

FATORES QUE CONTRIBUEM PARA A PRESENÇA DOS COMPOSTOS DE NITROGÊNIO E FÓSFORO NO RIO DA ÁGUA PRETA, MUNICÍPIOS DE ZÉ DOCA E GOVERNADOR NEWTON BELLO – MA

Data de submissão: 08/02/2024

Data de aceite: 01/03/2024

Marco Antonio Ferreira Gomes

Embrapa Meio Ambiente
Jaguariúna, São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/5589120793657544>

Lauro Charlet Pereira

Embrapa Meio Ambiente
Jaguariúna, São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/3825184282983083>

Anderson Soares Pereira

Embrapa Meio Ambiente
Jaguariúna, São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/2267052143315005>

Antonio Kledson Leal Silva

Universidade Federal Rural da Amazônia
Capanema, Pará
<http://lattes.cnpq.br/0733102938676522>

Sérgio Gomes Tôsto

Embrapa Territorial
Campinas, São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/3770803636854466>

Maranhenses e Litoral Ocidental (NUGEO, 2023). 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. Frente aos diversos e constantes impactos negativos causados ao meio ambiente pelas atividades antrópicas, 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 aqueles de caráter hídrico. Nesse cenário, encontra-se a sub-bacia do rio da Água Preta, um dos principais afluentes do rio Pindaré, inserida na porção amazônica do Estado do Maranhão, mais especificamente nos municípios de Zé Doca e Governador Newton Bello, onde existem diversos assentamentos rurais com atividades agropecuárias de subsistência, vivendo sob condições precárias. Nesse ambiente de degradação dos recursos naturais, o rio da Água Preta, encontra-se comprometido, principalmente em relação à presença de compostos de nitrogênio e de fósforo. Assim, o presente trabalho procura identificar os fatores responsáveis pela presença desses compostos na água do rio em questão, em complemento às discussões realizadas por

RESUMO: O Maranhão é um estado brasileiro com destaque pelo seu grande potencial hídrico, com três bacias hidrográficas de âmbito estadual e nove bacias hidrográficas de âmbito federal, abrangendo os sistemas hidrográficos Ilhas

Gomes et al. (2023), considerando os anos de 2019 e 2021, como forma de contribuição à gestão sustentável dos recursos hídricos da região.

PALAVRAS-CHAVE: qualidade da água, degradação recursos hídricos, assentamentos rurais, práticas agrícolas

FACTORS THAT CONTRIBUTE TO THE PRESENCE OF NITROGEN AND PHOSPHOROUS COMPOUNDS IN THE ÁGUA PRETA RIVER, MUNICIPALITIES OF ZÉ DOCA AND GOVERNADOR NEWTON BELLO, MARANHÃO STATE

ABSTRACT: Maranhão is a Brazilian state that stands out for its great water potential, with three rivers basins at the state level and nine river basins at the federal level, also covering the Maranhenses Islands and West Coast hydrographic systems (NUGEO, 2023). However, this large water network in the state, by itself, is not enough to guarantee the supply of quality water for the diverse needs of the people of Maranhão State. Faced with the diverse and constant negative impacts caused to the environment by anthropic activities, it becomes imperative for public authorities and society to build, together, management and control structures for the use of natural resources, in particular for those of a water nature. In this scenario, there is the sub-basin of the Água Preta River, one of the main tributaries of the Pindaré River, inserted in the Amazonian portion of the Maranhão State, more specifically in the Zé Doca and Governador Newton Bello municipalities, where there are several rural settlements with subsistence agricultural activities, living under precarious conditions. In this scenario of environment degraded, the content of the Água Preta River it is impacted, mainly in relation to the presence of nitrogen and phosphorus compounds. Thus, the present work seeks to identify the factors responsible for the presence of these compounds in the water of the river in question, in addition to the discussions carried out by Gomes et al. (2023), considering the years 2019 and 2021, as a way of contributing to the sustainability management of water resources in the region.

KEYWORDS: water quality, degradation of water resources, rural settlements, agricultural practices

INTRODUÇÃO

Em função do crescimento populacional, aumento da atividade agropecuária e uso não sustentável dos seus recursos naturais, a bacia do rio Pindaré no estado do Maranhão (MA) vem sofrendo diversos tipos de impactos ambientais que incluem desmatamento, erosão, lançamento de rejeitos contendo esgotos domésticos, fertilizantes e pesticidas que, em conjunto, têm afetado negativamente os recursos hídricos locais (MARANHÃO, 1991; Assunção et al., 2016).

Uma análise da água pode ser baseada na comparação de características físico-químicas com padrões estabelecidos para os diversos tipos de usos previstos, tais como consumo humano e cultivos diversos, incluindo a irrigação. Ao se analisar esses parâmetros pode-se 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, tais como o abastecimento público, a irrigação, o lazer, a manutenção da vida aquática, entre outros (Pereira et al., 2007).

Nesse aspecto, o presente trabalho aborda os fatores que contribuem para as concentrações de nitrogênio e de fósforo presentes na água do rio da Água Preta, um dos principais afluentes do rio Pindaré na sua porção mais a jusante, entre os quais estão aspectos geológicos, pedológicos, climáticos como também de uso e cobertura da terra, com foco na conversão de floresta para pastagens, envolvendo os municípios de Zé Doca e Governador Newton Bello/MA. Parte das informações aqui apresentadas, foram obtidas a partir do trabalho realizado por Gomes et al. (2023) que buscou como foco principal as concentrações dos elementos/compostos de N e P na sub-bacia do rio da Água Preta, com abordagem adicional sobre a concentração dos mesmos em três pontos do rio Pindaré.

A identificação e compreensão dos fatores que contribuem para a concentração dos compostos de N e P na água, aqui propostos, fazem parte de um conjunto de informações para subsidiar ações de conservação e gerenciamento dos recursos hídricos na região que abrange a sub-bacia do rio da Água Preta, visando as populações mais vulneráveis, particularmente aquelas dos assentamentos rurais.

BACIA DO RIO PINDARÉ

O rio Pindaré nasce na Serra do Gurupi no estado do Maranhão e possui uma área de 34.000 km², com extensão de 720 km até desembocar no rio Mearim, já próximo da baía de São Marcos. A bacia estende-se na direção sul-sudoeste a norte-nordeste, limitando-se a oeste com a bacia do rio Gurupi e a leste com a bacia do rio Grajaú. O rio Pindaré tem como principais afluentes os rios Buriticupu, Negro, Paragominas, Zutiua, Timbira, Água Preta (Figura 1). Suas descargas sofrem pronunciadas variações entre os períodos chuvoso e seco, decaindo para 30,2 m³/s no trimestre setembro-outubro-novembro e atingindo 493,7 m³/s no trimestre março-abril-maio, na cidade de Pindaré-Mirim (IBGE, 1997; UEMA, 2016).

O rio Pindaré é o principal afluente do rio Mearim, e está situado na margem esquerda deste, no estado do Maranhão, entre os paralelos 3°11' e 5°51' Sul e os meridianos 45°38' e 46°26' Oeste. A nascente do rio Pindaré está localizada nas proximidades da cidade de Montes Altos e Amarante do Maranhão, na serra do Gurupí, em área indígena denominada Krikati, a cerca de 300 metros de altitude. Percorrendo cerca de 466,3 km até atingir a sua foz, no rio Mearim, o rio Pindaré tem área de drenagem total de aproximadamente 40.482 km².

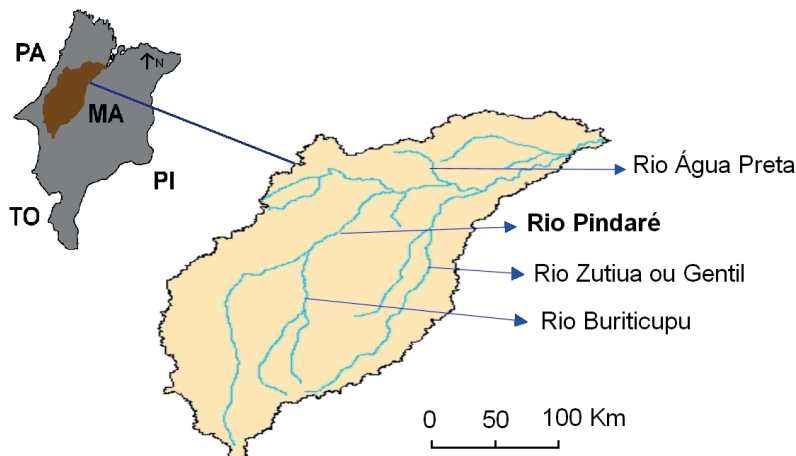


Figura 1. Bacia do rio Pindaré no estado do Maranhão com seus afluentes, entre eles o rio da Água Preta.

Fonte: Adaptado de Abreu (2013).

Sub-bacia do rio da Água Preta

A sub-bacia do rio da Água Preta foi escolhida para estudo 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 suas relações com o uso e cobertura da terra, e propor alternativas que possam melhorar as condições de vida dessa população (ASEAM/FUNDO AMAZÔNIA, 2019).

A Figura 2, a seguir, mostra a localização da sub-bacia do rio da Água Preta, com os dois pontos de amostragem, dentro da bacia do rio Pindaré, um dos principais cursos d'água do Estado do Maranhão.

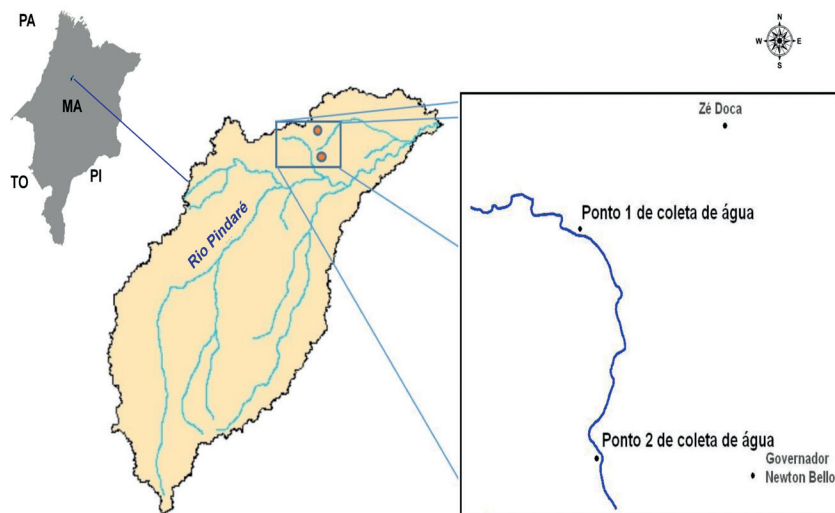


Figura 2. Localização da sub-bacia do rio da Água Preta na Bacia do rio Pindaré.

Fonte: Adaptado de Abreu (2013). Coordenadas Geográficas (Localidade – Ponto: Latitude, Longitude):
 Zé Doca - Ponto 1 de coleta de água: 03° 18' 19,36" Sul e 45° 45' 36,27" Oeste;
 Governador Newton Bello - Ponto 2 de coleta de água: 03° 24' 37,58" Sul e 45° 45' 46,09" Oeste.

As Figuras 3 e 4, a seguir, ilustram os pontos de coleta de água P1 e P2 nos municípios de Zé Doca e Governador Newton Bello, respectivamente.



Figura 3. Ponto de coleta de água (P1), em local a montante do rio da Água Preta, município de Zé Doca.

Autor: Marco Antonio Ferreira Gomes.



Figura 4. Ponto de coleta de água (P2), em local a jusante do rio da Água Preta, município de Governador Newton Bello.

Autor: Marco Antonio Ferreira Gomes.

CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS DA SUB-BACIA DO RIO DA ÁGUA PRETA

Geologia

Os municípios de Zé doca e Governador Newton Bello estão inseridos nos domínios da Bacia Sedimentar do Parnaíba, que, segundo Brito Neves (1998), foi implantada sobre os *riftes* cambro-ordovicianos de Jaibaras, Jaguarapi, Cococi/Rio Jucá, São Julião e São Raimundo Nonato. Compreende as supersequências Silurianas (Grupo Serra Grande), Devoniana (Grupo Canindé) e Carbonífero-Triássica (Grupo Balsas) de Góes e Feijó (1994). Na área do município, o Cretáceo está representado pela Formação Itapecuru (K12it); o Terciário pelos Depósitos Detrito-Lateríticas (Nd). Formação Itapecuru (K12it). Campbell (1948) foi quem primeiro descreveu essa unidade, denominando-a de Formação Serra Negra. Posteriormente, passou a usar o termo Itapecuru, atribuindo-lhe idade cretácea, posicionando-a, com discordância local, sobre a Formação Codó. Litologicamente, essa unidade consiste, no flanco oeste e noroeste da bacia, de arenitos avermelhados, médios a grosseiros, com faixas conglomeráticas muito argilosas e intercalações de argilitos e siltitos, de coloração variegada. Seguem-se arenitos avermelhados e esbranquiçados, finos a médios, caulínicos, com estratificação cruzada de grande porte (Correia Filho, 2011).

Solos

Os solos da região estão representados por Latossolo Amarelo, Argissolo Vermelho amarelo e Plintossolo (EMBRAPA, 2018). Latossolos Amarelos são solos profundos, bem a acentuadamente drenados, com horizontes de coloração amarelada, de textura média e argilosa, sendo predominantemente distróficos, ocorrendo também álicos, com elevada saturação de alumínio e teores de nutrientes muito baixos. São encontradas em áreas de topos de chapadas, ora baixas e dissecadas, ora altas e com extensões consideráveis, apresentando relevo plano com pequenas e suaves ondulações, tendo como material de origem mais comum, as coberturas areno-argilosas e argilosas, derivadas ou sobrepostas às formações sedimentares. Mesmo com baixa fertilidade natural e em decorrência do relevo plano e suavemente ondulado, esse solo tem ótimo potencial para agricultura e pecuária. Devido à sua baixa fertilidade e acidez elevada, esses solos são exigentes em corretivos e fertilizantes químicos e orgânicos. Os Podzólicos Vermelho-Amarelos (atualmente denominados de Argissolos Vermelho-Amarelos), de acordo com Embrapa (2018), são solos minerais com textura média e argilosa, situando-se, principalmente, nas encostas de colinas ou outeiros, ocupando também áreas de encostas e topo de chapadas, com relevo que varia desde plano até fortemente ondulado. São originados de materiais de formações geológicas, principalmente sedimentares, de outras coberturas argilo-arenosas assentadas sobre as formações geológicas. As áreas onde ocorrem essa classe de solo são utilizadas com cultura de subsistência, destacando-se as culturas de milho, feijão, arroz e fruticultura (manga, caju e banana), além do extrativismo do coco babaçu. As áreas, onde o relevo é plano a suavemente ondulado podem ser aproveitadas para a agricultura, de forma racional, com controle da erosão e aplicação de corretivos e adubos para atenuar os fatores limitantes à sua utilização. Plintossolos são solos de textura média e argilosa que tem restrição à percolação d'água, sujeitos ao efeito temporário do excesso de umidade e se caracterizam por apresentar horizonte plíntico, podendo ser álicos, distróficos e eutróficos. Ocupam áreas de relevo predominantemente plano ou suavemente ondulado e se originam a partir das formações sedimentares. Os Plintossolos eutróficos são os que propiciam maior produtividade com as diversas culturas. Os Plintossolos álicos e distróficos, principalmente os arenosos, são solos de baixa fertilidade natural e acidez elevada (Correia Filho, 2011).

Relevo

O relevo na região dos dois municípios é formado por planícies suavemente onduladas contendo extensas áreas rebaixadas de formação sedimentar recente com presença de morros testemunho. Os relevos residuais presentes formam outeiros e superfícies tabulares cujas bordas decaem em colinas de declividades variadas (Feitosa, 2006). Os cursos d'água da região fazem parte da bacia hidrográfica do Pindaré e a vegetação é composta pela floresta Ombrófila Densa que se caracteriza por apresentar árvores altas, conforme dados do IMESC (2008), de acordo com Correia Filho (2011).

Uso e Cobertura da Terra

Como o uso e cobertura da terra pode influenciar na presença dos compostos de N e P na água, foi realizado o levantamento das diversas categorias, representadas por dez classes, de acordo com a Figura 5.

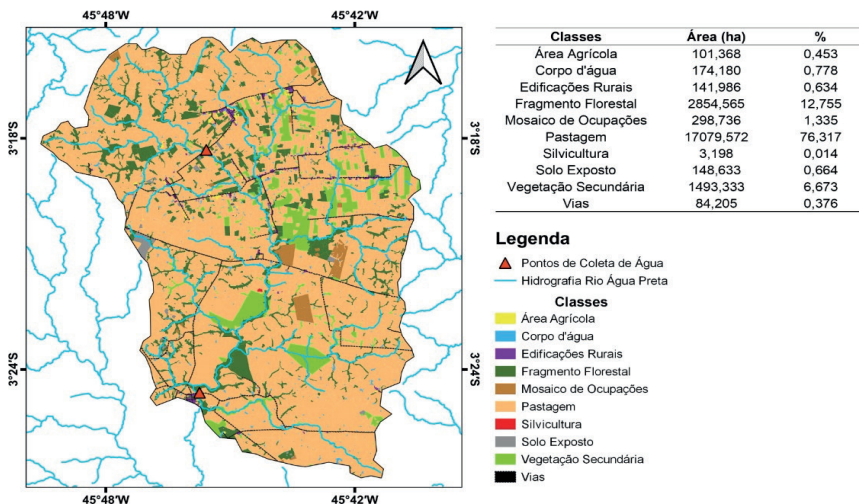


Figura 5. Mapa de Uso e Cobertura da Terra com as respectivas distribuições em hectares (ha) e percentagem (%) para a Sub-bacia do rio da Água Preta.

Fonte: Gomes et al., (2023).

As áreas de pastagem são predominantes na sub-bacia do rio da Água Preta com cerca de 76,3 % de representatividade. A seguir, tem-se os Fragmentos Florestais (12,7 %) e a Vegetação Secundária (6,7 %) que são outras duas classes com expressiva representatividade na sub-bacia estudada. É importante ressaltar a baixíssima presença de áreas agrícolas (cultivos anuais e perenes) na sub-bacia, correspondendo à apenas cerca de 0,5% da área total estudada.

As demais formas de uso e cobertura da terra são pouco representativas da sub-bacia estudada.

Em complemento às informações de uso e cobertura da terra, foram levantados os dados de precipitação pluviométrica mais próximos da sub-bacia do rio da Água Preta (Estação meteorológica de Pindaré Mirim), de acordo com a Tabela 1, com o intuito de auxiliar no entendimento sobre as concentrações de determinados compostos na água, via escoamento superficial, durante o período seco de 2019 e os períodos chuvoso e seco de 2021, quando foram realizadas as coletas.

Em ambos os pontos de coleta de água (P1 a montante e P2 a jusante), a presença de Fragmento Florestal está associado às áreas de proteção permanente (APP), com predomínio de pastagens nos seus entornos.

Clima/Precipitação

Na Sub-bacia do rio da Água Preta predomina o clima tropical quente e úmido (As), com chuvas em níveis elevados durante praticamente todo o ano, superando os 2.000 mm, e com temperaturas que oscilam entre 22,25 °C e 32,26 °C (Correia Filho, 2011). De acordo com a ANA (2022), os valores médios anuais de temperatura são superiores a 24°C.

O período chuvoso se concentra entre os meses de novembro e maio, com alguma variação até junho, com registro mensal máximo da ordem de 584 mm no mês de março e 680 mm em abril, alcançando os maiores picos de chuva. O período seco ocorre entre os meses de junho e outubro, com incidência zero de chuva no mês de agosto nos anos de 2019, 2020 e 2021, de acordo com ANA, 2022 (Tabela 1).

Mês	Precipitação Mensal (mm)	Dias Chuva Mensais	Precipitação Mensal (mm)	Dias Chuva Mensais	Precipitação Mensal (mm)	Dias Chuva Mensais
	2019		2020		2021	
Jan	246	17	272	24	138	7
Fev	265	21	352	19	161	9
Mar	584	23	376	17	504	17
Abr	463	26	680	18	222	10
Mai	201	16	156	14	62	5
Jun	105	7	30	7	196	7
Jul	17	2	2	1	70	4
Ago	0	0	0	0	0	0
Set	0	0	4	1	40	3
Out	9	3	2	1	265	12
Nov	114	6	244	7	134	10
Dez	231	8	193	7	307	15
TOTAL ANUAL	2235	129	2309	116	2099	99

Tabela 1. Precipitação Mensal (mm) e Dias de Chuva Mensais (mm) em Pindaré Mirim nos anos de 2019, 2020 e 2021.

Fonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil; estação pluviométrica de Alto Alegre do Pindaré / MA (3°39'56"S, 45°50'35"W) (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA, 2022).

A partir da análise das informações da Tabela 1, destacam-se os valores de precipitação do mês de abril de 2020 (680 mm), como também dos meses de março (504 mm) e de dezembro (307 mm).

Os dias mais chuvosos concentram-se nos meses de janeiro a abril, enquanto os dias mais secos (extremos) concentram-se nos meses de julho, agosto e setembro.

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 - MA

Foram analisados cinco compostos, representados pelo nitrogênio total, nitrato, fósforo total, fosfato e ortofosfato, de acordo com a Tabela 2 e exibidos, graficamente, por meio das Figuras 6, 7 e 8 (Gomes et al., 2023). As amostras de água foram coletadas em dois pontos (P1 e P2) no período seco de 2019 (05/12/2019) e nos períodos seco e chuvoso de 2021 (10/12/2021 e 31/03/2021 respectivamente). O primeiro ponto denominado de (P1) localiza-se no município de Zé Doca, em posição a montante, e o segundo ponto (P2) no município vizinho, Governador Newton Bello, em posição a jusante em relação ao primeiro ponto de coleta.

Parâmetros	P1			P2		
	2019	2021		2019	2021	
	Seco	Chuvoso	Seco	Seco	Chuvoso	Seco
NitrogênioTotal (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 ₂ O ₅)	0,04	0,10	0,08	0,06	0,10	0,07

Valores de referência: Nitrogênio total - 3,7 mgL⁻¹ para água com pH ≤ 7,5; Nitrato - máx. 10 mgL⁻¹ (Classes Água I e II) - Resolução Conama nº 357/05. Fósforo total - máx. 0,025 mgL⁻¹ (Ambiente Léntico); máx - 0,05 mgL⁻¹ (Ambiente intermediário); máx. - 0,10 mgL⁻¹ (Ambiente lótico); Fosfato e Ortofosfato - máx. 0,10 mgL⁻¹ (Ambientes lântico, Intermediário e Lótico - Baird e Bridgewater (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st/23rd Edition. (Classes de Água I e II) Resolução Conama nº 357/05 (BRASIL, 2005).

Tabela 2. Resultados de parâmetros físico-químicos obtidos (mgL⁻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.

Fonte: Gomes et al., (2023).

De acordo com a Tabela 2 e a ilustração da Figura 6, a concentração de nitrogênio total em 2019 para os dois pontos amostrados, superou muito os limites aceitáveis (Valores de referência no rodapé da Tabela 2) para as águas de Classe I e II (Resolução CONAMA 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 mgL⁻¹ para o Rio da Água Preta no município de Zé Doca (Gomes et al., 2023).

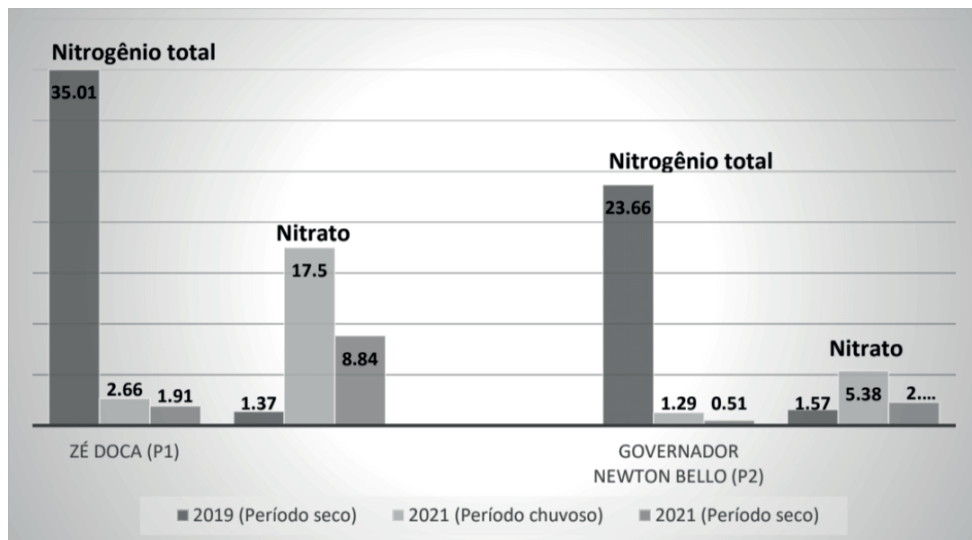


Figura 6. Concentração de Nitrogênio Total e Nitrato (mgL^{-1}) em dois pontos (P1 – Zé Doca e P2 – Governador Newton Bello) nos anos de 2019 e 2021, em diferentes períodos no rio da Água Preta.

Fonte: Gomes et al., (2023).

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, junto ao leito do rio, a partir de galhos e folhas acumulados, devido ao baixo fluxo ou movimento da água no período seco. Foi levantada também a possibilidade de acesso de animais diretamente ao rio, como possível fator de contribuição para o aumento de N total, embora não tenha sido identificado um número significativo dos mesmos durante as coletas de água. No entanto, há predomínio de pastagens (Figura 1) em toda 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 (Gomes et al., 2023).

Já 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 comparado a 2019. É possível que tal fato tenha relação com uma provável remoção do excesso, junto ao leito do rio, a partir de um evento de chuva mais intenso. Isso pode ser constatado pelos eventos dos meses de março (504 mm), outubro (265 mm) e dezembro (307 mm), de acordo com Gomes et al. (2023).

Para Gomes et al. (2023), 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.

Em relação ao nitrato, em 2021 ocorreu uma concentração mais elevada no período chuvoso ($17,5 \text{ mgL}^{-1}$) em comparação com o período seco ($8,84 \text{ mgL}^{-1}$) no ponto 1 em Zé Doca. A mesma tendência se repetiu para Governador Newton Bello, com valores de $5,38 \text{ mgL}^{-1}$ e $2,28 \text{ mgL}^{-1}$ 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 mm de precipitação, de acordo com a Tabela 1. Embora os valores de nitrato apresentados em 2021 para esses municípios, se mostrem abaixo do limite aceitável de 10 mgL^{-1} na água para consumo humano, com exceção do período chuvoso em Zé Doca, existe a necessidade de acompanhamento do comportamento desse composto por meio de um monitoramento. Nesse sentido, Gomes et al. (2023) relatam que tais concentrações de nitrato servem de alerta para os gestores do referido município, principalmente porque não há evidências de qualquer relação entre as mesmas e os principais tipos de uso na sub-bacia, abordagem que passou a fazer parte do presente trabalho, de maneira mais detalhada.

Já as concentrações de fósforo total na sub-bacia do rio da água Preta apresentaram valores de $0,83$ a $1,12 \text{ mgL}^{-1}$ no período seco de 2019, No entanto durante o período chuvoso de 2021 esses valores foram bastante reduzidos, sendo da ordem de $0,02$ a $0,03 \text{ mgL}^{-1}$ para os dois pontos (P1 e P2), quando comparados com os valores de concentração encontrados no rio Pindaré ($0,61$ a $0,79 \text{ mgL}^{-1}$ 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 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 (PO_4^{-3}), da mesma forma que o fósforo total, apresentou baixas concentrações, com valores de $0,07$ e $0,06 \text{ mgL}^{-1}$ 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 5), cujos valores são comprometedores da qualidade da água ($3,84 \text{ mgL}^{-1}$ e $5,14 \text{ mgL}^{-1}$ para os pontos P1 e P2 respectivamente). Porém, como foi uma avaliação pontual, há necessidade de mais investigações (monitoramento), pelos menos a médio prazo (Gomes et al., 2023).

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 (P2 - Município de Governador 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 (Gomes et al., 2023). 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 recebe maior precipitação pluviométrica, resultando em elevado fluxo de escoamento superficial, com alto transporte de materiais 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 lântico, intermediário e lótico na sub-bacia do rio da Água Preta. As maiores concentrações ocorreram no período chuvoso de 2021, com valor de $0,1 \text{ mgL}^{-1}$ para os dois pontos (P1 e P2), de acordo com Gomes et al. (2023).

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).

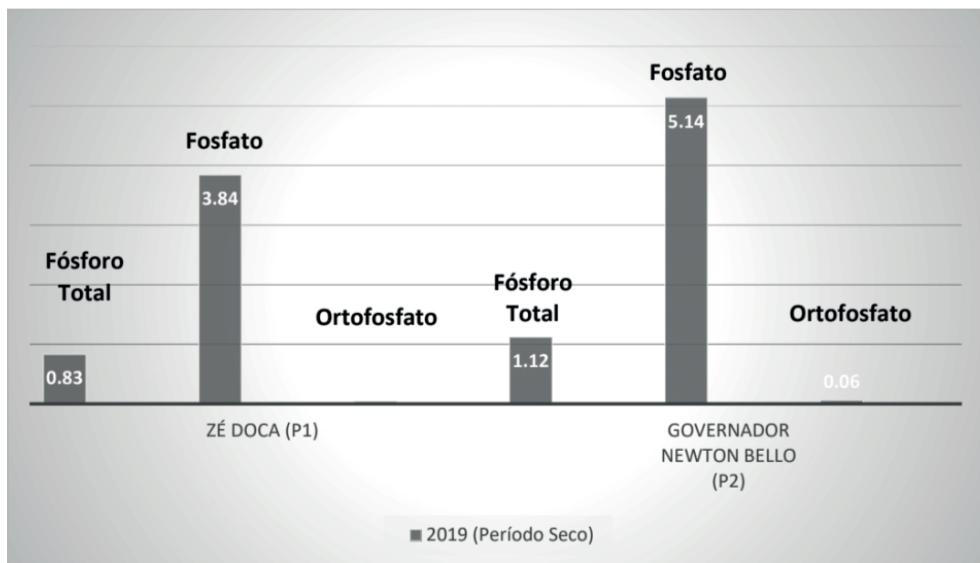


Figura 7. Concentração de Fósforo Total, Fosfato e Ortofosfato (mgL⁻¹) em dois pontos (P1 - Zé Doca e P2 - Governador Newton Bello) do rio da Água Preta no ano de 2019 durante o período seco.

Fonte: Gomes et al., (2023).

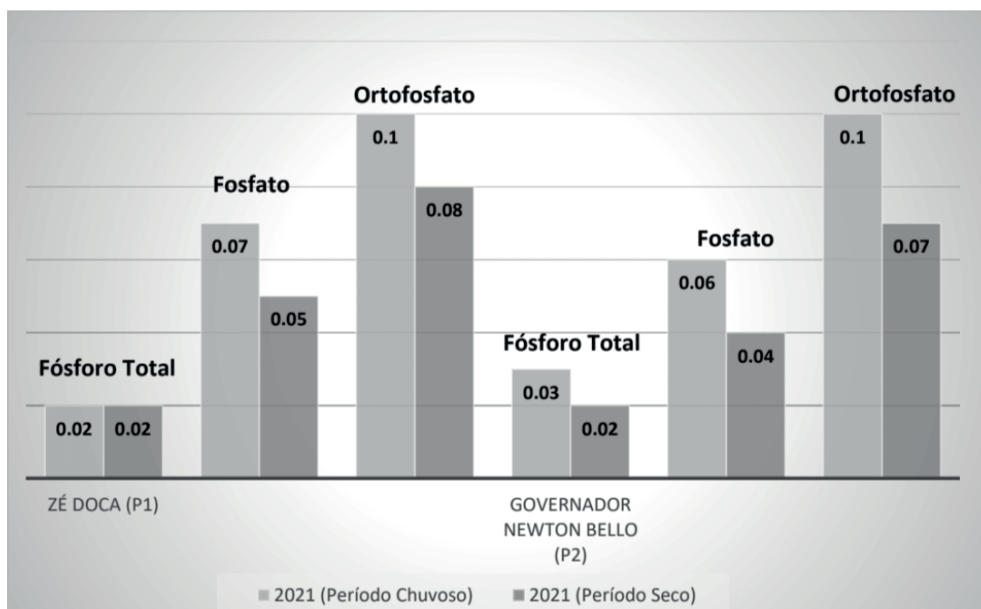


Figura 8. Concentração de Fósforo Total, Fosfato e Ortofosfato (mgL⁻¹) em dois pontos (P1 - Zé Doca e P2 - Governador Newton Bello) do rio da Água Preta no ano de 2021 em diferentes períodos (chuvoso e seco).

Fonte: Gomes et al., (2023).

O fósforo ocorre, 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, por exemplo, 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 poli-fosfatos 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 $0,01 \text{ mgL}^{-1}$ a $0,05 \text{ mgL}^{-1}$ (BRASIL, 2014).

Entretanto, uma nova discussão é proposta no item 5, a seguir, com o objetivo de elucidar os fatores que estão contribuindo para a presença dos compostos de nitrogênio e de fósforo no rio da Água Preta.

FATORES QUE CONTRIBUEM PARA A PRESENÇA DE COMPOSTOS DE NITROGÊNIO E DE FÓSFORO NOS CURSOS D'ÁGUA

Aspectos geológicos (geoquímicos), pedológicos e climáticos

Vários mecanismos podem atuar para a disponibilização de compostos de nitrogênio (N) e fósforo (P) nas águas superficiais, entre eles os de natureza geológica, pedológica e climática.

No caso da geologia, as rochas que compõe o substrato maciço da região podem conter quantidades consideráveis de fósforo, o que constitui fonte potencial de concentração desse elemento e seus compostos. Havendo condições climáticas favoráveis, os mesmos serão transportados por escoamento superficial até os cursos d'água. A Formação Itapecuru, predominante na área de estudo, é representada principalmente por arenitos avermelhados de textura média a grosseira, intercalados com arenitos esbranquiçados, com também argilitos e siltitos de cores variegadas. Tais rochas, no entanto, de acordo com ampla revisão de literatura pelos autores do presente trabalho, não apresentam evidências da presença de fósforo que possa contribuir para sua concentração nos cursos d'água (Pessoa, 2005; Correia Filho, 2011; Klein & Sousa, 2012; Bandeira, 2013).

No caso da pedologia, os solos representativos da sub-bacia do rio da água Preta, como os Argissolos de textura média e os Plintossolos, também são pobres em fósforo. Levantamentos desses solos na Amazônia, de um modo geral, apresentam concentrações de P disponível < 4 mg/L, indicando baixa fertilidade natural (Neves et al., 2019).

Em relação ao clima, índices pluviométricos elevados (médias anuais acima de 2.000 mm), de acordo com ANA (2022), aliados a valores médios anuais de temperatura superiores a 24°C, sendo que ao norte do estado chega a atingir 26°C (Correia Filho, 2011), favorecem o processo de escoamento superficial dos elementos N e P até os cursos d'água, muitas vezes adsorvidos às partículas de solos transportadas por meio de processos erosivos.

O nitrogênio em sua ocorrência natural, está associado às grandes tempestades, que dão origem aos ácidos nítricos. O índice pluviométrico elevado na região em foco, com médias anuais acima de 2.000 mm, certamente contribui para a formação de quantidades consideráveis desses compostos que são transportados até os cursos d'água. Acrescenta-se também nesse processo, o nitrogênio proveniente de desmatamentos (decomposição de restos vegetais) e das queimadas. Nesse último, as perdas por volatilização são mais expressivas, mas ainda assim podem ocorrer transporte, por meio das cinzas, pela ação das chuvas até os cursos d'água (Oliveira Filho, 2020).

Na prática, os três fatores - *geológico, pedológico e climático*, agem de forma integrada na natureza, demonstrando assim a complexidade que envolve a dinâmica de disponibilidade de elementos ou compostos químicos no ambiente.

Aspectos hidrobiogeoquímicos - conversão da floresta em áreas agrícolas, vegetação secundária ou pastagens

A conversão da floresta tropical, altamente diversificada, para cultivos agrícolas simplificados, na sua grande maioria, monoculturas ou pastagens com uma só espécie de gramínea, geralmente exótica e implantada em áreas com infra-estrutura precária, geralmente causam impactos ambientais negativos e severos. Isso ocorre porque os mecanismos básicos de funcionamento do ecossistema natural, com sua efetiva reciclagem de matéria orgânica e nutrientes, são rompidos. Além disso, alguns nutrientes, como o nitrogênio (N) e o enxofre (S), podem ser perdidos em altas proporções durante a queimada inicial e/ou nas queimadas posteriores, com um grande potencial de se tornarem limitantes no sistema. No caso de pastagens na Amazônia brasileira, principalmente formadas com a gramínea *Brachiaria humidicola*, o manejo tem sido quase sempre inadequado e os fatores de degradação do solo e/ou da produção da pastagem evoluem rapidamente e podem levar ao abandono da área em poucos anos (Luizão, 2007).

Um aspecto importante nesse processo de disponibilização de N para o ambiente, está relacionado às perdas de matéria orgânica (MO) do solo, favorecidas pelo solo

tipicamente arenoso, como é o caso da sub-bacia do rio da Água Preta, que pela sua cor concentra grande quantidade de MO. Estudos realizados por Asner et al. (2004), por exemplo, mostraram que em áreas de pastagens ocorre um declínio dos estoques de carbono e o fósforo a ele associado. Isso foi comprovado por meio de um estudo de duas crono-sequências de pastagens, em Santarém/PA, sendo uma sobre solos argilosos e outra sobre solos arenosos, que confirmaram o declínio nos estoques de carbono (C) na biomassa aérea e no solo com a idade das pastagens. Esses declínios na biomassa de plantas estariam relacionados com a diminuição de carbono (C), do fósforo (P) disponível e do cálcio (Ca) trocável no solo; o fósforo (P) do ecossistema diminuiu adicionalmente com a idade das pastagens. Outro estudo de uma crono-sequência de pastagens, também em Santarém, realizado por Townsend et al. (2002), mostrou perdas significantes de matéria orgânica e de P-total do solo com a idade das pastagens, em solos já deficientes em P; estas perdas foram atribuídas a mudanças nas comunidades de microrganismos do solo.

De fato, com a decomposição da matéria orgânica ocorre a liberação de nutrientes para o meio e que poderão ser assimilados pelas algas e vegetais superiores, principalmente em lagos ou corpos d'água de pouco movimento. Entre os principais nutrientes estão o nitrogênio e o fósforo e sua importância para o meio aquático está relacionada com a produção primária do ambiente (por algas e vegetais superiores), de acordo com Cetesb (2023).

Frente ao exposto, um comportamento com vários aspectos similares ocorreu na sub-bacia do rio da Água Preta, onde a mata primária e, principalmente a secundária, deu lugar às pastagens nos últimos anos, muitas vezes consorciadas com babaçu e outras palmeiras comuns na região, contribuindo assim para concentrações elevadas dos compostos de nitrogênio e fósforo. Os fragmentos florestais (silvicultura) também presentes podem ter contribuído para esse cenário, de acordo com Figueiredo et al. (2020). É provável que no ambiente da sub-bacia do rio da Água Preta, os compostos químicos das plantas não estejam totalmente decompostos, sendo que a taxa de fixação do carbono (fotossíntese) e sua decomposição parcial em ácidos orgânicos solúveis excede a taxa de decomposição total de dióxido de carbono (oxidação), dando assim origem à coloração escura da água (AGUAS AMAZÓNICAS, 2023). De fato, a cor escura da água é resultado da presença de ácidos húmicos e fúlvicos oriundos da decomposição da matéria orgânica existente no solo arenoso, principalmente o Argissolo de textura média, e que foi lentamente transportada para o seu leito. Nessas condições, o pH da água assume caráter ácido que varia de 3,8 a 5,4 o que elimina a possibilidade de eutrofização.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir de uma análise mais detalhada do uso e cobertura das terras na sub-bacia do rio da Água Preta, apoiada em informações da literatura, considera-se que a substituição da mata nativa por pastagem, bem como a introdução da silvicultura (fragmentos florestais) tiveram influência na disponibilização dos compostos de nitrogênio e fósforo para a água, exemplificado pelos altos valores dos mesmos em análises realizadas em 2019 e 2021.

Os solos predominantemente arenosos em ambiente de alto índice pluviométrico anual (média > 2.000 mm), contribuíram para a remoção da matéria orgânica, conduzindo-a para o leito dos cursos d'água.

Nesse ambiente, os compostos químicos presentes na matéria orgânica transportada não estão totalmente decompostos, sendo que a taxa de fixação do carbono (fotossíntese) e sua decomposição parcial em ácidos orgânicos solúveis excede a taxa de decomposição total de dióxido de carbono (oxidação), imprimindo assim a cor preta na água.

O ambiente aquático rico em ácidos húmicos determina um pH baixo, condição que inibe o processo de eutrofização, mesmo com a presença de concentrações elevadas de fósforo na água.

REFERÊNCIAS

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

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

AGUAS AMAZÔNICAS. Rio de águas pretas. Disponível em: pt.aguasamazonicas.org/aguas-2/tipos-de-rios/rios-de-aguas-pretas. Acesso em 05 jul.2023.

ASEAM/FUNDO AMAZÔNIA. Projeto: Construção do conhecimento e sistematização de experiências sobre valoração e pagamento por serviços ecossistêmicos e ambientais no contexto da agricultura familiar amazônica. 2019. 50 p. (Código SEG 44.17.01.010.00.00).

ASNER, G. P.; KELLER, M.; PEREIRA JUNIOR, R.; ZWEEDE, J. C.; SILVA, J. N. M. Canopy damage and recovery following selective logging in an Amazon forest: integrating field and satellite studies *Ecological Applications*, 14(4): S280–S298. 2004.

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.

BANDEIRA, I. C. N. Geodiversidade do estado do Maranhão. (Org.) Iris Celeste do Nascimento. Teresina. CPRM, 2013. 294 p.

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

BRASIL. 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. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre>>.

CETESB. Mortandade de peixes – Matéria Orgânica e Nutrientes. In: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em:<https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/materia-organica-e-nutrientes/>. Acesso em: 05 jul. 2023.

CORREIA FILHO, F. L. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de Governador Newton Bello / Francisco Lages Correia Filho, Érico Rodrigues Gomes, Ossian Otávio Nunes, José Barbosa Lopes Filho. - Teresina: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2011. 31 p.: il.

EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. 356 p.

EMÍDIO, V. J. G. A problemática do fósforo nas águas para consumo humano e águas residuais e soluções para o seu tratamento. Universidade do Algarve: Portugal, 2012. 118p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente - especialidade de Tecnologias Ambientais).

FIGUEIREDO, R. O.; BAYMA, G.; PAZIANOTTO, R. A. A.; ZUCCARI, M. L.; COSTA, C. F. G.; CAMARGO, P. B.; PICOCOLO, M. C.; REIS, L. C. Efeitos do uso da terra sobre a hidrobiogeoquímica de microbacias de cabeceira na bacia do rio Jaguarí - Minas Gerais / Ricardo de Oliveira Figueiredo ... [et al.]. – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2020. PDF (30 p.): il. color. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Meio Ambiente, 1516-4675; 90).

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. 2023, p.253-269, DOI: <http://dx.doi.org/10.36882/2525-4812.2023v8i19>. p. 253-269.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Zoneamento Geoambiental do Estado do Maranhão: diretrizes gerais para a ordenação territorial. Salvador, 1997. 44p.

KLEIN, E. L.; SOUSA, C. S. Geologia e recursos minerais do estado do Maranhão: Sistema de Informação Geográfica - SIG. Escala 1.750.000. Belém: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2012. 152 p.

LUIZÃO, F. J. Ciclos de nutrientes na Amazônia: repostas às mudanças ambientais e climáticas. *Cienc. Cult.* vol.59 no.3 São Paulo July/Sept. 2007. p. 31-36.

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

NEVES, D. K. P.; SOUZA, M. C.; REIS, A. F. Fósforo disponível em latossolo e argissolo. Anais da XIII Semana Nacional de Ciência e Tecnologia ICET/UFAM e IFAM 21 a 26 de outubro de 2019 – Itacoatiara/Amazonas. 10 p.

NUGEO: NÚCLEO GEOAMBIENTAL. **Bacias Hidrográficas Maranhenses**. Disponível em: https://www.nugeo.uema.br/?page_id=255. Acesso em: 10 ago. 2023.

OLIVEIRA FILHO, E. C. Queimadas e recursos hídricos: efeitos das cinzas sobre os ecossistemas aquáticos. 2020. Disponível em: embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/56780861/artigo---queimadas-e-recursos-hidricos-efeitos-das-cinzas-sobre-os-ecossistemas-aquaticos. Acesso em: 06 jul. 2023.

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.

PEREIRA; N.J. Qualidade da água e alterações histopatológicas em órgãos de peixes como biomarcadores de contaminação aquática do Rio Mearim no município de Bacabal, MA. In: Relatório Final de Iniciação Científica, São Luís, MA, 2014.

PESSOA, V. C. O. Análise Faciológica da Formação Itapecuru (bacia do Parnaíba) em testemunhos de sondagem. Rio de Janeiro, 2005. 58 p. UFRJ. Monografia - UFRJ/Instituto de Geociências.

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 ET. AL. 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. *Anais...* Curitiba, 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.

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.

TOWNSEND, A. R.; ASNER, C. C.; CLEVELAND, M. L.; BUSTAMANTE, M. M. C. Unexpected changes in soil phosphorus dynamics following forest-to-pasture conversion in the humid tropics. *Journal of Geophysical Research*, 107(D20): 8,067-068,076. 2002.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA. Centro de Ciências Agrárias. Núcleo Geoambiental. Bacias hidrográficas e climatologia no Maranhão / Universidade Estadual do Maranhão. - São Luís, 2016. 165 p.