

Diagnóstico da qualidade e o estado trófico da água superficial em trecho do rio Machado - Rondônia, Amazônia Ocidental

Valério Magalhães Lopes^{1,2} , Jerônimo Vieira Dantas Filho³ , Fernanda Bay Hurtado^{1*} 

1 Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Rondônia (UNIR), R. Rio Amazonas, 351, Jardim dos Migrantes, 76900-726, Ji-Paraná – RO, Brasil

2 Curso de Graduação em Química, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), R. Rio Amazonas, 151, Jardim dos Migrantes, 78960-000, Ji-Paraná – RO, Brasil

3 Programa de Mestrado Acadêmico em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Av. Note Sul, 7300, Nova Morada, 76940-000, Rolim de Moura – RO, Brasil

*Autor para correspondência: fernandabay@unir.br

Recebido em 16 de agosto de 2022.

Aceito em 09 de novembro de 2022.

Publicado em 30 de novembro de 2022.

Resumo – Esta pesquisa objetivou diagnosticar a qualidade da água em um trecho do rio Machado - Rondônia, utilizando como ferramenta os índices de qualidade da água (IQA) e índice de estado trófico (IET). Realizou-se coleta em 9 pontos amostrais, trimestralmente. A análise estatística foi a variância bifatorial. Os resultados das variáveis pH, turbidez, fósforo total, oxigênio dissolvido e *Escherichia coli* apresentaram em alguns pontos amostrais desconformidade com a Resolução Conama n° 357/2005, para ambientes lóticos classe II, principalmente nos períodos de enchente e cheia do rio. O IQA apresentou a pior média ($49,89 \pm 4,03$) no período de enchente, sendo o trecho classificado como regular através do IQA_{CETESB} e ruim pelo IQA_{IGAM} . Os baixos valores de IQA para o período de chuvas pode ser atribuído à piora dos parâmetros sólidos totais, fósforo total, turbidez e a *E. coli*, os quais sofrem grande interferência do aporte de água pelo escoamento superficial. O IET sofreu maior influência do fósforo total e permitiu classificar o trecho em estudo no nível oligotrófico. De forma geral, considera-se boa a qualidade da água para o trecho analisado em virtude da autodepuração do rio e das fontes pontuais de poluição estarem localizadas próximas a igarapés de menor porte.

Palavras-chave: Sazonalidade. Indicadores de qualidade de água. Recursos hídricos. Monitoramento Ambiental

Diagnosis of the quality and trophic state of surface water in a stretch of the Machado River - Rondônia, Western Amazon

Abstract - This research aimed to diagnose the water quality in a stretch of the Machado River – Rondônia, using the water quality index (IQA) and the trophic state index (IET) as a tool. Collection was carried out at 9 sampling points, quarterly. Statistical analysis was bifactorial variance. The results

of the variables pH, turbidity, total phosphorus, dissolved oxygen and *Escherichia coli* showed in some sampling points non-compliance with Conama Resolution No. 357/2005, for class II lotic environments, mainly in the flood and flood periods of the river. The IQA showed the worst average (49.89 ± 4.03) in the flood period, with the stretch classified as regular by the IQA_{CETESB} and bad by the IQA_{IGAM} . The low IQA values for the rainy season can attributed to the worsening of total solid parameters, total phosphorus, turbidity and *Escherichia coli*, which suffer great interference from the water supply by the surface runoff. The IET was more influenced by total phosphorus and allowed classifying the stretch under study at the oligotrophic level. In general, the water quality for the analyzed section is considered good due to the self-purification of the river and the point sources of pollution being located close to smaller streams.

Keywords: Seasonality. Water quality indicators. Water resources. Environmental monitoring.

Diagnóstico de la calidad del agua superficial en un tramo del río Machado, Amazonía Occidental

Resumen - Esta investigación tuvo como objetivo diagnosticar la calidad del agua en un tramo del río Machado, utilizando como herramienta los indicadores índice de calidad del agua (IQA) e índice de estado trófico (IET). La recolección se realizó en 9 puntos de muestreo con recolecciones trimestrales. El análisis estadístico aplicado fue la varianza bifactorial. Los resultados de las variables: pH; turbiedad; TF; OD y *Escherichia coli*, mostraron incumplimiento de los límites establecidos por la resolución n° 357/2005/CONAMA, para ambientes lóticos clase II, en algunos puntos de muestreo, principalmente durante los períodos de crecida y crecida del río. El ICA presentó el peor promedio ($49,89 \pm 4,03$) para el período de crecida, siendo el tramo clasificado como regular por el IQA_{CETESB} y malo por el IQA_{IGAM} . Los bajos valores del ICA para la temporada de lluvias estacionales se pueden atribuir al empeoramiento de los parámetros, sólidos totales, fósforo total, turbidez y especialmente a las altas concentraciones de E. coli, que sufren gran interferencia del proceso de lixiviación del suelo. El IET estuvo más influenciado por el fósforo total y clasifica el tramo en estudio a nivel oligotrófico. En general, la calidad del agua se considera buena, debido a la autodepuración del río y la ubicación de los focos de contaminación cerca de arroyos menores.

Palabras clave: Herramientas de gestión ambiental. Indicadores de Calidad. Recursos hídricos.

Introdução

A região central do estado de Rondônia é composta por municípios que apresentam as maiores taxas de desflorestamento da Amazônia Ocidental, em virtude do avanço da atividade agropecuária, favorecida pela concentração de maior parte da rede viária e população do Estado (Pontuschka et al. 2021). Além disso, há a precariedade do saneamento básico, em especial a coleta e tratamento de esgoto sanitário nos municípios de Rondônia, sendo que aproximadamente 4% da população rondoniense é

atendida com o tratamento de esgotos (ANA 2017). Desmatamento, atividade pecuária e precariedade no saneamento são fatores que podem afetar, direta ou indiretamente, a disponibilidade e a qualidade da água.

No Brasil, a gestão dos recursos hídricos é definida pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que estabelece diretrizes para os usos e a proteção das águas e tem como principal objetivo assegurar à atual e futuras gerações a disponibilidade da água, tanto em quantidade, quanto em qualidade, para os diversos tipos de usos (BRASIL, 1997). Conhecer a qualidade e a quantidade de água em rios e bacias hidrográficas é fator essencial à implementação desta Política e de seus instrumentos de gestão (Barreto et al. 2014; Silva et al. 2015; Silva e Albuquerque 2018).

A qualidade da água pode ser caracterizada pela quantificação de seus parâmetros físicos, químicos e biológicos, porém sua condição é função dos diferentes usos a que se destina, sendo que o equilíbrio e a dinâmica dos corpos de água sofrem constantes alterações, tanto por ações de ordem natural, quanto por ações antrópicas (Abreu e Cunha 2017; Barros et al. 2018; Alves et al. 2019). Diante da complexidade que envolve o diagnóstico de qualidade da água, em virtude da geração de dados extremamente técnicos e grande volume de informações, os indicadores de qualidade, são vistos como importantes metodologias para a mensuração e divulgação do padrão de qualidade das águas (Correia Filho et al. 2021; ANA 2021a).

O índice de qualidade da água (IQA) pondera um conjunto de parâmetros individuais em informações consolidadas e simplificadas, para os diversos usuários da água, refletindo sua condição ambiental (Von Sperling 2007; Barcelos et al. 2017). Da mesma forma, o índice de estado trófico (IET) torna-se uma importante ferramenta de gestão, permitindo classificar os corpos de água em diferentes graus de trofia, ou seja, possibilita a avaliação do processo de eutrofização (Fia et al. 2015; Amâncio et al. 2019). Desse modo, é importante a realização de estudos sobre a qualidade da água, que demonstre em índices as variações observadas.

Este estudo teve como objetivo diagnosticar a qualidade da água em trecho do rio Machado, localizado na região central do estado de Rondônia, Amazônia Ocidental, utilizando o IQA e o IET, a fim de proporcionar uma fácil interpretação dos resultados, tanto para os gestores dos recursos hídricos, pesquisadores e acadêmicos, quanto para a população em geral.

Material e Métodos

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Machado (ou Ji-Paraná) é a que possui a maior extensão territorial do estado de Rondônia, com área de drenagem de aproximadamente 80.630,56 km² cortando o estado de norte a sul, destacando-se que a principal rodovia (BR-364), está predominantemente localizada na bacia (Silva e Zuffo 2003; Dias 2015).

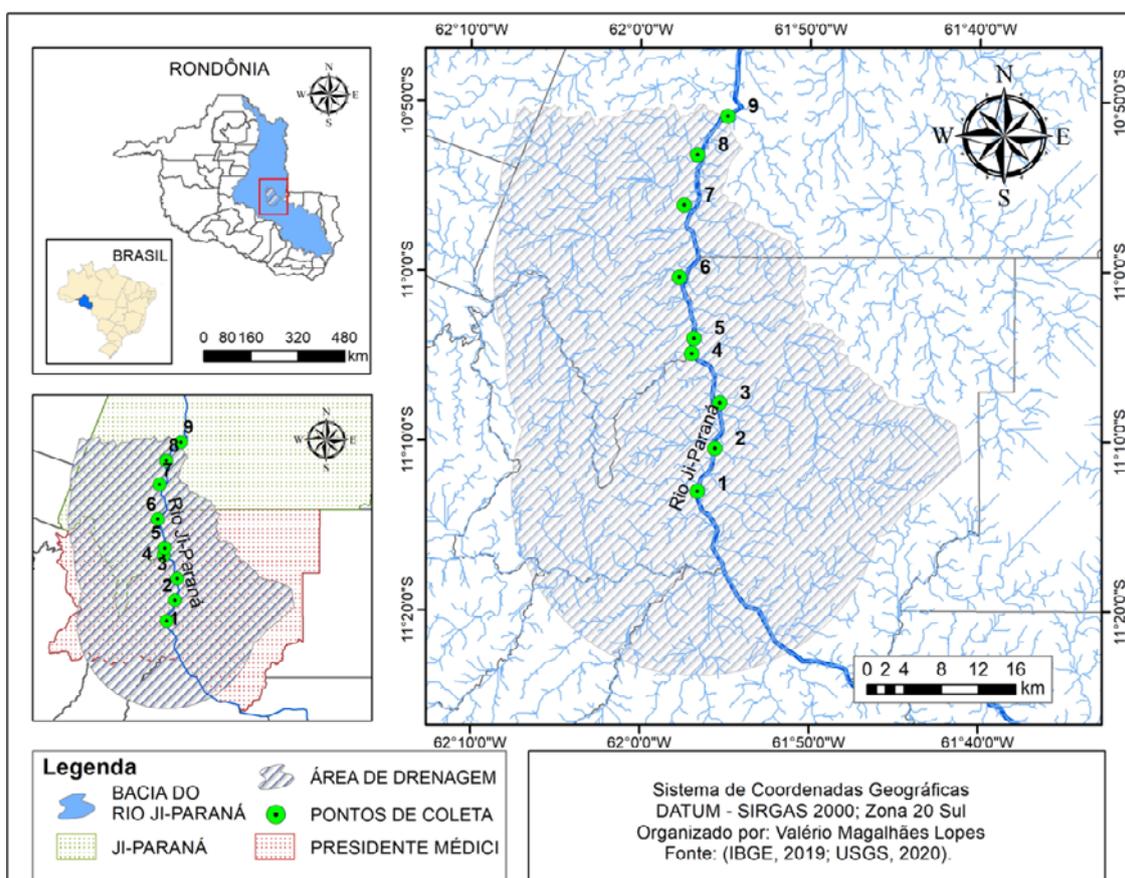
O rio Machado, o principal da bacia, o qual dá o nome a mesma, é assim identificado após a confluência dos rios Barão de Melgaço ou Comemoração e Pimenta Bueno ou Apediá, nas proximidades da cidade de Pimenta Bueno, estando suas nascentes localizadas no município de Vilhena e, sua foz, situada à margem direita do rio Madeira, próximo à vila Calama, com comprimento total de aproximadamente 972 km, com larguras variando entre 150 a 500 metros ao longo do canal (Krusche et al. 2005; Kunzler e Barbosa 2010).

A região central da bacia hidrográfica do rio Machado, onde realizou-se o presente estudo apresenta clima Aw - Clima Tropical Chuvoso, com período (3 meses) seco bem definido, durante o inverno, quando ocorre no Estado de Rondônia um déficit hídrico, com índices pluviométricos inferiores a 50 mm/mês (Dias 2015).

Geologicamente há a predominância do embasamento cristalino pré-cambriano, denominado Complexo Jamari. Quanto ao relevo, destaca-se a superfície aplainada do sul da Amazônia, com altitude média variando entre 130 a 580 metros com cobertura vegetal dominante composta por floresta ombrófila aberta submontana e relevantes áreas de pastagem. As classes de solo com maior domínio são os argissolos vermelho-amarelos distróficos (Adamy 2010; Dias 2015).

A área de estudo localiza-se em um trecho do rio Machado (Fig. 1), entre as coordenadas 11°12'59,5"S - 61°56'36,9"O e 10°50'53,9"S - 61°54'52,7"O, compreendendo os municípios de Presidente Médici e Ji-Paraná em Rondônia, com sentido de drenagem do ponto 1 (P1) para o ponto 9 (P9).

Figura 1. Mapa de localização e drenagem mais próxima dos pontos amostrais



As características gerais de cada ponto amostral estão apresentadas na tabela 1, sendo que o principal critério para a escolha dos mesmos foi a possibilidade de a área de drenagem indicar as potenciais fontes de poluição (pontuais ou difusas) do trecho em estudo, além do acesso ao local com embarcação ou via terrestre.

Tabela 1. Características dos pontos amostrais com suas respectivas coordenadas geográficas

Ponto	Descrição	Coordenadas	
P1	Ponto mais afastado da área urbana de Presidente Médici, possui pouca vegetação e apresenta atividade pecuária, localiza-se na margem esquerda do rio Machado.	S	11° 12' 59,5"
		O	61° 56' 36,9"
P2	Ponto localizado a aproximadamente 5 metros a jusante da captação de água para abastecimento público do município de Presidente Médici, na margem direita do rio Machado. Recebe influência da área de drenagem urbana.	S	11° 10' 26,63"
		O	61° 55' 35,1"
P3	Ponto localizado a aproximadamente 15 metros a jusante da foz do igarapé Leitão, na margem direita do rio Machado, apresenta uma faixa de vegetação ao entorno, entre 80 a 100 metros.	S	11° 07' 47,24"
		O	61° 55' 18,63"
P4	Ponto localizado no limite territorial do distrito Bandeira Branca, na margem direita do rio Machado, a região apresenta grandes áreas de pastagens.	S	11° 04' 54,12"
		O	61° 56' 58,65"
P5	Ponto localizado a aproximadamente 10 metros a jusante do lançamento de efluentes de um curtume, na margem direita do rio Machado.	S	11° 03' 58,07"
		O	61° 56' 50,43"
P6	Ponto localizado a aproximadamente 200 metros a jusante de uma draga de areia e cascalho, na margem esquerda do rio Machado, havendo atividade de pecuária no entorno.	S	11° 00' 23,60"
		O	61° 57' 42,40"
P7	Ponto localizado a aproximadamente 850 metros a jusante do lançamento de efluentes de um frigorífico de bovinos, na margem esquerda do rio Machado, logo após um meandro do rio, quanto à vegetação, observa-se uma boa preservação da APP (Área de preservação Permanente).	S	10° 56' 08,31"
		O	61° 57' 26,61"
P8	Localizado à aproximadamente 15 metros a jusante da foz do igarapé Dois de Abril, na margem esquerda do rio Machado, com presença de área urbana no entorno e pouca vegetação.	S	10° 53' 10,2"
		O	61° 56' 38,9"
P9	Ponto mais afastado da área urbana de Ji - Paraná, localiza-se na margem direita do rio Machado, há presença de atividade pecuária e pouca vegetação ao entorno, enquanto do lado esquerdo há a presença de uma ilha com boa preservação da vegetação.	S	10° 50' 53,9"
		O	61° 54' 52,7"

Coletas amostrais

Para a coleta das amostras de água seguiu-se as orientações contidas no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (Brandão et al. 2011) e do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1976, 1998, 2005, 2012). As coletas foram realizadas trimestralmente, sendo a primeira coleta no mês de junho/2019, (vazante, ou seja, período em que a vazão começa diminuir), a segunda coleta no mês de setembro/2019 (seca, ou seja, período em que a vazão atinge os menores valores), a terceira coleta no mês de dezembro/2019 (enchente, ou seja, período que a vazão começa ascender) e a quarta coleta no mês de março/2020 (cheia, ou seja, período que a vazão atinge os picos máximos), assim tendo a representatividade de toda sazonalidade hidrológica anual do rio.

Variáveis de qualidade de água

Os parâmetros físico-químicos (temperatura, pH e turbidez) foram medidos em campo, com em triplicata, com auxílio de equipamentos portáteis (Tabela 2), previamente calibrados. O parâmetro oxigênio dissolvido (OD) foi fixado em campo, para posterior análise no laboratório.

Os parâmetros OD, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos totais (ST), fósforo total (PT), nitrato (NT), *Escherichia coli* (EC) e clorofila *a* (Cla) foram analisados em duplicata, seguindo os métodos de descritos na Tabela 2, no Laboratório de Química Geral, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus Ji-Paraná*.

Tabela 2. Parâmetros analisados na água do rio Machado com suas respectivas metodologias e referências normativas

Parâmetro	Metodologia	Referência normativa
Temperatura	Sonda multiparamétrica	APHA, 2005
pH	Sonda multiparamétrica	APHA, 2005
Turbidez	Nefelométrico / (Turbidímetro)	APHA, 2012
Oxigênio Dissolvido	Titulométrico / Winkler modificado pela azida sódica	APHA, 2005
Demanda bioquímica de oxigênio	Incubação 20° C, cinco dias	ABNT na NBR 12614/1992
Nitrato	Colorimétrico / Brucina	APHA, 1976
Sólidos totais	Gravimétrico	ABNT na NBR 10664/1989
Coliformes termotolerantes (<i>Escherichia coli</i>)	Membrana filtrante com detecção através de substrato cromogênico	APHA, 2012
Fósforo total	Colorimétrico / Digestão Alcalina e ácido ascórbico	APHA, 1998
Clorofila <i>a</i>	Tricromático/ espectrofométrico com extração em acetona 90%	APHA, 2012

Cálculo do IQA

Para calcular o IQA utilizou-se o *software QualiGraf* (versão 1.17), obtido de forma gratuita, disponível na página eletrônica da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Esse *software* apresenta, para efeito de comparações, padrões de análise estatística estabelecidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) (FUNCEME 2015).

Cálculo do IET

Primeiramente calculou-se os IET's de clorofila *a* e fósforo total, conforme as Equações 1 e 2 a seguir.

Equação 1:

$$\text{IET (CLa)} = 10 \cdot \left\{ 6 - \left[\frac{0,7 - 0,6 \cdot \ln(\text{CLa})}{\ln(2)} \right] \right\} - 20$$

Equação 2:

$$\text{IET (PT)} = 10 \cdot \left\{ 6 - \left[\frac{0,42 - 0,36 \cdot \ln(\text{PT})}{\ln(2)} \right] \right\} - 20$$

Onde:

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em µg/L;

CLa: concentração de clorofila *a* medida à superfície da água, em µg/L;

ln: logaritmo natural.

Para o IET geral calculou-se a média aritmética entre o IET (CL *a*) e IET (PT) conforme a equação (3) proposta por Roveri et al. (2020) para rios.

Equação 3:

$$\text{IET} = [\text{IET} (\text{CLa}) + \text{IET} (\text{PT})] / 2$$

Os valores obtidos pela equação anterior foram interpretados a um nível de ponderação, determinados na tabela 3.

Tabela 3. Classificação do IET para ambientes lóticos segundo o Índice de Carlson modificado.

Valor do IET	Classes de estado trófico	Cor
$\text{IET} \leq 47$	Ultraoligotrófico	Azul
$47 < \text{IET} \leq 52$	Oligotrófico	Verde
$52 < \text{IET} \leq 59$	Mesotrófico	Amarelo
$59 < \text{IET} \leq 63$	Eutrófico	Alaranjado
$63 < \text{IET} \leq 67$	Supereutrófico	Vermelho
$\text{IET} > 67$	Hipereutrófico	Violeta

Fonte: Adaptado de CETESB (2013).

Análise estatística

Os dados brutos foram tabulados e organizados em planilhas utilizando-se o programa *Microsoft Excel* 2010, sendo calculadas as médias e os desvios padrões de cada parâmetro da qualidade da água. A normalidade do conjunto de dados foi realizada com o teste de *Shapiro-Wilk* (W) ($\alpha = 0,05$). Para os conjuntos de dados paramétricos aplicou-se o teste Análise de Variância bifatorial (*Two-Way ANOVA*) ($p < 0,05$) para verificação da ocorrência de variações significativas dos parâmetros analisados ao longo dos pontos de coleta (espaço), períodos de coleta (tempo) e interação dos dois fatores (Piratoba et al. 2017; Harfuch et al. 2019). Todos os testes estatísticos e a confecção dos gráficos foram realizados com o auxílio do *software GraphPad Prism 6*.

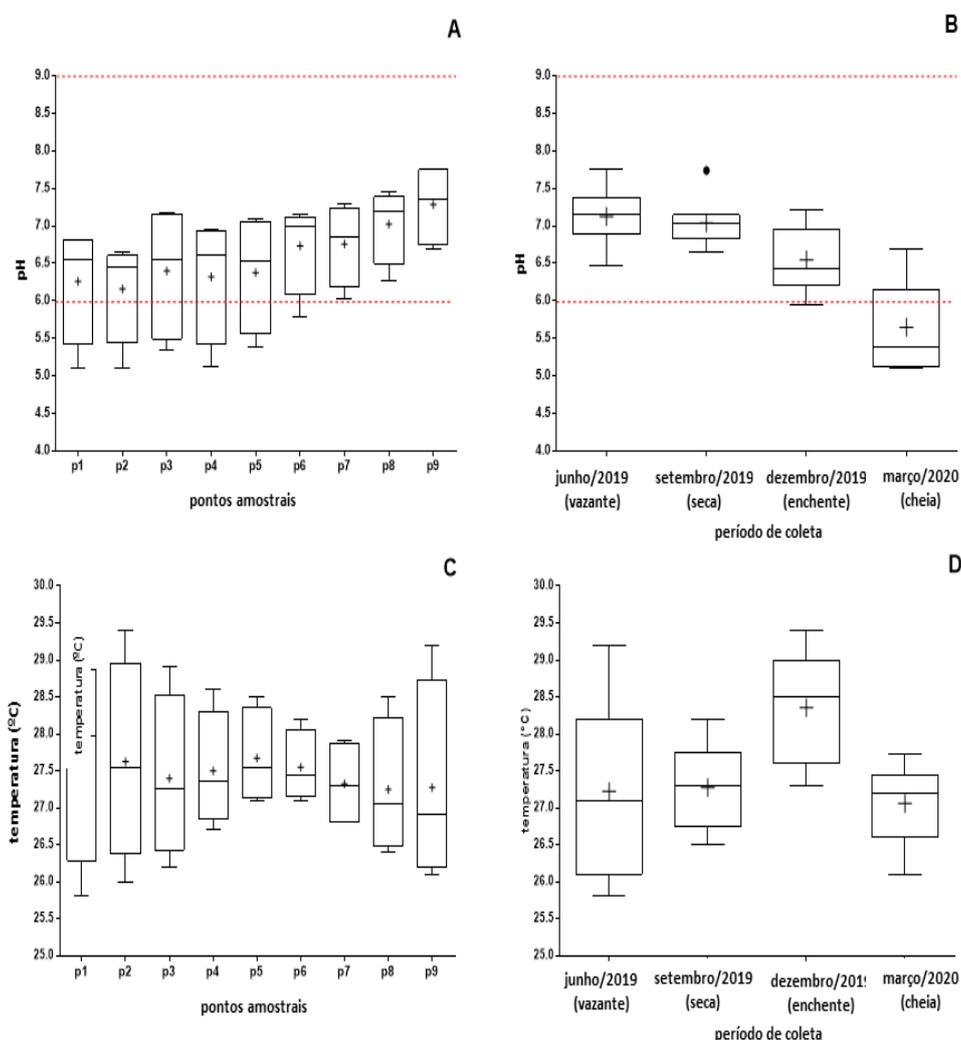
Resultados e discussão

Os resultados individualizados das variáveis de qualidade da água foram interpretados de acordo com a Resolução nº 357 de 17 de março de 2005 estabelecida pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), a qual estabelece as condições e padrões de qualidade das águas com limites para cada parâmetro em cada classe. Destarte, como o rio Machado não possui enquadramento, o mesmo é definido como rio classe II (CONAMA 2005).

O parâmetro pH apresentou variações significativas (ANOVA: $p < 0,0001$), tanto entre os pontos amostrais (Figura 2A), quanto entre os períodos de coleta (Figura 2B). O período de cheia, com a média de $5,64 \pm 0,57$, esteve em desconformidade com a Resolução CONAMA nº 357/2005, que estabelece pH entre 6,0 a 9,0 para rios classe II.

A acidificação para este período pode estar relacionada com a decomposição da matéria orgânica, a qual tem sua concentração elevada em virtude do escoamento superficial durante os períodos de chuva, sendo que esta mesma característica também foi discutida por outros autores em estudos de rios amazônicos (Damasceno et al. 2015; Medeiros et al. 2018; Silva et al. 2019), tratando-se, portanto, de uma condição natural. Conforme Esteves e Furtado (2011), apesar do pH ser um parâmetro importante em estudos limnológicos, sua interpretação é dificultada pela quantidade de fatores que o podem afetar. A interação entre os fatores espaço e tempo também apresentou variação estatística significativa (ANOVA: $p = 0,0003$).

Figura 2. Variação espacial e sazonal dos parâmetros pH e temperatura no rio Machado (RO), de junho de 2019 a março de 2020. Legenda: + média; • outlier; ---- Limite estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357/2005 para ambientes lóticos classe II.



O parâmetro temperatura para comparação entre os pontos amostrais (Figura 2C) (ANOVA: $p = 0,2896$), foi observado apenas a interferência da amplitude térmica ao longo do dia, que de acordo com Damasceno et al. (2015), é uma variação considerada característica em rios da região amazônica. Quando comparado os períodos de coleta (Figura 2D), a variação nas médias de temperatura foi significativa (ANOVA: $p < 0,0001$), para o período de enchente foi obtida a maior média de temperatura da água $28,35 \pm 0,74$ °C e no período de cheia a menor $27,06 \pm 0,53$ °C. Quando analisada a interação entre os fatores espaço e tempo o teste estatístico apresentou variação significativa (ANOVA: $p < 0,0001$).

Para o parâmetro turbidez, a análise estatística de variância comprovou que há diferença significativa entre os pontos amostrais (Figura 3A), os períodos do ano (Figura 3B) e na interação entre os dois fatores (ANOVA: $p < 0,0001$). Todavia, destaca-se os pontos P1, P2, P3, P4, P5 e P6, que apresentaram valores de turbidez acima de 100 UNT, valor limite estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357/2005, na campanha de coleta do período de enchente, evidenciando a interferência do escoamento superficial na época das chuvas, em especial em áreas com predominância de pastagens.

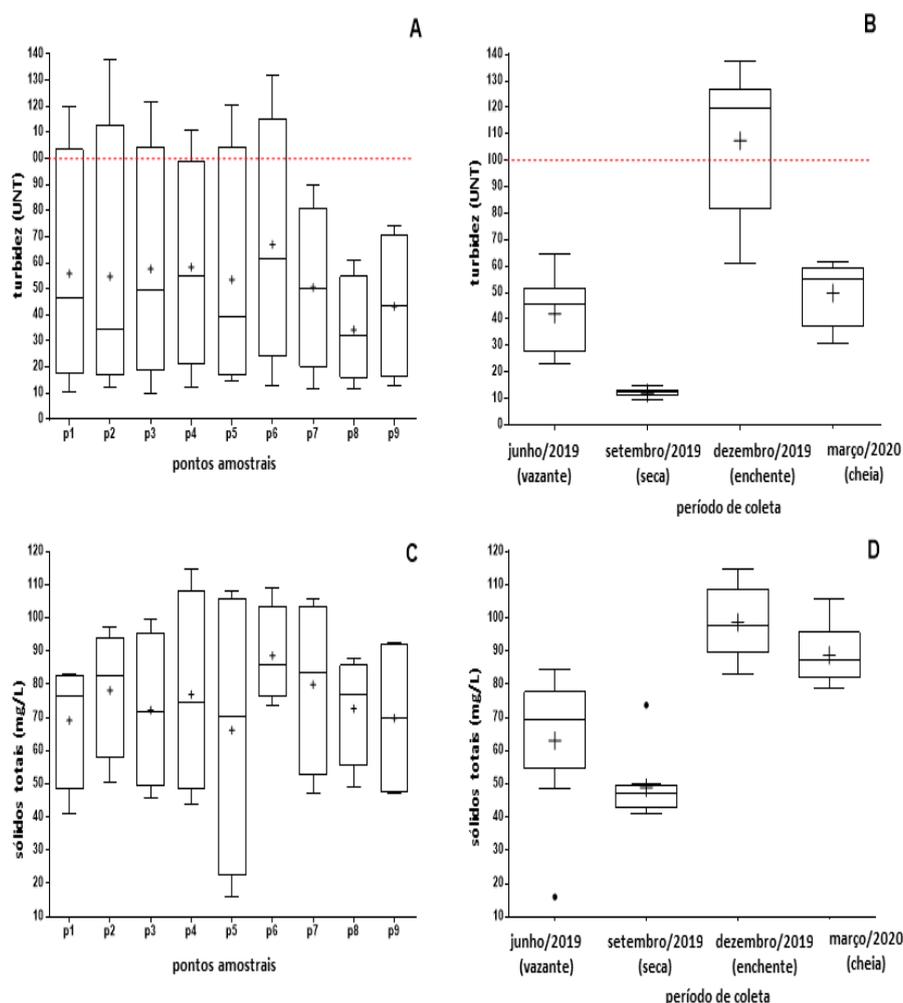
Na variação sazonal, a menor média obtida foi de $12,08 \pm 1,45$ UNT para o período de seca e maior média $107,44 \pm 26,52$ UNT durante o período de enchente, muito em virtude do processo de aporte de sedimento pelo escoamento superficial na bacia, corroborando com o estudo de Libânio e Sardinha (2020). Embora esses autores obtiveram valores de turbidez em conformidade com a legislação, variando entre 4 UNT no período de seca e 41,80 UNT no período chuvoso, no rio Muzambo - MG, correlacionaram o aumento da turbidez com o processo de escoamento do entorno do rio.

O parâmetro sólido total (ST) não é contemplado na Resolução CONAMA n° 357/2005, porém serve de indicativo para os sólidos totais dissolvidos (STD), visto este ser uma fração do ST. Desta forma, foi possível constatar que durante todo o período de coleta e pontos amostrais esta variável esteve em conformidade com o valor máximo permitido para rios classe II conforme a Resolução CONAMA n° 357/2005, que estipula um valor de 500 mg/L de STD.

A variação espacial do parâmetro ST foi significativa (Figura 3C) (ANOVA: $p = 0,0003$), sendo que no ponto amostral (P6) obteve-se a maior média geral $88,64 \pm 14,77$ mg/L, inclusive com a maior média registrada no período de seca $73,75 \pm 0,35$ mg/L. Este ponto está localizado a jusante de uma draga de areia e cascalho (Fig. 3), a qual estava funcionando no momento da coleta, o que pode ter contribuído, principalmente para a média mais elevada no período de seca, o que corrobora com o estudo de Esteves et al. (2019), que obtiveram maiores concentrações de STD no período seco (210 mg/L e 268,2 mg/L), no rio Paripe/ SE, em pontos amostrais sob influência de extração de areia no leito do rio.

Quanto a sazonalidade (ANOVA: $p < 0,0001$), a concentração de ST foi maior nos períodos de enchente e cheia, com médias de $98,69 \pm 10,45$ mg/L e $88,77 \pm 8,73$ mg/L, respectivamente, ficando evidente que o tipo de uso do solo, com a predominância de pastagens, favorece ao aporte de sedimentos para os cursos de água, principalmente no período de precipitações extremas. De forma semelhante, Medeiros et al. (2018), estudando a qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Longá no Estado do Piauí, correlacionaram o aumento da concentração dos ST com a atividade pecuária, visto que a pastagem ocupa o lugar da mata nativa, o que favorece a erosão e perda do solo para os corpos hídricos.

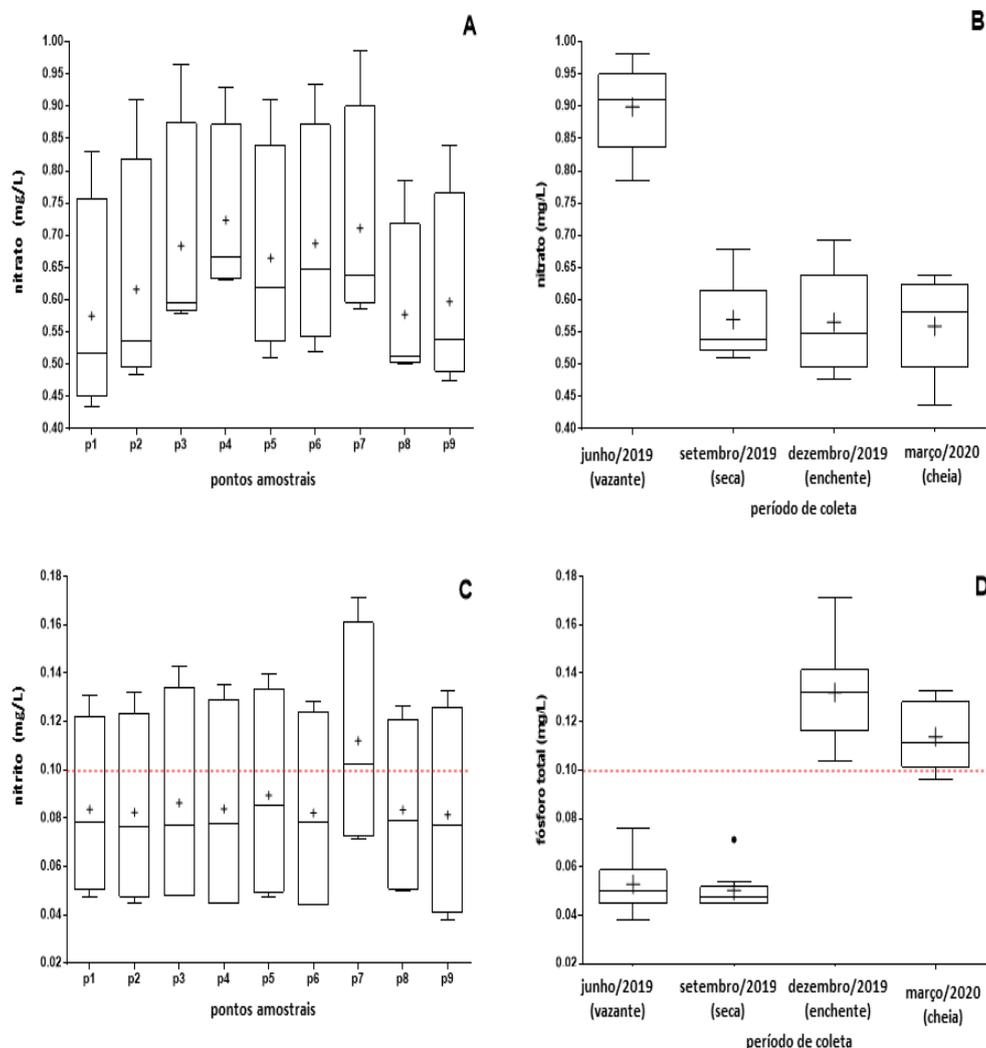
Figura 3. Variação espacial e sazonal dos parâmetros turbidez e sólidos totais no rio Machado (RO), de junho de 2019 a março de 2020. Legenda: + média; • outlier; ----- Limite estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357/2005 para ambientes lóticos classe II.



Na avaliação da concentração de nutrientes no trecho do rio Machado em estudo, o ânion nitrato apresentou variação estatística significativa (ANOVA: $p < 0,0001$) na média entre os pontos amostrais (Figura 4A) e entre os períodos (Figura 4B), porém não apresentou diferença significativa (ANOVA: $p = 0,0854$), na interação entre os dois fatores.

As médias de concentração para nitrato ficaram dentro do estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357/2005, que permite para rios classe II valores máximos de 10 mg/L (CONAMA, 2005). No ponto P7 foi obtida a maior concentração, que ocorreu na coleta do período de vazante ($0,981 \pm 0,078$ mg/L), porém a maior média na distribuição espacial $0,723 \pm 0,144$ mg/L foi registrada no P4 e na distribuição temporal a maior média $0,898 \pm 0,067$ mg/L ocorreu no período de vazante.

Figura 4. Variação espacial e sazonal dos parâmetros nitrato e fósforo total no rio Machado (RO), de junho de 2019 a março de 2020. Legenda: + média; • outlier; ---- Limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357/2005 para ambientes lóticos classe II.



Com um perfil de distribuição quase constante e homogêneo ao longo do curso do rio e dos períodos de coleta, e os valores sendo considerados baixos, infere-se que o nitrato recebeu maior influência do tipo do uso do solo, haja visto que na região há o predomínio da atividade de pecuária (Pontuschka et al. 2021). Esta mesma forma de distribuição homogênea e quase que constante nas concentrações de nitrato ao longo do percurso de um rio também foi observada por Dias et al. (2018) durante o estudo de caracterização da qualidade das águas superficiais da microbacia do córrego da Arara em Sandovalina/SP, obtiveram valores entre 1,15 e 1,72 mg/L de nitrato.

Por quanto, Abreu e Cunha (2017), obtiveram concentrações maiores e mais heterogêneas de nitrato no rio Jari, que variaram de 0,10 a 1,9 mg/L no período de setembro de 2013 a junho de 2014, porém não apresentaram variação temporal significativa ($p > 0,05$). No entanto, Stefanello e Souza (2018) obtiveram valores mais heterogêneos e com maior influência da sazonalidade, sendo as maiores concentrações de nitrato, mínima 2,6 mg/L e máximo 9,67 mg/L obtidas no período de estiagem, enquanto no período de cheia os valores variaram entre 1,61 mg/L a 2,55 mg/L.

Para o fósforo total o resultado do teste estatístico de variância das médias apresentou diferença estatística significativa entre os pontos amostrais (Figura 4C), períodos de coleta (Figura 4D) e na interação entre os dois fatores (ANOVA: $p < 0,0001$). As concentrações de fósforo total na distribuição espacial, assim como para o nitrato, tiveram uma distribuição homogênea, com destaque apenas para o P7, o qual apresentou as maiores variações de fósforo durante as quatro campanhas de coleta, sendo possivelmente, influenciado pelo efluente de um frigorífico de bovinos. Esse resultado corrobora com o estudo de Rodrigues et al. (2019), os quais em avaliação da influência do uso e cobertura da terra em parâmetros quantitativos e de qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Pirapozinho - SP, correlacionaram os elevados valores de fósforo total, em um dos pontos de coleta, com o lançamento de efluentes de um frigorífico.

Na distribuição temporal do fósforo total, a concentração média variou entre $0,0502 \pm 0,0084$ mg/L durante a campanha do período de seca à $0,1321 \pm 0,0203$ mg/L no período de enchente, sendo que neste último, todos pontos amostrais registraram valores em desconformidade com a Resolução CONAMA nº 357/2005, que determina a concentração de 0,1 mg/L para ambientes lóticos classe II (CONAMA, 2005). Para o período de cheia, com exceção dos pontos amostrais P1 e P2, os demais também estiveram em desconformidade, revelando a forte influência do escoamento superficial e esgotamento sanitário precário no aumento das concentrações deste parâmetro. Esta relação do aumento de fósforo total em períodos chuvosos, relacionados com o escoamento superficial de áreas agrícolas e de pastagens, também foi registrado no estudo realizado por Stefanello e Souza (2018), no córrego das Pitas no perímetro urbano do município de Araputanga/MT, assim como no estudo realizado por Rocha et al. (2019), rio Paraíso, no município de Jataí, GO, e também no estudo realizado por Gonzaga et al. (2021) na bacia do igarapé Belmolt - RO, no perímetro de transição entre área urbana/rural no município de Porto Velho, RO.

A Figura 5 A, representa a distribuição espacial do oxigênio dissolvido, com diferença significativa entre as médias (ANOVA: $p = 0,0020$), sendo que todos pontos amostrais ficaram com as médias em conformidade com a Resolução CONAMA nº 357/2005, que estabelece valor de OD não inferior a 5mg/L, sendo a menor média registrada no P8 com valor de $5,99 \pm 1,245$ mg/L de O_2 . Da mesma forma, as médias da distribuição temporal, variaram significativamente no teste estatístico (ANOVA: $p < 0,0001$), sendo a pior média obtida durante o período de cheia ($4,583 \pm 0,187$ mg/L), com todos os pontos amostrais ficando em desconformidade com a classificação da Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios classe II. Assim, visto a piora do pH, da turbidez e sólidos totais neste mesmo período, é possível inferir que a depleção do oxigênio está correlacionada com o aporte de sedimentos ricos em matéria orgânica vegetal (material alóctone), pois a decomposição deste material favorece tanto a acidificação do ambiente, por originar ácidos orgânicos e gás carbônico, como também o consumo de oxigênio (Silva e Oliveira 2014; Barcelos et al. 2017).

Pontuschka et al. (2021) avaliando a capacidade de autodepuração do rio Machado, através da curva de depleção do oxigênio dissolvido, também obteve baixas concentrações de oxigênio dissolvido durante o período de cheia, registrando a média de 4,7 mg/L. A DBO, uma forma analítica indireta para quantificar a influência da matéria orgânica em corpos de água (Von Sperli, 2007), apresentou diferença significativa entre as médias (ANOVA: $p = 0,0230$), assim como temporalmente (Figuras 5 C e D) e também apresentou diferença estatística significativa

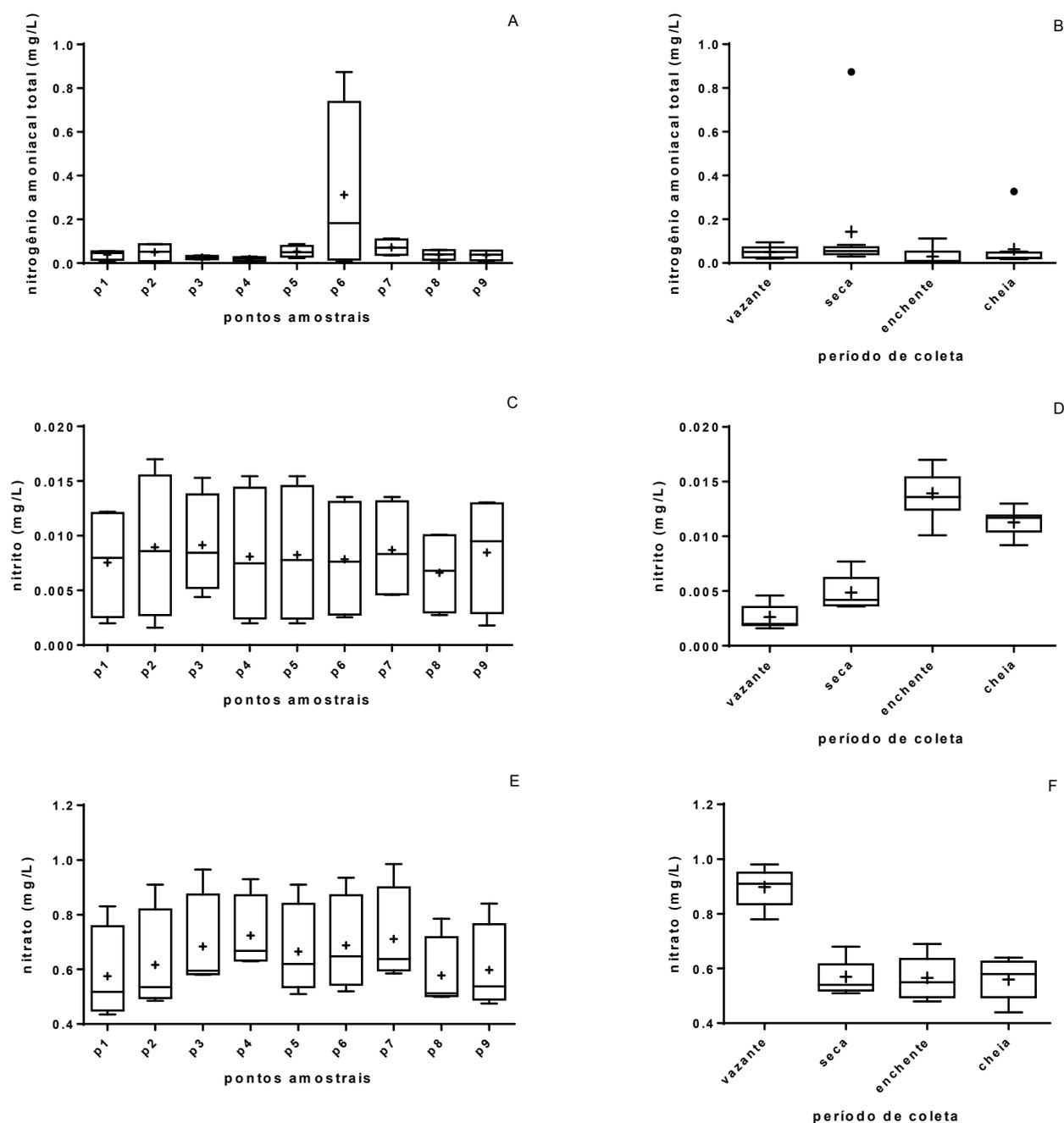
(ANOVA: $p < 0,0001$), bem como para a interação entre os dois fatores (ANOVA: $p = 0,0009$). Todas as médias de DBO obtidas durante o estudo ficaram em conformidade com a Resolução CONAMA n° 357/2005, que estabelece o valor de 5 mg/L de DBO para rios classe II (CONAMA, 2005), as quais são um indicativo que o trecho do rio Machado em estudo possui boa capacidade de oxigenação.

Quanto a avaliação temporal, os resultados revelam que o período chuvoso (correspondendo aos períodos de enchente e cheia do rio) corroboram com o estudo apresentado por Stefanello e Souza (2018) e Rodrigues et al. (2019), os quais também obtiveram as maiores concentrações de DBO durante os períodos chuvosos, e explicaram que este aumento pode ser decorrente do aumento da carga de matéria orgânica durante os eventos pluviométricos, em consequência da lixiviação do solo pelo escoamento superficial em áreas com predominância de pastagens.

Para a contagem de células de *E. coli* verificou-se que há efeito estatístico significativo na distribuição espacial (ANOVA: $p = 0,0398$) (Fig. 5E), assim como para a distribuição temporal (ANOVA: $p < 0,0001$) (Figura 5F). Porém, para a combinação entre os efeitos da sazonalidade e pontos de amostragens assumiu-se a hipótese nula (ANOVA: $p = 0,0782$). De acordo com a CETESB (2018), a presença de coliformes na água indica poluição, com o risco potencial da presença de organismos patogênicos, sendo a *E. coli* o único microrganismo do grupo dos coliformes termotolerantes de origem exclusivamente fecal.

Na comparação das médias entre os pontos amostrais, as maiores concentrações foram registradas no P7 (5.775 ± 6.033 UFC/100 ml), P9 (5.637 ± 7.110 UFC/100 ml), P2 (5.275 ± 7.167 UFC/100 ml), P8 (4.550 ± 4.079 UFC/100 ml) e P5 (4.537 ± 5.541 UFC/100 ml), sendo que esses pontos têm em comum a influência de fontes pontuais de efluentes industriais (P5 e P7) e esgoto doméstico das áreas urbanas de Presidente Médici (P2) e Ji-Paraná (P8 e P9). Além disso, todos pontos recebem contribuição da drenagem de áreas de pastagens e urbanas, ou seja, poluição difusa, contribuindo para o aumento de coliformes termotolerantes como resultado do escoamento de águas pluviais (Santos et al. 2018).

Figura 5. Variação espacial e sazonal dos parâmetros oxigênio dissolvido, DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), *Escherichia coli* e Clorofila *a* no rio Machado (RO), de junho de 2019 a março de 2020. Legenda: + média; ----- Limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357/2005 para ambientes lóticos classe II.



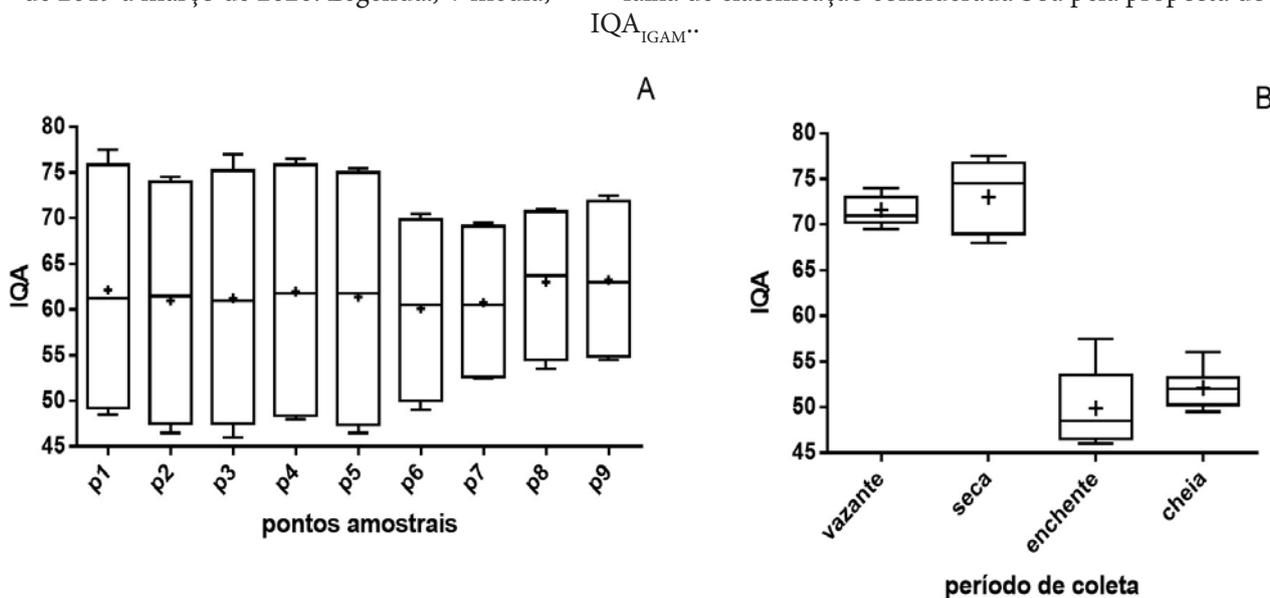
Quanto a distribuição sazonal, as maiores médias foram verificadas durante o período de enchente 11.611 ± 3.169 UFC/ 100ml e cheia 4.722 ± 1.438 UFC/100 ml, sendo que para esses dois períodos nenhum ponto amostral esteve em conformidade com a Resolução CONAMA n° 357/2005 para ambientes lóticos classe II. Fato semelhante foi obtido por Santos et al. (2018), avaliando o efeito sazonal na qualidade das águas superficiais do rio Jucu - ES, onde obtiveram concentrações mais elevadas no período chuvoso, com relação forte da poluição oriunda de fontes difusas, em virtude do carreamento de materiais orgânicos presentes no solo da bacia hidrográfica.

Dessa forma, apenas durante o período de vazante o rio teve todos os pontos monitorados em conformidade com a referida norma do Conselho Nacional do Meio Ambiente, sendo observado uma pequena melhora de qualidade neste aspecto quando comparado com o estudo de Stein et al. (2020), no qual os autores analisaram o aspecto de balneabilidade em 4 pontos amostrais na área urbana do município de Ji-Paraná, durante o início do período de vazante (abril-maio/2019), e os valores de *E. coli* foram superiores a 800 UFC/100ml em mais de 20% do tempo, caracterizando as águas de todos pontos como impróprias para atividades de balneabilidade de contato primário.

IQA

O resultado do índice da qualidade da água para o trecho do rio Machado em estudo é apresentado na Figura 6, sendo observado que há variação significativa das médias para a distribuição espacial (Figura 6A), para a distribuição temporal (Figura 6B), como também para a interação entre os dois fatores (ANOVA: $p < 0,0001$).

Figura 6. Variação espacial e sazonal do IQA-Índice da Qualidade da Água no rio Machado (RO), de junho de 2019 a março de 2020. Legenda: + média; - - - - faixa de classificação considerada boa pela proposta do



Em virtude do estado de Rondônia não possuir IQA estabelecido pela sua agência de tratamento de água ou órgão ambiental, os valores foram confrontados comparados tanto com a classificação proposta pelo IQA_{CETESB}, quanto pelo IQA_{IGAM}, visto que em nível de gestão das águas nacionais, são os mais difundidos oficialmente entre os estados que adotam algum tipo de indicador (ANA, 2021b). Assim, quando comparados os resultados com a classificação proposta pelo IQA_{CETESB} para água destinada para abastecimento público, em 100 % da amostragem a água pode ser utilizada após tratamento convencional. No entanto quando aplicado a faixa de classificação do IQA_{IGAM}, os pontos P1, P2, P3, P4, P5 e P6 no período de enchente e os pontos P4 e P5 no período de cheia, ou seja, 22,23% dos valores para todo período de coleta, apontam que a água precisa passar por um tratamento mais sofisticado, antes de ser distribuída.

Os pontos amostrais P3, P2 e P5 durante o período de enchente apresentaram os menores valores de IQA sendo $46 \pm 0,0$; $46,50 \pm 0,71$ e $46,50 \pm 2,12$ respectivamente, classificados como regular (IQA_{CETESB}) e ruim (IQA_{IGAM}). Supõe-se que estes pontos sofrem forte influência tanto de fontes de poluição pontual, quanto fontes difusas, pois o ponto amostral (P3) está localizado à jusante da foz do Igarapé Leitão, que drena áreas de pastagens e recebe parcela do esgotamento sanitário do município de Presidente Médici; o ponto (P2) recebe influência do escoamento superficial de áreas de pastagens e da área urbana de Presidente Médici e o ponto (P5), à jusante do lançamento de efluentes de uma indústria de curtimento de couros.

Quanto a sazonalidade, o período de enchente apresentou a pior média $49,89 \pm 4,03$, sendo o trecho classificado como regular pelo IQA_{CETESB} . Porém, o IQA_{IGAM} classifica o mesmo trecho, durante o mesmo período de coleta, com águas de qualidade ruim, podendo atribuir para estes valores mais baixos de qualidade, a piora dos parâmetros, sólidos totais, fósforo total, turbidez e, principalmente, as elevadas concentrações de *E. coli*. O IQA obtido no período de enchente poderia ser ainda pior, visto que apesar de alguns parâmetros estarem fora dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, outros que interferem de maneira significativa, como por exemplo o oxigênio dissolvido e pH, apresentaram valores adequados.

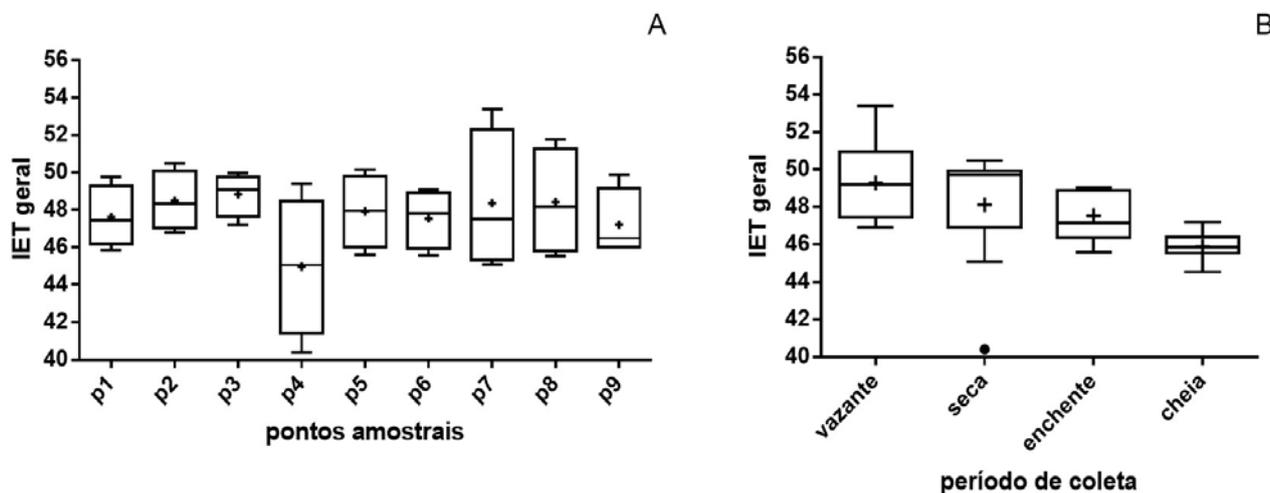
O fato supracitado é conhecido como efeito “eclipse” é muito comum em dados de indicadores composto por um número elevado de variáveis, ou seja, acabam mascarando ou atenuando o impacto negativo de uma das variáveis, frente aquelas que estão adequadas, daí a importância da avaliação individualizada de cada parâmetro (Silva et al. 2014). Diversos estudos apontam que a *E. coli* por apresentar um peso maior na composição do IQA, quando este parâmetro apresenta valores elevados, a tendência é o valor do IQA ser mais baixo (Menezes et al. 2016; Dondoni e Lima 2019; Silva et al. 2019), o que realmente pode ser observado, quando comparado a Figura 5F com a 6B, ou seja, altas concentrações de *E. coli* e IQA mais baixo.

Pereira et al. (2020), determinando o IET do manancial de abastecimento do município de Ji-Paraná - RO, no rio Urupá, afluente da margem esquerda do rio Machado, também obtiveram valores mais baixos durante o período chuvoso para o de PT e *E. coli*, os autores correlacionaram estes valores com a redução das concentrações em consequência da diluição dos nutrientes aportados no corpo hídrico.

IET

Estatisticamente, as médias do IET_{geral} apresentaram diferença significativa para a distribuição espacial (Figura 7A) (ANOVA: $p = 0,0006$), para a distribuição sazonal (Figura 7B) (ANOVA: $p < 0,0001$) e para a interação entre os dois fatores (ANOVA: $p = 0,0002$).

Figura 7. Variação espacial e sazonal para IET geral -Índice de Estado Trófico no rio Machado (RO), de junho de 2019 a março de 2020. Legenda: + média; • outlier; - - - - faixa de classificação oligotrófica.



A concentração de PT foi predominante para a composição do IET_{geral} , o que é compreensível diante das características dos ambientes lóticos, visto que a turbulência ocasionada pelos desníveis altimétricos, a alta velocidade e a formação de cascatas e corredeiras dificultam a determinação da Cla, e assim a eutrofização seria incomum, a não ser em áreas de remanso (Queiroz et al. 2020). Da mesma forma, Simonetti, Silva e Rosa (2019), em estudo da influência das atividades antrópicas sobre a qualidade da água da APA Itupararanga - SP, observaram a mesma predominância do IET (FT) sobre o IET (Cla) em ambientes lóticos, tanto no período seco quanto para o período chuvoso.

Para a distribuição espacial, os valores obtidos para IET variaram entre $40,4 \pm 0,23$ para o ponto P4 durante o período de seca à $53,38 \pm 0,76$ para o ponto P7 durante o período de vazante, demonstrando que entre os pontos o grau de trofia variou entre ultraoligotrófico ($IET \leq 47$) a mesotrófico ($52 < IET \leq 59$), sendo que a maioria dos pontos podem ser classificados como oligotróficos ($47 < IET \leq 52$). Para a distribuição com influência da sazonalidade obteve-se para os períodos de vazante, seca e enchente uma classificação oligotrófica, enquanto o período de cheia apresentou uma trofia ultraoligotrófica.

O valor médio para todo o curso de água considerando os quatro períodos foi de $47,92 \pm 1,14$, o que converge para a categoria oligotrófica, ou seja, há uma baixa produtividade não sendo fator de interferência quanto ao uso da água em decorrência da presença de nutrientes. Resultado semelhante foi obtido por Vasconcellos et al. (2021), avaliando o risco e cenários futuros de qualidade da água para o rio Tapajós, no estado do Pará. Os autores obtiveram valores do IET, que variaram entre 48 a 51, classificando o corpo hídrico como oligotrófico. Porém, Harfuch et al. (2019), ao estudarem a qualidade das águas do rio Pirapó - PR e alguns de seus tributários, obtiveram valores que consideraram relativamente elevados e com pouca variação entre os pontos de amostragem investigados, que variaram entre 58 e 59, caracterizando os ambientes como mesotróficos.

Tais considerações também foram realizadas por Pereira et al. (2020), ao estudarem a eutrofização das águas do rio Urupá no Estado de Rondônia. As atividades de maior impacto no período das chuvas são aquelas cuja poluição apresentam natureza difusa, que através das chuvas, promove o escoamento superficial, o carreamento e lixiviação dos poluentes presentes no solo para o rio, como proveniente das atividades agropecuárias e das cidades.

Conclusões

A área de estudo apresenta como principal uso do solo a atividade agropecuária, em especial a pecuária de corte extensiva, e apesar do segundo uso ser área de vegetação, foi observado que grande parte do canal principal do rio Machado não possui a proteção e conservação das faixas de APP's, fatores que favorecem ao aporte de sedimentos e diversas substâncias pelo escoamento superficial, principalmente em períodos de precipitações extremas.

Os índices IQA e IET se mostraram boas ferramentas de auxílio para a gestão das águas para este trecho do rio Machado em estudo. Os cálculos do IQA revelaram que para o período de enchente a água apresenta a pior qualidade ($49,89 \pm 4,03$), sendo classificada como “regular” pela faixa de classificação adotada pela CETESB e “ruim” pela classificação do IGAM, significando que para fins de abastecimento humano a água precisa passar por tratamento complementar.

De forma geral, considerando todo o trecho do curso de água em estudo e os quatro períodos de coleta, a classificação da água pelo IQA foi considerada boa, sendo que os parâmetros de maior influência na qualidade foram a turbidez, sólidos totais, fósforo total e principalmente a *Escherichia coli*.

O IET obtido durante todos os períodos de coleta e pontos amostrais apresentou comportamento similar, classificando as águas em nível oligotrófico, ou seja, com baixas concentrações de nutrientes. O IET para fósforo total teve maior contribuição para a classificação geral. Estes valores considerados bons, podem ser relacionados tanto a autodepuração e poder de diluição do rio Machado, diante sua considerável vazão, leito formado por rochas e cascalhos e por possuir várias regiões encachoeiradas, fatores que promovem a aeração e, conseqüentemente, há o aumento das concentrações de OD, quanto também pelo fato das fontes de potencial poluição pontual estarem localizadas, em sua maioria, nas proximidades dos rios de menor porte que compõe a área de drenagem.

Por fim, as informações aqui apresentadas podem servir como fonte inicial para proposta de enquadramento do rio Machado baseado na Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 e nas Resoluções nº 91 de 05 de novembro de 2008 do CNRH e nº 357 de 17 de março de 2005 da CONAMA, visto a grande importância do rio e de sua bacia para o contínuo progresso do Estado de Rondônia.

Agradecimentos

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES); ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua Polo Ji-Paraná da Universidade Federal de Rondônia, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico e científico e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), pela disponibilização da infraestrutura do laboratório

Participação dos autores: VML - levantamento bibliográfico, coleta de dados primários e secundários, tabulação de dados, análise de dados, preparação e revisão do manuscrito; JVDF - preparação e revisão do manuscrito; FBH - orientadora da pesquisa e revisão do manuscrito

Aprovação ética ou licenças de pesquisa: não se aplica.

Disponibilidade dos dados: Manuscrito oriundo de dissertação disponível no repositório da Universidade Federal de Rondônia (UNIR) - <https://ri.unir.br/jspui/handle/123456789/3061>.

Fomento: Universidade Federal de Rondônia (UNIR) e Projeto CAPES/ANA AUXPE nº 2717/2015.

Conflito de Interesses: Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1989. NBR 10664 - Determinação de resíduos (sólidos) - Método gravimétrico. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1992. NBR 12614 - Determinação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) - Método de incubação (20° C, 5 dias). Rio de Janeiro: ABNT.
- Abreu CHM, Cunha AC. 2017. Qualidade da água e índice trófico em rio de ecossistema tropical sob impacto ambiental. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 22(1): 45-56. DOI <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016144803>
- Adamy A. 2010. Geodiversidade do Estado de Rondônia. Porto Velho: CPRM, 337 p.
- Alves WS, Morais WA, Oliveira LD, Pereira MAB, Martins AP, Vasconcelos SMA, Ramalho FL. 2019. Análise das relações entre uso do solo e qualidade da água do Lago Bonsucesso, em Jataí, Estado de Goiás, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 12(1): 326-342. DOI <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.1.p326-342>
- Amâncio DV, Coelho G., Marques RFPV, Viola MR, Mello CR. 2018. Qualidade da água nas sub-bacias hidrográficas dos rios Capivari e Mortes, Minas Gerais. *Scientia Agraria* 19(1): 75-86. DOI <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v19i1.53175>
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2017. Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília: ANA.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2021. Indicadores de qualidade - Índice de qualidade das águas (IQA). Brasília: ANA.
- APHA. American Public Health Association; AWWA. American Water Works Association; WEF. Water Environment Federation. 1976. Standard methods for the examination of water and wastewater. ed. 14. Washington: APHA.
- APHA. American Public Health Association; AWWA. American Water Works Association; WEF. Water Environment Federation. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. ed. 20. Washington: APHA.
- APHA. American Public Health Association; AWWA. American Water Works Association; WEF. Water Environment Federation. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. ed. 21. Washington: APHA.
- APHA. American Public Health Association; AWWA. American Water Works Association; WEF. Water Environment Federation. 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. ed. 22. Washington: APHA.
- Barcelos AA, Ramalho FL, Cabral JBP, Santos W. 2017. Diagnóstico da qualidade das águas do córrego Sucuri (Caçu-Goiás). *Revista Brasileira de Geografia Física* 10(3): 750-766. DOI <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170049>
- Barreto LV, Fraga MS, Barros FM, Rocha FA, Amorim JS, Carvalho SR, Bonomo P., Silva DP. 2014. Relationship between stream flow and water quality in a river section. *Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science* 9(1): 118-129. DOI <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1278>
- Barros A., Guimarães V., Santana WSC. 2018. Aplicação de um índice de qualidade de água em dois trechos (urbano e rural) da bacia do córrego Guanandy, Aquidauana – MS. *Caderno de Geografia* 28(54): 630-649. DOI <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2018v28n54p630>
- Brandão CJ, Botelho MJC, Sato MIZ, Lamparelli MC. 2011. (Org.). Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: água, sedimento, comunidade aquática e efluentes líquidos. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art.

21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília: DOU de 09/01/1997. Brasília: MMA.

CETESB. Campanha Ambiental do Estado de São Paulo. 2018. Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2017. São Paulo: CETESB.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2005. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília: DOU de 18/03/2005. Paulo: CONAMA.

Correia Filho WLF, Santiago DB, Oliveira-Júnior JF, Silva Junior CA, Oliveira SRS, Silva EB, Teodoro PE. 2021. Analysis of environmental degradation in Maceió-Alagoas, Brazil via orbital sensors: A proposal for landscape intervention based on urban afforestation. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 24 100621. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100621>

Damasceno MC, Ribeiro HMC, Takiyama LR, Paula MT. 2015. Seasonal evaluation of the quality of surface waters of the Amazon River on the waterfront of Macapá City, Amapá, Brazil. *Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science* 10(3): 598-613. DOI <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1606>

Dias RHS. 2015. Análise do uso e ocupação do solo e do comportamento da bacia hidrográfica do rio Machado em eventos hidrológicos extremos. Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Rondônia.

Dias NO, Silva AT, Felici ME, Balarim NG, Ruiz YM. 2018. Caracterização da qualidade das águas superficiais da microbacia do córrego da Arara em Sandovalina-SP. *Colloquium Exactarum* 10(3): 1-8. DOI <https://doi.org/10.5747/ce.2018.v10.n3.e240>

Dondoni E., Lima GB. 2019. Avaliação da qualidade da água do rio Doce para fins de abastecimento humano por meio do IQA na cidade de Colatina - ES. *UNESC em Revista* 3(2): 1-17.

Esteves FA, Furtado ALS. 2011. Oxigênio dissolvido. In: Esteves FA. (Org.). *Fundamentos de Limnologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 167-192.

Esteves CS, Garcia CAB, Silva MG, Oliveira Junior JA, Costa SSL. 2019. Uso de índices multiparamétricos para avaliação física, química e biológica da água. *Brazilian Journal of Development* 5(11): 26404-26416. DOI <https://doi.org/10.34117/bjdv5n11-274>

Fia F., Tadeu HC, Menezes JPC, Fia FRL, Oliveira LFC. 2015. Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 20(1) 267-275. DOI <https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n1.p267-275>

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia. 2015. QUALIGRAF. Version. 17.

Gonzaga, LBT, Magalhães, VL, Hurtado, FB. 2021. Avaliação das concentrações de nutrientes e sólidos na bacia hidrográfica do igarapé Belmolt, Porto Velho/RO. *Diversitas Journal*. 6(4): 3848-3865. DOI <https://doi.org/10.48017/dj.v6i4.1785>

Harfuch CA, Oliveira FR, Meira BR, Cagni GS, Souza FR. 2019. Qualidade da água no trecho superior da bacia do rio Pirapó: um rio urbano no sul do Brasil. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental* 8(2): 513-538. DOI <https://doi.org/10.19177/rgsav8e22019513-538>

Krusche, AV, Ballester MVR, Victoria RL, Bernardes MC, Leite NK, Hanada L, Victoria DC, Toledo AM, Ometto JP, Moreira MZ, Gomes BM, Bolson, MA, Gouveia-Neto S, Bonelli N, Deegan, L, Neill C, Thomas S, Aufdenkampe AK, Richey JE. 2005. Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. *Acta Amazônica*. 35(2):197 – 205. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672005000200009>.

Kunzler JCS, Barbosa FAR. 2010 Recursos Hídricos Superficiais. In: Adamy A et al. (Org.). *Geodiversidade do Estado de Rondônia*. Porto Velho: CPRM, 5, p. 79-92

Libânio CR, Sardinha DS. 2020. Transporte anual de sedimentos e nutrientes do Rio Muzambo, tributário do reservatório de Furnas (MG). *Revista Mineira de Recursos Hídricos* 1(1): 1-20.

Medeiros WMV, Silva CE, Lins RPM. 2018. Avaliação sazonal e espacial da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Longá, Piauí, Brasil. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science* 13(2): 1-17. DOI <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2054>

Menezes JPC, Bittencout RP, Farias MS, Bello IP, Fia R., Oliveira LFC. 2016. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 21(3): 519-534. DOI <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016145405>

Pereira ES, Souza RA, Silva NR, Webler AD, Hurtado FB. 2020. Eutrofização e mudanças no regime hidrológico: um risco na bacia do rio Urupá, Amazônia brasileira. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* 11(7): 557-568. DOI <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0043>

Piratoba ARA, Ribeiro HMC, Morales GP, Gonçalves WG. 2017. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science* 12(3): 435-456. DOI <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1910>

Pontuschka RB, Rocha VG, Santos SM, Alonso NB, Dantas Filho JV, Lopes VM, Rosa BL, et al. 2021. Parâmetros limnológicos e microbiológicos do rio Machado e afluentes nas proximidades da cidade de Presidente Médici, Rondônia, Brasil. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* 12(5): 387-408. DOI <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.005.0032>

Queiroz TM, Lima AF, Galvanin EAS. 2020. Índice de estado trófico, baseado no fósforo, na bacia hidrográfica Paraguai-Diamantino em Mato Grosso, Brasil. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* 11(1): 300-308. DOI <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.001.0027>

Rocha HM, Cabral JBP, Batista DE, Oliveira LG. 2019. Avaliação físico-química e microbiológica das águas da bacia hidrográfica do rio Paraíso Jataí - GO. *Geosul* 34(72): 51-74. DOI <http://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n72p51>

Rodrigues BM, Osco LP, Antunes PA, Ramos APM. 2019. Avaliação da influência do uso e cobertura da terra na qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Pirapozinho (SP). *Revista Brasileira de Geografia Física* 12(3): 738-753. DOI <http://doi.org/10.26848/rbgf.v12.3.p738-753>

Roveri V., Guimarães LL, Correia AT. 2020. Spatial and temporal evaluation of the urban runoff water flowing into recreational areas of Guarujá, São Paulo State, Brazil. *International Journal of River Basin Management*. DOI <https://doi.org/10.1080/15715124.2020.1776304>

Santos RP, Terra VR, Azevedo Junior RR. 2018. Avaliação do efeito sazonal na qualidade das águas superficiais do rio Jucu, Espírito Santo, Sudeste do Brasil. *Sociedade e Natureza* 30(3): 127-143. DOI <https://doi.org/10.14393/SN-v30n3-2018-7>

Silva LP, Zuffo CE. 2003 Recursos hídricos: conservando para o futuro. In: Atlas Geoambiental de Rondônia. 2. ed. Porto Velho: SEDAM, 2003.

Silva ESSE, Oliveira JCS. 2014. Avaliação da qualidade da água da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Seringal Triunfo, Rio Araguari, Ferreira Gomes-AP-Brasil. *Biota Amazônia* 4(2): 28-42. DOI <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v4n2p28-42>

Silva JCA, Porto MFA, Brandimarte AL, Martins JR. 2015. Utilização de índices físicos, químicos e biológicos para avaliação da qualidade de corpos d'água em processo de recuperação: córrego Ibiraporã, SP. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 20(4): 959-969. DOI <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v20n4.p959-969>

Silva NR, Albuquerque TN. 2018. Enquadramento de corpos de água: um instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos. *GeoAmbiente on-line* 32: 174-186. DOI <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i32.54654>

Silva AMC, Cunha MCC, Lopes DV. 2019. Qualidade da água como reflexo de atividades antrópicas em bacias hidrográficas do Nordeste, Brasil. *GeoSul* 34(72): 102-123. DOI: <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n72p102>

Silva DPP, Andrade NLR, Webler AD. 2019. Qualidade da água de nascentes urbanas: estudo de caso em microbacia Amazônica, município de Ji-Paraná/RO. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* 10(3): 90-102. DOI <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.003.0009>

Simonetti VC, Silva DCC, Rosa AH. 2019. Análise da influência das atividades antrópicas sobre a qualidade da água da APA Itupararanga (SP), Brasil. *GeoSul* 34(72): 1-27. DOI: <http://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n72p01>

Stefanello LES, Souza CA. 2018. Qualidade da água no perímetro urbano do córrego das Pitas em Araputanga, MT. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* 9(1): 208-222. DOI <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.001.0015>

Stein, S. J. *et al.* Índice de balneabilidade no rio Machado na área urbana do município de Ji-Paraná - Rondônia. In: ALBUQUERQUE, C. C.; BATISTA, I. H. (Orgs.) *Anais do 7.º Workshop Internacional Sobre Planejamento e Desenvolvimento Sustentável de Bacias Hidrográficas*. Boa Vista: Editora da UFRR, p. 692 - 702, 2020.

Vasconcellos ACS, Hallwass G., Bezerra JG, Aciole ANS, Meneses HNM, Lim MO, et al. 2021. Health risk assessment of mercury exposure from fish consumption in Munduruku Indigenous Communities in the Brazilian Amazon. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18: 7940. <https://doi.org/10.3390/ijerph18157940>

Von Sperling M. 2007. *Estudos de modelagem da qualidade da água de rios*. Belo Horizonte: UFMG.



Esta obra está licenciada com uma *Licença Creative Commons Atribuição Não-Comercial 4.0 Internacional*.