.

Por fim, é importante mencionar a necessidade de ampliar os estudos integrados entre ecossistemas aquáticos e terrestres na bacia do Teles Pires, considerando o intenso uso da terra pela atividade agropecuária, além da recente formação do reservatório da UHE Sinop, que têm atualmente influência sobre as duas lagoas estudadas, reforçando a importância do presente estudo como background para estudos futuros das lagoas sob a influência dessa hidrelétrica.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Sinop Energia pela concessão dos dados para o desenvolvimento desta pesquisa, à empresa Aquanálise Análise de Água e Consultoria, que realizou as coletas e análises de água e colaborou com este estudo, e à CAPES pela bolsa de mestrado concedida à primeira autora.

REFERÊNCI0AS BIBLIOGRÁFICAS

ALCANTARA, L.H. Análise Espaço-Temporal do escoamento na bacia do alto e médio Rio Teles Pires. *Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Física Ambiental*, UFMT, Cuiabá, MT. 2009.

ALENCAR, B.T.B. *et al. Use of macrophytes to reduce the contamination of water resources by pesticides*. Ecological Indicators 109, 2020.

ANA-AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *HidroWeb: Séries históricas*. 2018. Disponível em: http://hidroweb.ana.gov.br/. Acesso em: 05 jun. 2022.

ANDRIETTI, G.; FREIRE, R.; AMARAL, A.G.; ALMEIDA, F.T.; BONGIOVANI, M.C.; SCHNEIDER, R.M. Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. *Rev. Ambiente & Água*. v. 11, nº 1, 2016.

APHA. American Public Health Association. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21 ed. Ed.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC. 2012.

APHA. American Public Health Association. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22 ed. Ed.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC. 2017.

ARANHA, P.A.; HORN, A.H.; TRINDADE, W.M. GPR Supported Sampling for Environmental Purposes. Examples from the Rio São Francisco Marginal Lagoons, Minas Gerais, Brazil. Rom. J. *Mineral Deposits*, vol. 92 (2019), No. 1-2, p. 1-8, 2019.

BILIA, C.G.; PINHA, G.D.; PETSCH, D.K.; TAKEDA, A.M. *Influência da heterogeneidade ambiental sobre os atributos da comunidade de Chironomidae em lagoas de inundação neotropicais*. Iheringia, Série Zoologia, Porto Alegre, 105(1):20-27, 31 de março de 2015

BLEICH, M. E. *et al*. Structural Dynamics of pristine headwater streams from southern Brazilian Amazon. *River Research Applications*. 32: 473-482, 2016.

BOMBARDI, L.M. *Geografia do uso de agrotóxicos no Brasil e conexões com a União Europeia*. São Paulo: FFLCH-USP. 296 p. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. *Resolução CONAMA n°357*, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no Diário Oficial da União. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/CONAMA/res/res05/res35705.pdf. Acesso em: 27 jun. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. *Resolução CONAMA n°454*, de 01 de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Publicado no Diário Oficial da União. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/CONAMA/legiabre.cfm?codlegi=693. Acesso em: 03 mar. 2023.

CAOVILLA, F.C.; SALLES, M.; SILVA, G.C.O.; RIBEIRO, J.; SHIRAIWA, S. Avaliação da Qualidade da Água da Bacia Hidrográfica do Rio Teles Pires – Mato Grosso. In: *Anais*... IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 9, 2008, Salvador. Salvador, 2008.

COELHO-SOUZA, S.A.; MIRANDA, M.R.; GUIMARÃES, J.R.D. A Importância das Macrófitas Aquáticas no ciclo do mercúrio na Bacia do Rio Tapajós (PA). *Oecol. Bras*., 11 (2): 252-263, 2007.

DALMAGRO, H.J. *et al*. Dinâmica do carbono inorgânico dissolvido nos rios Teles Pires e Cristalino na Bacia Amazônica. *Ciência e Natura*, 29 (2): 115 - 127, 2007.

DEEGAN, L.A. *et al.* Amazon deforestation alters small stream structure, nitrogen biogeochemistry and connectivity to larger rivers. *Biogeochemistry*, 105:53–74, 2011.

EPE-EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Avaliação Ambiental Integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Teles Pires. Relatório Final. 2009. Acesso em: 12 jun. 2023.

FERREIRA, D.A.T. et al. *Grau de Degradação de Dois Córregos Urbanos no Município de Alta Floresta-MT: Variáveis Físico-Químicas*. Enciclopédia Biosfera, Centro Cientifico Conhecer, 10(18):1889, 2014

FIGUEIREDO, D. M. Hidrelétricas e Agronegócio na Bacia do Rio Teles Pires: Contradições e Conflitos no Uso da Água. In: CARAMELLO, N. *et al*. (Org.). *Amazônia contribuições científicas para gestão hídrica*. Ituiutaba: Barlavento. 92-132. 2019.

FONSECA, G.P.S.; ZEILHOFER, P. Técnicas de geoprocessamento aplicadas na análise de poluição difusa da bacia do Rio Teles Pires – MT. In: *Anais*... XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 2597- 2604. 2007.

FREIRE, R.H.F.; BENASSI, R.F.; CALIJURI, M.C.; SANCHEZ, A.A. Influence of water fluctuations on the limnological characteristics of two floodplain lagoons (Ribeira do Iguape Valley, state of São Paulo, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 27(4), 431-440. 2015.

GÜNTZEL, A. M.; PANARELLI, E. A.; SILVA, W. M.; ROCHE, K. F. Influence of connectivity on Cladocera diversity in oxbow lakes in the Taquari River floodplain (MS, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 2, n, 1, p. 93-101, 2010.

JUNK, W.; BAYLEY, P.B.; SPARKS, R.E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. Pages 110-127 in D.P. Dodge, ed. Proceedings of the International Large River Symposium (LARS). Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 106, 1989.

MONTEIRO, L.C. *et al*. Local and landscape factors influencing mercury distribution in water, bottom sediment, and biota from lakes of the Araguaia River floodplain, Central Brazil. *Science of the Total Environment* 908. 2024.

MOREIRA, M.L.C.; VASCONCELOS, T.N.N. *Mato Grosso Solos e Paisagens*. Cuiabá: Entrelinhas/Seplan, 2007. 272 p.

MOREIRA, K.C.A.M. Aspectos da biogeoquímica dos rios Teles Pires e Cristalino – MT. 2011. *Tese (Doutorado em Ciências)* Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP.

PRADO, J.R.S.; FIGUEIREDO, D.M.; DORES, E.F.G.C.; HONGYU, K.; DELFINO, A.J.G.; RODRIGUES, D.V.B. Variação da qualidade da água em relação à sazonalidade e ao uso da terra no sul da Região Amazônica. *Caderno Prudentino de Geografia*, n. 43, v. 2, p. 159-184, 2021.

ROCHA, R.R.A.; THOMAZ, S.M. Variação temporal de fatores limnológicos em ambientes da planície de inundação do alto rio Paraná (PR/MS – Brasil). *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v. 26, no. 3, p. 261-271, 2004

ROSTIROLLA, S.L. Análise comparativa dos estudos de impacto ambiental de quatro hidrelétricas no rio Teles Pires. *Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos)* Univer. Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Brasil. 2018.

SACHES, S.M.; SILVA, C.H.T.P.; CAMPOS, S.X. Pesticidas e seus respectivos riscos associados à contaminação da água. *Pesticidas: R.Ecotoxicol. e Meio Ambiente*, v. 13, p. 53-58, jan./dez. 2003.

SALOMONS, W., FORSTNER, V. *Metals in Hidrocycle*. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 340p.

SANTANA, L.S. et al. Avaliação de florestas primárias e secundárias em APP do rio Teles Pires por meio de sensores orbitais. *AgrarianAcademy*, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.5, n.9; p.72 2018

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Qualidade da água. Relatório monitoramento da qualidade das águas superficiais do Estado de Mato Grosso 2018 e 2019. Disponível em: http://www.sema.mt.gov.br/transparencia/index.php/gestao-ambiental/monitoramento-ambiental/qualidade-da-agua. Acesso em: 11 out. 2023.

SILVA, J.S.V.; MENGATTO JR., E.A.; CECIM, J.S.R.; GUIMARÃES, P. Dinâmica de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do rio Teles Pires. *Anais*... XXVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Santos, SP. 2017.

SIOLI, H. *Alguns resultados e problemas da limnologia amazônica*. Belém, IPEAN, 1951. p.3-44. (IPEAN. Boletim Técnico, 24).

TARIFA, J.R. Clima. In: CAMARGO, L. (org.) *Atlas de Mato Grosso: abordagem socioeconômica-ecológica*. Cuiabá: Entrelinhas/Seplan/Sema, p. 52-57, 2011.

UMETSU, C. A. *et al*. Aspectos Físico-Químicos de Dois Rios da Bacia do Alto Tapajós – Teles Pires e Cristalino – MT, Durante Período de Estiagem e Cheia. *Revista de Ciências Agro-Ambientais,* Alta Floresta, v.5, n.1, p.59-70, 2007.

UMETSU, R.K. Estudo eco-hidrológico da bacia hidrográfica Mariana, afluente do rio Taxidermista, Alta Floresta – MT. *Tese (Doutorado em Ecol. e Rec. Naturais).* Univ. Federal de São Carlos, São Carlos-SP. 2009.

SANTOS, V.C.; *et al.* Classificação e análise da precipitação na bacia hidrográfica do rio Teles Pires utilizando. *Anais*... XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, 2017.

TRINDADE, W.M. Lagoas marginais do alto-médio curso do rio São Francisco: dinâmica hidrogeomorfológica, geocronologia e impactos ambientais. *(Tese) Doutorado em Geografia*, UFMG, 2013.

ZERLIN, R.A.; HENRY, R. Does water level affect benthic macro-invertebrates of a marginal lake in a tropical river-reservoir transition zone? *Braz. J. Biol.*, vol. 74, no. 2, p. 408-419, 2014.