

Qualidade Química da Água do Rio Buriti do Município de São Bernardo – Maranhão, Brasil

Chemical Quality of the Waters of the Buriti River in the City of São Bernardo – Maranhão, Brazil

Andreia S. Brandão,^a Karina C. Santos,^b Natália H. S. dos Santos,^b Rebeca B. G. Lima,^b Marcelo F. da Silva,^c  Ulisses M. Nascimento,^d  Benedicto A. V. Lima^{a,*} 

^aUniversidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências de São Bernardo, CEP 65550-000, São Bernardo-MA, Brasil

^bUniversidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências de Grajaú, CEP 65940-000, Grajaú-MA, Brasil

^cUniversidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnológicas, CEP 65901-480, Imperatriz-MA, Brasil

^dUniversidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, CEP 65085-580, São Luís-MA, Brasil

E-mail: benedicto.lima@ufma.br

Submissão: 21 de Janeiro de 2026 – Aceite: 25 de Junho de 2026 – Publicado online: 8 de Julho de 2026

Editor Associado Responsável: João Flávio Petrucci

Water quality is essential for human health, environmental balance, and socioeconomic development of populations. In the city of São Bernardo, Maranhão, the lack of basic sanitation, the discharge of untreated domestic sewage, and human intervention create a risk scenario for the Buriti river. In this context, this study aimed to evaluate the chemical quality of the water of the Buriti river. Four sampling areas were defined, and collections were carried out during two distinct periods (rainy and dry seasons). Nitrate levels ranged from 3.31 to 8.88 mg L⁻¹, close to the 10 mg L⁻¹ limit established by the Brazilian Council. Phosphate concentrations reached alarming levels (0.64-4.79 mg L⁻¹), up to 30 times higher than the 0.1 mg L⁻¹ limit, indicating a risk of eutrophication. Iron (2.73-3.02 mg L⁻¹) and aluminum (1.14-1.42 mg L⁻¹) concentrations exceeded the maximum permitted values in the rainy season, compromising the quality of water intended for human consumption. During the dry season, a reduction in these metal concentrations was observed; however, nutrient concentrations remained high, demonstrating that pollution is continuous. Overall, the Buriti river shows indicators of anthropogenic contamination, reinforcing the urgency of public policies focused on sanitation, systematic monitoring and environmental education.

Keywords: Water quality; physicochemical parameters; buriti river.

1. Introdução

A água é um recurso essencial para a vida e sua qualidade influencia diretamente na saúde humana, no meio ambiente e no desenvolvimento socioeconômico. Municípios pequenos, como São Bernardo - MA, enfrentam problemas referentes às questões de saúde, meio ambiente e preservação dos seus recursos hídricos, principalmente no que tange à falta de saneamento básico e à influência de atividades antrópicas, como o agronegócio e o despejo inadequado de rejeitos no rio.¹ A água, cujas características de qualidade variam de acordo com a sua origem, localização, utilização, além de outros fatores, é um dos elementos mais importantes do meio ambiente e é fundamental para a manutenção da vida. Desde o surgimento das primeiras civilizações da humanidade, as águas dos rios são utilizadas pelo homem para os mais variados fins, tais como: consumo humano, uso doméstico, agricultura, piscicultura, lazer, geração de energia e muitos

outros. Apesar disso, a disponibilidade de água de qualidade tem sido um problema enfrentado pela população, pois a deterioração da qualidade da água tem se tornado frequente.

O município de São Bernardo – MA foi emancipado em 15 de julho de 1935, por meio da Lei Estadual nº 875, anteriormente foi um distrito do município de Brejo. As principais atividades econômicas de São Bernardo são o funcionalismo público, seguido da agropecuária, com destaque para a produção de farinha, arroz e soja. Além disso, práticas tradicionais como a pecuária, pesca, extrativismo vegetal e agricultura também contribuem para o desenvolvimento local. A cidade ainda mantém uma forte tradição religiosa, que movimenta e direciona celebrações e costumes locais.² Em 2022, a população de São Bernardo – MA era de 26.943 habitantes e a densidade demográfica de 26,79 habitantes por quilômetro quadrado. As estatísticas destacam a vulnerabilidade de São Bernardo – MA, apontando que 18,4% da população é

atendida com abastecimento de água; 3,5% da população não tem coleta de lixo e 4,5% dos domicílios estão sujeitos a inundações. Além disso, não há informações disponíveis sobre esgotamento sanitário ou sobre drenagem de águas pluviais.¹ São Bernardo – MA apresenta 1,1% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, 61,28% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização e 1,5% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio).² Segundo o Departamento de Informação e Informática do SUS (DataSUS),³ foram registradas 556 internações totais por doenças de veiculação hídrica.

A ação antrópica tem sido apontada como a principal responsável pela deterioração da qualidade da água. Segundo Veiga,⁴ as práticas agrícolas como a utilização indiscriminada de agrotóxicos, o lançamento de efluentes urbanos⁵ e a falta de conservação do solo⁶ podem impactar na qualidade da água. No município de São Bernardo – MA, o abastecimento de água é realizado a partir do rio Buriti e de poços artesianos, fontes que sofrem frequentes pressões ambientais. A precariedade do saneamento básico e o despejo de resíduos domésticos diretamente nas ruas, que consequentemente são levados para o rio por meio das chuvas, caracterizam um cenário de risco socioambiental. Além disso, a prática agrícola e o uso de fertilizantes são fatores que podem contribuir para a adição de nutrientes no rio, podendo alterar o funcionamento ecológico. Diante desse contexto, é indispensável a realização de estudos que analisem a composição química da água do rio Buriti, tanto no meio urbano quanto no rural, possibilitando um diagnóstico científico que subsidie ações de gestão pública e promova a educação ambiental da comunidade.^{1,3}

Este trabalho tem por objetivo a avaliação qualidade química da água do rio Buriti, situado na cidade de São Bernardo – MA, considerando as variações sazonais. Para isso foram realizadas coletas de água em pontos estratégicos do rio; análises dos parâmetros físico-químicos relevantes para a saúde e para o meio ambiente; e estudo comparativo dos resultados obtidos entre os períodos seco e chuvoso, identificando variações sazonais com os padrões estabelecidos pela legislação nacional.

2. Experimental

O estudo foi realizado no município de São Bernardo – MA, localizado na região do Baixo Parnaíba Maranhense, com área de investigação o rio Buriti, afluente do rio Parnaíba e a principal fonte de água que compõe o sistema hídrico da cidade. Inicialmente foi realizado o mapeamento para identificar os pontos para realizar as coletas de amostras, foram selecionados quatro pontos ao longo do

curso do rio. Os pontos foram selecionados considerando o uso do solo e adensamento populacional nas margens do rio, as coordenadas foram marcadas utilizando-se o aplicativo Google Maps (Figura 1).

Foi realizada inicialmente uma coleta piloto com o objetivo de reconhecer o perímetro de estudo e definir os pontos estratégicos de amostragem, totalizando quatro locais distintos. As coletas ocorreram em diferentes períodos sazonais: período chuvoso (abril de 2024) e período seco (novembro de 2024).

Os procedimentos de coleta, preservação e armazenamento das amostras atenderam aos critérios estabelecidos nos métodos padrões para análise de águas e efluentes.⁷ Em cada ponto, situado em áreas de correnteza do rio, foram coletados 2 L de água, acondicionados em recipientes esterilizados e armazenados em recipiente térmico refrigerado, a fim de preservar as amostras até o momento das análises. No momento da coleta, realizou-se as medições de temperatura, pH e condutividade elétrica da amostra utilizando-se uma sonda multiparâmetro Akso AK-88. Alíquotas das amostras foram filtradas com membrana de acetato de celulose com poro de 0,45 µm e acidificadas com ácido nítrico concentrado (pH 1,0) para posterior determinação das concentrações de metais.

As determinações de alcalinidade total, cloreto, nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal foram realizadas seguindo os métodos descritos pelo Instituto Adolfo Lutz⁸ e pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.⁷ Todas as análises foram realizadas em triplicata. O maior valor de Desvio Padrão Relativo (RSD) observado foi de 4,1%. As medidas de absorvância para determinação de fosfato, nitrato, nitrito e amônio foram obtidas utilizando um espectrofotômetro UV-Vis de duplo feixe (Quimis Q898DPT). Posteriormente, a determinação das concentrações dos metais (Ag, Al, As, Au, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, In, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Si, Sn, V e Zn) foi realizada por espectrometria de plasma induzido (ICP-EAS), utilizando o equipamento ICPE 9000 (Shimadzu), localizado no Laboratório de Química Ambiental da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), campus Imperatriz. Para os metais analisados os valores dos Limites de Detecção (LOD) e Limite de Quantificação (LOQ), medidos em µg L⁻¹, foram respectivamente, Al: 0,0136966 e 0,0456554; Au: 0,0097906 e 0,0326354; Ba: 0,0018975 e 0,0063249; Ca: 0,0066595 e 0,0221985; Cu: 0,0025753 e 85,844; Fe: 0,0020473 e 0,0068243; K: 0,0179006 e 0,0596687; Mg: 7,869608x10⁻⁴ e 0,0026562; Mn: 7,243352x10⁻⁴ e 0,0024145; Na: 0,0204801 e 0,0682670; Si: 0,0152860 e 0,0509534; Sn: 0,0208727 e 0,0695756. Todos os metais estudados apresentaram linearidades com coeficientes de correlação (R²) superiores a 0,99.

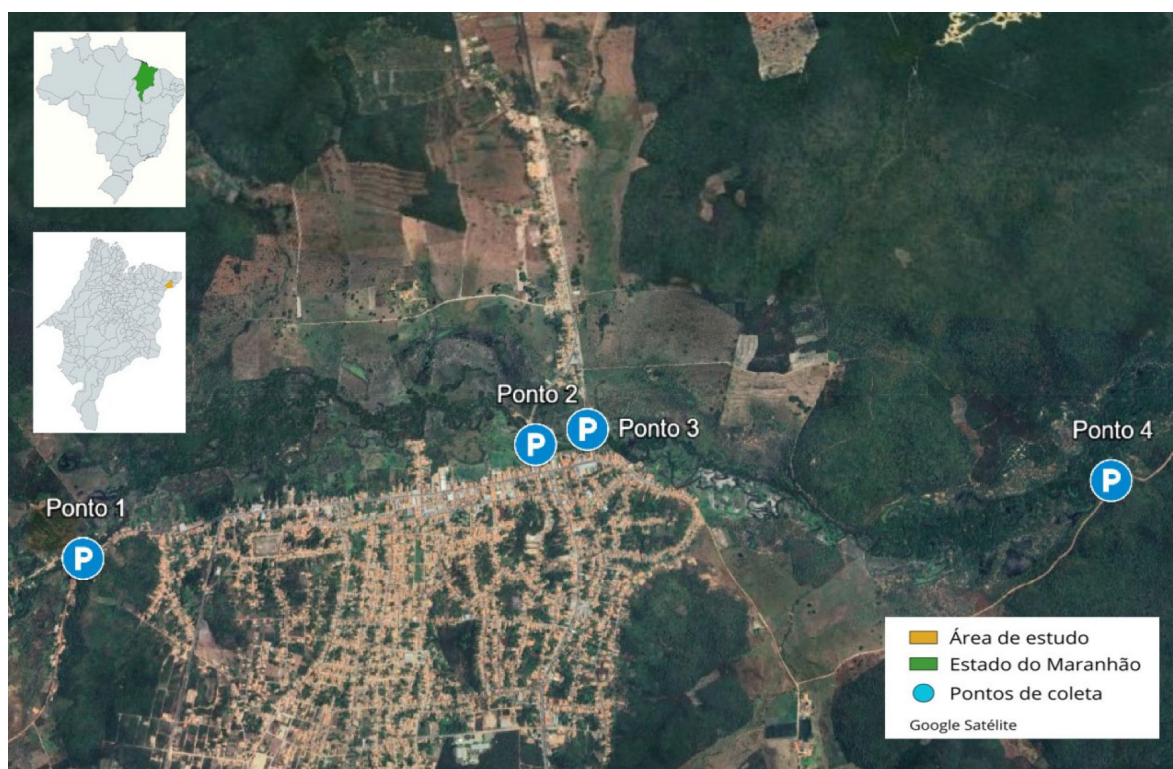


Figura 1. Localização dos pontos selecionados para as coletas no município de São Bernardo - MA: Ponto 1- Próximo a bomba d'água no povoado Currais, responsável pelo abastecimento urbano, coordenadas 3°22'02.4"S 42°26'25.1"W; Ponto 2- Ponte Cai N'água, local turístico dentro da cidade, coordenadas 3°21'34.4"S 42°25'13.0"W; Ponto 3- Segunda ponte de São Bernardo, ponte de madeira, área de transição urbana, coordenadas 3°21'30.7"S 42°25'04.5"W; Ponto 4- Povoado Canoa Quebrada, trecho rural do rio, já saindo do centro da cidade de São Bernardo – MA, coordenadas 3°21'29.9"S 42°23'35.6"W

3. Resultados e Discussão

O rio Buriti percorre diversas áreas do município de São Bernardo-MA, abrangendo zonas com diferentes pressões antrópicas. Pontos de coleta foram selecionados estrategicamente ao longo do trecho estudado, incluindo o trecho inicial onde se localiza a fonte de abastecimento de água pelo sistema público (Ponto 1 - Currais), o principal balneário da cidade (Ponto 2 - Cai N'água), um ponto próximo à área urbana central (Ponto 3 - Ponte de madeira) e uma zona de menor intervenção humana (Ponto 4 - Canoa Quebrada). As análises físico-químicas (pH, temperatura, condutividade, nitrato, amônio, fosfato, cloreto, alcalinidade e metais dissolvidos) realizadas nos quatro pontos de coleta, revelaram variações significativas nos parâmetros de qualidade da água, refletindo a interação entre atividades urbanas e rurais no entorno do rio Buriti.

O rio Buriti pertence à classe 2, de acordo com resolução CONAMA 357/2005,⁹ sendo utilizado para abastecimento de consumo humano após tratamento convencional; recreação de contato primário; irrigação e pesca. Os parâmetros analisados permitem avaliar a qualidade da água nos diferentes pontos selecionados e avaliar sua adequação à Portaria GM/MS nº 888, de 2021.¹⁰ Permitem ainda observar a influência da atividade humana nas suas variadas formas:

seja na zona urbana com o despejo de esgoto, lixo doméstico ou de rejeitos da indústria e comércio, ou falta de serviço público de saneamento; ou na zona rural, pelos efeitos causados por produtos adicionados ao solo para agricultura. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para as amostras coletadas no período chuvoso.

Os valores de pH variaram entre 6,830 (Ponto 3) e 7,600 (Ponto 2). O CONAMA⁹ estabelece faixa aceitável de 6,000 a 9,000 para água, desta forma, o pH está dentro dos padrões estabelecido pelas legislações viventes. Do mesmo modo, as concentrações mais elevadas de nitrato (8,888 mg L⁻¹) e amônio (1,040 mg L⁻¹) também se encontraram abaixo dos valores máximos permitidos, 10,0 e 1,2 mg L⁻¹, respectivamente. Embora em todos os pontos as concentrações de nitrato e amônio tenham apresentado valores dentro da faixa permitida pela legislação, encontram-se próximos do limite, o que pode indicar influência antrópica significativa. Uma das principais fontes de nitrogênio para os ecossistemas aquáticos são efluentes domésticos e industriais não tratados ou parcialmente tratados lançados nos corpos d'água.¹¹ As amostras não apresentaram concentrações detectáveis de nitrito.

Por outro lado, as concentrações medidas de fosfato variaram entre 3,580 (Ponto 2) e 3,980 mg L⁻¹ (Ponto 1), apresentando valores extremamente elevados para corpos

Tabela 1. Resultados de análises químicas de amostras coletadas no período chuvoso (Média $\pm$ SD, n = 3)

Parâmetros (°C, $\mu\text{S cm}^{-1}$, mg L ⁻¹)	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	VMP ^a	VMP ^b
pH	7,600	7,050	6,830	7,080	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Temperatura	30,500	31,300	30,800	31,500	---	---
Condutividade	108,000	100,000	104,000	132,000	---	---
Nitrato	7,899 $\pm$ 0,12	7,670 $\pm$ 0,09	8,682 $\pm$ 0,14	8,888 $\pm$ 0,07	10,0	10,0
Amônio	1,040 $\pm$ 0,08	0,683 $\pm$ 0,06	0,509 $\pm$ 0,10	0,388 $\pm$ 0,40	---	1,2
Fosfato	3,986 $\pm$ 1,25	3,581 $\pm$ 0,18	3,716 $\pm$ 0,21	3,716 $\pm$ 0,33	0,1	---
Cloreto	23,861 $\pm$ 0,15	21,461 $\pm$ 1,10	19,062 $\pm$ 0,31	25,661 $\pm$ 0,12	250	250
Alcalinidade	<L.D ^c	<L.D	<L.D	<L.D	---	---
Al	1,420	1,270	1,140	1,220	0,1	0,2
Au	0,018	0,019	0,020	0,019	---	---
Ba	0,024	0,007	0,008	0,031	0,7	0,7
Ca	2,390	2,110	2,360	3,650	---	---
Cu	<L.D	<L.D	0,0017	0,0031	0,009	0,2
Fe	2,860	2,870	2,730	3,020	0,3	0,3
K	0,431	0,396	0,406	0,553	---	---
Mg	0,927	0,674	0,697	1,160	---	---
Mn	0,003	<L.D	<L.D	0,006	0,1	0,1
Na	5,5	4,93	4,91	4,2	---	200
Si	6,48	6,48	6,24	6,09	---	---
Sn	0,017	0,011	0,015	0,027	---	---

^aValor máximo permitido pela Resolução CONAMA n° 357/2005;⁹ ^bValor máximo permitido pela Portaria GM/MS n° 888/2021;¹¹ ^cMenor que o limite de detecção.

hídricos. O CONAMA⁹ estabelece limite de 0,1 mg L⁻¹ para os fósforos totais em ambientes lóticos. A concentração encontrada está aproximadamente quarenta vezes acima do permitido, indicando risco real de eutrofização. Os problemas de eutrofização são causados por altos fluxos de nutrientes (nitrogênio e fósforo) provenientes da pressão populacional e da agricultura intensiva.¹² Além disso, o fósforo contribui para o crescimento descontrolado das algas, diminuindo a qualidade da água.¹³ As principais fontes artificiais de fosfato são: esgotos domésticos e industriais e material particulado de origem industrial contido na atmosfera.¹⁴

Considerando que em São Bernardo-MA apenas 1,1% da população possui esgotos por meio de rede, enquanto 56,9% utilizam fossa rudimentar ou buraco,³ o despejo de dejetos no rio tem um papel importante na concentração excessiva de fosfato. Embora a concentração de fosfato seja elevada, a concentração de cloreto apresenta valores aceitáveis. A concentração de cloreto em rios não contaminados varia de 10 a 20 mg L⁻¹, podendo se originar naturalmente da dissolução de sais solúveis presentes no solo ou por influência das marés. Já por ação antropogênica as principais fontes são efluentes da indústria química, petroquímica, farmacêutica, de cimento, de papel, sabão, textil, tintas e corantes, e de curtimento de couro. A quantidade de cloreto em águas domésticas residuais e esgotos não é significativa ambientalmente.¹⁵

Entre os metais analisados, destacam-se ferro e alumínio, as concentrações de ferro variaram entre 2,730 e 3,020 mg L⁻¹, com todas medidas acima do limite máximo permitido para consumo humano (0,300 mg L⁻¹).⁹ Concentrações elevadas podem comprometer as características organolépticas da água (cor, sabor, turbidez e odor) e provocar incrustações em tubulações. Dentre os elementos mais abundantes na crosta terrestre está o ferro, correspondendo a 5,6% de sua constituição. Esse elemento é essencial para a saúde humana e seu baixo nível no corpo pode levar à anemia e mal-estar. Embora o ferro seja um metal essencial para os seres humanos, o excesso deste metal pode causar vários males à saúde, como por exemplo; diabetes, cirrose hepática, câncer de fígado, infertilidade, doenças cardíacas etc. Águas com teor de ferro elevado necessitam de tratamento específico antes da distribuição.¹⁶

A contaminação de corpo d'água por ferro pode ter origem geológica ou antropogênica, entre as fontes antropogênicas de contaminação por ferro destacam-se os resíduos domésticos e efluentes industriais.¹⁷ Do mesmo modo, as concentrações detectadas de alumínio apresentaram valores entre 1,140 e 1,420 mg L⁻¹, e assim como o ferro, apresentaram valores acima do limite máximo permitido pelo CONAMA (0,100 mg L⁻¹)⁹ e acima do valor máximo permitido para o consumo humano (0,200 mg L⁻¹).¹⁰ Assim como o ferro, o alumínio é um metal muito abundante

na crosta terrestre, constituindo 7,91% da massa da litosfera, estando presente em todas as rochas.¹⁸ O alumínio pode estar associado à lixiviação natural de solos argilosos da região, mas também pode indicar contaminação difusa por resíduos urbanos. Exposições prolongadas a níveis elevados de alumínio têm sido associadas a problemas neurológicos.¹⁹ Os elementos prata, arsênio, boro, cádmio, cobalto, cromo, mercúrio, índio, níquel, chumbo, antimônio, selênio, vanádio e zinco não foram detectados nas amostras de água analisadas. Isto representa um resultado positivo, especialmente para os metais cádmio, chumbo, mercúrio, arsênio e níquel, visto que são metais potencialmente tóxicos. Os macronutrientes minerais, cálcio, magnésio e potássio, apresentaram valores compatíveis com águas doces, não oferecendo riscos à potabilidade.

Assim como para o período chuvoso foram realizadas coletas no período de estiagem. Os resultados mostraram alterações relevantes nos resultados obtidos em comparação com os obtidos no período chuvoso. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos nesse período.

O pH é um parâmetro fundamental no tratamento e no controle da qualidade da água, pois interfere na eficiência de processos como coagulação, desinfecção, no controle de corrosão e incrustações em sistemas de tratamento e abastecimento, sendo essencial para a manutenção do

equilíbrio ambiental e da infraestrutura hídrica.²⁰ Em ambos os períodos de coleta os valores de pH medidos *in situ* situaram-se dentro dos limites máximos permitidos (6,0-9,0),^{9,10} mas observou-se que as águas são mais ácidas no período seco (pH 6,65 e 6,91) que no chuvoso (pH entre 7,05 e 7,60). Este comportamento é esperado considerando que durante o período chuvoso tem a intensificação de contribuições de diversos poluentes de fontes difusas, inclusive substâncias alcalinas. Variações semelhantes já foram observadas em rios de várias regiões do país.²¹⁻²³ Resultados similares também já foram observados em análises do rio Dourados no Mato Grosso do Sul.²⁴ Carvalho *et al.*²⁵ atribuem essa variação ao aumento do índice pluviométrico; que provoca maior lavagem do solo e consequentemente maior diluição dos compostos dissolvidos e escoamento mais rápidos das águas, diminuindo a acidez. Pelo mesmo motivo a condutividade elétrica das amostras analisadas no período seco diminuiu substancialmente em comparação ao período chuvoso.

No período chuvoso a condutividade elétrica variou de 100 a 132 $\mu\text{S cm}^{-1}$, enquanto que no período seco os valores de condutividade encontrados estiveram entre 62,000 e 67,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$. A condutividade pode variar bastante e ser influenciada por diversos fatores. Não existe valor-limite legal específico para potabilidade e para

Tabela 2. Resultados de análises químicas de amostras coletadas no período seco (Média $\pm$ SD, n = 3)

Parâmetros (°C, $\mu\text{S cm}^{-1}$, mg L ⁻¹)	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	VMP ^a	VMP ^b
pH	6,91	6,65	6,70	6,70	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Temperatura	30,7	30,9	31,1	31,5	---	---
Condututividade	62	64	67	67	---	---
Nitrato	4,160 $\pm$ 0,11	3,920 $\pm$ 0,16	5,320 $\pm$ 0,08	3,310 $\pm$ 0,12	10,0	10,0
Fosfato	2,360 $\pm$ 0,19	4,790 $\pm$ 0,46	2,910 $\pm$ 0,15	3,310 $\pm$ 0,24	0,1	---
Cloreto	13,260 $\pm$ 0,10	13,260 $\pm$ 0,24	13,260 $\pm$ 0,15	14,130 $\pm$ 0,29	250	250
Alcalinidade	0,005 $\pm$ 1,30	0,005 $\pm$ 1,60	0,005 $\pm$ 1,05	0,003 $\pm$ 1,50	---	---
Al	0,058	0,055	0,122	0,087	0,1	0,2
Ca	0,321	<L.D ^c	0,461	<L.D	---	---
Cu	0,024	0,027	0,032	0,027	0,009	0,2
Fe	0,213	0,295	0,0127	<L.D	0,3	0,3
In	0,109	0,133	0,234	0,228	---	---
K	0,151	0,152	0,202	0,166	---	---
Mg	0,081	0,080	0,127	0,015	---	---
Mn	<L.D	<L.D	0,006	<L.D	0,1	0,1
Na	0,598	0,571	0,482	0,428	---	200
Ni	<L.D	<L.D	0,0567	<L.D	0,025	0,07
S	0,055	<L.D	0,040	<L.D	---	---
Se	<L.D	<L.D	0,166	0,018	0,01	0,04
Si	3,460	3,360	2,980	0,989	---	---
Sn	0,046	0,061	0,230	0,116	---	---

^aValor máximo permitido pela Resolução CONAMA n° 357/2005;⁹ ^bValor máximo permitido pela Portaria GM/MS n° 888/2021;¹¹ ^cMenor que o limite de detecção.

qualidade da água. Em regiões tropicais, os valores de condutividade nos ambientes aquáticos relacionam-se com as características geoquímicas da região e com as condições climáticas (estação seca e de chuva), mas podem ser também influenciados pelo estado trófico, principalmente em ambientes sob influência antrópica.¹¹ No período seco as concentrações de nitrato variaram entre 3,310 e 5,320 mg L⁻¹, ou seja, valores inferiores aos observados no período chuvoso, que variaram entre 7,670 e 8,890 mg L⁻¹.

A concentrações de fosfato seguem a mesma tendência e apresentam valores menores no período seco (2,360-4,790 mg L⁻¹). Esse comportamento já era esperado, visto que durante o período chuvoso as águas fluviais são fortemente influenciadas pelo aumento do escoamento superficial que funciona como via de transporte desses nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, que possivelmente podem ser oriundos de resíduos domésticos ou industriais, fertilizantes e contaminantes agrícolas. Pelo mesmo motivo as concentrações medidas de cálcio, cloreto, potássio, magnésio e sódio foram todas menores no período seco em comparação ao período chuvoso. Em ambos os períodos não se observou presença de nitrito nas amostras. As concentrações de cobre no período seco variaram de 0,024 a 0,032 mg L⁻¹, estando abaixo do valor máximo permitido para o consumo (0,2 mg L⁻¹),⁹ mas com base no CONAMA os valores encontram-se acima do limite máximo de 0,009 mg L⁻¹. Para o selênio foram detectadas nos pontos 3 e 4 concentrações de 0,166 mg L⁻¹ e 0,018 mg L⁻¹, respectivamente, o valor máximo permitido para o consumo humano é de 0,04 mg L⁻¹.¹⁰

O selênio é um elemento-traço presente naturalmente em águas superficiais e subterrâneas, cuja ocorrência pode estar associada tanto a processos geológicos quanto a atividades antrópicas, como agricultura, mineração e

lançamento de efluentes. Apesar de ser um micronutriente essencial ao organismo humano, a ingestão de selênio em concentrações elevadas pode causar efeitos adversos à saúde.²⁶ Curiosamente, no ponto 3 as concentrações de selênio e cobre chamam atenção principalmente pelo fato de não ser detectado selênio no período chuvoso, sugerindo deposição de esgoto rico em compostos desses elementos. No período chuvoso o excesso de água ou a não deposição desses rejeitos diminuiria suas concentrações. Os elementos prata, arsênio, boro, bário, cádmio, cobalto, cromo, mercúrio, índio, níquel, chumbo, antimônio, vanádio e zinco não foram detectados nas amostras de água analisadas no período seco.

A análise conjunta dos resultados das campanhas de coleta em abril (período chuvoso) e novembro de 2024 (período seco) demonstra que o rio Buriti sofre pressões ambientais contínuas, variando em intensidade conforme a sazonalidade (Figura 2). No período chuvoso, observou-se aumento expressivo de nutrientes e metais, possivelmente reflexo do escoamento superficial que carrega fertilizantes agrícolas e resíduos domésticos para o leito do rio. Essa situação eleva o risco de contaminação da água destinada ao abastecimento, especialmente pela presença de ferro e alumínio em níveis até dez vezes superiores aos limites legais.¹⁰ Esses elementos, além de afetarem características sensoriais da água, podem provocar danos crônicos à saúde e demandam tratamento específico para garantir a potabilidade da água. Por outro lado, no período seco, houve redução nos teores de ferro e alumínio, indicando menor lixiviação do solo e menor aporte de poluentes pelas chuvas.

Observa-se que mesmo em condições de estiagem, as concentrações de fosfato permaneceram muito acima do limite legal, revelando que a quantidade de nutrientes é permanente, sustentado por esgotos domésticos e atividades

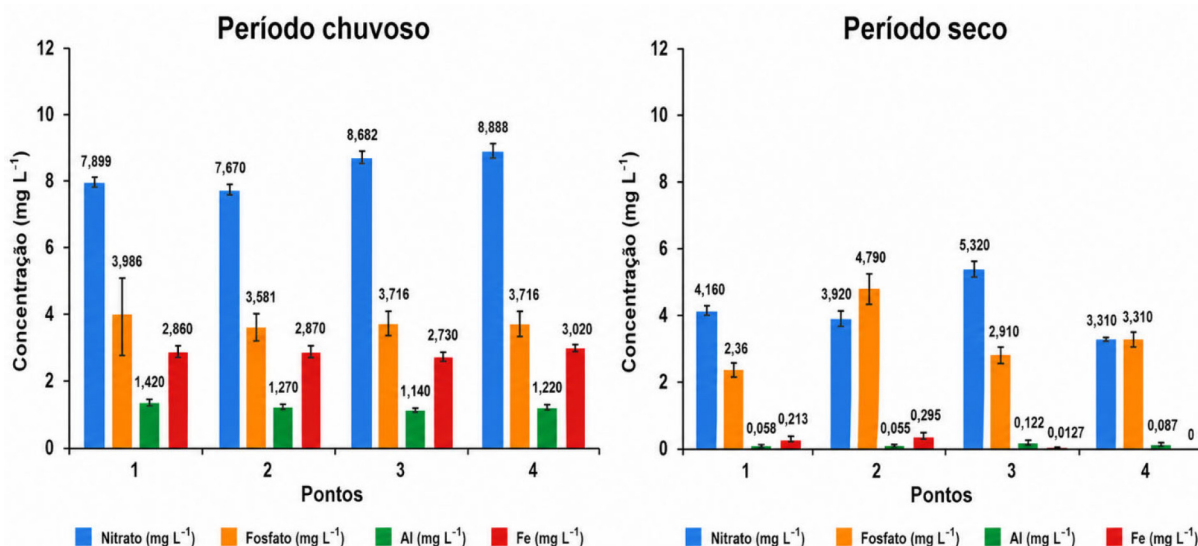


Figura 2. Variação das concentrações de nitrato, fosfato, ferro e alumínio nos períodos chuvoso (esquerda) e seco (direita)

agrícolas. Essa condição configura risco de eutrofização crônica, com consequências como proliferação de cianobactérias, redução do oxigênio dissolvido e impacto direto sobre a biota aquática.¹¹ Estes resultados evidenciam a combinação de dois vetores de poluição: descargas urbanas (esgoto *in natura*) e uso intensivo de insumos agrícolas. Mesmo quando a chuva diminui, a poluição por nutrientes se mantém, demonstrando que o problema não é apenas sazonal, mas estrutural.

A qualidade da água é resultado da interação entre fatores naturais e ações antrópicas, estando diretamente relacionada às condições naturais e ao uso e à ocupação do solo na bacia hidrográfica. Mesmo em ambientes preservados, processos como escoamento superficial, infiltração da água da chuva e o contato com o solo contribuem para a incorporação de partículas e substâncias dissolvidas na água, dependendo da cobertura e da composição do solo.²⁰

A ausência de serviços público constante contribui significativamente para a degradação ambiental dos corpos d'água, favorecendo o excesso de nutrientes e contaminantes.²⁷ A Lei 11.445/2007,²⁸ atualizada pela Lei nº 14.026/2020, que institui o Marco Legal do Saneamento, estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico, que define as diretrizes nacionais para os serviços de abastecimento de água potável e esgotamento sanitário. Essa legislação estabelece princípios fundamentais, como o acesso, a qualidade dos serviços, a proteção da saúde pública e do meio ambiente, além da admissão de práticas que assegurem a qualidade dos recursos hídricos. Portanto, a qualidade da água do rio Buriti encontra-se comprometida tanto por fatores químicos (nutrientes e metais) quanto por fatores socioambientais (ausência de saneamento básico, pressão agrícola e uso diverso da água). A persistência de fósforo em níveis alarmantes é o principal ponto crítico, indicando que o rio apresenta processo de eutrofização em curso.

4. Conclusão

O presente estudo demonstrou que a qualidade da água do rio Buriti, principal fonte de abastecimento do município de São Bernardo - MA encontra-se sob forte pressão antrópica e a situação se agrava pela inexistência de saneamento básico no município. As análises físico-químicas revelaram que, embora parâmetros como pH, cloretos e temperatura estejam dentro dos limites estabelecidos pela legislação vigente, compostos críticos especialmente fósforo, nitrato, ferro e alumínio apresentaram valores elevados, configurando um quadro de risco para a saúde pública e para o equilíbrio ambiental. As diferenças sazonais confirmaram que, no período chuvoso, há intensificação do aporte de nutrientes e metais por meio do escoamento superficial, enquanto no

período seco a concentração de sais dissolvidos se mantém significativa, indicando que a poluição não é apenas sazonal, mas estrutural. A análise espacial mostrou que os pontos urbanos (Currais, Cai N'água e Ponte de Madeira) sofrem maior impacto do esgoto doméstico, enquanto o ponto rural (Canoa Quebrada) apresenta influência direta de práticas agrícolas. Diante desse cenário, conclui-se que a qualidade da água do rio Buriti pode estar comprometida, exigindo medidas para solucionar os possíveis problemas presentes no rio. Portanto, é de fundamental importância investimentos que possibilitem monitoramentos contínuos dos rios e afluentes da região.

Contribuições dos Autores

A coleta das amostras e realização das análises químicas foram realizadas por Andreia S. Brandão, Karina C. Santos, Natália H. S. dos Santos, Rebeca B. G. Lima, Ulisses M. Nascimento e Benedicto A. V. Lima. As análises por ICP-EAS foram realizadas pelo professor Marcelo F. da Silva. Todos os autores contribuíram na concepção, análise dos resultados e escrita do artigo.

Referências Bibliográficas

1. Batista, V. R. M.; *Trabalho de Conclusão de Curso*, Universidade Federal do Maranhão, 2025. [Link]
2. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Censo Demográfico 2022*. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/4714>. Acesso em: 10 janeiro 2026.
3. Ministério da Saúde. Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde - DATASUS. *Infraestrutura e Serviços Digitais do SUS*. Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/>. Acesso em: 10 janeiro 2026.
4. Veiga, M. M.; Silva, D. M.; Veiga, L. B. E.; Faria, M. V. C.; Análise da contaminação dos sistemas hídricos por agrotóxicos numa pequena comunidade rural do Sudeste do Brasil. *Cadernos de Saúde Pública* **2006**, 22, 2391. [Crossref]
5. Pereira, R. D. S.; Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos. *Revista Eletrônica de Recursos Hídricos* **2004**, 1, 20.
6. Merten, G. H.; Minella, J. P.; Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. *Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável* **2002**, 3, 33. [Crossref].
7. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF); *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21a. ed., Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005.
8. Instituto Adolf Lutz. *Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos Físico-Químicos para Análises de Alimentos*, 4a. ed., ANVISA: São Paulo, 2008.

9. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005*. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450. Acesso em: 24 abril 2026.
10. BRASIL. *Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020*. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm. Acesso em: 24 março 2026.
11. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: 24 abril 2026.
12. Esteves, F. D. A.; *Fundamentos de Limnologia*, 3a. ed., Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
13. Jarvie, H. P.; Sharpley, A. N.; Withers, P. J. A.; Scott, J. T.; Haggard, B. E.; Neal, C.; Phosphorus Mitigation to Control River Eutrophication: Murky Waters, Inconvenient Truths, and “Postnormal” Science. *Journal of Environmental Quality* **2013**, 42, 295. [Crossref]
14. Smith, V. H.; Schindler, D.W.; Eutrophication science: Where do we go from here? *Trends in Ecology & Evolution* **2009**, 24, 201. [Crossref]
15. Owodunni, A. A.; Ismail, S.; Kurniawan, S. B.; Ahmad, A.; Imron, M. F.; Abdullah, S. R. S.; A review on revolutionary technique for phosphate removal in wastewater using green coagulant. *Journal of Water Process Engineering* **2023**, 52, 103573. [Crossref]
16. Hong, Y.; Zhu, Z.; Liao, W.; Yan, Z.; Feng, C.; Xu, D.; Freshwater Water-Quality Criteria for Chloride and Guidance for the Revision of the Water-Quality Standard in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2023**, 20, 2875. [Crossref]
17. Piskin, E.; Ciansiosi, D.; Gulec, S.; Tomas, M.; Capanoglu, E.; Iron Absorption: Factors, Limitations, and Improvement Methods. *ACS Omega* **2022**, 7, 20441. [Crossref]
18. Kumar, V.; Bharti, P. K.; Talwar, M.; Tyagi, A. K.; Kumar, P.; Studies on high iron content in water resources of Moradabad district (UP), India. *Water Science* **2017**, 31, 44. [Crossref]
19. Senze, M.; Kowalska-Góralaska, M.; Czyż, K.; Aluminum Bioaccumulation in Reed Canary Grass (*Phalaris arundinacea* L.) from Rivers in Southwestern Poland. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2022**, 19, 2930. [Crossref] [PubMed]
20. Igbokwe, I. O.; Igwenagu, E.; Igbokwe, N. A.; Aluminium toxicosis: a review of toxic actions and effects. *Interdisciplinary Toxicology* **2019**, 12, 45. [Crossref]
21. Von Sperling, M.; *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*, 3a. ed., Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. Disponível em: http://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/Acervo/Detalhe/6193. Acesso em: 22 junho 2026.
22. Pehlivan, R.; The effect of weathering in the Buyukmelen River basin on the geochemistry of suspended and bed sediments and the hydrogeochemical characteristics of river water, Duzce, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences* **2010**, 39, 62. [Crossref]
23. Martins, R. A.; Lourenço, C. B.; Azevedo, J. W. J.; Bandeira, A. M.; Soares, L. S.; Silva, M. H. L.; Castro, A. C. L.; Assessment of surfacewater quality of the lower course of the Itapecuru River basin, Maranhão state, Brazil. *Applied Ecology and Environmental Research* **2022**, 20, 5381. [Link]
24. Yu, S.; Xu, Z.; Wu, W.; Zuo, D.; Effect of land use types on stream water quality under seasonal variation and topographic characteristics in the Wei River basin, China. *Ecological Indicators* **2016**, 60, 202. [Crossref]
25. Kottwitz, J.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal da Grande Dourados, 2012. [Link]
26. Carvalho, A. R.; Schlittler, F. H. M.; Tornisielo, V. L.; Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. *Química Nova* **2000**, 23, 618. [Crossref].
27. World Health Organization. *Selenium in Drinking-water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*. World Health Organization: Geneva, 2003. Disponível em: https://www.who.int/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/selenium-2003-background-document.pdf?sfvrsn=624fa2c0_4. Acesso em: 22 junho 2026.
28. BRASIL. *Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007*. Diário Oficial da União: Brasília, 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm. Acesso em: 22 junho 2026.