



LABORATÓRIO DE FARMACOLOGIA MOLECULAR
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROCIÊNCIAS E BIOLOGIA CELULAR

GABRIELA DE PAULA FONSECA ARRIFANO

METILMERCÚRIO E MERCÚRIO INORGÂNICO EM PEIXES
COMERCIALIZADOS NOS MERCADO MUNICIPAL DE ITAITUBA
(TAPAJÓS) E MERCADO DO VER-O-PESO (BELÉM)

BELÉM

2011

GABRIELA DE PAULA FONSECA ARRIFANO

**METILMERCÚRIO E MERCÚRIO INORGÂNICO EM PEIXES
COMERCIALIZADOS NOS MERCADO MUNICIPAL DE ITAITUBA
(TAPAJÓS) E MERCADO DO VER-O-PESO (BELÉM)**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Biologia Celular, da Universidade Federal do Pará como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Neurociências.

Orientadora: Prof^ª: Maria Elena Crespo López.

BELÉM

2011

GABRIELA DE PAULA FONSECA ARRIFANO

**METILMERCÚRIO E MERCÚRIO INORGÂNICO EM PEIXES
COMERCIALIZADOS NOS MERCADO MUNICIPAL DE ITAITUBA
(TAPAJÓS) E MERCADO DO VER-O-PESO (BELÉM)**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Biologia Celular, da Universidade Federal do Pará – UFPA.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Maria Elena Crespo López.

Data: 15 de Dezembro de 2011

Banca:

Prof^ª. Dra. Maria Elena Crespo López.

Laboratório de Farmacologia Molecular

Prof. Dr. Anderson Manoel Herculano

Laboratório de Neuroendocrinologia

Prof. Dr. Amauri Gouveia Junior

Laboratório de Neurociências e Comportamento

*Dedico este trabalho à minha amada filha
Fernandinha e aos meus amados pais.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, por sempre me guiar e me proteger em todos os meus passos e por estar comigo nos momentos mais difíceis iluminando o meu caminho.

À Prof^a Dr^a. Maria Elena Crespo López, por estes 5 anos de caminhada onde aprendi não somente a ciência mas lições de vida e por ela fazer verdadeiros malabarismos para conseguirmos a vitória no final.

À Prof^a Dr^a. Rosa Rodriguez Martin-Doimeadios e sua equipe do Departamento de Química Analítica y Tecnologia de los Alimentos da Facultad de Ciencias Ambientales da UCLM (Espanha) pela colaboração fundamental em nosso trabalho.

Aos meus pais por todo o apoio, muitas vezes em sacrifício de si próprios em meu favor, pela família que nós somos, pelo amor e base que me fazem firmes nos dias mais difíceis.

Ao meu namorado, companheiro e melhor amigo Marcus Oliveira pelo apoio, força e por estar sempre presente, entendendo minha ausência e me ajudando, em todos os meus passos.

Aos grandes amigos do Laboratório de Farmacologia Molecular, carinhosamente chamado de RASTALAB, que são muito mais que amigos de bancada.

Aos meus grandes amigos.

“Você tem que encontrar o que você gosta. E isso é verdade tanto para o seu trabalho quanto para seus companheiros. Seu trabalho vai ocupar uma grande parte da sua vida, e a única maneira de estar verdadeiramente satisfeito é fazendo aquilo que você acredita ser um ótimo trabalho. E a única maneira de fazer um ótimo trabalho é fazendo o que você ama fazer. Se você ainda não encontrou, continue procurando. Não se contente. Assim como com as coisas do coração, você saberá quando encontrar. E, como qualquer ótimo relacionamento, fica melhor e melhor com o passar dos anos. Então continue procurando e você vai encontrar. Não se contente.”

Steve Jobs.

RESUMO

O mercúrio é um perigoso metal e uma importante fonte de contaminação ambiental no Brasil e sobretudo na Amazônia. O principal órgão-alvo deste metal é o SNC onde causa danos que podem levar aos sintomas clássicos: ataxia, parestesia, disartria e alterações no desenvolvimento do sistema nervoso de crianças. A contaminação mercurial nos rios amazônicos aumenta a quantidade encontrada nos peixes, principalmente os que estão no topo da cadeia alimentar, expondo dessa forma a populações ribeiras à intoxicação mercurial, uma vez que o peixe é um elemento central na dieta dessas populações. Por isso, é fundamental o monitoramento periódico dos níveis de mercúrio nas espécies de peixes consumidas nessa região. Nosso trabalho se propôs a identificar os níveis de metilmercúrio e mercúrio inorgânico nas espécies de peixes mais consumidas pelas populações ribeirinhas da região do Tapajós e compará-los com os níveis encontrados em peixes da mesma espécie obtidos na região de Belém. Além disso, realizar uma comparação com os resultados obtidos por Dos Santos *et al.* (2000) e analisando os níveis atuais e os antigos. Os peixes foram coletados no mercado municipal de Itaituba, no Tapajós, e no mercado do Ver-o-peso, em Belém. Amostras de músculo de cada peixe foram liofilizadas e analisadas pela Universidad de Castilla-La Mancha (Espanha) para quantificação do metilmercúrio e do mercúrio inorgânico. Os resultados obtidos no presente trabalho mostraram que somente os peixes piscívoros da região do Tapajós apresentam níveis de metilmercúrio acima do limite preconizado pela OMS (0,5 µg/g). Em todos os grupos do estudo, os níveis de mercúrio inorgânico estão bem abaixo deste limite. A espécie mais contaminada foi a *Brachyplatystoma flavicans* (dourada) chegando a ultrapassar até cinco vezes o limite de tolerância da OMS. Com nossos dados, pode-se dizer que os peixes da região do Tapajós continuam atualmente expostos a altas concentrações de mercúrio. As espécies não-piscívoras tiveram baixas concentrações de mercúrio orgânico, sendo aptas para consumo humano. O presente estudo apoia a importância do monitoramento continuado dos ambientes considerados expostos e não expostos na Amazônia. O conhecimento originado por este monitoramento fomentará definitivamente o desenvolvimento de estratégias de prevenção e de ações governamentais perante o problema da contaminação mercurial na Amazônia.

Palavras Chave: Mercúrio inorgânico, Metilmercúrio, peixes, Tapajós, Belém.

SUMMARY

Mercury is a dangerous metal and an important source of environmental contamination in Brazil and particularly in the Amazon. The main target organ of this metal is the CNS where it causes damage that can lead to classic symptoms: ataxia, paresthesia, dysarthria, and changes in the developing nervous system of children. The mercury contamination in the Amazonian rivers increases the amount found in fish, especially those at the top of the food chain, exposing people to mercury poisoning the rivers, since the fish is a central element in the diet of these populations. Therefore, it is essential periodic monitoring of mercury levels in fish species consumed in the region. Our study proposes to identify the levels of methylmercury and inorganic mercury in fish species consumed by the riverside populations of the Tapajós region and compare them with the levels found in the same species obtained in the region of Belém also perform a comparison with results obtained by Dos Santos *et al.* (2000) and analyzing the current level and the old. Fish were collected in the municipal market Itaituba, Tapajós, and market the Ver-o-Peso in Belém. Muscle samples of each fish were dried and analyzed by the Universidad de Castilla-La Mancha (Spain) for quantification of methylmercury and inorganic mercury. The results obtained in this study showed that only piscivorous fish from the Tapajós region have levels of methylmercury above the limit recommended by WHO (0.5 µg / g). All in all study groups, levels of inorganic mercury are well below this limit. The species was the most contaminated *Brachyplatystoma flavicans* (Dourada) and even to exceed five times the WHO limit of tolerance. With our data, we can say that the fish of the Tapajós region are still currently exposed to high concentrations of mercury. The non-fish-eating species had low concentrations of organic mercury, is fit for human consumption. This study supports the importance of continued monitoring of the environments considered exposed and not exposed in the Amazon. Knowledge originated by this monitoring definitely foster the development of prevention strategies and government actions before the problem of mercury contamination in the Amazon.

Keywords: inorganic mercury, methylmercury, fish, Tapajós, Belém

LISTA DE FIGURAS

- Figura1.** O ciclo biogeoquímico do mercúrio. MeHg (Metilmercúrio); DMHg (dimetilmercúrio); Hg⁰ (mercúrio metálico); Hg²⁺ (mercúrio iônico). Modificado de Weisserman *et al.*(2001). 5
- Figura 2** Mapa do Brasil (à esquerda) mostrando os estados federais com suas capitais indicadas por estrelas pretas. A inserção à direita representa o mapa do Estado do Pará com a cidade de Itaituba ao longo do rio Tapajós e a cidade de Belém, indicadas por pequenos círculos brancos, bem como a localização aproximada da principal área de garimpo, da bacia do rio Tapajós indicado pelo grande círculo branco. Fonte: Berzas-Nevado *et al.*, 2010. 6
- Figura 3.** *Cichla* spp. 10
- Figura 4.** *Pellona* spp. 12
- Figura 5.** *Plagioscion squamosissimus* 12
- Figura 6.** *Pseudoplatystoma* spp. 13
- Figura 7.** *Brachyplatystoma filamentosum* 14
- Figura 8.** *Brachyplatystoma flavicans* (Fonte:<http://www.cantinhodapesca.com.br>) 15
- Figura 9.** A rota de migração da Dourada desde o Estuário Amazônico até o Peru. (retirado de PROVARZEA,2005). 16
- Figura 10.** *Leporinus* spp. 16
- Figura 11.** *Mylossoma* spp. 17
- Figura 12.** *Satanoperca* spp. 17
- Figura 13.** *Colossoma macropomum* 18
- Figura14.** Conteúdo em metilmercúrio (MeHg) no músculo de peixes piscívoros e não-piscívoros da região do Rio Tapajós. Os peixes piscívoros apresentam concentrações de metilmercúrio acima do limite preconizado pela OMS (0,5 µg/g) (linha tracejada). Os valores são apresentados como média ± erro padrão. *** P <0, 001 *versus* peixes não-piscívoros. 29
- Figura15.** Concentração de metilmercúrio (MeHg) em diferentes espécies de peixes (piscívoros e não-piscívoros) da região do Rio Tapajós. Os dados são expressos como média ± erro padrão. Todas as espécies piscívoras apresentam níveis de mercúrio acima do limite preconizado pela OMS (0,5 µg/g) (Linha tracejada). * Tucunaré *vs* Pacu p<0,05; ** Dourada *vs* Pacu p<0,01; *** Filhote *vs* Pacu p<0,05; **** Sarda *vs* Pacu p<0,05 30
- Figura16.** Níveis de metilmercúrio (MeHg) em diferentes espécies piscívoras de peixes das regiões de Belém e do rio Tapajós. Os dados estão expressos como média e erro padrão. *P<0,05, **P<0,01 e ***P<0,001 *versus* a mesma espécie na região de Belém. Limite preconizado pela OMS (0,5 µg/g) (linha tracejada) 31
- Figura 17.** Mercúrio inorgânico (IHg) em peixes piscívoros e não-piscívoros da região do Rio Tapajós. Os valores são apresentados como média ± erro padrão. *** P <0, 001

<i>versus</i> peixes não-piscívoros.	32
Figura 18. Concentração de mercúrio inorgânico (IHg) em diferentes espécies de peixes (piscívoros e não-piscívoros) da região do Rio Tapajós. Os dados são expressos como média \pm erro padrão. * Dourada vs Pacu $p < 0.01$; ** Surubim vs Pacu $p < 0.05$.	33
Figura 19. Níveis mercúrio inorgânico (IHg) em diferentes espécies piscívoras de peixes das regiões de Belém e do rio Tapajós. Os dados estão expressos como média e erro padrão. ** $P < 0,01$ versus a mesma espécie na região de Belém	34
Figura 20: Correlação negativa entre o Índice de Estado Nutricional e a concentração de MeHg em espécies não-piscívoras da região do Tapajós. IEN vs MeHg ($P < 0,01$; $r = -0.5303$)	35
Figura 21: Correlação positiva entre o Índice de Estado Nutricional e a concentração de MeHg em espécies piscívoras da região do Belém. IEN vs MeHg ($P < 0,001$; $r = 0.6524$)	36
Figura 22. Comparação entre os níveis de metilmercúrio encontrados nas espécies piscívoras da região do Tapajós no trabalho de Dos Santos et al (2000) em 1998 e o presente trabalho com os peixes coletados em 2009.	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NRC	National Research Council
USEPA	United States Environmental Protection Agency
MeHg	Metilmercúrio
IHg	mercúrio inorganico
Hg Total	mercúrio total
SNC	Sistema Nervoso Central
µg/g	micrograma por grama
µg/l	micrograma por litro
ppm	partes por milhão
SH	Grupamentos sulfidrilas
WHO	World Health Organization
OMS	Organização Mundial de Saúde
UCLM	Universidad de Castilla-La Mancha-Espanha
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LFM	Laboratório de Farmacologia Molecular
TMAH	Hidróxido de tetrametilamônia
ANOVA	Análise de variância

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
1.1 Mercúrio e a contaminação ambiental	01
1.2 Mercúrio e intoxicação humana	02
1.3 Mercúrio e a Amazônia	03
1.4 Espécies de peixes mais consumidas na região do rio Tapajós	09
a) <i>Cichla</i> sp. – Nome comum: Tucunaré	10
b) <i>Pellona</i> sp. – Nome comum: Sarda	12
c) <i>Plagioscion squamosissimus</i> – Nome comum: Pescada branca	12
d) <i>Pseudoplatystoma</i> sp. – Nome comum: Surubim	13
e) <i>Brachyplatystoma filamentosum</i> – Nome comum: Filhote	14
f) <i>Brachyplatystoma flavicans</i> – Nome comum: Dourada	15
g) <i>Leporinus</i> sp. – Nome comum: Aracu	16
h) <i>Mylossoma</i> sp. – Nome comum: Pacu	17
i) <i>Satanoperca</i> sp. – Nome comum: Caratinga	17
j) <i>Colossoma macropomum</i> – Nome comum: Jaraqui	18
1.5 Mercúrio nos peixes do Rio Tapajós	19
2. OBJETIVO GERAL	22
2.1 Objetivos específicos	22
3. MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1 Áreas de estudo	23
a) Município de Belém	23
b) Município de Itaituba	23
3.2 Coleta de amostras	24
3.3 Análise de mercúrio	24
3.4 Análise estatística	25
4. RESULTADOS	26
4.1 Características dos peixes incluídos no estudo	26
4.2. Conteúdo em metilmercúrio no músculo de peixes das regiões de Belém e Itaituba (Tapajós)	29
4.3. Conteúdo em mercúrio inorgânico no músculo de peixes das regiões de Belém e Itaituba (Tapajós)	32
4.4. Correlações entre o IEN e o conteúdo em mercúrio	35
5. DISCUSSÃO	37
6. CONCLUSÕES	44
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1. INTRODUÇÃO

1.1 Mercúrio e a contaminação ambiental

No Brasil, e especialmente na Amazônia, o mercúrio é uma importante fonte de contaminação ambiental, fato diretamente relacionado ao seu intenso uso pela atividade garimpeira (Câmara *et al.*, 1997; Crespo-López *et al.*, 2005; Sá *et al.*, 2006; Pinheiro *et al.*, 2007; Berzas-Nevado *et al.*, 2010) e em virtude da sua capacidade de se ligar a outros metais, principalmente aqueles de interesse econômico, como o ouro (Azevedo, 2003; Baird & Cann, 2004).

Além da atividade garimpeira, o mercúrio é utilizado pelo homem em diversas outras aplicações, como na indústria, na odontologia, na farmácia e na agricultura. A intensificação de seu uso resultou no aumento significativo da contaminação ambiental e em episódios de intoxicação humana em todo o mundo. (National Research Council (NRC), 2001; Godchfeld, 2003; Sanfeliu *et al.*, 2003; Crespo-López *et al.*, 2005; Crespo-López *et al.*, 2009; Berzas-Nevado *et al.*, 2010).

Esse metal pode ser encontrado na natureza em seu estado elementar (onde se apresenta como um líquido branco-prateado, o mercúrio metálico (Hg^0)), em duas formas oxidadas, o íon mercúrico (Hg^{2+}) e o íon mercurioso (Hg_2^{2+}), ou ainda nas diferentes espécies organometálicas (alquilmercuriais, alcóximercuriais e fenilmercuriais), sendo o metilmercúrio (CH_3Hg) e o dimetilmercúrio ($(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$), os alquilmercuriais de cadeia curta de maior importância toxicológica (United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1997; NRC, 2001; Baird & Cann, 2004).

No ambiente, os compostos organometálicos são resultantes da ação de microorganismos aquáticos (bactérias metanogênicas) que transformam as formas metálicas do mercúrio e o mercúrio inorgânico em metilmercúrio (MeHg) e dimetilmercúrio (Bahia *et al.*, 1999; Boening *et al.*, 2000; Wasserman, *et al.*, 2001; Baird & Cann, 2004). Após esse processo de biotransformação, ocorre também outro processo denominado de biomagnificação, que seria a tendência do metal a se acumular nos seres vivos à medida que se avançam os níveis tróficos. Dessa forma, a biota aquática se torna a principal via de transferência do mercúrio de um ambiente contaminado para os seres humanos, especialmente quando o peixe faz parte da dieta alimentar (Godchfeld, 2003; Crespo-López *et al.*, 2005; Sá *et al.*, 2006; Pinheiro *et al.*, 2006; Pinheiro *et al.*, 2007; Berzas-Nevado *et al.*, 2010).

Assim, por ser um elemento de ocorrência natural e apresentar larga aplicação, o mercúrio é considerado um poluente de alto risco, sendo regulado por vários órgãos ambientais, como por exemplo, a USEPA (Lin & Pehkonen, 1999).

1.2 Mercúrio e intoxicação humana

O metilmercúrio é um composto altamente tóxico, pois possui fácil penetração através das membranas biológicas, eficiente bioacumulação e é altamente estável sendo de difícil eliminação dos tecidos (Baird & Cann, 2004; Crespo-López *et al.*, 2005). A lipossolubilidade dos compostos organomercuriais também facilita a sua passagem em praticamente 100% quando comparado com o mercúrio inorgânico através dos tecidos aumentando seu potencial tóxico (Micaroni *et al.*, 2000; Crespo-López *et al.*, 2007). O mercúrio metálico praticamente não sofre absorção digestiva, mas seus vapores são rapidamente bem absorvidos por via respiratória e inclusive, através da pele (Schvartsman, 1979).

O mercúrio inorgânico (Hg^{2+}) afeta e se acumula, sobretudo nos rins devido à sua alta afinidade com os grupos tióis das proteínas, peptídicos e aminoácidos, envolvendo uma série de mecanismos intra e extracelular (Guedes, 2009). Devido esta afinidade pelos grupamentos sulfidrilas, o mercúrio interfere no metabolismo e função celular, e pode deprimir os mecanismos enzimáticos fundamentais da oxidação celular (Azevedo, 2003), além de provocar danos na membrana celular, interferindo nas funções de transporte das células, especialmente dos neurotransmissores cerebrais (Azevedo, 2003).

O Sistema Nervoso Central (SNC) é o principal órgão-alvo da intoxicação por mercúrio, pois sofre os danos mais importantes observados em humanos, afetando, principalmente, áreas específicas do cérebro, como cerebelo e lobos temporais (Cardoso, *et al.*, 2001; Sanfeliu *et al.*, 2003; Baird & Cann, 2004; Crespo-López *et al.*, 2005; Crespo-López *et al.*, 2007). A exposição ao metilmercúrio induz diferentes padrões de mudanças no SNC. Por exemplo, através de estudos *in vitro*, Vettori *et al.* (2003), demonstraram que no cérebro adulto o mercúrio causa danos no córtex visual e perda neuronal na camada granulosa no cerebelo (Vettori *et al.*, 2003). No entanto, no SNC em desenvolvimento, o qual é extremamente sensível à neurotoxicidade, ocorre difusa e generalizada desorganização da citoarquitetura do córtex cerebral e perda de células granulares (Vettori *et al.*, 2003).

A intoxicação crônica por metilmercúrio se caracteriza principalmente por ataxia (perda da coordenação dos movimentos voluntários), disartria (problemas na articulação de palavras), parestesia (perda da sensibilidade nas extremidades das mãos e dos pés e em torno da boca), constrição do campo visual, perda de audição e alterações no desenvolvimento nervoso em crianças (Tchounwon *et al.*, 2003). Uma contaminação severa pode causar cegueira, coma e morte (Cardoso *et al.*, 2001).

Na intoxicação aguda, os primeiros sintomas geralmente aparecem alguns dias após a exposição e são evidenciados pelos tremores das mãos sem controle pelo indivíduo, queda dos cabelos e dos dentes (Azevedo, 2003).

Recentemente, também foi discutida a possibilidade de que a intoxicação crônica a este metal possa causar evidentes danos genotóxicos nas populações humanas expostas, como já foi demonstrado *in vitro* (Crespo-López *et al.*, 2007; Crespo-López *et al.*, 2009). Interessantemente, Crespo-López *et al.* (2011) demonstraram que a exposição a relativamente baixas concentrações de metilmercúrio poderia iniciar processos genotóxicos uma vez que houve um aumento significativo no índice mitótico de culturas de linfócitos humanos expostas.

1.3 Mercúrio e Amazônia

A Bacia Amazônica vem sendo exposta ao mercúrio desde a década de setenta, quando houve o “boom” do ouro na Amazônia e várias técnicas de extração de ouro, utilizando amalgamação com mercúrio, têm sido desenvolvidas desde então (Santos *et al.* 2003). O mercúrio lançado no ecossistema aquático, proveniente das atividades minerais e a lixiviação dos solos após o desmatamento, são considerados os principais fatores para a contaminação deste ecossistema (Cardoso *et al.*, 2001; Berzas-Nevado *et al.*, 2010).

O ciclo biogeoquímico deste metal é caracterizado pelas várias rotas que pode seguir no ambiente. Na atmosfera podem ser encontrados vapores de mercúrio na sua forma elementar ou orgânica (Bisinoti & Jardim, 2004). No solo ou sedimento, pode ocorrer absorção do mercúrio na forma insolúvel e posteriormente metilação dando origem ao dimetilmercúrio e ao metilmercúrio (Bisinoti & Jardim, 2004).

Existem dois ciclos de transporte e distribuição do mercúrio no ambiente: um global e outro local. O ciclo de alcance global corresponde à emissão natural do mercúrio no meio ambiente. O ciclo local é favorecido pelas fontes antropogênicas e

depende da metilação do mercúrio inorgânico (Cypriano, 2009). Os dois ciclos são completados pela precipitação, bioconversão, reinteração na atmosfera ou bioacumulação na cadeia alimentar aquática (Bisinoti & Jardim, 2004).

O vapor de mercúrio presente no ar atmosférico pode sofrer oxidação, transformando-se em mercúrio inorgânico (Hg^{2+}), que por precipitação é depositado no solo ou nos rios e lagos (Maia, 2009). Quando alcança os sistemas aquáticos, pode sofrer ação de bactérias metanogênicas, que a fim de excretar este metal, metaboliza-o transformando-o em formas orgânicas (Wasserman *et al.*, 2001; Morgano *et al.*, 2005). O metilmercúrio entra na cadeia alimentar e, dessa forma, pode chegar ao homem através da ingestão de organismos aquáticos contaminados, principalmente peixes (Berzas-Nevedo *et al.*, 2010).

Assim, Wasserman *et al.* (2001) propuseram um esquema para representar o ciclo do mercúrio no ambiente amazônico, dessa forma, a concentração de mercúrio nas águas seria baixa em razão da baixa solubilidade do metal, tendo a parte atmosférica do ciclo, importância significativa (Figura 1).

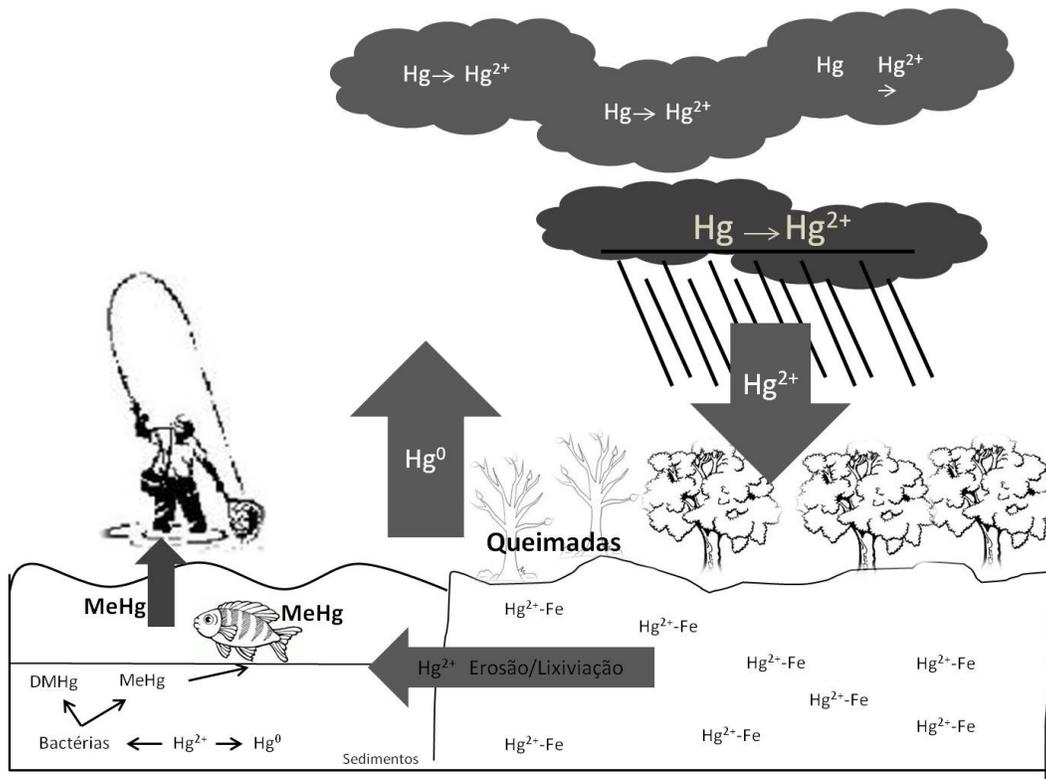


Figura1. O ciclo biogeoquímico do mercúrio. MeHg (metilmercúrio); DMHg (dimetilmercúrio); Hg^0 (mercúrio metálico); Hg^{2+} (mercúrio iônico). Modificado de Weisserman *et al.*(2001).

Segundo este modelo, o mercúrio é volatilizado para a atmosfera como mercúrio metálico, sofre oxidação e retorna junto com a água da chuva em sua forma iônica (Hg^{2+}). Neste caso, o solo representaria um reservatório de mercúrio onde se encontra altas concentrações deste elemento (Wasserman *et al.*, 2001). Alguns autores defendem que devido o solo Amazônico ser rico em ferro, o mercúrio se ligaria ao ferro aumentando seu tempo de permanência neste compartimento (Roulet *et al.* 1998). Através de atividades antropogênicas, o mercúrio seria lançado diretamente nos rios, contaminando a biota aquática e conseqüentemente, o homem, via alimentar. A população ribeirinha do Tapajós (Figura 2) é exposta ao mercúrio principalmente através das vias ocupacionais e alimentar, uma vez que grande parte da população trabalha nos garimpos onde está exposta a inalação do vapor de mercúrio originado da queima da amálgama para recuperar o ouro (Magos *et al.*, 1978; Berzas Nevado *et al.*, 2010).

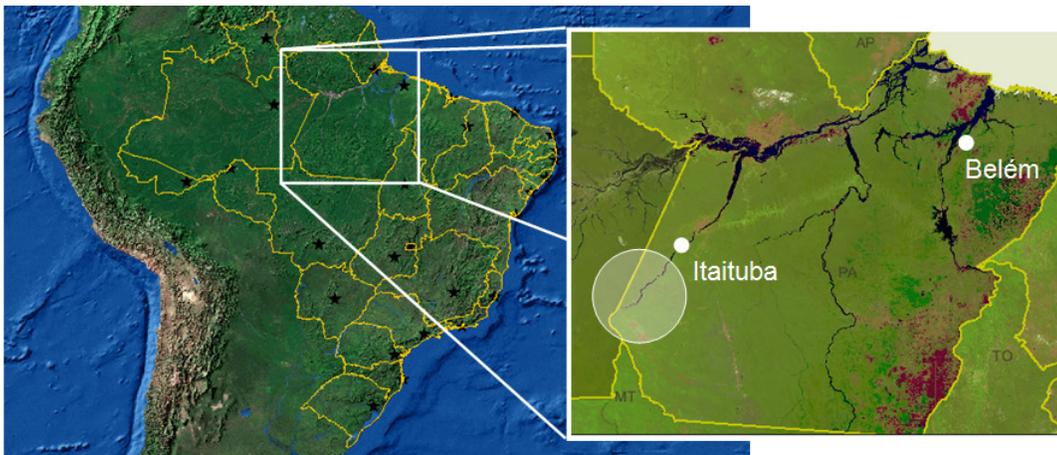


Figura 2. Mapa do Brasil (à esquerda) mostrando os estados federais com suas capitais indicadas por estrelas pretas. A inserção à direita representa o mapa do Estado do Pará com a cidade de Itaituba ao longo do rio Tapajós e a cidade de Belém, indicadas por pequenos círculos brancos, bem como a localização aproximada da principal área de garimpo, da bacia do rio Tapajós indicado pelo grande círculo branco. Fonte: Berzas-Nevado *et al.*, 2010.

A exposição humana com mercúrio, na região do rio Tapajós no Estado do Pará, vem sendo estudada pela análise de amostras de cabelo das populações de diferentes comunidades ribeirinhas (Pinheiro *et al.*, 2003; Pinheiro *et al.*, 2006; Pinheiro *et al.*, 2007; Pinheiro *et al.*, 2008; Berzas-Nevado *et al.*, 2010). Pesquisas realizadas medindo o nível de metilmercúrio em amostras de cabelo encontraram valores de 7 $\mu\text{g/g}$ até mais de 150 $\mu\text{g/g}$ (Lebel *et al.*, 1998), e o patamar a partir do qual os primeiros sinais clínicos

e sintomas de intoxicação mercurial ocorrem é de 50 µg/g (Cardoso *et al.*, 2001). Outros estudos, nesta região, também encontraram níveis acima do limite de 10µg/g estabelecido para os níveis de mercúrio em amostras de cabelo, como é o caso de Barreiras onde a população apresenta níveis de mercúrio de cerca de 11,75 µg/g e em São Luís do Tapajós, onde os níveis foram de cerca 15,13 µg/g (Pinheiro *et al.*, 2006). Adicionalmente, Pinheiro *et al.* (2007) em um estudo comparativo, encontraram em amostras de cabelo de crianças das cidades de São Luís do Tapajós e Barreiras níveis de mercúrio de cerca de 13.39 ±9.08 ppm e 6.48 ±2.61 ppm, respectivamente.

Lemire *et al.* (2006) realizaram um estudo com amostras de sangue de ribeirinhos das cidades de São Luis do Tapajós, Nova Canaã, Santo Antônio, Mussum, Vista Alegre e Açaituba e encontraram níveis de mercúrio de cerca de 61.8 ± 38.9 µg/L. Ainda com amostras de sangue, e incluindo amostras de urina, Passos *et al.* (2007), estudaram a concentração de mercúrio inorgânico nas mesmas populações de comunidades ribeirinhas do estudo mencionado acima, somando-se a cidade de Brasília Legal, e encontraram uma média de 38.6 ± 21.7 µg/L de mercúrio total no sangue e a porcentagem média de mercúrio inorgânico foi de 13.8%. A média de metilmercúrio foi 33.6 ± 19.4 µg/L, e de mercúrio inorgânico foi 5.0 ± 2.6 µg/L. Nas amostras de urina, a concentração média de mercúrio foi de 7.5 ± 6.9 µg/L, com 19.9% dos participantes apresentando níveis de mercúrio na urina acima de 10 µg/L (Passos *et al.* 2007). Uma vez que a dieta da maioria da população indígena e ribeirinha é constituída de peixe, a via alimentar se torna o principal meio de exposição destas populações ao mercúrio, e especialmente, ao metilmercúrio (Micaroni *et al.*, 2000; Santos *et al.*, 2003; Pinheiro *et al.*, 2008). Segundo Passos *et al.* (2008), o peixe é parte da dieta dos ribeirinhos e consiste em pelo menos 7 refeições semanais, com cerca de 141g de peixe por refeição, e a proporção de peixes piscívoros na dieta é de cerca de 45%.

O risco de intoxicação mercurial através da ingestão de peixes contaminados é considerado alto quando levamos em consideração fatores como a quantidade ingerida e a frequência dessa ingestão, pois são determinantes para a acumulação de mercúrio no organismo humano (Morgano *et al.*, 2005). Conhecendo os riscos dessa intoxicação para a saúde humana, devemos alertar a população ribeirinha do Tapajós a não ingerir peixes de hábitos piscívoros, pois como já foi demonstrado, atualmente estão altamente contaminados com metilmercúrio.

Sabe-se que o mercúrio é prejudicial à saúde, e que as formas organomercuriais são as mais perigosas quando falamos de toxicidade. O metilmercúrio é o composto

mais tóxico derivado do mercúrio, é considerado um poluente ambiental que representa considerável risco para a saúde humana por ser um composto que se bioacumula e se biomagnifica na cadeia alimentar aquática (Berzas-Nevedo *et al.*, 2010).

Dessa forma, muitos estudos sobre a contaminação de mercúrio em peixes vêm sendo realizadas na Amazônia. A contaminação do pescado acontece através da alimentação, da adsorção e da respiração (brânquias) e o mercúrio se fixa nos grupamentos sulfidrilas (SH) da proteína do peixe, principalmente sob a forma de metilmercúrio (Morales-Aizpuruá *et al.*, 1999). Nestes, observa-se que o MeHg corresponde a cerca de 90% da concentração total de mercúrio (Micaroni *et al.*, 2000; Kehrig *et al.*, 2008).

Nos peixes, a intoxicação por mercúrio pode ocasionar várias anormalidades fisiológicas e bioquímicas. Níveis elevados de metilmercúrio ao longo do tempo tornam-se prejudiciais para o organismo destes animais, comprometendo diferentes órgãos como os rins e o SNC (Roldão, 2007). Peixes expostos à intoxicação por mercúrio orgânico, sob a forma de metilmercúrio, apresentaram alterações comportamentais, como perda da postura e equilíbrio, além de baixo desempenho na atividade de natação (Berntssen *et al.*, 2003). Efeitos sobre a capacidade de locomoção interferiram nas atividades de forrageamento e fuga de predadores. No cérebro, foram observadas alterações em atividades enzimáticas e lesões patológicas (vacuolização e necrose). A exposição ao metilmercúrio também causou danos em órgãos olfativos e sensoriais (Fjeld *et al.*, 1998; Berntssen *et al.*, 2003).

A biota aquática tem uma relação direta com o ambiente, e é capaz de ser usada como um indicador dos efeitos adversos do mercúrio, dessa forma, pode-se dizer então, que os organismos aquáticos são ótimos indicadores da presença de mercúrio, e que as concentrações desse metal aumentam à medida que o nível na cadeia trófica também aumenta (Eisink, 1990). Os peixes predadores que possuem altas concentrações do mercúrio, e conseqüentemente metilmercúrio, devido o mercúrio se acumular nos seus tecidos através da alimentação, podem ser considerados excelentes sentinelas da qualidade ambiental (Altindag & Yigit, 2005).

Geralmente, mede-se a concentração de mercúrio em amostras de músculo de peixes, pois o nível de mercúrio neste tecido tem uma relação direta com os distúrbios neuromotores e com as neuropatias (revisado de Vieira *et al.*, 2011) além do fato de ser esta a parte consumida na alimentação.

1.4. Espécies de peixes mais consumidas na região do rio Tapajós

Sabe-se que as populações ribeirinhas da região do rio Tapajós possuem uma dieta rica em peixes, com cerca de sete refeições por semana (Passos *et al.*, 2008; Berzas-Nevedo *et al.*, 2010) e entre as espécies de peixes mais consumidas é possível destacar: *Cichla* Scheneider 1801 spp. (Tucunaré), *Pellona Valenciennes*, 1837 spp. (Sarda), *Plagioscion squamosissimus* Heckel, 1840 (Pescada Branca), *Pseudoplatystoma* Linnaeus, 1766 spp. (Surubim), *Brachyplatystoma filamentosum* Lichtenstein, 1819 (Filhote), *Brachyplatystoma flavicans* Castelnau 1855 (Dourada), *Leporinus* Steindachner, 1876 spp. (Aracu), *Mylossoma* Cuvier, 1817 spp. (Pacu), *Satanoperca* Heckel, 1840 spp. (Caratinga) e *Colossoma macropomum* Cuvier, 1818 (Jaraqui).

De acordo com Malm *et al.* (2010), na região do Tapajós, a disponibilidade e o tipo de peixe varia de acordo com o nível das águas. Em épocas de cheia, os peixes mais consumidos são o Aracu e a Pescada Branca, com 38% e 36%, respectivamente, e em épocas de seca, os peixes mais consumidos são o Tucunaré, o Pacu e a Caratinga, com 28%, 20% e 18%, respectivamente (Malm *et al.*, 2010).

Dentre as espécies mais consumidas nesta região, destacam-se duas ordens: a Ordem Characiformes e a Ordem Siluriformes. De acordo com Ferreira *et al.* (1998), os peixes pertencentes à ordem Characiformes possuem o corpo totalmente revestido por escamas finas com nadadeiras pélvicas com 5 a 12 raios e localizadas na região médio-posterior do corpo e nadadeira caudal com cerca de 19 raios principais. Esta ordem compreende a grande maioria dos peixes de água doce do Brasil e do mundo.

Das espécies que fazem parte desta ordem, muitas possuem hábitos migratórios de grandes ou curtas distâncias, movimentando-se entre rios e lagos. Um dos principais representantes deste grupo é o Tambaqui ou Jaraqui (*Colossoma macropomum*), que alcança cerca de 1m de comprimento e 30 kg e os demais membros são de menor porte, entre 20 e 50 cm de comprimento, destacando-se os Matrinchãs (*Brycon* spp), Curimatãs (*Prochilodus* spp), Pacus (*Myleus* spp, *Mylossoma* spp), Sardinhas (*Triportheus* spp) entre outros. Os cardumes realizam freqüentes migrações pelo canal para desovar ou à procura de novas áreas para alimentação e dispersão.

Segundo Ferreira *et al.* (1998), a ordem Siluriformes engloba os peixes cobertos por placas duras ou totalmente nus, são os chamados bagres e os cascudos. Estes peixes apresentam barbilhões característicos ao redor da boca, geralmente em 3 pares, sendo 1

par maxilar e 2 pares mentonianos. Os dentes são pequenos, curvos, em grande número, agrupados em placas. As nadadeiras peitorais e dorsal normalmente possuem o primeiro raio em forma de um ferrão, pelo qual podem se defender ou prender-se a locais com águas rápidas. O corpo é, geralmente, achatado dorso-ventralmente, adaptados a vida bentônica e muitas das espécies são carnívoras. A ordem compreende 1.056 espécies (Buckup *et al.*, 2007) e a maioria é encontrada nas águas doce da Amazônia Brasileira. As principais famílias são os Loricariidae, Auchenipteridae, Doraridae e a Pimelodidae.

É importante destacar que uma característica muito forte nesta destes peixes é a migração de longas distâncias através do canal principal do sistema Solimões-Amazonas. Entre os principais representantes deste grupo estão o Surubim (*Pseudoplatystoma* spp.), a Dourada (*Brachyplatystoma flavicans*), a Piramutaba (*B. vaillantii*) e o Filhote (*B. filamentosum*), o maior bagre de água doce, alcançando cerca de 2,4 m e 130 Kg.

Abaixo segue uma descrição de cada espécie estudada, é importante destacar, que estas características são relacionadas aos peixes encontrados na região Amazônica:

a) *Cichla* spp. – Nome comum: Tucunaré



Figura 3. *Cichla* spp.

O gênero *Cichla* Schneider 1801 pertence à ordem Perciforme e à família Cichlidae. Este gênero compreende 15 espécies (Tabela 1) reconhecidas por suas características externas como, por exemplo, o padrão de coloração e manchas (Kullander & Ferreira, 2006) e preferências de habitat (Winemiller, 2001).

O Tucunaré é uma espécie de médio porte, chega a medir cerca de 50 cm de comprimento e seu peso adulto fica entre 3 Kg e 10 Kg. Tem preferência por ambientes de águas paradas, como os lagos e remansos de rios. É piscívoro diurno sendo considerado altamente voraz, engolindo peixes inteiros (Claro-Jr *et al.*, 2004; Mérona & Rankin-de-Mérona, 2004). Os juvenis são planctófagos e insetívoros (Gomiero & Braga,

2004). Possui hábito diurno, sedentário, desova parcelada e fecundação externa. Habitam margens de rios e lagos onde constroem ninhos e cuidam da prole até os três meses de idade. A reprodução ocorre durante todo o ano, tendo a maturação sexual entre os 20- 35 cm de comprimento ou 1-2 anos de idade, com um pico no início da estação chuvosa. Cerca de 9.000 a 15.000 ovos / Kg são liberados durante a desova. É distribuído em toda a bacia do Rio Amazonas (Kullander & Ferreira, 2006). É um peixe de grande importância comercial e de consumo habitual na região do Tapajós.

Espécie	Autor, ano	Local de ocorrência
<i>Cichla ocellaris</i>	Schneider, 1801	Costa Guiana; Rio Essequibo
<i>Cichla temensis</i>	Humboldt, 1821	Rio Negro; Rio Orinoco; Rio Branco; Rio Purús
<i>Cichla orinocensis</i>	Humboldt, 1821	Rio Orinoco; Rio Negro
<i>Cichla monoculus</i>	Agassiz, 1831	Bacia Amazônica; Rio Amazonas, Peru
<i>Cichla nigromaculata</i>	Jardine, 1843	Rio Negro
<i>Cichla intermédia</i>	Machado-Allison, 1971	Rio Casiquiare
<i>Cichla kelberi</i>	Kullander & Ferreira, 2006	Rio Tocantins
<i>Cichla pleizona</i>	Kullander & Ferreira, 2006	Rio Guaporé
<i>Cichla mirianae</i>	Kullander & Ferreira, 2006	Rio Tapajós
<i>Cichla melaniae</i>	Kullander & Ferreira, 2006	Rio Xingu
<i>Cichla piquiti</i>	Kullander & Ferreira, 2006	Rio Tocantins
<i>Cichla thyrorus</i>	Kullander & Ferreira, 2006	Rio Trombetas
<i>Cichla jariina</i>	Kullander & Ferreira, 2006	Rio Jari
<i>Cichla pinima</i>	Kullander & Ferreira, 2006	Rio Curuá-Uma
<i>Cichla vazzoleri</i>	Kullander & Ferreira, 2006	Rio Trombetas

Tabela 1: Espécies descritas do Gênero *Cichla*. Adaptado de Kullander & Ferreira, 2006.

b) *Pellona* spp. – Nome comum: Sarda



Figura 4. *Pellona* spp.

O gênero *Pellona* Valenciennes, 1837 pertence à ordem Clupeiformes e à família Pristigasteridae. A Sarda, também conhecida como Apapá, é uma espécie de grande porte que alcança 65 cm de comprimento total (Ferreira *et al.*, 1998; Santos *et al.*, 2004). Como a maioria dos Clupeiformes, é caracterizada por um corpo moderadamente comprimido, com uma quilha ventral pequena (escalas modificadas) e uma cabeça alta e estreita com uma pequena e arrebizada boca terminal. Apresenta larga distribuição geográfica na América do Sul, onde pode ser encontrada nas Bacias Amazônica, Parnaíba, Orinoco, Prata e nos rios da Guiana (Pinna & Di Dario, 2003).

É carnívoro, com tendências piscívoras, além de peixes, ingere camarões, insetos e invertebrados aquáticos (Claro-Jr *et al.*, 2004; Merona & Rankin-de-Mérona, 2004). É uma espécie migradora que migra pequenas distâncias acompanhando os cardumes de peixes de pequeno porte para se alimentar (Cox-Fernandes, 1988). Possui desova total e fecundação externa (Granaro-Lorencio *et al.*, 2005). A Sarda habita ambientes límnicos e pode ser encontrada em regiões estuarinas com baixas salinidades (áreas sobre influência de marés) (Espírito-Santo *et al.*, 2005).

c) *Plagioscion squamosissimus* – Nome comum: Pescada Branca



Figura 5. *Plagioscion squamosissimus*

A espécie *Plagioscion squamosissimus* Heckel, 1840 pertence à ordem Perciformes, a maior ordem dos vertebrados compreendendo 150 famílias, e à família Sciaenidae.

A Pescada Branca é também conhecida como Corvina e Curvinata, e é uma espécie de grande porte que alcança até 80 cm de comprimento total e até 25 Kg de peso (Keith *et al.*, 2000; Nakatani *et al.*, 2001; Santos *et al.*, 2004). É caracterizada por apresentar espinhos na parte anterior das nadadeiras dorsal e anal e a pélvica também possui o primeiro raio transformado em espinho (Britiski *et al.*, 1984). A sua alimentação depende do local onde se encontra, geralmente os adultos são piscívoros (Claro-Jr *et al.*, 2004; Santos *et al.*, 2004), enquanto os jovens alimentam-se de crustáceos e insetos aquáticos (Claro-Jr *et al.*, 2004).

Apresenta hábito noturno, desova parcelada, fecundação externa, reproduz-se durante todo o ano, com maior pico durante o período de enchente (Santos *et al.*, 2004). Trata-se de uma espécie muito apreciada por sua carne branca e delicada.

d) *Pseudoplatystoma* spp. – Nome comum: Surubim



Figura 6. *Pseudoplatystoma* spp.

O gênero *Pseudoplatystoma* Linnaeus, 1766 pertence à ordem Siluriformes e à família Pimelodidae. Esta família caracteriza-se por indivíduos de corpo nu (peixes lisos ou de couro), aberturas branquiais amplas, possuem um par de barbilhões maxilares e dois mentonianos e a maioria das espécies apresenta hábito noturno e tem órgãos sensitivos para explorar o ambiente na ausência da luz (barbilhões e barbelas quimireceptoras) (Santos *et al.*, 1984).

O Surubim é uma espécie de grande porte que alcança mais de 1,3 m de comprimento (Santos *et al.*, 2004) podendo alcançar mais de 100 Kg (Fowler, 1951), sendo que as fêmeas crescem mais do que os machos. É um peixe de hábito alimentar estritamente piscívoro (Marques, 1993), possui hábito noturno, migrador, desova total e

fecundação externa. A desova ocorre provavelmente nas áreas alagáveis e nas cabeceiras de igarapés profundos (Petriere *et al.*, 2004). A reprodução ocorre entre a enchente (Ruffino & Isaac, 1995) e a cheia (Reid, 1983). Habita calhas e margens de rios.

As espécies do gênero *Pseudoplatystoma* são conhecidas por realizarem complexas migrações entre os lagos e várzeas do rio, e migrações longitudinais migrando cerca de 300-700 km ao longo dos canais fluviais (Barthem & Goulding, 1997; Loubens & Panfili, 2000).

e) *Brachyplatystoma filamentosum* – Nome comum: Filhote



Figura 7. *Brachyplatystoma filamentosum*

A espécie *Brachyplatystoma filamentosum* Lichtenstein, 1819, pertence à ordem Siluriformes e à família Pimelodidae.

O Filhote é também conhecido como Piraíba e é um peixe de grande porte, ultrapassando 2 m de comprimento e podendo chegar a 300 Kg, os exemplares que pesam até 60 Kg são conhecidos como Filhote. Possuem cabeça grande e olhos pequenos e apresentam coloração cinza escuro. Ocorrem em quase toda a Bacia Amazônica, sobretudo em lugares profundos, poços ou remansos, saídas de corredeiras e confluências dos grandes rios. É piscívoro, os adultos se alimentam de peixes inteiros, como os pequenos bagres e peixes sem escamas que formam cardumes (Barbarino-Duque & Winemiller, 2003). Os jovens consomem crustáceos e insetos (Barthem & Goulding, 1997). Apresenta hábito noturno, migratório, desova total, fecundação externa e percorre longas distâncias para desovar (Barthem, 1990). Após a desova, as larvas e os juvenis derivam até alcançarem o estuário, que é o principal ambiente de crescimento (Barthem, 1990; Rufino & Issac, 2000). Habita calhas e margens de rios.

f) *Brachyplatystoma flavicans* – Nome comum: Dourada

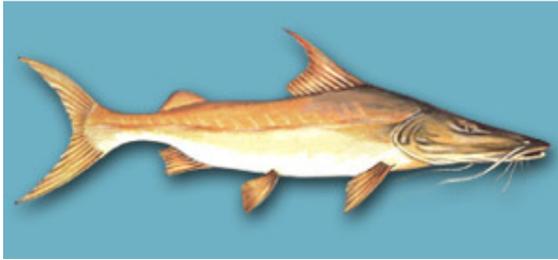


Figura 8. *Brachyplatystoma flavicans* (Fonte:<http://www.cantinhodapesca.com.br>)

A espécie *Brachyplatystoma flavicans* Castelnau, 1855 pertence à ordem Siluriformes e à família Pimelodidae.

A Dourada é uma espécie de grande porte que atinge mais de 1,5 m de comprimento e 20 Kg. Possui como características morfológicas externas mais marcantes a cabeça prateada e achatada, corpo dourado e barbilhões maxilares curtos (Barthem & Goulding, 1997). É um predador que ataca vorazmente os cardumes de peixes menores, principalmente os peixes de escamas.

Os estudos realizados até o presente corroboram com a idéia de que a Dourada realiza grandes migrações para completar seu ciclo de vida, sugerindo que estes peixes procuram áreas distintas do rio para criação, alimentação e reprodução (Barthem & Goulding, 1997). A viagem é de 5.500 Km, desde o estuário do Amazonas até Iquitos no Peru (PROVARZEA, 2005) (Figura 9).

Para desovar nas cabeceiras dos afluentes dos rios Solimões e Amazonas, os cardumes de peixes pré-adultos e adultos começam a viagem entre os meses de junho e novembro, antes do nível da água começar a subir, essa viagem dura de 5 a 6 meses (PROVARZEA, 2005).

Foi descrito que as Douradas nascem em rios como o Madeira, Purus, Juruá, Içá e Japurá e vão para o Solimões, então elas descem o Amazonas rumo ao Estuário em Belém onde formam grandes grupos e ficam até completar cerca de 2 anos de idade. Após isso, elas sobem o rio onde passam por Santarém, Manaus entre outros, até chegar no Peru. O grupo vai diminuindo quando vai em direção a Santarém, pois vários peixes entram nos rios Xingu e Tapajós (PROVARZEA, 2005).

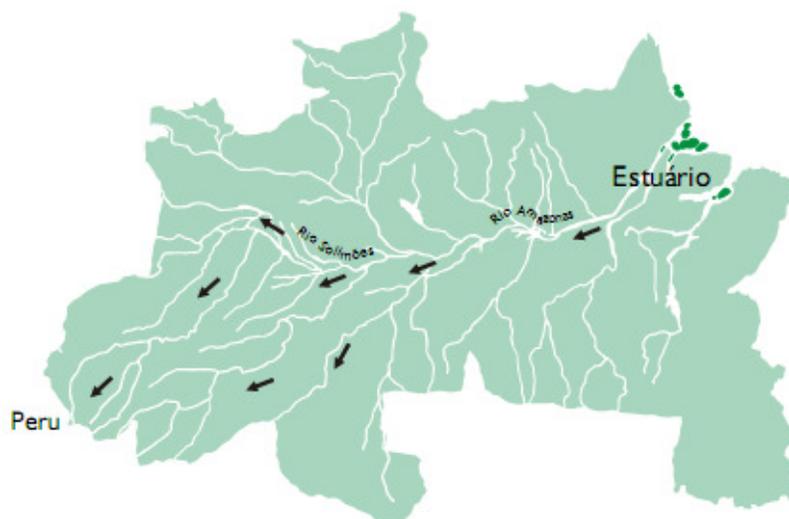


Figura 9. A rota de migração da Dourada desde o Estuário Amazônico até o Peru. (retirado de PROVARZEA,2005).

É um peixe de grande importância na Amazônia e juntamente com a Piramutaba (*Branchyplatystoma vaillant*) são comercializadas 30 mil toneladas por ano nessa região (PROVARZEA, 2005).

g) *Leporinus* spp. – Nome comum: Aracu



Figura 10. *Leporinus* spp.

O gênero *Leporinus* spp. Steindachner, 1876 pertence à ordem Characiformes e à família Anostomidae. Esta família caracteriza-se pelo corpo alongado e fusiforme, boca pequena não-protátil, maxilas geralmente curtas, nadadeira anal curta com nove a onze raios (Soares *et al.*, 2006)

É uma espécie de médio porte que alcança até 35 cm de comprimento total e até 600 g de peso (Santos, 1987; Ferreira *et al.*, 1998). É onívoro com tendência a frugivoria, alimenta-se de insetos, moluscos, pedaços de folhas, raízes, sementes e frutos que são totalmente quebrados pelos fortes dentes (Mérona *et al.*, 2001; Claro-Jr

et al., 2004; Merona & Rankin-de-Mérona, 2004). Possui hábito diurno, migrador, desova total e fecundação externa. Reúnem-se em densos cardumes durante a época de reprodução que se deslocam em direção às margens dos rios ou cabeceiras dos lagos (Santos, 1987; Granado-Lorencio *et al.*, 2005).

h) *Mylossoma* spp. – Nome comum: Pacu



Figura 11. *Mylossoma* spp.

O gênero *Mylossoma* Cuvier, 1817 pertence à ordem Characiformes e à família Characidae. Esta família abrange mais de 960 espécies (Reis *et al.*, 2003), a maioria é de peixes de pequeno porte. A caracterização morfológica do grupo como um todo é muito difícil uma vez que há grande variação na morfologia das espécies.

O Pacu é uma espécie de pequeno porte que alcança cerca de 20 cm de comprimento total. Caracteriza-se por apresentar o corpo elevado, fortemente comprimido, discóide, com abdômen quilhado (Coy & Córdoba, 2000). É herbívoro, alimenta-se de material vegetal (folhas, raízes, frutos) e invertebrados aquáticos (Merona & Rankin-de-Merona, 2004). Possui hábito diurno, migrador, desova total e fecundação externa (Granado-Lorencio *et al.*, 2005). Forma cardumes e migra rio acima para desovar (Granado-Lorencio *et al.*, 2005).

i) *Satanoperca* spp. – Nome comum: Caratinga



Figura 12. *Satanoperca* spp.

O gênero *Satanoperca* Heckel, 1840 pertence à ordem Perciformes e a família Cichlidae. Atualmente o gênero compreende sete espécies válidas: *Satanoperca acuticeps*, *Satanoperca daemon*, *Satanoperca jurupari*, *Satanoperca leucosticta*, *Satanoperca lilith*, *Satanoperca mapiritensis* e *Satanoperca pappaterra*.

Esta é uma espécie de pequeno porte que alcança até 23 cm de comprimento total (Ferreira *et al.*, 1998; Santos *et al.*, 2004). É onívoro e se alimenta de larvas de insetos, microcrustáceos, insetos adultos, material vegetal, restos de peixes e sementes (Reis, 1997; Santos *et al.*, 2004).

Possui hábito diurno, sedentário, desova parcelada, fecundação externa, incuba os ovos na boca e cuida da prole (Santos *et al.*, 2004).

j) *Colossoma macropomum* – Nome comum: Jaraqui



Figura 13. *Colossoma macropomum*

A espécie *Colossoma macropomum* Cuvier, 1818 pertence à ordem Characiformes e à família Characidae.

O Jaraqui ou Tambaqui é uma espécie de grande porte que alcança até 90 cm de comprimento total e 30 Kg de peso (Isaac & Ruffino, 2000). Caracteriza-se por um corpo alto e levemente comprimido lateralmente, sua coloração é escura, amarelada no dorso e abdome esbranquiçado (Araújo-Lima & Goulding, 1998).

É um peixe abundante em águas brancas, claras e pretas (Claro-Jr. *et al.*, 2004). Possui hábito onívoro, no entanto há variações de acordo com a idade na alimentação. Os adultos consomem principalmente frutos, sementes e zooplâncton (Merona & Rankin-de-Merona, 2004), enquanto os juvenis ingerem principalmente algas filamentosas, arroz silvestre, insetos e larvas (Araújo-Lima & Goulding, 1998).

Apresenta hábito diurno, migratório e com desova total, na época da reprodução, forma cardumes para desovar em águas calmas, geralmente na época de cheia (fevereiro) (Araújo-Lima & Goulding, 1998).

É uma espécie de grande valor comercial e muito apreciado pela população ribeirinha.

1.5. Mercúrio nos peixes do Rio Tapajós

Na Bacia do Rio Tapajós, muitos estudos já foram conduzidos para avaliar os níveis de mercúrio encontrados nos peixes, como indicador da contaminação do sistema aquático e por razões de saúde pública (Berzas-Nevado *et al.*, 2010). No entanto, houve grande variabilidade nos métodos utilizados, como por exemplo, os métodos de amostragem (a grande variedade de áreas escolhidas e as diferentes espécies estudadas em cada trabalho), que acabam por dificultar a comparação entre os resultados.

De acordo com Berzas-Nevado *et al.* (2010), os primeiros estudos realizados na Bacia do Tapajós, são do ano de 1995 e foram conduzidos por Akagi *et al.* e Malm *et al.* Neste mesmo ano, Akagi *et al.* (1995) encontraram níveis de mercúrio acima do limite de 0.5 µg/g preconizado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) em amostras de peixes do Rio Teles Pires, Rio Rato, Brasília Legal e Santarém. Os níveis de mercúrio encontrados nestas amostras foram de 0.08 a 3.82 µg/g de mercúrio e mais de 58% das amostras continham concentrações acima do limite, além disso, a espécie predominante de mercúrio foi o metilmercúrio com cerca de 91,5%, e níveis muito abaixo do limite foram encontrados em espécies não-piscívoras. Ainda em 1995, Malm *et al.* encontraram resultados semelhantes, foram estudadas vinte espécies diferentes de peixes em seis locais distintos (Alta Floresta, Rio Rato, Itaituba, Brasília legal, Ponta da Pedra e Santarém) e aproximadamente 80% das espécies eram piscívoras. Somente estas espécies apresentaram níveis de mercúrio acima do limite com valores que foram de 0.04 a 3.77 e média de 0.55 µg/g. O metilmercúrio apresentou uma média de 90% do conteúdo total de mercúrio.

A partir daí, muitos outros estudos foram conduzidos na região do Tapajós, analisando as concentrações de mercúrio em peixes piscívoros e não-piscívoros (Lebel *et al.*, 1997; Bidone *et al.*, 1998; Castilhos *et al.* 1998; Da Silva Brabo *et al.*, 2000; De Souza Lima *et al.*, 2000; Dorea *et al.*, 2005; Passos *et al.*, 2008) (Tabela 2). Ao comparar os trabalhos, verifica-se que o tamanho amostral variou muito, com trabalhos utilizando *n* de cerca de 3 -10 (Akagi *et al.*, 1995; Kehrig *et al.*, 2010) e outros com *n*= 421 (Passos *et al.*, 2008).

Apesar da grande variabilidade entre esses estudos, em todos eles os níveis mais elevados de mercúrio total foram encontrados nas espécies piscívoras e onívoras (Lebel *et al.*, 1997; Bidone *et al.*, 1998; Da Silva Brabo *et al.*, 2000; Dos Santos *et al.*, 2000; De Souza Lima *et al.*, 2000; Passos *et al.*, 2008) com concentrações, muitas vezes acima do limite de tolerância estabelecido pela OMS (WHO, 1990).

Com base nos dados acima, Castilhos & Bidone (2000) propuseram uma seqüência geral trófica para a biomagnificação do mercúrio na ictiofauna da região do Tapajós: herbívoros \leq detritívoros < onívoros < planktívoros < carnívoros onívoros = carnívoros ictiófagos.

Além disso, apesar destes muitos estudos encontra-se uma grande desvantagem: a falta de especificidade nos compostos avaliados. Até hoje, todos os trabalhos conduzidos nessa região para a avaliação da contaminação nos peixes unicamente quantificaram o mercúrio total (por exemplo, sem conhecer a quantidade exata de mercúrio orgânico), exceto o de Da Silva Brabo *et al.* (2000) realizado na reserva dos Mundurucus.

Apesar de assumir que uma parte importante do mercúrio total detectado nos músculos dos peixes estaria na forma de metilmercúrio, é necessário ter certeza da concentração exata desta forma orgânica à qual as populações ribeirinhas estariam expostas através do consumo de peixes. Somado a isso, Tiffany-Castiglioni & Qian (2001) propuseram que o mercúrio na forma de metilmercúrio ou mercúrio metálico entraria nas células por difusão ou, na forma de mercúrio inorgânico (Hg^{2+}) via um possível transportador, e dentro da célula o metilmercúrio poderia ser desmetilado ao longo do tempo, transformando-se em mercúrio inorgânico no citoplasma das células sendo armazenado nos lisossomos (Tiffany-Castiglioni & Qian, 2001).

Assim, se faz necessário também analisar as concentrações de mercúrio inorgânico as quais as populações estão expostas, e interessante, até agora nunca foi feito um estudo na região Amazônia em que fosse feita a especiação mercurial com dados exatos da concentração de metilmercúrio e de mercúrio inorgânico (Hg^{2+}). Também, ainda não foi realizado um trabalho que pudesse ser comparado com a bibliografia onde estivessem contidas as mesmas espécies coletadas em uma mesma região e comparadas com amostras de áreas não expostas à contaminação mercurial, como por exemplo, a cidade de Belém.

Tabela 2. Concentrações de mercúrio ($\mu\text{g/g}$) encontradas em trabalhos realizados na região do Tapajós. (n= número de amostras) (Hg Total= mercúrio total; MeHg = metilmercúrio; IHg = mercúrio inorgânico)

Referência	Área	Piscívoros			Não-Piscívoros			Notas	
		Hg Total	MeHg	IHg	Hg Total	MeHg	IHg		
		n			n				
Akagi et al. (1995)	Brasília Legal	3	0.41-1.16	-	-	2	0.10-0.17	-	Máx. Tucunaré
	Itaituba	3	0.54-1.00	-	-			-	Máx. Filhote
	Santarém	2	0.08-0.39	-	-			-	Máx. Apapá(Sarda)
	Alta Floresta	8	0.29-3.82	-	-			-	Máx. Piraíba(Filhote)
	Rio do Rato	5	0.28-1.60	-	-			-	Máx Peixe Cachorro
Lebel et al. (1997)	Brasília Legal	88	0.09-1.35	-	-	93	0.01-1.34	-	Máx. Pescada Branca
Malm et al. (1995)	Alta Floresta	43	0.15-3.8	65-107%	-				Máx. Piraíba e Filhote
	Rio do Rato		0.3-1.4						
	Itaituba		0.3-0.75						
	Brasília Legal		0.2-1.05						
	Ponta da Pedra	17	0.04-0.40	-					
Santarém		0.05-0.55							
Bidone et al. (1998)	Entre Jacareacanga e Itaituba	98	0.420 \pm 0.23	-	-	140	0.062 \pm 0.053	-	Máx. Peixe Cachorro
Castilhos et al. (1998)	Santarém	159	0.228 \pm 0.171	-	-	144	0.039 \pm 0.047	-	Máx. Filhote
Da Silva Brabo et al. (2000)	Reserva Munduruku	32	0.065-0.546	0.170 Tucunaré 0.212 Traíra	-	48	0.026-0.201	-	Máx Traíra (Alto também Tucunaré, Barbado Piranha).
De Souza Lima et al. (2000)	Santarém	69	0.075-0.878	-	-	40	0.001-0.141	-	Máx Tucunaré
Dos Santos et al. (2000)	Entre São Luis do Tapajós e Aveiro	61	112.4-2250	-	-	44	3.2 – 309.8	-	Máx Pescada Branca e Surubim
Dorea et al. (2005)	<i>Não Impactadas</i>								
	Rio Kabitutu	6	0.199 \pm 0.099	-	-	4	0.028 \pm 0.154	-	-
	Rio Cururu	7	0.196 \pm 0.178	-	-	62	0.052 \pm 0.052	-	-
	Rio Cururuzinho	101	0.777 \pm 0.667	-	-	11	0.044 \pm 0.064	-	-
	<i>Impactadas</i>								
	Rio Tapajós	20	0.324 \pm 0.327	-	-	11	0.103 \pm 0.027	-	-
Rio Teles Pires	56	0.673 \pm 0.564	-	-	13	0.069 \pm 0.045	-	-	
Rio Tropas	49	0.259 \pm 0.241	-	-	25	0.034 \pm 0.025	-	-	
Passos et al. (2008)	Entre Tapajós e Aveiro	421	0.52	-	-	702	0.11	-	Máx. Tucunaré
Kehrig et al. (2008)	Santarém	8	-	0.16 \pm 0.10	-	-	-	-	-
	Brasília Legal	10	-	0.50 \pm 0.37	-	-	-	-	-
	Itaituba	8	-	0.89 \pm 0.39	-	-	-	-	-
	Jacareacanga	10	-	0.62 \pm 0.34	-	-	-	-	-

Segundo dados do senso do IBGE de 2009, o consumo de pescado em Belém, é de cerca de 18,695 Kg ano/per capita. O principal distribuidor de peixes tanto para consumidor primário quando para revendedores é o Mercado do Ver-o-Peso, a maior feira ao ar livre da América Latina. Os produtos do rio e da floresta são vendidos nas barracas e no pátio junto ao mercado de peixe e são levados pelos barcos que chegam às docas (Barbosa, 2010).

Em se tratando do pescado, este mercado responde por 20% de toda a produção nacional, o Pará comercializa uma média de 180 mil toneladas de pescado ao ano, sendo que parte desta quantia escoia diariamente pelo complexo do Ver-o-Peso. A estimativa é de que, por dia, cheguem ao local entre 80 a 100 toneladas de pescado, chegando a 160 toneladas por ocasião da Semana Santa. Entre 12 e 15 toneladas são comercializadas

diariamente no próprio mercado e o restante é distribuído entre abastecimento dos mercados locais e exportação. Lá se pode encontrar cerca de 40 tipos diferentes de pescado, como a dourada, filhote, tamuatá, corvina, cação, anxova, pratiqueira entre outros (Corrêa, 2011).

Não há relatos na literatura sobre contaminação mercurial na região metropolitana de Belém, assim, esta pode ser tomada como região controle em nosso estudo.

2. OBJETIVO GERAL

Analisar e comparar os níveis de metilmercúrio e mercúrio inorgânico em diferentes espécies de peixes de consumo humano obtidos no Mercado Municipal de Itaituba (região do Rio Tapajós) e no Mercado do Ver-o-Peso (região Metropolitana de Belém).

2.1 Objetivos específicos

- Coletar peixes das espécies descritas no trabalho de Dos Santos *et al.* (2000), no Mercado Municipal de Itaituba (região do Rio Tapajós) e no mercado do Ver-o-Peso (região Metropolitana de Belém).
- Registrar os dados biométricos de cada peixe.
- Comparar os resultados com estudos anteriores

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Áreas de estudo

a) Município de Belém

A cidade de Belém é banhada pelo Rio Guamá ao sul e pela Baía do Guajará a oeste, a 160 quilômetros ao sul do Equador, ocupando uma área de 1.065 km² com latitude de -01° 27' 21" e longitude de -48° 30' 16". Belém conta atualmente com 2.100.319 habitantes, de acordo com os dados do IBGE de 2010, é a segunda cidade mais populosa da Amazônia. O clima em Belém é quente e úmido, tipicamente equatorial, influência direta da floresta amazônica, onde as chuvas são constantes. O índice pluviométrico é de 2889 mm(ano).

O mercado do Ver-o-Peso é a maior feira livre da América Latina e abastece a cidade com produtos alimentícios do interior paraense, fornecidos principalmente por via fluvial.

b) Município de Itaituba

O município de Itaituba está localizado no sudoeste do estado de Pará e tem uma área de 62 565 km² (latitude de -04° 16' 34" e longitude de -55° 59' 01"). O clima na região é quente e úmido. O município possui atualmente 97.493 habitantes, segundo os dados do IBGE de 2010. A cidade de Itaituba encontra no setor de serviços o principal motor de sua economia.

Destaca-se na economia de Itaituba o setor industrial e a mineração. Na indústria é marcante a produção de produtos baseados no calcário (matéria-prima abundante no subsolo do município), sendo a cidade uma das principais produtoras de cimento no País. No setor de mineração, destacam-se as atividades de exploração de ouro no Vale do Tapajós. A instalação de grandes conglomerados ligados à atividade de mineração fez com que, em 2008, Itaituba fosse responsável por 1,1% de toda a riqueza produzida no setor no Estado do Pará, segundo dados de IBRAM de 2009.

3.2 Coleta das amostras

A coleta das amostras de peixes (10 espécies diferentes entre peixes com hábitos piscívoros e peixes de hábitos não piscívoros) foi realizada em maio de 2009, nos municípios de Belém e Itaituba. As espécies piscívoras coletadas foram: *Brachyplatystoma filamentosum* o Filhote, *Brachyplatystoma flavicans*, a Dourada, *Pseudoplatystoma* sp., o Surubim, *Plagioscion squamosissimus*, a Pescada Branca, *Cichla* sp., o Tucunaré e *Pellona* sp., a Sarda. As espécies não-piscívoras coletadas foram: *Mylossoma* sp., o Pacú, *Leporinus* sp., o Aracu, *Satanoperca* sp., a Caratinga e *Colossoma macropomum*, o Jaraqui.

Os peixes (5 indivíduos de cada espécie) foram obtidos no mercado municipal de Itaituba, na região do Tapajós e no mercado do Ver-o-Peso, em Belém, de acordo com a sua disponibilidade no mercado. Cada peixe foi medido, pesado e fotografado. De cada peixe foi coletada e congelada uma amostra de 100-200g de músculo para ser transportada ao Laboratório de Farmacologia Molecular (LFM, UFPA, Belém). No LFM, as amostras foram descongeladas e liofilizadas para o posterior envio ao Departamento de Química Analítica y Tecnología de los Alimentos da Facultad de Ciencias Ambientales da UCLM (Espanha).

3.3 Análise de mercúrio

As amostras liofilizadas de músculo de peixe foram analisadas segundo o método de Nevado *et al.* (2005) na UCLM (Espanha) e enviadas em planilha de Excel para o LFM.

O método consiste na extração simultânea das espécies de metilmercúrio (MeHg) e mercúrio inorgânico (IHg) com hidróxido de tetrametilamônia. A determinação das espécies de mercúrio foi realizada por etilação e injeção em um sistema de Cromatografia Gasosa (GC-pyro-AFS) (Nevado *et al.*, 2005). O limite de detecção do procedimento foi de 2.8 ng/g para MeHg e de 2.0 ng/g para IHg

O método foi validado pela análise dos padrões ouro DORM-2 (músculo de *Squalus acanthias*) e DOLT-3 (fígado de *Squalus acanthias*) certificando a especificidade do método. O método para validar os testes realizados, consiste em medir a concentração do mercúrio utilizando os padrões DORM-2 e DOLT-3 cujas concentrações são fixas para cada metal e comparar quão próximo o valor medido está

do valor real. Os níveis de mercúrio inorgânico e metilmercúrio estiveram de acordo com os valores do intervalo de confiança de 95%.

3.4 Análise estatística

Para análise estatística foi utilizado o software GraphPad InStat 3.10. A normalidade (i.e. distribuição Gaussiana) de cada grupo foi testada pelo método de Kolmogorov-Smirnov. Como o resultado desse teste mostrou um $P > 0,05$ indicando uma distribuição não-Gaussiana dos dados, a posterior análise dos grupos foi realizada com o teste de Mann-Whitney considerando então um valor significativo de $P < 0,05$. Para avaliação de relações entre parâmetros foi utilizada a correlação de Spearman.

4. RESULTADOS

4.1. Características dos peixes incluídos no estudo

No mercado do Ver-o-Peso em Belém, foram coletadas cinco diferentes espécies de peixes de hábitos piscívoros, cujas informações estão distribuídas na Tabela 3. Os dados referem-se ao peso, tamanho, Índice de Estado Nutricional (IEN=(Peso (g)/[Comprimento (mm)]³) x 100.000) (Goede & Barton, 1990), tipo de alimentação, nome popular e científico.

Tabela 3: Características dos peixes de espécies piscívoras coletadas no Mercado do Ver-o-Peso em Belém.

CÓDIGO DO INDIVÍDUO	NOME POPULAR	NOME CIENTÍFICO	HÁBITO ALIMENTAR	LUGAR DE ORIGEM	PESO (g)	TAMANHO (cm)	IEN
T1	Tucunaré	<i>Cichla sp.</i>	Piscívoro	Tucuruí	550	33	1,53
T2	Tucunaré	<i>Cichla sp.</i>	Piscívoro	Tucuruí	700	36	1,50
T3	Tucunaré	<i>Cichla sp.</i>	Piscívoro	Tucuruí	650	36	1,39
T4	Tucunaré	<i>Cichla sp.</i>	Piscívoro	Tucuruí	700	36	1,50
T5	Tucunaré	<i>Cichla sp.</i>	Piscívoro	Tucuruí	800	37	1,58
PB6	Pescada Branca	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Piscívoro	Marajó	550	36	1,18
PB7	Pescada Branca	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Piscívoro	Marajó	700	39	1,18
PB8	Pescada Branca	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Piscívoro	Marajó	550	37	1,09
PB9	Pescada Branca	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Piscívoro	Marajó	500	36	1,07
PB10	Pescada Branca	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Piscívoro	Marajó	500	38	0,91
F11	Filhote	<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>	Piscívoro	Belém	1800	53	1,21
F12	Filhote	<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>	Piscívoro	Belém	1900	53	1,28
F13	Filhote	<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>	Piscívoro	Belém	1800	53	1,21
F14	Filhote	<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>	Piscívoro	Belém	2100	55	1,26
F15	Filhote	<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>	Piscívoro	Belém	1800	55	1,08
S16	Sarda	<i>Pellona sp.</i>	Piscívoro	Belém	800	38	1,46
S17	Sarda	<i>Pellona sp.</i>	Piscívoro	Belém	1000	44	1,17
S18	Sarda	<i>Pellona sp.</i>	Piscívoro	Belém	1000	42	1,35
S19	Sarda	<i>Pellona sp.</i>	Piscívoro	Belém	900	40	1,41
S20	Sarda	<i>Pellona sp.</i>	Piscívoro	Belém	1000	44	1,17
D21	Dourada	<i>Brachyplatystoma flavicans</i>	Piscívoro	Belém	2450	59	1,19
D22	Dourada	<i>Brachyplatystoma flavicans</i>	Piscívoro	Belém	2300	57	1,24
D23	Dourada	<i>Brachyplatystoma flavicans</i>	Piscívoro	Belém	1850	55	1,11
D24	Dourada	<i>Brachyplatystoma flavicans</i>	Piscívoro	Belém	2100	56	1,20
D25	Dourada	<i>Brachyplatystoma flavicans</i>	Piscívoro	Belém	2200	56	1,25

No mercado municipal de Itaituba, no Tapajós, foram coletadas dez diferentes espécies de peixes, quatro espécies não-piscívoras e seis espécies piscívoras. Todas as informações referentes a estas espécies estão listadas nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

Tabela 4: Características dos peixes de espécies não-piscívoras coletadas no Mercado do Municipal de Itaituba, no Tapajós.

CÓDIGO DO INDIVÍDUO	NOME POPULAR	NOME CIENTÍFICO	HÁBITO ALIMENTAR	LUGAR DE ORIGEM	PESO (g)	TAMANHO (cm)	IEN
26At	Aracu	<i>Leporinus sp.</i>	Herbívoro	Tapajós	300	25	1,92
27At	Aracu	<i>Leporinus sp.</i>	Herbívoro	Tapajós	350	28	1,59
28At	Aracu	<i>Leporinus sp.</i>	Herbívoro	Tapajós	400	28	1,82
29At	Aracu	<i>Leporinus sp.</i>	Herbívoro	Tapajós	400	28	1,82
30At	Aracu	<i>Leporinus sp.</i>	Herbívoro	Tapajós	400	28	1,82
31Pct	Pacú	<i>Mylossoma sp.</i>	Herbívoro	Tapajós	250	18	4,29
32Pct	Pacú	<i>Mylossoma sp.</i>	Herbívoro	Tapajós	300	21	3,24
33Pct	Pacú	<i>Mylossoma sp.</i>	Herbívoro	Tapajós	150	17	3,05
34Pct	Pacú	<i>Mylossoma sp.</i>	Herbívoro	Tapajós	150	16	3,66
35Pct	Pacú	<i>Mylossoma sp.</i>	Herbívoro	Tapajós	200	19	2,92
36Ct	Caratinga	<i>Satanoperca sp.</i>	Herbívoro	Tapajós	200	23	1,64
37Ct	Caratinga	<i>Satanoperca sp.</i>	Herbívoro	Tapajós	200	23	1,64
38Ct	Caratinga	<i>Satanoperca sp.</i>	Herbívoro	Tapajós	200	22	1,88
39Ct	Caratinga	<i>Satanoperca sp.</i>	Herbívoro	Tapajós	200	22	1,88
40Ct	Caratinga	<i>Satanoperca sp.</i>	Herbívoro	Tapajós	250	23	2,05
41Jt	Jaraqui	<i>Colossoma macropomum</i>	Herbívoro	Tapajós	300	25	1,92
42Jt	Jaraqui	<i>Colossoma macropomum</i>	Herbívoro	Tapajós	300	25	1,92
43Jt	Jaraqui	<i>Colossoma macropomum</i>	Herbívoro	Tapajós	300	24	2,17
44Jt	Jaraqui	<i>Colossoma macropomum</i>	Herbívoro	Tapajós	300	25	1,92
45Jt	Jaraqui	<i>Colossoma macropomum</i>	Herbívoro	Tapajós	250	24	1,81

Tabela 5: Características dos peixes de espécies piscívoras coletadas no Mercado do Municipal de Itaituba, no Tapajós.

CÓDIGO DO INDIVÍDUO	NOME POPULAR	NOME CIENTÍFICO	HÁBITO ALIMENTAR	LUGAR DE ORIGEM	PESO (g)	TAMANHO (cm)	IEN
46Sut	Surubim	<i>Pseudoplatystoma sp.</i>	Piscívoro	Tapajós	1600	65	0,58
47Sut	Surubim	<i>Pseudoplatystoma sp.</i>	Piscívoro	Tapajós	1600	65	0,58
48Sut	Surubim	<i>Pseudoplatystoma sp.</i>	Piscívoro	Tapajós	1000	49	0,85
49Sut	Surubim	<i>Pseudoplatystoma sp.</i>	Piscívoro	Tapajós	1000	49	0,85
50Sut	Surubim	<i>Pseudoplatystoma sp.</i>	Piscívoro	Tapajós	2000	-	-
51Dt	Dourada	<i>Brachyplatystoma fravicans</i>	Piscívoro	Tapajós	3000	50	2,40
52Dt	Dourada	<i>Brachyplatystoma fravicans</i>	Piscívoro	Tapajós	5000	69	1,52
53Dt	Dourada	<i>Brachyplatystoma fravicans</i>	Piscívoro	Tapajós	2000	56	1,14
54Dt	Dourada	<i>Brachyplatystoma fravicans</i>	Piscívoro	Tapajós	2000	54	1,27
55Dt	Dourada	<i>Brachyplatystoma fravicans</i>	Piscívoro	Tapajós	2000	55	1,20
56Tt	Tucunaré	<i>Cichla sp</i>	Piscívoro	Tapajós	1300	46	1,34
57Tt	Tucunaré	<i>Cichla sp</i>	Piscívoro	Tapajós	1300	44	1,53
58Tt	Tucunaré	<i>Cichla sp</i>	Piscívoro	Tapajós	1300	45	1,43
59Tt	Tucunaré	<i>Cichla sp</i>	Piscívoro	Tapajós	1400	46	1,44
60Tt	Tucunaré	<i>Cichla sp</i>	Piscívoro	Tapajós	900	38	1,64
61PBt	Pescada Branca	<i>Plagisocion squamosissimus</i>	Piscívoro	Tapajós	500	35	1,17
62PBt	Pescada Branca	<i>Plagisocion squamosissimus</i>	Piscívoro	Tapajós	300	31	1,01
63PBt	Pescada Branca	<i>Plagisocion squamosissimus</i>	Piscívoro	Tapajós	400	32	1,22
64PBt	Pescada Branca	<i>Plagisocion squamosissimus</i>	Piscívoro	Tapajós	1800	51	1,36
65PBt	Pescada Branca	<i>Plagisocion squamosissimus</i>	Piscívoro	Tapajós	3000	60	1,39
66Ft	Filhote	<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>	Piscívoro	Tapajós	2300	58	1,18
67Ft	Filhote	<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>	Piscívoro	Tapajós	9000	100	0,90
68Ft	Filhote	<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>	Piscívoro	Tapajós	9000	100	0,90
69Ft	Filhote	<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>	Piscívoro	Jamaxim	?	?	
70Ft	Filhote	<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>	Piscívoro	Tapajós	3000	59	1,46
71Ft	Filhote	<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>	Piscívoro	Tapajós	2500	58	1,28
72Sat	Sarda	<i>Pellona sp</i>	Piscívoro	Tapajós	2000	53	1,34
73Sat	Sarda	<i>Pellona sp</i>	Piscívoro	Tapajós	800	40	1,25
74Sat	Sarda	<i>Pellona sp</i>	Piscívoro	Tapajós	600	34	1,53
75Sat	Sarda	<i>Pellona sp</i>	Piscívoro	Tapajós	500	34	1,27

4.2. Conteúdo em metilmercúrio no músculo de peixes das regiões de Belém e Itaituba (Tapajós)

Analisando os dados encontrados para metilmercúrio, observamos que dentre os peixes coletados no rio Tapajós, os peixes piscívoros apresentaram níveis de mercúrio orgânico (MeHg) superiores aos níveis encontrados nos peixes não-piscívoros, evidenciando o fenômeno da bioacumulação do mercúrio ao longo da cadeia alimentar aquática (Figura 14).

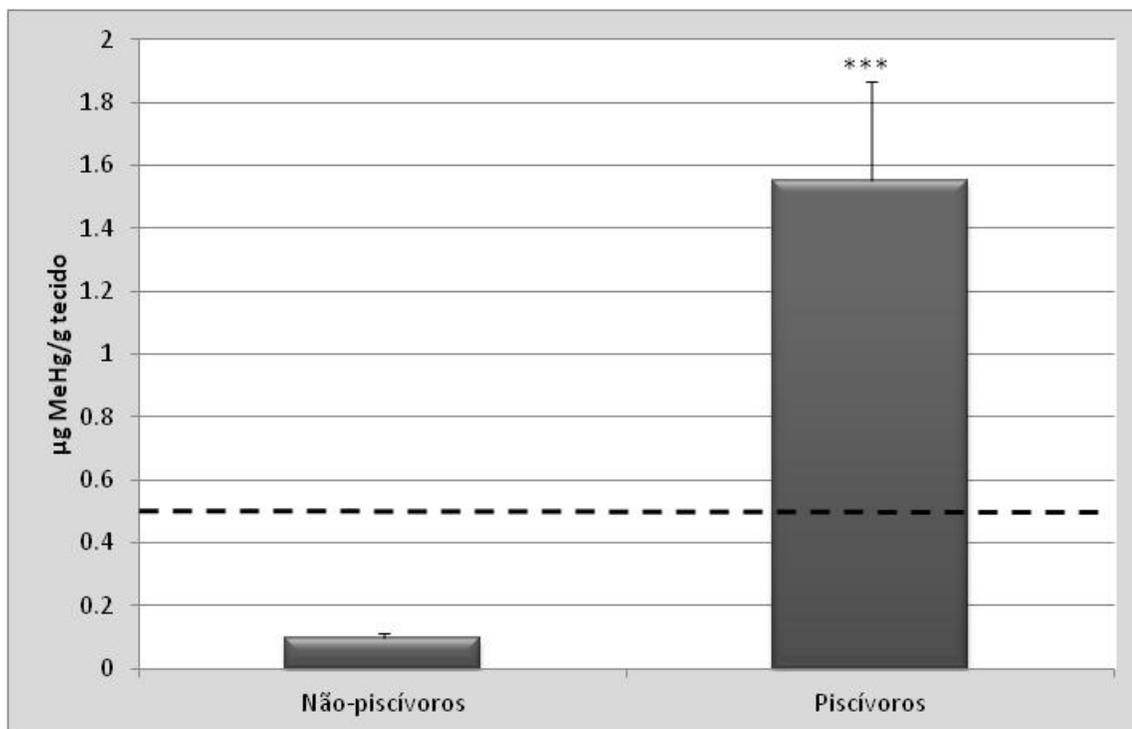


Figura 14. Conteúdo em metilmercúrio (MeHg) no músculo de peixes piscívoros e não-piscívoros da região do Rio Tapajós. Os peixes piscívoros apresentam concentrações de metilmercúrio acima do limite preconizado pela OMS (0,5 µg/g) (linha tracejada). Os valores são apresentados como média \pm erro padrão. *** $P < 0,001$ versus peixes não-piscívoros.

Assim, quando comparamos cada uma das espécies piscívoras e não-piscívoras do rio Tapajós, observamos que todas as espécies piscívoras apresentaram níveis de metilmercúrio acima do limite de segurança de 0,5 µg/g estabelecido pela Organização Mundial de Saúde (OMS) (WHO,1990). Já as espécies não-piscívoras apresentaram concentrações de metilmercúrio bem abaixo desse limite (Figura 15). Podemos observar que a espécie que apresentou maiores níveis de metilmercúrio dentre as espécies coletadas na Região do Tapajós foi a Dourada, seguida pela Sarda e Tucunaré.

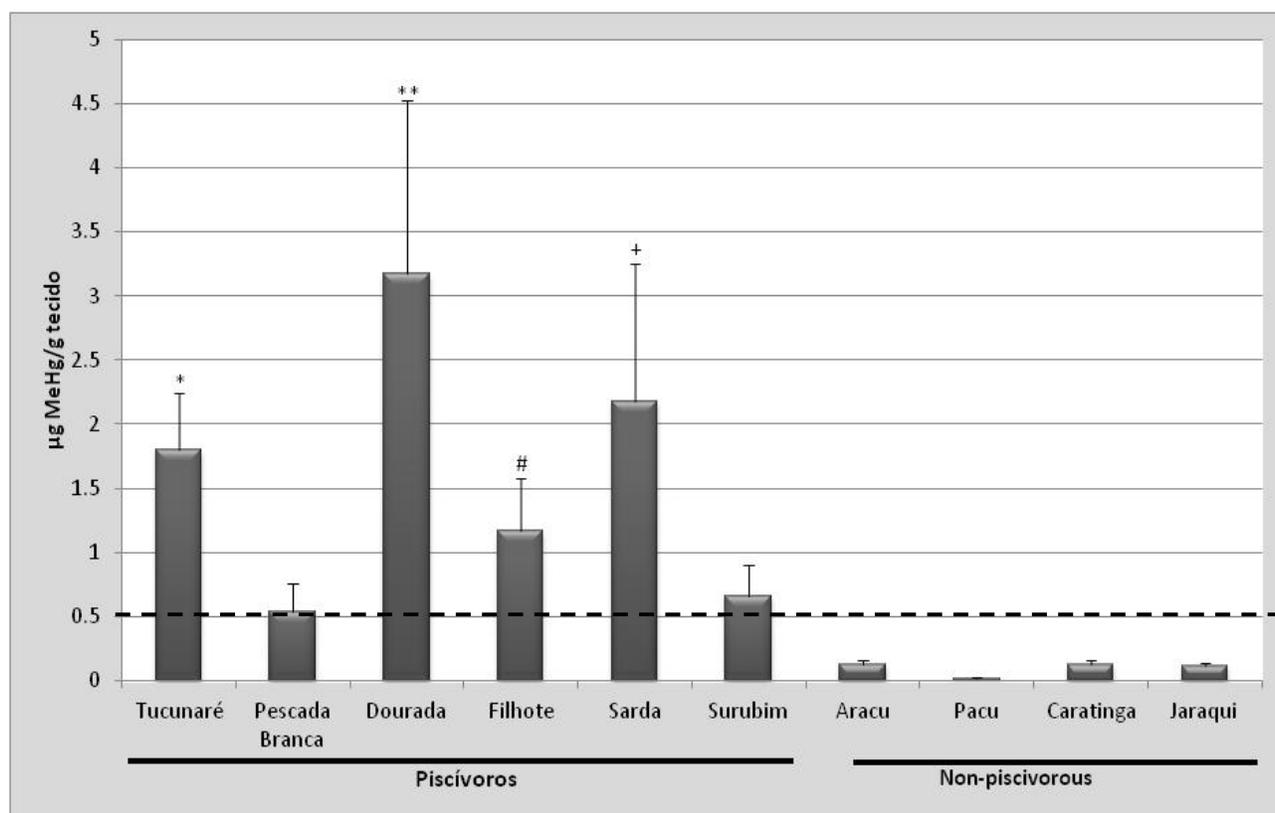


Figura15. Concentração de metilmercúrio (MeHg) em diferentes espécies de peixes (piscívoros e não-piscívoros) da região do Rio Tapajós. Os dados são expressos como média \pm erro padrão. Todas as espécies piscívoras apresentam níveis de mercúrio acima do limite preconizado pela OMS (0,5 $\mu\text{g/g}$) (Linha traçada). * Tucunaré vs Pacu $p < 0,05$; ** Dourada vs Pacu $p < 0,01$; # Filhote vs Pacu $p < 0,05$; +Sarda vs Pacu $p < 0,05$

Comparando somente as espécies de peixes piscívoros da região de Belém com as do rio Tapajós, observamos que as espécies do Tapajós apresentaram níveis de metilmercúrio maiores do que os níveis encontrados nos peixes coletados em Belém (Figura 16). A exceção foi o gênero *Cichla* spp., o Tucunaré, no qual não foram observadas diferenças estatisticamente significativas nas concentrações de MeHg nos peixes coletados nas duas regiões (Figura 16).

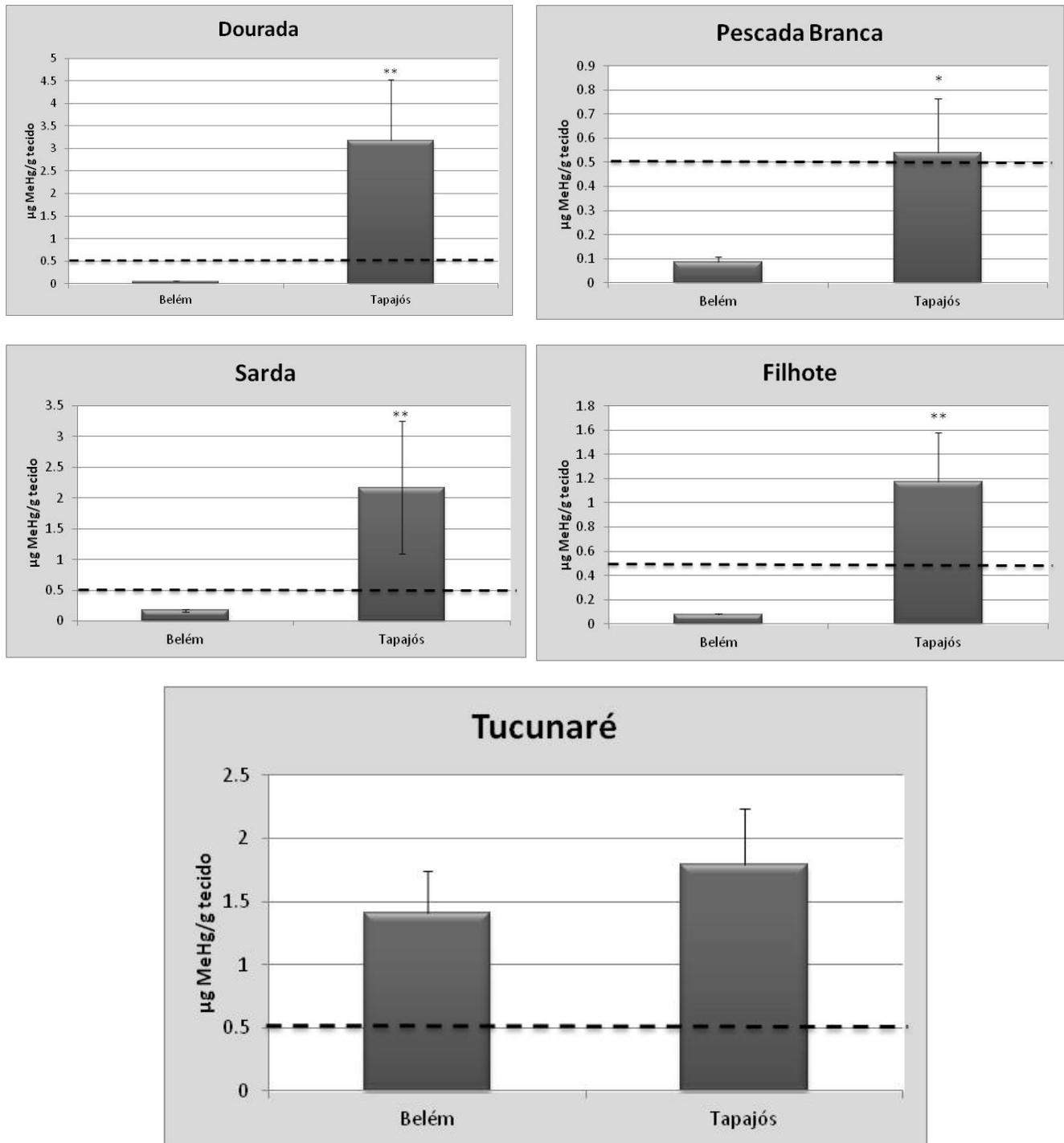


Figura16. Níveis de metilmercúrio (MeHg) em diferentes espécies piscívoras de peixes das regiões de Belém e do rio Tapajós. Os dados estão expressos como média e erro padrão. *P<0,05, **P<0,01 e ***P<0,001 *versus* a mesma espécie na região de Belém. Limite preconizado pela OMS (0,5 µg/g) (linha tracejada)

4.3. Conteúdo em mercúrio inorgânico no músculo de peixes das regiões de Belém e Itaituba (Tapajós)

Ao analisarmos as concentrações de mercúrio inorgânico encontradas em cada espécie de peixes piscívoros e não piscívoros da região do rio Tapajós, observamos que os peixes piscívoros apresentam maiores concentrações de mercúrio inorgânico de forma extremamente significativa do que os peixes não piscívoros (Figura 17). Contudo, apesar dessa diferença, em ambas as regiões e para os dois grupos de estudo, todas as concentrações encontradas de mercúrio inorgânico estão bem abaixo do limite de $0,5\mu\text{g/g}$ de mercúrio preconizado pela OMS (WHO,1990).

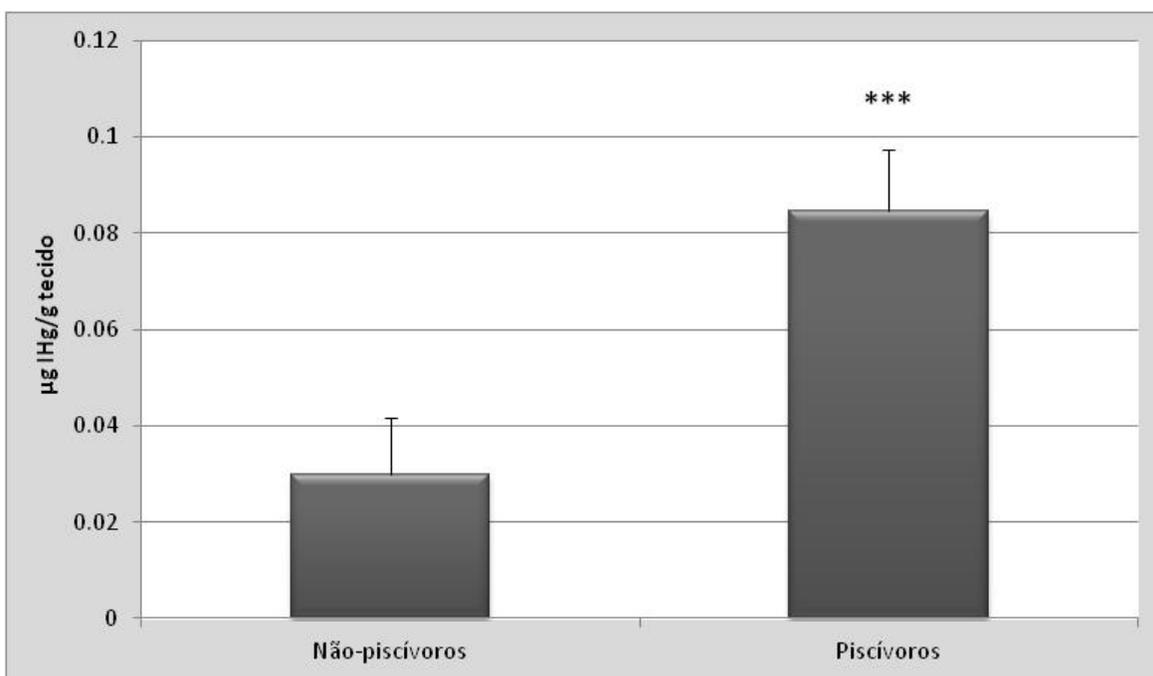


Figura 17. Mercúrio inorgânico (IHg) em peixes piscívoros e não-piscívoros da região do Rio Tapajós. Os valores são apresentados como média \pm erro padrão. *** $P < 0,001$ versus peixes não-piscívoros.

Analisando cada espécie dos grupos de peixes piscívoros e não-piscívoros, e comparando-as entre si, os maiores níveis de mercúrio inorgânico foram encontrados na Dourada, seguida pelo Surubim e pela Sarda (Figura18).

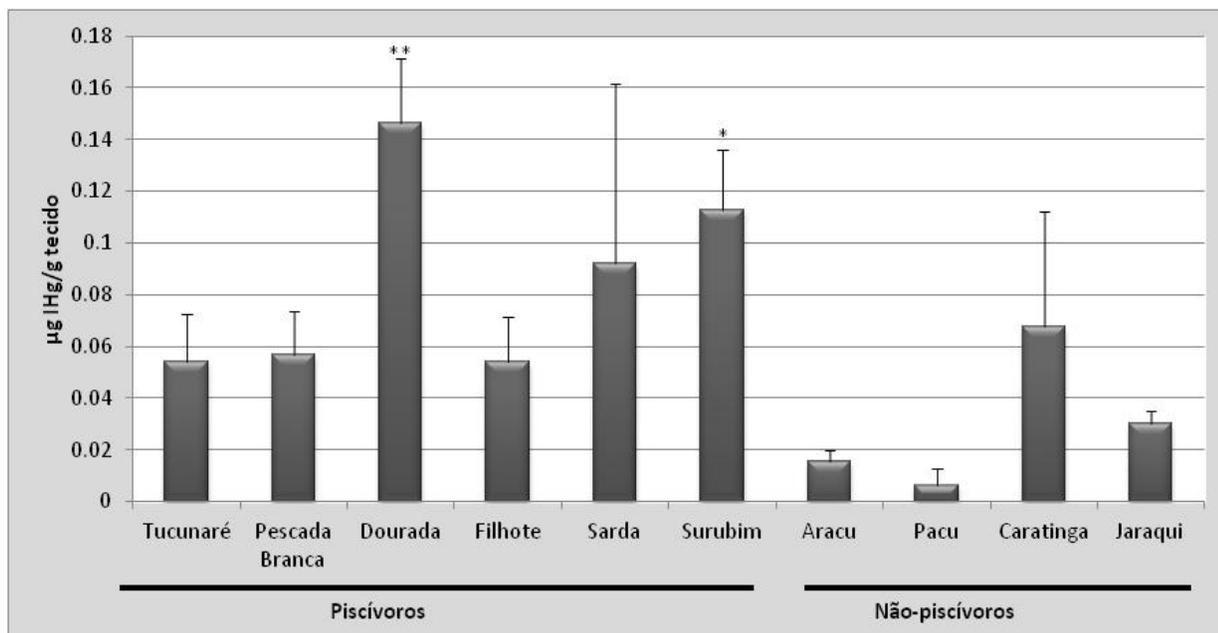


Figura 18. Concentração de mercúrio inorgânico (IHg) em diferentes espécies de peixes (piscívoros e não-piscívoros) da região do Rio Tapajós. Os dados são expressos como média \pm erro padrão. ** Dourada vs Pacu $p < 0.01$; * Surubim vs Pacu $p < 0.05$.

Ao fazer a comparação das concentrações de mercúrio inorgânico entre as espécies de peixes piscívoros da região de Belém com as do rio Tapajós não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os peixes coletados no Tapajós e em Belém para o Tucunaré, Pescada Branca, Surubim, Filhote e Sarda (Figura 19). Excepcionalmente, para a *Brachyplatystoma flavicans*, a Dourada, observamos que os peixes coletados na região do Tapajós apresentaram níveis de mercúrio inorgânico significativamente maiores do que aqueles encontrados nos peixes coletados em Belém (Figura 19).

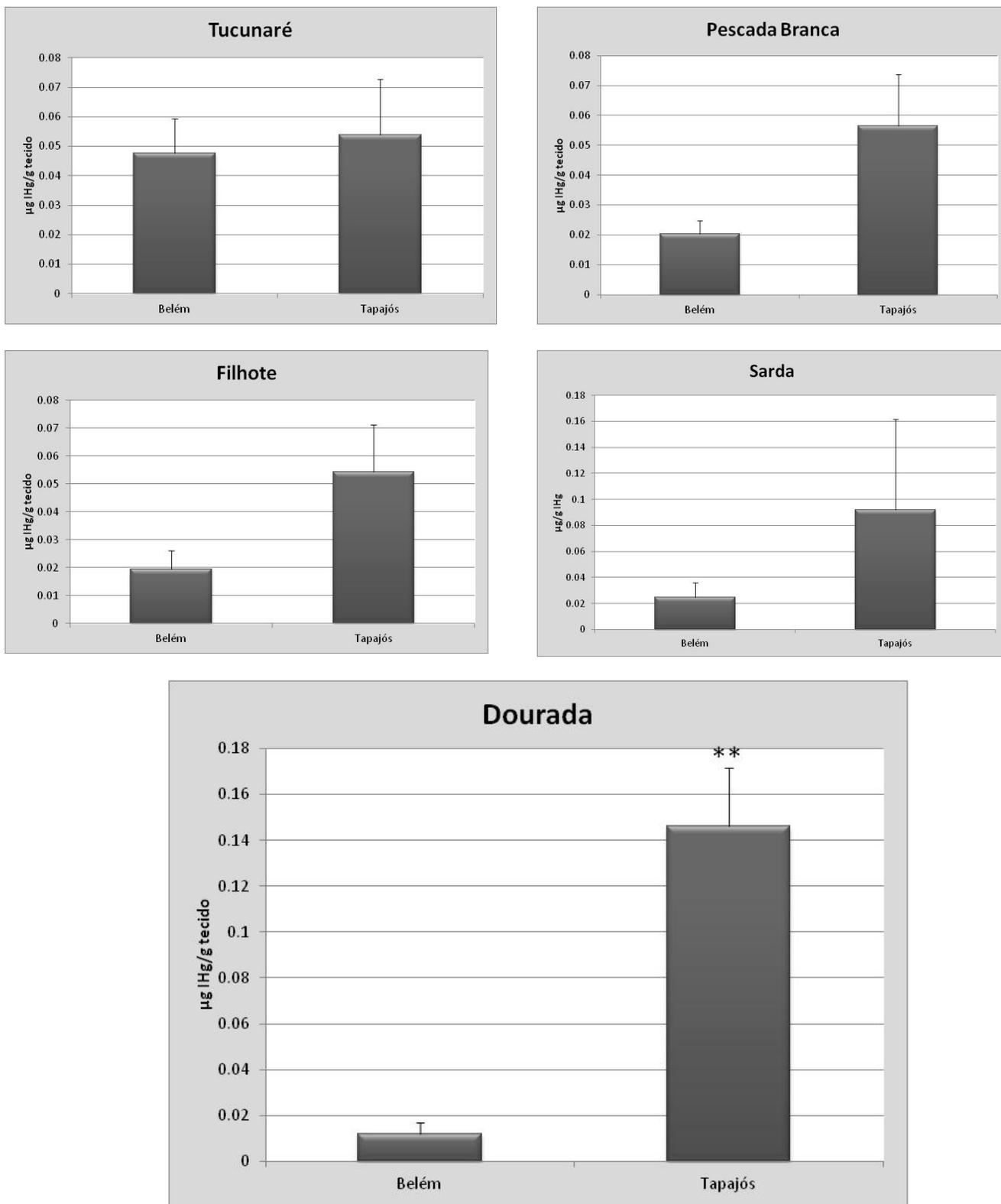


Figura19. Níveis mercúrio inorgânico (IHg) em diferentes espécies piscívoras de peixes das regiões de Belém e do rio Tapajós. Os dados estão expressos como média e erro padrão. ** $P < 0,01$ versus a mesma espécie na região de Belém

4.4. Correlações entre o IEN e o conteúdo em mercúrio

Não houve correlação significativa ($P>0,05$) entre o Índice de Estado Nutricional (IEN) e os níveis de metilmercúrio e mercúrio inorgânico nas espécies piscívoras da região do rio Tapajós. Já nas espécies não-piscívoras desta mesma região houve correlação negativa significativa entre o IEN e os níveis de metilmercúrio ($P<0,01$; $r= -0.5303$) e nenhuma correlação entre o IEN e os níveis de mercúrio inorgânico ($P>0,05$).

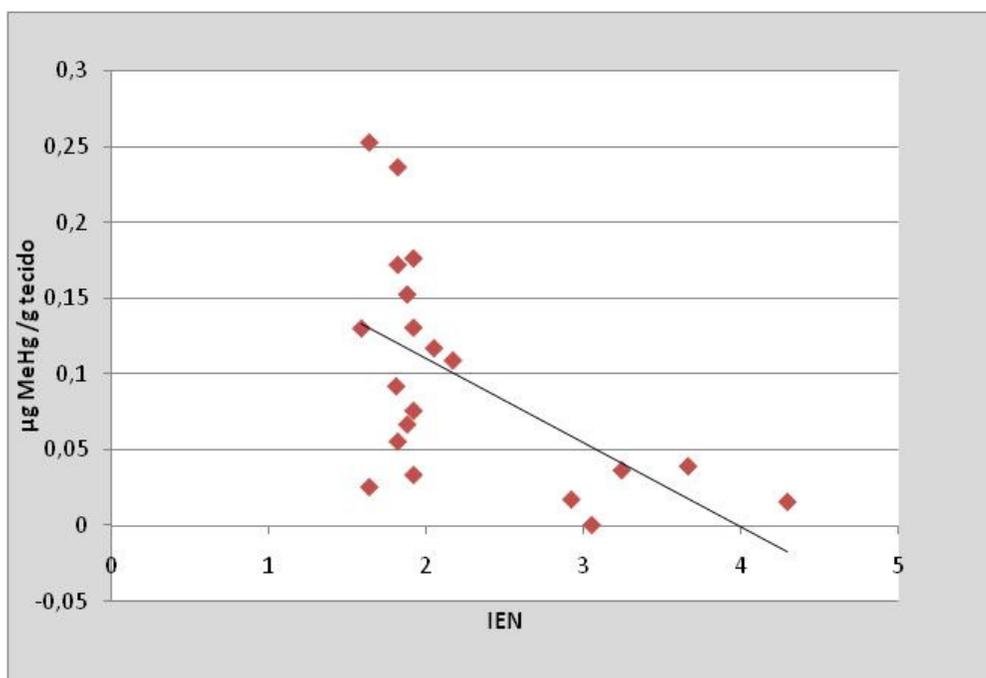


Figura 20: Correlação negativa entre o Índice de Estado Nutricional e a concentração de MeHg em espécies não-piscívoras da região do Tapajós. IEN vs MeHg ($P<0,01$; $r=-0.5303$)

Ao realizar a correlação entre o IEN e os níveis de metilmercúrio e mercúrio inorgânico para as espécies piscívoras coletas em Belém, não se observou correlação entre o IEN e os níveis de mercúrio inorgânico ($P>0,05$), no entanto, entre os níveis de metilmercúrio e o IEN, houve correlação positiva extremamente significativa ($P<0,001$; $r=0.6524$).

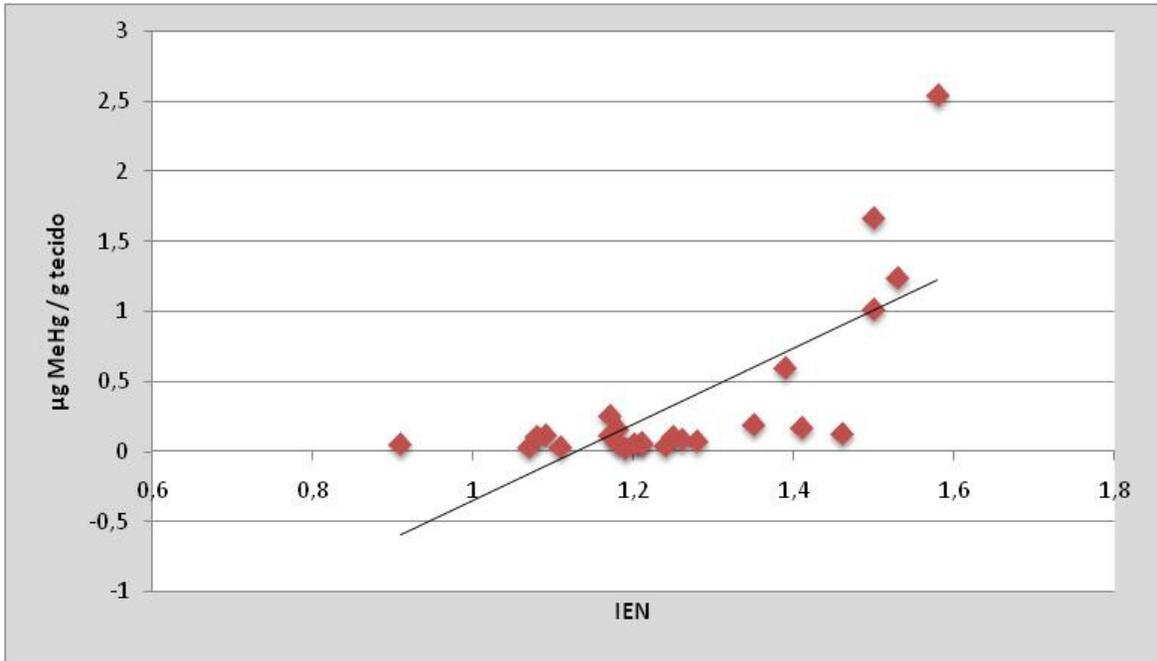


Figura 21: Correlação positiva entre o Índice de Estado Nutricional e a concentração de MeHg em espécies piscívoras da região de Belém. IEN vs MeHg ($P < 0,001$; $r = 0,6524$)

5. DISCUSSÃO

Muitos estudos sobre o mercúrio vêm sendo realizados na região do Tapajós desde longa data, no entanto, até o presente momento não foi realizado nenhum estudo que fizesse a especiação mercurial para avaliar as concentrações exatas de metilmercúrio e mercúrio inorgânico nos peixes de consumo habitual das populações ribeirinhas, comparando-os com aquelas mesmas espécies de regiões não expostas.

Desta forma, pela primeira vez, este trabalho apresenta dados de especiação mercurial nos peixes da região do Tapajós e, além do biomonitoramento dos níveis de metilmercúrio e mercúrio inorgânico nas espécies de peixe mais consumidas pelas populações desta região, inclui uma avaliação das mesmas espécies piscívoras na região de Belém, com o intuito de usar esses valores como referência.

Apesar de existirem vários trabalhos sobre os níveis de mercúrio nos peixes desta região torna-se praticamente impossível relacioná-los e fazer avaliações de cunho temporal com estes níveis devido à grande diversidade de espécies estudadas de diferentes pontos de coleta (Berzas-Nevado *et al.*, 2010). Assim, este trabalho seguiu a metodologia de seleção e coleta de amostras de Dos Santos *et al.* (2000) porque dentre os trabalhos realizados na região do Tapajós, foi o único trabalho com uma metodologia facilmente reproduzível, nos permitindo fazer uma comparação temporal entre ambos os trabalhos como será apresentado mais adiante.

Os dados encontrados em nosso trabalho demonstram que as espécies de peixes que possuem hábito piscívoro (Tucunaré, Sarda, Dourada, Pescada Branca, Filhote e Surubim) continuam atualmente apresentando níveis de metilmercúrio muito superiores àqueles das espécies de peixes não-piscívoras da mesma região (Figura 14), como relatado em estudos prévios mais antigos (Akagi *et al.*, 1995; Bidone *et al.*, 1998; Castilhos *et al.*, 1998; Da Silva Brabo *et al.*, 2000; De Souza Lima *et al.*, 2000; Santos *et al.*, 2000; Sampaio da Silva *et al.*, 2005; Dórea *et al.*, 2005; Passos *et al.*, 2008). Esse fenômeno era de se esperar devido o processo de bioacumulação ao longo da cadeia alimentar aquática, no qual peixes piscívoros podem alcançar concentrações de mercúrio até um milhão de vezes superiores às concentrações da água (Wasserman *et al.*, 2001). O bioacúmulo de mercúrio nos peixes está relacionado ao fato deste composto ser dificilmente eliminado pelo organismo devido à sua alta afinidade com os grupos tióis das proteínas, peptídicos e aminoácidos (Wasserman *et al.*, 2001). Assim,

peixes piscívoros, por ocuparem níveis tróficos mais elevados, acumulam maiores concentrações de mercúrio e, especialmente de metilmercúrio.

A mesma relação acima foi observada para as concentrações de mercúrio inorgânico onde os peixes piscívoros apresentam maiores concentrações que os não-piscívoros (Figura 17). Nossos achados diferem dos resultados descritos por Kehrig *et al.* (2010), que estudando os níveis de mercúrio inorgânico desde a base até o topo da cadeia alimentar na região costeira da Baía de Guanabara, no Rio de Janeiro, encontraram um padrão diferente de bioacumulação desta espécie mercurial, uma vez que o predador *Trichiurus lepturus* apresentou níveis de mercúrio inorgânico bem menor que os outros indivíduos de níveis tróficos inferiores da cadeia. Uma possível explicação para essa aparente contradição seria a evidente diferença no nível de contaminação dos peixes de ambos os estudos, uma vez que no estudo de Kehrig *et al.* (2010) os peixes estão expostos a níveis relativamente menores que os níveis encontrados na região do Tapajós. No nosso estudo, a exposição crônica a elevadas concentrações de metilmercúrio e seu acúmulo aumentado nos peixes piscívoros poderia estar influenciando de forma definitiva o acúmulo de mercúrio inorgânico (uma vez que teoricamente, o MeHg se transformaria em IHg ao longo do tempo (Tiffany-Castiglioni & Qian, 2001) provocando a clara diferença encontrada entre as espécies piscívoras e não-piscívoras. Entretanto, será necessário um estudo epidemiológico mais amplo com mais espécies e indivíduos para poder confirmar essa hipótese. Assim, ainda não é possível afirmar o real padrão de bioacumulação do mercúrio inorgânico, pois há um número muito limitado de estudos com esta forma de mercurial.

No entanto, este é o primeiro trabalho realizado na região do Tapajós a analisar a concentração de mercúrio inorgânico nos peixes mais consumidos pela população ribeirinha local e é o segundo estudo realizado até agora na mesma região que faz análise do mercúrio orgânico especificamente. Até hoje, somente o trabalho de Da Silva Brabo *et al.* (2000) realizou um estudo (na reserva dos Mundurukus) analisando as concentrações específicas de metilmercúrio.

A técnica aplicada em nosso trabalho foi desenvolvida na UCLM (Nevado *et al.*, 2005) e permitiu resultados precisos e, portanto, mais confiáveis que aqueles calculados teoricamente a partir das concentrações de mercúrio total.

Devido à sensibilidade da técnica utilizada, com nosso estudo é possível afirmar que atualmente as espécies piscívoras da região do rio Tapajós estão contaminadas com

níveis de metilmercúrio acima do limite de tolerância (0,5 µg/g) estabelecido pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 1990, 1991) (Figura 15).

Dentre essas espécies, a espécie *Brachyplatystoma flavicans*, popularmente conhecida como Dourada, foi a que apresentou maiores concentrações de metilmercúrio (Figura 16), chegando a ultrapassar até cinco vezes o limite de tolerância da OMS, seguida da Sarda, *Pellona* spp., (que teve níveis três vezes acima desse limite) e do Tucunaré, *Cichla* spp., (que no Tapajós apresentou níveis duas vezes acima da média e em Belém apresentou quase o dobro da concentração limite).

Apesar de no estudo de Dos Santos *et al.* (2000) a espécie com maior quantidade de mercúrio ter sido o Surubim, no nosso estudo a Dourada e a Sarda foram os peixes que apresentaram os níveis de mercúrio mais elevados. Passos *et al.* (2008), também confirmou que o Tucunaré possui atualmente uma das maiores concentrações do contaminante, embora esses autores se limitaram unicamente a medir mercúrio total em seus estudos.

Apesar dos níveis de metilmercúrio estarem acima do limite, afortunadamente os níveis de mercúrio inorgânico estão bem abaixo deste limite preconizado pela OMS, tanto nas espécies piscívoras quanto nas não-piscívoras na região do Tapajós (Figura 18). De forma semelhante ao que acontece com o metilmercúrio, a Dourada, foi o peixe que apresentou os maiores níveis de mercúrio inorgânico, seguida pelo Surubim e pela Sarda (Figura 18).

Passos *et al.* (2008) demonstraram que o peixe é um alimento tradicionalmente bastante consumido entre as comunidades ribeirinhas do Tapajós, fazendo parte da base alimentar dessas populações, com cerca de 240g semanais de peixe ingerido, enquanto que a média mundial é de 140g, e que as espécies aqui estudadas que apresentaram altos níveis de contaminação por mercúrio orgânico são muito apreciadas nessa dieta. Assim, este trabalho apresenta dados que podem servir de alerta contra os perigos de saúde a que essas populações estão expostas, não só ao metilmercúrio, como também ao mercúrio inorgânico.

Ressalta-se, no entanto, que nenhuma das espécies de peixes não-piscívoras apresentou concentrações de metilmercúrio consideradas tóxicas (i.e. acima do limite da OMS), o que confirma os resultados de estudos anteriores onde nenhuma espécie deste grupo registrou níveis de mercúrio acima de 0,5 µg/g (revisado por Berzas-Nevado *et al.*, 2010). A quantidade de metilmercúrio nesses peixes variou de 0,01 a 0,28 µg/g, sendo o Pacú a espécie que apresentou o nível mais baixo e o Caratinga a que teve o

nível mais alto (Figura 15). O fato de que nenhuma das espécies não-piscívoras estudadas no presente trabalho apresentou níveis tóxicos de metilmercúrio, nos permite afirmar já, com os nossos resultados, que essas espécies, além de serem aptas para consumo humano, são recomendáveis como escolha alimentícia para as populações ribeirinhas.

Quando o conteúdo em metilmercúrio das espécies piscívoras da região do rio Tapajós foi comparado com o das mesmas espécies de Belém, todas mostraram diferenças significativas exceto o Tucunaré (Figura 16). Os níveis apresentados pela Dourada, Sarda, Pescada Branca e Filhote foram significativamente superiores aos níveis encontrados para as mesmas espécies na região de Belém (Figura 16). Podemos afirmar com nossos dados que atualmente os níveis de mercúrio no rio Tapajós ainda estão bastante elevados, de forma que a biota dessa região, neste caso os peixes, apresentaram níveis altos de mercúrio orgânico quando foram comparados com os peixes de Belém que tiveram níveis abaixo do limite de 0,5 µg/g de mercúrio (com exceção do Tucunaré) (Figura 16).

Interessantemente, em Belém, o Tucunaré, também apresentou um elevado nível de metilmercúrio, comparável àquele encontrados nos peixes da região contaminada (Figura 16). A cidade de Belém é uma região que não apresenta histórico de contaminação por mercúrio. Contudo, o Tucunaré, que é comercializada no mercado do Ver-o-Peso é proveniente da região de Tucuruí, onde estudos já demonstraram que peixes coletados na hidrelétrica deste local estavam contaminados mesmo sendo este ambiente distante de qualquer possível fonte de mercúrio (Leino & Lodenius, 1995).

Uma hipótese para essa contaminação seria que o mercúrio, por se tratar de um elemento volátil, tem na atmosfera sua principal forma de se dissipar no ambiente, portanto os vapores de mercúrio são transportados até aquela região, onde precipitam e alcançam o ecossistema aquático (Wasserman *et al.*, 2001). Outra hipótese seria a de que, por se tratar de uma hidrelétrica, as barragens acabam isolando aquele ecossistema e, mesmo sendo uma região que está localizada distante das áreas de garimpo do rio Tapajós, os níveis de mercúrio que chegam naquela região acabam se acumulando e, dessa forma, contaminando a biota aquática (Leino & Lodenius, 1995). No entanto, serão necessários mais estudos para estabelecer exatamente a origem desta exposição.

Assim, pela primeira vez, é possível afirmar que as quantidades de metilmercúrio encontradas nos peixes piscívoros da região do Tapajós não são comuns

ou características intrínsecas de cada espécie, uma vez que essas mesmas espécies não apresentam habitualmente esses níveis quando habitam um ambiente não contaminado.

Ao compararmos os níveis de mercúrio inorgânico encontrados nas espécies piscívoras da região do Tapajós com as mesmas espécies obtidas em Belém (Figura 19), observamos que os valores das médias das concentrações de mercúrio inorgânico seguem um padrão semelhante àquele para o metilmercúrio, i.e., maiores na região do Tapajós e menores em Belém, exceto para o Tucunaré, onde os valores são semelhantes. Entretanto, devido provavelmente ao número de indivíduos limitado e à grande variabilidade dos valores, as diferenças entre as concentrações registradas nas duas localidades foram significativas unicamente para a Dourada. Os peixes desta espécie coletados no Tapajós apresentaram níveis cerca de sete vezes maiores que os peixes coletados em Belém. Esta evidente diferença nestes níveis para a Dourada poderia ser um indício de que algo de diferente está ocorrendo para esta espécie. Nossa hipótese é que por ela ser a espécie que apresenta maiores níveis de metilmercúrio, possivelmente este estaria sendo convertido em mercúrio inorgânico no próprio organismo do peixe. Esse processo já foi descrito por Tiffany-Castiglioni & Qian (2001) para a neurotoxicidade mercurial em astrogliã, propondo que o metilmercúrio uma vez dentro das células poderia sofrer desmetilação transformando-se em mercúrio inorgânico (Hg^{2+}). Além disso, outros fatores inerentes à espécie e ao ambiente poderiam estar relacionados com este achado, como por exemplo, as grandes migrações que estes peixes realizam (deslocando-se do estuário até a cabeceira do rio Amazonas no Peru, as Douradas se alimentariam durante o caminho e com isso, estariam expostas a diferentes níveis de mercúrio).

Alguns autores defendem que a massa, e com isso o estado nutricional, de cada espécie poderia ser um fator determinante no acúmulo de agentes contaminantes como o mercúrio. Por exemplo, Dos Santos *et al.* (2000) encontraram uma correlação positiva entre a massa e a concentração de metilmercúrio na Dourada e no Surubim. Assim, quanto maiores esses peixes, maior seu conteúdo em mercúrio. No nosso estudo ao analisar a relação entre o IEN e as concentrações de metilmercúrio para o grupo de peixes piscívoros surgiram padrões diferentes segundo a origem dos peixes. Assim, na região de Belém, observamos uma correlação positiva significativa, resultado este que está de acordo com os resultados descritos por Dos Santos *et al.* (2000) para a Dourada ($r=0.691$) e o Surubim ($r=0.654$) coletados na região do Tapajós. Entretanto, no nosso estudo, não encontramos nenhuma relação entre o IEN do grupo piscívoro e a

concentração de metilmercúrio para os peixes coletados no Tapajós. Curiosamente, para o grupo de peixes não-piscívoros da mesma região, encontramos correlação negativa ($r=-0.530$)(Figura 20). Nossa hipótese para explicar estas correlações é que o IEN seria um fator importante quando o nível de exposição ao metilmercúrio não fosse muito grande. Quando as concentrações de metilmercúrio acumulado no tecido superassem certo limiar, outros fatores, diferentes do IEN, estariam afetando o padrão de bioacumulação do metal, como por exemplo, migração, tipo de peixe consumido pelos predadores e ambiente, entre outros.

Uma coisa interessante no nosso estudo é que fomos capazes de eliminar as incertezas da exposição controle ou background das populações de peixes com características semelhantes (i.e. da mesma espécie), mas com diferentes níveis de exposição. Por isso, agora é possível afirmar que os níveis de mercúrio detectados nas populações de peixes expostos da bacia do rio Tapajós são perigosos não somente por estarem acima do limite da OMS, mas também porque o biomonitoramento simultâneo dos níveis de exposição mercurial em populações de peixes de referência proporciona uma base apropriada para a comparação com as espécies expostas.

Ainda, nossos dados indicam que, apesar do relato recente de que os níveis de exposição mercurial estariam diminuindo nas populações humanas da região do Tapajós (Berzas-Nevado *et al.*, 2010), isso não acontece com o meio ambiente, pois os peixes continuam no geral contaminados com elevado conteúdo de metilmercúrio especialmente. Por exemplo, utilizando os dados de Dos Santos *et al.* (2000) para avaliar se houve diferença entre os níveis de metilmercúrio nas espécies de peixes piscívoras coletadas na região do Tapajós em 1998 com aquelas nas mesmas espécies do nosso trabalho coletados em 2009 na mesma região (Figura 22), observamos que os valores das médias das concentrações nos nossos peixes foram superiores (exceto para a pescada branca e o surubim), o que poderia apontar para uma análise mais confiável da quantificação do metal no nosso estudo ou a uma tendência para uma maior exposição atual (Figura 22). Entretanto, devido ao número de indivíduos limitado e à grande variabilidade, as diferenças entre as concentrações registradas nas duas épocas foram significativas unicamente para o Tucunaré, onde os níveis foram cerca de três vezes maiores do que os níveis encontrados por Dos Santos *et al.* (2000) (Figura 22).

Em qualquer caso, isto indica que mesmo após um período de 11 anos, os níveis de metilmercúrio registrados nos peixes não diminuíram e no caso do Tucunaré, até

aumentaram, reforçando ainda mais nossa preocupação com a população ribeirinha daquela região.

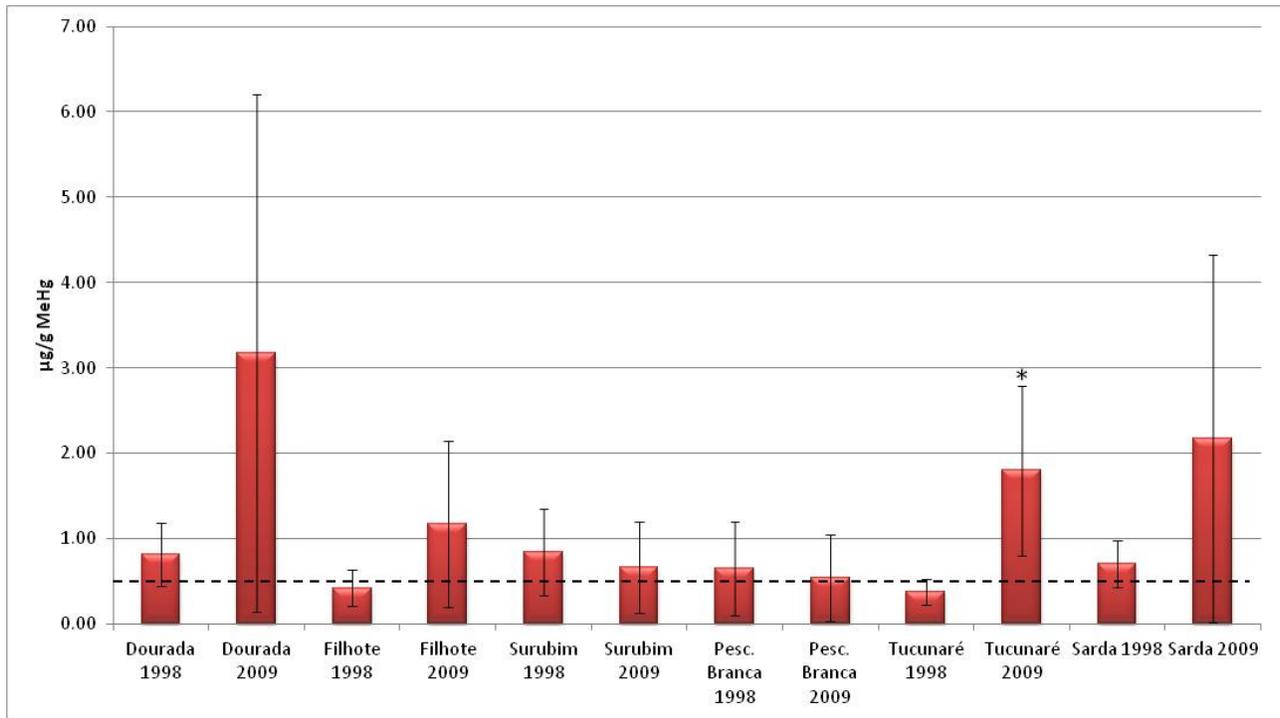


Figura 22. Comparação entre os níveis de metilmercúrio encontrados nas espécies piscívoras da região do Tapajós no trabalho de Dos Santos et al (2000) em 1998 e o presente trabalho com os peixes coletados em 2009.

Assim, o monitoramento continuado e freqüente dos ambientes considerados expostos e não expostos na Amazônia torna-se imprescindível. O conhecimento originado por este monitoramento fomentará o desenvolvimento de estratégias de prevenção e de ações governamentais perante o problema da contaminação mercurial na Amazônia.

6. CONCLUSÕES

- Espécies de peixes piscívoras da região do rio Tapajós que fazem parte da alimentação da população local, tais como Tucunaré, Sarda, Dourada, Pescada Branca, Filhote e Surubim apresentaram níveis de metilmercúrio muito superiores às espécies de peixes não-piscívoras daquela região.
- A *Brachyplatystoma flavicans* (Dourada), foi a espécie que apresentou maiores concentrações de metilmercúrio, ultrapassando até cinco vezes o limite de segurança da OMS e de mercúrio inorgânico. Entretanto, as espécies não-piscívoras são aptas para consumo humano, pois em nenhum momento chegaram a esse limite.
- A *Cichla* spp. (Tucunaré) obtido na região de Belém, também apresentou níveis acima do limite de tolerância para o mercúrio orgânico. Entretanto esta espécie é proveniente da barragem de Tucuruí, indicando que naquela região existe contaminação mercurial.
- Com os nossos resultados pode-se afirmar que, atualmente, os níveis de mercúrio no rio Tapajós ainda estão muito elevados, inclusive aumentando o nível de metilmercúrio no Tucunaré desde a monitorização de 1998, de forma que a biota piscívora dessa região apresentou-se contaminada com este composto.
- Este foi o primeiro trabalho realizado na Amazônia analisando as concentrações de metilmercúrio e de mercúrio inorgânico, e constitui-se no primeiro passo para monitoramentos futuros sobre o padrão de acumulação do mercúrio inorgânico.
- O presente estudo apóia a importância do monitoramento continuado dos ambientes considerados expostos e não expostos na Amazônia. O conhecimento originado por este monitoramento fomentará definitivamente o desenvolvimento de estratégias de prevenção e de ações governamentais perante o problema da contaminação mercurial na Amazônia.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAGI H., MALM O., KINJO Y., HARADA M., BRANCHES F.J.P., PFEIFFER W.C., ET AL., Methylmercury pollution in the Amazon, Brazil. **Sci. Total Environ.** 175: 85-95. 1995
- ALTINDAG, A., YIGIT, S. Assessment of heavy metal concentrations in the food web of lake Beysehir, Turkey. **Chemosphere** 60, 552–556. 2005.
- ARAÚJO-LIMA, C. A. R. M.; GOULDING, M. **Os frutos do tambaqui: ecologia, conservação e cultivo na Amazônia.** Sociedade Civil Mamirauá; Brasília: CNPq. 186 pp. 1998.
- AZEVEDO, F. A. **Toxicologia do Mercúrio.** São Paulo: RiMa, 2003.
- BAHIA, M. O.; AMORIM, M. I.; BURBANO, R. R.; VINCENT, S. & DUBEAU, H. Genotoxic effects of mercury on *in vitro* cultures of human cells. **Anais da Academia Brasileira de Ciências.** 71: 437-443. 1999.
- BAIRD, C. & CANN, K. **Environmental Chemistry.** New York: Freeman, 2004.
- BARBARINO-DUQUE, A.; WINNEMILLER, K. O. Dietary segregation among large catfishes of the Apure and Arauca Rivers, Venezuela. **Journal of Fish Biology** 63: 410-427. 2003.
- BARBOSA, V. Mercado Ver-o-Peso. **Pesquisa Escolar Online**, Fundação Joaquim Nabuco, Recife. Disponível em: <<http://basilio.fundaj.gov.br/pesquisaescolar/>>. 2010.
- BARTHEM, R. B.; GOULDING, M. **Os Bagres Balizadores: Ecologia, Migração e Conservação de Peixes.** Tefé-AM: Sociedade Civil Mamirauá; Brasília: CNPq. 140 pp. 1997.
- BARTHEM, R. B. **Ecologia e pesca da piramutaba (Brachyplatystoma vaillanti).** Tese de Doutorado, Unicamp, Campinas, SP, Brasil. 268 pp. 1990.
- BERNTSSEN M.H., AATLAND A., HANDY R.D. Chronic dietary mercury exposure causes oxidative stress, brain lesions, and altered behaviour in Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr. **Aquat Toxicol.** 8;65(1):55-72. 2003
- BERZAS NEVADO J.J., RODRÍGUEZ MARTÍN-DOIMEADIOS R.C., GUZMÁN BERNARDO F.J., JIMÉNEZ MORENO M., HERCULANO A.M., DO NASCIMENTO J.L., CRESPO-LÓPEZ M.E. Mercury in the Tapajós River basin, Brazilian Amazon: a review. **Environ Int.** 36(6):593-608. 2010

- BIDONE E.D., CASTILHOS Z.C., CID DE SOUZA T.M., LACERDA L.D. Fish contamination and human exposure to mercury in the Tapajós River basin, Pará State, Amazon, Brazil: a screening approach. **Bull Environ Contam Toxicol**; 59:194–201. 1998
- BISINOTI M.C.; JARDIM W. F. O comportamento do metilmercúrio (metilHg) no ambiente. **Quim. Nova**, Vol. 27, No. 4, 593-600, 2004.
- BOENING, D.W. Ecological effects, transport, and fate of mercury: a general review. **Chemosphere**. **40**: 1335-1351. 2000.
- BRITISKI, H. A. Manual de identificação de peixes da região de Três Marias: com chaves de identificação para os peixes da Bacia do São Francisco. CODEVASF. Brasília, 143p. 1984.
- BUCKUP, P. A., N. A. MENEZES & M. S. GHAZZI (eds.). **Catálogo das espécies de peixes de água doce do Brasil**. Série livros 23, Museu Nacional, Rio de Janeiro, 195 p. 2007.
- CÂMARA, V. M.; FILHOTE, M. I.; LIMA, M. I.; ALHEIRA, F. V.; MARTINS, M. S.; DANTAS T. O. & LUIZ, R. R. Strategies for preventing adolescent mercury exposure in Brazilian gold mining areas. **Toxicology and Industrial Health**. 13,: 285-297. 1997.
- CARDOSO, P.C.S.; LIMA, P.D.L.; BAHIA, M.O.; AMORIM, M.I.M.; BURBANO, R. R. & FARIAS, R.A.F. Efeitos Biológicos do Mercúrio e seus Derivados em Seres Humanos - uma revisão bibliográfica. **Revista Paraense de Medicina**. **15**: 51-58. 2001.
- CASTILHOS Z.C., BIDONE E.D.. Mercury biomagnification in the ichthyofauna of the Tapajós River Region, Amazonia, Brazil. **Bull Environ Contam Toxicol**; 64:693–704. 2000
- CASTILHOS Z.C., BIDONE E.D., LACERDA L.D. Increase of the background human exposures to mercury through fish consumption due to gold mining at the Tapajós River Region, Pará State, Amazon. **Bull Environ Contam Toxicol**;61:202–9. 1998
- CLARO-JR., L. H.; FERREIRA, E.; ZUANON, J.; ARAÚJO-LIMA, C. A. R. M. O efeito da floresta alagada na alimentação de três espécies de peixes onívoros em lagos de várzea da Amazônia Central, Brasil. **Acta Amazonica**, 34(1): 133-137. 2004

- CORRÊA, T. **Ver-o-Peso: Grandiosidade retratada pelos números.** Jornal Diário do Pará, Belém. Disponível em: <http://www.souparaense.com/2011/03/ver-o-peso-grandiosidade-retratada.html>. 2008.
- COX-FERNANDES, C.; MÉRONA, B. Lateral migration of fishes on a floodplain system in the central Amazon (Careiro Island, lake of Rei), AM. Br. **Sociedad de Ciencias Naturales La Salle, XLVIII (suplemento):** 409-433. 1988.
- COY, Y. S.; CÓRDOBA, E. A. **Peces de Importancia Económica en la Cuenca Amazónica Colombiana.** Programa de Recursos Hidrobiológicos. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas. Serie Estudios regionales de la Amazonia Colombiana. Bogotá – Colombia. 140 pp. 2000
- CRESPO-LÓPEZ M.E., MACÊDO G.L., ARRIFANO G.P., PINHEIRO M.DA. C., DO NASCIMENTO J.L., HERCULANO A.M. Genotoxicity of mercury: contributing for the analysis of Amazonian populations. **Environ Int.** 37(1):136-41. 2011
- CRESPO-LÓPEZ, M. E.; MACÊDO, G. L.; PEREIRA, S. I. D.; ARRIFANO, G. P. F.; PICANÇO-DINIZ, D. L. W.; DO NASCIMENTO, J. L. M. & HERCULANO, A. M. Mercury and human genotoxicity: Critical considerations and possible molecular mechanisms. **Pharmacological Research** 60: 212-220. 2009.
- CRESPO-LÓPEZ, M.E.; SÁ, A.L. de; HERCULANO, A.M.; BURBANO, R.R. & NASCIMENTO, J.L.M do. Methylmercury genotoxicity: a novel effect in human cell lines of the central nervous system. **Environment International.** 33: 141-146.2007.
- CRESPO-LÓPEZ, M.E.; HERCULANO, A. M.; CORVELO, T. C. & NASCIMENTO, J. L. M do. Mercurio y neurotoxicidad. **Revista de Neurologia.** 40: 441–447. 2005.
- CYPRIANO, E. F. **Distribuição espacial de mercúrio nos sedimentos do complexo lagunar da Baixada de Jacarepaguá (RJ).** Monografia. Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009, 15p.
- 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.** 84:197–203. 2000

- DE SOUZA-LIMA A.P., MÜLLER R.C.S., SARKIS J.E.S., ALVES C.N., DA SILVA BENTES M.H., BRABO E., et al. Mercury contamination in fish from Santarém, Pará, Brazil. **Environ Res**; 83:117–22. 2000
- DÓREA, J. G. & BARBOSA, A. C. Anthropogenic Impact of mercury Accumulation in Fish from the Rio Madeira and Rio Negro Rivers (Amazonia). **Biological Trace Element Research** 115: 243-254. 2007.
- DOS SANTOS L.S.N., MÜLLER R.C.S., SARKIS J.E.S., ALVES C.N., BRABO E.S., SANTOS E.O., et al. Evaluation of total mercury concentrations in fish consumed in the municipality of Itaituba, Tapajós River Basin, Pará, Brazil. **Sci Total Environ**; 261:1–8. 2000
- EISINK, G. G. J. **A presença de mercúrio nos ecossistemas aquáticos do estado de São Paulo**. Seminário Nacional: Riscos e conseqüências do uso do mercúrio, Rio de Janeiro. 1990
- ESPÍRITO-SANTO, R. V., **Caracterização da atividade de desembarque da frota pesqueira artesanal de pequena escala na região estuarina do rio Caeté, município de Bragança – Pará –Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ecossistemas Costeiros e Estuarinos) – Centro de Ciências Biológicas. Universidade Federal do Pará. Belém. 2002.
- FERREIRA, E. J. G.; ZUANON, J. A. S.; SANTOS, G. M. **Peixes comerciais do médio Amazonas: Região de Santarém – PA**. Brasília: Edições IBAMA, Coleção Meio Ambiente, Série Estudos Pesca. 211 pp. 1998
- FJELD E., HAUGEN T.O., VØLLESTAD L.A. Permanent impairment in the feeding behavior of grayling (*Thymallus thymallus*) exposed to methylmercury during embryogenesis. **Sci Total Environ**. 10;213(1-3):247-54. 1998
- FOWLER H.W. Os peixes de água doce do Brasil. **Arq Zool**, v.6, p.405-625, 1951.
- GOCHFELD, M. Cases of mercury exposure, bioavailability, and absorption. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 56: 174–179, 2003.
- GODFREY, M.E.; WOJCIK, D.P. & KRONE, C.A. Apolipoprotein E genotyping as a potential biomarker for mercury neurotoxicity. **J Alzheimers Dis**. 5: 189-95. 2003.
- GOEDE, R.W., BARTON, B.A. Organismic indices and an autopsy-based assessment as indicators of health and condition of fish. American Fish Society Symposium 8: 93-108, 1990.

- GOMIERO, L. M.; BRAGA, F. M. S. Reproductive of species of the genus *Cichla* in a reservoir in Southeastern Brazil. **Brazilian Journal Biology**, 64(3B): 613-624. 2004.
- GOMIERO, L. M.; BRAGA, F. M. S. Feeding of introduced species of *Cichla* (Perciformes, Cichlidae) in Volta Grande Reservoir, river Grande (MG/SP). **Brazilian Journal Biology**, 64(4): 787-795. 2004b
- GRANADO-LORENCIO, C.; ARAÚJO-LIMA, C. A. R. M.; LOBÓN-CERVÍA, J. Abundance -distribution relationships in fish assembly of the Amazonas floodplain lakes. **Ecography**, 28: 515-520. 2005.
- GUEDES, N. C. C. Protocolo de avaliação do mercúrio potencialmente tóxico em águas naturais. 2009. 144 f. Tese (Doutorado)- Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas/SP. 2009.
- KEHRIG H.A., SEIXAS T.G., BAÊTA A.P., MALM O., MOREIRA I. Inorganic and methylmercury: do they transfer along a tropical coastal food web? **Mar Pollut Bull.** 60(12):2350-6. 2010
- KEHRIG H.DO A., HOWARD B.M., MALM O. Methylmercury in a predatory fish (*Cichla* spp.) inhabiting the Brazilian Amazon. **Environ Pollut.** Jul;154(1):68-76. 2008
- KEITH, P.; LE BAIL, O. Y.; PLANQUETTE, P. **Atlas des poissons d'eau douce de Guyane (tome 2, fascicule I)**. Publications scientifiques du M.N.H.N, Paris, 286 pp. 2000.
- 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* 17 (4), 289e398. 2006.
- LACERDA, L. D. Contaminação por mercúrio no Brasil: Fontes industriais VS garimpo de ouro. **Química Nova**, 20: 196-199. 1997.
- LEBEL, J., MERGLER, D., BRANCHES, F., LUCOTTE, M., AMORIM M., LARRIBE, F., DOLBEC, J. Neurotoxic Effects of Low-Level Methylmercury Contamination in the Amazonian Basin. **Environmental Research.** 79A:20-32. 1998
- LEBEL J., ROULET M., MERGLER D., LUCOTTE M., LARRIBE F. Fish diet and mercury exposure in a riparian Amazonian population. **Water Air Soil Pollut;** 97:31-44. 1997

- LEINO T.; LODENIUS M. Human hair mercury levels in Tucuruí area, state of Pará, Brazil. **Sci Tot Environ** 175:119-125.1995.
- LEMIRE M., MERGLER D., FILLION M., PASSOS C.J., GUIMARÃES J.R., DAVIDSON R., LUCOTTE M. Elevated blood selenium levels in the Brazilian Amazon. **Sci Total Environ**. Jul 31;366(1):101-11. 2006
- LIN, C.J. & PEHKONEN, S. The chemistry of atmospheric mercury: a review. **Atmospheric Environment**. 33: 2067-2079. 1999.
- MAGOS L. Mercury: an environmental and dietary hazard. **J Hum Nutr**. 32(3):179-86. 1978.
- MALM O., DÓREA J.G., BARBOSA A.C., PINTO F.N., WEIHE P. Sequential hair mercury in mothers and children from a traditional riverine population of the Rio Tapajós, Amazonia: seasonal changes. **Environ Res**. 110(7):705-9. 2010
- MALM O., BRANCHES F.J., AKAGI H., CASTRO M.B., PFEIFFER W.C., HARADA M., BASTOS W.R., KATO H. Mercury and methylmercury in fish and human hair from the Tapajós river basin, Brazil. **Sci Total Environ**. 11;175(2):141-50. 1995
- MARQUES E.E. **Biologia reprodutiva, alimentação natural e dinâmica da nutrição do pintado *Pseudoplatystoma coruscans* (Agassiz, 1829) (Osteichthyes, Pimelodidae) no alto rio Paraná**. 104f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.
- MERONA, B.; RANKIN-DE-MERONA, J. Food resource partitioning in a fish community of the central Amazon floodplain. **Neotropical Ichthyology**, 2(2): 75-84. 2004.
- MÉRONA, B.; SANTOS, G. M.; ALMEIDA, R. G. Short term effects of Tucuruí dam (Amazonia, Brazil) on the trophic organization of fish communities. **Environmental Biology of Fishes**, 60(4): 375-392. . 2001.
- MICARONI, R.C.C.M.; BUENO, M.I.M.S. & JARDIM, W.F. **Compostos de Mercúrio. Revisão de Métodos de determinação, tratamento e descarte**. Química Nova. 23: 487-495. 2000.
- MORALES-AISPURUÁ, I.C.; TENUTA-FILHO, A.; SAKUMA, A.M.; ZENEBON, O. Use of cysteine to remove mercury from shark muscle. **Food Sci Technol Int**. v.32, p. 333-337, 1997.
- MORGANO M. A.; GOMES P.C.; MANTOVANI D.M. B.; PERRONE A. A. M; SANTOS T.F. Níveis de mercúrio total em peixes de água doce de

- pisciculturas paulistas. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 25(2): 250-253. 2005.
- NAKATANI, K.; AGOSTINHO, A. A.; BAUMGARTNER, G.; BIALETZKI, A.; SANCHES, P. V.; MAKRAKIS, M. C.; PAVANELLI, C. S. **Ovos e larvas de peixes de água doce: desenvolvimento e manual de identificação**. Maringá:EDUEM. 378 pp. 2001.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Toxicological Effects of Methylmercury**. Washington: National Academy of Sciences, 2001.
- NEVADO J.J., MARTÍN-DOIMEADIOS R.C., BERNARDO F.J., MORENO M.J. Determination of mercury species in fish reference materials by gas chromatography-atomic fluorescence detection after closed-vessel microwave-assisted extraction. **J Chromatogr A**. 4;1093(1-2):21-8. 2005
- PASSOS, C. J. S. & MERGLER, D. Human mercury exposure and adverse health effects in the Amazon: a review. **Caderno de Saúde Pública, Rio de Janeiro** **24**: 503-520. 2008.
- PASSOS, C. J. S.; MERGLER, D.; LEMIRE, M.; FILLION, M. & GUIMARÃES, J. R. D. Fish consumption and bioindicators of inorganic mercury exposure. **Science of the Total Environment** **373**: 68–76. 2007a.
- PETREIRE JR., BARTHEM R. B.; CÓRDOBA E. A. GÓMEZ, B. C. **Review of the large catfish fisheries in the upper Amazon and the stock depletion of piraiá (Brachyplatystoma filamentosum Lichteinstein)**. Review in Fish Biology and Fisheries, 14: 403-414. 2004.
- PINHEIRO, M.C.; MACCHI, B.M.; VIEIRA, J.L.; OIKAWA, T.; AMORAS, W.W.; GUIMARÃES, G. A.; COSTA, C.A.; CRESPO-LÓPEZ, M. E.; HERCULANO, A. M.; SILVEIRA, L. C. L. & NASCIMENTO, J. L. M do. Mercury exposure and antioxidant defenses in women: A comparative study in the Amazon. **Environmental Research**. 107: 53-59. 2008.
- PINHEIRO, M.C.; CRESPO-LÓPEZ, M.E.; VIEIRA, J.L.; OIKAWA, T.; GUIMARÃES, G.A.; COSTA, C.A.; AMORAS, W.W.; RIBEIRO, D.R.; HERCULANO, A.M.; NASCIMENTO, J.L.M. do & SILVEIRA, L.C.L. Mercury pollution and childhood in Amazon riverside villages. **Environment International**. **33**: 56-61. 2007.
- PINHEIRO, M.C.; OIKAWA, T.; VIEIRA, J.L.; GOMES, M.S.; GUIMARÃES, G.A.; CRESPO-LÓPEZ, M.E.; MULLER, R.C.; AMORAS, W.W.; RIBEIRO, D.R.;

- RODRIGUES, A.R.; CORTÊS, M.I. & SILVEIRA, L.C.L. Comparative study of human exposure to mercury in riverside communities in the Amazon region. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research. 39:** 411-414. 2006.
- PINHEIRO, M.C.; HARADA, M.; YASODA, E.; NAKANISHI, J.; OIKAWA, T.; VIEIRA, J.L.; COSTA, S.M.; GUIMARÃES, G. A.; BACELAR, M.D.R.; ALMEIDA, S.S. & SILVEIRA, L.C.L. Toxicological and epidemiological data on human exposure to mercury in the Tapajós River Basin: 1994-1998. **Environmental Sciences. 10:** 99-105. 2003.
- PINNA, M. C. C. & DI DARIO, F. Family Pristigasteridae. In: REIS, R. E.; KULLANDER, S. O. & FERRARIS JR., C. J. eds. Check List of the Freshwater Fishes of South and Central America (CLOFFSCA). Porto Alegre, Edipucrs. p.43-45. 2003.
- PROVARZEA, Projeto Manejo dos Recursos Naturais da Várzea. **A vida da piramutava e da dourada.** Projeto Manejo dos Recursos Naturais da Várzea/Ibama, Brasília: Ibama, 2005.
- REID, S. La biología de los bagres rayados *Pseudoplatystoma fasciatum* y *P. tigrinum* en la cuenca del río Apure, Venezuela. **Revista Unellez de Ciencia y Tecnología, (1):** 13-41. 1983.
- REIS, R. A. **Caracterização, distribuição espacial e temporal e alimentação de ciclídeos (Cichlidae, Perciformes) no lago Batata, Porto Trombetas, PA.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ. 201 pp. 1997
- ROLDÃO, A.P. **Contaminação mercurial em pescado.** Dissertação de Mestrado. Universidade Castelo Branco, Rio de Janeiro. 66 pp. 2007
- ROULET, M; LUCOTTE, M; FARELLA, N; SERIQUE, G; COELHO, H; PASSOS, SCJ; SILVA, E DE JESUS DA SILVA; P. SCAVONE DE ANDRADE; MERGLER, D; GUIMARÃES, J-RD; AMORIM, M - Effects of Recent Human Colonization on the Presence of Mercury in Amazonian Ecosystems. **Water, Air and Soil Pollution.** 1998
- RUFFINO, M. L.; ISSAC, V. J.. Life cycle and biological parameters of several Brazilian Amazon fish species. **ICLARM Quartely, 18(4):** 41-45. 1995
- SÁ, A.L. de; HERCULANO, A.M.; PINHEIRO, M.C.; SILVEIRA, L.C.L. & NASCIMENTO, J.L.M do. Human exposure to mercury in the west region of Pará State. **Revista Paraense de Medicina. 20:** 19-25. 2006.

- SAINT-PAUL, U.; ZUANON, J.; CORREA, M. A. V.; GARCIA, M. & FABRÉ, N. N.
Fish communities in central Amazonian white and blackwater floodplains.
Environmental Biology of Fishes 57:235-250. 2000
- SANFELIU, C.; SEBASTIA, J.; CRISTOFOL, R. & RODRIGUEZ-FARRE, E.
Neurotoxicity of organomercurial compounds. **Neurotoxicity Research**. **5**:
283–305. 2003.
- SANTOS, G. M.; JEGU, M.; MERONA, B. Catálogo de peixes comerciais do baixo rio
Tocantins. Projeto Tucuruí. Manaus, ELETRONORTE/CNPq/INPA. 83 pp.
1984
- SANTOS, E. **Peixes de água doce (vida e costumes dos peixes do Brasil)**. 4.^a edição.
Ed. Itatiaia Ltda. Belo horizonte. 266 pp. 1987.
- SANTOS, G. M.; MERONA, B.; JURAS, A. A.; JÉGU, M. **Peixes do Baixo Rio
Tocantins: 20 anos depois da Usina Hidrelétrica Tucuruí/ Brasília**:
Eletronorte, 216 pp. 2004.
- SANTOS, E.C.O.; JESUS, I.M.; BRABO, E. S.; FAIAL, K.R. F.; SÁ FILHO, G.C.;
LIMA, M.O.; MIRANDA, A.M.M.; MASCARENHAS, A.F.S.; SÁ, L.L.C.;
SILVA, A.P. & CÂMARA, V M. Exposição ao mercúrio e ao arsênio em
Estados da Amazônia: síntese dos estudos do Instituto Evandro Chagas.
Revista Brasileira de Epidemiologia **6**: 171-185. 2003.
- SCHVARTSMAN, S.1979. Intoxicações Agudas. 2a edição. Editora Sarvier S/A.
pg.282-287.
- SOARES, M. G. M.; MENEZES, N. A.; JUNK, W. J. Adaptations of fish species to
oxygen depletion in a central Amazonian floodplain lake. *Hydrobiologia*. 2006
- TCHOUNWOU, P.B.; AYENSU, W.K.; NINASHVILI, N. & SUTTON, D.
Environmental exposure to mercury and its toxicopathologic implications for
public health. **Environmental Toxicology**. **18**: 149-175. 2003.
- TIFFANY-CASTIGLION E., QIAN Y. Astroglia as metal depots: molecular
mechanisms for metal accumulation, storage and release. **Neurotoxicology**.
22(5):577-92. 2001
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA).
Mercury study report to congress. **Health effects of mercury and mercury
compounds**, Washington: U. S. Environmental Protection Agency, 1997.

- VETTORI, M.V.; ALINOVI, R.; BELLETTI, S.; GOLDONI, M.; FRANCHINI, I. & MUTTI, A. In vitro models for the evaluation of the neurotoxicity of methylmercury. Currentstate of knowledge. **Med Lav. 94**: 183–191. 2003.
- VIEIRA J.L., GOMES A.L., SANTOS J.P., LIMA T.C., FREITAS J.A. JR., PINHEIRO M.C. Mercury distribution in organs of two species of fish from Amazon region. **Bull Environ Contam Toxicol. 87**(4):377-80. 2011
- WASSERMAN, J. C; HACON, S. S. WASSERMAN, M. A. **O ciclo do mercúrio no ambiente amazônico**. Mundo e vida vol. 2. 2001.
- WINEMILLER, K.O. Ecology of peacock cichlids (*Cichla* spp.) in Venezuela. J. Aquaric. Aquat. Sci.: Cichlid Research: State of the Art IX, 93–112. 2001.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Environmental health criteria: methylmercury. **International program on Chemical Safety**, Geneva: WHO. 101-140. 1990.

