



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL
MUSEU PARAENSE EMILIO GOELDI
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

HILCIANA DO SOCORRO PEREIRA OLIVEIRA

**METAIS PESADOS, SEDIMENTO DE FUNDO E PEIXES NO RIO
TAPAJÓS**

**Belém
2014**

HILCIANA DO SOCORRO PEREIRA OLIVEIRA

**METAIS PESADOS, SEDIMENTO DE FUNDO E PEIXES NO RIO
TAPAJÓS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós- Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará em convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi e Embrapa Amazônia Oriental, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientadora: Dr^a Silvia Cristina Alves França

Coorientador: Dr. Edson José Paulino da Rocha.

**Belém
2014**

HILCIANA DO SOCORRO PEREIRA OLIVEIRA

**METAIS PESADOS, SEDIMENTO DE FUNDO E PEIXES NO RIO
TAPAJÓS**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Linha de Pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmica Sócio-Ambiental.

Data de aprovação: 25/06/2014

Conceito: _____

Banca Examinadora:

Profª. Silvia Cristina Alves França - Orientadora
Doutora em Engenharia Química
Centro de Tecnologia Mineral/CETEM (RJ)

José Francisco Berredo dos Reis da Silva
Doutor em Geologia e Geoquímica
Museu Paraense Emílio Goeldi

Prof. Aline Maria Meiguins de Lima
Doutora em Desenvolvimento Socioambiental
Universidade Federal do Pará

Ricardo de Oliveira Figueiredo
Doutor em Ciências Ambientais
EMBRAPA – Meio Ambiente

À Deus em primeiro lugar, sempre guiando meus passos, à minha mãe Terezinha pelo apoio e atenção em todos os momentos e a minha princesinha Mariana, que ainda no ventre, me deu força e coragem para dar este passo importante na minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus que me deu forças e sabedoria para a conclusão de mais um desafio na minha vida.

À minha mãe Terezinha, por todos os ensinamentos ao longo da vida, pela paciência e amor incondicional.

À minha filha Mariana, que mesmo no ventre, só me encheu de forças e alegrias na etapa final deste trabalho. Ela é minha redenção.

Aos meus irmãos, pelo incentivo, compreensão, por me entenderem nos momentos de ausência, em especial à minha irmã Ilma, que sempre esteve ao meu lado, e aos meus sobrinhos pelo carinho.

À minha orientadora Silvia França, primeiro pela grande oportunidade de ser sua orientanda, segundo pela confiança, atenção, paciência e principalmente, pelos preciosos ensinamentos que com certeza servirão para o meu crescimento profissional, e pela amizade construída.

Ao meu Coorientador Edson Rocha, pela paciência e pelo auxílio durante as tarefas deste trabalho.

Ao CETEM pela oportunidade que tive de poder aprender mais sobre o tema desta pesquisa, desta forma tive mais incentivo e empenho para dar continuidade a este trabalho. Agradeço também ao laboratório LEMA e o de análise química do CETEM, pela análise dos dados das matrizes deste trabalho que foram “peças chaves” para obtenção dos resultados finais.

À Coordenação do Projeto AquaRios, em nome da Dr^a Zuleica Castilhos, por permitir o acesso ao banco de dados do projeto, para análise comparativa com os dados primários gerados nesta pesquisa, através do pesquisador MSc. Ricardo Sierpe que foi muito paciente e competente no repasse destes dados. Pela liberação do LEMA para realização das análises de mercúrio nas matrizes deste trabalho, pela técnica Patrícia Araújo, que foi muito paciente, me esclarecendo dúvidas que iam surgindo durante os trabalhos, sua participação foi muito importante.

Ao Museu Goeldi/Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia por me ceder os equipamentos necessários à coleta de campo, além de disponibilizar a engenheira ambiental

Maridalva Mendes, que me acompanhou com muita competência na coleta dos dados durante a etapa de campo, em Itaituba.

A UFPA em nome da diretora da Pós-Graduação Prof^a. Iracilda Sampaio, pelo apoio financeiro em todas as viagens necessárias para coleta de dados para efetivação deste trabalho; sem esse apoio seria muito difícil concluir a etapa mais importante deste trabalho, que são os resultados.

À CAPES que disponibilizou recursos financeiros que me proporcionaram a total dedicação a este trabalho.

E aos queridos amigos que me incentivaram, por me entenderem nos momentos de ausência, pelos momentos de descontração, pelas palavras amigas, nos momentos que eu precisei ouvir. Enfim, a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para realização deste trabalho.

Muito obrigada.

RESUMO

O presente estudo objetivou avaliar o nível de metais pesados, principalmente o mercúrio, na água, no sedimento de fundo e em peixes do rio Tapajós e verificar os possíveis impactos causados pelas atividades de garimpo de ouro no ambiente desse rio. Os resultados obtidos foram relacionados com alguns dados do projeto CTHidro AquaRios, realizado na Ecorregião Aquática Xingu-Tapajós, com a finalidade de validação destes dados. As amostras de água foram submetidas à análises de concentrações de mercúrio total (HgT), por espectrofotometria de absorção atômica em vapor frio. Para caracterizar o ambiente foram analisados os parâmetros físico-químicos das amostras de água, como temperatura, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido. Nas análises de mercúrio total nos peixes, utilizou-se também a técnica de espectrofotometria de absorção atômica em vapor frio, e para a quantificação de metilmercúrio (MeHg), seguiu-se o protocolo analítico do Instituto Nacional de Minamata, Japão. Nos sedimentos foram quantificados tanto mercúrio total como metilmercúrio. Foram analisados também na água e nos sedimento os seguintes metais: Fe, Mg, Ca, Cd, Pb, Cu, Cr, Zn e Al, por meio do método analítico ICP-OES (Espectrofotometria de emissão ótica com plasma induzido). Os resultados de mercúrio total nas amostras de água apresentaram-se menores do que 0,5 ng/L. Nas análises de outros metais em água, apenas o Cd, Al e Zn apresentaram concentrações acima dos valores estabelecidos pelo CONAMA 357/2005. Nos sedimentos os valores de HgT variaram de 23,5 a 36,5 ng/g, enquanto para MeHg foram encontrados valores de 15,5 e 24,6 ng/g. Para os outros metais as concentrações ficaram abaixo dos limites preconizados pela legislação, com exceção do Fe, para o qual o CONAMA 357/2005 não estabelece limites. 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 600 e 950 ng/g e MeHg na faixa de 510 a 600 ng/g. Nas outras espécies de peixes, as concentrações foram menores: para a pescada branca, os valores encontrados foram de 180 a 534 ng/g de HgT e 230 a 345 ng/g de MeHg; para o piauí de 50 a 104 ng/g de HgT e de 25 a 60 ng/g de MeHg, enquanto nos jaraquis os teores de HgT foram de 17 a 62 ng/g e 7 a 33 ng/g de MeHg. Não foi evidenciada ocorrência de contaminação nas amostras bióticas e abióticas. Entretanto, os peixes onívoros, por apresentarem menores concentrações de mercúrio, são mais

aconselhados para a dieta da população ribeirinha, o que poderá reduzir os riscos de contaminação por mercúrio via alimentação humana.

Palavras-chave: Rio Tapajós. Mercúrio. Mineração artesanal de ouro.

ABSTRACT

This study aimed to assess the level of heavy metals, especially mercury, in water, bottom sediment and fishes in the Tapajos river, checking the possible impacts of small-scale gold mining activities on this river environment. The results were compared to some data available in the database of CTHidro sectorial fund - Project AquaRios, held at the aquatic ecoregion Xingu-Tapajos, in order to validate the present data. Water samples were submitted for analysis of concentrations of total mercury (HgT), by cold vapor atomic absorption spectroscopy. To characterize the environment physico-chemical parameters of water samples, such as temperature, pH, conductivity and dissolved oxygen were analyzed. For the analyzes of total mercury in fishes it was also used the technique of cold vapor atomic absorption spectroscopy, and the quantification of methyl mercury (MeHg), followed by the analytical protocol of the National Institute for Minamata, Japan. In the sediment samples, total mercury as methyl mercury were quantified. Other metals were also analyzed for water and sediment samples, such as Fe, Mg, Ca, Cd, Pb, Cu, Cr, Zn, and Al, by using the ICP-OES (Inductively coupled plasma optical spectroscopy) method. The results of total mercury concentration in the samples were lower than 0.5 ng/L. Considering the results for other metals in water, only the Cd, Zn and Al showed concentrations above the values established by CONAMA 357/2005. In the sediment samples HgT concentration ranged from 23.5 to 36.5 ng/g, while for MeHg the range was 15.5 to 24.6 ng/g. For the other metals, concentrations were below the limits prescribed by environmental regulation (CONAMA 357/2005), except the Fe, for which no reference was made to the limit in the regulation. Mercury concentrations in fishes were more significant in carnivorous than in omnivorous feeding habits fishes. The highest concentrations were found in tucunare with HgT levels between 600 and 950 ng/g and 510-600 ng/g MeHg. In other fish species, the concentrations were lower: for (white) pescada, the values were 180-534 ng/g HgT and 230-345 ng/g MeHg; for the piau to 50-104 ng/g HgT and 25-60 ng/g MeHg, while the concentration in jaraquis were 17-62 ng/g HgT and 7-33 ng/g MeHg. There was no evidence of contamination occurring in biotic and abiotic samples. However, omnivorous feeding habits fishes, due to the lower mercury concentrations, are better suited to the diet of the riverside population, which may reduce the risk of mercury contamination via food.

Keywords: Tapajós river. Mercury. Small-scale gold mining.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
LEMA	Laboratório de Especificação de Mercúrio Ambiental
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
ANA	Agência Nacional de Águas
PIN	Plano de Integração Nacional
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CT-HIDRO	Fundo Setorial de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MMA	Ministério de Meio Ambiente
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
IPEM	Instituto de Pesos e Medidas
SUDAM	Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia
OMS	Organização Mundial de Saúde
EPA	Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Fluxograma esquemático dos processos de beneficiamento e lavra do ouro aluvionar.	22
Figura 2- Ciclo Global do Mercúrio.	27
Figura 3- Mapa de localização da área de estudo. Município de Itaituba na região do Tapajós/PA.	29
Figura 4- Mapa de localização dos pontos de amostragem na área de estudo.	30
Figura 5- Mapa de localização dos pontos de coleta deste trabalho com os pontos de amostragem do Projeto AquaRios em Itaituba/PA.	32
Figura 6- Mapa de localização dos pontos de amostragem da Ecorregião Aquática Xingu-Tapajós do Projeto AquaRios.	33
Figura 7- Principais usos da terra na Ecorregião Aquática Xingu-Tapajós.	34
Figura 8- Mapa dos pontos de coleta do Projeto AquaRios em Alta Floresta.	35
Figura 9- Coleta das amostras de água do rio Tapajós em frasco de polietileno.	37
Figura 10- Retirada do músculos das espécimes de peixes amostrados.	38
Figura 11- <i>Semaprochilodus</i> sp.	38
Figura 12- <i>Cichla</i> sp.	39
Figura 13- <i>Leporinus</i> sp.	40
Figura 14- <i>Plagioscion squamosissimus</i>	41
Figura 15- Gráfico da relação das médias de temperatura por locais de coleta.	45
Figura 16- Gráfico da relação das médias de pH por locais de coleta.	46
Figura 17- Gráfico da relação das médias de condutividade elétrica por locais de coleta. ...	48
Figura 18- Gráfico da relação das médias de oxigênio dissolvido por locais de coleta.	49
Figura 19- Conteúdo de mercúrio total nos músculos de peixes carnívoros e onívoros coletados em Itaituba/2013.	59
Figura 20- Conteúdo de metilmercúrio nos músculos de peixes carnívoros e onívoros, coletados em Itaituba/2013.	60
Figura 21- Concentrações médias de metilmercúrio nos músculos das espécimes de peixes do município de Itaituba.	61

Figura 22- Concentrações médias de mercúrio total nos músculos das espécimes de peixes do município de Itaituba.....61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Pontos de amostragens no rio Tapajós com suas coordenadas geográficas.	32
Tabela 2- Parâmetros químicos e físicos das amostras de água coletadas no rio Tapajós em outubro de 2013.	43
Tabela 3- Parâmetros químicos e físicos das amostras de água coletadas s ao longo do rio Tapajós em Itaituba (Projeto AquaRio).	43
Tabela 4- Parâmetros químicos e físicos das amostras de água coletadas ao longo do rio Teles Pires em Alta Floresta (Projeto AquaRios).	44
Tabela 5- Teores médios de metais nas matrizes de água deste trabalho, em comparação com o CONAMA357/2005 e com os dados do AquaRios. (Valores em ng/L).	51
Tabela 6- Concentração de mercúrio total e metilmercúrio em amostras de sedimento em Itaituba (outubro) 2013.	54
Tabela 7- Concentração de mercúrio total nos sedimentos de Itaituba e Alta Floresta (Projeto AquaRios).	54
Tabela 8- Classificação de poluição para sedimentos, de acordo com a diretriz para Grandes Lagos (EUA) em comparação com os dados deste trabalho. (Valores em ng/g).	56
Tabela 9- Níveis de classificação de material a ser dragado em comparação com os dados deste estudo. De acordo com o CONAMA 344/2004. (Valores em ng/g).	57
Tabela 10- Faixa de concentração de mercúrio em sedimentos de rios da Amazônia.	58
Tabela 11- Características das espécies de peixes coletadas em Itaituba/2013.	59
Tabela 12- Faixa de concentração de mercúrio em peixes de alguns rios brasileiros.	64

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo Geral	17
2.2	Objetivos Específicos	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1	A importância da atividade de mineração para a Amazônia e para o país	18
3.2	Histórico dos garimpos de ouro na Amazônia	19
3.3	O uso do mercúrio nos processos de beneficiamento de ouro	21
3.4	Mercúrio na Amazônia	23
3.5	A atividade de mineração e sua relação com a água no contexto sustentável	24
3.6	Os impactos do mercúrio na saúde humana e no meio ambiente	26
4	MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1	Localização da área de estudo	29
4.1.1	Itaituba	29
4.1.2	Ecorregião Aquática Xingu-Tapajós	33
4.1.3	Alta Floresta	34
4.2	Métodos de Amostragem	36
4.2.1	Águas Superficiais	36
4.2.2	Peixes	37
4.2.2.1	Caracterização dos organismos - teste	38
4.2.3	Sedimento	42
5	RESULTADO E DISCUSSÃO	43
5.1	Análise química e físico-química das amostras de água	43
5.1.1	Temperatura	44
5.1.2	pH	45
5.1.3	Condutividade	47
5.1.4	Oxigênio Dissolvido	48

5.2	Conteúdo de mercúrio e outros metais pesados nas matrizes de água, sedimento de fundo e peixe, coletadas no rio Tapajós	50
5.2.1	Água	50
5.2.2	Sedimento	53
5.2.3	Peixe	58
6	CONCLUSÕES	65
	REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial à vida, pois ela é composta de elementos que são necessários para o desenvolvimento dos seres vivos. Além disso, o homem utiliza a água para diversas atividades como irrigação, consumo doméstico, aquicultura, geração de energia, dentre outros usos; e todas essas atividades podem resultar em algum tipo de impacto ambiental.

A poluição das águas quase sempre é resultado da atividade humana sobre os corpos d'água e os poluentes são transportados para os rios contaminando esses ambientes e afetando os organismos aquáticos. Dentre as atividades potencialmente poluidoras dos recursos hídricos, encontram-se as relacionadas à mineração e aos garimpos.

As atividades de mineração, sejam artesanais (garimpo) ou industriais, são de suma importância para o desenvolvimento econômico do país, visto que os minérios extraídos da natureza servem como matéria-prima para muitos produtos que são utilizados pelo homem. No entanto, o processo de lavra implica em alterações no meio ambiente afetando a qualidade das águas. A partir deste cenário, observa-se que a sociedade de entorno dos empreendimentos minerários sofre com as consequências e os impactos sociais e ambientais causados pela exploração desses recursos, especialmente aqueles que afetam mais incisivamente os recursos hídricos, estes diretamente ligados à sobrevivência e qualidade de vida da população.

O Pará, assim como a maioria dos estados amazônicos, tem vocação tipicamente extrativista, sendo o segundo maior produtor nacional de bens minerais, como o minério de ferro, caulim, bauxita, cobre, ouro, dentre outros. A atividade extrativa do ouro na região amazônica data dos anos de 1940, porém foi na década de 1970 que essa atividade se intensificou na Amazônia, com o Plano de Integração Nacional (PIN). Nesse período, inicia-se a construção de importantes rodovias, como a Transamazônica e a Cuiabá-Santarém. Por conta disso, as empresas de mineração foram atraídas pelo ouro, além de um grande contingente populacional, vindos principalmente do Nordeste, também atraídos em pela possibilidade de melhores condições de vida (RODRIGUES et al., 1994).

A atividade garimpeira de ouro na região amazônica é muito forte, abrangendo os estados de Mato Grosso, Pará e Rondônia. A produção estimada dos garimpos é de cerca de 8 t/ano (DNPM, 2012) o que representa 12% da produção nacional. O grande impacto da

mineração informal (garimpos) de ouro é o uso do mercúrio para a captura das partículas de ouro fino e, posteriormente, a sua liberação em forma de gases e líquido para o meio ambiente. Os municípios mais importantes no desenvolvimento dessa atividade são os que abrangem a região do Tapajós (Pará) e Alta Floresta (Mato Grosso). A exploração do ouro na região teve início em meados da década de 1970, com a descoberta de ouro aluvionar na região (FERNANDES et al.,2011).

No estado do Pará a exploração dos recursos minerais é bastante evidente. Com a atividade garimpeira presente, o uso do mercúrio pelo homem durante os processos de lavra e extração de minério de ouro, resulta em uma elevada e significativa contaminação ambiental e casos de intoxicação humana, já existentes no estado. Este fato, desperta interesse em realizar pesquisas que possam averiguar os riscos que os efeitos químicos da extração mineral podem causar no ambiente, principalmente nos corpos d'água. Desta maneira, tem-se observado a importância do monitoramento e avaliação da qualidade das águas superficiais em áreas que estão sob a influência da atividade de mineração no estado do Pará, mais especificamente no oeste do estado, na região garimpeira de Itaituba, às margens do rio Tapajós. Assim será possível identificar as alterações das características da qualidade das águas, bem como avaliar a eficácia das medidas de controle de poluição adotadas, dentro da legislação vigente, e caso necessário, propor medidas que possam minimizar os impactos na área.

Partindo deste pressuposto, a pesquisa em questão objetiva investigar os riscos desses impactos relacionados à contaminação química nos recursos hídricos, na região do oeste do estado do Pará, fazendo comparação com alguns dados do Projeto AquaRios que foram realizados nessa região, referentes às atividades de mineração artesanal do ouro (garimpo). Este estudo, pretende também contribuir como objeto de informação e embasamento para que outros estudos mais aprofundados possam ser realizados nesta região.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa é avaliar os possíveis impactos da atividade de garimpo de ouro na qualidade das águas superficiais, no sedimento de fundo e em peixes na bacia do rio Tapajós, oeste do estado do Pará.

2.2 Objetivos Específicos

- Definir e caracterizar a área de estudo em função de dados de qualidade da água disponíveis no banco de dados do projeto AquaRios (CTHidro, CASTILHOS, 2011) para a bacia do rio Tapajós;
- Definir os pontos de amostragem do presente trabalho, para coleta de amostras das matrizes água, sedimento de fundo e peixes no rio Tapajós;
- Caracterizar as matrizes em termos de análises químicas e físico-químicas de mercúrio e outros metais pesados e traçar parâmetros comparativos entre os dados primários e secundários.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A importância da atividade de mineração para a Amazônia e para o país

O Brasil é um país privilegiado, possuindo a maior bacia de água doce do mundo, distribuída de maneira heterogênea dentro do território nacional. Destaca-se a região Amazônica como maior bacia fluvial, já que possui o maior volume de água do planeta. De acordo com dados da Agência Nacional de Águas - ANA (2013), em termos de recursos hídricos, a bacia hidrográfica do rio Amazonas possui uma contribuição média, em território brasileiro, de 133.000 m³/s, correspondendo a 73% da contribuição do território nacional, sendo que as maiores demandas pelo uso da água na região ocorrem nas sub-bacias dos rios Madeira, Tapajós e Negro.

O país ocupa a 13ª posição na produção mundial de ouro, com cerca de 65 t/ano, as quais correspondem a 2,5% dessa produção mundial. Da produção nacional, 12% são provenientes de garimpos (HEIDER; ANDRADE, 2012).

A produção mineral sustenta grande parte dos segmentos industriais no país, uma vez que a extração de minérios desempenha um papel fundamental na economia de diversos setores industriais, por meio da geração de impostos, emprego e renda. Essa atividade representa um fator determinante para o desenvolvimento de um país, como o Brasil, que tem a mineração como importante fonte de exportação de riquezas, que contribui para o seu desenvolvimento.

Segundo Bezerra et al. (1998) muitos países têm sua economia baseada em mineração, principalmente, em pequena escala que pode ser desenvolvida de forma não competitiva e sem degradação ambiental, o que incentiva a garimpagem de ouro como um caminho para o desenvolvimento econômico. Por outro lado, a mineração em larga escala, precisa de uma política para encorajar essas operações, segundo os autores, elas podem causar menos problemas ambientais e sociais no local, pois na maioria dos casos é dominada por companhias estrangeiras com pouquíssimos ou quase nenhum interesse no desenvolvimento regional, já que a maior parte da riqueza gerada é exportada.

A mineração artesanal de ouro, apesar das consequências drásticas que pode trazer para o meio ambiente, pelo uso de metais pesados, especialmente o mercúrio, na extração do ouro, pode ser considerada como fonte de renda, e com apoio governamental é possível trazer

benefícios que contribuem para o desenvolvimento sustentável, mesmo das comunidades menos assistidas.

Cerca de 2000 toneladas de mercúrio foram liberadas no ambiente, durante a corrida do ouro nos anos 1980, na região amazônica, principalmente nos rios Madeira, Tapajós e Negro. Nesse processo da extração do ouro, foi utilizada a amalgamação com o mercúrio metálico para extração e concentração do metal que era considerado muito precioso. Em consequência desse processo, foi lançada nos rios e nos ecossistemas amazônicos, grande quantidade de mercúrio contaminando o ambiente aquático (LACERDA; SALOMONS, 1998; MALM, 1998).

O Estado do Pará se destaca por apresentar um importante patrimônio natural por causa de suas reservas minerais e hídricas, bem como sua biodiversidade. A área territorial paraense 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 que passa 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).

3.2 Histórico dos garimpos de ouro da Amazônia

A garimpagem de ouro na Amazônia remonta ao século XVIII no mesmo período da descoberta de ouro e diamante em Minas Gerais, constituindo o marco histórico no processo de colonização do Brasil que era baseado na produção açucareira da região nordeste. Com a descoberta do ouro, a Coroa Portuguesa introduziu um regulamento nas minas, como objetivo de garantir parte que devia caber à Coroa. A partir deste momento, os homens livres e sem algum tipo de posse, foram levados pelo instinto de sobrevivência, de buscar o sustento de suas famílias, e então passaram a ocupar lugares ermos do território escondidos nas “grimpas” das serras para praticarem suas lavras longe das autoridades. Deste modo, os “grimpeiros”, como eram conhecidos, deram origem ao termo garimpeiro, assim a própria etimologia da palavra representava a 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 muita mão de obra, as condições adversas de vida e trabalho

conduziram ao desenvolvimento de características culturais próprias (BITENCOURT; AMODEO, 2008).

No entanto, foi em 1958 que a atividade garimpeira foi evidenciada em todo o Tapajós quando os seringais se encontravam em plena fase de decadência. Uma expedição com 60 homens vindos do Amazonas, chefiada pelo Sr. Nilçon Pinheiro, chegou próximo a foz do rio Tapajós, onde se deu a primeira ocorrência de ouro. Essa mesma equipe descobriu outras ocorrências nas proximidades dos afluentes desse rio. No início da década de 1960 foram descobertas outras ocorrências, sobretudo, ao longo da drenagem de grande porte em importantes rios como o Tapajós, Crepori, Jamaxim e outros (RODRIGUES et al., 1994).

A atividade de garimpagem na Amazônia intensificou-se no final da década de 1960 e início da década de 1970, período de construção das rodovias Transamazônica e Cuiabá-Santarém, como parte das metas do do Plano de Integração Nacional - PIN. A lavra garimpeira na Amazônia era exclusivamente manual, até a metade da década de 1970, e se localizava nas margens ou chapadas de rios e em aluviões ativos. Os equipamentos utilizados eram rudimentares como bateias, pás e picaretas, e os aparelhos eram manuais. A partir desse momento, começou o processo de mecanização nos garimpos utilizando-se maquinarias na execução dos trabalhos. O mercúrio era utilizado apenas nas coletas das partículas de ouro. Nos rios Madeira e Tapajós, a garimpagem era realizada diretamente no próprio leito ativo das drenagens, utilizando-se balsas e dragas, afetando gravemente o ecossistema aquático e acelerando o assoreamento dos rios (SÁ et al., 2006).

No final da década de 1970, a elevação no preço do ouro no mercado internacional resultou na chamada “corrida do ouro” em vários lugares do mundo, inclusive no Brasil. Nesse momento a região do Tapajós foi atraída por uma imensidão de homens em busca de riquezas, pois foi descoberta grande quantidade de ouro nos solos amazonenses, especialmente na região do Tapajós. Em virtude disso, a bacia do Tapajós foi responsável por, aproximadamente, 50% do ouro produzido no Brasil, na década de 1980. De acordo com o DNPM (1999), foram produzidas 98,2 toneladas de ouro em 1990 e 49 toneladas em 1998.

3.3 O uso do mercúrio nos processos de beneficiamento de ouro

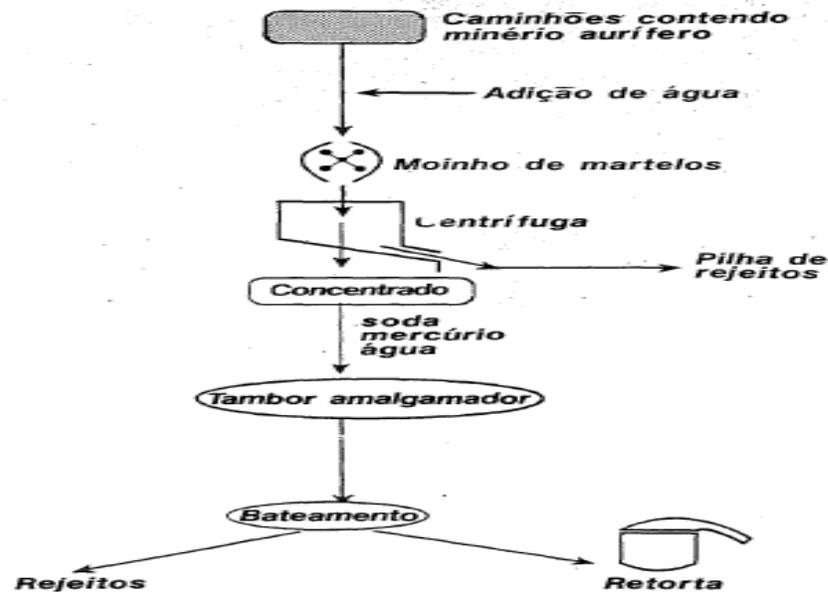
A mineração do ouro na Amazônia, nos últimos anos, tem sido uma forte fonte poluidora por emissão de mercúrio para a atmosfera. Nos garimpos, o ouro é produzido e comercializado, quase sempre, nos municípios de Itaituba e nas regiões que abrangem o rio Tapajós. Grandes quantidades de mercúrio são emitidas para a atmosfera da bacia amazônica, como resultado dessas atividades provocando enormes desastres ambientais e sociais. Segundo Bezerra et al. (1998) a garimpagem é vista como a principal atividade econômica da bacia do rio Tapajós. Os impactos ambientais presentes na garimpagem de ouro resultam na remoção anual de, aproximadamente, 67 milhões de metros cúbicos de subsolo e na liberação de 12 toneladas de mercúrio que são liberados para a atmosfera, subsolos e rios. A atividade é tão rentável que no início da década de 1990 havia 245 garimpos na região, os quais empregaram 30.000 pessoas e produziram 35 toneladas de ouro por ano, a um valor próximo dos US\$ 400 milhões/ano.

Na região do Tapajós as áreas de garimpos de ouro são apontadas como uma das principais fontes de mercúrio para o meio ambiente amazônico, nestas condições o mercúrio pode ser transportado pela drenagem dos afluentes do rio na forma dissolvida e/ou associada ao material particulado em suspensão. Como exemplo, tem-se os rios Crepori e Jamaxin como grandes contribuidores de material particulado, resultante da atividade garimpeira (CASTILHOS et al., 2011).

Conforme Silva (1997), o mercúrio se apresenta como um elemento fundamental para a extração do ouro fino, pois a formação do amálgama está relacionada à limpeza da superfície do ouro, consistência das gotas de mercúrio e efetividade do contato ouro-mercúrio; logo, a forma de utilização do mercúrio nas etapas de concentração gravítica, ainda é muito comum, tornando um alto potencial poluente.

Os processos envolvidos na lavra e beneficiamento do ouro aluvionar serão descritos a seguir. Lembrando que existem várias metodologias empregadas para o beneficiamento do ouro, dependendo de cada região e da própria empresa mineradora.

Figura 1- Fluxograma esquemático dos processos de beneficiamento e lavra do ouro aluvionar.



Fonte: Lacerda e Salomons (1992).

De acordo com Lacerda e Salomons (1992) na região do Tapajós o processo de beneficiamento do ouro aluvionar, apresentados pela Figura 1, passa pelos seguintes processos: primeiramente, envolve a recuperação do ouro dos solos e rochas, com teor aurífero variando entre 4,0 a 20,0g/t que consiste em extrair quantidades significativas de material rico em ouro, geralmente solos contendo veios de quartzo, passando por moinhos e centrífugas, para então ser produzido um concentrado gravítico rico em ouro. Em seguida o concentrado é levado para pequenos poços de amalgamação, com uns poucos metros quadrados, ou para tambores de amalgamação, onde vai ser misturado com mercúrio líquido e posteriormente separado em bateia (processo chamado de bateamento). Depois desta etapa, o amálgama Au-Hg é então espremido, para que seja removido o excesso de mercúrio, e em seguida levado em frigideiras para ser queimado ao ar livre, liberando o mercúrio contido no amálgama diretamente à atmosfera, resultando muitas vezes em acidentes que envolvem a aspiração de grandes quantidades de vapor de mercúrio.

Rodrigues et al(1994) salientam que as maiores perdas de mercúrio para a atmosfera, utilizado nos garimpos, podem estar relacionadas ao processo de volatilização do metal no momento em que ocorre a queima do amálgama com o ouro, sendo que estas perdas são

muito maiores que em rios e solos. De acordo com Pfeiffer e Lacerda (1988) em estudos realizados no rio Madeira, para cada 1 kg de ouro produzido, aproximadamente, 1,3 kg de mercúrio são liberados diretamente para o meio ambiente. Desta forma, as maiores perdas deste metal são para a atmosfera (cerca de 55 a 65%) e o restante é arrastado para o rio junto aos rejeitos resultantes do processo de amalgamação.

Vale lembrar que manusear recursos minerais é uma das mais antigas atividades exercidas pelo homem, constituindo a base do seu desenvolvimento. Pode-se verificar na história que os primeiros grupos humanos utilizavam estes recursos para confecção de suas armas e outros instrumentos que serviam para sua defesa e para busca de alimentos. Em contrapartida, com o advento da globalização, o homem ambiciona ainda mais os recursos naturais, degradando o meio ambiente.

3.4 Mercúrio na Amazônia

A natureza do mercúrio na Amazônia possui origem geológica, a partir do intemperismo de rochas por meio do óxido de ferro. A associação entre o mercúrio e o ferro é verificável em quase toda a Amazônia e o mercúrio presente nos solos alcança os rios, encontrando facilidade de metilação e contaminação dos peixes (ROULET; LUCOTTE, 1995). De acordo com Lacerda et al. (1999) o clima quente da Amazônia, contribui para importantes emissões de mercúrio, pois a presença de incêndios florestais, há algumas décadas, favoreceram essa emissões, uma vez que o mercúrio presente nos solos e na biomassa vegetal eram lançados para a atmosfera, aumentando, desta forma, as concentrações de mercúrio em áreas inundáveis.

Segundo Wasserman, Hacon e Wasserman (2001), os solos amazônicos representam um reservatório de mercúrio onde permanecem por mais tempo em relação a outros compartimentos, determinando sua maior concentração. Outros fatores que contribuem para as emissões naturais de mercúrio são a ressuspensão de partículas do solos pelo vento, emanções vulcânicas, emanções do solo e águas superficiais, além de queimadas florestais (MARTINS et al., 2004).

O processo de metilação do mercúrio, em áreas naturalmente contaminadas, ocorre a partir do transporte do mercúrio do solo para os corpos d'água e por meio da ação de bactérias, o mercúrio é transformado em metilmercúrio, sendo esta a sua forma mais tóxica,

ficando biodisponível para diferentes reações químicas, podendo bioacumular-se na cadeia trófica, favorecendo a contaminação da água, dos peixes e sedimento (SIQUEIRA; APRILE, 2012).

Nos ambientes amazônicos, a fonte de mercúrio mais discutida na maioria dos estudos, é a fonte antrópica, por causa dos seus efeitos causados nos ecossistemas, principalmente aquáticos. A fonte antrópica está associada a recuperação do ouro, através da produção do amálgama, resultante da queima das partículas de ouro com o mercúrio, após este processo, o mercúrio é volatilizado diretamente para a atmosfera, favorecendo grandes concentrações nos ecossistemas (HACON, 1995).

3.5 A atividade de mineração e sua relação com a água no contexto sustentável

A recuperação de áreas degradadas afetadas pelas atividades de mineração é uma ação direcionada aos impactos ambientais decorrentes dessa atividade e visa propor medidas para reduzir os seus efeitos sobre o meio ambiente, contribuindo para que a mineração seja realizada de forma sustentável. No Brasil o seu alcance social é bastante expressivo, já que um grande número de microrregiões tem como base da sua economia o setor mineral que é de suma importância na geração de emprego e renda em diversos municípios (CPRM, 2005), como o caso da região do Tapajós.

É importante que a atividade mineradora seja desenvolvida dentro do conceito de sustentabilidade para que se possam atender as necessidades locais e regionais, sem agredir o meio ambiente. Becker (2010) aponta a necessidade de se utilizar um recurso sem destruir o seu valioso patrimônio natural, contribuindo para o desenvolvimento local trazendo, desta forma, benefícios para a região.

A ideia de a atividade mineradora ser realizada de forma sustentável está em conformidade com os mecanismos legais para que essa atividade atue com responsabilidade, contribuindo para minimizar os impactos ambientais e sociais, gerados por ela. Partindo dessa ideia, Villas Bôas (2011) complementa que com o mundo globalizado em que se vive hoje, é importante que uma mineradora esteja com suas atividades dentro dos padrões legais vigentes, principalmente ligadas às questões socioambientais, pois há várias questões sociais envolvidas ao longo da cadeia produtiva da indústria mineradora, além de suas relações com o ambiente local de produção.

A Constituição Federal de 1988 em seu artigo 225, § 2, determina a recuperação do meio ambiente degradado pela exploração dos recursos minerais, configurando uma obrigação de reparar o dano por aquele que o degradou, mostrando de maneira clara que a lei reconhece que a atividade mineral é passível de degradar o meio ambiente, inclusive os recursos hídricos.

Nestes casos, as relações da atividade mineradora com a água deve ser a melhor possível. Vale lembrar que o sucesso de uma operação em mineração depende, muitas vezes, da sua melhor interação com a água. Por outro lado, nota-se que a interação água-mineração não está limitada somente à exploração de jazida, mas também abrange todos os processos de beneficiamento do minério, considerando que ao cessar as atividades, os impactos hidrológicos podem permanecer por vários anos. Por isso, é importante que haja um planejamento adequado às operações de prevenção da contaminação desde o início da lavra, continuando sem interrupção, até o seu fechamento (ANA, 2006).

A qualidade da água de um determinado corpo d'água é avaliada de acordo com as substâncias presentes na mesma, por isso a denominação de parâmetro de qualidade da água. Essas substâncias presentes na água caracterizam as condições nas quais a água se encontra para os mais diversos usos, incluindo a preservação do meio ambiente. Deste modo, a qualidade das águas superficiais depende do clima, da litologia da região, da vegetação que vive ao redor e da influência do homem, sendo esta última, a causadora das maiores alterações na composição da água (CERETTA, 2004). Por isso, a importância da avaliação da qualidade da água em rios, investigando, principalmente, de que forma a ação humana interfere na qualidade dessa água (PAIVA; SOUZA, 2010).

Desta maneira, a qualidade da água depende da forma como está sendo explorado o corpo d'água, pois quando se faz análise de água é importante associar tal uso aos requisitos mínimos exigidos para cada tipo de aplicação, dentro da legislação. Neste contexto, a Resolução do CONAMA nº 357 em seu conteúdo, classifica as águas em classes, tendo cada uma o seu padrão de qualidade específico, estabelecendo seu uso conforme os valores dos parâmetros de qualidade da água estabelecidos para cada classe.

É importante lembrar também que a Lei 9433/97 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos tem como fundamentos: a água como bem público, a água como um recurso natural limitado e com valor econômico, em situação de escassez deve-se priorizar

o uso da água para o consumo humano e para a dessedentação de animais. Ainda, a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e proporcionar uso múltiplo das águas, além disso, a bacia hidrográfica é considerada a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Nestes fundamentos assume-se a importância da água na sobrevivência humana e na sua qualidade de vida. Por isso, a descentralização da gestão dos recursos hídricos surge como uma sugestão ao modelo de forte atuação da esfera federal, vigente há muito tempo no país. Antes de se pensar em bacia hidrográfica como unidade territorial coerente com o meio físico dos recursos hídricos, é válido pensar em um modelo de atuação institucional que atenda primeiramente às necessidades e interesses locais (MARCON, 2001).

3.6 Os impactos do mercúrio na saúde humana e no meio ambiente

A poluição provocada pelo mercúrio nas atividades de garimpo apresenta grandes impactos na saúde do ser humano, pois o mercúrio quando lançado no meio ambiente é oxidado a forma mais tóxica, podendo incorporar-se ao organismo humano através da cadeia alimentar ou até mesmo por inalação de vapores do metal. Deste modo, pode ocasionar sérios danos à saúde humana.

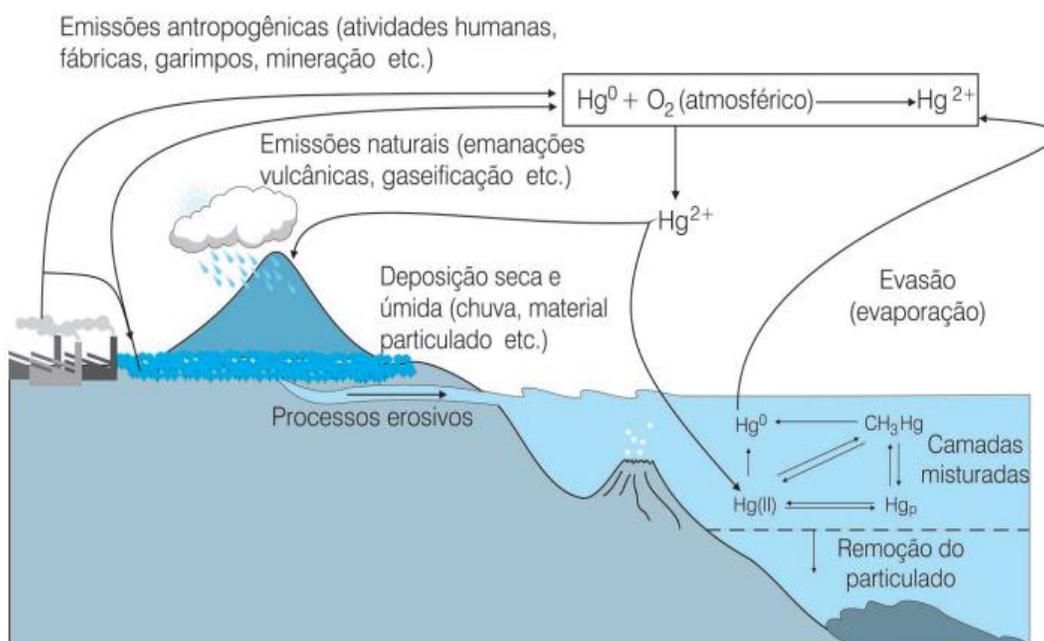
Quando em contato com o organismo humano, o mercúrio traz efeitos catastróficos, podendo levar até a morte, pois ao penetrar no organismo o mercúrio se deposita nos tecidos provocando lesões graves comprometendo alguns órgãos como rins, fígado e o sistema nervoso central (SOUZA; BARBOSA, 2000).

Para Bisinoti e Jardim (2004) o metilmercúrio (metilHg) é a forma mais tóxica do mercúrio, o que desperta interesse em seu estudo, por apresentar a capacidade de ser bioacumulado por adsorção em corpos superficiais, na ingestão de alimentos, como os peixes, assim como sua entrada por meio de via antrópica no ambiente, em diversas vezes ao longo da cadeia alimentar. Entretanto, a sua exposição ao ar e a água, dependem do nível de concentração, podendo contribuir para elevar o nível de mercúrio total (HgT) no organismo humano. Os autores reforçam ainda que os sedimentos de rios, lagos e oceanos contaminados com mercúrio, são extremamente perigosos, uma vez que o mercúrio confinado, tem a capacidade de permanecer ativo como substrato para metilação, por aproximadamente 100

anos, por mais que sua fonte seja eliminada. Em vista disso, é importante se ter conhecimento do ciclo biogeoquímico do mercúrio no ambiente, para se entender o seu grau de toxicidade e de seus compostos, uma vez que este ciclo do mercúrio é caracterizado pelas rotas que este composto pode seguir no ambiente.

Na Figura 2 tem-se um esquema geral sobre o ciclo global do mercúrio, suas fontes de liberação e/ou descargas na natureza e as transformações químicas sofridas ao longo da cadeia, conforme apresentado e discutido por Sousa e Barbosa (2000).

Figura 2- Ciclo Global do Mercúrio.



Fonte: Sousa e Barbosa (2000).

É comum ocorrerem acidentes com mercúrio nos garimpos de ouro, pois muitos indivíduos já foram afetados por inalação de vapores de mercúrio. As consequências são fraqueza, fadiga, anorexia e outros sintomas que podem levar ao início de algumas doenças provocadas pelo metal.

A mineração, como toda atividade econômica, apresentam grande contribuição para a alteração do meio ambiente, pois é através dela que o homem extrai recursos que suprem com matérias primas grande parte dos setores da economia do país e do mundo. A mineração e a agricultura, juntamente com outras atividades, como a produção de energia e a construção civil, são as maiores causadoras dos impactos ambientais já vistos na história da humanidade.

Explorar os recursos minerais é importante tanto para o desenvolvimento econômico do país como para atender às necessidades humanas, porém é importante que se faça de maneira sustentável, sem agredir o meio ambiente, em especial os recursos hídricos.

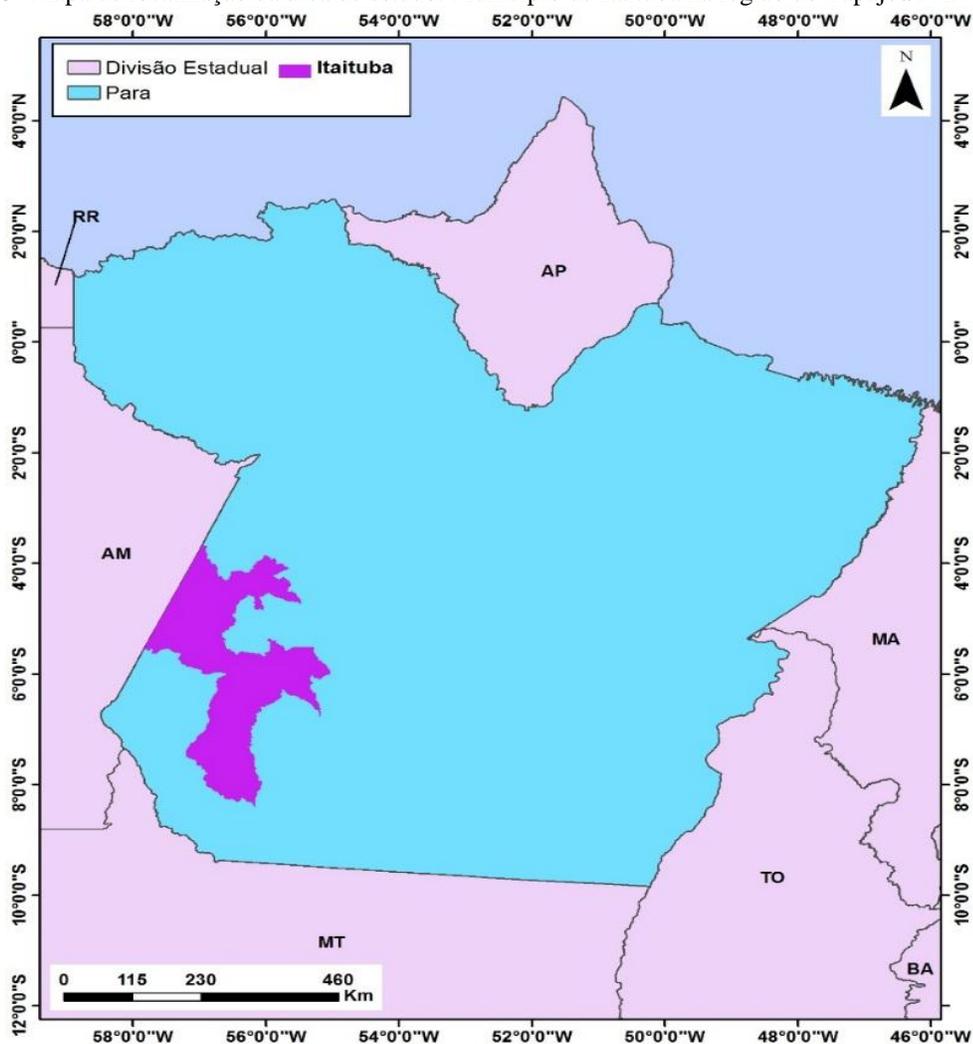
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Localização da área de estudo

4.1.1 Itaituba

A área de estudo está localizada na cidade de Itaituba (Figura 3), que fica localizada às margens do rio Tapajós, no oeste do estado do Pará (latitude $-4^{\circ}16'32.02''$ S e longitude $-55^{\circ}58'55.9''$ W). Segundo dados do IBGE (2013) 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.

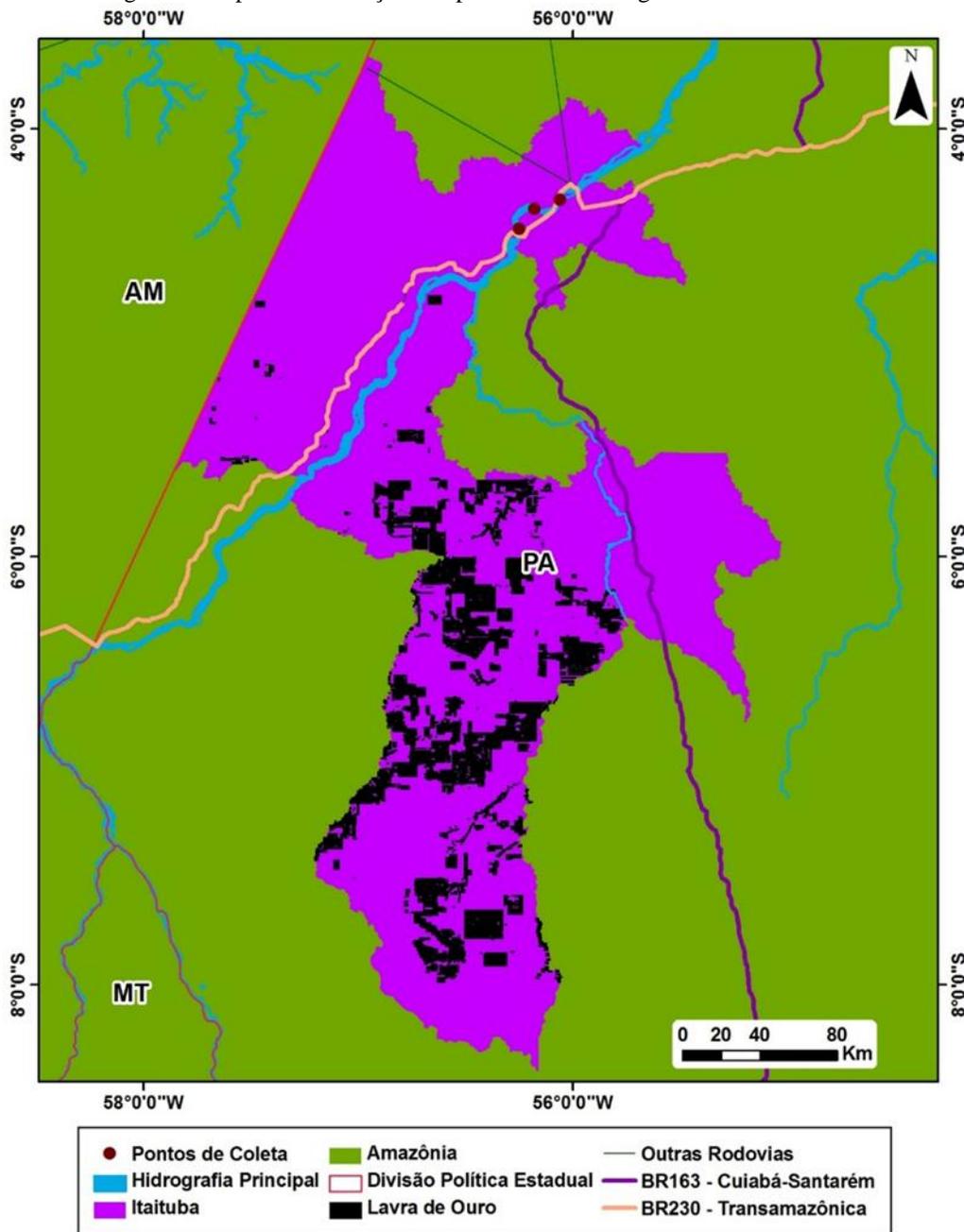
Figura 3- Mapa de localização da área de estudo. Município de Itaituba na região do Tapajós/PA.



Fonte: Base de dados do IBGE (2013)

Outra área de estudo desta pesquisa foi delimitada ao longo do rio Tapajós para a coleta de água e sedimento, próximo ao município de Itaituba (Figura 4). As coletas foram realizadas em outubro de 2013, período de estiagem da região.

Figura 4- Mapa de localização dos pontos de amostragem na área de estudo.



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

O rio Amazonas é considerado o segundo maior do planeta em extensão, pois percorre, aproximadamente, 6.000 km, e o maior do mundo em vazão de água de 133.861m³/s, que correspondem a 68% de descarga fluvial total do país. O rio Tapajós é um dos seus principais afluentes, representando 8% da área total da bacia, possuindo uma área de drenagem de 490.000 km²e uma vazão média de 13.500 m³/s que representam 6% da descarga média do rio Amazonas (IPEM, 2006).

O clima da região é quente e úmido. A economia do município de Itaituba é baseada no setor de serviços, responsável por 71% de toda a riqueza produzida no município. A região é atravessada pelas rodovias Cuiabá-Santarém (BR-163) e Transamazônica (BR-230), apresentando intensa exploração madeireira, exploração mineral, e produção agropecuária, incluindo atividades de pesca, já que a região possui um intenso potencial pesqueiro.

Os setores de mineração, indústria e o agronegócio se destacam na região, sendo que no setor industrial são marcantes produtos que são gerados a partir do calcário, como o cimento, visto que a cidade é considerada como uma das maiores produtoras de cimento do país. No setor mineral são destacadas as atividades de exploração de ouro no Tapajós onde foram instalados grandes conglomerados relacionados à atividade de mineração, destacando o município como responsável no país por 1,1% de toda a riqueza produzida neste setor. Já o setor agropecuário é responsável pelas atividades de agricultura familiar e a pecuária de pequeno porte (IBRAM, 2013).

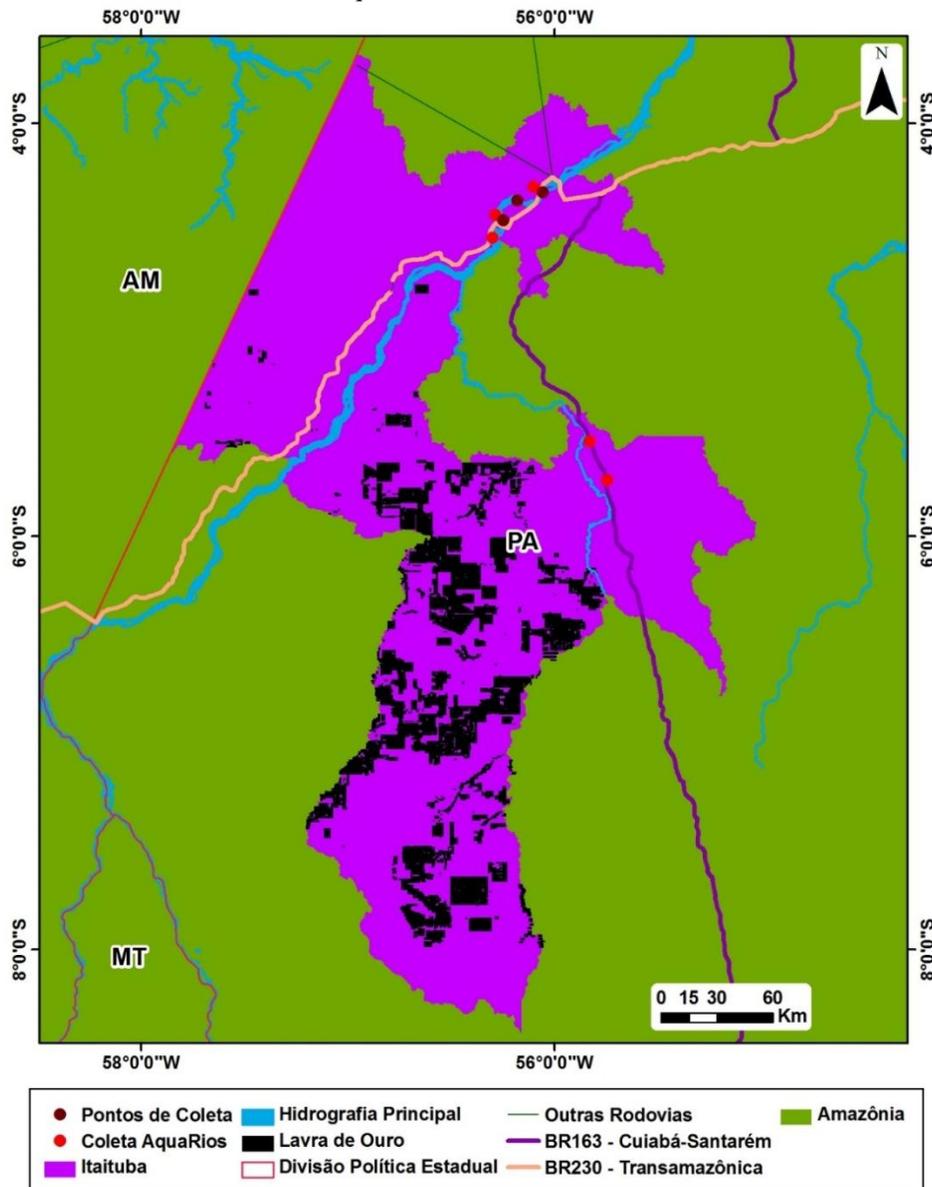
Os pontos de coleta de água e sedimento definidos nesse trabalho estão apresentados na Tabela 1. Para efeito de comparação das análises das amostras deste trabalho com as amostras do Projeto AquaRios, estão dispostos no mapa da Figura 5os pontos de amostragem do projeto AquaRios (coletas em Itaituba), cujas informações estão disponíveis em banco de dados e que foram utilizadas para a realização de análises comparativas entre os dados coletados em 2007 e 2008 e nas atividades do presente projeto de mestrado.

Tabela 1-Pontos de amostragens no rio Tapajós com suas coordenadas geográficas.

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

Fonte: Elaborado pela autora (2013).

Figura 5- Mapa de localização dos pontos de coleta deste trabalho com os pontos de amostragem do Projeto AquaRios em Itaituba/PA.

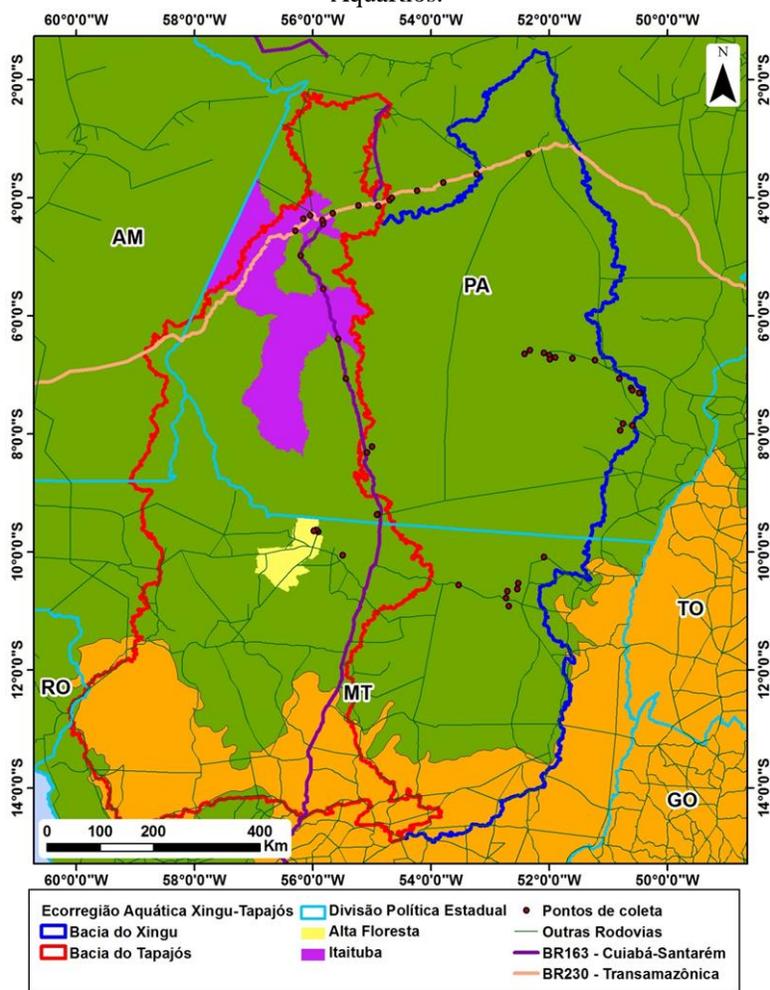


Fonte: Projeto AquaRios, MMA, ANA, IBGE, CENTRAN, Expedição a campo.
Elaboração: MSc. Ricardo Silva (2013).

4.1.2 Ecorregião Aquática Xingu-Tapajós

Este trabalho utilizou os dados do projeto AquaRios que tem como área de estudo a Ecorregião Aquática Xingu-Tapajós (Figura 6) que está localizada, aproximadamente, entre as coordenadas 5°0'00"S 15°0'00"S e 50°0'00"W 60°0'00"W, incluindo as bacias hidrográficas do rio Tapajós, a montante de Itaituba, e Xingu, a montante do rio Acaraí, no município de José Porfírio, com 49% e 51%, respectivamente, do total da ecorregião. Ocupando uma área de 980.457,81 km², a Ecorregião é composta por 111 municípios abrangendo quatro estados da Amazônia Legal: Pará, Mato Grosso, Rondônia e Amazonas.

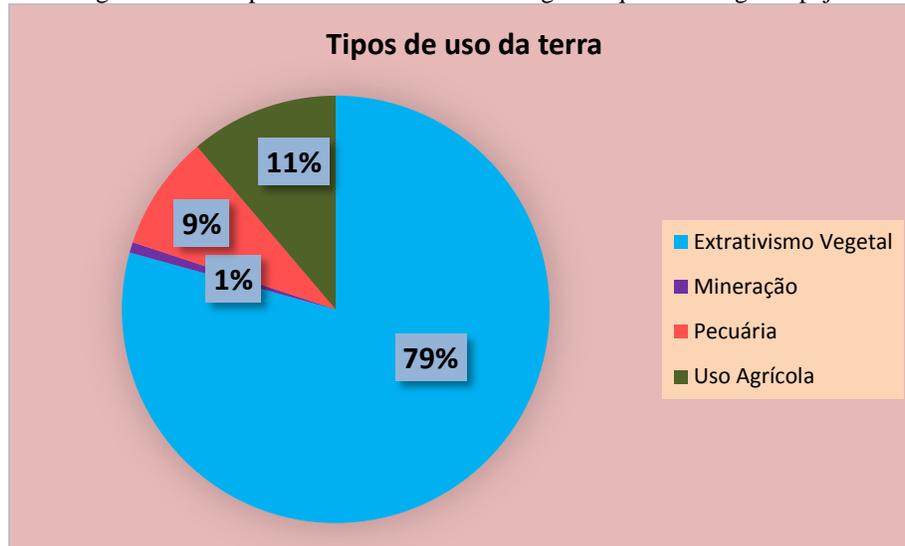
Figura 6- Mapa de localização dos pontos de amostragem da Ecorregião Aquática Xingu-Tapajós do Projeto AquaRios.



Fonte: Projeto AquaRios, MMA, ANA, IBGE, CENTRAN, Expedição a campo.
Elaboração: MSc. Ricardo Silva (2013).

A densidade demográfica da Ecorregião é de cerca de 2 hab/km² e a ocupação do uso da terra é predominada pelo extrativismo vegetal, que ocupa cerca de 80% do território, seguida pela agricultura e pecuária (cerca de 19%) e finalmente, pela mineração (aproximadamente, 1%), conforme apresentado na Figura 7 (CASTILHOS et al., 2011).

Figura 7 - Principais usos da terra na Ecorregião Aquática Xingu-Tapajós



Fonte:Castilhos et al. (2011).

Ainda com base nas informações de Castilhos et al. (2011), a Ecorregião abrange aproximadamente 25% do estado do Pará e 15% do estado do Mato Grosso. Dos municípios pertencentes a esta área grande parte está entre os estados do Pará (40 municípios) e Mato Grosso (71 municípios); apenas dois municípios (Apuí e Maués) pertencem ao estado do Amazonas e somente um (Vilhena) ao estado de Rondônia.

4.1.3 Alta Floresta

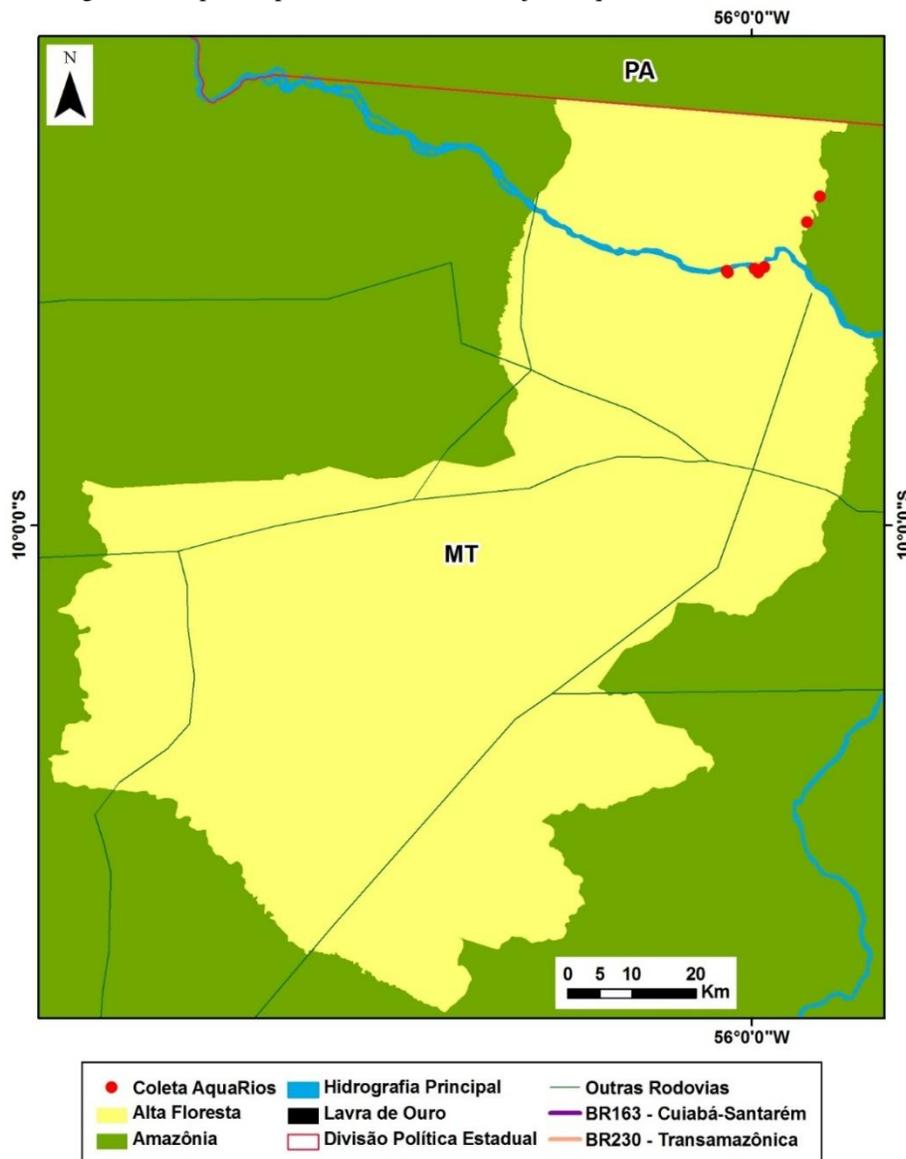
Dentre os municípios pertencentes à Ecorregião aquática Xingu-Tapajós, o município de Alta Floresta foi escolhido como área - controle (Figura 8), devido à baixa influência das atividades de mineração e pela localização do município ser mais distante das áreas de garimpo do Tapajós.

Alta Floresta pertence ao estado do Mato Grosso, entre as coordenadas latitude 09° 52' 32" S e longitude 56° 05' 10" W, possui uma população estimada de 49.761 habitantes,

com densidade demográfica de 5,48 hab/km² e área de unidade territorial 8.976,177 km², conforme dados do IBGE (2013).

De acordo com os dados da Prefeitura de Alta Floresta, a parte norte da cidade é dominada por madeiras. O clima da região é tropical chuvoso e com nítida estação seca com temperatura média de 26°C. O município é cercado por diversos rios e cachoeiras, e devido a esse grande potencial natural, recebeu o selo turístico desde 1996, destacando o turismo ecológico e a pesca esportiva.

Figura 8- Mapa dos pontos de coleta do Projeto AquaRios em Alta Floresta



Fonte: Projeto AquaRios, MMA, ANA, IBGE, CENTRAN, Expedição a campo.
Elaboração: MSc. Ricardo Silva (2013).

4.2 Métodos de Amostragem

4.2.1 Águas superficiais

No presente estudo, foram selecionados três pontos ao longo do rio Tapajós em Itaituba para realizar coletas de água e sedimento.

As amostras de água foram coletadas em frascos de polietileno (Figura 9) e conservadas em meio ácido (HNO_3 a 5%), devidamente identificadas, em seguida foram conservadas em gelo, e posteriormente foram encaminhadas ao Laboratório de Especificação de Mercúrio Ambiental – LEMA, do CETEM – Centro de Tecnologia Mineral, para determinação das concentrações de Mercúrio Total (HgT) -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.

Para a determinação dos parâmetros físico-químicos das matrizes de água deste trabalho foram medidos no campo: pH, temperatura, oxigênio dissolvido (OD) e condutividade elétrica – determinados por meio de equipamentos portáteis, a saber: pH e temperatura – Thermo ElectronCorp/Orion 290 A+; oxigênio dissolvido – YSI/55 Dissolved Oxygen; condutividade elétrica – Orion modelo 115.

Os metais (Fe, Mg, Cd, Pb, Cu, Cr, Ca, Zn, e Al) determinados nas matrizes de água foram analisados pelo laboratório de análise química do CETEM, por meio do método ICP-OES: Espectrofotometria de emissão ótica com plasma induzido.

Os dados secundários utilizados nesse trabalho foram obtidos por Castilhos et al. (2011), em coletas de campo realizadas nos anos de 2007 e 2008. A metodologia de coleta, bem como a escolha dos pontos de amostragem, está descrita em Castilhos et al. (2011). No referido projeto foram coletadas 77 amostras de água superficial em diversos pontos que cobriram a área da Ecorregião Aquática Xingu-Tapajós.

Dos pontos de amostragem de água selecionados no AquaRios, 5 estão localizados no entorno da região garimpeira de Itaituba. As amostras coletadas foram submetidas às análises físicas e químicas para a determinação dos parâmetros de qualidade de água, como pH, temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica, realizadas em campo. As amostras de água para determinação de mercúrio foram coletadas e preservadas conforme

metodologia descrita em Castilhos et al. (2011); as análises foram realizadas no LEMA/CETEM, por espectrofotometria de absorção atômica em vapor frio.

Figura 9- Coleta das amostras de água do rio Tapajós em frasco de polietileno.



Fonte: Foto da autora (2013).

4.2.2 Peixes

A coletados peixes foi realizada nos principais pontos de vendas de peixes do município de Itaituba. Foram coletadas 40 espécimes de peixes mais comercializados e consumidos pela população local, sendo 10 exemplares de 4 espécies diferentes. Esses indivíduos foram pesados, medidos (comprimento total) e manuseados para retirada de amostras dos músculos (Figura 10), as quais 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 foi usada nas análises de água. Na obtenção de MeHg o método utilizado pelo LEMA/CETEM segue o protocolo analítico do Instituto Nacional de Minamata, Japão, cujo Limite de Detecção do método é 2ng/g.

Figura 10- Retirada dos músculos das espécimes de peixes amostrados.



Fonte: Foto da autora (2013).

4.2.2.1 Caracterização dos organismos-teste

As amostras de peixes analisadas neste trabalho, de acordo com a população local, estão entre as mais consumidas e comercializadas no município de Itaituba e são espécies bastante abundantes na região: tucunaré, piauí, jaraqui e pescada branca. A seguir serão apresentadas algumas informações sobre cada espécie, bem como foto das amostras coletadas.

- a) *Semaprochilodus* sp.– Nome comum: Jaraqui

Figura 11-*Semaprochilodus* sp.



Fonte: Foto da autora (2013).

O *Semaprochilodus* sp. alcança cerca de 35 cm de comprimento total, pode ser facilmente identificado por apresentar as nadadeiras avermelhadas e uma faixa escura após o opérculo (Figura 11).

Os cardumes realizam frequentes migrações pelo canal para desovar ou a procura de novas áreas para alimentação e dispersão. É uma espécie com hábitos migratórios que alcança longas ou curtas distâncias, como a maioria pertencente a esta ordem, e se movimentam entre rios e lagos (ARRIFANO, 2011). A desova ocorre entre os meses de dezembro e fevereiro quando ocorre a cheia dos rios amazonenses.

É um peixe com hábito alimentar onívoro, na época da reprodução possui hábitos migratórios noturnos com desova total, forma cardumes que desovam em águas calmas (ARAUJO-LIMA; GOULDING, 1998).

A espécie possui uma característica importante que é a dificuldade de captura com anzóis, o que torna o jaraqui de difícil captura não servindo à modalidade de pesca esportiva.

b) *Cichla* sp. – Nome comum: Tucunaré

Figura 7-*Cichla* sp.



Fonte: Foto da autora (2013).

O gênero *Cichla* pertence à ordem Perciforme e a família Cichlidae. Existem 15 espécies deste gênero e cada uma diferencia-se por suas características externas que compreendem a coloração do corpo e as manchas (Figura 12) (KULLANDER; FERREIRA, 2006).

O tucunaré (*Cichla* sp.) é uma espécie da bacia Amazônica que possui hábito alimentar carnívoro e tem sido muito utilizado para peixamentos (operação realizada na piscicultura para povoamento, repovoamento e estocagem de alevinos) em barragens ou açudes, por apresentar carne de excelente qualidade e possui boas características para a pesca esportiva (NASCIMENTO; CATELLA; MORAES, 2001).

A alimentação do tucunaré varia de acordo com a faixa etária das espécies, pois segundo Arcifa e Meschiatti (1993) os peixes mais jovens se alimentam principalmente de insetos aquáticos e os adultos são piscívoros. Estas espécies são de porte médio, chegando a medir aproximadamente 50 cm de comprimento total. Possuem hábitos diurnos e têm preferências por águas paradas.

c) *Leporinus* sp.- Nome comum: Piau

Figura 13-*Leporinus* sp.



Fonte: Foto da autora (2013).

O piau (Figura 13) é um peixe conhecido, em muitas regiões, como peixe três tintas, ele é encontrado em todas as bacias hidrográficas brasileiras. Possui o corpo alongado e fusiforme, e chega a medir até 30 cm de comprimento total na fase adulta (LOPES, 2012). É um peixe de hábito alimentar onívoro (T. FILHO et al., 2000).

As espécies de peixes piau pertencem à família Anostomidae e a ordem Characiforme, são restritos à América do Sul, e são espécies que existem gêneros diferentes entre elas, sendo que o gênero *Leporinus* engloba, cerca de 50% destas espécies pertencentes à família Anostomidae (MELO; RÖPKE, 2004).

O peixe piau, no geral, é criado para a pesca de subsistência e feiras populares (LOPES, 2012), uma vez que sua reprodução ocorre por desova total ou desova induzida, sendo esta última realizada em tanques de criação de peixes, geralmente, em estações de piscicultura. O período de reprodução destas espécies ocorre, normalmente, entre os meses de novembro a fevereiro (TAVARES; GODINHO, 1994).

d) *Plagioscion squamosissimus*– Nome comum: Pescada branca

Figura 14-*Plagioscion squamosissimus*



Fonte: Foto da autora (2013).

O *Plagioscion squamosissimus* pertence à ordem Perciforme e à família Sciaenidae, considerada a maior ordem dos vertebrados porque possui em torno de 150 famílias (ARRIFANO, 2011).

A pescada branca possui esqueleto ósseo e corpo recoberto de escamas, é uma espécie que está presente em quase todos os grandes rios e lagos da Amazônia, ocorrendo em águas brancas e negras. É um peixe de bastante aceitação na região, sendo consumido, comumente, de forma fresca e seco-salgada (LOURENÇO; FERNADES; CINTRA, 2001).

As espécies pertencentes a este gênero são piscívoras e apresentam grande valor comercial, muitas vezes são consumidas pelo próprio pescador, além de servirem para serem exploradas pela pesca esportiva (BARBOSA, 2009).

Segundo Nelson (1994), o *Plagioscion squamosissimus* atinge a sua primeira maturação sexual medindo de 18 a 20 cm de comprimento total e reproduz-se nos períodos de vazantes e secas, desovando próximos, ou mesmo dentro dos estuários e recifes, em geral, no período noturno.

Esta espécie possui o corpo com coloração prateada apresentando uma linha lateral escura, próximo a nadadeira peitoral e seus exemplares podem chegar até 50 cm de comprimento (Figura 14). São carnívoras alimentando-se de peixes, camarões e insetos.

4.2.3 Sedimento

As amostras de sedimento foram coletadas nos mesmos 3 pontos das coletas de água, utilizando-se coletor de sedimento – draga de Eckman; com a ajuda de uma basqueta e uma pá de material plástico foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificadas e posteriormente acondicionadas em isopor com gelo para transporte até o LEMA/CETEM para determinação de HgT, MeHg, além de outros metais como: Fe, Cd, Pb, Cu, Cr e Zn.

No laboratório as amostras secas de sedimento foram maceradas em gral e pistilo de porcelana, e classificadas em peneira de malha 0,074 mm; posteriormente levadas ao analisador de mercúrio LUMEX – 915⁺ para quantificação de Mercúrio Total por espectrofotometria de absorção atômica.

A determinação dos metais foi realizada através do método analítico ICP-OES (Espectrofotometria de emissão ótica com plasma induzido) no laboratório de análise química do CETEM.

Para a determinação de metilmercúrio o método utilizado pelo LEMA/CETEM segue o protocolo analítico do Instituto Nacional de Minamata, Japão.

A distribuição granulométrica dos sedimentos do Projeto AquaRios foi realizada por via úmida conforme procedimentos descritos por Guy (1969) citado por Castilhos et al. (2011).

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1 Análise química e físico-química das amostras de água

Os resultados dos parâmetros químicos e físicos determinados na campanha de campo deste trabalho, realizada no rio Tapajós, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2-Parâmetros químicos e físicos das amostras de água coletadas no rio Tapajós em outubro de 2013.

PONTOS	Temperatura (°C)	pH	Condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	OD (mg/L)
A1	31,1	6,77	200	7,31
A2	30,8	6,80	100	7,28
A3	31	6,15	200	7,48
M e DP	31 \pm 0,15	6,6 \pm 0,4	170 \pm 58	7,4 \pm 0,11

M e DP = Média e Desvio Padrão

Fonte: Elaborado pela autora (2013).

A coleta de amostras e dados de campo foi realizada em outubro de 2013, no final do período de estiagem da região. Estes dados foram comparados com dados disponíveis do Projeto AquaRios, para as regiões de Itaituba e Alta Floresta, conforme apresentado nas Tabelas 3e 4, respectivamente.

Tabela 3- Parâmetros químicos e físicos das amostras de água coletadas ao longo do rio Tapajós em Itaituba (Projeto AquaRios).

PONTOS	Temperatura (°C)	pH	Condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	OD (mg/L)
AR2008092801A	31,7	6,90	210	7,01
AR2008092802A	30,2	6,20	180	7,10
AR2008092803A	28,2	7,46	1190	7,40
AR2008092902B	20,0	6,50	nd	9,00
AR2008093001A	29,5	6,49	380	5,44
M e DP	27,9 \pm 4,6	6,7 \pm 0,5	490 \pm 475	7,2 \pm 1,3

M e DP = Média e Desvio Padrão

nd = não detectado

Fonte: Banco de dados do projeto AquaRios (2011).

Tabela 4- Parâmetros químicos e físicos das amostras de água coletadas ao longo do rio Teles Pires em Alta Floresta (Projeto AquaRios).

PONTOS	Temperatura (°C)	pH	Condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	OD (mg/L)
AR2008100405B	30,0	6,0	nd	7,0
AR2008100401A	25,8	6,5	300	4,3
AR2008100403B	27,0	6,0	nd	7,0
AR2008100402B	32,0	6,0	nd	7,0
AR2008100404B	30,0	6,0	nd	8,0
AR2008100302B	29,0	6,0	900	nd
AR2008100402A	28,3	6,7	480	6,3
M e DP	28,9±2,1	6,2±0,3	560±308	6,5±1,4

M e DP = Média e Desvio Padrão; nd = não detectado

Fonte: Projeto AquaRios (CASTILHOS et al, 2011).

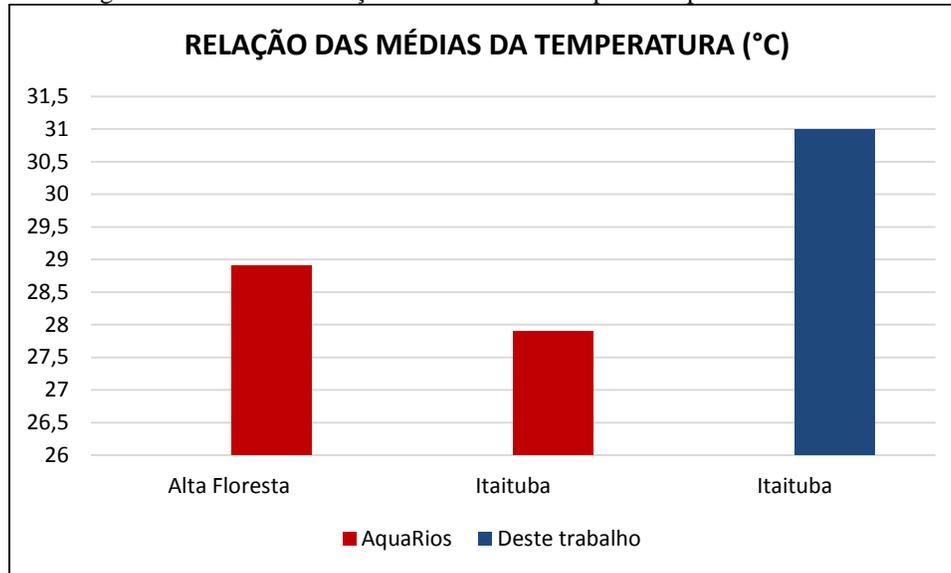
5.1.1 Temperatura

O valor médio de temperatura registrado neste trabalho está disposto no gráfico da Figura 15, para efeito de comparação com os valores médios de temperatura, registrados pelo Projeto AquaRios.

Analisando o gráfico, observa-se que a temperatura registrada neste trabalho, nas águas do rio Tapajós, aumentou em relação à temperatura registrada por Castilhos et al. (2011) no mesmo rio, passando de 27,9°C para 31°C. O mesmo ocorreu ao se comparar a temperatura registrada neste trabalho com aquela registrada em Alta Floresta no rio Teles Pires pelo AquaRios, sendo esta de 28,9°C passando para 31°C no rio Tapajós neste trabalho.

Estes valores demonstram que não houve uma variação tão significativa, pois ambas as coletas foram realizadas durante o período seco da região e essas variações são típicas dos rios da Amazônia nesse período seco, cuja temperatura média anual varia de 25°C a 30°C (IPEM, 2006).

Figura 15- Gráfico da relação das médias de temperatura por locais de coleta.



Fonte: Elaborado pela autora (2013).

Os valores de temperatura encontrados neste trabalho são semelhantes aos valores encontrados por Guimarães (2009) no rio Madeira, o qual registrou uma variação de 27 a 30°C no período seco da região, e por Martins (2009) em avaliação das águas superficiais na sub-bacia do rio Candeias em Rondônia, registrando uma variação de 26 a 28,5°C. Para Martins (2009), as águas da região amazônica sofrem, naturalmente, bruscas modificações de forma contínua, e ao receberem algum tipo de contaminante a temperatura da água é alterada. O que pode ter acontecido com o aumento de temperatura da água na coleta deste trabalho, podendo ter sido influenciada por algum contaminante, como consequência da influência das atividades de mineração nesta região.

5.1.2 pH

Os valores médios de pH registrados neste trabalho e no referencial comparativo estão dispostos no gráfico da Figura 16.

O valor médio de pH encontrado na coleta deste trabalho no rio Tapajós em Itaituba foi de 6,6, bem semelhante ao valor medido por Castilhos et al. (2011), que foi de 6,7. Comparando estes valores com o valor médio registrado no rio Teles Pires (área controle), em que o pH foi de 6,2, ficou evidenciada a pouca variação nas três coletas, caracterizando as águas destes afluentes do rio Amazonas como levemente ácidas. Esses resultados são

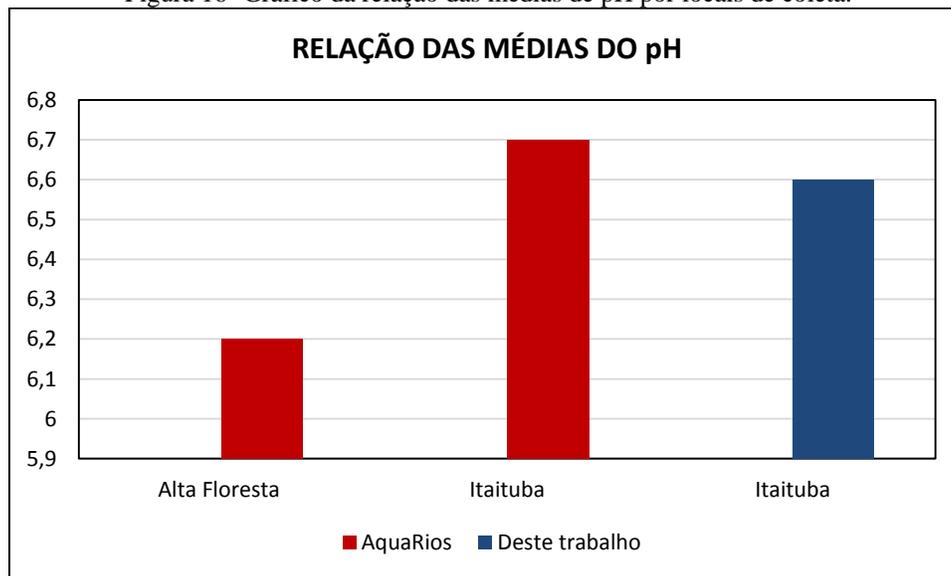
concordantes com o valor médio encontrado por Silva et al. (2011) de 6,5, ao avaliar indicadores de matéria orgânica em rios da Amazônia.

Miranda et al.(2009) em seus estudos no rio Tapajós, registraram uma média de pH de 7,4 permitindo mostrar um valor acima da média encontrada neste estudo, mas que não está muito longe dos valores característicos de pH para os rios amazônicos. Com base no estudo de Sioli (1964), os rios de águas claras da região amazônica, como o Tapajós, são considerados levemente ácidos e ligeiramente alcalinos, devido à pouca influência de ácidos húmicos.

Durante o período de estiagem, os valores de pH tendem a diminuir, devido ao menor volume de água do rio que faz com que a acidez da água aumente; porém, os valores registrados neste estudo apresentaram níveis de pH mais elevados, considerados como ligeiramente alcalinos, estando próximos aos valores encontrados em outros trabalhos na literatura (SIOLI, 1964).

Os valores encontrados nas três coletas estão de acordo com os valores determinados pela resolução do CONAMA 357/2005 para águas doces de classe 2, cujas condições padrões de pH variam de 6 a 9.

Figura 16- Gráfico da relação das médias de pH por locais de coleta.



Fonte: Elaborado pela autora (2013).

5.1.3 Condutividade Elétrica

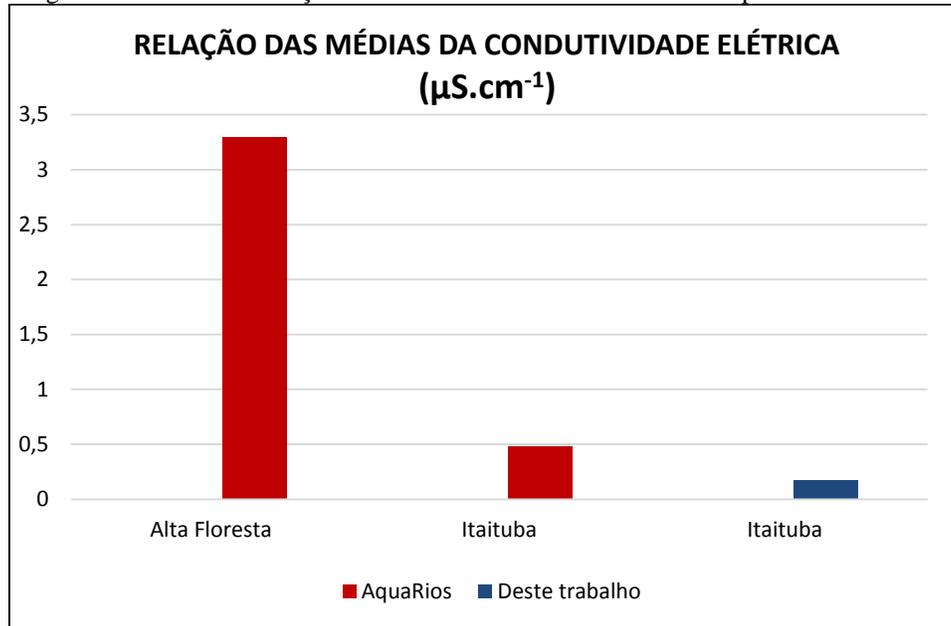
O valor encontrado na coleta deste trabalho para Itaituba foi de $170\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, enquanto os valores registrados no banco de dados do projeto AquaRios (CASTILHOS et al., 2011) foram de $490\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ em Itaituba e $560\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ em Alta Floresta. Pode-se observar que, das três coletas, aquela realizada em Alta Floresta, apresentou maior média (conforme Figura 17), possivelmente devido à maior carga iônica resultante da presença de nutrientes nos pontos amostrados.

O valor médio encontrado em Alta Floresta de $560\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ está acima do maior valor encontrado por Zillmer, Varella e Rossete (2007) de $414\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ao estudarem as variações dos fatores físico-químicos na qualidade da água no Ribeirão Salgadinho, em Nova Xavantina, também no estado do Mato Grosso.

Para Umetsu et al. (2007), o valor médio de condutividade elétrica encontrado no rio Teles Pires no período de estiagem foi de $14\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Silva (2006), em trabalho que avaliou a qualidade da água em microbacias hidrográficas na região amazônica encontrou valores médios de $28\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ no rio Preto Candeias, em Rondônia.

Com base nos dados apresentados por esse trabalho e coletados na literatura, nota-se que os valores encontrados nas coletas deste trabalho estão abaixo do valor encontrado na área controle (Alta Floresta), estando, possivelmente, relacionados à menor concentração de íon em solução, influenciados pelo conteúdo mineral nos pontos de amostragens. O período de estiagem da região pode ter contribuído com essa redução, por haver pouca diluição de contaminantes na água. A maioria dos valores de metais encontrados neste estudo encontra-se dentro dos limites estabelecido pelo CONAMA, como será apresentado e discutido mais adiante.

Figura 17- Gráfico da relação das médias de condutividade elétrica por locais de coleta.



Fonte: Elaborado pela autora (2013).

5.1.4 Oxigênio Dissolvido

Os valores médios do oxigênio dissolvido nos pontos amostrados estão apresentados na Figura 18. Para a coleta atual, foi encontrado valor médio de concentração de 7,4 mg/L, enquanto os dados secundários apresentaram valores de 7,2 mg/L e 6,5 mg/L para Itaituba e Alta Floresta, respectivamente.

O maior valor médio encontrado foi para a coleta deste trabalho, estando um pouco acima do valor encontrado em Alta Floresta, provavelmente devido à menor concentração de matéria orgânica nas amostras coletadas na área controle. Para Piveli e Kato (2005) as águas poluídas são aquelas cujas concentrações de oxigênio dissolvido apresentam-se com valores abaixo dos limites preconizados pela legislação (devido ao seu consumo na decomposição da matéria orgânica), enquanto que as águas limpas apresentam concentrações elevadas de oxigênio dissolvido.

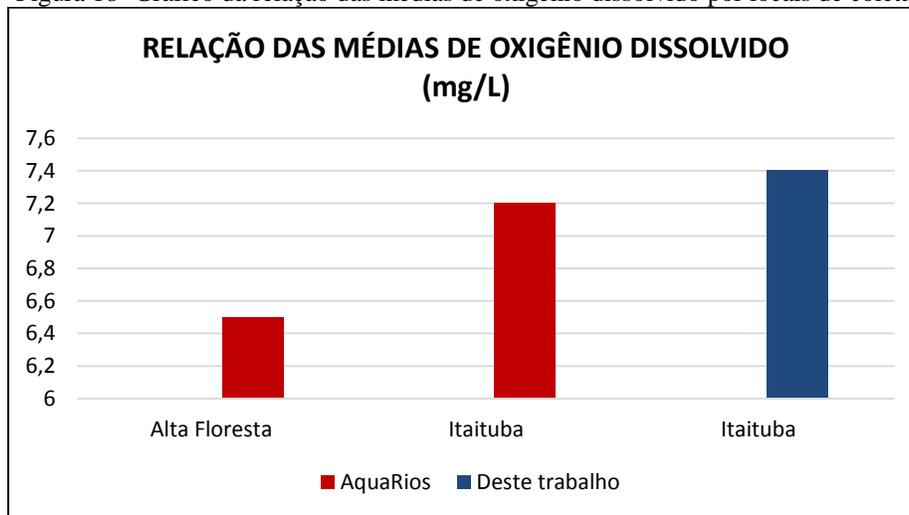
Os valores de concentração de oxigênio dissolvido encontrados nos pontos amostrados nesse trabalho encontram-se acima dos valores encontrados por Miranda et al. (2009) que, em sua pesquisa realizada no rio Tapajós, encontrou uma média de 5,8 mg/L, da mesma forma que Rios-Villamizar, Júnior e Waichman (2011) encontraram valor médio de 5,6 mg/L na bacia do rio Purus.

Para Umetsu et al. (2007) os valores de oxigênio dissolvido oscilaram entre 5,88 mg/L e 7,24 mg/L no rio Teles Pires. Para estes autores, o rio Teles Pires possui águas claras, assim como os rios Trombetas, Xingu e Tapajós, sendo estes os principais rios da bacia amazônica com esta característica.

A concentração de OD pode estar relacionada ao pH da água do rio, o qual tem relação direta com o teor de matéria orgânica. Segundo Maier (1987) o oxigênio dissolvido apresenta influência direta do pH, uma vez que em valores próximos da neutralidade a sua concentração pode estar associada à redução de matéria orgânica, favorecendo o aumento de oxigênio dissolvido na água. O mesmo aconteceu com os valores de OD registrados neste trabalho, estando com valores elevados, dentro dos limites da legislação, assim como os valores de pH, indicando baixa incidência de matéria orgânica nas águas do Tapajós.

Pode-se observar que os valores de oxigênio dissolvido, encontrados neste trabalho, seguem a mesma tendência dos outros tributários dos rios da Amazônia com características de rios de águas claras, como o rio Tapajós, estando estes valores dentro dos limites padrões (>5 mg/L) permitidos pelo CONAMA 357/2005 para águas doces de classe 2.

Figura 18- Gráfico da relação das médias de oxigênio dissolvido por locais de coleta.



Fonte: Elaborado pela autora (2013).

5.2 Conteúdo de mercúrio e outros metais pesados nas matrizes de água, sedimento de fundo e peixe, coletadas no rio Tapajós

5.2.1 Água

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

O mercúrio é considerado um metal altamente tóxico e é encontrado frequentemente em solos e rios da Amazônia, na grande maioria dos casos, devido à sua utilização nos garimpos durante a extração do ouro sem qualquer tipo de controle. Alguns autores, como Wasserman, Hacon e 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 nos ambientes amazônicos as concentrações de mercúrio, principalmente o metilmercúrio, é por causa da sua capacidade de se bioacumular por meio de absorção em corpos d'água na ingestão de alimentos, como os peixes, e sua incorporação no meio ambiente através da ação antrópica.

As concentrações de mercúrio total (HgT) nas amostras de água coletadas e analisadas nesse trabalho apresentaram-se abaixo do limite de detecção (LD >0,5 ng/L) do método analítico (espectrofotometria de absorção atômica).

De acordo com Lacerda e Pfeiffer (1992) as concentrações de mercúrio nas águas de rios da Amazônia são bem variáveis, de 10 e 8000 ng/L em áreas de garimpo, enquanto em rios não afetados pelo garimpo estas concentrações raramente ultrapassam a 10 ng/L, sendo que até 10% da concentração total em água encontram-se na forma metilada de Hg.

Roulet et al. (2000) encontraram valores de metilmercúrio próximo ou abaixo do limite de detecção (0,02 - 0,03 ng/L) em ecossistemas lênticos e lóticos no rio Tapajós em pesquisas com fitoplancton, zooplacton e epifíton, sendo que os únicos locais onde encontraram quantidades significativas de metilmercúrio (0,07–0,24 ng/L) foram em áreas de igapó e onde havia presença de macrófitas flutuantes.

Bisinoti, Júnior e Jardim (2007) encontraram valores de mercúrio total na faixa de 0,3 e 29,1 ng/L e de mercúrio orgânico entre 0,01 e 1,63 ng/L, 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 (IBGE, 1977), como pode ser observado nos resultados deste trabalho, cujo valores de pH estão dentro dos padrões permitidos pelo CONAMA de 6 a 9.

Por outro lado, 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.

Deste modo, Telmer et al. (2006) apresentaram resultados significativos de mercúrio em águas superficiais próximas à reserva garimpeira do Tapajós (até 28 ng/L), que foram valores considerados elevados, por se tratar de águas diretamente afetadas pelas operações do garimpo. Os autores concluíram que as quantidades elevadas de mercúrio das águas próximas à reserva garimpeira de ouro do Tapajós são devido à grande quantidade de material suspenso na coluna d'água, provenientes dos sedimentos do rio, pois durante as operações de dragagem nos garimpos, grande quantidade de material é despejada no rio e depositada nos sedimentos, sendo esta operação a principal fonte de contaminação por mercúrio. Esse fato leva a crer que a atividade de mineração de ouro contribui com o alto conteúdo de Hg no rio Tapajós.

Além da avaliação dos teores de mercúrio, também foram determinadas as concentrações de outros metais presentes nas matrizes de água estudadas nesse trabalho, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5- Teores médios de metais nas matrizes de água deste trabalho, em comparação com o CONAMA357/2005 e com os dados do Projeto AquaRios (AR) (Valores em ng/L).

Elemento	Desse trabalho (x 10⁶)	Itaituba - AR (x 10⁶)	Alta Floresta AR (x 10⁶)	CONAMA (x 10⁶)
Ca	0,857	1,70	0,970	-
Cd	0,004	0,240	0,003	0,001
Cr	0,002	0,0043	0,003	0,050
Cu	0,0067	0,0065	0,0015	0,009
Fe	0,117	0,754	0,453	0,300
Mg	0,574	0,350	0,413	-
Pb	0,007	nd	nd	0,010
Al	0,447	0,252	0,470	0,100
Zn	0,270	10,90	0,105	0,180

Fonte: Elaborado pela autora (2013)

Os resultados das concentrações de metais nas amostras de água mostram que a maioria deles estão em conformidade com o CONAMA 357/2005, porém os metais Cd, Al e Zn encontram-se com teores acima dos valores permitidos pela Resolução. Concentrações elevadas desses metais também foram encontradas por Castilhos et al. (2011), para as amostragens do projeto AquaRios, com destaque especial para o metal zinco, com concentração bem superior à preconizada pela legislação ambiental, para a amostra coletada em Itaituba.

A concentração do metal Cd apresentou concentração de 4000 ppm, quatro vezes mais 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 elevadas do metal, na faixa de 0,4 ppm, acima do nível máximo considerado pelo CONAMA que é de 0,1 ppm, Os valores registrados pelo projeto AquaRios também foram elevados, tanto para Itaituba quanto para Alta Floresta. Miranda et al. (2009) relatam que o Al, quase sempre, apresenta-se ligado aos argilo-minerais em suspensão, originados de processos de intemperismo de rochas, como o mineral caulinita, considerado como o principal contribuinte de Al na Amazônia.

O zinco encontrado no AquaRios esteve em concentrações bastante elevadas, quando comparado com este estudo, apresentando em Itaituba valores 40 vezes maior, estando muito acima do valor preconizado pela legislação, tanto para este estudo como para o AquaRios. A concentração de zinco em águas superficiais deve ser menor que 0,010 mg/L (CETESB, 2012). A presença de zinco na água resulta 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 mineração.

Conforme Bisinoti (2004) o mercúrio está fortemente associado às quantidades de material particulado em suspensão nos ambientes aquáticos e os teores elevados de alguns metais, além de outros fatores, podem estar relacionados com a geologia da região.

Para os resultados das análises físico-químicas das amostras de água deste trabalho, os valores de condutividade ($170\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) estão abaixo dos valores encontrados na literatura. Com base nas concentrações de oxigênio dissolvido encontradas, pode-se afirmar que a água amostrada apresentou-se adequada aos padrões Conama 357/2005, indicando pouca

quantidade de matéria orgânica nos pontos de coleta, como foi visto anteriormente. Pode-se dizer ainda, que os valores de mercúrio encontrados (menores do que 0,5 ng/L) podem estar relacionados com a pequena quantidade de matéria orgânica determinada nos pontos estudados.

A Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde estabelece um valor máximo permitido de mercúrio para consumo humano de 1000 ng/L. As amostras coletadas registraram valores menores que 0,5 ng/L, estando muito abaixo do valor preconizado pela portaria. Entretanto, 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).

Para Lacerda e Malm (2008) este metal, quando associado ao material particulado em suspensão, possui uma tendência de sedimentar, já o mercúrio dissolvido está mais biodisponível, podendo ser incorporado pela biota aquática. A sedimentação do material particulado que pode explicar os níveis reduzidos de mercúrio encontrados nas águas do rio Tapajós nesta pesquisa.

Segundo dados do IPEM (2003) nos ecossistemas aquáticos a maior parte do mercúrio total, cerca de 90 a 99%, encontra-se nos sedimentos; na água os valores alcançam de 1 a 10% e na biota aquática apenas 1%. Para o metil-mercúrio, as proporções estão distribuídas em 90 a 99% na biota aquática, de 1 a 10% nos sedimentos e somente 1% na água.

5.2.2 Sedimento

Os resultados dos teores de mercúrio nas amostras de sedimento do rio Tapajós (Itaituba, outubro/2013) estão apresentados na Tabela 6 e os resultados das amostras do Projeto AquaRios no rio Teles Pires (Alta Floresta) e no rio Tapajós (Itaituba) estão dispostos na Tabela 7.

Tabela 6- Concentrações de mercúrio total e metilmercúrio em amostras de sedimento em Itaituba (outubro/2013)

Pontos de amostragem	HgT (ng/g)	MeHg (ng/g)
A1	23,5	15,5
A2	9,95	nd
A3	36,5	24,6

Fonte: Elaborado pela autora (2013).

Tabela 7- Concentrações de mercúrio total nos sedimentos de Itaituba e Alta Floresta (Projeto AquaRios)

Alta Floresta	HgT (ng/g)	Itaituba	HgT (ng/g)
AR200810045B	37	AR2008092801A	33,5
AR200810041A	34	AR2008092802A	104
AR200810043B	41	AR2008092803A	nd
AR200810042B	4,8	AR2008092902B	65,5
AR200810032B	10,1	-	-
Mx e Mn	41 - 4,8	Mx e Mn	104 - 33,5
M e DP	25,4 ± 16,7	M e DP	67,6 ± 35

Mx = Máximo; Mn = Mínimo; M = Média; DP = Desvio Padrão

Fonte: Projeto AquaRios (CASTILHOS et al., 2011).

Analisando as Tabelas 6 e 7 pode-se perceber que o maior valor de HgT (36,5 ng/g) encontrado nas amostras de sedimento deste trabalho foi, aproximadamente, 2,8 vezes menor que o valor máximo registrado em Itaituba no projeto AquaRios (104 ng/g); o valor encontrado nesse trabalho (36,5 ng/g) também ficou abaixo da concentração registrada em Alta Floresta (41 ng/g).

A determinação da concentração de metais em sedimento constitui-se em uma importante referência de avaliação da poluição de ambientes aquáticos por metais pesados, como o mercúrio, por exemplo (SILVA, 1997). Mascarenhas et al. (2004) encontraram valores médios de concentração de mercúrio de 58 e 48 ng/g, respectivamente, em sedimentos do rio Acre e dos seus afluentes. Estes valores encontrados são considerados baixos, por causa da localização do rio Acre, que está distante de áreas sob influência de garimpo de ouro. Este rio possui características muito semelhantes ao rio Tapajós por ser classificado também como rio de águas claras.

Comparativamente, os teores de HgT encontrados neste trabalho são menores que os valores encontrados por Silva (1997) nos sedimentos do rio do Rato (230 ng/g) e de seus

afluentes (1600 ng/g), ambos pertencentes a bacia do rio Tapajós, para amostras coletadas em locais próximos de extração de ouro.

Alcântara (2004, apud RODRIGUES FILHO et al., 2004) encontrou próximo ao rio Crepori, afluente do rio Tapajós, concentrações médias de HgT de 2250 ng/g nos sedimentos do córrego São Chico, 720 ng/g no córrego Rosa e 15800ng/g no córrego Conrado com Rio Novo.

O metilmercúrio em sedimentos foi detectado em dois dos três pontos de amostragem avaliados nesse trabalho (Tabela 6). O maior valor encontrado foi 24,6 ng/g, muito abaixo dos valores médios encontrados por Bisinoti, Júnior e Jardim (2007) em sedimentos da bacia do rio Negro, variando de 190 a 3760 ng/g.

Guimarães (2009) também encontrou resultados de metilmercúrio em sedimento no rio Madeira de 840 a 1400 ng/g, segundo ele, estes valores estão dentro do níveis atribuídos pela literatura para a região Amazônica. Em contrapartida, Nevado et al. (2010) registraram valores muito baixos (<0,5 ng/g) de metilmercúrio em sedimentos de lagos na bacia do rio Tapajós.

Segundo Lacerda e Pfeiffer (1992) as concentrações de mercúrio nos sedimentos de rios da Amazônia, sem estarem afetados pelas atividades garimpeiras, variam naturalmente entre 20 e 100 ng/g; já em rios contaminados por resíduos da atividade garimpeira estas concentrações variam entre 500 e 4000 ng/g, podendo chegar até a 19.800 ng/g, sendo que até 2% destas concentrações encontram-se na forma metilada de Hg.

Observa-se que os teores de metilmercúrio encontrados neste trabalho estão abaixo dos níveis relatados por grande parte dos trabalhos disponíveis na literatura. Ressalta-se que as coletas do presente trabalho foram realizadas no período de estiagem, no mês de outubro, e a baixa concentração de mercúrio nos sedimentos pode estar relacionada à quantidade reduzida de matéria orgânica presente nos locais de coleta, conforme observado pela análise dos níveis de oxigênio dissolvido dentro dos padrões permitidos pelo CONAMA/357. Guimarães et al. (2000) ressaltam que a matéria orgânica presente nos ambientes aquáticos é um importante fator que leva ao aumento de metilmercúrio nesses ambientes.

Conforme Sampaio (2003), a primeira diretriz para avaliação da qualidade de sedimentos em corpos d'água foi desenvolvida pela Administração Federal de Qualidade de Água dos Estados Unidos, adotado pela EPA – Agência de Proteção Ambiental Norte-

Americana, no ano de 1973; mais tarde, em 1995, foi desenvolvida outra diretriz para avaliar os sedimentos dos Grandes Lagos (EUA). Baseado nesta diretriz norte-americana, no que diz respeito à poluição ambiental, os sedimentos são classificados em não poluídos, moderadamente poluídos e muito poluídos. As concentrações de metais das amostras de sedimento deste trabalho não atingiram valores que representassem riscos ecológicos, estando todos em conformidade com esta diretriz, conforme Tabela 8.

Tabela 8 - Classificação de poluição para sedimentos, de acordo com a diretriz para Grandes Lagos (EUA) em comparação com os dados deste estudo. (Valores em ng/g).

Elemento	Desse trabalho (x 10⁶)	Não Poluído limite - (x 10⁶)	Moderadamente Poluído (x 10⁶)	Muito Poluído (>) - (x 10⁶)
Cd	0,0004	-	-	0,006
Cr	0,0247	0,025	0,025 – 0,075	0,075
Cu	0,0072	0,025	0,025 – 0,050	0,050
Fe	13	17	17- 25	25
Pb	0,0095	0,040	0,040 – 0,060	0,060
Zn	0,0216	0,090	0,090 – 0,200	0,200

Fonte: Sampaio (2003) Adaptado da EPA (1977)

Apesar da importância da quantificação de metais em sedimentos, no Brasil infelizmente ainda não foram estabelecidos valores referenciais para as concentrações de metais em sedimentos fluviais. A Resolução do CONAMA 344/2004 estabelece limites para dragagem destes materiais para os corpos d'água. Nesta classificação, o CONAMA determina dois níveis de materiais, a saber: o nível 1, que representa o limiar abaixo da probabilidade de algum efeito adverso à biota aquática; e o nível 2, que representa o limiar acima de um provável efeito adverso à biota.

Para efeito de comparação dos teores de metais encontrados neste trabalho com os valores estabelecidos pelo CONAMA/344, foi observado que os valores deste trabalho estão abaixo dos valores preconizados pela Resolução, conforme Tabela 9.

Tabela 92- Níveis de classificação de material a ser dragado em comparação com os dados deste estudo de acordo com o CONAMA 344/2004. (Valores em ng/g).

Elemento	Nível 1 (x 10⁶)	Nível 2 (x 10⁶)	Desse trabalho (x 10⁶)
Cd	0,0006	0,0035	0,0004
Cr	0,0373	0,090	0,0247
Cu	0,0357	0,197	0,0072
Fe	-	-	13
Pb	0,035	0,0913	0,0095
Zn	0,123	0,315	0,0216

Fonte: Elaborado pela autora (2013).

De acordo com Bonumá (2006) o ferro pode ser originado a partir da dissolução de componentes de solo ou despejos industriais de áreas próximas de rios, como acontece com os pontos do rio Tapajós da coleta deste trabalho, que se encontram próximos da cidade de Itaituba. Esse fator pode ser considerado para a elevação dos níveis de ferro, já que a economia da cidade é baseada, além do setor de mineração, na indústria e agronegócio.

Os metais analisados com valores reduzidos em relação aos valores referenciais, estão em conformidade com os teores de mercúrio nos sedimentos, pois como foi visto, as concentrações de mercúrio encontram-se abaixo dos valores encontrados por outros trabalhos na literatura, assim como estão abaixo dos valores estabelecidos pela legislação, significando que os metais presentes nestes ambientes tiveram pouca influência nos níveis de mercúrio encontrados. Segundo Fonseca (2008), o acúmulo elevado de matéria orgânica nos sedimentos é fator determinante nos processos geoquímicos no ambiente, da mesma forma que as alterações nas condições físico-químicas no ambiente favorecem a liberação de quantidades significativas de metais para serem assimilados pelos organismos aquáticos.

Os valores de HgT, obtidos neste estudo, foram mais elevados que os valores para MeHg, indicando maior contaminação nos sedimentos por mercúrio elementar que por mercúrio orgânico, porém a metilação do mercúrio é evidente. Infelizmente, existem poucos trabalhos sobre a quantificação da metilação do mercúrio em sedimentos de regiões tropicais, que possam atribuir valores referenciais da dinâmica do metilmercúrio nos ambientes aquáticos. Na Tabela 10 encontram-se valores obtidos pela literatura das concentrações de mercúrio nos sedimentos de rios da Amazônia.

Tabela 30- Faixa de concentração de mercúrio em sedimentos de rios da Amazônia.

Localização	HgT(ng/g)	Referência
Rio Madeira -Rondônia	30 - 350	Malm, 1998
Rio Madeira -Rondônia	30 - 120	Bastos et al., 2006
Rio Tapajós - Amazônia	0,5 - 2,1	Roulet et al., 1998
Rio Tapajós - Amazônia	< 0,01 – 0, 14	Lacerda e Pfeifer, 1992
Rio Negro - Amazônia	70 - 270	Bisinoti et al., 2007

Fonte: Elaborado pela autora (2013).

Fazendo uma comparação entre os dados encontrados na literatura, com este trabalho e com os dados do Projeto AquaRios, nota-se que, apesar dos resultados deste trabalho demonstrarem que os níveis de contaminação por mercúrio encontram-se em concentrações reduzidas, os teores de mercúrio presentes nos sedimentos da bacia do rio Tapajós ainda são bastante representativos. Apesar de ter passado tantos anos depois da expansão da “corrida do ouro” na Amazônia, muitos relatos de moradores da região, durante o período de coleta deste trabalho, indicam que ainda existem pequenos garimpos informais ao longo do rio Tapajós, que ainda fazem uso de mercúrio líquido para amalgamar o ouro, emitindo, assim grandes quantidades de mercúrio para a atmosfera e para o rio, onde os rejeitos, após a amalgamação, são diretamente despejados.

Bastos e 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 90, as quantidades de mercúrio lançadas no rio Madeira nas décadas de 1970 e 1980 ainda 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.

Para Siqueira e Aprille (2012) as informações contidas a respeito das quantidades de mercúrio utilizadas na atividade garimpeira e lançadas no meio ambiente amazônico são extremamente contraditórias, haja vista que não se tem estimativas exatas sobre as quantidades de Hg que foram emitidos para o meio ambiente aquático, durante o período de maior exposição desse metal, durante as décadas de 1980 e 1990.

5.2.3 Peixe

As amostras de peixes deste trabalho foram coletadas nos principais pontos de vendas de peixe do Município de Itaituba. As matrizes coletadas foram distribuídas em 20

espécimes carnívoros e 20 onívoros, divididas em 2 espécies diferentes para cada tipo de hábito alimentar. As informações referentes as espécimes coletadas estão listadas na Tabelas 11 abaixo.

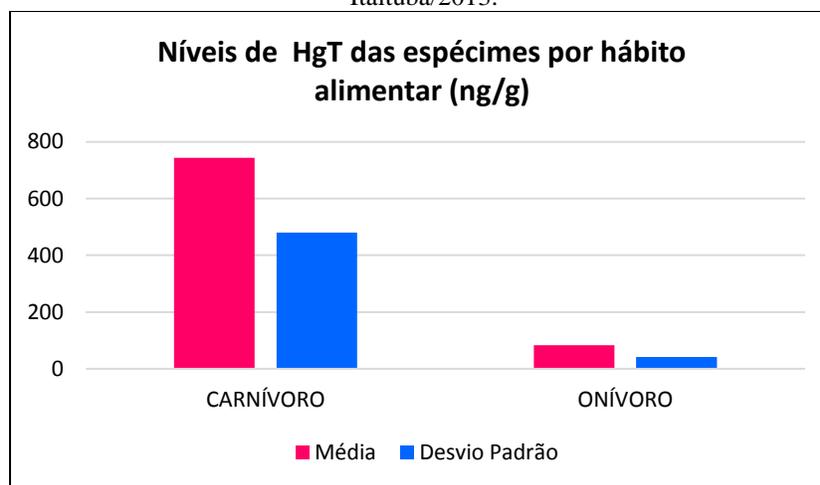
Tabela 11 – Características das espécies de peixes coletadas em Itaituba/2013.

NOME POPULAR	NOME CIENTIFICO	N	PESO MÉDIO (g)	COMP.MÉDIO (cm)	HgT (ng/g) MD ± DP	MeHg (ng/g) MD ± DP
Tucunaré (C)	<i>Cichla</i> sp.	10	1022,5	37,5	953 ± 594,5	595 ± 512
Pescada branca (C)	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	10	477	34,3	534 ± 182	345 ± 230
Piau (O)	<i>Leporinus</i> sp.	10	302	26	104 ± 50	60,4 ± 25
Jaraqui (O)	<i>Semaprochilodus</i> sp.	10	365	24,5	62 ± 17	33 ± 7

Fonte: Elaborado pela autora (2013).

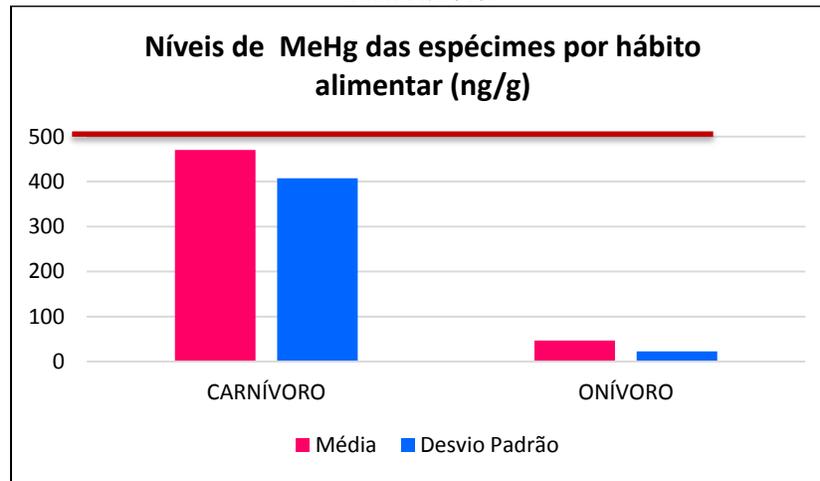
Para os peixes amostrados, as concentrações de mercúrio nos peixes da região do Tapajós tiveram grandes variações, entre as espécies de hábitos carnívoros e onívoros. Os resultados mostraram que as espécies carnívoras obtiveram maiores concentrações de mercúrio, tanto na sua forma metilada quanto na sua forma inorgânica, conforme mostram a Figuras 19 e 20.

Figura 19- Conteúdo de mercúrio total nos músculos de peixes carnívoros e onívoros, coletados em Itaituba/2013.



Fonte: Elaborado pela autora (2013).

Figura 20- Conteúdo de metilmercúrio nos músculos de peixes carnívoros e onívoros, coletados em Itaituba/2013.



Fonte: Elaborado pela autora (2013).

Os peixes carnívoros apresentaram concentrações abaixo do limite, para metilmercúrio, preconizado pela Organização Mundial de Saúde – OMS, que é de 500 ng/g, indicado pela linha vermelha no gráfico da Figura 20. Entretanto, quando comparamos cada uma das espécies carnívoras com as onívoras, os dados indicaram que, das duas espécies carnívoras estudadas, apenas aquela do gênero *Cichla* sp. (tucunaré) apresentou níveis elevados tanto de mercúrio total (953 ng/g), quanto de metilmercúrio (595 ng/g), que apresentou níveis um pouco acima do limite permitido pela OMS de 500 ng/g. As outras espécies, como a pescada branca (carnívora), piau (onívoro) e jaraqui (onívoro), não apresentaram valores significativos de mercúrio total e metilmercúrio, estando dentro do limite aceitável pela OMS (Figuras 21 e 22). Apenas uma espécie carnívora (tucunaré) apresentou conteúdo de metilmercúrio um pouco acima do limite preconizado pela OMS, indicado pela linha vermelha no gráfico da Figura 21.

Figura 21- Concentrações médias de metilmercúrio nos músculos das espécimes de peixes do município de Itaituba.

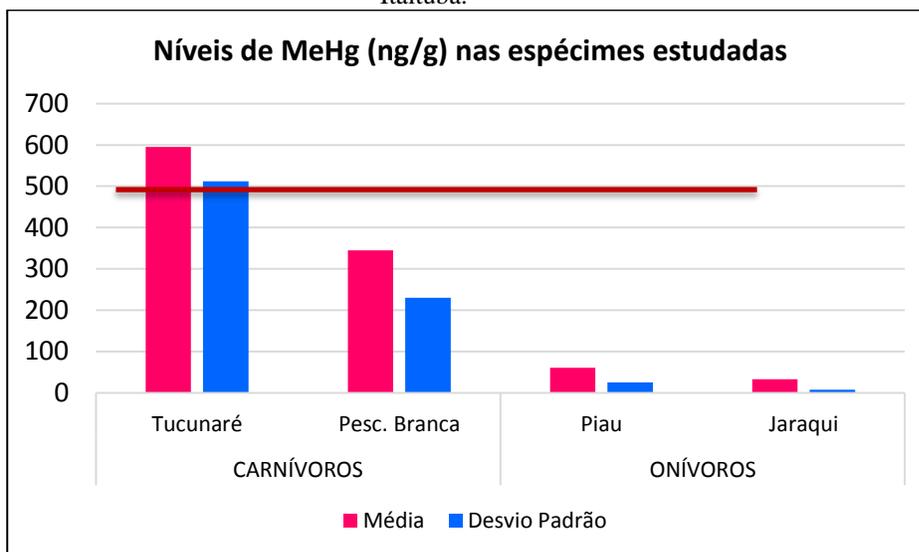
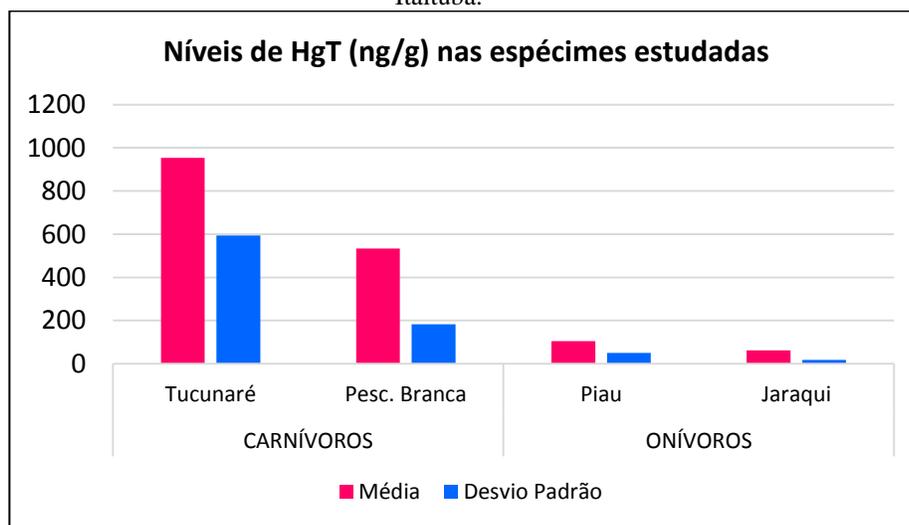


Figura 22- Concentrações médias de mercúrio total nos músculos das espécimes de peixes do município de Itaituba.



A principal via de assimilação do metilmercúrio é por meio do consumo de pescados, por isso existe grande interesse em se pesquisar as concentrações de metilmercúrio nos peixes, sobretudo na região amazônica, devido ao ambiente amazônico ter influência das atividades garimpeiras da região e onde maior parte da população tem preferência alimentar pelos peixes.

De acordo com Lacerda e Pfeiffer (1992) as concentrações de mercúrio na região amazônica são mais elevadas em peixes carnívoros, sobretudo na sua forma metilada. As concentrações de mercúrio nas bacias dos rios da Amazônia são, tipicamente elevadas, podendo variar de 500 a 1500 ng/g. Em peixes carnívoros, esses valores podem ser elevados de até 2200 ng/g.

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 estudos mais antigos (BIDONE et al., 1998; CASTILHOS, et al., 1998; LACERDA; PFEIFFER, 1992; FERNANDES et al., 1990; SANTOS et al., 2000). Este fato pode ser confirmado devido a capacidade que têm os peixes carnívoros de acumularem 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 ao fato da dificuldade de eliminação desse composto pelo organismo, por causa da sua maior afinidade aos grupos tióis das proteínas, peptídeos e aminoácidos (WASSERMAN; HACON; WASSERMAN, 2001).

Na literatura foram encontradas concentrações de mercúrio com valores semelhantes aos valores encontrados neste trabalho. Como os valores encontrados por Santos et al. (2000), cuja concentração média foi de 634,2 ng/g de mercúrio em peixes carnívoros na região do Tapajós. Lebel et al. (1997) também encontraram valores médios elevados nos peixes carnívoros do Tapajós de 511 ng/g. Bastos e Lacerda (2004) determinaram valores médios de concentração de mercúrio entre os anos de 1996 e 2000 na bacia do rio Madeira e chegaram a valores de 680 ng/g para peixes carnívoros. Já Bidone et al. (1997) encontraram valores médios de 420 ng/g em peixes carnívoros do rio Tapajós, estando próximo do limite permitido pela OMS.

Para efeito de comparação, verificou-se outros valores de concentrações de mercúrio encontrados em bacias de outras regiões do país. Ferreira (2009) encontrou valores muito baixos (25 ng/g) de mercúrio em peixes carnívoros, como o robalo (*Centropomus* sp.), na Lagoa Rodrigo de Freitas (RJ). Lopes (2012) registrou valor máximo de 68,5 ng/g de mercúrio em peixes carnívoros do rio Jaguaribe, no estado do Ceará. Estes resultados comprovam que os níveis de mercúrio nos peixes do Tapajós, sobretudo nos carnívoros, ainda

encontram-se elevados e acima dos limites permitidos pela legislação, mesmo tendo se passado bastante tempo do período de grandes extrações de ouro na região.

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 bastante elevados de mercúrio total em peixes carnívoros, da ordem de 800 ng/g, na bacia do Alto Pantanal no estado do Mato Grosso, valor este bem próximo do maior valor encontrado neste trabalho, que foi de 953 ng/g no carnívoro tucunaré. Comparativamente, Amaro et al. (2014) em uma pesquisa bem recente no Mercado do Ver-o-Peso em Belém, registrou valor máximo de mercúrio total em carnívoros de 800 ng/g, demonstrando também os altos níveis de mercúrio total em peixes da região amazônica. Valor semelhante foi determinado por Bastos et al. (2008), que registrou concentrações de 900 ng/g de mercúrio total em peixes do rio Madeira. Vale ressaltar que as concentrações de mercúrio total encontradas nas espécies amostradas deste 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, o tucunaré foi a que indicou maiores concentrações de mercúrio, apresentando cerca de 2% acima do limite máximo permitido pela OMS. Da mesma forma, Lima et al. (2000) encontraram no tucunaré concentrações elevadas de mercúrio de 878,4 ng/g em Santarém/PA, também em torno de 2% acima do máximo permitido pela legislação. Santos et al. (2000) encontraram valores máximos de 610,5 ng/g em tucunarés no município de Itaituba, ressaltando que esta espécie ainda apresenta altos níveis de mercúrio. Conforme Passos et al. (2007), o tucunaré é um dos peixes carnívoros que apresenta maiores taxas de mercúrio em seu organismo, por causa da sua capacidade de acumular mercúrio na cadeia alimentar aquática. Esses resultados são corroborados por Lopes (2008), em pesquisa desenvolvida no rio Negro, na qual foram determinados valores de 690 ng/g 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 104 ng/g de mercúrio total e 60,4 ng/g de metilmercúrio no piau, que apresentou níveis mais elevados; as amostras de músculo de jaraquí apresentaram médias reduzidas, tanto para mercúrio total como para metilmercúrio, apresentando valores de 62 e 33ng/g, 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 112 ng/g. 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 62 ng/g na região do Tapajós.

Na Tabela 12 são apresentados valores de concentrações de mercúrio em peixes de algumas bacias brasileiras disponíveis na literatura. Os valores são próximos encontrados nesta pesquisa, mesmo havendo diversificação na atividade antrópica e na geologia das áreas estudadas.

Tabela 12- Faixa de concentração de mercúrio em peixes de alguns rios brasileiros.

Localização	Hg (ng/g)	Referência
Rio Paraguaia/Baía do Castelo (MS)	442	Vieira, Nunes e Campos, 2004.
Rio Jamari (RO)	660	Holanda, 2008.
Rio Tapajós (PA)	463	Silva et al., 2006.
Rio São Francisco (MG)	96	Gobbi, 2007.
Lago Guaíba (RS)	216	Möllerke, 2002.

Fonte: Elaborado pela autora (2013).

6 CONCLUSÕES

As análises dos parâmetros químicos e físico-químicos deste estudo foram realizadas apenas para caracterizar o ambiente, não apresentando grandes variações, os quais encontram-se dentro dos padrões estabelecidos pela legislação. As concentrações de mercúrio nas matrizes de água não apresentaram valores significativos, uma vez que os valores encontrados para mercúrio total estavam abaixo do limite de detecção (0,5 ng/L) e muito abaixo do limite estabelecido pela legislação, indicando concentrações reduzidas dos índices de mercúrio nos pontos amostrados. Além disso, o período de vazante contribuiu com a baixa concentração de matéria orgânica, mesmo apresentando elevações nos teores de alguns metais como o Cd, Al e Zn, que pode ser devido as características geológicas da região, assim como a influência de efluentes industriais ou da mineração.

Para as amostras de sedimento, os níveis de mercúrio total e metilmercúrio também encontraram-se em concentrações reduzidas, inclusive em menores níveis do que os encontrados nas amostras coletadas durante o projeto AquaRios. Os metais analisados nos sedimentos encontraram-se também em níveis reduzidos, com exceção do Fe que apresentou teores elevados, que pode ser devido à geologia da região e ao descarte de efluentes em áreas próximas do rio, além de outros fatores.

Nas matrizes de peixes os maiores níveis de mercúrio foram encontrados nos peixes de hábitos carnívoros, principalmente nos tucunarés, com valores acima do limite preconizado pela OMS (500 ng/L), indicando que os peixes carnívoros ainda encontram-se com níveis muito elevados de mercúrio, servindo de alerta para a população da região do Tapajós que consome, frequentemente, peixes em sua dieta alimentar. A ocorrência de espécies de peixes contaminadas não se confirmou, apesar de os peixes carnívoros apresentarem resultados preocupantes, os quais merecem atenção. Entretanto, apesar dos níveis de mercúrio, que é o principal contaminante resultante das atividades garimpeiras, encontrarem-se em concentrações reduzidas, é importante que outras pesquisas sejam realizadas, para verificação dos níveis de mercúrio na região, evitando possíveis impactos às populações expostas.

Os peixes onívoros, por apresentarem concentrações reduzidas de mercúrio, são mais aconselhados para a dieta da população ribeirinha, o que poderá reduzir os riscos de contaminação por mercúrio via alimentação humana.

Propostas para trabalhos futuros

A partir destes resultados sugere-se que outras pesquisas sejam realizadas na região amazônica, para a verificação dos níveis de mercúrio nos compartimentos biótico e abióticos, principalmente em áreas próximas de garimpo, como a região do Tapajós que é uma região considerada exposta a presença de mercúrio. É importante, ainda, que seja realizado um monitoramento continuado e de longo prazo dos níveis de mercúrio e outros metais 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 que têm atividade garimpeira de ouro.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Dados da Região Hidrográfica Amazônica.** Disponível em <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/amazonica.aspx>>. Acesso em: 06 fev. 2013.

_____. **A gestão dos recursos hídricos e a mineração.** Brasília: ANA, 2006. 334p.

AGUSA, T.; KUNITO, T.; SUDARYANTO, A.; MONIRITH, I.; KAN – ATIREKLAP, S; IWATA, H; ISMAIL, A.; SANGUANSIN, J.; MUCHTAR, M.; TANA, T. S.; TANABE, S. Exposure assessment for trace elements from consumption of marine fish in Southeast Asia. **Environmental Pollution**, n. 145, p. 766 – 777, 2007.

ALCÂNTARA, R. L. Estimativas das emissões de mercúrio no garimpo São Chico, Itaituba/PA. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 12., 2004, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. p. 28.

ALMEIDA, D. M.; LACERDA, L. D.; BASTOS, W. R.; HERRMANN, J. C. Mercury loss from soils following conversion from Forest to pasture in Rondônia, Western Amazon, Brazil. **Environmental Pollution**, Elsevier, p. 179 - 186. 2005.

AMARO, C. S. O; JUNIOR, D. R.; SILVA, M. C. da; LIMA, A. A. da S.; SANTOS, G. de F. S.; PINHEIRO, M. da C. N. 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 Saude**, v. 5, n. 1, p. 53-60, 2014.

ARAUJO-LIMA, C. A. R. M.; GOULDING, M. **Os frutos do tabaqui:** ecologia, conservação e cultivo na Amazônia. Brasília: Sociedade Civil Mamirauá. CNPq, 1998.

ARCIFA, M. S.; MESCHIATTI, A. J. Distribution and feeding ecology of fishes in Brazilian Reservoir: Lake Monte Alegre. **Interciência**, Caracas, v. 18, n. 6, 1993.

ARRIFANO, G. de P. F. **Metilmercúrio e mercúrio inorgânico em peixes comercializados nos mercado municipal de Itaituba (Tapajós) e mercado do Ver-o-Peso (Belém).** 2011. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Biológicas. Universidade Federal do Pará. Belém, 2011.

BARBOSA, N. D. **Avaliação da biologia reprodutiva de *Plagioscion squamosissimus* (HECKEL, 1840) e *Plagioscion surinamensis* (BLEEKER, 1873) no terminal de Vila do Conde e área adjacente (Barcarena - PA).** Dissertação (Mestrado) Centro de Ciências Biológicas. Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca. Universidade Federal do Pará. 2009.

BARP, A. R. B. 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, 2004. p.74.

BASTOS, W. R.; GOMES, J.P.; OLIVEIRA, R. C.; ALMEIDA, R.; NASCIMENTO, E. L.; BERNARDI, J. V.; LACERDA, L.D.; da SILVEIRA, E. G.; PEFEIFFER, W. C. Mercury in the environment and riverside population in the Madeira River Basin, Amazon. **Science Total Environment**, n. 368, p. 344 – 51, 2006.

BASTOS, W. R.; LACERDA, L. D. A contaminação por mercúrio na bacia do rio Madeira: uma breve revisão. **Geochim. Brasil.**, v. 18, n. 2, p. 99-114, 2004.

BASTOS, W. R.; REBELO, M. F.; FONSECA, M. F.; ALMEIDA, R.; MALM, O. Um estudo descritivo do mercúrio em peixes da bacia do rio Madeira, Amazônia, Brasil. **Acta Amaz.**, v. 38, n. 3, p. 431 – 8, 2008.

BECKER, B. **Recuperação de áreas desflorestadas da Amazônia: será pertinente o cultivo da palma de óleo?** -Nº 10. França: Confins. 2010. Disponível em<<http://confins.revues.org/6609>> Acesso em: 10 fev. 2013.

BEZERRA, O.; VERISSIMO, A.; UHL, C. **Impactos da garimpagem de ouro na Amazônia Oriental.** Belém: Imazon, 1998. 27p. (Série Amazônia, Nº 2)

BIDONE, E. D.; CASTILHOS, Z. C.; SOUZA, T. M. C.; LACERDA, L. D. 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**, v. 59, p. 194 – 201, 1997.

BISINOTI, M. C.; JARDIM, W. F. O comportamento do metilmercúrio (metilHg) no ambiente. **Química Nova**, v. 27, n. 4, p. 593 - 600, 2004.

BISINOTI, M. C.; JÚNIOR, E. S.; JARDIM, W. F. Seasonal Behavior of Mercury Species in Waters and Sediments from the Negro River Basin, Amazon, Brazil. **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 18, n. 3, 2007.

BITENCOURT, M. A.; AMODEO, N. B. P.Garimpo e cooperativas: a incompatibilidade entre dois mundos. Identidade, valores e Governança das cooperativas. In: ENCONTRO DE PESQUISADORES LATINO-AMERICANOS DE COOPERATIVISMO, 5., 2008, Ribeirão Preto – SP; ENCUESTRO DE INVESTIGADORES LATINO-AMERICANOS DE COOPERATIVISMO, 5., 2008, Ribeirão Preto – SP. **Anais...** Ribeirão Preto, 2008.

BONUMÁ, N. B. **Avaliação da qualidade da água sob impacto das atividades de implantação de garimpo no município de São Martinho da Serra.** 2006. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria – RS, 2006.

BRABO, E. da S.; SANTOS, E. de O.; JESUS, I. M. de; MASCARENHAS, A. F.; FAIAL, K. F. 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**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 325-331, abr-jun. 1999.

CASTILHOS, Z.; CESAR, R.; COLONESE, J.; EGLER, S.; ARAÚJO, P.; FELZMANN, W.; MERTEN, G.; ROCHA, B.; TOUCHE, S. 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, 2011. 248 p.: il.

CASTILHOS, Z. C.; BIDONE, E. D.; LACERDA, L. D. Increase of the background human exposure to mercury through fish consumption due to gold mining at the Tapajós River Region, Para State, Amazon. **Bulletin of Environmental and Toxicology**, v. 61, p. 202 – 209, 1998.

CERETTA, M. C. **Avaliação dos aspectos da qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena - Município de Santa Maria - RS**. 2004. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Geologia Ambiental**. Relatório da Administração. 2005. Disponível em <http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_ambiental-06> Acesso: 08 fev. 2013..

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Zinco**. Ficha de Informação Toxicológica. Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental. 2012.

DA SILVA-BRABO, E.; DE OLIVEIRA SANTOS E.; DE JESUS, I. M.; MASCARENHAS, A. F.; DE FREITAS FAIAL K. Mercury contamination of fish and exposures of an indigeneous community in Pará State, Brazil. **Environ. Res.**, n. 84, p. 197 – 203, 2000.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Sumário Mineral**. Belém, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Sumário Mineral**. Belém, 2012.

FERNANDES, F. R. C.; SILVA, G. R. da; LIMA, M. H. M. R.; TEIXEIRA, N. da S.; VERDE, R. B. da R. V., 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, 2011. 248 p.

FERNANDES, R. da SILVA; GUIMARÃES, A. F.; BIDONE, E. D. Monitoramento do mercúrio na área do Projeto Carajás. **Saneamento Ambiental**, n. 6, 1990.

FERREIRA, E. J. G.; ZUANON, J. A. S.; SANTOS, G. M. **Peixes comerciais do médio Amazonas: Região de Santarém – PA**. Brasília: edições IBAMA. 1998. (Coleção Meio Ambiente, Série Estudos Pesca).

FERREIRA, M. da S. **Contaminação mercurial em pescados capturado na Lagoa Rodrigo de Freitas – Rio de Janeiro.** 2006. Dissertação (Mestrado em Higiene Veterinária e Processamento Tecnológico de Produtos de Origem Animal) - Universidade Federal Fluminense – UFF. 2006.

FONSECA, E. M. **Dinâmica geoquímica dos metais pesados na Lagoa Rodrigo de Freitas – RJ: bioassessibilidade e biodisponibilidade para bactérias.** 2008. 158f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ.

GOBBI, J. M. **Estudos sobre a presença de metais em diferentes tecidos de peixes surubins (*Pseudoplatystoma coruscans*) capturados no Rio São Francisco (MG).** 2007. Dissertação (Mestrado) - Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 2007.

GOMES, J. V. P.; BARROS, R. S. A importância das ottobacias para gestão de Recursos Hídricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p. 1287.

GUIMARÃES, E. C. **Avaliação dos níveis basais de mercúrio na área de influência da UHE Jirau – rio Madeira/Amazônia.** 2009. 91f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Saúde) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC/GO), 2009.

GUIMARÃES, J. R. D.; ROULET, M.; LUCOTTE, M.; MERGLER, D. Mercury methylation along a lake – forest transect in the Tapajos River floodplain, Brazilian Amazon: seasonal and vertical variations. **Science Total Environment**, n. 261, p. 91-8, 2000.

HACON, S. S. **Avaliação do risco potencial para a saúde humana da exposição ao mercúrio na área urbana de Alta Floresta, MT – Bacia Amazônica, Brasil.** 1995. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Fluminense, 1995

HEIDER, M.; ANDRADE, R.H.P. Ouro. In: SUMÁRIO Mineral. [S.l.]: Departamento Nacional da Produção Mineral, 2012.

HOLANDA, I. B. B. de. **Investigação das concentrações de mercúrio no tecido muscular e hepático de peixes (UHE-Samuel/Rondônia).** 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Departamento de Biologia, Fundação Universidade Federal de Rondônia –UINIR, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Cidades. Disponível em [http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=150360&search=paralita ituba](http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=150360&search=paralita%20ituba)> Acesso em: 05 out. 2013.

_____. **Geografia do Brasil – Região Norte.** Rio de Janeiro, 1977, v. 1, p 123 – 125.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). Disponível em <<http://www.ibram.org.br>> Acesso em 11 de nov. de 2013.

INSTITUTO DE PESOS E MEDIDAS (IPEM). **Projeto de implementação de práticas de gerenciamento integrado de bacia hidrográfica para o Pantanal e bacia do Alto Paraguai**: Relatório final. Distribuição e Transporte de Mercúrio na bacia do Alto Paraguai. [S.l.]: ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003.

_____. **Visão estratégica para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos e do solo, frente às mudanças climáticas e para o desenvolvimento sustentável da bacia hidrográfica do rio Amazonas**. Relatório Final. [S.l.]: ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2006.

JESUS, C.A.G. Ferro. In: SUMÁRIO Mineral. [S.l.]: Departamento Nacional da Produção Mineral, 2012.

KULLANDER, S. O.; FERREIRA, E. J. G. A review of the South American cichlid genus *Cichla*, with descriptions of nine new species (Teleostei: Cichlidae). *Ichthyological Exploration of Freshwaters*, v. 17, n. 4, dec. 2006.

KUNO, R. **Avaliação da contaminação por mercúrio em peixes no Alto Pantanal – Mato Grosso – Brasil**. 2003. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

LACERDA, L. D. de; MALM, O. Contaminação por mercúrio em ecossistemas aquáticos: uma análise das áreas críticas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 173 – 190, 2008.

LACERDA, L. D.; PFEIFFER, W. C. Mercury from Gold Mining in the Amazon Environmental: an overview. **Química Nova**, v. 15, n. 2, 1992.

LACERDA, L. D.; RIBEIRO, M. G.; CORDEIRO, R. C.; SIFEDDINE, A.; TURC, Q. B. Atmospheric mercury deposition over Brazil during the past 30,000 years. **Ciência e cultura. Journal of the Brazilian Association for the Advancement of science**, n. 51, 1999.

LACERDA, L. D.; SALOMONS, W. **Mercúrio na Amazônia: uma bomba relógio química?** Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1992.

_____. **Mercury from Gold and Silver Mining: a chemical time bomb?** Berlim: Springer – Verlag, 1998. 146p.

LEBEL, J.; ROULET, M. MERGLER, D.; LUCOTTE, M.; LARRIBE, F. Fish diet and mercury exposure in a riparian Amazonian population. **Water, Air and Soil Pollution**, n. 97, p. 31 – 44, 1997.

LIMA, A. P. de S.; MULLER, R. C. S.; SARQUIS, J. E. de S.; ALVES, C. N.; BENTES, M. H. da S.; BRABO, E.; SANTOS, E. de O. Mercury Contamination in Fish from Santarem, Para, Brazil. **Environmental Research**, Section A, n. 83, p. 117 – 122, 2000.

LOPES, D. N. M. **Mercúrio total em peixes do rio Jaguaribe – jusante do dique de Itaiçaba/CE**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

LOPES, J. C. O. **Técnico em agropecuária: piscicultura**. Floriano: EDUFPI, 2012.

LOPES, R. J. Mar de Mercúrio. **Pesquisa FAPESP**, n. 143, p. 52, Jan. 2008.

LOURENÇO, L. F. H.; FERNANDES, G. M. L.; CINTRA, I. H. A. Características físicas, químicas e microbiológicas da pescada – branca *Plagioscion squamosissimus* (Heckel) Salgada e seca em salgador solar. **Boletim Técnico Científico CEPNOR**, Belém v. 1, n. 1, p. 135 - 144. 2001.

MAIER, M. H. Ecologia da bacia do rio Jacaré Pepira (47°55” – 48°55”W; 22°30” – 22°55”S – Brasil): qualidade da água do rio principal. **Ciência e Cultura**, v. 39, n. 2, p. 164-185, 1987.

MALM, O. Gold Mining as a Source of Mercury Exposure in the Brazilian Amazon. **Environmental Research**, section a 77, p. 73-78, 1998.

MARCON, G. Subsídio do direito internacional ambiental do gerenciamento de recursos naturais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa/PB. **Trabalhos Técnicos**. João Pessoa/PB, 2001.

MARTINS, A. da S. **Avaliação da águas superficiais sob uso e ocupação na sub-bacia do rio Candeias/RO – Amazônia Ocidental**. 2009, 124 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) - Núcleo de Ciências e Tecnologia, Fundação Universidade Federal de Rondônia, 2009.

MARTINS, R. V.; FILHO, F. P.; MAIA, S. R. R.; LACERDA, L. D.; MARQUES, W. S. Distribuição de mercúrio total como indicador de poluição urbana e industrial na costa brasileira. **Química Nova**, v. 27, n. 5, 2004.

MASCARENHAS, A. F. S.; BRABO, E. da S.; SILVA, A. P.; FAYAL, K. de F.; JESUS, I. M.; SANTOS, E. C. de O. Avaliação da concentração de mercúrio em sedimentos e material particulado no rio Acre, estado do Acre, Brasil. **Acta Amazônica**, v.. 34, n. 1, p. 61 – 68, 2004.

MELO, C. E. de; RÖPKE, C. P. Alimentação e distribuição de piaus (Pisces Anostomidae) na Planície do Bananal, Mato Grosso, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 21, n. 1, p. 51 – 56, 2004.

MIRANDA, R. G.; PEREIRA, S. F. P.; ALVES, D. T. V.; OLIVEIRA, G. R. F. Qualidade dos recursos hídricos da Amazônia – Rio tapajós: avaliação de caso em relação aos elementos químicos e parâmetros físico-químicos. **Ambiente – Água**, Taubaté, v. 4, n. 2, p.75-92, 2009.

MÖLLERKE, R. O. **Merúrio, Arsênio e Colimetria como indicadores biológicos, na avaliação da qualidade do pescado artesanal do Lago Guaíba Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.** 2002. Tese (Doutorado) - Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

NASCIMENTO, F. L.; CATELLA, A. C.; MORAES, A. S. **Distribuição espacial do tucunaré, *Cichla sp* (Pisces, Cichlidae), peixe amazônico introduzido no Pantanal, Brasil.** Corumbá: Embrapa Pantanal, 2001. 17p. (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa, 24).

NELSON, J. S. **Fishes of the world.** 3. ed. New York: John Wiley & sons Inc., 1994. 600p.

NEVADO, J.J. BERZAS; MARTÍN-DOIMEADIOS, R. C. RODRÍGUEZ; BERNARDO, F. J. GUZMAN; MORENO, M. JIMÉNEZ; HERCULANO, A. M.; NASCIMENTO, J. L. M. do; CRESPO – LÓPEZ, M.E. Mercury in the Tapajós River basin, Brazilian Amazon. **Environment International**, p. 593 – 608, 2010.

PAIVA, L. C.; SOUZA, A. O. de. **Avaliação de alguns parâmetros físico - químicos da água do Rio Riachão no Município da Caatiba- BA.** 2010. (Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer – Goiânia, vol. 6, n. 9).

PARÁ. Secretaria de Indústria Comércio e Mineração (SEICOM). **Programa de controle ambiental da garimpagem do Tapajós (Canga – Tapajós).** Belém, 1992.

PASSO, C. J. S.; MERGLER, D.; LEMIRE, M.; FILLION, M.; GUIMARÃES, J. R. D. Fishconsumptionandbioindicatorsofinorganicmercuryexposure. **Science of the Total Environment**, n. 373, p. 68 – 76, 2007.

PFEIFFER, W. C.; LACERDA, L. D.; **Mercury inputs into the Amazon Region, Brazil.** **Environmental Technology Letters**, v. 9, p. 325 – 330, 1988.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade da água e poluição: aspectos físico – químicos.** São Paulo: ABES, 2005. p. X - 285.

RESENDE, E. K. de; GRAEF, E. W.; FILHO, E. Z.; PAIXÃO, A. M.; FILHO, A. S. Avaliação do crescimento e da reprodução de jaraquis (*Semiprochilodus spp.*), em açude de igarapés de terra firme nos arredores de Manaus, Amazonas. **Acta Amazônica**, v. 15, n. 1-2, p. 19-36, 1985.

RIOS – VILLAMIZAR, E. A.; JUNIOR, A. F. M.; WAICHMAN, A. V. Caracterização físico-química das águas e desmatamento na bacia do rio Purus, Amazônia brasileira Ocidental. **Rev. Geogr. Acadêmica**, v.5, n.2, 2011.

RODRIGUES, R. M., et al. **Estudos de impactos ambientais decorrentes do extrativismo mineral e poluição mercurial no Tapajós – pré-diagnóstico.** – Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1994. 200p. (Série Tecnologia Ambiental, 4).

RODRIGUES FILHO, S.; CASTILHOS, Z. C.; SANTOS, R. L. C.; YALLOUZ, A. V.; NASCIMENTO, F. M. F.; EGLER, S. G.; PEREGOVICH, B.; RIBEIRO, R. A.; PEREIRA, D. M.; PEDROSO, L. R.; SILVA, L. C. P.; SANTOS, E. C. O.; BRABO, E.; LIMA, M. O.; FAIAL, K. F.; MÜLLER, G. **Environmental and health assessment in two small-scale gold mining areas – Brazil São Chico and Creporizinho**: Final Report. [S.l.]: CETEM, 2004

ROULET, M.; LUCOTTE, M. Geochemistry of mercury in pristine and flooded ferralitic soils of a tropical rain forest in French Guiana, South America. **Water, Air and Soil Pollution**, n. 80, 1995.

ROULET, M.; LUCOTTE, M.; GUIMARÃES, J. R. D.; RHEAULT, I. Methylmercury in water, seston, and epiphyton of an Amazonian river and its floodplain, Tapajós River, Brazil. **The Science of the Total Environment**, 2000.

ROULET, M.; LUCOTTE, M.; SAIN-AUBIN, A.; TRAN, S.; RHÉAULT, I.; FARELLA, N.; De JÉSUS da SILVA, E.; DEZENCOURT, J.; C. J. SOUSA PASSOS; G. SANTOS SOARES; GUIMARAES, J. R. D.; MERGLER, D.; AMORIM, M. 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**, n. 223, p. 1 -24, 1998.

SÁ, A. L. de; HERCULANO, A. M.; PINHEIRO, M. da C.; SILVEIRAS, L.C de L.; NASCIMENTO, J. L. M. do; LÓPEZ, M. E. C. 2006. Exposição humana ao mercúrio na região Oeste do Estado do Pará. **Revista Paraense de Medicina**, Belém, v. 20, n 1, 2006. Disponível em: <http://scielo.iec.pa.gov.br/scielo.php?pid=S0101-59072006000100004&script=sci_arttext>. Acesso em: 04 nov. 2013.

SAMPAIO, A. C. S. **Metais pesados na água e sedimentos de rios da Bacia do Alto Paraguai**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, 2003.

SANTOS, E. C. de O.; de JESUS, I. M.; BRABO, E. da S.; FAYAL, K. F.; SÁ FILHO, G. C.; LIMA, M. de O.; MIRANDA, A. M. M.; MASCARENHAS, A. S.; de SÁ, L. L. C.; da SILVA; A. P.; CÂMARA, V. de M. Exposição ao mercúrio e ao arsênio em Estados da Amazônia: síntese dos estudos do Instituto Evandro Chagas/FUNASA. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 6, n. 2, p. 171 – 185, 2003.

SANTOS, L. do S. N. dos; MULLER, R. C.S.; SARKIS, J. E. de S.; ALVES, C. N.; BRABO, E. da S.; SANTOS, E. de O.; BENTES, M. H. da S. Evaluation of total Mercury concentrations in fish consumed in the municipality of Itaituba, Tapajós River Basin, Para, Brazil. **The Science of the Total Environmental**, n. 261, p. 1- 8, 2000.

SILVA, A. P. de. **Projeto Itaituba**: programa de desenvolvimento de tecnologia ambiental. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1997. 66p. (Série Tecnologia Ambiental, 18).

SILVA, D. S. da; LUCOTTE, M.; ROULET, M.; POIRIER, H.; MERGLER, D.; CROSSA, M. **Mercúrio nos peixes do rio Tapajós, Amazônia brasileira. Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente – Interfac EHS**, 2006.

SILVA, J. M. da. **Análise integrada de qualidade de água microbacia hidrográfica**. 2006. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Universidade Federal de Rondônia, 2006.

SILVA, L. M. da; OLIVEIRA, T. C. S de; CUNHA, H. B.; MACHADO, C. M. D. Correlação de indicadores de matéria orgânica em rios da região Amazônica. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 34., 2011. [S.l.]: Sociedade Brasileira de Química. 2011.

SILVA, R. S. V., **Integração de temas ambientais na caracterização da ecorregião aquática Xingu-Tapajós, Amazônia Brasil**. 2012. 128 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Fluminense, 2012.

SIOLI, H.; KINGLE, H. Solos, tipos de vegetação e água na Amazônia. **Boletim Geográfico**, n. 179, p. 146 – 153, 1964.

SIQUEIRA, G. W.; APRILLE, F. M. Distribuição de mercúrio total em sedimentos da Plataforma Continental Amazônica – Brasil. **Acta Amazônica**, v. 42, n. 2, p. 259 – 268, 2012.

SOUZA, J. R. de; BARBOSA, A. C. Contaminação por Mercúrio e o Caso da Amazônia. **Química Nova na Escola**, n. 12, nov. 2000.

T. FILHO, J. de S.; BRÁS, J. de M.; GOMIDE, A. T. de M.; OLIVEIRA, M. G. de A.; DONZELE, J. L.; MENIN, E. Anatomia Funcional e Morfometria dos Intestinos e dos Cecos Pilóricos do Teleostei (Pisces) da Água Doce Piau (*Leporinus friderici*, Bloch, 1794). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 6, p. 2181-2192 (Suplemento 2), 2000.

TAVARES, E. F.; GODINHO, H. P. Ciclo reprodutivo do peixe piau-gordura (*Leporinus piau*, Flower, 1941) da represa de Três Marias, rio São Francisco. **Revista Ceres**, Viçosa (MG), v. 41, n 233, 1994.

TAVARES, L. H. S. **Limnologia Aplicada à Aquicultura**. Jaboticabal: UNESP, 1994. 70p.

TELMER, K.; COSTA, M.; ANGÉLICA, R. S.; ARAUJO, E. S.; MAURICE, Y. The source and fate of sediment and Mercury in the Tapajós River, Brazilian Amazon: ground – and space-based evidence. **J. Environ. Management**, n. 81, p. 101 – 113, 2006.

UMETSU, C. K.; UMETSU, R. K.; MUNHOZ, K. C. A.; DALMAGRO, H. J.; KRUSCHE, A. V. Aspectos físico-químicos de rios da bacia do Alto Tapajós – Teles Pires e Cristalino - MT, durante período de estiagem e cheia. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, v. 5, n. 1, p. 59-70, 2007.

VIEIRA, L. M.; NUNES, V. da S.; CAMPOS, R. C. de. Níveis mercúrio total na carne de peixes como indicadores de contaminação em sistemas aquáticos do Pantanal. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SOCIOECONÔMICOS DO PANTANAL, 4., 2004, Corumbá/MS.

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

WASSERMAN, J. C.; HACON, S. S.; WASSERMAN, M. A. **O ciclo do mercúrio no ambiente amazônico.** [S.L.]: Mundo e vida, 2001. v. 2.

ZILLMER, T. A.; VARELLA, R. F.; ROSSETE, A. N. Avaliação de algumas características físico-químicas da água do Ribeirão Salgadinho, Nova Xavantina – MT. **HOLOS Environment**, v. 7, n. 2, p 123, 2007.