



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Análise geoquímica de sedimentos de uma microbacia urbana na região Amazônica

Igor Costa¹ Thiago Shinaigger Rocha Nascimento² Louisiane Farias Batista³, Edinelson Saldanha Correa⁴
Christiane do Nascimento Monte⁵

¹ Bacharel em Ciências da Terra, Graduando em Geologia pela Universidade Federal do Oeste do Pará, Av Vera Paz, s/n, CEP 68035-110, Santarém, Pará, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7403-4578> (93) 2101-4985. pjigorcosta@gmail.com. ² Bacharel em Ciências das Águas, Universidade Federal do Oeste do Pará, Av Vera Paz, s/n, CEP 68035-110, Santarém, Pará, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2691-6039> (93) 2101-4985. shinaigger@gmail.com. ³ Bacharel em Ciências das Águas, Universidade Federal do Oeste do Pará, Av Vera Paz, s/n, CEP 68035-110, Santarém, Pará, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6843-5842> (93) 2101-4985. Louisi.farias15@gmail.com. ⁴ Dr em Ciências Ambientais, Professor Adjunto, Curso de Oceanografia, Universidade Federal do Pará, R. Raimundo Santana Cruz, CEP: 68721-000, Salinópolis – PA, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4162-4296>. (91) 3201-7050 edinelson_saldanha@hotmail.com. ⁵ Dra. em Geociências, Professora Adjunta C, Instituto de Engenharia e Geociências, Universidade Federal do Oeste do Pará, Av Vera Paz, s/n, CEP 68035-110, Santarém, Pará, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4840-7777>. (93) 2101-4985. christiane.monte@yahoo.com.br.

Artigo recebido em 03/04/2023 e aceito em 15/01/2024

RESUMO

A microbacia do igarapé do Irurá pertence a bacia hidrográfica do Rio Tapajós, e está localizada na cidade de Santarém-PA, no Oeste do Pará. A cidade, não possui uma rede de saneamento básico adequado, que faz com que boa parte do esgoto doméstico e industrial seja lançado in natura, em igarapés e no rio Tapajós, afetando diretamente as condições da biota aquática, como o pescado, que é parte da dieta alimentar e renda da região. O objetivo desta pesquisa foi a caracterização geoquímica dos sedimentos superficiais da microbacia do igarapé do Irurá. As coletas de sedimentos foram realizadas em cinco pontos amostrais, desde a nascente do igarapé Irurá até próximo à foz, entre os anos de 2020 e 2021. Foram mensurados parâmetros físico-químicos, como: pH em Água e em cloreto de Potássio (KCl), acidez potencial, capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB), saturação em bases (V), matéria orgânica (M.O), sulfato, fósforo total (PT), metais (Al, Cr, Cu, Fe, , Mn e Zn). Foi aplicado o teste estatístico de Análise de Componente Principal (APC). Os resultados mostraram que a textura do sedimento foi caracterizada por arenosa, além disso, as concentrações dos contaminantes foram maiores na estação seca. A APC mostrou correlações diferentes entre seca e chuva, o que pode estar relacionado à sazonalidade. As maiores concentrações de contaminantes na estação seca, indica que pode ter uma transferência dos contaminantes para a coluna d'água, devido aos processos naturais de ressuspensão do sedimento, o que aumenta o risco para biota aquática. Diante disso, é necessário que ampliem os estudos sobre a contaminação de recursos aquáticos amazônicos, principalmente, em áreas urbanas, onde a taxa de degradação dos recursos hídricos é mais rápida.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica do Rio Tapajós; Igarapés; Santarém; Capacidade de troca de cátions.

Geochemical analysis of sediments from an urban microbasin in the amazon region

ABSTRACT

The microbasin of the Irurá stream belongs to the hydrographic basin of the Tapajós River and is located in the city of Santarém-PA, in western Pará. The city does not have an adequate sanitation system, which causes much of the domestic and industrial sewage to be released in natura into streams and the Tapajós River, directly affecting the conditions of aquatic biota, such as fish, which is part of the diet and income of the region. The aim of this research was the geochemical characterization of the surface sediments of the Irurá stream micro-basin. Sediment samples were collected at five sampling points, from the source of the Irurá stream to near the mouth, between the years 2020 and 2021. Physicochemical parameters were measured, such as pH in water and in Potassium Chloride (KCl), potential acidity, cation exchange

capacity (CEC), base sum (S), base saturation (V), organic matter (M.O), sulfate, total phosphorus (PT), metals (Al, Cr, Cu, Fe, Mn, and Zn). The statistical test of Principal Component Analysis (PCA) was applied. The results showed that the texture of the sediment was characterized as sandy, moreover, the concentrations of the contaminants were higher in the dry season. The PCA showed different correlations between drought and rainfall, which may be related to seasonality. The higher concentrations of contaminants in the dry season indicate that there may be a transfer of contaminants into the water column due to the natural processes of resuspension of sediment, which increases the risk to aquatic biota. Therefore, it is necessary to expand the studies on the contamination of Amazonian aquatic resources, especially in urban areas, where the rate of degradation of water resources is faster.

Keywords: Tapajós River watershed; Streams; Santarém; Cation Exchange Capacity

Introdução

Os sedimentos possuem a capacidade de acumular ao longo do tempo as concentrações de elementos-traço presentes na água, sendo importantes marcadores ecotoxicológicos (Nizoli & Luiz-Silva, 2009).

Os elementos químicos, como os metais adsorvidos aos sedimentos no ambiente aquático podem ser liberados na coluna d'água (Davutluoglu et al. 2011). A troca de cátions entre o sedimento e água ou processos, como o de ressuspensão podem acumular os metais em tecidos de plantas e animais, entrando na cadeia alimentar (Cavalcante e Santos, 2021; Espirilla e Gómez, 2022).

Os metais desempenham um papel muito importante no ambiente aquático, devido à sua não degradabilidade, bioconcentração e no caso do Hg, a biomagnificação (Townsend et al. 2013; Ye et al. 2015; Souza et al. 2023).

Usualmente, a variação na concentração dos metais no sedimento está relacionada a alguns fatores, como a ocupação da área, o regime hidrológico, o tipo de vegetação, o processo de mineralização, entre outros (Aguilar et al. 2021). Atualmente, a Amazônia sofre com a expansão urbana sem planejamento, que impacta diretamente na qualidade da água dos seus recursos hídricos. A região tem um grande potencial hídrico, sendo o maior reservatório de água doce do mundo, tanto em recursos hídricos superficiais, quanto em recursos hídricos subterrâneos (Monte et al. 2021).

A região Amazônica é repleta de comunidades, municípios e cidades que se desenvolveram sem um pleno planejamento, como o município de Santarém, que teve seu crescimento de forma desordenada com expansão da malha urbana para locais sem infraestrutura (Ramos, 2004). A rápida e não planejada expansão urbana provocou diversos problemas de cunho demográfico, ambiental e de saúde pública no município (Jesus et al., 2023).

O saneamento básico na cidade é precário, grande parte do efluente gerado é despejado em fossas sépticas ou rudimentares (Monte et al., 2021). No caso das fossas, há o problema do revestimento, que pode não existir (rudimentares) ou dependendo da condição de conservação, no caso das sépticas, pode contaminar diretamente os lençóis freáticos, através da percolação do lixiviado no solo, ou são lançados *in natura* nos igarapés urbanos e no Rio Tapajós (Costa et al. 2020).

Segundo Jesus et al. (2023), Santarém encontra-se na posição 98º de 100 municípios no Ranking de Saneamento Básico do Brasil, realizado em 2022, o que reflete o descaso com o saneamento básico no município ao longo dos anos.

O rio Tapajós é um rio de águas claras, que faz parte da bacia do rio Amazonas. O rio Tapajós é o principal rio que drena parte do território do município e a sua bacia hidrográfica é a principal afetada pelo despejo de efluentes no município (Monte et al. 2021; Nascimento et al., 2022).

A delimitação de uma bacia hidrográfica é importante para a gestão dos recursos hídricos regionais, visto que leva em consideração diversos aspectos, como políticos, ambientais e socioeconômicos (Narendra et al., 2021).

A microbacia do Igarapé do Irurá faz parte da bacia hidrográfica do Tapajós, sendo uma das microbacias mais afetadas pela urbanização na cidade de Santarém (Pinheiro et al., 2019; Nascimento et al. 2021). O conceito de microbacia é utilizado em vários estudos na literatura, levando em consideração características ecológicas e hidrológicas (Monte et al. 2021).

De acordo com Cecílio e Reis. (2006), a microbacia é uma área restrita com extensão entre 0,1 a 200 km² de área. Segundo Roma et al. (2023), a microbacia integra interesses de diversos segmentos da sociedade que utilizam os recursos hídricos para algum fim, como lazer, abastecimento de cidades, produção agrícola,

proteção e o preservação do ecossistema, sendo uma unidade ideal para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. Na Amazônia, a microbacia é a unidade ideal para a gestão dos recursos naturais (Mourão et al., 2023).

O Igarapé do Irurá tem a sua nascente localizada em uma área de floresta amazônica, sem contaminação antrópica. Entretanto, ao longo do seu curso, percorre áreas urbanizadas, com presença de atividades urbanas, piscicultura, atividades agrícolas (agricultura familiar) e uma Estação de Tratamento de Efluente – ETE, perto da foz, no qual o Irurá é o corpo receptor da estação (Nascimento et al., 2021).

A ETE visa tratar o efluente produzido pela população em várias etapas e devolver ao corpo receptor com uma qualidade melhor (Nascimento et al., 2021). Entretanto, grande parte do esgoto sanitário do município não está conectado à ETE, sendo uma fonte de contaminação para os igarapés urbanos.

Sendo assim, o presente estudo tem o objetivo de avaliar e caracterizar os sedimentos da região, como indicativo da qualidade ambiental,

através de uma caracterização geoquímica na área da microbacia do Igarapé do Irurá, ao longo do seu curso localizado no município de Santarém – PA. As hipóteses do presente estudo são: (I) Haverá maior concentração de contaminantes no sedimento na estação chuvosa; (II) haverá maior concentração de metais, como Cu e Zn no sedimento, devido ao lançamento de esgoto doméstico.

Materiais e Métodos

Área de estudo

A microbacia do Irurá encontra-se no município de Santarém – PA (Figura 1), é representada principalmente pelo igarapé do Irurá (Figura 1) que tem sua principal nascente próxima à cachoeira da Rocha Negra, percorrendo uma área localizada na margem direita da BR 163 (Santarém-Cuiabá) até desembocar no rio Tapajós (Pinheiro et al., 2019).

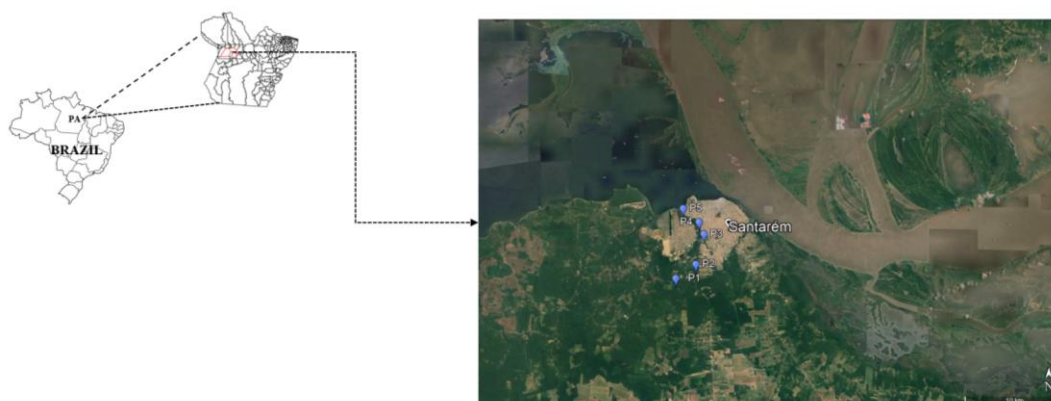


Figura 01- Município de Santarém, PA e os pontos de amostragem

A microbacia tem uma área total aproximada de 35.841.833,17 m², tendo o seu leito principal medindo aproximadamente 8.584 metros de comprimento. Apesar de não ter a classificação oficial pelos órgãos ambientais, o igarapé é classificado como rio de classe II, segundo o CONAMA357/05, devido as suas formas de uso. O córrego principal atravessa os bairros Nova República, Cambuquira, Matinha, Esperança, Santarenzinho, Maracanã, Caranazal, Liberdade e Mapiirí, sua desembocadura forma os lagos do Papucu e Mapiirí, sendo a foz no Rio Tapajós (Nascimento et al., 2021), sofrendo pressão

antrópica em toda a sua extensão (Santos et al., 2021).

O município de Santarém está localizado a margem direita do Rio Tapajós, na confluência do Rio Amazonas que está situado na microrregião do médio Amazonas, a 2°25'30'' de latitude sul e 54°42'50'' de longitude oeste (Batista et al., 2022), é cercado de grandes cursos d'água. As bacias hidrográficas que se encontram na região são: a do Amazonas, Tapajós, Arapiuns, Curuá-Una, Moju e Mojuí, que são alimentadas por diversos corpos hídricos (Trindade Júnior, 2011).

A bacia hidrográfica do Rio Tapajós, encontra-se sobre embasamento cristalino, em sua maior parte, e drena rochas sedimentares cretáceas,

que influenciam no pH mais ácido do rio e das microbacias que compõem a rede de tributários (Silva et al., 2013; Sousa Júnior, 2014; Monte et al., 2021).

Em relação às condições de tempo e clima, que afetam os processos hidrológicos na microbacia do Irurá. As estações chuvosas coincidem com os meses de dezembro a junho e as menos chuvosas, com os meses de julho a novembro. O clima da cidade de Santarém pode ser classificado, segundo Köppen, como de clima tropical chuvoso, com pequena amplitude térmica anual e precipitação média mensal superior a 60 mm, ou seja, tipo Ami (Costa et al., 2013b; Santos et al., 2021).

Aspectos urbanos em Santarém

A cidade de Santarém foi fundada em 22 de junho de 1661, período da colonização portuguesa. Entretanto, a ocupação deste território retrocede aos períodos remotos, segundo alguns estudo, a região foi ocupada há mais de dez mil anos, na qual “abrigou civilizações portadoras de dinâmicas urbanas, cultura e organização social próprias e serviu de nó para redes que conectavam populações de diferentes territórios da Amazônia” (Gomes et al. 2017; Santos et al. 2022).

Santarém ocupa lugar de destaque na malha urbana amazônica, devido a sua posição geográfica estratégica estando entre Belém e Manaus. A cidade concentra uma série de atividades e funções, desenvolvendo serviços e estruturas de acesso, de locomoção, de interação com um processo mais externo, como o comércio fluvial (Oliveira, 2008).

De acordo com Costa, (2012), como a grande maioria das cidades da Amazônia, Santarém apresentava até a década de 1960, suas relações econômicas e sociais mais associadas ao rio, e aos poucos começou a ter sua estrutura urbana modificada, isso devido à criação de algumas rodovias como: BR 010 (Belém-Brasília), BR 230 (Transamazônica), BR 163 (Cuiabá-Santarém), PA 370 (Santarém-Curuá-Una) e a Rodovia Fernando Guilhon.

Autores como, Oliveira. (2008) e Gomes et al. (2017), afirmam que em decorrência de sua localização estratégica, em uma posição intermediária entre Belém e Manaus, capitais do Pará e do Amazonas respectivamente, e por estar em um ponto geográfico de encontro das águas (rio Tapajós e Amazonas), Santarém possuía atividades que a caracterizavam como capital regional,

durante 1850 a 1910 com o período de exploração da borracha.

Segundo Freitas et al. (2020), nas últimas duas décadas Santarém passou a desempenhar papel polarizador no Baixo Amazonas, tendo influência em dezesseis municípios próximos. Oliveira, (2008), salienta que tal questão se reafirmou em virtude da alocação e melhoria de serviços e infraestrutura, como a instalação de novas faculdades e universidades; instalação do Hospital Regional do Oeste do Pará; a inauguração de conjuntos habitacionais, de grandes lojas de departamentos e aumento do número de supermercados.

Atualmente, Santarém é considerada o terceiro município mais populoso do Pará (Souza et al., 2021). A cidade se tornou um importante polo urbano na região oeste do Pará, tornando-se um atrativo social. Entretanto, a falta de planejamento urbano causou a ocupação acentuada em áreas de relevância ambiental, o que aumentou a pressão antrópica sobre os recursos hídricos do município (Monte et al. 2021).

De acordo com Miranda et. al. (2009), a poluição das águas é, principalmente, fruto de atividades humanas, nas quais os poluentes lançados alcançam águas superficiais e subterrâneas de forma pontual e difusa.

De acordo com Santos et al. (2020), observou que a urbanização e a falta de saneamento básico em Santarém, comprometeram a integridade do habitat, além de diminuir a qualidade da água e dos sedimentos ao longo da microbacia do Irurá.

Segundo, Oliveira et al., 2015, a contaminação dos sedimentos de fundo por metais traços está ligada à poluição das águas e tem origem em diversas fontes, dentre as quais se destacam fontes pontuais (esgotos e efluentes urbanos, rejeitos industriais etc.) e fontes difusas (aerossóis industriais, cargas difusas urbanas e agrícolas etc.).

Outro problema que engloba a falta de saneamento básico é a coleta de resíduos, que devido à alta taxa de descarte de resíduos sólidos, como restos de construção civil, lixo doméstico, móveis velhos em locais inapropriados podem causar problemas na ordem de saúde pública (Silva et al. 2018).

A decomposição, principalmente do lixo orgânico, gera lixiviado composto por orgânicos e metais, que podem contaminar as águas superficiais e subterrâneas (Costa et al., 2020). A cidade de Santarém, atualmente, tem um sistema

ineficiente de coleta de lixo, e parte do lixo é carreado para o leito dos igarapés urbanos.

A Agência Nacional das Águas – ANA, (2012), descreve que o município passou por diversos ciclos econômicos, como a produção de jutas entre 1920 e 1960, que utilizou Santarém como suporte e caracterizando-a cada vez mais com o título e função de capital regional. Durante as décadas de 1950 e 1970 houve o ciclo de exploração do ouro em garimpos que se estendiam até Itaituba, sustentando as funções já consolidadas de Santarém (Costa, 2015), que impulsionaram o crescimento desordenado. Esse crescimento tornou os corpos hídricos urbanos, vulneráveis às

alterações na qualidade, em decorrência da urbanização.

Amostragem

Foram coletados cinco pontos ao longo do rio (Figura 1) durante as duas campanhas, em 2020, no período seco, no mês de novembro e no período chuvoso de 2021 no mês de fevereiro.

Os pontos selecionados ao longo da microbacia, com distribuição desde a nascente até próximo à desembocadura, no rio Tapajós, percorrendo alguns bairros em expansão na cidade (Tabela 1).

Tabela 1. Localização dos pontos de coleta na microbacia do Irurá

PONTO	COORDENADAS	DESCRIÇÃO
AM-1	02°29'49" S 54°45'14"W	Nascente do igarapé do Irurá
AM-2	02°29'03"S 54°44'09"W	Ponte do Cambuquira, localizado no ramal da cambuquira.
AM-3	2°27'26"S 54°43'43"W	Ponte sobre a BR-163 – Rodovia Cuiabá - Santarém.
AM-4	2°26'47"S 54°43'59"W	Próximo a ponte da COSAMPA – Companhia de Saneamento do Pará
AM-5	02°25'43"S 54°43'04"W	Lago do Mapiri

Os procedimentos de coleta seguiram as recomendações da EMBRAPA, (2017), o material coletado foi com o auxílio de dragas de Van Veen, em 20 cm de profundidade. Os sedimentos foram coletados, identificados e armazenados em sacos plásticos refrigerados até chegarem ao laboratório para serem tratados posteriormente.

Parâmetros Físicos

Granulometria

A análise granulométrica utilizou a metodologia do Método da Pipeta proposto pela EMBRAPA, (2017). No qual para determinação de areia utilizou-se uma peneira número 270 (0,053 mm) e técnica de sedimentação, para as frações silte e argila (Azevedo, 2014). Além da determinação do pH (em Água – H₂O e Cloreto de Potássio - KCl), por meio de eletrodos na suspensão homogeneizada (EMBRAPA, 2017).

Parâmetros Químicos

A matéria orgânica (MO) foi determinada pela metodologia da EMBRAPA, (2017). O sedimento foi pesado antes e aquecido em mufla por 600°C por 6 horas e após o resfriamento foi pesado novamente para determinar a massa restante, após o cálculo foi determinada a MO.

O fósforo total no sedimento foi determinado pela metodologia descrita por Aspila et al. (1976) O fósforo foi determinado em alíquotas de 0,5 g de sedimento seco e homogeneizado (macerado) após a calcinação em forno mufla (450°C/h). Após essa etapa foi realizada uma extração de 10 mL de solução de HCl 1mol L⁻¹ com agitação de mecânica por 16 horas.

As amostras foram centrifugadas por 10 minutos a 3.000RPM e o sobrenadante foi filtrado em filtro de papel (porosidade 0,45µm). O sobrenadante foi armazenado em tubos acrílicos, previamente, descontaminados. A leitura foi realizada em espectrofotômetro BEL (UV-M51 UV-Vis) pelo método colorimétrico de Grasshoff et al. (1999).

O sulfato/ enxofre (S) foi determinado pela metodologia de precipitação do sulfato com BaCl₂ e determinação gravimétrica descrita em EMBRAPA, (2017). Sódio (Na⁺), Potássio (K⁺) Cálcio (Ca²⁺) e Magnésio (Mg²⁺) foram determinados pela metodologia de sais solúveis e os extratos lidos em um espectômetro de absorção atômica de chama (Thermo Scientific iCE 3300) de acordo com os procedimentos descritos em EMBRAPA, (2017). O Al³⁺ foi extraído por Extração com solução KCl 1 mol L⁻¹ e lido em um espectômetro de absorção atômica de chama (Thermo Scientific iCE 3300) (EMBRAPA, 2017)

Os metais (Cu, Fe, Mn, Mo e Zn) foram determinados utilizando a metodologia para microelementos, usando a solução extratora

Parâmetros Físicos

As análises dos sedimentos possibilitaram obter os resultados para a granulometria; o pH; o percentual de saturação; os macroelementos e microelementos; a matéria orgânica, que estão representados, simultaneamente, nas tabelas 1, 2, 3

quelante de ácido dietilenotriamina penta acético (DTPA) com leitura em espectrometria de absorção atômica com chama (Thermo Scientific iCE 3300) de acordo com os procedimentos descritos em EMBRAPA, (2017).

A soma de bases é o somatório dos teores das bases cálcio, magnésio, potássio e sódio, em cmol_c kg⁻¹ (EMBRAPA, 2017). A capacidade de troca catiônica (CTC) é calculada pelo valor da soma das bases mais o valor da concentração de Al³⁺ no solo (EMBRAPA, 2017).

Dados Estatísticos

Em todos os métodos aplicou-se o software estatístico Statistica versão 8. Ao utilizar o teste de normalidade Shapiro Wilk, as amostras foram classificadas paramétricas. Diante disso, foi aplicado o Teste T *Student* para detectar diferenças entre inverno e verão. Foi aplicado o teste Análise do Componente Principal (APC) com o objetivo de analisar as interações entre alguns parâmetros estudados.

Resultados e discussão

e 4, e, respectivamente, possuindo maiores e menores valores em suas concentrações. Tais resultados são referentes aos dois anos amostrais.

Os parâmetros pH, percentual de argila, CTC (pH 7,0), CTC efetiva e Soma das bases, correspondem aos parâmetros físicos (Tabela 2).

Tabela 2- Parâmetros Físicos de 2020 (período seco) e 2021 (período chuvoso)

Amostra	Soma das bases											
	pH		Textura/Percentual de Argila				CTC-pH 7,0		CTC Efetiva			
	H ₂ O	KCl										
	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
AM-1	4,30	4,38	4,17	4,03	Arenosa	Arenosa	0,07	2,70	1,07	2,07	0,69	1,11
AM-2	5,98	4,43	5,14	4,05	Arenosa	Arenosa	< L.D	2,13	1,225	1,48	0,86	1,34
AM-3	5,01	5,20	4,16	5,09	Arenosa	Arenosa	14,93	0,75	1,12	1,43	0,93	1,38
AM-4	6,92	5,54	7,4	4,29	Arenosa	Arenosa	1,46	14,94	1,13	3,57	0,27	2,85
AM-5	5,35	5,14	4,19	5,01	Arenosa	Arenosa	0,07	1,86	1,02	1,28	0,83	1,23

*L.D - Limite de Detecção

No presente estudo, as amostras de sedimentos possuem granulometria arenosa, sendo que a composição granulométrica dos sedimentos de fundo influencia a capacidade de adsorção de poluentes. Segundo, Amaral et. al. (2014), os sedimentos de fundo arenosos favorecem a disponibilização dos poluentes para a coluna de água, ao contrário dos sedimentos de fundos com granulação fina (silte e argila), que possuem maior capacidade de adsorção à superfície (Monte et al., 2022).

Os sedimentos analisados classificados como ácidos em todos os pontos analisados. Segundo Pinheiro et al., (2019) e Monte et al., (2021), a acidez pode ser explicada pelo aumento da erosão em diversos pontos das margens do rio Tapajós, é o que pode estar relacionado a maior interferência da formação Alter do Chão, que é caracterizada por rochas com constituição mais siliciclásticas (areias e argilas) que são ricas em sílica. Além disso, a Formação Geológica é formada, principalmente, por latossolos amarelos, que são ricos em argilas e ácidos, os quais são erodidos e transportados até o Igarapé, contribuindo para a acidez (Ferreira et al. 2021).

A CTC - pH 7,0, que representa a quantidade total que o sedimento poderia adsorver se o seu pH fosse 7,0. No ano de 2020 variou entre de 0,07 e 14,93 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, sendo alta na amostra AM-3. A CTC efetiva (t), que representa a quantidade de cargas negativas ocupadas por cátions nos sedimentos, no mesmo ano, teve concentração elevada na amostra AM-2, variando entre as amostras (1,05 a 1,225 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$). A Soma das Bases foi baixa em todos os pontos, variando de 0,27 a 0,93.

No ano de 2021 a CTC - pH 7,0 variou entre 0,75 e 14,94 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$. A CTC efetiva (t) variou entre 1,28 a 3,57 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, sendo alta apenas na amostra AM-4. A capacidade de troca de cátions (CTC) de um sedimento representa a quantidade total de cátions retidos à superfície do mesmo, em condição permutável.

De acordo com Silva et al. (2010), em um estudo sobre o material sedimentar oriundo de solos de uma microrregião em Santarém, foi possível inferir que o material analisado possui uma fertilidade mediana a baixa, de acordo com a

CTC encontrada. A CTC está relacionada à quantidade e o tipo de argila e matéria orgânica no solo. Solos intemperizados apresentam maiores valores de CTC (Baum et al., 2021). Por outro lado, solos caracterizados por grandes quantidades de areia têm baixa retenção de areia, que consequentemente, promovem a lixiviação de cátions (Baum et al. 2021).

Segundo Ronquim, (2010), um valor de CTC entre 5 e 15 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ indica que o sedimento é composto, principalmente por caulinita, que um argilomineral típico de áreas intemperizadas e apresenta baixa CTC, o que adsorve menos metais na superfície.

Em um estudo sobre as variáveis químicas em inconsolidados de origem de latossolo amarelo na Amazônia, Pereira et al. (2000), afirmam que a deposição de matéria orgânica no solo provoca aumento na CTC, promovendo melhor adsorção de cátions trocáveis, liberados pela decomposição da matéria orgânica, entretanto, latossolos e argissolos são caracterizados por terem pouca matéria orgânica.

A Soma das Bases (SB), em de 2020, variou entre 0,27 e 0,93 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$. Em 2021, as amostras variaram entre 1,11 e 2,85 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$. A SB é o número de cargas negativas dos colóides do inconsolidado que está ocupado pelos cátions básicos trocáveis.

Gomes et. al, (2017) em um estudo sobre material sedimentar oriundo do que é descrito como Terra Preta do Índio, em uma microrregião de Santarém, observaram o valor de SB de 8,6 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, que pode indicar uma elevada fertilidade para o material analisado.

A soma das bases tem relação com a saturação de base, visto que, denomina-se saturação por bases (V%) a soma das bases trocáveis expressa em porcentagem de capacidade de troca de cátions (Ronquim et al., 2010; Silva et. al, 2010; Gomes et al., 2017)

As variáveis saturação por bases (V%), e concentração de alumínio (mg/kg) (Tabela 3). A saturação por bases (V%) foi alta na amostra AM-2 (1158,4%), em 2020. O índice de saturação de alumínio (m%), teve maiores concentrações na AM-4 (76,04 mg/kg).

Tabela 3- Percentual de Saturação e concentração de Al (mg/kg) no sedimento em 2020 (período seco) e 2021 (período chuvoso)

Amostra	Al (mg/kg)		Bases (V%)		Ca(%)		Mg(%)		K(%)	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
AM-1	35,66	46,51	184,26	41,07	9,62	6,42	38,48	34,43	1,31	1,06
AM-2	30,70	9,77	1158,64	62,68	16,56	10,40	41,41	65,50	0,88	0,81
AM-3	17,08	3,37	< L.Q	185,25	36,86	17,96	36,86	65,53	1,16	1,26
AM-4	76,04	20,23	1,81	19,09	173,23	40,98	< L.Q	35,85	6,28	0,70
AM-5	18,68	3,78	56,88	65,87	30,24	32,28	40,32	47,01	0,98	1,25

*L.D - Limite de Quantificação

Em 2021, a saturação por bases (V%) foi alta na amostra AM-3 (185,25%), o índice de saturação de alumínio (m%) teve maiores concentrações na amostra AM-1. De acordo com Amaral (et al., 2014), quando $V \geq 50\%$, o sedimento pode ser classificado como eutrófico; caso contrário, ele é classificado como distrófico. O índice V representa a razão percentual entre a saturação por base ($K + Ca + Mg$) e CTC - pH 7,0.

Estudos realizados por Gomes et. al, 2015, na região de Santarém, observaram a elevada saturação por bases (94%), o que leva a classificar o material de inconsolidados, como eutrófico, ou seja, alto teor de fertilidade. Entretanto, em ecossistemas aquáticos, um sedimento eutrófico pode indicar processo de eutrofização, que está ligado ao aporte de esgoto e pode causar danos à fauna aquática e queda da qualidade da água (Pinheiro et al., 2019).

Pinheiro et al. (2019) analisaram fósforo e Clorofila-a nas águas do igarapé do Irurá e classificaram alguns trechos do igarapé como eutróficos, colocando em risco à biota local. Uma das fontes de K na região está relacionada ao uso de adubos de base NPF em hortas próximas ao igarapé, que em períodos de chuva são carregados para o leito da microbacia (Nascimento et al., 2021).

De acordo com Guerreiro et al. (2017), em pesquisas sobre o material sedimentar, oriundo de

áreas de Latossolo Amarelo, na região de Santarém, as variações nas concentrações de SB podem ser influenciadas pela sazonalidade local. O que pode explicar a diferença, neste estudo, entre 2020 e 2021.

A SB tem relação direta com a capacidade de troca de cátions, com descrito pelo SiBCS (EMBRAPA, 2018), a saturação de bases corresponde à proporção de cátions básicos trocáveis em relação a capacidade de troca determinada a pH 7.

Parâmetros Químicos

As concentrações dos macro elementos e matéria orgânica (Tabela 4), no ano de 2020, variaram entre, respectivamente, para fósforo (P): 6,04 e 50,71 mg/kg, potássio (K): 3,9 e 27,69 mg/kg, sulfato (SO_4): 3,68 a 76,22 mg/kg, sódio (Na): de 0,09 e 0,2 mg/kg e M.O: foi menor que o limite de quantificação (LQ). A acidez potencial ($H + Al$), por sua vez, variou de <LQ a 14,66.

Em 2021, as concentrações variaram entre: fósforo (P): 10,40 e 33,80 mg/kg, potássio (K): de 4,29 e 9,75 mg/kg, sulfato (SO_4): 2,64 e 32,26 mg/kg, sódio (Na): 0,08 a 0,24 mg/kg e M.O: menor que o limite de quantificação e de <LQ e 27,25 mg/kg. A acidez potencial ($H + Al$), por sua vez, variou de <LQ e 14,66 e de 0,64 a 12,09 $cmol_c/dm^3$.

Tabela 4- Concentrações de macro elementos e Matéria Orgânica de 2020 (período seco) e 2021 (período chuvoso)

Parâmetros	Unidades	AM-1		AM-2		AM-3		AM-4		AM-5	
		2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
P	mg/kg	6,04	11,10	6,04	10,40	13,48	25,60	50,71	33,80	25,88	20,60
K	mg/kg	5,46	8,58	4,29	4,68	5,07	7,02	27,69	9,75	3,9	6,24
SO ₄ ⁻	mg/kg	26,38	32,26	3,68	29,27	17,52	2,64	76,22	6,60	29,15	3,69
Al ³⁺	cmole/dm ³	0,38	0,96	0,38	0,14	0,19	0,05	0,86	0,72	0,19	0,05
K ⁺	cmole/dm ³	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,07	0,03	0,01	0,02
M.O.	mg/kg	<L.Q	15,30	<L.Q	3,10	<L.Q	3,10	<L.Q	27,25	<L.Q	9,20
Na ⁺	cmole/dm ³	0,16	0,24	0,13	0,20	0,09	0,17	0,2	0,08	0,1	0,20

*L.D - Limite de Quantificação

Altas concentrações de fósforo nos sedimentos têm relação ao aporte de esgoto doméstico, e ao processo de decomposição da matéria orgânica, no qual alguns compostos orgânicos ligam-se ao ferro e ao alumínio, restringindo a formação de compostos insolúveis de fósforo (Guerreiro et. al,2017).

De acordo com Paula Filho et al. (2012), o aumento do fósforo nos sedimentos está relacionado a maior produção de matéria orgânica do que consumo e decomposição, o que diminui a qualidade da água. A liberação de P do sedimento para a coluna d'água intensifica o processo de eutrofização, que altamente tóxico para a biota aquática (Cavalcante et al. 2021).

Segundo Pinheiro et. al, 2019, em um estudo no igarapé do Irurá, salientaram que o esgotamento doméstico é composto pelo descarte de produtos de limpeza que contêm substâncias fosfatadas e aumentam a concentração do fósforo nos corpos hídricos urbanos (Wetzel, 1993; Esteves, 1998; Sousa et al., 2018).

O sedimento fluvial tem grande capacidade de acumular compostos em sua estrutura, com a presença de contaminantes que não permanecem solúveis após seu lançamento em águas superficiais (Cotta et al., 2006; Amaral et. al, 2014).

No estudo de Gomes et. al. (2015), as concentrações de P que variaram entre 1.119,7 mg kg⁻¹ e 971,6 mg kg⁻¹, indicando atividades

características de ações ou perturbações antrópicas, como por exemplo o uso da terra, com a adição de insumos agrícolas e/ou à introdução da ração na piscicultura. A região da microbacia do Irurá possui diversas áreas de piscicultura, o que pode aumentar o aporte de P para a microbacia (Pinheiro et al., 2019; Corrêa et al., 2020).

As concentrações de potássio podem estar associadas ao uso de fertilizantes do tipo NPK, utilizados pela população, (Andrade, 2000), como observado na região de pesquisa, onde é caracterizado pelas culturas familiares (Pinheiro et al., 2019).

Sobre as concentrações de sulfato, como observado por Nascimento et al., 2021, em pesquisa sobre a influência da ETE-Mapiri, na região de Santarém, podem estar relacionadas, principalmente, ao lançamento de esgoto doméstico e industrial, além de subprodutos de limpeza e beleza, o que pode justificar as altas concentrações do elemento nos anos amostrais.

O sódio pode ser um cátion (Na⁺) altamente solúvel, capaz de aumentar a condutividade elétrica e provocar diminuição no potencial osmótico, no caso, do sedimento de fundo. Da mesma forma que as alterações nas condições físico-químicas nesse ambiente (Fonseca, 2008; Silva et al., 2010). As maiores concentrações de sódio foram semelhantes ao observado no estudo Guerreiro et. al. (2017), realizado em regiões tropicais.

No presente estudo, as concentrações de matéria orgânica (M.O) foram encontradas apenas em 2021 (estação chuvosa), o que pode estar relacionado a interface floresta-água, que libera maior quantidade de M.O para o ecossistema aquático, e nessa estação há o maior aporte de esgoto para o sistema (Monte et al., 2021b). A acumulação de M.O nos sedimentos é controlada por alguns fatores, como a produção da biomassa, processos de degradação e transporte e a quantidade está relacionada aos processo de deposição, degradação bioquímica, produtividade da biomassa e características físicas do sedimento (Fonseca e Gonçalves, 2022).

Batista et. al. (2022), em um estudo em uma microbacia na região de Santarém, onde há múltiplos usos, atribuíram as fontes de MO às descargas de efluentes domésticos e da penitenciária municipal, a criação suína e a adição de insumos agrícolas, como condicionantes para o aumento nas concentrações de matéria orgânica no ecossistema aquático amazônico, e analogamente nos sedimentos ali encontrados. Entretanto, em época de chuva o runoff aumenta as concentrações de Al nos sedimentos dos rios (Senze et al 2021).

De acordo com Nascimento et al. (2021), no estudo sobre a contaminação das águas oriundas do Igarapé do Irurá, foram encontradas altas concentrações de Al, sendo que os pontos estudados estão localizados em áreas de despejo de efluentes urbanos. O alumínio pode ser oriundo

agentes coagulantes no tratamento de água e esgoto, além de rejeitos provenientes de processos industriais (MPE/PA, 2015).

Os sedimentos de fundo com pH ácido, favorecem a liberação do Al^{3+} , de acordo com Amaral (2014). Além disso, contribuem para o enriquecimento por Al nos sedimentos fluviais, visto este é pouco móvel em ecossistemas aquáticos, e geralmente enriquecido em sedimentos lixiviados de áreas intemperizadas (Selvaraj et al. 2004; Siqueira & Aprile, 2013).

As concentrações de Al são características dos argilominerais originados em processos de intemperismo de rochas, como o mineral caulinita, considerado o principal contribuinte de Al na região amazônica, além do mais, a sua variedade de uso procede desde agentes coagulantes no tratamento de água até, a rejeitos oriundos de processos industriais (Miranda et al., 2009; MPE/PA, 2015; Nascimento et al., 2021).

As concentrações dos microelementos no sedimento (Tabela 5) correspondentes ao ano de 2020, apresentaram, respectivamente, as seguintes variações: cobre (Cu): 3,05 a 142,8 mg/kg, cromo (Cr): 0,36 a 3,24mg/kg, ferro (Fe): 67,8 a 1.821 mg/kg; manganês (Mn) 2,30 a 61,6 mg/kg, zinco (Zn): 0,06 a 5,6 mg/kg. Em 2021 as concentrações variaram entre: cobre (Cu): 0,15 a 4,35 mg/kg, cromo (Cr): 0,33 a 1,59 mg/kg, ferro (Fe): 58,4 a 1.308,9 mg/kg; manganês (Mn) 0,85 a 13,9 mg/kg, zinco (Zn): 0,60 a 9,45 mg/kg.

Tabela 5- Concentrações de Microelementos de 2020 (período seco) e 2021 (período chuvoso)

Amostra	Cr (mg/Kg)		Cu (mg/Kg)		Fe (mg/Kg)		Mn (mg/Kg)		Zn (mg/Kg)	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
AM-1	0,2	1,38	21,40	0,60	95,02	88,10	2,30	0,85	0,88	0,60
AM-2	3,24	1,29	13,95	0,75	67,8	145,15	3,86	0,85	0,06	0,65
AM-3	0,36	0,33	24,84	0,15	232,60	58,40	2,30	1,00	0,81	1,60
AM-4	2,12	1,59	142,80	4,35	1821,20	1308,95	61,60	13,95	5,60	9,45
AM-5	0,68	0,48	3,05	0,30	366,2	78,95	10,48	2,85	1,78	2,00

*L.D - Limite de Quantificação

Essa variação entre os anos pode estar relacionada à sazonalidade. No período chuvoso, as maiores concentrações estão na água, entretanto, o sedimento apresenta menores concentrações neste período. O período chuvoso é caracterizado pelo maior escoamento superficial nesse período, pois contribui para a entrada de maiores cargas de

nutrientes provenientes tanto de efluentes, bem como, fertilizantes usados para o manejo de jardins, nas áreas urbanas, como de plantações agrícolas, nas áreas rurais (Pinheiro et al., 2019; Monte et al., 2021; Batista et. al, 2022).

Entretanto, no sedimento as concentrações são menores neste período, o que pode estar relacionado à constante ressuspensão do

sedimento, devido ao aumento do fluxo de água, que pode liberar os contaminantes para a coluna d'água, e no caso deste estudo, granulometria arenosa dos sedimentos, favorecendo a disponibilização dos poluentes para a coluna de água, apresentando uma menor adsorção dos íons do contaminantes (Monte et al. 2022).

A presença de ferro (Fe) em corpos hídricos amazônicos é comum, devido a formação geológica da região (Azevedo, 2006; Araújo et al. 2016). Dessa forma, PMSB/PA (2019), encontrou elevadas concentrações (Fe), semelhantes às encontradas no presente estudo. É comum a presença de crosta ferruginosa, laterítica característico pela camada no topo da Formação Alter do Chão (Oliveira et. al, 2000; Monte et. al, 2021).

As concentrações de zinco nos sedimentos da bacia do Rio Tapajós, são resultado, na maioria das vezes, por ação antrópica, como a poluição oriunda do esgotamento doméstico (Coringa et al., 2016; Rocha et al. 2023).

As concentrações de Cr podem ter relação ao descarte de efluentes urbanos não tratados e a presença de empresas de curtumes (processamento de couro) que liberam efluentes ricos em Cr (Sousa et al., 2015; Nascimento, 2021). A toxicidade do Cr está diretamente relacionada ao seu estado de oxidação, sendo o Cr VI a forma mais tóxica e reconhecida como um carcinogênico, penetra facilmente membranas biológicas, sendo altamente solúvel e móvel no ambiente aquático (Oliveira, 2012; Bakshi & Panigrahi, 2018).

Oliveira et al., 2015, em um estudo sobre o nível de metais pesados na água, no sedimento de fundo e em peixes do rio Tapajós, observaram as altas concentrações de metais como Cr e Fe nos sedimentos, o que caracterizam o sedimento como moderadamente e muito poluído, como observado na amostra de sedimento AM – 4.

Neste estudo, os sedimentos apresentaram baixas concentrações de Mn, principalmente, na

estação chuvosa. Em solos tropicais, há maiores concentrações de Fe e Mn, devido às características das rochas e solos, que são naturalmente mais ácido, em sua maioria. Além disso, nesses ambientes há maior mobilidade, devido aos seus processos de oxidação/redução (Ronquim, 2010; Brittes, 2017).

De acordo com Alloway (2010), em estudo sobre a biota aquática, indicara que grandes áreas próximas a complexos urbanos, metalúrgicas e rodovias, apresentam grandes concentrações destes elementos.

As concentrações de Cu foram maiores em 2020 (estação seca) em relação à estação chuvosa. O cobre é um elemento com pouca mobilidade nos solos, no entanto, os solos ácidos com baixo teor em matéria orgânica podem ser uma exceção. Assim, pode-se verificar que a mobilidade do cobre é média sob condições de oxidação, elevada em meio ácido, muito baixa em ambiente neutro a alcalino e redutor. A sua mobilidade é muito dependente do carbono orgânico, sendo particularmente estável a pH entre 5 e 6. As principais barreiras geoquímicas deste elemento são a presença de sulfetos, o aumento de pH e a adsorção (Reimann & Caritat, 1998).

As principais fontes de Cu são os compostos de cobre são usados na agricultura, no tratamento da água para controle de algas (sulfato de cobre), na preservação de madeira, couro e tecido e como aditivo em alimentos, assim como esgoto doméstico (CETESB, 2012).

Foram realizados Testes T de *Student*, entretanto não houve diferenças significativas entre os parâmetros nas duas estações estudadas. O teste de APC (Figura 2) com fatores acima de 80% nas duas estações, mostrou que as interações entre os contaminantes nas duas estações foram diferentes, indicando que pode ter diferença sazonal na distribuição dos contaminantes no sedimento (Monte et al., 2021b; Nascimento et al. 2022).

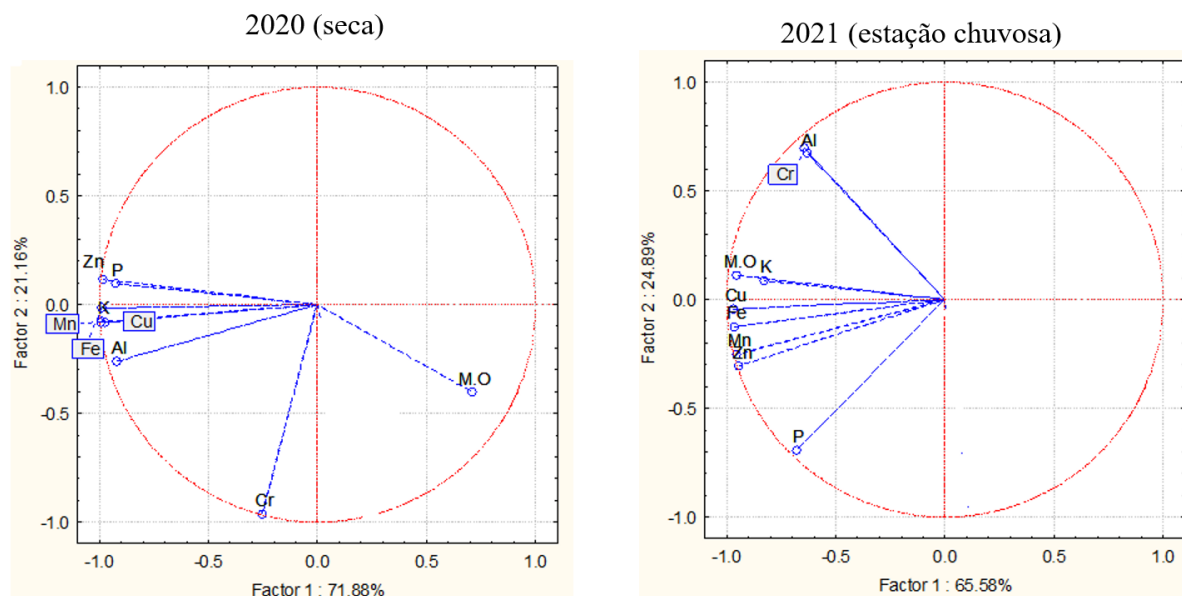


Figura 2 - Análise Principal de Componentes

Em 2020 (seca), houve correlação entre P e Zn, indicando que pode estar relacionado ao aporte de esgoto ao longo da microbacia, assim como correlação entre Al, Fe, Mn e Cu, indicando possível afinidade do Cu com óxidos e hidróxidos de Fe e Mn no sedimento. Em 2021 (chuva), o Al mostrou correlação com o Cr, sugerindo que podem ter a mesma fonte. Outra correlação apresentada foi entre M.O e K, sugerindo que os solos da região podem ser a fonte, ou que esse incremento na estação chuvosa vem das áreas agricultáveis próximas, que utilizam fertilizantes de base NPK (Pinheiro et al., 2019).

Os resultados estatísticos sugerem que há grande influência da atividade antrópica na contaminação dos sedimentos do igarapé, o que está relacionado, principalmente, ao despejo de esgoto doméstico e resíduos de agricultura. Entretanto, estudos futuros são necessários na região para entender melhor a dinâmica dos contaminantes na área.

Conclusão

As concentrações de contaminantes na microbacia, os sedimentos apresentaram maiores concentrações de metais na estação seca, indicando que os grandes fluxos de chuva na região podem desencadear processos naturais de ressuspensão do

sedimento, os quais podem liberar os contaminantes para coluna d'água.

Além disso, a granulometria arenosa dos sedimentos da microbacia favorece uma menor adsorção dos contaminantes, o que pode provocar aumento dos metais na coluna d'água.

Cu e Zn apresentaram grandes concentrações, como o esperado em uma microbacia que recebe efluentes domésticos. Entretanto, as concentrações de Cr III e VI se mostraram preocupantes, devido à toxicidade do elemento, as fontes podem estar relacionadas aos curtumes localizados próximos ao igarapé.

Diante disso, são necessários estudos futuros utilizando outros tipos de extração química com objetivo de estudar o fracionamento geoquímico dos contaminantes na região, para entender se os contaminantes na estação chuvosa “migram para outras fases geoquímicas ou se realmente vão para a coluna d'água, como indicam os resultados deste estudo.

Agradecimentos

O autor agradece ao laboratório Tapajós Soluções Ambientais, pelas análises dos sedimentos, ao Programa de Educação Tutorial – PET IEG- UFOPA, pelo fomento da bolsa através do FNDE, Fundo Nacional de Desenvolvimento.

Referências

- Aguiar, V. M. C., Baptista Neto, J. A., Fonseca, E.M. 2021. Assessment of bottom sediment quality in Niterói harbor (Brazil, South America) through ecological indexes concerning nutrients and trace metals. Environmental Science and Pollution Research. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15173-x>
- Alloway, B.J. 2010. Heavy Metals In Soils: Trace Metals And Metalloids In Soils And Their Bioavailability. 3th Ed. John Wiley And Sons, Inc. New York.
- Amaral, A. A., Pires, S. C., Ferrari, J. L. 2014. Qualidade Da Água E Do Sedimento De Fundo De Alguns Córregos Do Município De Castelo, Estado Do Espírito Santo. Revista agroambiente, 8, 2, 194-203. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.V8i2.1548;
- Andrade, J. A. 2000. Diagnóstico Geoambiental Da Cabeceira Do Rio Das Velhas - Apa Cahoeira Das Andorinhas, Ouro Preto (Mg). Dissertação (Mestrado Em Evolução Crustal E Recursos Naturais) - Universidade Federal De Ouro Preto.
- Araújo, G. V. R., Barbosa, I. M. B. R., Araújo, A. V. R., Tavares, R. G., Silva, R. C. P. 2016. Avaliação Do Teor De Ferro Dos Principais Sistemas De Abastecimento De Água Da RMR/PE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 7. Anais. Campina Grande.
- Aspila K.I., Agemian, H., Chau, A.S.Y. 1976 A semi-automated method for the determination of inorganic, organic and total phosphate in sediments. Analyst 101(1200) 187-197. <http://dx.doi.org/10.1039/an9760100187>
- Azevedo, R. P. 2006. Uso De Água Subterrânea Em Sistema De Abastecimento Público De Comunidades Na Várzea Da Amazônia Central. Manaus. Acta Amazônica, 36 (3). <https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000300004>
- Azevedo, F. C. G. 2014. Qualidade Da Água E Dos Sedimentos Do Rio Lajeado Pardo No Reservatório De Captação De Água Para Abastecimento. (Trabalho De Conclusão De Curso): Universidade Federal De Santa Maria . Frederico Westphalen, RS, Brasil.
- Bakshi, A., Panigrahi, A. K. (2018). A Comprehensive Review On Chromium Induced Alterations In Fresh Water Fishes. Toxicology Reports, 5, 440-447. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.03.007>
- Baum, C.A., Becegato, V.A., Lavnitcki, L., Vilela, P.B., Duminelli, E.C., Becegato, V.R., Robazza, V.R., Paulino, A.T. 2021. Evaluation of soil contamination by heavy metals at public cemeteries in the municipality of Lages, southern Brazil. Engenharia Sanitária e Ambiental, 26, 5, 883-891. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202000030>
- Brittes, B.R. 2017. Mobiliidades De Metais Fe, Mn, Cr E Ni Nas Águas Subterrâneas E Sedimentos Do Arroio João Correa, Proveniente Da Área De Disposição Irregular De Resíduos Sólidos. Dissertação De Mestrado, Universidade Do Vale Do Rio Dos Sinos. São Leopoldo.
- Cavalcante, A.M.S., Santos, R.N.E.S. 2021. Determinação de metais pesados (Fe, Mn, Cd, Cu, CO, CR, NI, ZN E PB), matéria orgânica e carbono orgânico no sedimento de áreas de manguezal no município de Vigia de Nazaré, NE –PA. Holos Environment [online], 21 (1), 105-123. DOI: <https://doi.org/10.14295/holos.v21i1.12416>
- Cavalcante, H., Araújo, F., Becker, V. and Barbosa, J.E.L. 2021. Internal phosphorus loading potential of a semiarid reservoir: an experimental study. Acta Limnologica Brasiliensia, 2021, 33, 6. DOI: <https://doi.org/10.1590/S2179975X10220>
- Cecílio, R. A., Reis, E. F. 2006. Apostila didática: manejo de bacias hidrográficas Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural.
- Cetesb. 2012. Ficha informação toxicológica. Cádmi e seus Compostos. São Paulo.
- Coringa, J. E. S., Pezza, L., Coringa, E. A. O., Weber, O. L. S. 2016. Distribuição Geoquímica E Biodisponibilidade De Metais Traço Em Sedimentos No Rio Bento Gomes, Poconé – MT. Brasil. Acta Amazonica Vol. 46(2). Doi: <http://Dx.Doi.Org/10.1590/1809-4392201502215>.
- Correa, E. S., Monte, C. N., Nascimento, T. S. R. 2020. Avaliação de impacto ambiental causado por efluentes da estação de piscicultura Santa Rosa, Santarém/Pará. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, 11, 1, 260-273, 2. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.001.0024>

- Costa, T. C. S. A. 2012. Relação Cidade E Rio Na Amazônia: Mudanças E Permanências Frente Ao Processo De Urbanização Recente, O Exemplo De Santarém (PA). Belém: Naea/UFGA. Dissertação (Mestrado Em Planejamento Do Desenvolvimento), Núcleo De Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal Do Pará. 166f.
- Costa, A.C.L., Uchoa, P.W., Silva Junior, J.A., Cunha, A.C., Feitosa, J.R.P. 2013b. Variações Termo-Higrométricas E Influências De Processo De Expansão Urbana Em Cidade Equatorial De Médio Porte. Brazilian Geographical Journal [Online] 615-632.
- Costa, T. 2015. Urbanização e diversidade socioespacial no baixo amazonas: Santarém e a produção do urbano regional. Ensaios de Geografia, 4, 7, 71-85.
- Costa, I., Saldanha, E. C., Monte, C. N.2020. A sazonalidade de contaminantes em águas subterrâneas e superficiais entorno de um aterro sanitário na região Amazônica. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, 11, (6), 371-382.
- Cotta, J. A. O., Rezende, M. O. O., Piovani, M. R.2006 Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no parque estadual turístico do Alto Ribeira - Petar, São Paulo, Brasil Química Nova, 29,1, 40-45.
- Davutluoglu, O.I., Galip, S., Cagatayhan B. E.,Turan, Y., Bulent, S. 2011. Heavy Metal Content And Distribution In Surface Sediments Of The Seyhan River, Turkey. Journal Of Environmental Management, 92:2250-2259. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.04.013>
- Esteves, F. A. 1998. Fundamentos De Limnologia. Rio De Janeiro: Interciência,
- Embrapa. (2017). Manual de Métodos de Análise de Solo. Org: Teixeira, P.C.T.,Donagemma, G.K., Fontana, A., Teixeira,W.G. 3ª edição revista e ampliada, 577p.
- Embrapa. (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª edição revista e ampliada, 355p.
- Espirilla, A.T., Gómez,T.B.P. 2022. Distribution and assessment of the environmental risk of heavy metals in Aguada Blanca reservoir, Peru. Revista Ambiente &Água- - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, 17 n. 4, e2838. DOI: <http://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Ferreira, S.J.F., Pinel, S. Ríos-Villamizar, E.A., Miranda, S.A.F., Pascoaloto,D. Vital, A.R.T., Monteiro,M.T.F., Silva, M.S.R., Cunha,T.R.B., Santos,A.S. Bender,S., Cunha,H.R. 2021. Impact of rapid urbanization on stream water quality in the Brazilian Amazon. Environmental Earth Sciences, 80, 316.DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09621-7>
- Fonseca, E. M. 2008. Dinâmica Geoquímica Dos Metais Pesados Na Lagoa Rodrigo De Freitas , RJ: Bioassessibilidade E Biodisponibilidade Para Bactérias. 158p. Tese (Doutorado) Universidade Federal Fluminense, Niterói.
- Fonseca, C., Gonçalves, P. A.2022 A matéria orgânica no sistema geológico, Revista Ciência Elementar , 10(02),028. DOI: <http://doi.org/10.24927/rce2022.028>
- Freitas, L. S.; Travassos, H. V. B.; Vinagre, M. V. A.; Ponte, M. J. M.; Tourinho, H. L. Z.. Expansão Da Mancha Urbana De Santarém: Análise De 1984 A 2020. Naturae, V.3, N.1, P.1-10, 2021. Doi: <http://doi.org/10.6008/Cbpc2674-6441.2021.001.0001>
- Gomes, P.H.S., Silva, D.S.,Taube Júnior, S., Rebellato, L., Sacramento, J.A.A.S. 2015. Caracterização Química De Solos Antrópicos Da Amazônia (Terra Preta De Índio) No Município De Santarém Pará. Congresso Brasileiro De Ciências Do Solo.
- Gomes, T. V., Cardoso, A. C. D., Coelho, H. S., Oliveira, K. D. 2017. Santarém (PA): Um Caso De Espaço Metropolitano Sob Múltiplas Determinações. Caderno. Metropolitano, 19, 40.
- Grasshoff ,K., Kremling, K., Ehrhardt, M. 1999. Methods of seawater analysis. Weinheim: Verlag Chemie, 419 p.
- Guerreiro, Q. L. M., Ruivo, M.L.P., Castro, R.M.S., Amarante,C.B., Rodrigues,H.,Ferreira, O.O. 2017. Variação Sazonal Dos Atributos Químicos De Latossolos Em Uma Área Submetida Ao Estresse Hídrico Na Amazônia. Boletim Museu Pará Emílio Goeldi. Ciências Naturais, Belém, 11, 3, 329-342. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v11i3.417>
- Jesus, F.O., Bentes, V.S., Segura-Muñoz, S.I., Meschede,M.S.C. 2023. Eficácia das medidas domiciliares de desinfecção da água para consumo humano: enfoque para o contexto de Santarém, Pará, Brasil. Cadernos de Saúde

- Pública, 39(2):e00205322. DOI: 10.1590/0102-311XPT205322
- Miranda, R. G., Pereira, S. F. P., Alves, D. T. V., Oliveira, G. R. F. 2009. Qualidade dos recursos hídricos da Amazônia – Rio Tapajós: avaliação de caso em relação aos elementos químicos e parâmetros físico-químicos. *Ambi-Água*, 4, 2, 75-92. DOI:10.4136/ambi-agua.88)
- Monte, C.N., Rodrigues, A.P.C., Macedo, S., Régis, C.; Correa, E.S., Ribeiro, A.C. & Machado, W. 2021. A influência antrópica na qualidade da água do rio Tapajós, na cidade de Santarém-PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 14,6, 3695-3710.
- Monte, C.N., Correa, E.S., Costa, I., Nascimento, T.S.R., Pereira, M.S., Batista, L.F., Pinheiro, D.C. 2021b. The physical-chemical characteristics of surface waters in the management of quality in clearwater rivers in the Brazilian Amazon. *Water Policy*, 23,5,1303. <http://doi.org/10.2166/wp.2021.258>
- Monte, C.N., Rodrigues, A.P.C., Galvão, P.M.A., Pontes, G.C., Malm, O., Wasserman, J.C., Machado, W. 2022. Mercury methylation upon coastal sediment resuspension: a worst-case approach under dark conditions *Environmental Monitoring and Assessment*. 194: 805. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10485-y>
- Mourão, M.J.P.S., Santos Júnior, R.F., Cavaleiro, W.C.S., Fulan, J.A., Hara, A.S., Stachiw, R., Figueira, W.S., Ferreira, K.R., Carneiro, K. A.A., Vendruscolo, J. 2022. Caracterização da paisagem da microbacia do rio Tranquilidade, Rondônia Brasil. *Recima 21- Revista Científica Multidisciplinar*, 3,6, e361598. DOI:<https://doi.org/10.47820/recima21.v3i6.1598>
- MPE. 2015. Ministério Público Do Estado Do Pará. Análise Do Estudo Da Qualidade Da Água De Consumo De Moradores Do Município De Barcarena – PA.
- Narendra, B. H., Siregar, C. A., Dharmawan, W. S., Sukmana, A., Pratiwi, Pramono, I. B., Basuki, T. M., Nugroho, S. H., Supangat, A. B., Purwanto, Setiawan, O., Nandini, R., Ulya, N. A., Arifanti, V. B., Yuwati, T. W. 2021. A review on sustainability of watershed management in Indonesia. *Sustainability*, 13 (19), 1-29. <https://doi.org/10.3390/su131911125>
- Nascimento, L. S. 2021. Dinâmica De Cromo Em Peixes Do Lago Puruzinho, Amazônia Ocidental : Influência Da Sazonalidade, Hábitos Alimentares, Avaliação De Risco E Avaliação Espacial. Dissertação (Mestrado Em Ecologia E Recursos Naturais) - Universidade Estadual Do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro De Biociências E Biotecnologia Campos Dos Goytacazes, RJ.
- Nascimento, T. S. R., Monte, C. N., Correa, E. S. 2021. Qualidade De Água Em Áreas Influenciadas Por Uma Estação De Tratamento De Esgoto Na Amazônia. *Revista Ibero Americana De Ciências Ambientais*, 12,9, 146-160. Doi: <http://doi.org/10.6008/Cbpc2179-6858.2021.009.0012>
- Nascimento, T.S.R., Monte, C.N., Corrêa, E.S., Costa, I., Batista, L.F. 2022. The Seasonality of Contaminants in an Urbanized Microbasin in the Brazilian Amazon. *Water, Air, Soil and Pollution* 233, 412. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05879-0>
- Nizoli, E. C., Luiz-Silva, W. 2009. O Papel Dos Sulfetos Volatilizados Por Acidificação No Controle Do Potencial De Biodisponibilidade De Metais Em Sedimentos Contaminados De Um Estuário Tropical, No Sudeste Do Brasil. *Química Nova*, 32, 2, 365-372.
- Oliveira, J. R., Pastana, J. M. Do N., Navegante, P. S. C., Schalken, C. G. P. S. 2000. Caracterização Hidrogeológica Da Cidade De Santarém E Das Vilas De Mojuí Dos Campos E Alter-Do-Chão Com Proposta Técnica Para A Perfuração De Poços Tubulares Profundos. *Águas Subterrâneas*. Recuperado De <https://aguassubterraneas.abas.org/Asubterraneas/Article/View/24127>.
- Oliveira, J. M. G. C. 2008. Expansão Urbana E Periferização De Santarém – Pa, Brasil: Questões Para O Planejamento Urbano. In: *Anais X Colóquio Internacional De Geocrítica*. Universidade De Barcelona, 2008. Disponível Em: <http://www.ub.edu/geocrit/-Xcol/268.Htm>. Acessado Em: Março/2023.
- Oliveira, H. 2012. Chromium As An Environmental Pollutant: Insights On Induced Plant Toxicity. *Journal Of Botany*. DOI: <https://doi.org/10.1155/2012/375843>

- Oliveira, H. S. P.; França, S. C. A.; Rocha, E. J. P. 2015. Atividades De Mineração E Avaliação De Metais Em Água Superficial, Sedimento De Fundo E Peixes No Rio Tapajós. In: Vieira, I. C. G.; Jardim, M. A. G.; Rocha, E. J. P. Amazônia Em Tempo: Estudos Climáticos E Socioambientais. Belém: Ufpa: Mpeg: Embrapa, 2015. 461 P. Disponível Em: [Http://Livroaberto.Ufpa.Br/Jspui/Handle/Prefix/93](http://Livroaberto.Ufpa.Br/Jspui/Handle/Prefix/93).
- Paula Filho, F.J., Moura, M.C.S., Marins,R.V. 2012. Fracionamento Geoquímico do Fósforo em Água e Sedimentos do Rio Corrente, Bacia hidrográfica do Parnaíba/PI Revista Virtual Química, 4(6), 623-640.
- Pereira, W. L. M., C. A. C. Veloso., J. R. N. F. Gama. 2000. Propriedades Químicas De Um Latossolo Amarelo Cultivado Com Pastagens Na Amazônia Oriental. Scientia Agricola 57(3): 531-537. Doi: [Http://Dx.Doi.Org/10.1590/S0103-90162000000300025](http://Dx.Doi.Org/10.1590/S0103-90162000000300025).
- PMSB. (2019). Plano Municipal De Saneamento Básico. Revisão Do Plano Municipal De Saneamento Básico De Santarém – PA 2020/2023. Santarém: Prefeitura Municipal De Santarém.
- Pereira, W.L.M., Veloso,C.A.C., Gama, J.R.N.F. 2000. Propriedades químicas de um latossolo amarelo cultivado com pastagens na Amazônia oriental. Scientia Agricola, 57, 3,531-537.
- Reimann C, De Caritat P. Chemical elements in the environment— factsheets for the geochemist and environmental scientist. Springer-Verlag: Berlin, Germany. 1998.
- Rocha, A.B.A., Boaventura,G.R., Tonhá, M.S., Barbosa, R.F., Almeida,S.M., Garnier,J. 2023. Estudo de indicadores da contaminação do rio Melchior pela ocupação da bacia hidrográfica pelo uso urbano. Geociências,42, 2, 41 – 252.
- Roma, A.F.W., Souza,I.S., Correia,K.P., Alegre, S.R., Cavalheiro,W.C.S., Fulan, J.A., Carneiro,K.A.A., Stachiw, R., Figueira,W.S., Vendruscolo,J. 2023. Dinâmica da cobertura do solo na microbacia e zona ripária do rio Bela Vista, Amazônia Ocidental, Brasil. Recima 21- Revista Científica Multidisciplinar, e412596. DOI: <https://doi.org/10.47820/recima21.v4i1.2596>
- Ronquim, C. C.2010. Conceitos De Fertilidade Do Solo E Manejo Adequado Para As Regiões Tropicais. Campinas: Embrapa Monitoramento Por Satélite, (Boletim De Pesquisa E Desenvolvimento, 8).
- Santos, G. P., Oliveira, L. L., Fernandes, G. S. T.,Santos, I. I., Almeida, R. M., Moura, E. R. S. 2020.Qualidade Hidrológica E Ambiental De Uma Microbacia Urbana De Abastecimento Público De Água Na Amazônia Brasileira. Revista Ibero Americana De Ciências Ambientais, 11,.4, 154-168. Doi:[Http://Doi.Org/10.6008/Cbpc2179-6858.2020.004.0014](http://Doi.Org/10.6008/Cbpc2179-6858.2020.004.0014)
- Santos, G. P.,Almeida, R. M., Moura, E. R. S, Oliveira, L. L.2021. Sensação Térmica Urbana Em Área Residencial Planejada No Município De Santarém – Pará, Amazônia, Brasil. Revista Brasileira De Geografia Física, 14,03, 1333-1351.
- Santos, Z., Sousa, M. S., Santos, R. F., Lopes, R. B.; Melo, S. G.; Moura, L. S. 2021. Análise Do Índice De Qualidade De Água Em Função Da Sazonalidade Na Microbacia Do Irurá No Município De Santarém-Pará. Revista Ibero Americana De Ciências Ambientais, 12,5,314- 326. Doi: [Http://Doi.Org/10.6008/Cbpc2179-6858.2021.005.0027](http://Doi.Org/10.6008/Cbpc2179-6858.2021.005.0027)
- Santos, M. R. G., Silva,M.J.V., Alves,H.S. 2022. Expansão Urbana E Distribuição Espacial Dos Fragmentos Florestais Na Cidade De Santarém, Pará. Caderno Prudentino De Geografia, Presidente Prudente, 44, 2, 155-179.
- Selvaraj, K., Ram Mohan, V., Szefer, P. 2004. Evaluation of metal contamination in coastal sediments of the Bay of Bengal, India: geochemical and statistical approaches. Marine Pollution Bulletin, 49: 174-185. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.02.006>
- Siqueira, G.W., Aprille,F. 2013. Avaliação de risco ambiental por contaminação metálica e material orgânico em sedimentos da bacia do Rio Aurá, Região Metropolitana de Belém – PA. Acta Amazônica, 43,(1), 51 – 62.
- Senze, M. Kowalska-Górska, M. Czyż,K. 2021. Availability of aluminum in river water supplying dam reservoirs in Lower Silesia considering the hydrochemical conditions. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management,16, 100535. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100535>.

- Silva, A.T. L. ,Teixeira, O. M. M., Gomes. C. L.L., Rodrigues. E. F. 2010. Determinação e Análise da Fertilidade Em Solo Na Microregião de Santarem-PA. 50° Congresso Brasileiro de Quimica - Cuiaba/MT.
- Silva, D. F.,Matos, A. T., Pereira, O. G., Cecon P. R.,Moreira, D. A. 2010. Disponibilidade De Sódio Em Solo Com Capim Tifton E Aplicação De Percolado De Resíduo Sólido. Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental,14, 10, 1094-1100.
- Silva, M.S.R., Miranda,S.A.F.,Domingos, R.N.,Silva, S.L.R.S., Santana, G.P. 2013. Classificação dos rios da Amazônia: uma estratégia para preservação desses recursos.Holos Environment, 13 (2),163-174.
- Silva, C. O.,Miranda, M. A., Less, D. F., S 2018. Análise Dos Serviços De Saneamento Básico E A Incidência De Casos De Chikungunya No Bairro Da Matinha Em Santarém (PA). Revista Ibero Americana De Ciências Ambientais, 9, 6, 133-146. Doi: [Http://Doi.Org/10.6008/Cbpc2179-6858.2018.006.0015](http://doi.org/10.6008/Cbpc2179-6858.2018.006.0015);
- Sousa, B. L. M.,Peleja, J. R. P., Sousa, B. L. M.; Goch, Y. G. F., Ribeiro, J. S., Pereira, B. S., Lima, F. C. C.,Lemos, E. J. S. 2018. Índice De Estado Trófico De Lagos De Águas Claras Associados Ao Baixo Rio Tapajós, Amazônia, Brasil. Revista Íbero-Americana De Ciências Ambientais, 9, 7, 76-89, Doi: [Http://Doi.Org/10.6008/Cbpc2179-6858.2018.007.0008](http://doi.org/10.6008/Cbpc2179-6858.2018.007.0008)
- Sousa, E. A. D., Miranda, M. R., Dos Santos, M. H., Costa Júnior, W. A., Lauthartte, L. C., Mussy, M. H., Bastos, W. R. 2016. Assessment Of Trace Metals In Amazonian Fish Exposed To Untreated Urban Sewage: High Chromium Concentrations In Fish Tissues. Revista Ambiente & Água, 10(3), 499-509.
- Sousa Júnior,W, C org. 2014. Tapajós Hidrelétricas, infraestrutura e caos- Elementos para a governança da sustentabilidade em uma região singular.ITA/CTA, 192p
- Souza, A. M. P., Santos, I. I., Oliveira, L. L. 2021.A relação da chuva coma recarga de água em uma nascente urbana em Santarém-PA,Amazônia, Brasil. Nature and Conservation,14, 3, 80-95.DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2021.003.0007>
- Souza, A.J.N., Macedo,M.A.R., Bandeira, T.P.B., Oliveira, T.D.T.S., Souza, T.G.N.T., Mendes,D.M., Santos,M.L.S. 2023. Estudo de revisão dos elementos-traço nos sedimentos dos corpos hídricos da região Amazônica, Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física, 16, 04,1732-1752.
- Townsend, J.M., Rimmek, C.C, Driscoll, C.T., Mc Farland, K.P. 2013. Mercury Concentrations In Tropical Resident And Migrant Songbirds On Hispaniola. Ecotocology. 22:50-59. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10646-012-1005-1>
- Trindade Júnior, S. C. C. T.2011. Cidades Médias Na Amazônia Oriental: Das Novas Centralidades À Fragmentação Do Território. Revista Brasileira De Estudos Urbanos E Regionais, 13,2. Doi: [Http://Dx.Doi.Org/10.22296/2317-1529.2011v13n2p135](http://dx.doi.org/10.22296/2317-1529.2011v13n2p135),
- Wetzel, R. G. (1993). Limnologia. 2 Ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian,
- Ye, H., Zang, S., Xiao, H., Zhang, L. 2015. Speciation And Ecological Risk Of Heavy Metals And Metalloid In The Sediments Of Zhalong Wetland In China. International Journal Environment. Science Technology, 12:115-124. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0399-5>