ISSN 2525-4812 (versão online)
ISSN 2238-7641 (versão impressa)
http://www.revistaterceiramargem.com/index.php/terceiramargem/index

Recebido em: 7/10/2022
Aceito para RTMA: 2/9/2022
Período de publicação: 2022

Revista Terceira Margem Amazônia
(v. 8 • n. 19 • 2022)

Como citar o artigo:

GOMES, M. A. F.; PEREIRA, L. C.; SILVA, A. K. L.; PEREIRA, A. S.; TÔSTO, S. G.; SOUSA JUNIOR, P. M. Aspectos qualitativos da água do Rio Pindaré na Amazônia Maranhense. **Revista Terceira Margem Amazônia**, v. 8, n. 19, p. 253-269, 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.36882/2525-4812.2022v8i19.p253-269.

ASPECTOS QUALITATIVOS DA ÁGUA DO RIO PINDARÉ NA AMAZÔNIA MARANHENSE

Marco Antonio Ferreira Gomes[1]
Lauro Charlet Pereira[2]
Antonio Kledson Leal Silva[3]
Anderson Soares Pereira[4]
Sérgio Gomes Tôsto[5]
Pedro Moreira de Sousa Junior[6]

Resumo: O Maranhão é um estado detentor de grande potencial hídrico no país, possuindo doze bacias hidrográficas. No entanto, essa grande malha hídrica do estado, por si só, não é suficiente para garantir o fornecimento de água com qualidade para as diversas necessidades dos maranhenses. Em face das constantes agressões ao meio ambiente, torna-se imperativo ao poder público e à sociedade construírem juntos estruturas de gestão e de controle do uso dos recursos naturais, em particular para os recursos hídricos. Nesse cenário, encontra-se a Bacia do Rio Pindaré, um dos principais afluentes do Rio Mearim, localizada na porção amazônica do estado do Maranhão, onde existem diversos assentamentos rurais, com atividades agrícolas de subsistência, vivendo sob condições precárias. Nesse ambiente de degradação dos recursos naturais, a água do Rio Pindaré e de seu afluente Rio da Água Preta se encontra com a qualidade comprometida, haja vista a presença de compostos de nitrogênio e de fósforo. Assim, o presente trabalho tem

[1] Geólogo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.
E-mail: marco.gomes@embrapa.br
https://orcid.org/0000-0002-44058736

[2] 2 Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.
E-mail: lauro.pereira@embrapa.br
https://orcid.org/0000-0002-1384-8356

[3] Engenheiro ambiental, doutor em Ciências da Engenharia Ambiental, professor da Universidade Federal Rural da Amazônia (Ufra), Campus Capanema, PA.
E-mail: antonio.leal@ufra.edu.br
https://orcid.org/0000-0001-6047-1419

[4] Engenheiro-agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.
E-mail: anderson.pereira@embrapa.br
https://orcid.org/0000-0003-1372-9522

[5] Engenheiro-agrônomo, doutor em Desenvolvimento Econômico, pesquisador da Embrapa territorial, Campinas, SP.
E-mail: sergio.tosto@embrapa.br
https://orcid.org/0000-0003-4377-6047

[6] Químico, doutor em Química Analítica, professor da Universidade Federal Rural da Amazônia (Ufra), Campus Capanema, PA.
E-mail: pedro.junior@ufra.edu.br
https://orcid.org/0000-0002-6964-562X

como objetivo apresentar alguns cenários de alteração da qualidade da água do Rio Pindaré (trecho Alto Alegre do Pindaré-Tufilândia-Pindaré-Mirim), a partir de dados secundários, complementados por dados primários, estes relacionados ao Rio da Água Preta nos municípios de Zé Doca e Governador Newton Bello, contribuindo assim aos estudos sobre a sustentabilidade dos recursos hídricos na região.

Palavras-chave: qualidade da água, assentamentos rurais, degradação recursos hídricos, água para consumo humano, práticas agrícolas sustentáveis.

QUALITATIVE ASPECTS OF THE WATER OF THE PINDARÉ RIVER IN THE AMAZON PORTION, MARANHÃO STATE

Abstract: The Maranhão state that holds great water potential in the country, having twelve hydrographic basins. However, this large water network in the state, by itself, is not enough to guarantee the supply of the quality water for the different needs of the population of the estate. Faced with the constant aggressions to the environment, it becomes imperative for public authorities and the society to build together management and control structures for the use of natural resources, in particular for water resources. In this scenario, there is the Pindaré River Basin, one of the main tributaries of the Mearim River, inserted in the Amazonian portion of the Maranhão State, where there are several rural settlements, with subsistence agricultural activities, living under precarious conditions. In this environment of degradation of natural resources, the water from the Pindaré River and its tributary Água Preta River are compromised quality, in relation to the presence of nitrogen and phosphorus compounds. Thus, the present research work seeks to show some scenarios of change in the water quality of the Pindaré River (Alto Alegre do Pindaré - Tufilândia - Pindaré-Mirim section), from secondary data. The primary data, related to the Água Preta River, in the Zé Doca and Governador Newton Bello municipalities, as a way of contributing to studies on the sustainability of water resources in the region.

Keywords: water quality, rural settlements, water resources degradation, water for human consumption, sustainable agricultural practices.

Introdução

Em razão do crescimento populacional, do aumento da atividade agropecuária e uso não sustentável dos seus recursos naturais, a Bacia do Rio Pindaré, MA, vem sofrendo diversos tipos de impactos ambientais que incluem desmatamento, erosão do solo, lançamento de rejeitos contendo esgotos domésticos, fertilizantes e pesticidas que, em conjunto, têm afetado negativamente os recursos hídricos locais (ASSUNÇÃO *et al.*, 2016; MARANHÃO, 1991).

Uma análise da água pode ser baseada na comparação de características físico-químicas com padrões estabelecidos por órgãos públicos federais e estaduais para os diversos tipos de uso previstos, tais como o consumo humano e a irrigação. Ao analisar esses parâmetros é possível indicar as operações que envolvem o uso e o manejo do solo, levando à conclusão de quais delas exercem maior influência na qualidade da água (SANTANA *et al.*, 2011). Os efeitos das atividades humanas na qualidade da água são, normalmente, complexos e específicos para cada região, dependendo de uma série de fatores físico-químicos e biológicos. O conhecimento das variáveis físicas, químicas e biológicas das águas de um rio, lago ou reservatório é de fundamental importância para a caracterização do sistema hídrico, já que existem diversas formas de utilização desse sistema (PEREIRA *et al.*, 2007).

Nesse aspecto, o presente trabalho discute alguns dados de compostos de nitrogênio e de fósforo presentes na água, como forma de avaliar a qualidade ambiental e hídrica da Bacia do Rio Pindaré, especificamente para os municípios de Alto Alegre do Pindaré - Tufilândia e Pindaré-Mirim, de acordo com Silva *et al.* (2017); também são discutidos dados dos mesmos compostos, obtidos das avaliações in loco, na água da Sub-bacia do Rio da Água Preta, também denominado Rio Santa Rita, um dos principais afluentes do Rio Pindaré na área de estudo, nos municípios de Zé Doca e Governador Newton Bello. A discussão conjunta dos dados das duas áreas visa à integração de informações úteis para subsidiar propostas de conservação e gerenciamento dos recursos hídricos na região, com foco nas populações mais vulneráveis, particularmente aquelas dos assentamentos rurais, muito comuns na Amazônia maranhense.

Material e Métodos

Localização das áreas, pontos de amostragem de água e procedimentos analíticos

A área objeto deste estudo insere-se na Bacia do Rio Pindaré e compreende duas abordagens: a primeira a partir da análise de dados secundários ou de revisão de literatura sobre nitrato e fósforo total; outra, de estudos in loco, com obtenção de dados em campo sobre nitrogênio total, nitrato, fósforo total, fosfato e ortofosfato, cujas informações se complementam ao final das discussões do presente trabalho.

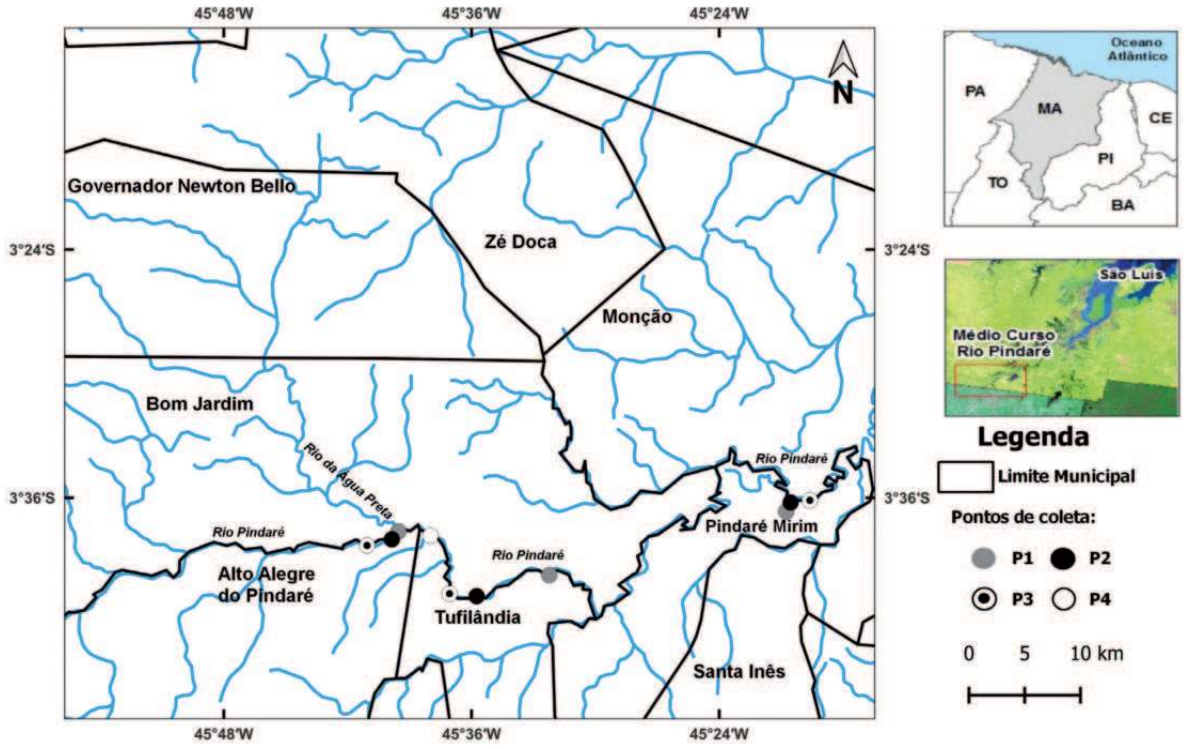
A primeira abordagem contemplou o trecho do Rio Pindaré que abrange os municípios de Alto Alegre do Pindaré - Distrito de Santa Luz, cujos pontos estão georreferenciados e constam no rodapé da Figura 1. Foram considerados períodos sazonais distintos: período seco, contemplando os meses de agosto e novembro de 2010 e de 2011; e o chuvoso, contemplando os meses de maio de 2010 e maio de 2011, em dez pontos distribuídos ao longo do Rio Pindaré, identificados como P1, P2, P3 e P4, ilustrados na Figura 1. As amostras foram coletadas a 20 cm da superfície com auxílio da garrafa de Van Dorn com capacidade para 5 L (SILVA *et al.*, 2017).

A segunda abordagem, com coletas de água em campo, ou seja, considerando dados primários, contemplou a Sub-bacia do Rio da Água Preta (também conhecido por Rio Santa Rita), afluente do Rio Pindaré, cujo exutório localiza-se próximo ao ponto de amostragem de Alto Alegre do Pindaré (Distrito de Santa Luz). Nesse estudo, as amostragens foram realizadas nos anos de 2019 e 2021 nos municípios de Zé Doca e Governador Newton Bello, cujos pontos georreferenciados (P1 e P2), encontram-se citados no rodapé da Figura 2.

As análises de água coletadas em campo para a Su-bacia do Rio da Água Preta foram realizadas para nitrogênio total (N total), nitrato (NO_3-) pelo método Kjeldahl (COSTA *et al.*, 2018), fósforo total (P total) e fosfato (PO_4^{-3}) ou ortofosfato (P-orto), com aplicação dos métodos colorimétrico e azul de molibdênio para baixas concentrações (YDI, 2000).

As coletas e análises desses parâmetros foram realizadas por duas instituições, a saber: amostras de 2019 pela Universidade Federal do Maranhão e amostras de 2021 pela Universidade Federal Rural da Amazônia (Ufra) (Campus Capanema/PA) em parceria com a Embrapa Amazônia Oriental (Belém).

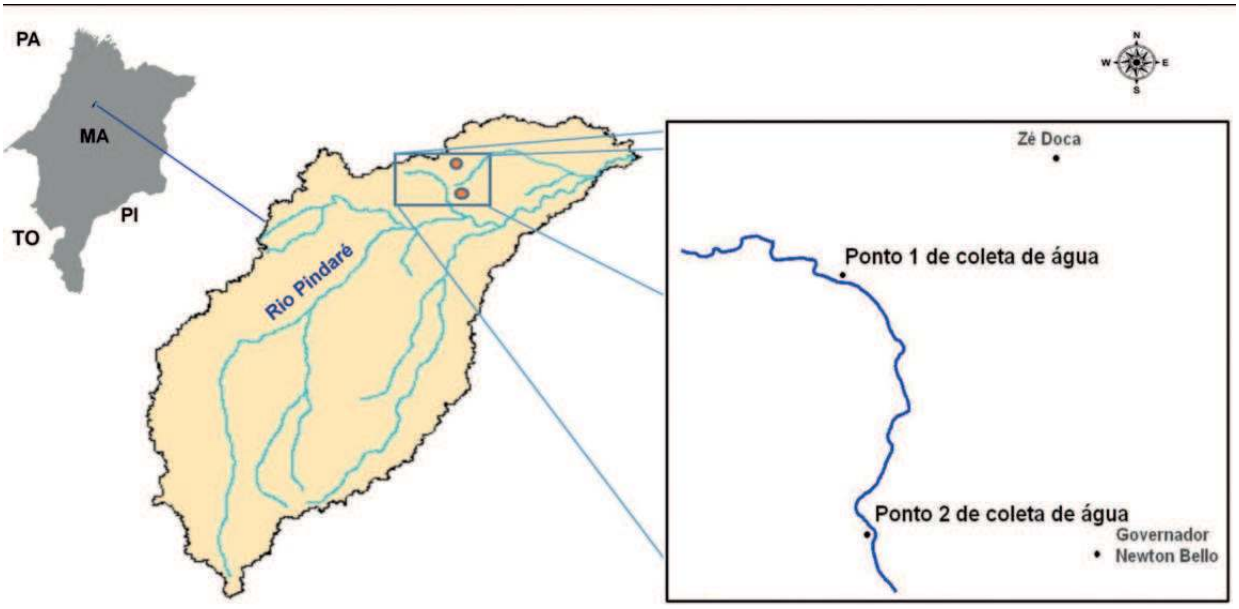
Figura 1. Pontos de amostragem de água (P1, P2, P3 e P4) no Rio Pindaré nos anos de 2010 e 2011 no trecho Alto Alegre do Pindaré - Tufilândia - Pindaré-Mirim.



Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2017).

Coordenadas Geográficas (Localidade: Ponto – Latitude, Longitude): Pindaré: P1 – 3º37'38"S, 45º39'32"W; P2 – 3º38'00"S, 45º39'52"W; P3 – 3º38'18"S, 45º41'40"W; Tufilândia: P1 – 3º39'44"S, 45º32'14"W; P2 – 3º40'46"S, 45º35'45"W; P3 – 3º40'38"S, 45º37'04"W; P4 – 3º37'50"S, 45º37'59"W; Alto Alegre do Pindaré: P1 – 3º36'40"S, 45°20'45"W; P2 – 3º36'14"S, 45º20'32"W; P3 – 3º36'07"S, 45º19'37"W.

Figura 2. Pontos de amostragem de água no Rio da Água Preta nos anos de 2019 e 2021 nos municípios de Zé Doca e Governador Newton Bello, bem como a sua localização na Bacia do Rio Pindaré.



Fonte: Adaptado de Abreu (2013).

Coordenadas Geográficas (Localidade – Ponto: Latitude, Longitude): Zé Doca – Ponto 1 de coleta de água: 03º 18' 19.36" Sul e 45º 45' 36.27" Oeste; Governador Newton Bello – Ponto 2 de coleta de água: 03º 24' 37.58" Sul e 45º 45' 46.09" Oeste.

Como valores de referência para os compostos analisados, foram consideradas as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21rd/23rd. Edition (BAIRD; BRIDGEWATER, 2017) e da Resolução Conama nº 357/05 (BRASIL, 2005).

Para auxiliar na compreensão dos valores dos compostos de nitrogênio e de fósforo na água do Rio da Água Preta, é apresentado o mapa de uso e cobertura da terra, cujas classes tiveram por base os pontos de referência com uso e cobertura conhecidos dentro da própria unidade, de acordo com os trabalhos in situ realizados pelos autores. Para as unidades sem pontos em seu interior, foram usados como referência pontos localizados em outras unidades com aspectos semelhantes nas imagens de satélite, ou atribui-se a classe com base apenas na interpretação visual das imagens disponíveis. O uso e cobertura das terras dos pontos de referência foram obtidos durante visitas à área no período de 07/11/2019 a 16/11/2019. Foram usadas imagens pancromáticas do satélite EROS (junho de 2019), imagens pancromática e de bandas multiespectrais do satélite CBERS 4A (maio, junho e agosto de 2020) e as imagens de alta resolução espacial disponíveis nas bases on-line Google Satellite e Google Earth. A cobertura da área de estudo pela base do Google Satellite é constituída por um mosaico de recortes de imagens dos anos de 2020, 2019, 2018 e 2017 acessadas por meio do plugin QuickMapServices instalado no software QGIS.

Em complemento às informações de uso e cobertura da terra foram levantados os dados de precipitação da sub-bacia do Rio da Água Preta, com o intuito de auxiliar no entendimento sobre as concentrações dos compostos de nitrogênio e fosfato na água durante os períodos seco de 2019 e chuvoso e seco do ano de 2021.

Resultados e Discussão

Apresentam-se, a seguir, os resultados dos compostos analisados para o trecho do Rio Pindaré localizado entre os municípios de Alto Alegre do Pindaré, Tufilândia e Pindaré-Mirim, de acordo com Silva *et al.* (2017), como também aqueles obtidos para o Rio da Água Preta nos municípios de Zé Doca e Governador Newton Bello.

Os valores de referência (limites aceitáveis) dos compostos na água, descritos no rodapé das Tabelas 1 e 2, levam em consideração as concentrações, tanto para o ambiente aquático nos três compartimentos (lêntico, intermediário e lótico) quanto para consumo humano, este tomando por base as Classes de Água I e II (águas apropriadas para a vida aquática e para o consumo humano), após o devido tratamento.

Concentrações de nitrato e fósforo total na água do Rio Pindaré no trecho Alto Alegre do Pindaré – Tufilândia – Pindaré-Mirim

Destaca-se neste estudo, as avaliações de nitrato e de fósforo total ao longo do Rio Pindaré nos municípios de Alto Alegre do Pindaré, Tufilândia e Pindaré-Mirim, durante os anos de 2010 e 2011, por meio de gráficos, conforme descrito por Silva *et al.* (2017) e especificado na Tabela 1 pelos autores deste trabalho. Em complemento a essas informações, foram elaborados novos gráficos (Figuras 3 e 4), conforme análise e interpretação propostas por Silva *et al.* (2017).

Nessa nova análise, foram realizadas as médias ponderadas por período (seco e chuvoso) para cada um dos três municípios.

Ao se analisar os dados da Tabela 1, observa-se que o nitrato apresenta um pico máximo de 0,910 mg L^{-1} no período chuvoso em Tufilândia. Nos demais municípios existe uma variação, não indicando tendência clara de maior concentração em relação ao período do ano (seco/chuvoso). Em todos os períodos avaliados, nos três municípios, de acordo com a Tabela 1, os valores de nitrato obtidos encontram-se bem abaixo dos limites aceitáveis para as águas Classes I e II, como também para consumo humano, não oferecendo assim riscos à saúde humana.

Tabela 1. Valores mínimos e máximos de nitrato e fósforo total na água (mg L^{-1}) do Rio Pindaré no trecho Alto Alegre do Pindaré – Tufilândia – Pindaré-Mirim, nos anos 2010/2011, durante os períodos seco/chuvoso, considerando três pontos de coleta para o primeiro município, quatro pontos para o segundo e três pontos de coleta para o terceiro.

Alto Alegre do Pindaré		Tufilândia		Pindaré-Mirim	
Seco	**Chuvoso**	**Seco**	**Chuvoso**	**Seco**	**Chuvoso**
Nitrato					
0,102 - 0,242	0,102 - 0,138	0,259- 0,700	0,186- 0,910	0,101 - 0,130	0,013 - 0,337
Fósforo total					
0,44 - 0,48	0,50 - 0,61	0,4 - 0,43	0,4 - 0,61	0,4 - 0,59	0,38 - 0,79

Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2017).

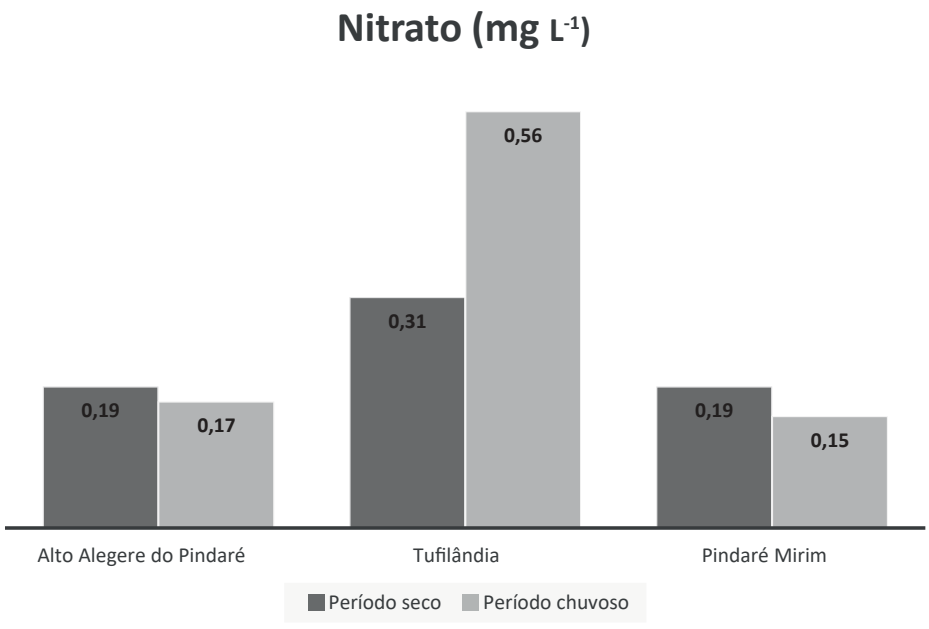
Período seco: agosto e novembro/2010 e 2011; **Período chuvoso**: maio/2010 e maio/2011.

Valores de referência: Nitrato – máx. 10 mg L^{-1} (Água Classes I e II) – Resolução Conama nº 357/05 (BRASIL, 2005).

Fósforo total – máx. 0,025 mg L^{-1} (Ambiente Lêntico); máx – 0,05 mg L^{-1} (Ambiente intermediário); máx. – 0,10 mg L^{-1} (Ambiente Lótico) - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21rd/23rd. Edition (BAIRD; BRIDGEWATER, 2017). Resolução Conama nº 357/05 (BRASIL, 2005). (Água Classes I e II) – Resolução Conama nº 357/05.

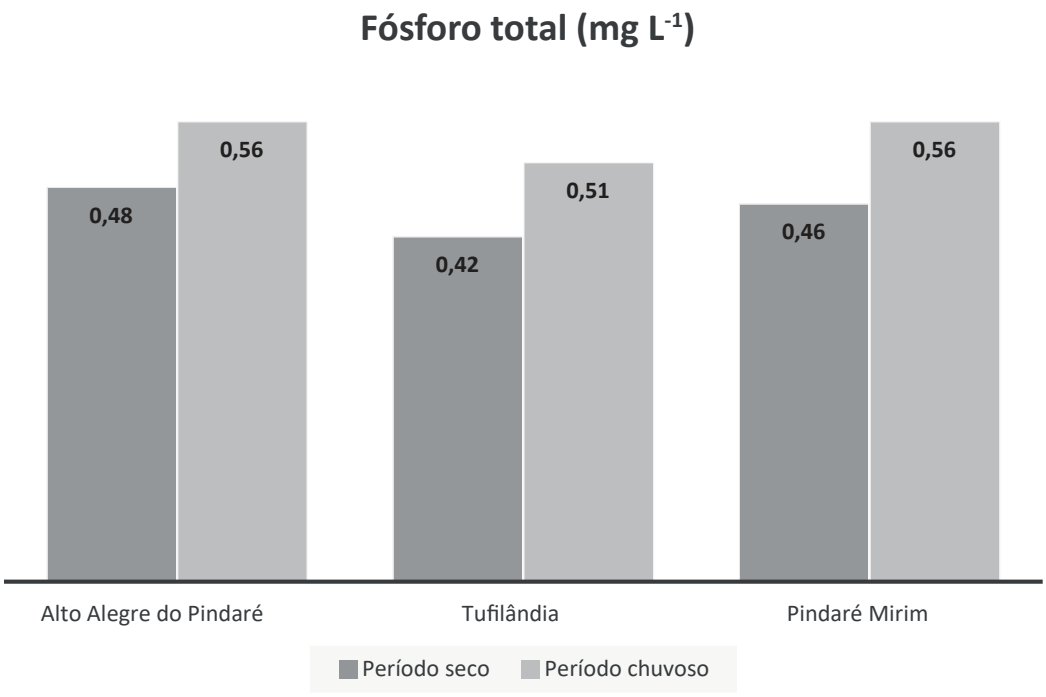
Os valores médios, tanto de nitrato quanto de fósforo total foram inseridos em gráficos, representados pelas Figuras 3 e 4.

Figura 3. Valores de concentração (mg L^{-1}) de nitrato na água do Rio Pindaré no trecho entre Alto Alegre do Pindaré - Tufilândia - Pindaré-Mirim, durante os períodos seco e chuvoso dos anos 2010 e 2011. Média ponderada considerando os dois períodos por município.



Adaptado de Silva *et al.* (2017).

Figura 4. Valores de concentração (mg L^{-1}) de fósforo total na água do Rio Pindaré no trecho entre Alto Alegre do Pindaré - Tufilândia - Pindaré-Mirim, durante os períodos seco e chuvoso dos anos 2010 e 2011. Média ponderada, considerando os dois períodos por município.



Adaptado de Silva *et al.* (2017).

Os resultados apresentados na Figura 3 para nitrato evidenciam sua presença na água, nos dois períodos, com certa relevância para o período chuvoso, especificamente no município de Tufilândia, com concentração média de 0,56 mg L^{-1}, endossando as informações contidas na Tabela 1. É importante ressaltar que o nitrato é a forma mais estável de nitrogênio no ambiente e ocorre nas águas naturais e nos lagos em concentração em torno de 1,0 μg L^{-1} (SHELTON, 1998). Essa quantidade pode aumentar significativamente se os compostos nitrogenados forem carreados para os rios e lagos, proveniente de fertilizantes, atividades agrícolas ou água de esgoto.

No presente caso, observa-se que em todos os pontos amostrados nos três municípios, as concentrações de nitrato estão abaixo do limite aceitável para as Águas Classes I e II. Todavia, deve haver atenção para um monitoramento atualizado, uma vez que essas informações remetem aos anos de 2010 e 2011. Acrescente-se a esse cenário o fato de que seu afluente Rio da Água Preta apresenta, atualmente, valores bem mais elevados de nitrato, o que será exposto e discutido mais à frente no presente trabalho.

Na sequência, de acordo com o gráfico da Figura 4, são apresentados os valores de fósforo total para o Rio Pindaré (trecho Alto Alegre do Pindaré - Tufilândia - Pindaré-Mirim).

De acordo com os resultados da Figura 4, observa-se que o fósforo total se encontra presente na água durante os dois períodos (seco e chuvoso), com certa relevância para o chuvoso nos três municípios. Sua origem está ligada a fontes naturais e artificiais ou antrópicas.

Merece atenção, o fato de que todos os valores apresentados estão acima do limite permitido para ambientes lênticos, intermediários e lóticos, indicando que, certamente, existem fontes de caráter antrópico contribuindo para o processo de aumento do fósforo na água, tendo por consequência o processo de eutrofização. Para Baird e Bridgewater (2017), o fósforo total presente na água não deve exceder a 0,10 mg L^{-1} no ambiente lótico, para evitar problemas associados ao crescimento de algas e outras plantas aquáticas. Sabe-se que quantidades de 0,05 mg L^{-1} de fósforo total, provavelmente restringe o crescimento de plantas aquáticas nocivas, tanto em água corrente como em água parada. A Resolução Conama n° 357/05 (BRASIL, 2005), por sua vez, estabelece limites aceitáveis de 0,025 mgL^{-1} e 0,10 mgL^{-1} para corpos de Classes I e II, respectivamente.

De modo geral, há uma tendência de maiores concentrações desses compostos durante o período chuvoso na água, cujas origens podem estar relacionadas ao aumento da decomposição da matéria orgânica em razão do aumento da umidade, associado ao transporte (escoamento superficial) de adubos e fertilizantes nitrogenados e fosfatados provenientes de áreas cultivadas a montante, incluindo a sub-bacia do Rio da Água Preta.

O fósforo total, por sua vez, apresentou picos mais elevados de concentração no período chuvoso para os três municípios.

Esse comportamento, tanto do nitrato quanto do fósforo total, é endossado pela avaliação das concentrações médias (tomando três pontos por município), exceto Tufilândia, onde foram considerados quatro pontos de amostragem, de acordo com Silva *et al.* (2017).

Concentrações de nitrogênio total, nitrato, fósforo total, fosfato e ortofosfato na Sub-bacia do Rio da Água Preta, municípios de Zé Doca e Governador Newton Bello

A sub-bacia do Rio da Água Preta foi escolhida para este trabalho por se inserir na porção amazônica do estado do Maranhão e por conter diversos assentamentos rurais, atendendo assim a uma demanda por trabalhos com foco nesse público, cujo objetivo principal é avaliar o cenário da qualidade da água e propor alternativas que possam melhorar as condições de vida dessa população (AVALIAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DA AMAZÔNIA, 2019).

Para essa sub-bacia, foram analisados mais três compostos, em comparação com a área do Rio Pindaré (trecho Alto Alegre do Pindaré - Tufilândia e Pindaré-Mirim), com o propósito de entender um pouco melhor a dinâmica ambiental que envolve o nitrogênio e o fósforo. Tais compostos são representados pelo nitrogênio total, fosfato e ortofosfato e compõem os parâmetros da Tabela 2.

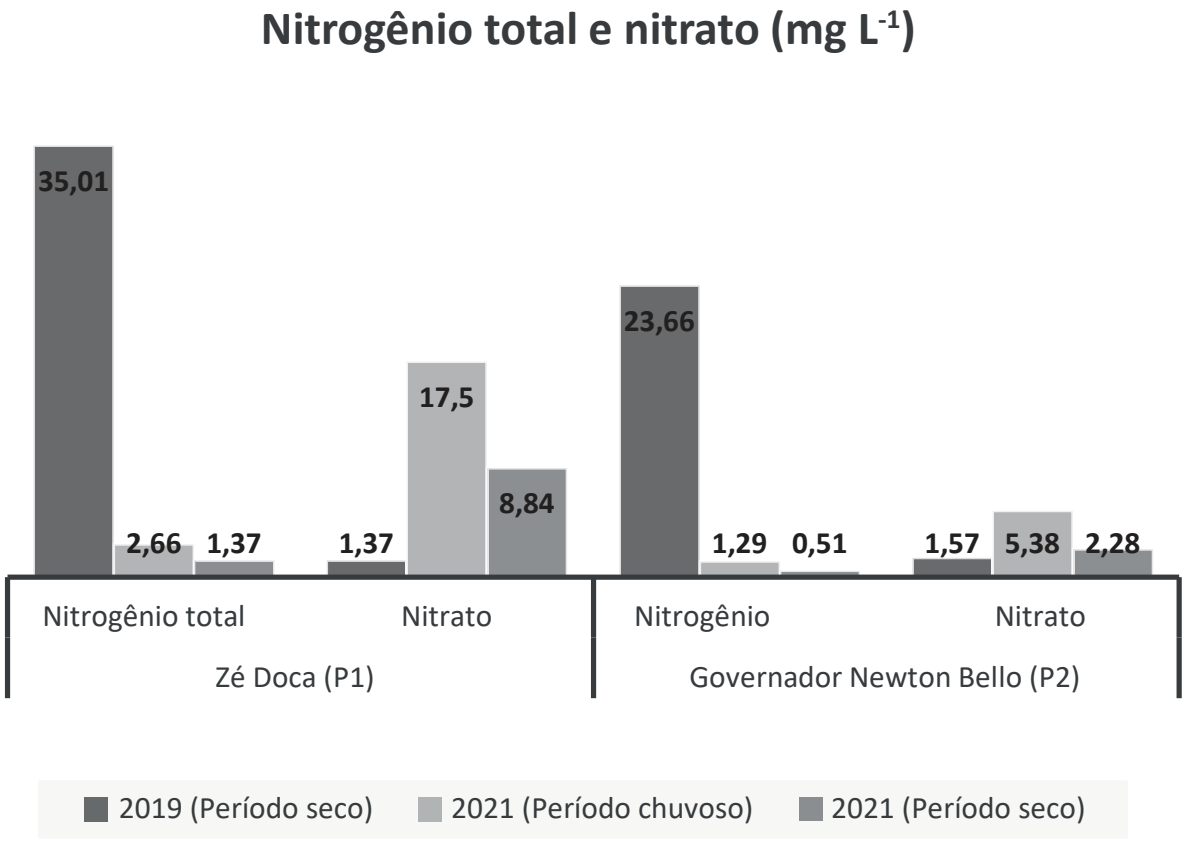
A Tabela 2, bem como as Figuras 5, 6 e 7, apresenta os resultados de nitrogênio total, nitrato, fósforo total e ortofosfato para a Sub-bacia do Rio da Água Preta obtidos em 5/12/2019 (período seco), 31/3/2021(período chuvoso) e 10/12/2021(período seco), abrangendo dois pontos de coleta, denominados de P1 e P2. O primeiro ponto (P1), no município de Zé Doca, em posição a montante, e o segundo ponto (P2), no município vizinho de Governador Newton Bello, em posição a jusante em relação ao primeiro ponto de coleta.

Tabela 2. Resultados de parâmetros físico-químicos obtidos (mg L^{-1}) em dois pontos da Sub-bacia do Rio da água Preta - municípios de Zé Doca (P1) e Governador Newton Bello (P2) nos anos de 2019 e 2021 (Períodos chuvoso e seco). Média de quatro repetições.

Parâmetros	P1			P2		
	2019	2021		2019	2021	
	Seco	Chuvoso	Seco	Seco	Chuvoso	Seco
Nitrogênio total (N)	35,01	2,66	1,91	23,66	1,29	0,51
Nitrato (NO_3 -)	1,37	17,75	8,84	1,57	5,38	2,28
Fósforo total (P)	0,83	0,02	0,02	1,12	0,03	0,02
Fosfato (PO_4^{-3})	3,84	0,07	0,05	5,14	0,06	0,04
Ortofosfato (P_2O_5)	0,04	0,10	0,08	0,06	0,10	0,07

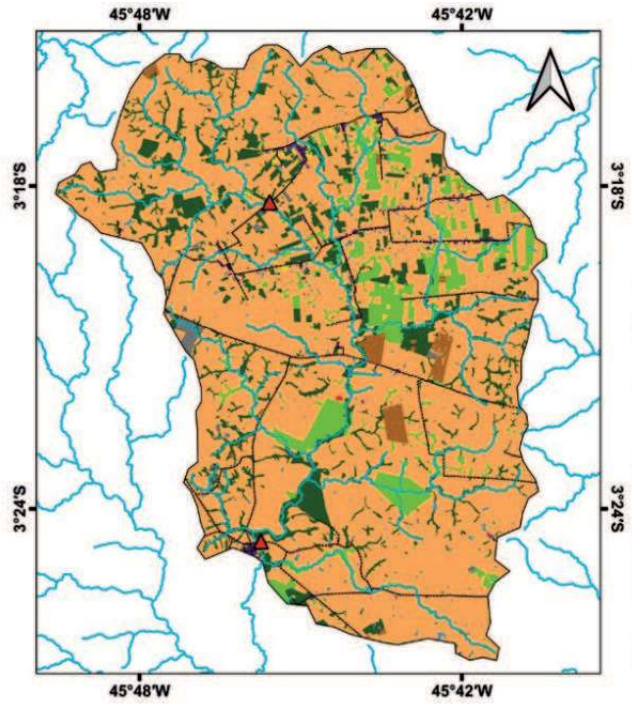
Valores de referência: nitrogênio total - 3,7 mg L^{-1} para água com pH ≤ 7,5; nitrato - máx. 10 mg L^{-1} (Classes Água I e II) - Resolução Conama nº 357/05. Fósforo total - máx. 0,025 mg L^{-1} (ambiente lêntico); máx - 0,05 mg L^{-1} (ambiente intermediário); máx. - 0,10 mg L^{-1} (ambiente lótico); fosfato e ortofosfato - máx. 0,10 mg L^{-1} (ambientes lêntico, intermediário e lótico - Baird e Bridgewater (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21rd/23rd. Edition. (Classes de Água I e II) Resolução Conama nº 357/05 (BRASIL, 2005).

Figura 5. Concentração de nitrogênio total e nitrato (mg L^{-1}) em dois pontos, municípios de Zé Doca (P1) e Governador Newton Bello (P2), nos anos de 2019 e 2021 em diferentes períodos no Rio da Água Preta.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2022).

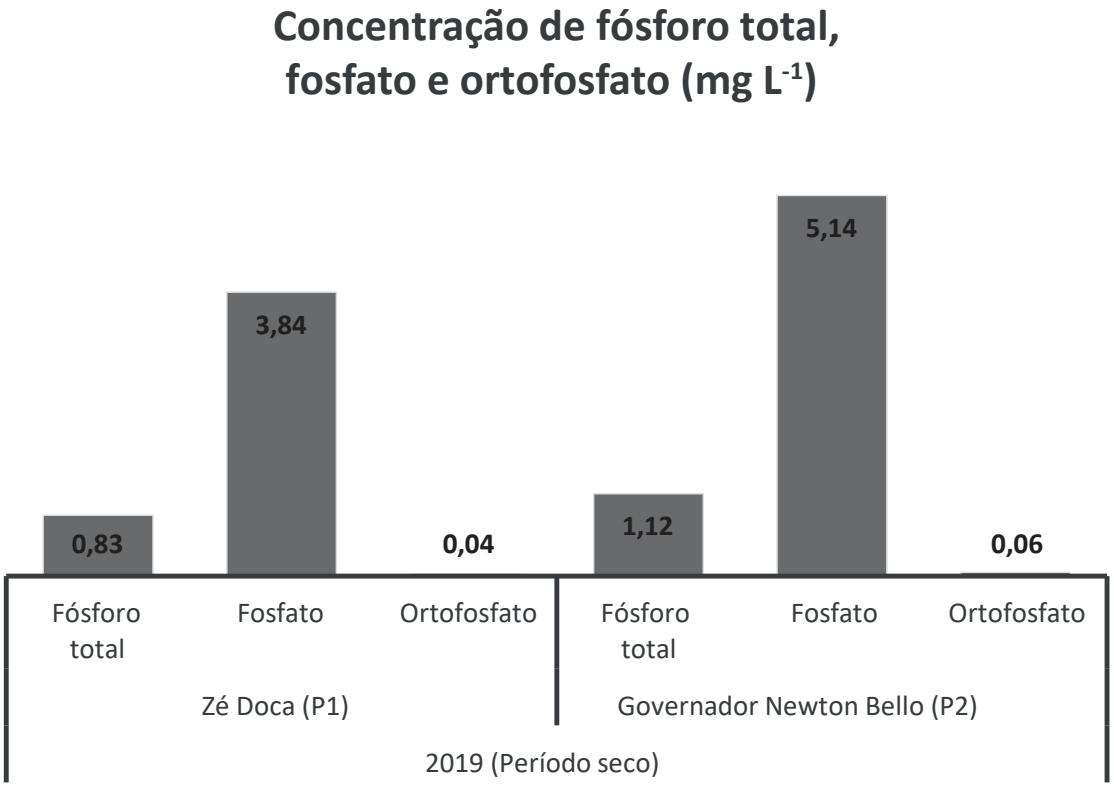
Figura 6. Mapa de uso e cobertura da terra com as respectivas distribuições em hectare (ha) e percentagem (%) para a Sub-bacia do Rio da Água Preta.



Classes	Área (ha)	%
Área Agrícola	101,368	0,453
Corpo d'água	174,180	0,778
Edificações Rurais	141,986	0,634
Fragmento Florestal	2854,565	12,755
Mosaico de Ocupações	298,736	1,335
Pastagem	17079,572	76,317
Silvicultura	3,198	0,014
Solo Exposto	148,633	0,664
Vegetação Secundária	1493,333	6,673
Vias	84,205	0,376

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 7. Concentração de fósforo total, fosfato e ortofosfato (mg L^{-1}) em dois pontos (P1 – Zé Doca e P2 – Governador Newton Bello) do Rio da Água Preta no ano de 2019 durante o período seco.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2022).

De acordo com a Tabela 2 e a Figura 5, a concentração de nitrogênio total em 2019 para os dois pontos amostrados superou os limites aceitáveis (valores de referência no rodapé da Tabela 2) para as águas de Classe I e II (Resolução Conama nº 357/05) (BRASIL, 2005), especificamente no período seco. Trata-se de uma ocorrência anômala, uma vez que a expectativa é a de que os compostos de N se concentrem mais no período chuvoso, a exemplo do nitrato, que tem seguido essa tendência em 2021, com 17,5 mg L^{-1} para o Rio da Água Preta no município de Zé Doca.

Por se tratar de uma amostragem em um único período (seco) e ano (2019), não se pode afirmar com precisão sobre as causas da grande concentração de nitrogênio total no Rio da Água Preta. O que se sabe, de acordo com as observações de campo em 2019, é que havia grande concentração de matéria orgânica em decomposição no leito do rio, tais como galhos e folhas acumulados, devido ao baixo fluxo ou movimento da água no período seco. Outro fator que pode ter contribuído para o aumento de N total é o acesso de animais diretamente ao rio, embora não tenha sido identificado um número significativo deles. No entanto, há predomínio de pastagens (Figura 6 e Tabela 3) em toda a área da Sub-bacia do Rio da Água Preta, o que torna importante o acompanhamento e controle do movimento desses animais durante a dessedentação junto aos cursos d'água.

Outra possibilidade sobre o aumento do nitrogênio total em 2019 seria o descarte de esgotos no rio. Porém, tal cenário não foi comprovado, uma vez que todas as habitações nos assentamentos rurais visitados possuem fossas sépticas para eliminação de seus efluentes, quase sempre bem distantes dos cursos d'água.

No entanto, no ano de 2021, a concentração de nitrogênio total reduziu substancialmente nos dois pontos (P1 e P2), tanto no período chuvoso quanto no período seco, quando comparada a 2019. É possível que isso se deva a uma provável remoção do excesso a partir de um evento de chuva mais intenso. Uma segunda hipótese está relacionada à dinâmica espacial sobre os pontos de coleta, podendo ter ocorrido a influência de mudanças no uso e cobertura da terra, bem como algum manejo de solo, como processos influenciadores nessa diferença expressiva entre os dados de 2019 e 2021.

A Figura 6, a seguir, apresenta as categorias de uso e cobertura da terra em cada microbacia, as quais são representadas por dez classes.

As áreas de pastagem são a que dominam a Su-bacia do Rio da Água Preta com cerca de 76,3% de representatividade. Os fragmentos florestais (12,7%) e a vegetação secundária (6,7%) são outras duas classes com expressiva representatividade na sub-bacia. É importante ressaltar a baixíssima presença de áreas agrícolas na classificação, demonstrando que a atividade de pastagem é a base agropecuária dessa área.

Em complemento às informações de uso e cobertura da terra, conforme citado inicialmente no ítem Material e Métodos, foram levantados os dados de precipitação da Sub-bacia do Rio da Água Preta, com o intuito de auxiliar no entendimento sobre as concentrações de determinados compostos na água durante os períodos seco de 2019 e chuvoso e seco do ano de 2021, quando foram realizadas as coletas nessa sub-bacia (Tabela 3).

Tabela 3. Precipitação mensal (mm) e dias chuvosos mensais (mm) em Pindaré-Mirim nos anos de 2019, 2020 e 2021.

Mês	Precipitação mensal (mm)	Dias chuvosos mensais	Precipitação mensal (mm)	Dias chuvosos mensais	Precipitação mensal (mm)	Dias chuvosos mensais
	2019		2020			
Janeiro	245.7	17	271.6	24	138.5	7
Fevereiro	264.9	21	352.3	19	160.6	9
Março	583.6	23	375.5	17	504.5	17
Abril	462.7	26	680.1	18	221.6	10
Maio	200.9	16	156.2	14	61.9	5
Junho	105.4	7	29.8	7	195.6	7
Julho	17.3	2	1.7	1	70.3	4
Agosto	0.0	0	0.0	0	0.0	0
Setembro	0.0	0	3.6	1	40.3	3
Outubro	9.2	3	1.6	1	265.3	12
Novembro	114.5	6	243.8	7	133.8	10
Dezembro	230.7	8	192.5	7	306.7	15
Total anual	**2234.9**	**129**	**2308.7**	**116**	**2099.1**	**99**

Fonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil; estação pluviométrica de Alto Alegre do Pindaré/MA (3º39'56"S, 45º50'35"W) (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2022).

De acordo com a Tabela 3, destacam-se os valores de precipitação do mês de abril de 2020 (680,1 mm), como também dos meses de março (504,5 mm) e dezembro (306,7 mm) de 2021.

Em ambos os pontos de coleta de água (P1 e P2), há a presença de fragmento florestal, especialmente composta por áreas de APP, porém predomina a presença de pastagens nos seus entornos. Segundo dados de Barbosa e Silva Filho (2018), as microbacias sob influência de pastagens apresentaram menores concentrações nitrogênio na forma de nitrato (-NO3). Isso é corroborado por Figueiredo *et al.* (2010), os quais identificaram essa correlação negativa entre locais com maior predominância de pastagem e menores concentrações de nitrato, apontando também um aumento da concentração de nitrato em áreas de avanço da agricultura. Dessa forma, um indicativo auxiliar na compreensão dos níveis elevados de nitrogênio total pode estar relacionado ao processo de queimadas sequenciais para conversão de áreas de vegetação secundária. Como a coleta de amostras de água ocorreu durante o período seco (dezembro de 2019), não é possível associar as altas concentrações de nitrogênio total com eventos de chuva, embora tenha ocorrido uma precipitação de 230,7 mm.

Em relação ao nitrato, em 2021 ocorreu uma concentração mais elevada no período chuvoso (17,5 mg L^{-1}) em comparação com o período seco (8,84 mg L^{-1}) no ponto 1 em Zé Doca. A mesma tendência se repetiu para Governador Newton Bello, com valores de 5,38 mg L^{-1} e 2,28 mgL^{-1} para os períodos chuvoso e seco respectivamente. Tal comportamento reflete o processo de nitrificação favorecido pela aeração da coluna de água, de acordo com Silva *et al.* (2017) e confirmado pelo elevado índice pluviométrico em março, com 504,5 mm de precipitação, de acordo com a Tabela 3. Embora os valores de nitrato apresentados em 2021 para esses municípios se apresentem abaixo do limite aceitável de 10 mg L^{-1} na água para consumo humano, com exceção

do período chuvoso em Zé Doca, existe a necessidade de monitoramento do comportamento desse composto. De fato, tais concentrações servem de alerta para os gestores do referido município.

Já as concentrações de fósforo total apresentaram valores um pouco mais altos na Sub-bacia do Rio da Água (0,83 a 1,12 mg L^{-1} no período seco de 2019, quando comparados com aqueles do Rio Pindaré (0,42 mg L^{-1} a 0,59 mg L^{-1}) no período seco de 2010 e 2011. No entanto, durante o período chuvoso de 2021, as concentrações de fósforo total apresentaram valores mais baixos na Sub-bacia do Rio da Água Preta para os dois pontos (P1 e P2), com valores de 0,02 mg L^{-1} a 0,03 mg L^{-1}, quando comparados com os valores de concentração encontrados no Rio Pindaré (0,61 mg L^{-1} a 0,79 mg L^{-1} no mesmo período chuvoso, de acordo com Silva *et al.* (2017). De qualquer forma, essa comparação entre o Rio da Água Preta e o Rio Pindaré é relativa, mostrando apenas que o primeiro, como afluente, pode contribuir com o aumento da carga de compostos de nitrogênio e de fósforo na água, caso não haja um controle maior das atividades antrópicas ao longo do tempo. De qualquer modo, no período chuvoso, existe a influência do efeito diluidor da água em grande volume, quando comparado ao período seco, corroborado pelo alto índice pluviométrico, ocorrido no mês de março (504,5 mm). Tal condição indica também que, tanto o escoamento superficial quanto a lixiviação, via lençol freático, com posterior descarga no rio, não apresentou quantidade suficiente de fósforo que pudesse contribuir para o seu enriquecimento (maior concentração) na água.

O fosfato ($PO4^{-3}$), da mesma forma que o fósforo total, apresentou baixas concentrações, com valores de 0,07 mg L^{-1} e 0,06 mg L^{-1} durante o período chuvoso para os dois pontos P1 e P2 respectivamente. O caso que chamou mais atenção foi a grande concentração de fosfato no período seco de 2019 (Figura 7), cujos valores são comprometedores da qualidade da água (3,84 mg L^{-1} e 5,14 mg L^{-1} para os pontos respectivamente). Porém, como foi uma avaliação pontual, há necessidade de mais investigações (monitoramento), pelos menos a médio prazo.

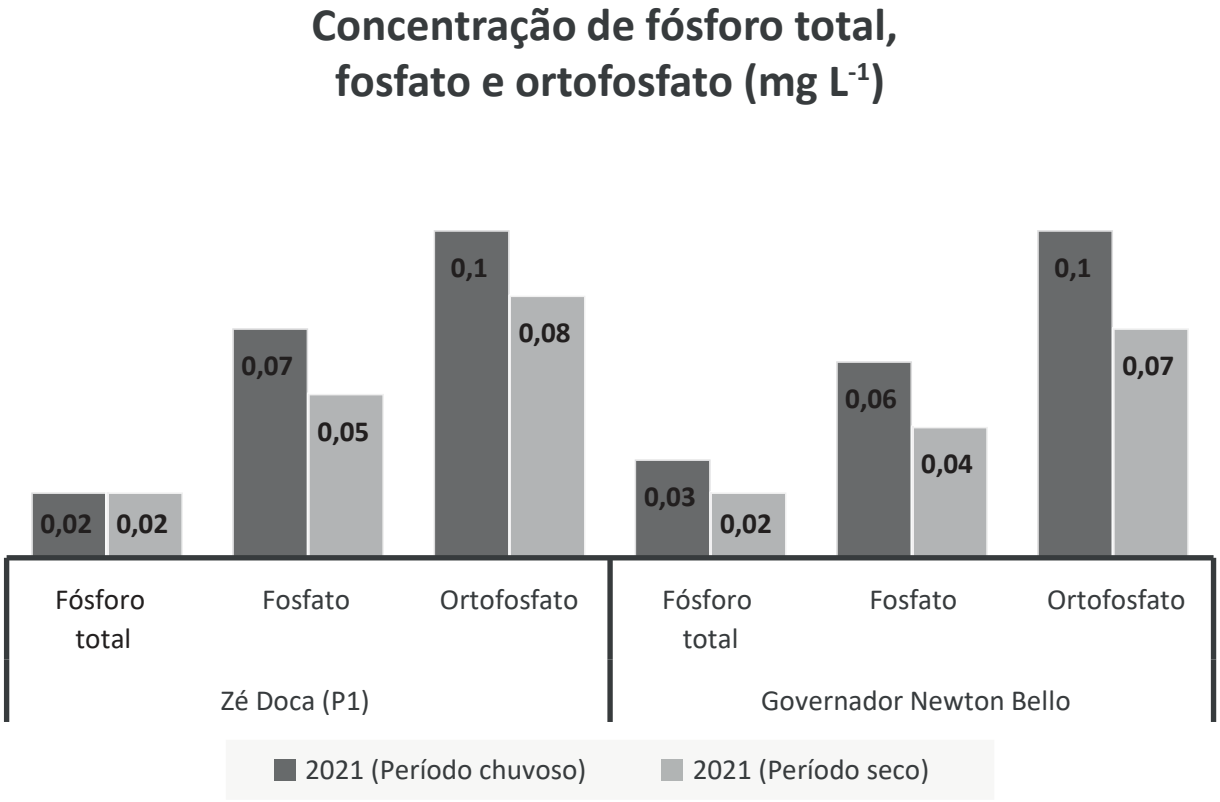
Do mesmo modo em relação às concentrações de nitrogênio, uma provável razão para os elevados valores de fosfato no período seco de 2019 pode estar também relacionada a algum evento de derruba e queima de vegetação ou à aplicação de fertilizantes. Um aspecto a ser considerado é que os pontos de coleta de água foram estabelecidos às margens de estradas rurais, em especial o ponto a jusante (município de Newton Belo), o qual situa-se em uma área de intensa movimentação de sedimentos em função de serviços de aterramento da estrada, com a construção de uma nova ponte no local. Esse tipo de movimentação pode ter contribuído para o aumento de compostos fosfatados na água, cenário esse corroborado pelas considerações de Schneider *et al.* (2011).

De acordo com Pompêo *et al.* (2002), a Bacia do Rio Pindaré foi identificada como a que mais contribui com fósforo total para as baías de São Marcos e São José, quando comparada com as Bacias dos Rios Itapecuru e Mearim. Isso se deve ao fato de que o Rio Pindaré apresenta maior precipitação, escoamento com fluxo elevado, com altas cargas de transporte de material de diversas origens. Por ser parte integrante dessa bacia, o Rio da Água Preta pode sofrer influência de tais características, associado a eventos de dinâmica de uso e cobertura da terra, como também pelo manejo inadequado do solo, apresentando assim valores anômalos de fosfato, como também de nitrogênio total, como o que ocorreu no período seco de 2019.

O ortofosfato, por sua vez, a forma mais assimilável pelas plantas em ambiente aquático, apresentou concentrações no limite aceitável para os ambientes lêntico, intermediário e lótico na Sub-bacia do Rio da Água Preta. As maiores concentrações ocorreram no período chuvoso de 2021, com valor de 0,1 mg L^{-1} para os dois pontos (P1 e P2).

Como a escala de valores para os compostos de fósforo (fósforo total, fosfato e ortofosfato) apresenta grande amplitude, com valores muito elevados em 2019 (período seco) em comparação com aqueles de 2021, foi necessário elaborar um gráfico separadamente (Figura 7). Porém, para efeito de discussão, os resultados de 2019 devem ser integrados àqueles de 2021 (Figura 8).

Figura 8. Concentração de fósforo total, fosfato e ortofosfato (mg L^{-1}) em dois pontos , nos municípios de Zé Doca (P1) e Governador Newton Bello (P2), do Rio da Água Preta no ano de 2021 em diferentes períodos (chuvoso e seco).



Fonte: Elaborado pelos Autores (2022).

Para entendimento dos valores de fósforo e o que eles indicam para o ambiente aquático, é necessário saber que esse elemento se encontra, naturalmente, nas formações rochosas, usualmente na forma de fosfato. Por terem alto valor nutritivo para plantas e animais, os fosfatos são utilizados em fertilizantes e como complementos alimentares para animais, entre outros. Altas concentrações de fosfato em águas superficiais podem indicar afluxo de fertilizantes, descarga de esgoto doméstico ou a presença de efluentes industriais ou detergentes. Embora os fosfatos oriundos dessas fontes sejam usualmente polifosfatos ou ligados organicamente, todos irão degradar com o tempo para ortofosfato ou fosfato reativo. Quando altas concentrações de fosfato

persistem, algas e outras vidas aquáticas começam a proliferar, eventualmente levando a uma queda na concentração de oxigênio dissolvido na água, devido à aceleração da decomposição de matéria orgânica. Isso afeta sensivelmente a qualidade da água, sobretudo para consumo humano (EMÍDIO, 2012).

A fração mais significativa no estudo do fósforo é a sua forma inorgânica solúvel, que pode ser diretamente assimilada para o crescimento de algas e macrófitas. A presença de fósforo na água está relacionada a processos naturais (dissolução de rochas, carreamento do solo, decomposição de matéria orgânica, chuva) ou antropogênicos (lançamento de esgotos, detergentes, fertilizantes, pesticidas). Em águas naturais não poluídas, as concentrações de fósforo situam-se na faixa de 0,01 mg L^{-1} a 0,05 mg L^{-1} (BRASIL, 2014).

Conclusões

O Rio Pindaré, no trecho entre os municípios de Alto Alegre, Tufilândia e Pindaré-Mirim, MA, apresentou em 2010 e 2011 concentrações de nitrato abaixo do limite aceitável para as Águas Classes I e II. Já o fósforo total encontra-se acima dos limites aceitáveis para os ambientes aquáticos lêntico, intermediário e lótico, porém aceitáveis na água para consumo humano.

Para os municípios de Zé Doca e Governador Newton Bello, o nitrogênio total em 2019 (período seco) apresentou valores muito elevados (35,01 mg L^{-1} e 23, 66 mg L^{-1} respectivamente), diferentemente do ano de 2021 (período seco), cujos valores foram de 1,91 mg L^{-1} e 0,51 mg L^{-1} respectivamente. Embora os valores obtidos em 2019 sejam de um único período e, portanto, pouco representativos, servem de alerta para a necessidade de ações de monitoramento, visando à melhoria da qualidade da água na sub-bacia em questão.

O nitrato teve aumento considerável no período chuvoso de 2021, tanto para Zé Doca quanto para Governador Newton Bello, quando comparado ao período seco do mesmo ano. São valores de concentração muito superiores àqueles encontrados no Rio Pindaré, servindo assim de alerta para a necessidade de um monitoramento atualizado de suas águas. O valor de 17,75 mg L^{-1} de nitrato encontrado em Zé Doca (P1), por exemplo, é muito superior ao limite aceitável na água para consumo humano.

Para fósforo total em Zé Doca e Governador Newton Bello, ocorreu um aumento em 2019 (período seco), excedendo os limites aceitáveis. Em 2021 (períodos seco e chuvoso), os valores de concentração ficaram dentro dos limites aceitáveis no Rio da Água Preta.

O fosfato, por sua vez, seguiu a mesma tendência do fósforo total para os anos de 2019 e 2021. No entanto, tais valores servem de alerta, principalmente aqueles de 2019 (período seco) e são indicativos da necessidade de ações de intervenção e de monitoramento, visando à melhoria da qualidade da água na sub-bacia em questão.

O ortofosfato, a forma mais assimilável pelas plantas em ambiente aquático, apresentou concentrações no limite aceitável para os ambientes lêntico, intermediário e lótico na Sub-bacia do Rio da Água Preta. As maiores concentrações ocorreram no período chuvoso de 2021, com valor de 0,1 mg L^{-1} para os dois pontos (P1 e P2).

Considerando que o Rio da Água Preta é um afluente do Rio Pindaré, a probabilidade é a de que esse esteja atualmente com uma carga de compostos de nitrogênio e de fósforo relativamente elevada, exigindo atenção sobre a necessidade de gestão de suas águas.

Considerando que as comunidades rurais existentes na Sub-bacia do Rio da Água Preta, que abrange os municípios de Zé Doca e Governador Newton Bello, utilizam a água para consumo, torna-se imprescindível seu tratamento para que as concentrações de nitrogênio (nitrogênio total e nitrato) e de fósforo (fósforo total e fosfato/ortofosfato) se enquadrem nos valores permitidos para consumo humano, de acordo com a Resolução Conama nº 357/05 (BRASIL, 2005).

Para o Rio Pindaré, no trecho Alto Alegre - Tufilândia - Pindaré-Mirim, como também em toda sua extensão, é importante a adoção de novos estudos, como forma de conhecer mais detalhadamente tanto a qualidade como a quantidade de suas águas, desde as nascentes até seu exutório, como meio de suporte à gestão sustentável dos recursos hídricos do estado do Maranhão.

Referências

ABREU, B. V. **Estudos hidrológicos da bacia do Rio Pindaré-Mirim**. Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2013. 93 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Hidroweb**: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: http://hidroweb.ana.gov.br/. Acesso em: 20 jul. 2022.

AVALIAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DA AMAZÔNIA. **Construção do conhecimento e sistematização de experiências sobre valoração e pagamento por serviços ecossistêmicos e ambientais no contexto da agricultura familiar amazônica**. (Projeto). [S.l.], 2019. 50 p. (Código SEG 44.17.01.010.00.00).

ASSUNÇÃO, M. M.; BARRETO, L. N.; ADDUM, F. M.; FEITOSA, A. C.; RODRIGUES, Z. M. R. Diagnóstico socioambiental de uma população ribeirinha urbana do rio Pindaré, estado do Maranhão. **InterEspaço**, v. 2, n. 7, p. 96-114, 2016.

BAIRD, R.; BRIDGEWATER, L. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23rd ed. Washington, D. C.: American Public Health Association, 2017.

BARBOSA, L. S.; SILVA FILHO, E. P. Influência do uso e ocupação na qualidade da água no Rio Pirarara, afluente do Rio Machado, Rondônia/Brasil. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 7, p. 320-332, 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília, DF: Funasa, 2014. 112 p.

BRASIL. Ministério Público Federal. **Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF, 2005. Disponível em: https://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/projetos/qualidade-da-agua/legislacao/resolucoes/resolucao-conama-no-357-de-17-de-marco-de-2005/view. Acesso em: 1 nov. 2022.

COSTA, C. L.; BRAZ, C. E. M.; KAMOGAWA, M. Y.; BERNARDI, A. C. C.; SOUZA, G. B.; NOGUEIRA, A. R. A. **Determinação de nitrato e amônio por sistema de análise em fluxo em amostras de lixiviação de solo**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2018. 18 p. (Circular técnica, 80).

EMÍDIO, V. J. G. **A problemática do fósforo nas águas para consumo humano e águas residuais e soluções para o seu tratamento**. 2012. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Universidade do Algarve, Portugal, 2012.

FIGUEIREDO, R. O.; MARKEWITZ, D.; DAVIDSON, E. A.; SCHULER, A. E.; WATRIN, O. S.; SILVA, P. S. Land-use effects on the chemical attributes of low-order streams in the eastern Amazon. **Journal of Geophysical Research**, v. 115, p. 1-14, 2010. DOI: http://10.1029/2009JG001200.

MARANHÃO. Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Turismo. **Diagnóstico dos principais problemas ambientais do Estado do Maranhão**. São Luís: SEMATUR, 1991. 193 p.

PEREIRA, A. A.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; KASCHUK, G.; CHUEIRI, L. M. de O.; CAMPO, R. J.; TORRES, E. Variações qualitativas e quantitativas na microbiota do solo e na fixação biológica do nitrogênio sob diferentes manejos com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 31, p. 1397-1412, 2007.

POMPÊO, M. L. M.; MOSCHINI CARLOS, V.; SILVA FILHO, C. G. Transporte de nitrogênio, fósforo e seston em três rios pré-amazônicos. **Bioikos**, v. 16, n. 1/2, p. 29-39, 2002.

SANTANA, S. H. C. de; SILVA, D. F. da; LAURENTINO, M. L. S.; GALVÍNCIO, J. D.; OLIVEIRA, T. H. de. Estudo de parâmetros de qualidade de água e análise de imagens do Landsat5 referente ao oeste da região do Sub-médio São Francisco. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: Inpe, 2011.

SCHENEIDER, R. M.; FREIRE, R.; COSSICH, E. S.; SOARES, P. F.; FREITAS, F. H.; TAVARES, C. R. G. Estudo da influência do uso e ocupação de solo na qualidade da água de dois córregos da Bacia hidrográfica do rio Pirapó. **Acta Scientiarum Technology**, v. 33, n. 3, p. 295-303, 2011.

SHELTON, M. L. Seasonal hydroclimate change in the Sacramento River Basin, California. **Physical Geography**, v. 19, n. 3, p. 239-255, May/June 1998.

SILVA, M. R.; SILVA, L. V.; BARRETO, L. N. C.; RODRIGUES, E. H. C.; MIRANDA, R. C. M.; BEZERRA, D. S.; PEREIRA, D. C. A. Qualidade da água da Bacia do Rio Pindaré, nos trechos correspondentes aos Municípios de Pindaré- Mirim, Tufilândia e Alto Alegre no Estado do Maranhão. **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 4, p. 347-354, 2017.

YDI, S. J. **Um estudo dos níveis de espécies solúveis de fósforo em córregos urbanos, em função das características de ocupação das áreas drenadas**. 2000. 168 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Instituto de Química, São Paulo, 2000.