

CETEM

**Centro de Tecnologia Mineral
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação**

**Atividades de mineração e avaliação de metais em água
superficial, sedimento de fundo e peixes no rio tapajós**

Hilciana S. P. Oliveira
Silvia C. A. França
Edson J. P. Rocha

Rio de Janeiro
Novembro/2015

CCL0001-00-15 – Capítulo publicado no livro “Amazônia em tempo: estudos climáticos e socioambientais”

Atividades de mineração e avaliação de metais em água superficial, sedimento de fundo e peixes no rio Tapajós

Hilciana do Socorro Pereira Oliveira,
Silvia Cristina Alves França & Edson José Paulino da Rocha

RESUMO

Este estudo objetivou avaliar o nível de metais pesados, principalmente de mercúrio, na água, no sedimento de fundo e em peixes do rio Tapajós, a fim de verificar os possíveis impactos causados pelas atividades de extração artesanal de ouro no ambiente deste rio. Para caracterizar o ambiente foram analisados os parâmetros físico-químicos das amostras de água, como temperatura, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido. Os metais Fe, Mg, Ca, Cd, Pb, Cu, Cr, Zn, Al foram analisados por meio do método analítico ICP-OES (Espectrofotometria de emissão ótica com plasma induzido). O HgT (mercúrio total) foi determinado por espectrofotometria de absorção atômica em vapor frio. Nas análises de mercúrio total em sedimentos e peixes utilizou-se a mesma técnica aplicada nas amostras de água; e para a quantificação de metilmercúrio (MeHg) seguiu-se o protocolo analítico do Instituto Nacional de Minamata, Japão. Para as concentrações de metais em água, apenas o Cd, Al e Zn apresentaram concentrações acima dos valores estabelecidos pelo CONAMA 357/2005. Os resultados de mercúrio total nessas amostras foram menores do que o limite de detecção do método empregado ($0,0005 \mu\text{g.L}^{-1}$) e esse resultado foi corroborado por outros trabalhos da literatura. Nos sedimentos, fonte de maior acúmulo de metais devido às interações entre os íons metálicos e o material particulado, as concentrações ficaram abaixo dos limites preconizados pela legislação, com exceção do Fe, que apresentou valores de $29.000 \mu\text{g.g}^{-1}$, considerado pela USEPA-US (*Environmental Protection Agency*) como muito poluído, embora o CONAMA 357/2005 não estabeleça limites. Ainda nos sedimentos, os valores de HgT variaram de $0,024$ a $0,037 \mu\text{g.g}^{-1}$, enquanto para MeHg foram encontrados valores entre $0,016$ e $0,025 \mu\text{g.g}^{-1}$. As concentrações de mercúrio nos peixes foram mais significativas em peixes carnívoros que em peixes de hábitos onívoros. As concentrações mais elevadas foram encontradas nos tucunarés, com teores de HgT entre $0,600$ e $0,950 \mu\text{g.g}^{-1}$ e MeHg na faixa de $0,510$ a $0,600 \mu\text{g.g}^{-1}$. Nas outras espécies de peixes, as concentrações foram menores, especialmente nas espécies de hábitos onívoros, com metilmercúrio apresentando valores nas faixas de $0,025$ a $0,060 \mu\text{g.g}^{-1}$ para o piau e de $0,007$ a $0,033 \mu\text{g.g}^{-1}$ para o jaraqui. Embora não tenha sido evidenciada contaminação nas amostras bióticas e abióticas estudadas, enfatiza-se que os peixes onívoros, por apresentarem menores concentrações de mercúrio, são mais indicados para a dieta da população ribeirinha, o que poderá reduzir os riscos de contaminação por mercúrio via alimentação humana.

Introdução

A poluição das águas quase sempre é resultado do descarte inadequado de resíduos gerados pela atividade humana cujos poluentes são transportados para os rios, contaminando esses ambientes e afetando os organismos aquáticos. Dentre as atividades potencialmente poluidoras dos recursos hídricos destacam-se as relacionadas à agropecuária e à mineração.

As atividades de mineração, sejam industriais ou artesanais (garimpos), são de suma importância para o desenvolvimento econômico do país, visto que os minérios extraídos da natureza, na sua forma natural ou beneficiados, são utilizados como matéria-prima em diversos setores industriais, gerando bens de consumo para a sociedade (Villas-Bôas, 2011). É, sem dúvida, uma atividade geradora de recursos financeiros para a região explorada, por meio da geração de emprego e renda e da arrecadação de impostos referentes à exploração mineral.

No entanto, os processos de exploração e beneficiamento mineral implicam em alterações no meio ambiente, muitas vezes na qualidade das águas do entorno dos empreendimentos minerários. Tais alterações devem ser monitoradas, com o intuito de minimizar os impactos sociais e ambientais causados pela exploração desses recursos, especialmente aqueles que afetam mais incisivamente os recursos hídricos, considerados essenciais à sobrevivência e à qualidade de vida das populações.

Recursos minerais

O estado do Pará, assim como a maioria dos estados amazônicos, tem vocação tipicamente extrativista, sendo o segundo maior produtor nacional de bens minerais, com destaque para a exploração de minério de ferro, caulim, bauxita, cobre e ouro, dentre outros. Na Figura 1 têm-se informações sobre arrecadação da CFEM – compensação financeira sobre atividade de exploração mineral. A CFEM arrecadada no primeiro semestre de 2014 foi de R\$ 912,6 milhões (DNPM, 2014) e o estado do Pará (municípios de Parauapebas e Canaã dos Carajás) arrecadou mais de 25% deste total, que deverá ser aplicado pelos governos municipal, estadual e federal na realização de melhorias e atenuação dos impactos decorrentes das atividades de mineração.

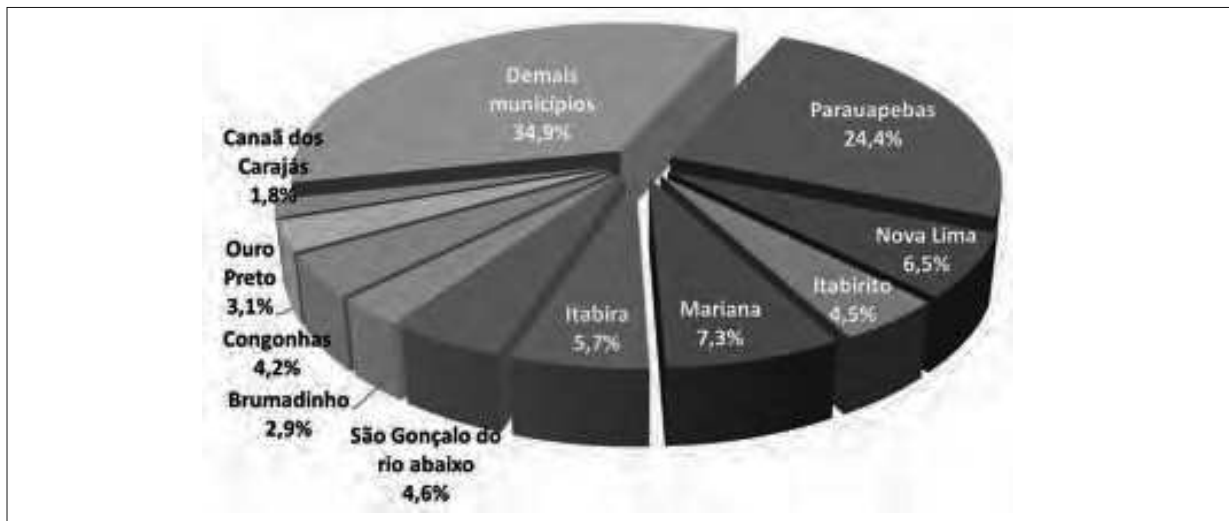


Figura 1. Arrecadação da CFEM por municípios mineradores (DNPM/DIP, 2014).

A atividade garimpeira de ouro na região amazônica ainda é muito forte, com produção oficial de 11,6 t em 2013, que representa cerca de 15% da produção nacional. Na produção proveniente de garimpos destacam-se os estados de Mato Grosso (47,1%) e Pará (40,19%) (DNPM, 2014). Somente no primeiro semestre de 2014, 46,3% dos pedidos de permissão de lavra garimpeira em todo o território nacional foram relacionados ao ouro (Figura 2), segundo os dados do DNPM (2014). Na região amazônica, os municípios mais importantes no desenvolvimento dessa atividade são os que abrangem a região do Tapajós (Pará) e Alta Floresta (Mato Grosso).

O impacto da mineração informal (garimpos), seja de ouro ou de outros bens minerais, é o desmonte de encostas e degradação do solo (Lima, 2013). No caso dos garimpos de ouro, a situação é agravada pelo uso indiscriminado do mercúrio para a captura das partículas de ouro fino, formando a "esponja" e, posteriormente, a sua queima, que possibilita a separação do ouro e provoca a liberação do mercúrio na forma de gases e líquido, resultando em uma contaminação ambiental significativa, além dos casos de intoxicação humana.

Histórico dos garimpos de ouro na Amazônia

A garimpagem de ouro na Amazônia brasileira remonta ao século XVIII, no mesmo período da descoberta de ouro e diamante em Minas Gerais, configurando-se como um marco histórico no processo de colonização

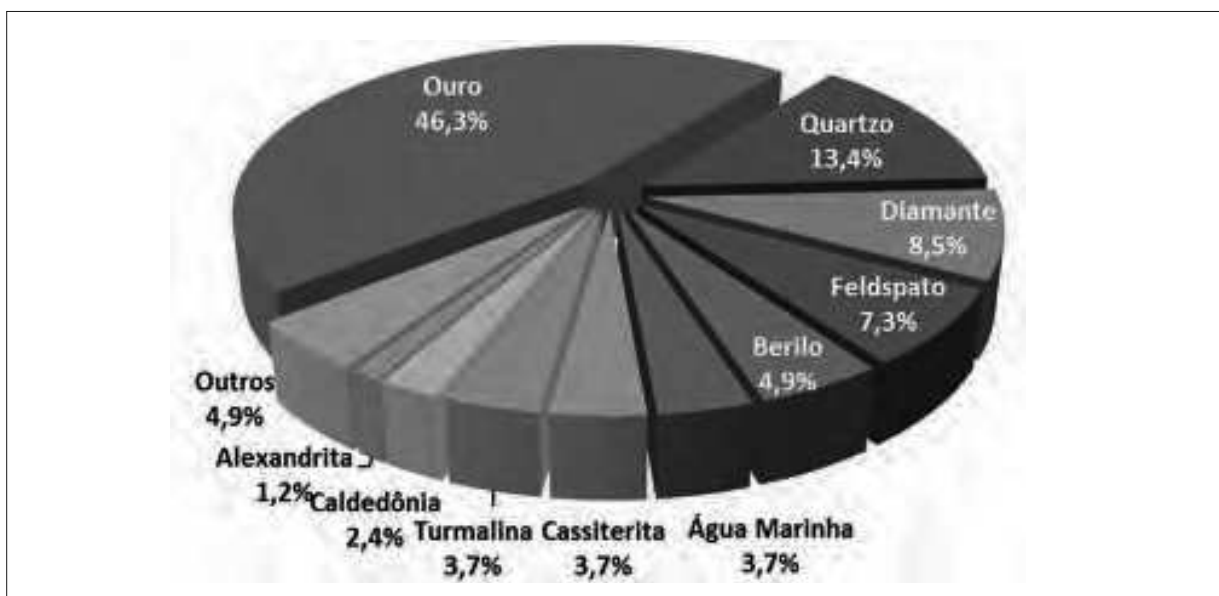


Figura 2. Distribuição dos pedidos de permissão de lavra garimpeira (PLG) por substância mineral (DNPM/DIP, 2014).

do Brasil, que era baseado na produção açucareira da Região Nordeste. Com a descoberta do ouro, a Coroa Portuguesa introduziu um regulamento nas minas, com o objetivo de garantir a parte que devia caber à Coroa. A partir deste momento, os homens livres e sem qualquer tipo de posse, conduzidos pelo instinto natural de sobrevivência, passaram a ocupar lugares ermos do território, e escondidos nas grimpas das serras, praticavam as suas atividades de lavra longe das autoridades. Desse modo, os "grimpeiros", como eram conhecidos, deram origem ao termo "garimpeiro", assim, a própria etimologia da palavra significava ilegalidade, repressão da força de trabalho e marginalidade.

Observa-se que, desde o início, o garimpo era visto como uma atividade rudimentar, autônoma e com grande inserção de mão de obra, cujas condições adversas de vida e trabalho conduziram ao desenvolvimento de características culturais próprias (Bitencourt & Amodeo, 2008).

A atividade extrativa do ouro na região amazônica data dos anos de 1940; e na região do Tapajós foi evidenciada a partir de 1958, com a decadência dos seringais. Uma expedição com 60 homens vindos do Amazonas, chefiada pelo Sr. Nilçon Pinheiro, chegou próximo à foz do rio Tapajós, onde se deu a primeira ocorrência de ouro. No início da década de 1960 foram descobertos outros depósitos de ouro, sobretudo ao longo da drenagem de grande porte em importantes rios como o Tapajós, Crepori, Jamaxim e outros (Rodrigues et al., 1994).

Foi na década de 1970 que essa atividade se intensificou na Amazônia, com o Plano de Integração Nacional (PIN). Nesse período, teve início a construção de importantes rodovias, como a Transamazônica e a Cuiabá-Santarém, possibilitando o acesso ao interior da Amazônia. Empresas de mineração foram então atraídas pela possibilidade de exploração de grandes depósitos de ouro aluvionar existentes na região e, em decorrência disso, deu-se também a migração de um grande contingente populacional, vindo principalmente do Nordeste, também atraído pela possibilidade de melhores condições de vida (Rodrigues et al., 1994; Fernandes et al., 2011).

No final da década de 1970, a elevação no preço do ouro no mercado internacional resultou na chamada "corrida do ouro" em várias regiões do mundo, inclusive no Brasil. Na ocasião, a região do Tapajós, rica em depósitos do metal precioso, foi ocupada por um grande contingente de homens em busca de riquezas. Na década de 1980, a bacia do Tapajós foi responsável por aproximadamente 50% da produção de ouro no Brasil. De acordo com o DNPM (1999), foram produzidas 98,2 t de ouro em 1990 e 49 t em 1998. No processo de extração do ouro foi utilizada a amalgamação com o mercúrio metálico como processo de extração e concentração do metal. Muitos autores afirmam que durante a corrida do ouro, nos anos 1980 e 1990, cerca de 2000 t de mercúrio foram lançadas no ambiente amazônico, principalmente nos rios Madeira, Tapajós, Negro e Cassiporé (Lacerda & Salomons, 1992; Malm, 1998; Lima, 2013).

O ciclo biogeoquímico do mercúrio proposto por Souza & Barbosa (2000) é apresentado na Figura 3.

Na região do Tapajós, as atividades de mineração mais relevantes são a exploração de bauxita, em Ouriximiná, às margens do rio Trombetas, e a exploração artesanal (garimpos) de ouro. O estado do Pará se destaca pelas suas riquezas naturais e por abrigar um importante patrimônio natural, sobretudo as suas reservas minerais e hídricas, bem como a sua biodiversidade. A área territorial do Pará possui uma rede de drenagem com elevado potencial energético. Contudo, o estado atravessa um processo de exploração e alteração de suas bacias hidrográficas, pois a cada ano o problema de degradação das águas na região amazônica se agrava ainda mais, resultando, conseqüentemente, em perdas na reserva de água, nos ecossistemas aquáticos, aumento no custo de tratamento da água para usos pela população e setores industriais, dentre outros (Barp, 2004).

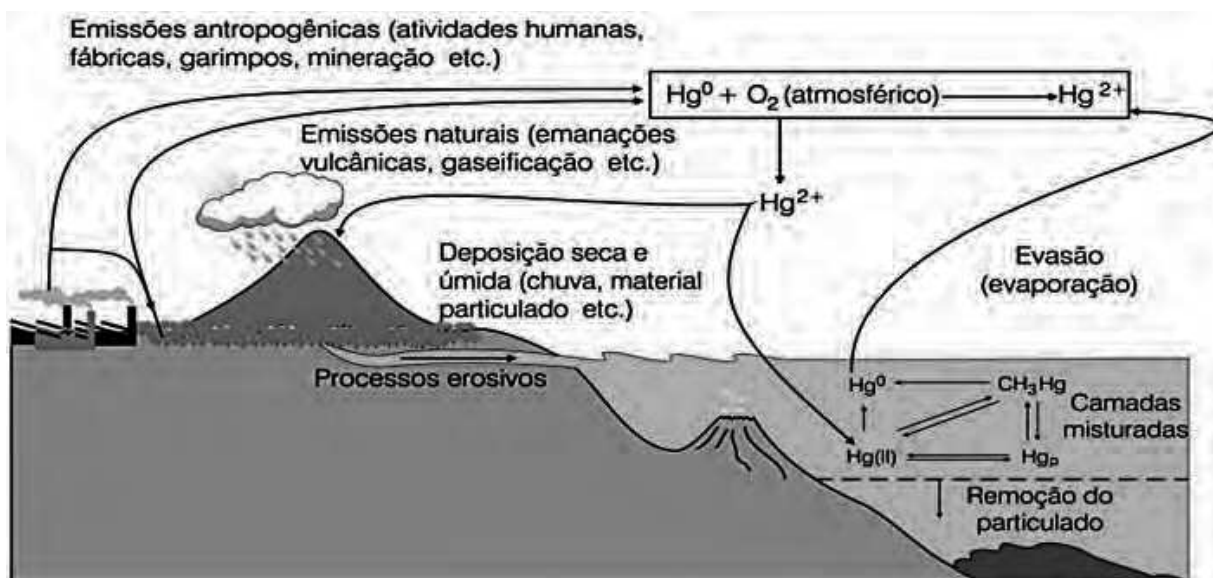


Figura 3. Ciclo global do Mercúrio (Sousa & Barbosa, 2000).

Processamento de ouro aluvionar

O ouro de aluvião é encontrado nos barrancos das margens ou nos leitos dos rios, e recebe essa denominação porque se encontra misturado a outros minerais como argila e areia, acumulados pela erosão. A exploração do ouro aluvionar normalmente carece de prospecção mineral, e o processo de lavra se dá por meio da remoção do solo superficial para exposição das camadas mineralizadas, as quais são desmontadas com o uso de jateamento de água pressurizada. O material desmontado, contendo o minério, cascalho e água forma uma polpa, que é bombeada para as caixas concentradoras (*sluices*, lantona ou cobra fumando). Nas caixas concentradoras é feita a remoção do cascalho e material argiloso e, conseqüentemente, a concentração dos minerais pesados, como o ouro, que posteriormente será recuperado por amalgamação.

A amalgamação é o processo utilizado na recuperação de metais preciosos como ouro e prata, contidos em concentrados minerais, têm aderência preferencial ao mercúrio, quando em contato com ar, água e outros minerais. Nos minérios aluvionares, nos quais o ouro se encontra livre e com granulometria na faixa de 74 μm , a amalgamação é um processo eficiente para a aglutinação do ouro liberado (Braga & Araújo, 2007). A amalgamação pode ocorrer na caixa concentradora, em bateias ou, mais seguramente, em tambores amalgamadores. É a partir daí a origem do mercúrio nos rejeitos de processamento.

O amálgama Au/Hg é um composto intermetálico de ouro e mercúrio, e que, por meio do processo de pirólise (queima), separa o ouro do mercúrio. A queima do amálgama ao ar livre, feita de forma indiscriminada nos garimpos, libera grande quantidade de mercúrio para a atmosfera.

A Figura 4 ilustra o processo artesanal de lavra e concentração de um minério aurífero aluvionar (Farid et al., 1992).

O processamento de ouro em garimpos, sem orientação técnica adequada, gera diversos problemas ambientais, como o assoreamento do leito e drenagem de rios, devido ao processo de desmonte dos barrancos; a contaminação mercurial, devido à dispersão do mercúrio durante o processamento e queima inadequada do amálgama, realizada sob condições precárias, além da disposição aleatória dos rejeitos contaminados por mercúrio, o que permite a migração do metal para outras matrizes como água, sedimentos e a biota aquática (Lacerda & Salomons, 1992; Farid et al., 1992; Braga & Araujo, 2007).

A concentração de mercúrio nos rios da bacia amazônica é um assunto que tem despertado bastante interesse em vários pesquisadores nos últimos anos, em razão da intensa atividade garimpeira de ouro ocorrida durante as décadas de 1970 e 1980 na região.

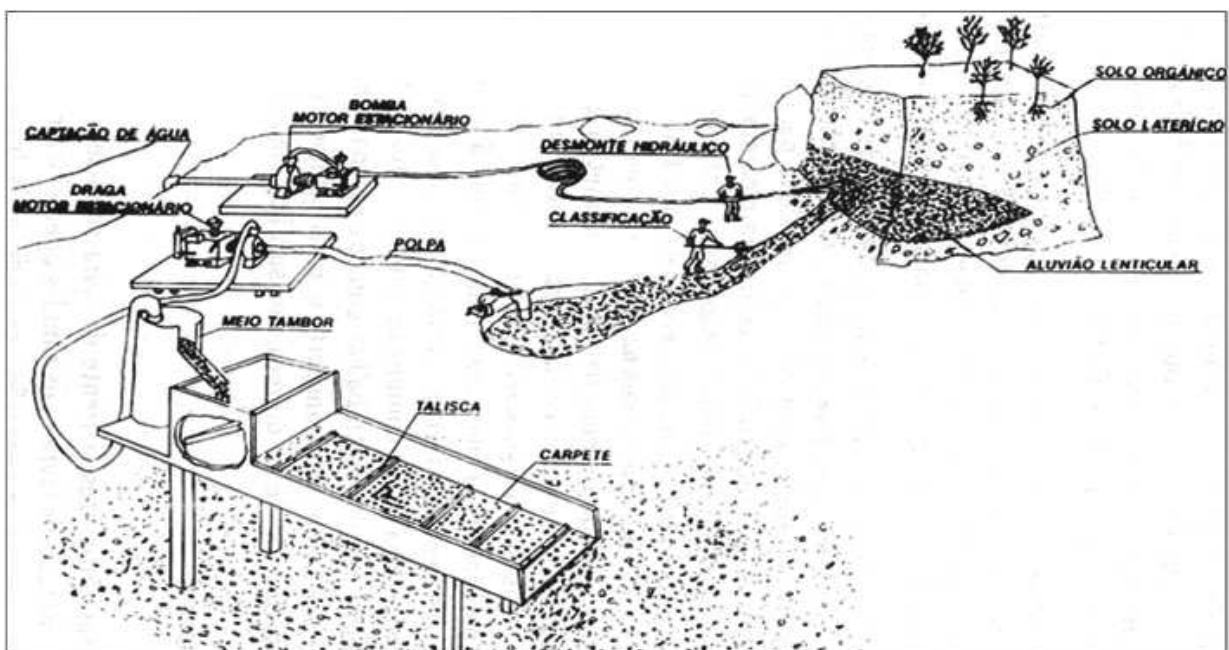


Figura 4. Diagrama esquemático do processo de extração e beneficiamento artesanal de ouro (Farid et al., 1992).

O mercúrio é considerado um metal altamente tóxico, sendo encontrado frequentemente em solos e rios da Amazônia, na grande maioria dos casos, devido à sua utilização durante a extração do ouro nos garimpos, sem qualquer tipo de controle. Alguns autores como Wasserman, Hacon & Wasserman (2001) e Martins et al., (2004) afirmam que os solos da região amazônica apresentam elevada concentração natural de mercúrio. Em vista disso, o maior interesse de se estudar as concentrações de mercúrio nos ambientes amazônicos, principalmente o metilmercúrio, deve-se à sua capacidade de bioacumular-se por meio de absorção em corpos d'água na ingestão de alimentos, como os peixes, e sua incorporação no meio ambiente por meio da ação antrópica.

Diversos estudos têm sido realizados com o intuito de entender e correlacionar a presença de metais na água, sedimentos e peixes amazônicos com as atividades de mineração em áreas próximas aos leitos dos rios. Entre os trabalhos recentes, Lima (2013) estudou a região garimpeira de ouro do Lourenço, no Amapá, às margens do rio Cassiporé. A atividade é responsável por impactos ambientais na bacia desse rio, especialmente pela geração e descarte de rejeitos da exploração do ouro, que contém metais pesados, principalmente o mercúrio. Diversos metais como Cd, Cr, Cu, Pb, Zn e Hg foram analisados em água e peixes e os resultados mostraram que os metais Cr e Hg apresentaram concentrações acima do valor máximo permitido pela legislação ambiental e de saúde, tanto em peixes quanto na água do rio. Este resultado representa um nível elevado de contaminação da biota aquática, o que, conseqüentemente, traz riscos para as populações ribeirinhas, devido ao consumo alimentar de água e peixes na bacia do rio Cassiporé.

A questão da mineração artesanal de ouro é abordada também em outros países que compõem a região amazônica, como a Colômbia (Pinedo-Hernández et al., 2015). Os autores estudaram a especiação e biodisponibilidade de mercúrio em sedimentos impactados pela mesma atividade e descrevem, com propriedade, como os sedimentos podem funcionar como fonte ou sumidouro de mercúrio e outros metais nos sistemas aquáticos, por serem o principal local da produção do mercúrio orgânico. Para muitos estudiosos, a determinação das concentrações de metais e sua distribuição nos sedimentos devem ser efetivamente consideradas, uma vez que funcionam como um bom indicador histórico da ação antrópica em uma determinada área.

Partindo da avaliação desse cenário, este trabalho tem o objetivo de investigar os riscos dos impactos relacionados à contaminação química dos recursos hídricos, resultante da atividade de mineração na região do oeste do estado do Pará, fazendo uma comparação com outros trabalhos referentes às atividades de mineração artesanal do ouro (garimpo) realizadas nessa região. O estudo visa a caracterização de matrizes de água superficial, sedimento de fundo e peixes, em termos de análises químicas e físico-químicas de metais (incluindo o mercúrio), visando a contribuir como fonte de informação e embasamento para outros estudos mais aprofundados e tomada de decisões sobre os impactos de atividades garimpeiras, que causam grandes impactos, positivos e negativos, tanto para a economia quanto para o meio ambiente na região amazônica.

Metodologia

A área de estudo está localizada no município de Itaituba, no oeste do estado do Pará (Figura 5), próximo à sede municipal, às margens do rio Tapajós (latitude $-4^{\circ}16'32.02''S$ e longitude $-55^{\circ}58'55.9''W$). O município possui uma área de 62.040,705 km² e uma população de 98.363 habitantes, sendo a densidade demográfica de 1,57 hab/km² (IBGE, 2013).

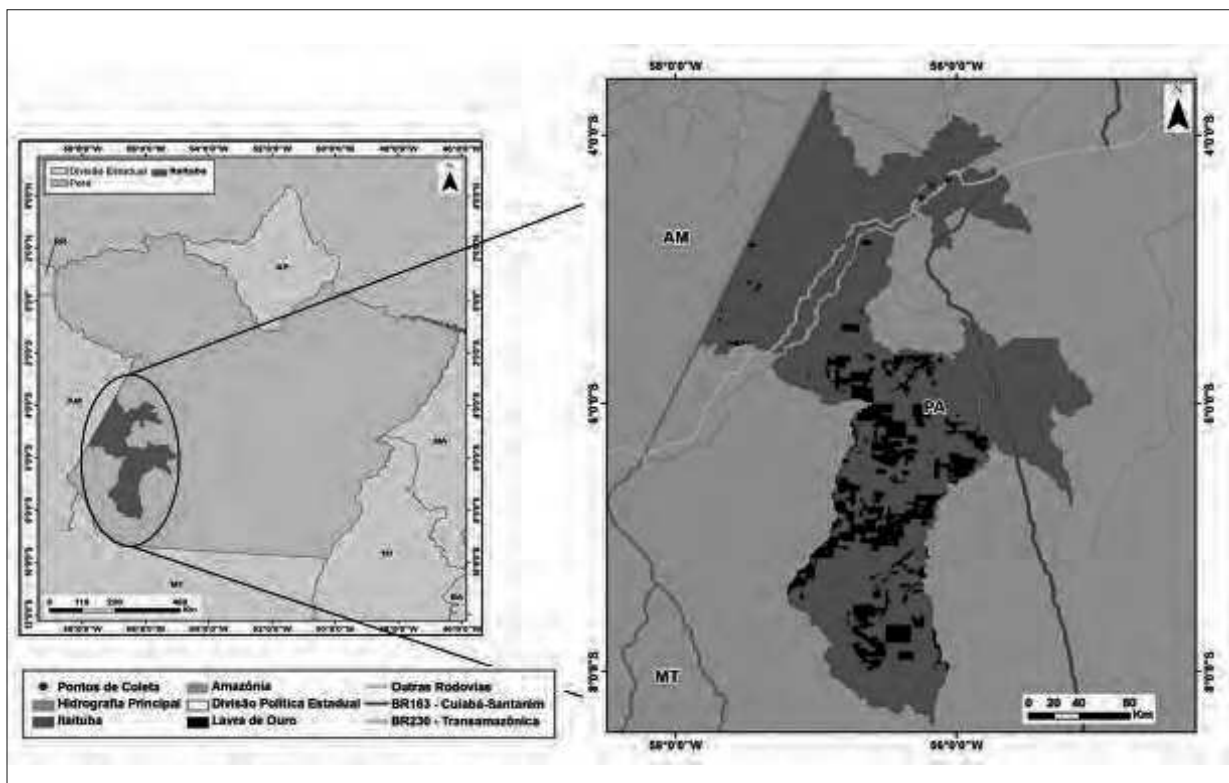


Figura 5. Mapa de localização da área de estudo e pontos de amostragem.

O clima é classificado como de temperatura mínima superior a 18°C e umidade relativa acima de 80% em quase todos os meses do ano. A estação menos chuvosa situa-se entre os meses de julho a novembro, com temperatura média de 28°C (Pontes et al., 2013).

Foram selecionados três pontos (Figura 5) ao longo do rio Tapajós, em Itaituba, cujas coordenadas geográficas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Localização dos pontos de amostragem no rio Tapajós (Itaituba-PA).

Pontos de amostragem	Longitude (W)	Latitude (S)
A1	056°14'55"	04°26'55"
A2	056°04'44"	04°20'40"
A3	056°04'16"	04°19'43"

Fonte: Base de dados IBGE (2013), MMA, ANA, CENTRAN, Expedição a campo. Elaboração: Ricardo Silva.

Foram coletadas amostras de água superficial, sedimento de fundo e peixes, para avaliação química, especialmente em termos de metais pesados. As amostras de água superficial e sedimento de fundo foram coletadas nos pontos de amostragem apresentados na Figura 5; os peixes foram coletados no mercado municipal de Itaituba. A campanha de amostragem foi realizada no mês de outubro de 2013, no final do período seco da região.

Água - as amostras de água foram coletadas na superfície, em frascos de polietileno, preservadas em meio ácido com solução de HNO₃ (5%) e mantidas sob refrigeração (gelo), para posterior envio aos laboratórios de análises químicas, para determinações das concentrações de metais. Os metais Fe, Mg, Cd, Pb, Cu, Cr, Ca, Zn, e Al foram determinados por meio de espectrofotometria de emissão ótica com plasma induzido (ICP-OES). O mercúrio total (HgT) foi analisado por espectrofotometria de absorção atômica em vapor frio, utilizando o equipamento LUMEX RA – 915+, associado a um reator de pirólise, cujo método possui limite de detecção (LD) de 0,5 ng.L⁻¹. As análises foram realizadas, respectivamente, no Laboratório de Química Analítica (LQA) e no Laboratório de Espectroscopia de Mercúrio Ambiental (LEMA), ambos do CETEM.

Alguns parâmetros físico-químicos das amostras de água foram medidos no campo: pH, temperatura, oxigênio dissolvido (OD) e condutividade elétrica

foram determinados por meio de equipamentos portáteis, a saber: pH e temperatura – Thermo Electron Corp/Orion 290 A+; oxigênio dissolvido – YSI/55 *Dissolved Oxygen*; condutividade elétrica – Orion modelo 115.

Sedimento de fundo - as amostras de sedimento foram coletadas nos mesmos três pontos das coletas de água, utilizando-se uma draga de Eckman; com a ajuda de uma basqueta e uma pá de material plástico, as amostras foram removidas e acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificadas e mantidas sob refrigeração (isopor com gelo) para envio aos laboratórios de análise, para determinação de metais como: Fe, Cd, Pb, Cu, Cr, Zn, Hg além de MeHg.

No laboratório, as amostras foram secas e maceradas em gral e pistilo de porcelana e classificadas em peneira de malha 0,074 mm, para procedimentos de abertura ácida ou procedimento específico para análise de mercúrio. A determinação dos metais foi realizada através do método analítico ICP-OES (Espectrofotometria de emissão ótica com plasma induzido); Hg foi quantificado por espectrofotometria de absorção atômica em vapor frio, utilizando o equipamento LUMEX RA – 915⁺, associado a um reator de pirólise, cujo método possui limite de detecção (LD) de 0,0005 $\mu\text{g.g}^{-1}$ e para o MeHg o método utilizado pelo LEMA/CETEM segue o protocolo analítico do Instituto Nacional de Minamata, Japão, cujo limite de detecção é de 0,002 $\mu\text{g.g}^{-1}$.

Peixes - a coleta dos peixes foi realizada nos principais pontos de vendas de peixes do município de Itaituba. Com base nas informações dos comerciantes de peixes, foram escolhidas as quatro espécies mais consumidas em Itaituba e de cada espécie coletados 10 espécimes, de tamanhos variados. Os indivíduos coletados foram pesados, medidos (comprimento total) e manuseados para retirada de amostras dos músculos (Figura 6).

As amostras de músculos foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificadas e congeladas, para posterior envio ao LEMA/CETEM para quantificação do Mercúrio Total (HgT) e Metilmercúrio (MeHg).

Para a determinação do HgT utilizou-se a mesma técnica de espectrofotometria de absorção atômica com o equipamento LUMEX RA – 915⁺, como nas análises de água. Na determinação de MeHg o método utilizado pelo LEMA/CETEM segue o protocolo analítico do Instituto Nacional de Minamata, Japão, cujo limite de detecção é de 0,002 $\mu\text{g.g}^{-1}$.

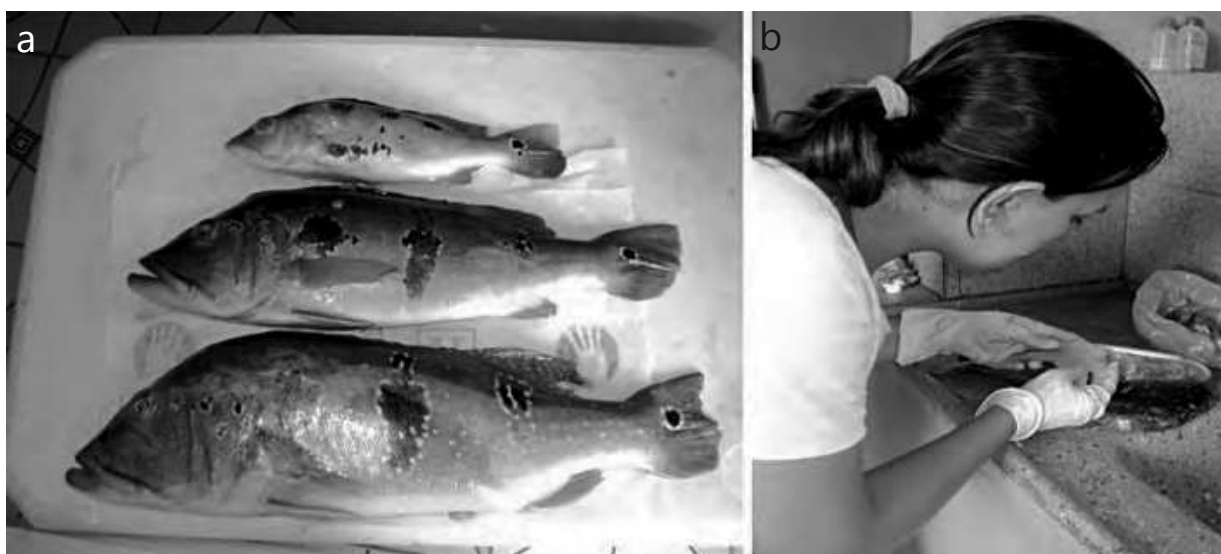


Figura 6. Exemplos de peixes coletados (a); manuseio para retirada de músculo (b).

Resultados e discussão

Os resultados serão apresentados para cada matriz, separadamente e comparados com trabalhos de outros autores na região amazônica.

Amostras de água - as concentrações dos metais nas amostras de água superficial são apresentadas na Tabela 2, na qual também são apresentados os valores de concentração máxima estabelecidos pelo CONAMA 357/2005, para efeito comparativo.

Os rios de águas claras, segundo a classificação de Sioli (1950), são, por definição, rios de águas transparentes, com pouca quantidade de material em suspensão e pH variável entre 4,5 e 7,0. Essa classificação engloba os rios Xingu, Trombetas e Tapajós, que têm origem em terrenos pré-cambrianos e drenam rochas cristalinas dos escudos das Guianas e do Brasil Central. Portanto, muitas características físicas e físico-químicas desses rios têm grande influência do substrato litológico e do regime de erosão local (Silva et al., 2011).

Com base na classificação de Stallard & Edmond (1983), citado por Silva et al. (2011), o rio Tapajós apresenta carga total de cátions (TZ+) entre 0 e 200 $\mu\text{eq.L}^{-1}$, característica de rios que drenam terrenos bastante intemperizados (sedimentos Terciários da bacia central, solos da bacia do rio Negro e regiões similares intemperizados). Estes rios geralmente apresentam águas com elevadas concentrações de Si, Fe, Al, H^+ e com marcante coloração. Os valores das propriedades físico-químicas apresentados na Tabela 2 estão de acordo com as referidas citações.

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos e concentrações dos metais (mg.L^{-1}) nas matrizes de água deste trabalho e valores de referência CONAMA 357/2005.

Parâmetros	Pontos de Amostragem			CONAMA
	A1	A2	A3	
pH	6,77	6,80	6,15	6,0 - 9,0
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	31,1	30,8	31,0	-
Condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	200	100	200	-
OD (mg.L^{-1})	7,31	7,28	7,48	e" 6,0
Elementos	Concentração (mg.L^{-1})			CONAMA
	A1	A2	A3	
Ca	0,810	0,890	0,870	-
Cd	<0,004	<0,004	<0,004	0,001
Cr	<0,002	<0,002	<0,002	0,050
Cu	<0,005	<0,005	0,010	0,009
Fe	0,150	0,070	0,130	0,300
Mg	0,550	0,590	0,580	-
Pb	<0,007	<0,007	<0,007	0,010
Al	0,600	0,300	0,440	0,100
Zn	0,010	0,004	0,004	0,180
Hg	nd	nd	nd	0,0002

nd - não detectado pelo método de espectrofotometria de absorção atômica em vapor frio.

Em termos de qualidade química das amostras de água, os resultados mostram que a maioria dos metais analisados está em conformidade com a resolução ambiental (CONAMA 357), porém Cd, Al e Zn encontram-se em concentrações acima dos valores permitidos.

O metal Cd apresentou concentração de $0,004 \text{ mg.L}^{-1}$, quatro vezes maior do que o limite permitido pela legislação ambiental. O cádmio é considerado um metal pesado, assim como o mercúrio, e além de ser tóxico, tem a tendência de se acumular no organismo, podendo causar diversos tipos de doenças.

Para o alumínio foram encontradas concentrações na faixa de $0,4 \text{ mg.L}^{-1}$, acima do nível máximo considerado pelo CONAMA que é de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$. Miranda et al. (2009) relatam que o Al geralmente apresenta-se ligado aos argilominerais em suspensão originados em processos de intemperismo de rochas, como o mineral caulinita, considerado o principal contribuinte de Al na região amazônica.

O zinco, com $0,270 \text{ mg.L}^{-1}$ também apresentou concentração superior à permitida, que é de $0,180 \text{ mg.L}^{-1}$. A presença de zinco na água resulta, na maioria das vezes, de processos erosivos. Quanto às fontes, está ligado a muitos argilo-minerais e pode ainda ser proveniente de fontes antropogênicas, como a agricultura (micronutriente em fertilizantes) e a mineração.

Miranda et al. (2009) avaliaram a qualidade da água do rio Tapajós, próximo à cidade de Santarém, e identificaram concentrações médias de Al e Fe de, respectivamente, $0,280$ e $0,565 \text{ mg.L}^{-1}$, superiores às definidas como máxima pelo CONAMA 357/05. Este fato deve-se, possivelmente, às características geoquímicas da região. Os demais metais analisados (Pb, Zn, Cd, Co, Cu, Ni e Cr) apresentaram concentrações abaixo da estabelecida pela portaria.

Concentrações elevadas de Cd, Al e Zn também foram encontradas por Castilhos et al. (2011) – Projeto AquaRios – em amostras de água coletadas no rio Tapajós (Itaituba), com valores médios de $0,240 \times 10^{-6} \text{ mg.L}^{-1}$ (Cd), $0,252 \times 10^{-6} \text{ mg.L}^{-1}$ (Al) e $10,9 \times 10^{-6} \text{ mg.L}^{-1}$ (Zn).

Lima (2013) avaliou a qualidade da água do rio Cassiporé, no Amapá, próximo à região garimpeira do Lourenço, e encontrou valores acima do permitido pela legislação ambiental para quase todos os metais analisados (Cd, Cr, Cu, Pb e Hg), tanto para a estação seca quanto para a chuvosa. Apenas Cu e Pb apresentaram concentrações estatisticamente diferentes entre as estações, sendo mais elevadas na estação das chuvas. Ainda como resultado desse trabalho, apenas o Zn não apresentou variação de concentração nas duas estações, com valor médio de $0,149 \text{ mg.L}^{-1}$, abaixo do valor máximo estabelecido, que é de $0,180 \text{ mg.L}^{-1}$.

Para o mercúrio, a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde estabelece um valor máximo para consumo humano, de $0,001 \text{ mg.L}^{-1}$. As amostras coletadas registraram valores menores que $0,5 \times 10^{-6} \text{ mg.L}^{-1}$ (limite de detecção do método utilizado), estando abaixo do valor preconizado pela portaria. Para Lacerda & Malm (2008), amostras de água podem apresentar baixas concentrações de Hg, porque este metal tende a sedimentar, quando associado ao material particulado em suspensão; já o mercúrio dissolvido apresenta maior biodisponibilidade, podendo ser mais facilmente incorporado pela biota aquática. Dessa forma, a sedimentação do material particulado pode explicar os níveis reduzidos de mercúrio encontrados neste trabalho.

Telmer et al. (2006) encontraram concentrações significativas de mercúrio, de até 28×10^{-6} mg.L⁻¹ em águas superficiais próximas à reserva garimpeira do Tapajós. Esses valores são considerados elevados, por tratar-se de águas diretamente afetadas pelas operações do garimpo. Os autores concluíram que as elevadas concentrações de Hg devem-se à grande quantidade de material suspenso na coluna d'água, provenientes da dragagem de sedimentos ou desmonte de barrancos durante as operações de lavra.

O mercúrio tem grande possibilidade de ser adsorvido em partículas sólidas, e estas permanecem em suspensão ou sedimentam lentamente, em zonas de baixas vazões (Lima, 2013). A mesma constatação foi feita por Nevado et al. (2010), ao estudarem as quantidades de mercúrio presentes na bacia do rio Tapajós, afirmaram que a maior parte do mercúrio encontrado na coluna d'água desse rio está associado às quantidades de material particulado fino, que representa de 40 a 80% da carga total de sedimento em suspensão.

Com relação ao metilmercúrio, poucos trabalhos na literatura relatam a sua quantificação em água, devido às baixas concentrações. Roulet et al. (2000) encontraram valores de concentração de MeHg próximos ou abaixo do limite de detecção ($0,02 \times 10^{-6}$ mg.L⁻¹) do método utilizado; e mencionam, ainda, que para esse tipo de matriz a concentração de MeHg não chega a ultrapassar 5% da concentração total de HgT. Todavia, em áreas de igapó e onde havia presença de macrófitas flutuantes foram determinadas quantidades significativas de metilmercúrio, na faixa de $(0,07-0,24) \times 10^{-6}$ mg.L⁻¹.

Bisinoti, Junior & Jardim (2007) encontraram valores de Hg na faixa de $(0,3-29,1) \times 10^{-6}$ mg.L⁻¹ e de MeHg entre $(0,01-1,63) \times 10^{-6}$ mg.L⁻¹, na bacia do rio Negro. Estes valores de mercúrio orgânico, segundo os autores, podem ser explicados pelo alto teor de matéria orgânica encontrado nestes locais e o meio ácido característico de rios de águas pretas, como o rio Negro. Diferentemente, os rios de águas claras, como o rio Tapajós, geralmente carregam pouco material em suspensão e apresentam pH na faixa levemente ácida, conforme observado neste trabalho (Tabela 2).

Finalmente, vale ressaltar que, mesmo em concentrações reduzidas em águas naturais, a presença do mercúrio é preocupante, por ser considerado um metal tóxico, ainda que em baixas concentrações, e por apresentar maior risco de bioacumulação na biota e nos seres humanos (Miranda et al., 2009).

Sedimento - na Tabela 3 estão apresentados os resultados das concentrações de metais e MeHg nas amostras de sedimento coletadas no rio Tapajós. Com base na diretriz norte-americana, desenvolvida pela Administração Federal de Qualidade de Água dos Estados Unidos, adotada pela Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (EPA) em 1973/1995, em termos de poluição ambiental, os sedimentos são classificados em não poluídos, moderadamente poluídos e muito poluídos (Tabela 3). Uma comparação entre os valores de concentrações de metais obtidas neste trabalho e os critérios da EPA indicam que as amostras de sedimento coletadas no rio Tapajós não apresentaram concentrações de metais que representem riscos ecológicos, conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3. Concentrações de metais nas amostras de sedimento e valores de referência para classificação de poluição em sedimentos (EPA, 1995) - (Valores em $\mu\text{g.g}^{-1}$).

Elemento	Deste trabalho			EPA (1995) - Controle		
	A1	A2	A3	NP (limite)	Mod. P.	MP (>)
Cd	<0,30	<0,30	<0,30	-	-	-
Cr	16,9	7,20	50,0	25	25 – 75	75
Cu	5,50	<2,00	14,0	25	25 – 50	50
Fe	6.800	5.000	29.000	17.000	17.000 - 25.000	25.000
Pb	10,0	5,50	13,0	40	40 – 60	60
Zn	15,5	10,2	39,1	90	90 – 200	200
Mg	438,0	272,0	2.600	-	-	-
Ca	108,0	<2,00	1.800	-	-	-
Al	27.000	14.000	73.000	-	-	-
Hg	0,0235	0,0099	0,0365	-	-	-
MeHg	0,0155	nd	0,0246	-	-	-
MeHg/Hg (%)	66,0	-	67,4	-	-	-

NP: não poluído; Mod. P.: moderadamente poluído; MP: muito poluído.

Para as amostras A1 e A2, as concentrações dos metais analisados apresentam-se abaixo da concentração crítica para considerar um sedimento como poluído. É interessante mencionar que esses pontos, especialmente o A1, são mais próximos da sede do município de Itaituba, onde há a contribuição de rejeitos das atividades urbanas. Para as amostras coletadas no ponto A3, mais distante da sede municipal e mais próxima de áreas de garimpo, nota-se que a maioria dos metais tem concentração mais elevada do que nos pontos A1 e A2. Destaque

especial é dado para o Cr e Fe, que caracterizam o sedimento como moderadamente e muito poluído, respectivamente.

Segundo Fonseca (2008), o acúmulo elevado de matéria orgânica nos sedimentos é um fator determinante nos processos geoquímicos no ambiente, da mesma forma que as alterações nas condições físico-químicas nesse ambiente favorecem a liberação de quantidades significativas de metais para serem assimilados pelos organismos aquáticos.

Para o mercúrio, as concentrações de HgT encontradas foram da ordem de $0,035 \mu\text{g.g}^{-1}$, próximos ao *background* referido para rios amazônicos não contaminados (Siqueira & Aprile, 2012) e similares a concentrações encontradas na Formação Barreiras, de $0,041 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Vilhena et al., 2003).

Silva (1997) relatou concentrações elevadas do metal em sedimentos do rio do Rato ($0,230 \mu\text{g.g}^{-1}$) e de seus afluentes ($1,60 \mu\text{g.g}^{-1}$), ambos pertencentes à bacia do rio Tapajós, para amostras coletadas em locais próximos às áreas de extração de ouro.

Mascarenhas et al. (2004) encontraram valores médios de concentração de mercúrio, de $0,058$ e $0,048 \mu\text{g.g}^{-1}$, respectivamente, em sedimentos do rio Acre e dos seus afluentes, em áreas distantes da influência de garimpo de ouro. Este rio possui características muito semelhantes às do rio Tapajós, por ser classificado também como rio de águas claras.

O metilmercúrio em sedimentos foi detectado em dois dos três pontos de amostragem avaliados neste trabalho. O maior valor encontrado foi de $0,0246 \mu\text{g.g}^{-1}$, muito abaixo dos valores médios encontrados por Bisinoti, Júnior & Jardim (2007) em sedimentos da bacia do rio Negro, que variaram de $0,190$ a $3,76 \mu\text{g.g}^{-1}$; e por Guimarães (2009), que relata concentrações na faixa de $0,840$ a $1,40 \mu\text{g.g}^{-1}$ no rio Madeira. Segundo o autor, estes valores estão dentro dos níveis atribuídos pela literatura para a região Amazônica. Um contraponto é apresentado por Nevado et al. (2010), que registraram valores muito baixos ($5 \times 10^{-7} \mu\text{g.g}^{-1}$) de metilmercúrio em sedimentos de lagos na bacia do rio Tapajós.

Segundo Lacerda & Pfeiffer (1992), as concentrações de mercúrio nos sedimentos de rios da Amazônia, longe de áreas de garimpo de ouro, variam naturalmente entre $0,020$ e $0,100 \mu\text{g.g}^{-1}$; já em rios contaminados por resíduos da atividade garimpeira foram registradas concentrações entre $0,500$ e $4,00 \mu\text{g.g}^{-1}$, podendo chegar até $19,80 \mu\text{g.g}^{-1}$.

Apesar dos resultados deste trabalho demonstrarem que as concentrações de mercúrio nos sedimentos amostrados no rio Tapajós encontram-se reduzidas, esses valores ainda são bastante representativos. Bastos & Lacerda (2004), ao estudarem os níveis de Hg na bacia do rio Madeira, ressaltaram que embora as atividades de mineração de ouro tenham sofrido uma redução significativa a partir dos anos 1990, as quantidades de mercúrio lançadas no ambiente amazônico nas décadas de 1970 e 1980 permanecem distribuídas em diferentes compartimentos bióticos e abióticos. Esse mercúrio é passível de incorporação biológica, podendo comprometer seriamente a biota aquática e a saúde da população amazônica.

Na Tabela 5 são apresentados valores de concentração de mercúrio total em sedimentos determinados por vários autores, em diferentes áreas da região amazônica. Nota-se uma grande variação nas concentrações do Hg total nos sedimentos, certamente dependente da localização do ponto de coleta em relação às atividades humanas, especialmente garimpos de ouro e do período climático da amostragem.

Tabela 5. Concentração de mercúrio em sedimentos de rios na região amazônica.

Localização	HgT ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Referência
Rio Madeira (RO)	0,030 - 0,350	Malm, 1998
Rio Madeira (RO)	0,030 - 0,120	Bastos et al., 2006
Rio Tapajós	0,00001 – 0,00014	Lacerda e Pfeifer, 1992
Rio Tapajós	0,0005 - 0,0021	Roulet et al., 1998
Rio Tapajós - Itaituba (PA)	0,034 - 0,104	Castilhos et al., 2011
Rio Negro	0,070 - 0,270	Bisinoti, Júnior & Jardim, 2007
Rio Teles Pires (MT)	0,0048 - 0,041	Castilhos et al., 2011
Região Mojana (Colômbia)	0,196-1,20	Pinedo-Hernández et al., 2015

Peixes - as informações sobre os espécimes coletados estão apresentadas na Tabela 6, com os respectivos valores médios de concentrações de mercúrio e metilmercúrio.

Para os peixes coletados, as concentrações de mercúrio apresentaram grandes variações entre as espécies de hábitos carnívoros e onívoros. As espécies carnívoras apresentaram concentrações de mercúrio total mais elevadas, acima de $0,500 \mu\text{g.g}^{-1}$, com cerca de 63% do mercúrio estando na forma metilada.

Tabela 6. Características das espécies de peixes coletadas em Itaituba/2013.

Nome popular	Nome científico	N	Peso Médio (g)	Comp. Médio (cm)	HgT ($\mu\text{g.g}^{-1}$) MD \pm DP	MeHg ($\mu\text{g.g}^{-1}$) MD \pm DP
Tucunaré (C)	<i>Cichla sp.</i>	10	1022,5	37,5	0,953 \pm 0,595	0,595 \pm 0,512
Pescada branca (C)	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	10	477	34,3	0,534 \pm 0,182	0,345 \pm 0,230
Piau (O)	<i>Leporinu ssp.</i>	10	302	26	0,104 \pm 0,050	0,0604 \pm 0,025
Jaraqui (O)	<i>Semaprochilodus sp.</i>	10	365	24,5	0,062 \pm 0,017	0,033 \pm 0,007

N - número de espécimes; MD - média; DP - desvio padrão.

Para os espécimes do gênero *Cichla sp.* (tucunaré), foram observados níveis elevados de mercúrio total ($0,953 \mu\text{g.g}^{-1}$) e de metilmercúrio ($0,595 \mu\text{g.g}^{-1}$), com o segundo composto apresentando níveis cerca de 20% acima do limite permitido pela Organização Mundial de Saúde (OMS), que é de $0,500 \mu\text{g.g}^{-1}$.

Para as amostras das espécies de hábitos onívoros (piau e jaraqui), os valores de concentração de HgT e MeHg apresentaram-se bem abaixo do limite máximo permitido, com cerca de 58 e 53% da concentração total de mercúrio composta, respectivamente, pelo MeHg.

A principal via de assimilação do metilmercúrio pelos seres humanos é por meio do consumo de pescado, por isso o interesse em se pesquisar as concentrações de metilmercúrio em peixes, sobretudo na região amazônica, onde há influência das atividades garimpeiras e grande parte da população tem preferência alimentar por peixes.

Os valores de mercúrio registrados neste trabalho demonstraram que as concentrações de metilmercúrio nos peixes da região do Tapajós ainda predominam nas espécies carnívoras, como relatam outros autores (Lacerda & Pfeiffer, 1992; Bidone et al., 1997; Castilhos et al., 1998; Santos et al., 2000). Este fato pode ser confirmado pela capacidade que têm os peixes carnívoros de acumular maiores concentrações de mercúrio, especialmente o metilmercúrio, ao longo da cadeia alimentar aquática, por ocuparem níveis tróficos mais elevados. O processo de bioacumulação de mercúrio nos peixes está relacionado à dificuldade de eliminação desse composto pelo organismo, devido à sua maior afinidade aos grupos tióis das proteínas, peptídeos e aminoácidos (Wasserman, Hacon & Wasserman, 2001).

Na literatura, vários estudos mencionam concentração de mercúrio com valores semelhantes aos obtidos neste trabalho. Como exemplo, Santos et al. (2000) identificaram concentração média de $0,634 \mu\text{g.g}^{-1}$ de mercúrio em peixes carnívoros na região do Tapajós; e Lebel et al. (1997) encontraram valores médios elevados, de $0,511 \mu\text{g.g}^{-1}$, para os mesmos tipos de peixes, também no Tapajós.

Bastos & Lacerda (2004) determinaram valores médios de concentração de mercúrio na bacia do rio Madeira, entre os anos de 1996 e 2000, e chegaram a $0,680 \mu\text{g.g}^{-1}$ para peixes carnívoros. Já Bidone et al. (1997) encontraram valores médios de $0,420 \mu\text{g.g}^{-1}$ em peixes carnívoros do rio Tapajós, estando próximo do limite permitido pela OMS.

Amaro et al. (2014), em pesquisa realizada no Mercado do Ver-o-Peso, em Belém, registraram valor máximo de mercúrio total de $0,800 \mu\text{g.g}^{-1}$ em peixes carnívoros, demonstrando também os altos níveis do metal em peixes da região amazônica. Valor semelhante foi determinado por Bastos et al. (2008), que registraram concentrações de $0,900 \mu\text{g.g}^{-1}$ de mercúrio total em peixes do rio Madeira. Lima (2013) relata concentrações de Hg acima do limite permitido em peixes coletados na bacia do rio Cassiporé, em região de garimpo, porém não houve diferença estatística nas concentrações do metal entre espécies carnívoras e onívoras.

Vale ressaltar que as concentrações de mercúrio total encontradas nas espécies amostradas neste trabalho são valores médios de apenas alguns indivíduos que foram coletados no período de estiagem da região, destacando que é possível ocorrer variações nos níveis de mercúrio em diferentes épocas do ano.

Dentre as espécies estudadas neste trabalho, o tucunaré apresentou maior concentração de mercúrio, cerca de 20% acima do limite máximo permitido pela OMS. Da mesma forma, Lima et al. (2000) encontraram concentração de mercúrio de $0,878 \mu\text{g.g}^{-1}$ em tucunarés na região de Santarém-PA. Santos et al. (2000) relatam valores máximos de $0,610 \mu\text{g.g}^{-1}$ em tucunarés no município de Itaituba, o que demonstra a afinidade dessa espécie com o mercúrio. Com base no estudo de Passos et al. (2007), o tucunaré é um dos peixes carnívoros que apresenta maiores taxas de mercúrio em seu organismo, devido à sua capacidade de acumular o metal na cadeia alimentar aquática. Esses resultados são corroborados por Lopes (2008), em pesquisa desenvolvida no rio Negro, na qual foram determinados valores de $0,690 \mu\text{g.g}^{-1}$ de mercúrio nessa espécie.

Por outro lado, as concentrações de mercúrio para peixes onívoros encontraram-se reduzidas e abaixo do limite permitido pela legislação, evidenciando menor toxicidade de mercúrio nas espécies estudadas. As quantidades de mercúrio encontradas foram de $0,104 \mu\text{g.g}^{-1}$ de mercúrio total e $0,060 \mu\text{g.g}^{-1}$ de metilmercúrio no piau, que apresentou níveis mais elevados; as amostras de músculo de jaraqui apresentaram médias reduzidas, tanto para mercúrio total como para metilmercúrio, apresentando valores de $0,062$ e $0,033 \mu\text{g.g}^{-1}$, respectivamente.

Brabo et al. (1999) pesquisando os níveis de mercúrio em peixes consumidos por uma comunidade indígena no município de Jacareacanga/PA, encontrou valores médios das concentrações de mercúrio em peixes onívoros de $0,112 \mu\text{g.g}^{-1}$. Valores estes próximos dos valores encontrados neste trabalho. Da mesma forma que Castilhos, Bidone e Lacerda (1998) registraram valores médios em peixes não carnívoros de $0,062 \mu\text{g.g}^{-1}$ na região do Tapajós.

Ressalta-se que apesar deste trabalho dar maior ênfase para os níveis de metilmercúrio por ser mais tóxico nos peixes e apresentar maior risco à saúde humana, os valores de mercúrio total também foram representativos por apresentarem relevância para as análises das concentrações de mercúrio nos peixes. Logo, os valores registrados neste trabalho servem de alerta contra os perigos à saúde das populações que consomem peixes da região amazônica, principalmente as comunidades ribeirinhas, que não tem muita opção de variação em sua dieta alimentar.

Kuno (2003) encontrou valores elevados de mercúrio total em peixes carnívoros, da ordem de $0,800 \mu\text{g.g}^{-1}$, na bacia do Alto Pantanal, no estado do Mato Grosso, semelhante à concentração média reportada nesse trabalho, que foi de $0,953 \mu\text{g.g}^{-1}$ no carnívoro tucunaré. Amaro et al. (2014), em uma pesquisa recente no Mercado do Ver-o-Peso de Belém do Pará, também registraram valor máximo de mercúrio total em carnívoros de $0,800 \mu\text{g.g}^{-1}$; valor semelhante foi apresentado por Bastos et al. (2008), que determinaram concentrações de $0,900 \mu\text{g.g}^{-1}$ de mercúrio total em peixes do rio Madeira.

Vale ressaltar que as concentrações de mercúrio total encontradas nas espécies amostradas neste trabalho são valores médios de apenas alguns indivíduos que foram coletados no período de estiagem da região, ressaltando que é possível haver variações nos níveis de mercúrio em diferentes épocas do ano.

Para efeito de comparação, foram encontrados outros valores de concentrações de mercúrio em bacias de diversas regiões do país. Ferreira (2006) encontrou valores muito baixos ($0,025 \mu\text{g.g}^{-1}$) de mercúrio em peixes carnívoros, como o robalo (*Centropomus* sp.), na Lagoa Rodrigo de Freitas (RJ). Lopes (2012) registrou valor máximo de $0,069 \mu\text{g.g}^{-1}$ de mercúrio em peixes carnívoros do rio Jaguaribe, no estado do Ceará. Esses resultados comprovam que os níveis de mercúrio nos peixes do Tapajós, sobretudo nos carnívoros, são elevados e acima dos limites permitidos pela legislação, mesmo depois do período das grandes operações de extração de ouro na região.

Considerações finais

As análises dos parâmetros químicos e físico-químicos deste estudo foram realizadas apenas para caracterizar o ambiente, não havendo grandes variações, mantendo-se dentro dos padrões estabelecidos pela legislação. As concentrações de mercúrio nas amostras de água não apresentaram valores significativos, uma vez que as concentrações de mercúrio total estavam abaixo do limite de detecção ($0,0005 \mu\text{g.L}^{-1}$) e do valor máximo estabelecido pela legislação, indicando baixos índices de concentração de mercúrio nos pontos amostrados.

O período da vazante contribuiu para a baixa concentração de matéria orgânica, mesmo apresentando elevação nos teores de alguns metais, como o Cd, Al e Zn, o que pode ser atribuído às características geológicas da região, assim como à incidência de efluentes contendo resíduos agrícolas ou da mineração.

Para as amostras de sedimentos, os metais analisados também apresentaram níveis reduzidos, com exceção do Fe, que indicou teores elevados, provavelmente devido à geologia da região e ao descarte de efluentes em áreas próximas do rio, além de outros fatores. Os níveis de mercúrio total e metilmercúrio, mantiveram-se, igualmente, em concentrações reduzidas, inclusive abaixo dos níveis encontrados em outros trabalhos realizados na região do Tapajós.

Para as amostras de peixes, os maiores níveis de mercúrio foram encontrados nas espécies de hábitos carnívoros, principalmente nos tucunarés, com concentrações superiores à determinada como limite pela OMS ($0,500 \mu\text{g.L}^{-1}$), o que serve de alerta para a população da

região do Tapajós, que usualmente consome peixes na sua dieta alimentar. Os peixes onívoros apresentaram concentrações reduzidas de mercúrio, portanto, são os mais indicados para o consumo da população ribeirinha, o que poderá reduzir os riscos de contaminação por mercúrio via alimentação humana.

Finalmente, apesar deste estudo constatar baixos níveis de concentração de mercúrio nas amostras de água superficial, de sedimentos de fundo e de peixes, ressalta-se que o mercúrio é a principal fonte de contaminação resultante das atividades garimpeiras, portanto, é importante que outras pesquisas sejam realizadas, para avaliação dos níveis de mercúrio e outros metais na região, evitando possíveis impactos às populações expostas à contaminação na região do rio Tapaós.

Recomendações

A partir destes resultados, sugere-se que outras pesquisas sejam realizadas na região amazônica, para a verificação dos níveis de metais pesados nos compartimentos bióticos e abióticos, principalmente em áreas próximas de garimpos, como a região do Tapajós, que é considerada exposta à contaminação por mercúrio. É importante, ainda, que seja realizado um monitoramento continuado e de longo prazo dos níveis desses metais e do metilmercúrio na região, abrangendo os períodos de estiagem e chuvoso, para que se tenha estimativas reais e precisas das concentrações de mercúrio nos rios amazônicos, especialmente aqueles próximos às áreas de garimpo de ouro.

A disseminação das informações sobre as concentrações mais elevadas de metilmercúrio em peixes carnívoros poderá auxiliar na orientação de uma dieta alimentar baseada, preferencialmente, em peixes de diferentes hábitos alimentares (não carnívoros), visando à redução de riscos de contaminação por mercúrio via alimentação humana.

Evidencia-se, portanto, a necessidade de pesquisas sobre outros metais pesados presentes em peixes da região, pois, assim como o mercúrio, podem ter efeito bioacumulativo, com riscos de contaminação dos cursos d'água, sedimentos de fundo e peixes por meio de efluentes e rejeitos, tanto da atividade garimpeira de ouro, quanto de outras atividades antrópicas na região do Tapajós.

Referências

- Amaro, C. S. O. et al. 2014. Concentração mercúrio total (Hg-T) em peixes comercializados em diferentes períodos sazonais no Mercado do Ver-o-Peso, Belém, Estado do Pará, Brasil. **Rev. Pan-Amaz. Saúde**, 5(1): 53-60.
- Barp, A. R. B. 2004. A água doce na Amazônia ontem e hoje: o caso do Pará. In: Uhly, S. & Souza, E. L. de (Orgs.). **A Questão da água na Grande Belém**. Belém, p.74.
- Bastos, W. R. et al. 2006. Mercury in the environment and riverside population in the Madeira River Basin, Amazon. **Science Total Environment**, 368: 344-351.
- Bastos, W. R.; Lacerda, L. D. 2004. A contaminação por mercúrio na bacia do rio Madeira: uma breve revisão. **Geochim. Brasil**, 18(2): 99-114.
- Bastos, W. R. et al. 2008. Um estudo descritivo do mercúrio em peixes da bacia do rio Madeira, Amazônia, Brasil. **Acta Amaz.**, 38(3): 431-438.
- Bidone, E. D. et al. 1997. Fish contamination and human exposure to Mercury in the Tapajos River Basin, Para State, Amazon, Brazil: a screening approach. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, 59: 194-201.
- Bisinoti, M. C.; Júnior, E. S.; Jardim, W. F. 2007. Seasonal Behavior of Mercury Species in Waters and Sediments from the Negro River Basin, Amazon, Brazil. **J. Braz. Chem. Soc.**, 18(3): 39-45.
- Bitencourt, M. A.; Amodeo, N. B. P. 2008. Garimpo e cooperativas: a incompatibilidade entre dois mundos. Identidade, valores e Governança das cooperativas. In: **Anais do Encontro de Pesquisadores Latino-Americanos de Cooperativismo**, Ribeirão Preto, p. 5.
- Brabo, E. S. et al. 1999. Níveis de mercúrio em peixes consumidos pela comunidade indígena de Sai Cinza na Reserva de Munduruku, município de Jacareacanga, Estado do Pará, Brasil. **Cad. Saúde Pública**, 15(2): 325-331.
- Braga, P. F. A.; Araujo, R. V. V. 2007. Ensaio de amalgamação em tambor rotativo. In: Sampaio, J. A.; França, S. C. A.; Braga, P. F. A. (Eds.). **Tratamento de minérios - práticas laboratoriais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 570 p. il.
- Castilhos, Z. et al. 2011. Caracterização das águas superficiais e teores de mercúrio em sedimentos e em peixes. In: Buckup, P. A.; Castilhos, Z. C. (Eds.). **Ecorregião aquática Xingu-Tapajós**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 248 p. il.
- Castilhos, Z. C.; Bidone, E. D.; Lacerda, L. D. 1998. Increase of the background human exposure to mercury through fish consumption due to gold mining at the Tapajos River Region, Para State, Amazon. **Bulletin of Environmental and Toxicology**, 61: 202-209.
- CONAMA-Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357 (17/03/2005)**. Alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005.
- DNPM-Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral**. Belém, 1999.
- DNPM-Departamento Nacional de Produção Mineral. **Informe Mineral 1º/2014**. Brasília, DF: DIPLAM/Ministério das Minas e Energia, 2014. Disponível em: <www.dnpm.gov.br>. Acesso em: 10/02/2015.

- Farid, L. H. et al. 1992. **Preliminary diagnosis of the environmental impacts caused by gold prospecting in Alta Floresta-MT - a case study**. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 185p. (Série Tecnologia Ambiental 2),
- Fernandes, F. R. C. et al. 2011. A Ecorregião Aquática Xingu-Tapajós na Amazônia: abordagem demográfica, econômica e social. In: Buckup, P. A.; Castilhos, Z. C. (Ed.). **Ecorregião Aquática Xingu-Tapajós**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 248 p.
- Ferreira, M. S. 2006. **Contaminação mercurial em pescados capturado na Lagoa Rodrigo de Freitas – Rio de Janeiro**. 100p. Dissertação (Mestrado em Higiene Veterinária e Processamento Tecnológico de Produtos de Origem Animal) – Universidade Federal Fluminense, Niterói.
- 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.
- Guimarães, E. C. 2009. **Avaliação dos níveis basais de mercúrio na área de influência da UHE Jirau – rio Madeira/Amazônia**. 91p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Saúde) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia.
- IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=150360&search=para%7Citaituba>> Acesso em: 05/10/ 2013.
- Kuno, R. 2003. **Avaliação da contaminação por mercúrio em peixes no Alto Pantanal - Mato Grosso – Brasil**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Lacerda, L. D.; Malm, O. 2008. Contaminação por mercúrio em ecossistemas aquáticos: uma análise das áreas críticas. **Estudos Avançados**, 22(63): 173-190.
- Lacerda, L. D.; Pfeiffer, W. C. 1992. Mercury from Gold Mining in the Amazon Environmental: an overview. **Química Nova**, 15(2): 15-25.
- Lacerda, L. D.; Salomons, W. 1992. **Mercúrio na Amazônia: uma bomba relógio química?** Rio de Janeiro: CETEM/CNPq.
- Lebel, J. et al. 1997. Fish diet and mercury exposure in a riparian Amazonian population. **Water, Air and Soil Pollution**, 97: 31-44.
- Lima, A. P. S. et al. 2000. Mercury Contamination in Fish from Santarem, Para, Brazil. **Environmental Research**, 83: 117-122.
- Lima, D. P. 2013. **Avaliação da contaminação por metais pesados na água e nos peixes da bacia do rio Cassiporé, estado do Amapá, Amazônia, Brasil**. 147p. Dissertação (Mestrado) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Macapá.
- Lopes, R. J. 2008. Mar de Mercúrio. **Pesquisa FAPESP**, 143: 52-61.
- Lopes, D. N. M. 2012. **Mercúrio total em peixes do rio Jaguaribe – jusante do dique de Itaiçaba/CE**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

- Malm, O. 1998. Gold mining as a source of mercury exposure in the Brazilian Amazon. **Environmental Research**, 77: 73-78.
- Martins, R. V. et al. 2004. Distribuição de mercúrio total como indicador de poluição urbana e industrial na costa brasileira. **Química Nova**, 27(5): 31-41.
- Mascarenhas, A. F. S. et al. 2004. Avaliação da concentração de mercúrio em sedimentos e material particulado no rio Acre, estado do Acre, Brasil. **Acta Amazonica**, 34(1): 61-68.
- Miranda, R. G. et al. 2009. Qualidade dos recursos hídricos da Amazônia – Rio Tapajós: avaliação de caso em relação aos elementos químicos e parâmetros físico-químicos. **Ambiente & Água**, 4(2): 75-92.
- Nevado, J. J. et al. 2010. Mercury in the Tapajós River basin, Brazilian Amazon. **Environment International**, 4(2): 593-608.
- Passos, C. J. S. et al. 2007. Fish consumption and bioindicators of inorganic mercury exposure. **Science of the Total Environment**, 373: 68-76.
- Pinedo-Hernández, J.; Marrugo-Negrete, J.; Díez, S. 2015. Speciation and bioavailability of mercury in sediments impacted by gold mining in Colombia. **Chemosphere**, 119: 289-1295.
- Pontes, M. L. C. et al. 2013. Balanço hídrico para a cidade de Itaituba. **Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, Belém.
- Rodrigues, R. M. et al. 1994. **Estudos de impactos ambientais decorrentes do extrativismo mineral e poluição mercurial no Tapajós – pré-diagnóstico**. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 200p. (Série Tecnologia Ambiental, 4).
- Roulet, M. et al. 2000. Methylmercury in water, seston, and epiphyton of an Amazonian river and its floodplain, Tapajós River, Brazil. **The Science of the Total Environment**, 261.
- Roulet, M. et al. 1998. The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter do Chão formation of the lower Tapajós river valley, Para state, Brazil. **Science Total Environment**, 223: 1-24.
- Santos, L. S. N. et al. 2000. Evaluation of total Mercury concentrations in fish consumed in the municipality of Itaituba, Tapajós river basin, Para, Brazil. **The Science of the Total Environmental**, 261: 1-8.
- Silva, A. P. 1997. **Projeto Itaituba: Programa de Desenvolvimento de Tecnologia Ambiental**. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 66p. (Série Tecnologia Ambiental, 18).
- Silva, L. M. et al. 2011. Correlação de indicadores de matéria orgânica em rios da região Amazônica. In: **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**, 34.
- Silva, M.S.R. et al. 2011. Química das águas de superfície dos rios da bacia amazônica: uma contribuição para classificação de acordo com seus usos preponderantes. In: **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Maceió.
- Siqueira, G. W.; Aprille, F. M. 2012. Distribuição de mercúrio total em sedimentos da Plataforma Continental Amazônica-Brasil. **Acta Amazonica**, 42(2): 259-268.

Souza, J. R.; Barbosa, A. C. 2000. Contaminação por mercúrio e o caso da Amazônia. **Química Nova na Escola**, 12(12).

Telmer, K. et. al. 2006. The source and fate of sediment and Mercury in the Tapajos River, Brazilian Amazon: ground – and space-based evidence. **J. Environ. Management**, 81: 101-13.

USEPA-United States Environmental Protection Agency. 1995. **Guidance for sampling and analysis of sediments, water, and tissues for dredged material evaluations**. Standards and Applied Science Division, US.

Vilhena, M. P. S. P. 2003. Mercúrio em sedimentos de mangues, caranguejos (*Ucides cordatus*) e cabelos humanos em torno dos manguezais do nordeste do Pará. **Geochim. Brasil**, 17 (2): 121-129.

Villas Bôas, H. C. 2011. **A indústria extrativa mineral e a transição para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT/CNPq, 108p.

Wasserman, J. C.; Hacon, S. S.; Wasserman, M. A. 2001. O ciclo do mercúrio no ambiente amazônico. **Mundo e vida**, 2: 46-53.