

MERCÚRIO EM SEDIMENTOS E QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO TAPAJÓS EM REGIÕES COM E SEM ATIVIDADE GARIMPEIRA, AMAZÔNIA, BRASIL

Ronilson Vasconcelos Barbosa¹ José Reinaldo Pacheco Peleja²

RESUMO

A mineração aurífera na bacia do rio Tapajós intensificou-se nas últimas décadas, aumentando a contaminação por mercúrio (Hg) e comprometendo a qualidade da água. Este estudo avaliou concentrações contemporâneas de Hg total em sedimentos do canal principal do Tapajós e de dez afluentes (impactados e controles), em 33 pontos ao longo de ~700 km entre Santarém e Jacareacanga. Foram analisados parâmetros físico-químicos da água e Hg total em sedimentos, conforme normas nacionais e internacionais. Os resultados indicaram desconformidades em seis parâmetros de qualidade da água (CONAMA 357/2005), com maiores frequências em áreas de garimpo. Cinco locais apresentaram concentrações de Hg acima do Nível 1 da Resolução CONAMA 454/2012, sugerindo potencial risco ecotoxicológico. Observou-se ainda correlação positiva entre Hg e turbidez, cor verdadeira, sólidos suspensos e dissolvidos, e negativa com transparência Secchi. Esses achados reforçam a influência da atividade garimpeira sobre a qualidade ambiental da bacia e a necessidade de monitoramento contínuo.

PALAVRAS-CHAVE: Mineração. Meio ambiente. Risco ecotoxicológico.

ABSTRACT

Gold mining in the Tapajós River basin has intensified in recent decades, increasing mercury (Hg) contamination and impairing water quality. This study assessed contemporary concentrations of total Hg in bottom sediments of the Tapajós main channel and ten tributaries (impacted and control sites), across 33 sampling points over ~700 km between Santarém and Jacareacanga. Physicochemical water parameters and total Hg in sediments were analyzed according to national and international standards. Results showed non-compliance with six water quality parameters (CONAMA Resolution 357/2005), particularly in mining areas. Five sites presented Hg concentrations above Level 1 of CONAMA Resolution 454/2012, indicating potential ecotoxicological risk. Significant positive correlations were found between Hg and turbidity, true color, suspended and dissolved solids, and negative correlation with Secchi transparency. These findings highlight the strong influence of gold mining on the environmental quality of the Tapajós basin and the urgent need for continuous monitoring.

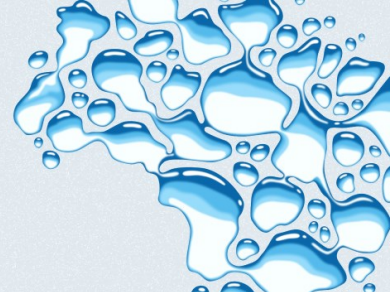
KEYWORDS: Mining. Environment. Ecotoxicological risk.

INTRODUÇÃO

O rio Tapajós é uma das áreas mais impactadas pela mineração aurífera na Amazônia, atividade intensificada na última década (Almeida et al., 2021). O uso de mercúrio (Hg) no processo de extração promove contaminação de sedimentos e potenciais remobilizações para a coluna d'água, comprometendo a qualidade ambiental e a saúde das populações ribeirinhas (Pfeiffer et al., 1991; Roulet et al., 2001). A bioacumulação do Hg representa risco ecotoxicológico relevante, reforçando a necessidade de monitorar sedimentos e variáveis físico-químicas da água (Lino et al., 2019). Diante desse cenário, este trabalho avalia concentrações contemporâneas de Hg total em sedimentos do rio Tapajós e afluentes impactados e não impactados pela atividade garimpeira,

¹ Aluno Ronilson Vasconcelos Barbosa (Universidade Federal do Oeste do Pará). Linha de pesquisa: Metodologias para Implementação dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos. Itaituba, Pará, Brasil. E-mail: ronilson.icmbio@gmail.com.

² José Reinaldo Pacheco Peleja - Docente no Instituto de Ciências e Tecnologia de Águas (ICTA)/Programa: Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Instituição: Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, Pará, Brasil. E-mail: jose.peleja@ufopa.edu.br



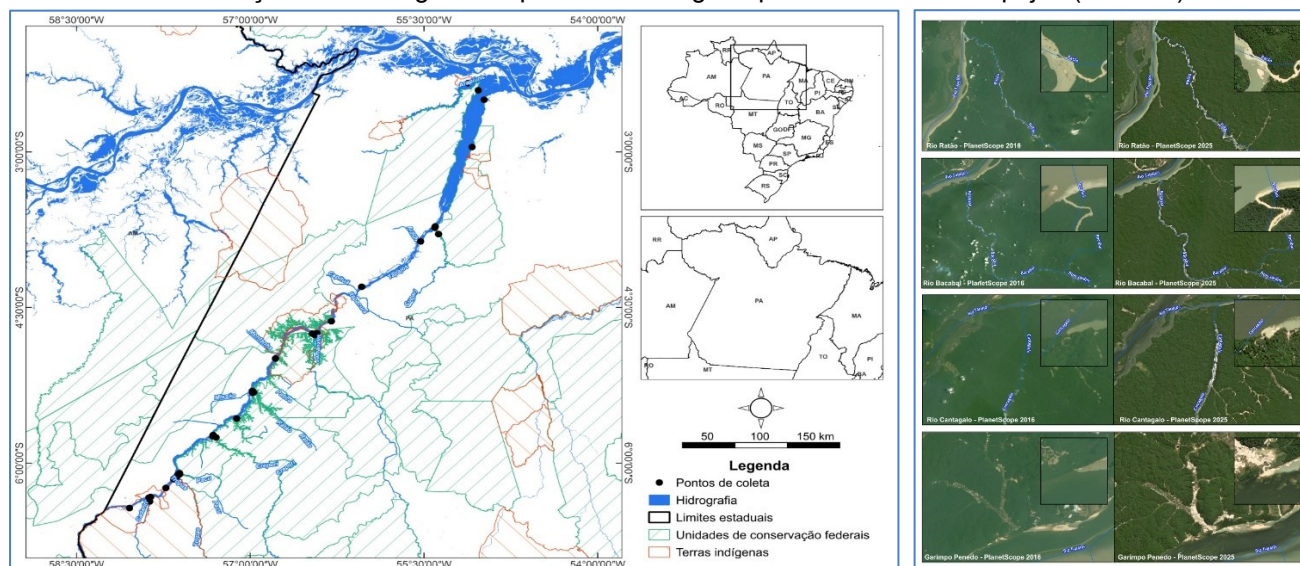
analisa sua relação com parâmetros de qualidade da água e verifica a conformidade dos resultados com as Resoluções CONAMA 357/2005 e 454/2012.

MATERIAIS E MÉTODOS

Area de Estudo

A área de estudo compreendeu o médio e baixo rio Tapajós, incluindo a calha principal e a foz de dez afluentes (nove da margem direita e o Arapiuns, margem esquerda). Foram coletados sedimentos de leito em 33 pontos ao longo de ~700 km (Jacareacanga–Santarém), entre 26/02 e 05/03/2022, durante a cheia.

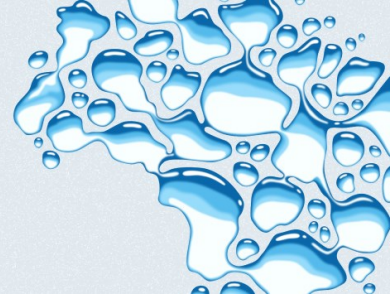
Figura 1: Mapa com a localização dos Pontos de Amostragem entre Santarém e Jacareacanga e imagens temporais evidenciando o avanço da área degradada pela atividade garimpeira na bacia do Tapajós (à direita).



Os 33 pontos de coleta foram categorizados em cinco regiões segundo a influência garimpeira: **Tapajós Montante**, **Afluentes Impactados**, **Tapajós Garimpos**, **Tapajós Jusante** e **Afluentes Controles** (Cadariiri e Arapiuns). Vinte pontos situaram-se no canal principal do rio Tapajós, sendo 14 próximos às desembocaduras de sete afluentes impactados, e nove distribuídos até a foz do Tapajós.

Métodos de Coleta e Análise

A coleta e conservação das amostras de água seguiram a NBR 9897, sendo realizadas contra a corrente, a 20 cm de profundidade, em frascos de polietileno esterilizados (1.000 mL), acondicionados em caixas isotérmicas refrigeradas e transportados ao laboratório. Os parâmetros de qualidade da água foram analisados conforme o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). As medições in loco de pH, temperatura, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido foram feitas com potenciômetro multiparâmetro portátil (Senso Direct®, modelo 150). Os sedimentos superficiais foram coletados com draga Petersen, transferidos para tubos Falcon esterilizados e mantidos sob refrigeração. As análises de Hg total foram realizadas por Espectrometria de Fluorescência Atômica a Vapor Frio (CVAFS) no Laboratório de Biologia Ambiental/ICTA/UFOPA.



RESULTADOS PRELIMINARES

Dos dez parâmetros de qualidade da água analisados, seis são regulamentados pela Resolução CONAMA 357/2005 (água doce classe 2). À exceção dos sólidos dissolvidos totais, todos apresentaram desconformidades, sobretudo no canal do Tapajós em áreas de garimpo e na foz dos tributários Crepori, Bom Jardim, Rato e Jamanxim (Figura 2, valores em vermelho). As desconformidades mais frequentes ocorreram para oxigênio dissolvido, cor verdadeira e ferro dissolvido.

Quanto ao aspecto legal a resolução 454 do Conama (2012) que dispõe sobre a concentração de mercúrio total abaixo da qual se espera baixa probabilidade de efeitos adversos à biota, cinco dos locais amostrados apresentaram concentração de mercúrio em sedimento acima do Nível 1 de 0,17 mg·kg⁻¹ (limiar abaixo do qual se prevê baixa probabilidade de efeitos adversos à biota). Estes pontos foram a foz do rio Crepori (0,170 mg·kg⁻¹), Tapajós/Montante Rato (0,214 mg·kg⁻¹), foz do rio Rato (0,185 mg·kg⁻¹), foz do rio Jamanxim (0,192 mg·kg⁻¹) e Tapajós/Alter do Chão (0,190 mg·kg⁻¹) (Tabela 2).

Tabela 1 - Valores dos parâmetros de qualidade da água por ponto do canal principal do rio Tapajós e na foz de seus afluentes.

Ponto de coleta	pH	OD (mg L ⁻¹)	Temp. (°C)	Cond. (µS cm ⁻¹)	Turb. (UNT)	SST (mg L ⁻¹)	SDT (mg L ⁻¹)	Cor (mg Pt/L)	Fe (mg L ⁻¹)	Ssecchl (m)
Tapajós Apuí Margem Direita	6,58	4,4	27,8	14,4	23,5	2,7	72	30	0,13	1,48
Tapajós/Montante Cadariiri	6,13	4,5	27,9	14,4	24,6	4,7	88	40	0,12	1,35
Cadariiri - Foz [†]	4,46	3,7	25,8	8,4	22,8	1,0	94	50	0,18	1,64
Tapajós/Jusante Cadariiri	6,44	4,5	28	14,3	24,3	2,7	102	30	0,13	1,35
Tapajós/Jacareacanga	6,42	5,3	28,2	14	24,8	5,0	49	30	0,11	1,36
Mutum - Foz	6,34	4,5	24,8	11,9	21,8	2,0	7	30	0,23	1,65
Tapajós/Montante Tropas	6,47	4,5	27,3	13,5	24,4	4,8	41	30	0,14	1,11
Tropas - Foz	5,9	3,8	25,8	11,4	26,7	4,3	69	60	0,31	0,97
Tapajós/Jusante Tropas	6	3,6	26,2	11,8	26,1	3,5	30	50	0,26	1,1
Tapajós/Montante Pacu	6,1	4,3	27,1	11,2	25,7	2,5	21	50	0,23	1,12
Pacu - Foz	5,89	4,2	25,7	10,3	30,6	5,2	25	30	0,21	0,86
Tapajós/Jusante Pacu	5,85	3,8	26,1	9,7	28,4	3,5	6	40	0,21	1,09
Tapajós/Montante Crepori	5,6	4,6	27,3	12	28,0	4,4	66	50	0,18	0,97
Crepori - Foz	6,2	6,1	26,7	13,1	167	84,0	81	140	0,12	0,09
Tapajós/Jusante Crepori	6,8	6,1	27	13	165	98,7	125	120	0,21	0,13
Bom Jardim - Foz	6,51	5,2	30,2	16,1	166	84,0	174	130	0,28	0,12
Tapajós/Montante Rato	5,8	3,1	27,4	13,8	77,6	34,0	106	110	0,27	0,23
Rato - Foz	6	3,6	27,3	22,5	117,0	46,3	214	120	0,38	0,15
Tapajós/Jusante Rato	6,42	3,2	27,3	20	98,0	44,0	144	150	0,52	0,20
Tapajós/Jatobá	6,34	4,5	27,5	14,1	66,2	29,8	137	80	0,20	0,31
Tapajós/Mont. Jamanxim	6,3	4,9	27,9	13,7	46,2	15,0	110	50	0,16	0,52
Jamanxim - Foz	6,4	5	26,8	16	45,3	14,2	144	70	0,30	0,52
Tapajós/Jus. Jamanxim	6,65	4,5	26,6	16	47,0	14,4	173	60	0,25	0,49
Tapajós/Bubure	6,74	4,9	27,1	16	46,6	14,7	98	60	0,30	0,55
Tapajós/ Montante Itaituba	6,52	5,3	28,3	14,1	39,9	11,2	70	40	0,19	0,65
Tapajós/Fordlândia	6,4	5,1	28,2	15,6	30,3	9,2	61	40	0,21	0,83
Tapajós/Montante Cupari	6,8	4,9	28,2	15,7	34,8	7,4	31	40	0,19	0,71
Cupari - Foz	6,7	4,6	26,5	31,1	31,4	13,8	60	60	0,43	0,63
Tapajós/Jusante Cupari	6,67	4,7	27,3	24,6	33,2	9,2	32	50	0,31	0,78
Tapajós/Belterra	6,5	5,4	29,8	15,2	27,7	6,2	18	30	0,17	0,80
Tapajós/Alter do Chão	6,24	5,5	29	15,6	26,9	4,0	81	30	0,08	1,03
Tapajós/Santarém	6,23	6,1	30,9	14,7	23,9	3,0	67	20	0,03	1,24
Arapuins - Foz ^{††}	5,23	6	29,6	7,5	9,66	0,8	120	0,0	0,00	2,81
Valor de Referência Padrão Res. CONAMA - 357/2005 (Água Doce Classe II)	6,0 a 9,0	≥ 5,0	NFR	NFR	≤ 100	NFR	≤ 500	≤ 75	≤ 0,3	NFR

†: controle montante, ††: rio controle jusante.

Tabela 2 - Hg total em sedimentos no canal principal do rio Tapajós e na foz de seus afluentes.

Ponto de coleta	Hg Total (mg/Kg) (peso seco)	VALOR DE REFERÊNCIA Resolução CONAMA 454/2012
		Nível 1 0,17
		Nível 2 0,496
Tapajós Apuí Margem Direita	0,030	
Tapajós/Montante Cadariiri	0,058	
Cadariiri - Foz [†]	0,017	
Tapajós/Jusante Cadariiri	0,046	
Tapajós/Jacareacanga	0,039	
Mutum - Foz	0,074	
Tapajós/Montante Tropas	0,037	
Tropas - Foz	0,035	
Tapajós/Jusante Tropas	0,043	
Tapajós/Montante Pacu	0,044	
Pacu - Foz	0,038	
Tapajós/Jusante Pacu	0,086	
Tapajós/Montante Crepori	0,057	
Crepori - Foz	0,170	1
Tapajós/Jusante Crepori	0,052	
Bom Jardim - Foz	0,087	
Tapajós/Montante Rato	0,214	1
Rato - Foz	0,185	1
Tapajós/Jusante Rato	0,150	
Tapajós/Jatobá	0,041	
Tapajós/Mont. Jamanxim	0,082	
Jamanxim - Foz	0,192	1
Tapajós/Jus. Jamanxim	0,115	
Tapajós/Bubure	0,061	
Tapajós/ Montante Itaituba	0,039	
Tapajós/Fordlândia	0,093	
Tapajós/Montante Cupari	0,033	
Cupari - Foz	0,060	
Tapajós/Jusante Cupari	0,081	
Tapajós/Belterra	0,037	
Tapajós/Alter do Chão	0,190	1
Tapajós/Santarém	0,080	
Arapuins - Foz ^{††}	0,050	

As concentrações de Hg total em sedimentos ao longo dos 700 km do rio Tapajós apresentaram grande variação, com média de 0,079 mg·kg⁻¹, mínima de 0,017 mg·kg⁻¹ (foz do rio Cadariiri – controle) e máxima de 0,214 mg·kg⁻¹ (Tapajós/Montante Rato). A ANOVA não indicou diferenças significativas entre as cinco regiões categorizadas ($F_{4,28} = 1,262$; $p = 0,308$), embora os afluentes impactados tenham exibido médias mais elevadas e os controles, as mais baixas (Figuras 2 e 3).

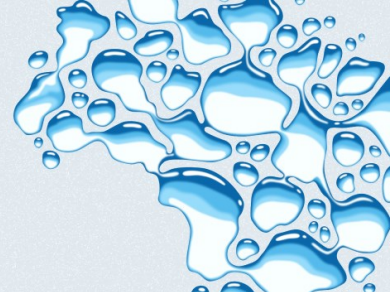


Figura 2 - Valores dos parâmetros de qualidade da água por ponto do canal principal do rio Tapajós e na foz de seus afluentes

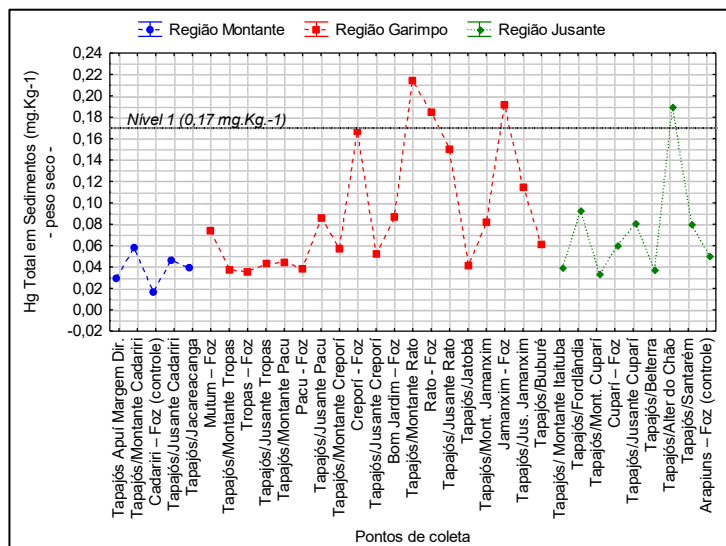
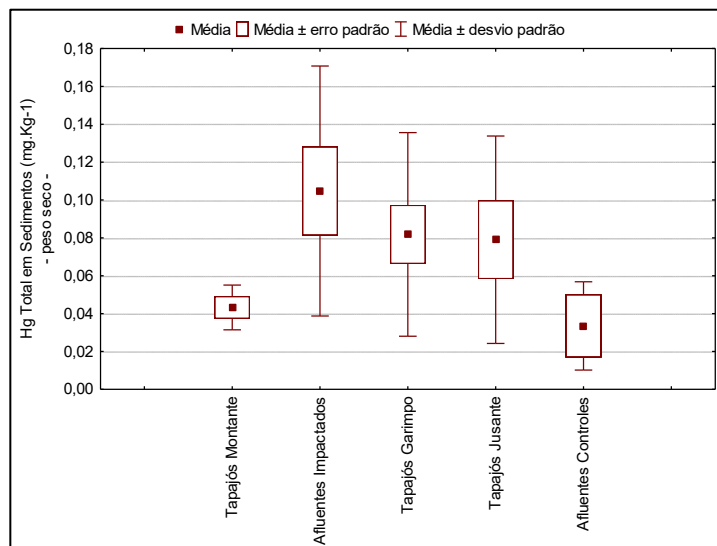


Figura 3 - Hg total em sedimentos no canal principal do rio Tapajós e na foz de seus afluentes.



A análise de correlação de Pearson revelou associação positiva do Hg nos sedimentos com sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais, turbidez e cor verdadeira, e negativa com transparência Secchi, sendo mais fortes com cor verdadeira ($r = 0,54$; $p < 0,05$) e sólidos dissolvidos ($r = 0,47$; $p < 0,05$). Esses resultados sugerem que águas mais turvas e coloridas estão relacionadas a maiores concentrações de Hg nos sedimentos do rio Tapajós e tributários.

CONCLUSÃO

Os resultados preliminares demonstram a influência direta da atividade garimpeira sobre a qualidade da água e dos sedimentos do rio Tapajós. As desconformidades em parâmetros básicos e as concentrações de Hg acima do limite legal evidenciam riscos à biota e às populações humanas. As correlações observadas confirmam a relação entre degradação físico-química da água e contaminação por Hg, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo e de gestão ambiental em conformidade com as resoluções do CONAMA.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) através do Convênio CAPES/UNESP N°. 951420/2023. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

REFERÊNCIAS

- Almeida, R., et al. (2021). Amazon gold mining drives malaria transmission. PNAS, 118(6): e2020101118.
Lino, A. S., et al. (2019). Mercury contamination in fish from Amazonian rivers: regional and global implications. Environmental Research, 173, 68–78.
Pfeiffer, W. C., et al. (1991). Mercury contamination in the Madeira River, Amazon – Brazil. Ambio, 20(2), 91–93.
Roulet, M., et al. (2001). Spatio-temporal variations of mercury in freshwater fish of the Tapajós and Madeira Rivers, Amazon Basin, Brazil. Environmental Research, 86(2), 114–126.
Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução n° 357, de 17 de março de 2005.
Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução n° 454, de 01 de novembro de 2012.
APHA (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd ed. American Public Health Association, Washington, DC.