



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO-ICED  
PROGRAMA DE CIÊNCIAS NATURAIS-PCNAT  
CURSO DE LICENCIATURA INTEGRADA BIOLOGIA E QUÍMICA**

**NÍVEIS DE MERCÚRIO (Hg) TOTAL EM ESPÉCIES PISCÍVORAS DE  
TUCUNARÉ - *Cichla* spp, OBTIDAS EM LAGOS PARAQUAZINHO (AVEIRO),  
TABOCAL (ITAITUBA) E RIO AMAZONAS E TAPAJÓS, PARÁ, BRASIL.**

**LORENA MARCELA ARAÚJO VIANA**

**SANTARÉM-PA  
MARÇO, 2017**

**LORENA MARCELA ARAÚJO VIANA**

**NÍVEIS DE MERCÚRIO (Hg) TOTAL EM ESPÉCIES PISCÍVORAS DE  
TUCUNARÉ - *Cichla spp*, OBTIDAS EM LAGOS PARAQUAZINHO (AVEIRO),  
TABOCAL (ITAITUBA) E RIO AMAZONAS E TAPAJÓS, PARÁ, BRASIL.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Colegiado do Curso de  
Licenciatura Integrada Biologia e  
Química da Universidade Federal do  
Oeste do Pará, para a obtenção do grau  
de Licenciado em Ciências Biológicas.

**ORIENTADOR: RICARDO BEZERRA DE OLIVEIRA**

**COORIENTADOR: Dra. SANDRA LAYSE FERREIRA SARRAZIN**

**SANTARÉM-PA  
MARÇO, 2017**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que permitiu que esse momento fosse vivido por mim, trazendo alegria aos meus pais e a todos que contribuíram para realização desse trabalho.

Agradeço aos meus pais Paulo Sérgio Cardoso Viana e Dora Araújo Viana, pelo amor, carinho, paciência e seus ensinamentos, e por não medirem esforços para que eu pudesse levar meus estudos adiante.

Ao meu companheiro Antônio Reinaldo Cavichioli Neto, pelo amor, paciência, companheirismo, amizade e por todo estímulo para que pudesse conquistar meus objetivos.

Obrigada meu irmão e sobrinhos, que nos momentos de minha ausência, dedicados ao estudo superior, sempre fizeram entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente.

Agradeço aos meus amigos da turma Bio 2011, por todo incentivo, colaboração e amizade no decorrer do curso. Em especial as colegas Elaine Souza que foi fundamental no término deste trabalho, obrigada por todo esforço, amizade e dedicação. A Vanessa Fernandes, pela amizade e colaboração de dias e noites no laboratório de Bioprospecção e Biologia Experimental para que eu pudesse desenvolver minhas análises.

A UFOPA e todo seu corpo docente, além da direção, administração e aos demais funcionários, os quais realizam seus trabalhos com dedicação, trabalhando incansavelmente para que nós alunos, possamos contar com um ensino de qualidade.

Agradeço a todos os *professores* por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de *formação profissional*, terão os meus eternos agradecimentos.

Agradeço em especial a minha orientadora Dra. Sandra Layse Ferreira Sarrazin, pela paciência, dedicação, amizade e seus incansáveis ensinamentos que possibilitaram que eu realizasse este trabalho.

E, finalmente, agradeço ao meu coorientador, Prof. Dr. Ricardo Bezerra de Oliveira, por toda sua atenção, dedicação e esforço para compartilhar comigo seus conhecimentos para que eu pudesse ter confiança na realização desse trabalho.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Características, formas físico - químicas e transformações do mercúrio.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 O mercúrio no meio ambiente .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.1 O mercúrio na atmosfera .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.2 O mercúrio no solo .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.3 O mercúrio na água.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3 Processos antropogênicos.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.1 O mercúrio nos garimpos de ouro da Amazônia .....</b>	<b>13</b>
<b>2.4 Os riscos para o homem .....</b>	<b>15</b>
<b>2.5 O mercúrio nos peixes da Amazônia .....</b>	<b>16</b>
<b>2.6 Características morfológicas e comportamentais do tucunaré .....</b>	<b>17</b>
<b>2.7 Técnicas analíticas para a determinação do mercúrio.....</b>	<b>18</b>
<b>2.8 Análise direta de mercúrio (DMA).....</b>	<b>189</b>
<b>3 OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 Objetivos específicos .....</b>	<b>19</b>
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1 Região de abrangência do estudo e pontos de coleta das amostras.....</b>	<b>20</b>
<b>4.1.2 A cidade de Itaituba.....</b>	<b>21</b>
<b>4.1.3 A cidade de Santarém.....</b>	<b>21</b>
<b>4.1.4 A cidade de Aveiro .....</b>	<b>22</b>
<b>4.2 Determinação dos parâmetros morfométricos e preparo das amostras para análise de mercúrio total.....</b>	<b>22</b>
<b>4.3 Determinação do mercúrio total .....</b>	<b>22</b>
<b>4.4 Análise estatística.....</b>	<b>23</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>23</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>29</b>
<b>7 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>30</b>

## LISTA DE TABELA

**Tabela 1.** Dados biométricos das espécies do gênero *Chicla*, segundo a área de coleta. Os resultados são expressos como média  $\pm$  erro padrão da média..... 23

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 01.** *Cichla spp.* ..... 17
- Figura 02 .** Mapa da região de estudo, com indicação das cidades participantes: Santarém, Aveiro e Itaituba. Adaptado de Lima et al., (2000). ..... 20
- Figura 03.** Médias das concentrações de mercúrio total (mg/Kg) em peixes, segundo a área de coleta. <sup>a</sup> Limite máximo permitido da concentração de mercúrio na musculatura de peixes predadores no Brasil: 1,0 mg/Kg (Anvisa, Portaria nº 685 de 27 de setembro de 1998). ..... 24
- Figura 04 .** Correlação entre concentrações de mercúrio total e peso (g), em espécies do gênero *Chicla* agrupadas por área de coleta. A - Lago Paraquazinho (Aveiro, Pa); B - Lago Tabocal (Itaituba, Pa); C – Rios Amazonas e Tapajós (Santarém, PA). ..... 28
- Figura 05.** Correlação entre concentrações de mercúrio total e comprimento padrão (cm), em espécies do gênero *Chicla* agrupadas por área de coleta. A - Lago Paraquazinho (Aveiro, Pa); B - Lago Tabocal (Itaituba, Pa); C – Rios Amazonas e Tapajós (Santarém, PA). ..... 28

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

**ANVISA:** Agência Nacional de Vigilância Sanitária

**Au/Hg:** ouro/mercúrio

**BCR<sup>®</sup>:** material de referência certificado

**CH<sub>32</sub>Hg:** dimetilmercúrio

**DMA:** Direct Mercury Analyser

**g:** grama

**Hg (II):** mercúrio inorgânico

**Hg :** mercúrio

**Hg<sup>2+</sup>:** íon mercúrico

**Hg<sup>22+</sup>:** íon mercurioso

**HgCl<sub>2</sub>:** cloreto de mercúrio

**Hg<sup>0</sup> :** mercúrio metálico

**HgS:** sulfeto de mercúrio

**HgT:** mercúrio total

**IBGE:** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**Kg:** quilograma

**Km:** quilômetro

**MeHg:** metilmercúrio

**mg:** miligrama

**OMS:** Organização Mundial de Saúde

**pH:** potencial *hidrogeniônico*

**ppm :** partes por milhão

**µg:** micrograma

**Z:** número atômico

## RESUMO

A região do Tapajós tem sido alvo constante de estudos que avaliam os níveis de mercúrio em peixes, como indicadores de contaminação do sistema aquático, e consequente fonte de contaminação humana. No presente trabalho, avaliou-se os níveis de mercúrio total em espécies piscívoras de **Tucunaré - *Cichla spp***, coletadas no lago Paraquazinho (em frente a Aveiro-Pará), lago Tabocal (próximo a Itaituba-Pará) e espécimes de tucunaré comercializados nos mercados de Santarém-Pará, provenientes dos rios Amazonas e Tapajós. As determinações de mercúrio total foram feitas por espectrometria de absorção atômica, utilizando o equipamento DMA-80 (Direct Mercury Analyser). Os resultados obtidos foram expressos como média  $\pm$  erro padrão. A significância estatística entre os dados obtidos foi avaliada pelo teste de Tukey e o coeficiente de correlação de Pearson foi utilizado para avaliar o grau de correlação entre as variáveis: concentração de mercúrio *versus* peso e comprimento dos peixes. As concentrações de mercúrio total variaram entre  $0,79 \pm 0,07$  e  $0,76 \pm 0,08$  mg/Kg, para espécimes coletados em Aveiro e Itaituba, respectivamente. Para estes pontos de coleta, o percentual de peixes com nível de mercúrio total acima dos limites estabelecidos pela ANVISA (1,0 mgHg/Kg de peixe) foi de 20% e 14%, respectivamente. Já os espécimes provenientes de Santarém, apresentaram teor médio de mercúrio entre  $0,34 \pm 0,04$  mg/Kg, valor 3 vezes inferior ao limite máximo permissível. Os dados de correlação mostraram que, de maneira geral, as concentrações de mercúrio em amostras de tecido de peixe foram diretamente proporcionais ao tamanho e aumento de peso. Para os espécimes coletados em Aveiro, encontrou-se moderada correlação entre o comprimento total e níveis de mercúrio ( $r = 0,5 - P < 0,05$ ) e fraca correlação entre peso e níveis de mercúrio ( $r = 0,4 - P < 0,05$ ). Para a cidade de Itaituba, não houve correlação significativa para ambas as variáveis ( $P > 0,05$ ). Por outro lado, Santarém, apresentou correlação forte e moderada para as variáveis: comprimento padrão e peso ( $r = 0,7 - P < 0,05$ ;  $r = 0,5 - P < 0,05$ , respectivamente). Diante do exposto, e considerando os hábitos alimentares da população residente na região do Tapajós, informações sobre os níveis de mercúrio no pescado utilizados na alimentação são de extrema importância na avaliação do risco a que estes indivíduos estão submetidos. Nossos resultados poderão contribuir para que estratégias sejam traçadas objetivando o controle de uma possível contaminação humana por este metal.

**Palavras-chave:** Tapajós, mercúrio, contaminação, peixes, tucunaré.

## 1. INTRODUÇÃO

Os ambientes naturais, ecossistemas aquáticos e terrestres têm uma grande sensibilidade frente às atividades antrópicas, as quais podem causar alterações do equilíbrio biológico e natural do meio (NRIAGU & BECKER, 2003). Os ecossistemas aquáticos estão entre os principais receptáculos de dejetos urbanos e industriais; no mais, grande parte da população humana mundial vive nas proximidades de oceanos, rios, lagos, lagoas e estuários, sendo essas áreas frequentemente afetadas por poluentes. Todavia, o aumento dos fatores de contaminação que atingem os corpos d'água tem motivado pesquisas de indicadores físico-químicos e biológicos no intuito de monitorar e mensurar as cargas poluentes e seus efeitos sobre a biota aquática (OLIVEIRA RIBEIRO *et al.* 2006).

Entre as substâncias químicas mais estudadas em ecossistema de água doce, estuarinos e marinhos estão os metais pesados, devido a sua toxicidade aos sistemas biológicos e sua persistência no ambiente. Dentre estes, encontra-se o mercúrio (Hg), que atinge os ecossistemas aquáticos através da precipitação e por meio do descarte de resíduos agroindustriais na proximidade de rios, lagos e lagoas, despertando grande preocupação ambiental em função dos efeitos tóxicos que induzem nos organismos, incluindo os peixes (DOUHRI & SAYAH, 2009).

Em meio às diferentes formas químicas do mercúrio, podemos destacar como as mais importantes o mercúrio elementar, denominado também como mercúrio metálico ( $\text{Hg}^0$ ); mercúrio iônico em suas duas formas oxidadas: íon mercurioso ( $\text{Hg}^{22+}$ ) e íon mercúrico ( $\text{Hg}^{2+}$ ). Entre as espécies metiladas destacam-se o dimetilmercúrio [ $(\text{CH}_3)_2 \text{Hg}$ ] e o metilmercúrio ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ) (MIRANDA *et al.* 2007). Este último tem sido o atrativo principal de pesquisas, por ser considerada a espécie mercurial mais perigosa à saúde humana e por seu potencial de bioacumulação em organismos aquáticos, tais como peixes, moluscos e crustáceos, (CLARKSON & MAGOS, 2006).

Dados de intoxicação por mercúrio em humanos relatam que a principal via de intoxicação é através do consumo de peixes contaminados por esse metal. No organismo humano, o metilmercúrio pode desencadear sintomas neurotóxicos, em decorrência de sua alta afinidade por células do sistema nervoso central, mesmo quando presente em baixas concentrações (DIAS *et al.* 2008).

A exposição do homem ao mercúrio dependerá de vários fatores, tais como: teor de mercúrio no peixe, quantidade de peixe ingerida e frequência de ingestão (WHO 1990). No

Brasil, os limites de segurança foram definidos com base na concentração de mercúrio no músculo de peixes (0,5 mg/Kg para peixes não carnívoros e 1,0 mg/Kg para peixes carnívoros) (ANVISA 1998). Vale ressaltar que a OMS recomenda uma ingestão de menos de 0,3 mg de mercúrio total por pessoa, por semana, não devendo exceder 0,2 mg de metilmercúrio. (KITAHARA *et al.* 2000; NEVADO *et al.* 2010). Porém, segundo PASSOS *et al.* (2008), o peixe é parte fundamental da dieta dos ribeirinhos, e constitui no mínimo 7 refeições semanais, com média de 141g de peixes em cada refeição, sendo que essa média é cerca de 45% de peixes carnívoros.

Diante do exposto, e considerando os hábitos alimentares da população residente na região do Tapajós, informações sobre os níveis de mercúrio no pescado utilizados na alimentação são de extrema importância na avaliação do risco a que estes indivíduos estão submetidos. Nessa perspectiva, o presente trabalho objetivou avaliar o teor de mercúrio nas espécies piscívoras de **Tucunaré - *Cichla spp***, coletadas nos lagos Paraquazinho (em frente a Aveiro-Pará), tabocal (próximo a Itaituba-Pará) e espécimes comercializados nos mercados de Santarém-Pará, os quais são provenientes principalmente do rio Amazonas e rio Tapajós. Em adição, determinamos as variações de concentração de mercúrio relacionadas ao peso das espécies. Nossos resultados poderão contribuir para que estratégias sejam traçadas objetivando o controle de uma possível contaminação humana por este metal.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. Características, formas físico - químicas e transformações do mercúrio.

O mercúrio é um metal pesado e possui 18 isótopos, sendo 7 estáveis e os de número atômico (Z) 202, 200 e 199 respondem por quase 70% da abundância (Z médio = 200,61) (MALM 1991). O metal divide o grupo IIB do sistema de classificação periódico juntamente com o zinco e o cádmio, possuindo uma conduta química significativamente diferente destes metais. O zinco e o cádmio são elementos que tem tendência à perda de elétrons ou à oxidação, enquanto o mercúrio é um metal que não doa elétrons com facilidade e, portanto é relativamente bruto assim como os metais preciosos. Pode-se afirmar que mais de 25 minerais contidos no manto terrestre contém mercúrio e que a concentração média do metal na crosta terrestre é 0,5 ppm (partes por milhão) ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ). O principal mineral é o cinábrio (HgS) contendo 82% de mercúrio e usado pela humanidade por mais de 2300 anos. Os principais

depósitos estão localizados em Almadem (Espanha), Idria (Eslovênia) e Monte Amiata (Itália) (SCHROEDER & MUNTHER, 1998). O mercúrio em temperatura ambiente possui forma líquida e tem a capacidade de dissolver outros metais, formando ligas, denominadas amálgamas. Essa formação é bem conhecida para vários metais, entre os quais se destacam: prata, ouro, zinco, estanho, cádmio, cobre, sódio e platina. O ferro, o níquel e o cobalto, são uns dos poucos metais que não formam amálgamas devido a sua baixa solubilidade em mercúrio (MALM 1991).

O mercúrio pode ser exibido em vários estados de oxidação, contendo números de valência  $0, 1+, 2+$ , sendo que no meio ambiente, destacam-se três formas químicas mais importantes: O mercúrio elementar ( $Hg^0$ ), forma de gás, pode ser eficientemente transportado na atmosfera ao redor do globo. O mercúrio inorgânico, [Hg (II)] e o mercúrio orgânico, particularmente o metilmercúrio, são as formas básicas de mercúrio que podemos encontrar presentes nas águas. O Hg (II) pode ser encontrado em sua forma iônica ( $Hg^{2+}$ ) ou podem se combinar formando cloreto ( $HgCl_2$ ), sulfeto ( $HgS$ ) e ácidos orgânicos. O mercúrio orgânico é uma forma combinada com hidrocarbonetos, com destaque para o metilmercúrio (MeHg) e dimetilmercúrio ( $(CH_3)_2Hg$ ) (MOREL *et al.* 1998; VERA 2004).

## **2.2. O mercúrio no meio ambiente**

O mercúrio pode ser encontrado no ambiente em diversos compartimentos naturais como solos, rochas e vulcões, também em lagos, rios e oceanos, em uma grande variedade de estados físicos e químicos, influenciando os processos biológicos destes compartimentos (DIAS *et al.* 2008).

### **2.2.1. O mercúrio na atmosfera**

Na atmosfera, o mercúrio pode se apresentar em três formas (mercúrio metálico, mercúrio inorgânico e as formas orgânicas metil e dimetil mercúrio). No entanto, quando o mercúrio metálico entra em contato com a atmosfera pode ser oxidado pelo ozônio (ou outros oxidantes atmosféricos) para  $Hg^{2+}$  (BISINOTI & JARDIM, 2004). Uma das principais fontes de emissão de mercúrio para a atmosfera é a queima de biomassa das florestas tropicais. Isso ocorre por consequência da volatilização do metal contido nas plantas e no solo, ocasionada pelas altas temperaturas de queima. Estimou-se que a liberação de mercúrio pela combustão de biomassa na bacia amazônica era de 90 toneladas por ano (ARTAXO *et al.* 2000). A

toxicidade do mercúrio em plantas, por sua vez, é dependente da capacidade de assimilação das mesmas, das espécies químicas do mercúrio e das condições físico-química do solo (HACON 1993).

### **2.2.2. O mercúrio no solo**

No solo, o mercúrio é exposto de três diferentes formas:  $Hg^0$ ,  $Hg^+$  e  $Hg^{2+}$ . Na maioria das vezes o mercúrio no solo tem alta absorção pela matéria orgânica, seguido por sua afinidade com óxidos de ferro e argilas minerais (MEILI 1991). A quantidade de mercúrio acumulada no solo dependerá da história de deposição, da idade e das características deste (BISINOTI & JARDIM, 2004).

O mercúrio no solo tem um tempo maior de retenção; sendo assim, parte do metal acumulado pode ser liberado para a atmosfera e águas superficiais por um longo período, podendo chegar a centenas de anos (UNEP 2003). Outra parte deste composto pode precipitar-se quando é associado a ácidos húmicos, devido aos seus pHs serem ácidos, por esse motivo são considerados pouco disponíveis para transformações biológicas.

Na Amazônia, particularmente no vale do Rio Tapajós, podemos encontrar um grande reservatório de mercúrio natural, que foi ocasionado pelo desmatamento dos solos pelo homem, o que acaba constituindo perturbações para o ciclo natural do mercúrio. Podemos dizer que o desmatamento contribui para o aumento da mobilização do mercúrio pela erosão da superfície, o que acaba acarretando o seu transporte para os ecossistemas aquáticos associados, que estão ligados às finas partículas de solo, normalmente nos períodos de chuva (ROULET *et al.* 1998B). As chuvas também são responsáveis pelo carreamento do mercúrio contido nos solos (erosão) para o sistema fluvial (BISINOTI & JARDIM, 2004).

### **2.2.3. O mercúrio na água**

O mercúrio, quando depositado no fundo de corpos d'água, torna-se eventualmente móvel, podendo causar problemas ao ambiente, isso ocorre decorrente da estabilidade que o mercúrio possui, quando está associado às partículas argilo-minerais, o que pode explicar seus longos tempos de retenção no fundo desses corpos (HARRIS 1989). Quando depositado nos rios sob a forma de mercúrio metálico, este metal tende a acumular-se em sedimentos de fundo, apresentando pouca mobilidade. Neste sentido, sugere-se que haja uma associação

entre o mercúrio e o material que se encontra em suspensão, no caso de transporte a longas distâncias (NRIAGU *et al.* 1992).

Os ambientes aquáticos, que possuem em seu ecossistema intensa atividade microbiana, somando as altas temperaturas e concentrações de substratos orgânicos, induzem a aceleração a metilação do mercúrio em sua forma orgânica (metilmercúrio) (HANCON 1993).

### **2.3. Processos antropogênicos**

Os processos antropogênicos do mercúrio podem ter iniciado através de atividades de mineração, notadamente do ouro, processos industriais, construção de barragens, queima de combustíveis fósseis, produção de cimento, incineração de produtos químicos, a partir de serviços de saúde e resíduos urbanos.

No Brasil, o processo de contaminação por mercúrio mostra duas diferentes fontes deslocadas temporalmente e geograficamente. A primeira foi originada na indústria de cloro-soda, responsável pela principal importação de mercúrio para o país e pelas principais emissões para o meio ambiente até a década de 80. Essas emissões localizavam-se particularmente na região sul-sudeste.

Em um segundo momento, o desenvolvimento e diversificação do parque industrial brasileiro resultaram numa maior diversificação de usos do mercúrio no país. Entre esses usos, destacam-se a indústria eletroeletrônica, (lâmpadas fluorescentes, baterias), a indústria de tintas e outras indústrias químicas. O mercúrio nessas indústrias, ao contrário da indústria de cloro-soda, foi liberado do processo industrial junto ao produto final, de forma que seu destino final era, provavelmente, aterros sanitários ou depósitos de resíduos sólidos (FERREIRA 1991).

Na Região Amazônica, a preocupação quanto à exposição ao mercúrio surgiu por volta dos anos 80, quando concentrações elevadas de mercúrio foram encontradas no ambiente, inicialmente associados à atividade do garimpo de ouro e, posteriormente, à queima de florestas (MALM *et al.* 1990; NRIAGU *et al.* 1992).

#### **2.3.1. O mercúrio nos garimpos de ouro da Amazônia**

Por muitos anos o mercúrio vem sendo usado na mineração do ouro, para a formação do amálgama que auxilia na separação do metal nobre. Na produção de 1 grama de ouro,

aproximadamente 2g de mercúrio são usados e, destes, 50% vão para rios, associados à partículas em suspensão. Muitos estudiosos brasileiros demonstraram que ocorre grave contaminação dos sedimentos dos rios e águas nas zonas de mineração, além da presença de mercúrio na musculatura de peixes carnívoros da região, que são frequentemente consumidos pela população ribeirinha. Elevada exposição humana ao mercúrio foi também observada entre os mineiros e comerciantes de ouro, principalmente como resultado da queima do amálgama de Au/Hg (ouro/mercúrio) (PFEIFFER *et al.* 1990).

O processo de produção do ouro com a utilização de mercúrio relata três formas principais que podem afetar a saúde pública: 1) a contaminação com mercúrio vapor, diretamente sobre os trabalhadores dos garimpos, e o ar dos arredores durante a fase de amalgamação e queima; 2) a poluição das águas e sedimentos com possibilidade de metilação do mercúrio e sua absorção pelos peixes, entrando na cadeia alimentar da população local, e 3) a contaminação com mercúrio vapor nos numerosos pontos de comercialização do ouro, onde, mais uma vez ele é queimado (OLIVARES 2003).

No ano de 1990, a atividade garimpeira artesanal na Amazônia apresentou um número muito amplo de trabalhadores em mineradoras da região. Cerca de um milhão de trabalhadores tinham uma produção em média de 100 toneladas de ouro anualmente (FEIJÃO & PINTO, 1992). Para isso, eram utilizadas duas formas de extração, que incluíam métodos de dispersão de mercúrio diferentes. Esses processos de garimpagem eram realizados a partir de solos de terra firme pela mistura de solos triturados misturados com mercúrio líquido, os resíduos que sobravam eram armazenados sobre sítios da mina. A garimpagem, a partir de sedimentos fluviais, tinha sua realização feita em balsas equipadas com dragas para sedimentos. Esses sedimentos sofriam mistura com mercúrio líquido diretamente sobre a balsa, o descarte desses resíduos era diretamente despejado em meio aquático. Nos casos citados, o amálgama passava por um processo de queima, efetuado no local para recuperar o ouro menos volátil que o mercúrio. Havia também a queima para purificação do ouro, que tinha sua realização pelos mercados de ouro das vilas da região, com intuito de eliminar os vestígios deixados pelo mercúrio (ROULET 1998).

A quantidade de mercúrio usada na produção de ouro depende das características específicas de cada região aurífera e das formas tecnológicas aplicadas. Contudo, os fatores citados causam um aumento significativo relacionado à intoxicação humana por mercúrio, podendo ter um destaque amplo em lagos de várzea, principalmente na Amazônia, levando em consideração a alta taxa de consumo de peixe pelas populações que habitam essas

localidades, o que torna o ciclo do mercúrio prejudicial ao meio ambiente e a saúde humana (PFEIFFER *et al.* 1990).

#### **2.4. Os riscos para o homem**

Sendo um elemento tóxico, o mercúrio representa um risco para a saúde de quem a ele estiver exposto. Em locais com fontes de emissão naturais ou antropogênicas, a inalação de vapores de mercúrio ou sua ingestão através de alimentos ou água contaminados, são as principais vias de exposição (LI *et al.* 2008). A via alimentar é uma via de alcance mais amplo, envolvendo populações ribeirinhas, inclusive as indígenas, cuja principal, ou mesmo única, fonte de proteínas é o pescado, cujo consumo constitui hábito cultural antigo (SANTOS *et al.* 2003).

Dentre as formas tóxicas do mercúrio para o homem, destaca-se o metilmercúrio. Uma vez no organismo humano, o metilmercúrio é considerado relativamente estável após a absorção, sendo distribuído a todos os tecidos do corpo, em um processo que dura aproximadamente seis dias, tendo um tempo de meia-vida biológico longo, em média de 44 a 80 dias. Já a sua excreção ocorre via leite materno, fezes, urina, cabelo e unhas (BISINOTI & JARDIM, 2004). A bioacumulação do mercúrio é facilitada por sua lipossolubilidade (tornando mais fácil o transporte através das membranas celulares) e por sua capacidade de reagir e se ligar a componentes intracelulares (UNEP 2002).

Este composto pode desencadear sintomas de origem neurológicos que consistem em distúrbios visuais, tais como: redução do campo visual e escotomas (visão turva), ataxia (baixa coordenação para andar), parestesia (sensação anormal e desagradável sobre a pele que assume formas como: queimação, dormência, coceira etc), neurestenia (dor nos nervos), perda da audição, disartria (dificuldade na articulação das palavras), deterioração mental, tremor muscular, distúrbio da motilidade e, nos casos de exposição grave, paralisia e morte (ETO 2000; BISINOTI & JARDIM, 2004).

O primeiro caso relatado de óbito por intoxicação com um composto organomercurial ocorreu em 1863, quando dois químicos tentaram determinar o número de oxidação do composto dimetilmercúrio, porém a comprovação da causa na classe médica somente ocorreu em 1940 (AKAGI, *et al.* 2001).

Um dos casos mais conhecidos de intoxicação por mercúrio ocorreu em Minamata, no Japão, em 1953. Na ocasião, uma grande quantidade de mercúrio foi despejada na baía de Yatsushiro, como um subproduto do processo de produção de acetoaldeído, levando a

contaminação da região por processos de bioacumulação de grandes quantidades de metilmercúrio nos peixes, alimento consumido pela população local. Com o passar dos anos foram observados na população, vários efeitos adversos relacionados à exposição a esse composto tóxico. Essa tragédia ficou conhecida como “Doença de Minamata” (BISINOTI & JARDIM, 2004). Em 1969, nos Estados Unidos, a intoxicação resultou da ingestão de carne de porcos alimentados com grãos tratados com fungicidas organomercuriais (CLARKSON 1993).

Outros casos por intoxicação foi relatado no Iraque, Paquistão, Gana e Guatemala, na década de 70. Registros mostram centenas de óbitos de agricultores e seus familiares, devido a ingestão de grãos de cevada e trigo que foram tratados com fungicidas à base de metil e etilmercúrio, e comidos pela população na forma de pães e farinha (AZEVEDO 2003)

No ano de 1997, a pesquisadora americana Karen Wetterhahn, da Universidade de Dartmouth, morreu contaminada alguns meses após uma ou duas gotas de dimetilmercúrio puro terem atravessado as luvas de látex utilizadas durante um experimento utilizando o composto (BAIRD 2001). Um dos casos mais recentes ocorreu em Sorocaba-SP, onde 10 adolescentes foram contaminados pelo vazamento de mercúrio metálico proveniente de um reator elétrico desativado (NASCIMENTO *et al.* 2001). Atualmente, os registros de intoxicação por metilmercúrio destacam a ingestão de peixes contaminados, como a principal via de entrada desse metal no organismo humano.

## **2.5. O mercúrio nos peixes da Amazônia**

Os organismos aquáticos apresentam elevada capacidade de absorver os compostos de mercúrio, quer sejam de origem orgânica ou inorgânica. Nos peixes, o mercúrio é fixado preferencialmente no grupamento sulfidrila da proteína, sendo acumulado principalmente como metilmercúrio (que constitui, em média, 85% do mercúrio total), considerada a forma química mais deletéria ao homem (MORGANO *et al.* 2007). A persistência do metilmercúrio nos peixes é relativamente alta, devido à lenta metabolização e o tempo de meia vida ocorre em função da espécie, variando geralmente de um a três anos (BISINOTI & JARDIM, 2004).

No Brasil, particularmente na região Amazônica, os valores de mercúrio total encontrados em peixes, em alguns casos, têm apresentado níveis superiores aos permitidos pela legislação (LODERNIUS, 1992; AKAGI *et al.* e MALM *et al.* 1995). A região do Tapajós, por exemplo, é uma das regiões mais estudada da Amazônia, com diversos trabalhos voltados à determinação dos teores de mercúrio total em peixes. Para esta região, destacam-se

estudos sobre espécies de dourado, jaú, piraíba, mandubé, peixe cachorro, traíra, apapá, pescada, filhote, pirarucu, acará, aruanã, pacú, surubim, matrinxã, jaraquí, sarda, jacundá, tambaqui, aracú e tucunaré (BISINOTI & JARDIM, 2004).

## 2.6. Características morfológicas e comportamentais do tucunaré

O tucunaré (Figura 01), nome popular que denomina espécies pertencentes ao gênero *Cichla* Schneider 1801 (Cichlidae), encontram-se amplamente distribuídos em as bacias hidrográficas do Amazonas, Tocantins e Orinoco, além de rios menores que drenam as Guianas até o Oceano Atlântico. Espécimes foram registrados ainda nos rios Paraná, Paraguai, Paraíba do Sul e Paraguaçu. O gênero compreende 15 espécies reconhecidas por caracteres externos, como, por exemplo, o padrão de coloração e manchas (KULLANDER & FERREIRA, 2006).



**Figura 01.** *Cichla spp.* Foto: Lorena Viana (2016).

A espécie mais conhecida entre a população possui coloração amarelada, com manchas pretas e verticais distribuídas regularmente pelo corpo. Estas espécies podem chegar a 30 cm ou mais de 1 m de comprimento, pesando entre 3 a 10 Kg. (CLARO-JR *et al.* 2004; MÉRONA & RANKIN- DE- MÉRONA; 2004). Apresentam hábito diurno, são bastante rápidas, agressivas e fortes. São espécies carnívoras quando adultos e planctófagos e insetívoros na fase juvenil. A reprodução ocorre durante o ano todo, em ambientes lênticos,

nos quais constroem ninhos para que possam cuidar da prole por um período de aproximadamente três meses (GOMIERO & BRAGA, 2004). A maturação sexual ocorre entre os 20 os 35 cm de comprimento ou de 1 a 2 anos de idade. Costumam liberar cerca de 9.000 a 15.000 ovos/kg na época de desova, que ocorre em parcelas, com fecundação no meio externo (KULLANDER & FERREIRA, 2006). É um peixe de grande importância comercial bastante consumido na região do Tapajós.

## **2.7. Técnicas analíticas para a determinação do mercúrio**

O inerente interesse na determinação de mercúrio em amostras ambientais refere-se ao grau de toxicidade apresentado por este metal. Inúmeras técnicas instrumentais analíticas foram utilizadas e desenvolvidas nos últimos anos para estimar identificar o impacto do mercúrio no meio ambiente. Analisando a alta existência da toxicidade do mercúrio mesmo em baixas concentrações em diversos tipos de amostras, técnicas analíticas foram desenvolvidas para determinação deste metal. No decorrer dos anos, artigos sobre determinação de compostos inorgânicos e organomercuriais em amostras ambientais foram publicados. Técnicas utilizadas para análises de matrizes aquosas são as mais comuns. As técnicas mais frequentemente utilizadas para quantificação do mercúrio são a espectrometria de absorção atômica, espectrometria de fluorescência atômica, Análise por ativação de nêutrons, cromatografia gasosa, cromatografia líquida de alta eficiência e espectrometria de massas por plasma induzido (MICARONI *et al.* 2000).

## **2.8. Análise direta de mercúrio (DMA)**

O DMA-80 (Direct Mercury Analyser), equipamento baseado nos princípios de decomposição térmica da amostra, amálgama de mercúrio e de detecção de absorção atômica. Esta técnica de espectrometria de absorção atômica é usada apenas para determinação do mercúrio, pois este é o único elemento metálico que em temperatura ambiente existe no estado de vapor (GAO *et al.* 2000). As amostras são pesadas em “barquinhas” de níquel ou quartzo que serão colocadas diretamente no DMA. A principal função do equipamento no uso desta técnica consiste no aquecimento da amostra até uma temperatura adequada (>700 °C, temperatura de calcinação, a temperatura máxima permitida pelo software de computador) para 105 s, o que permite a redução e volatilização de mercúrio, transformando a concentração do vapor de mercúrio, em fios de ouro, formando um amálgama. A amálgama

de Hg e Au pode formar compostos como  $AuHg_2$ ,  $Au_2Hg$  e/ou  $AuHg$  (MELAMED & VILLAS BOAS, 2002). Em outro processo do aquecimento, utilizando o amálgama, o mercúrio passa pelo processo de redução de vapor monoatômico em que detecta-se por absorção atômica. A técnica analítica DMA – 80, dispensa a etapa de pré-tratamento da amostra, a amostra sólida não necessita ser convertida do mercúrio para o meio aquoso para determinar HgT. Possuindo grande vantagem em meio a outras técnicas de Absorção Atômicas (IPOLYI et al., 2004). No que diz respeito aos produtos químicos gerados na preparação da amostra, em sua maioria são tóxicos necessitando de tratamento adequado para seus rejeitos (RICOTA et al. 1999). Existem estudos mais recentes nos quais é evidenciada a simplicidade na utilização da técnica para análises de plantas e alimentos (GREEN et al. 2006). BLAKE E COLABORADORES (2005) (DMA-80) teve sua utilização direto de mercúrio para análise de cabelo. Essa análise da amostra direta em triplicata precisou apenas 15 minutos. MAGGI E COLABORADORES (2009). Foi, portanto desenvolvido um método analítico simples e rápido para determinação de metilmercúrio em sedimentos o DMA é utilizado em técnicas de quantificação de mercúrio. Esse equipamento, segundo os autores pode ter sua utilização na quantificação mercúrio total e metilmercúrio.

### **3. OBJETIVO GERAL:**

Avaliar a concentração de mercúrio total em espécies piscívoras do gênero *Cichla*, coletados na região do Tapajós.

#### **3.1. Objetivos específicos:**

Avaliar a concentração de mercúrio total em espécies piscívoras do gênero *Cichla*, coletados em três diferentes cidades da região do Tapajós (Aveiro, Itaituba e Santarém).

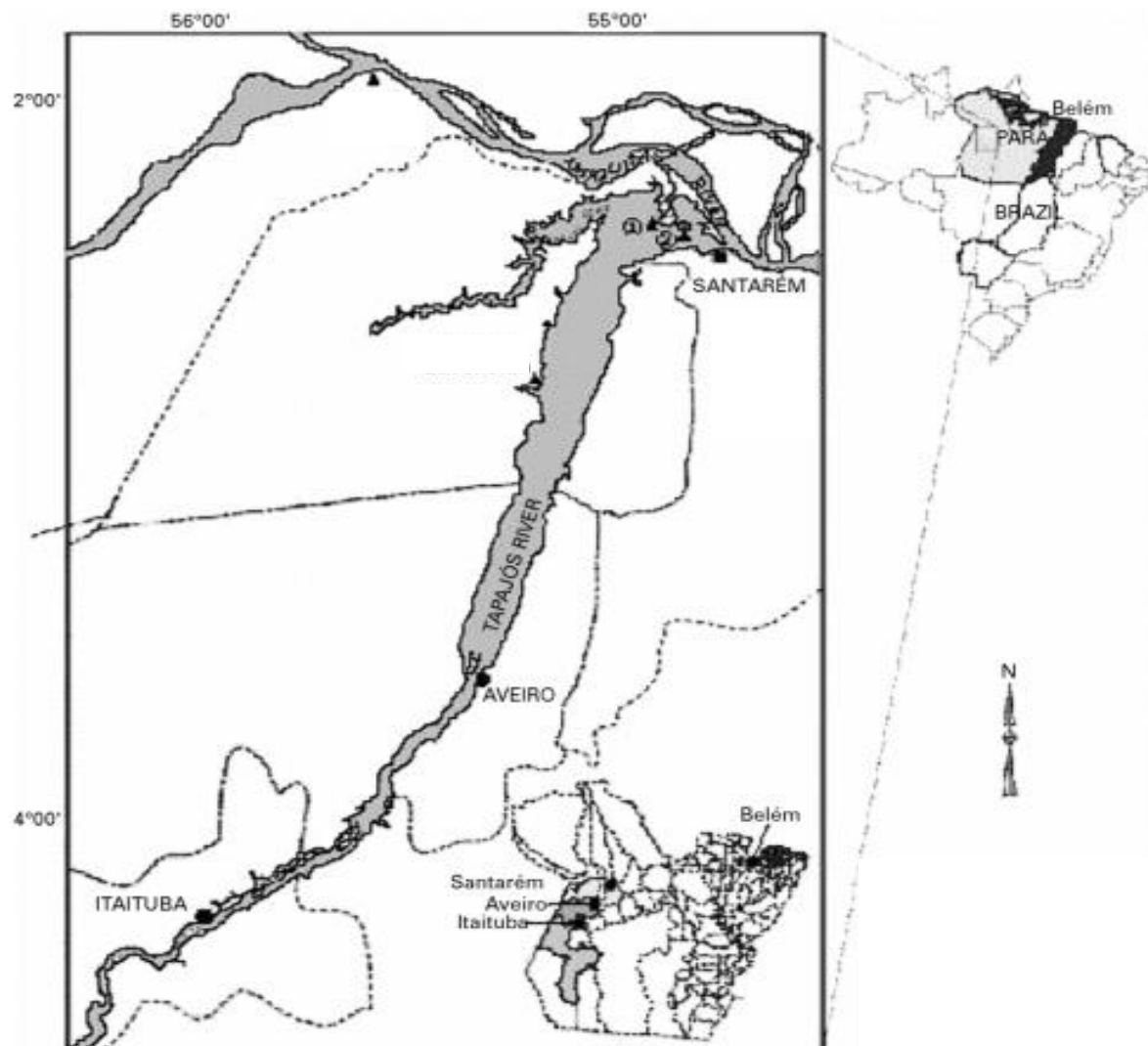
Determinar a correlação entre concentração de mercúrio *versus* peso e comprimento de peixe.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Região de abrangência do estudo e pontos de coleta das amostras

A região do Tapajós é formada por muitos povoados típicos da Amazônia, na forma de cidades, vilas e aglomerados rurais, localizados às margens do rio. Essas comunidades possuem características semelhantes, quanto aos aspectos de saúde, saneamento e hábitos culturais. A alimentação é composta basicamente por feijão, arroz, farinha, milho, aves, carne bovina; porém o pescado representa significativa fonte proteica, podendo constituir uma importante via de incorporação de mercúrio através da alimentação (SÁ *et al.* 2006).

A coleta dos espécimes em estudo foi realizada nos lagos Paraquazinho (Aveiro, Pará) e Tabocal (Itaituba, Pará), e rios Amazonas e Tapajós (Santarém, Pará). As áreas de coletas encontram-se identificadas na Figura 02.



**Figura 2.** Mapa da região de estudo, com indicação das cidades participantes: Santarém, Aveiro e Itaituba. Adaptado de Lima *et al.* (1999).

#### **4.1.2. A cidade de Itaituba**

Itaituba está localizada no sudoeste do estado de Pará, apresentando uma área de 62.565 km<sup>2</sup>, latitude de 04° 16' 34" e longitude de 55° 59' 01". O clima na região é quente e úmido (SANTOS *et al.* 2000). Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2010, a cidade possui aproximadamente 97.493 habitantes. A economia de Itaituba é baseada na pesca, agricultura, indústria, pela produção de produtos derivados do calcário, e na mineração. 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 (ARRIFANO 2011).

Toda a atividade de pesca é feita de forma rudimentar, sendo a produção de peixe consumida no município. Entre as espécies que contribuem com a maior proporção da produção de pesca são: *Leporinus sp.* (aracú) e *Plagisocion squamosissimus* (pescada branca) (SANTOS *et al.* 2000).

#### **4.1.3. A cidade de Santarém**

Santarém está localizada na confluência dos rios Amazonas e Tapajós, no oeste do Pará. Ocupa uma área de 22.887 quilômetros quadrados e aproximadamente 300.000 habitantes (FIGUEIRA *et al.* 2012). O clima predominante é quente e úmido, com temperatura média anual oscilando entre 25° e 27°C. A umidade relativa apresenta valores acima de 80% em quase todos os meses do ano (AGUIAR *et al.* 2014). Sua economia baseada principalmente no extrativismo da madeira, na agropecuária e no comércio.

Os principais produtos que influenciam grandemente a renda ictiológica de Santarém são o Pirarucú, Tambaqui, Curimatã, Acará, Dourada, Tucunaré e Surubim. A produção é parcialmente consumida no município, e o restante é exportado para vários municípios como Belém, Abaetetuba e outros, bem como as cidades de Fortaleza, Manaus, Brasília e São Paulo (LIMA *et al.* 2000).

#### **4.1.4. A cidade de Aveiro**

A cidade de Aveiro pertencente à Mesorregião do Sudoeste Paraense. Localiza-se no norte brasileiro. O município ocupa uma superfície de 17158 km<sup>2</sup> e tem uma população de cerca de 15 mil habitantes (Wikipédia).

#### **4.2. Determinação dos parâmetros morfométricos e preparo das amostras para análise de mercúrio total**

Espécimes de peixes do gênero *Cichla* (Tucunaré) foram capturados por pescadores locais (Aveiro e Itaituba), contratados com este propósito, ou pela equipe de pesquisa, através da compra do pescado no mercado local (Santarém). As 85 amostras foram obtidas no período compreendido entre os meses de Janeiro e Abril de 2015, período de cheia dos rios da Amazônia.

As espécies pertencentes ao gênero *Cichla* apresentam habito alimentar carnívoro, e foram selecionadas por fazer parte da dieta alimentar da população ribeirinha e urbana dos Municípios de Aveiro, Itaituba e Santarém, bem como por constituírem recurso pesqueiro, sendo fonte de renda dessa população. Além disso, as espécies pertencentes a este gênero não entram na lista de espécies proibidas de captura durante o período de defeso.

Após a seleção dos exemplares de peixes, registraram-se os valores de massa (g) e comprimento padrão (cm). Amostras em triplicata, obtidas do tecido muscular da região dorsal (aprox. 5g), foram armazenadas em tubos de Falcon e congeladas a -20°C, para posterior análise quanto à concentração de mercúrio total.

O processo anterior à análise se deu da seguinte forma: as amostras foram retiradas do processo de congelamento e uma alíquota foi pesada em balança analítica. As amostras pesadas foram postas em barcas de níquel e encaminhadas à análise no DMA-80. Todas as análises foram realizadas nas dependências do laboratório de Bioprospecção e Biologia Experimental, vinculado à Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências da Educação, UFOPA/ICED, Campus Rondon, Santarém, Pará.

#### **4.3. Determinação do mercúrio total**

As análises de mercúrio foram realizadas em aparelho DMA-80 (Direct Mercury Analyser - Milestone, Itália), utilizando software de tratamento de dados EasyDoc. Foi utilizado o material de referência certificado BCR<sup>®</sup> - 463 (Tuna fish) onde o valor de

referência para Hg total é 2,86 µg/g e o valor encontrado em nossas análises foi 2,45 µg/g.

#### 4.4. Análises estatísticas

Os resultados foram representados como médias e erros-padrão dos parâmetros analisados. O teste de Tukey foi aplicado para verificar a existência de diferença entre as concentrações de mercúrio nas matrizes analisadas, segundo o local de coleta. O Coeficiente de Correlação de Pearson foi utilizado para avaliar o grau de correlação entre as variáveis: concentração de mercúrio *versus* peso e comprimento dos peixes. Todas as análises foram realizadas utilizando o programa Prism, versão 3,0, com nível de confiança estabelecido em 95%.

### 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente estudo, foram mensurados os dados biométricos (Tabela 01) bem como as concentrações de mercúrio total presentes em 85 amostras de peixes do gênero *Chicla*, coletados em três diferentes áreas da região em estudo (Figura 03).

**Tabela 01.** Dados biométricos das espécies do gênero *Chicla*, segundo a área de coleta. Os resultados são expressos como média ± erro padrão da média.

Locais de coleta	Amostras (n)	comprimento padrão (cm)			peso (g)		
		média	mínimo	máximo	média	mínimo	máximo
A- Lago Paraquazinho -Aveiro	40	32,98 ± 0,70	27	45	730,98 ± 45,86	415	1.739
B- Lago Tabocal -Itaituba	14	33,71 ± 1,08	26	41	761,43 ± 52,83	459	1.186
C- Rios Amazonas e Tapajós –Santarém	31	33,35 ± 1,55	20	48	488,68 ± 53,14*	243	1.313

\*Diferença em relação às áreas de coleta A e B ( $P < 0,05$ ).

Os espécimes coletados nos três diferentes pontos apresentaram comprimento padrão semelhantes, porém, os espécimes obtidos no mercado municipal de Santarém, apresentaram diferença significativa de peso, quando comparados às amostras de Aveiro e Itaituba. (Tabela 01).

Considerando os espécimes analisados, as concentrações de mercúrio total apresentaram variações entre 0,45 e 2,83 mg/Kg para amostras provenientes do lago Paraquazinho, em Aveiro; 0,42 e 1,62 mg/Kg, para amostras provenientes do lago Tabocal, em Itaituba e 0,02 e 0,91 mg/Kg para amostras provenientes de Santarém. (Figura 3)

Entre os dados obtidos, observou-se uma maior concentração de mercúrio nas amostras coletadas nos lagos Paraquazinho, em Aveiro, onde a concentração média de mercúrio foi de  $0,79 \pm 0,07$  mg/Kg e lago Tabocal, em Itaituba, com teor médio de mercúrio de  $0,76 \pm 0,08$  mg/Kg. Para estas localidades, os níveis de mercúrio total presentes na musculatura dos peixes, encontram-se próximos ao limite máximo permitido pela ANVISA, que é de 1,0 mg/Kg de peixes predadores. Por outro lado, entre os espécimes coletados nos Rios Amazonas e Tapajós, em Santarém, o teor médio de mercúrio foi de  $0,34 \pm 0,04$  mg/Kg de peixe, valor 3 vezes inferior ao limite máximo permissível (Figura 03). Para as cidades de Aveiro e Itaituba, o percentual de peixes com nível de mercúrio total acima dos limites estabelecidos pela ANVISA (1,0 mg/Kg) foi de 20% e 14%, respectivamente. A partir dos dados obtidos, e levando em consideração as diferenças de peso entre os peixes coletados no ponto C, em relação aos pontos A e B, é possível sugerir que as diferenças de mercúrio encontradas podem ser atribuídas às diferenças de peso, sugerindo peixes mais jovens e, portanto, com menor tempo de exposição ambiental metal.

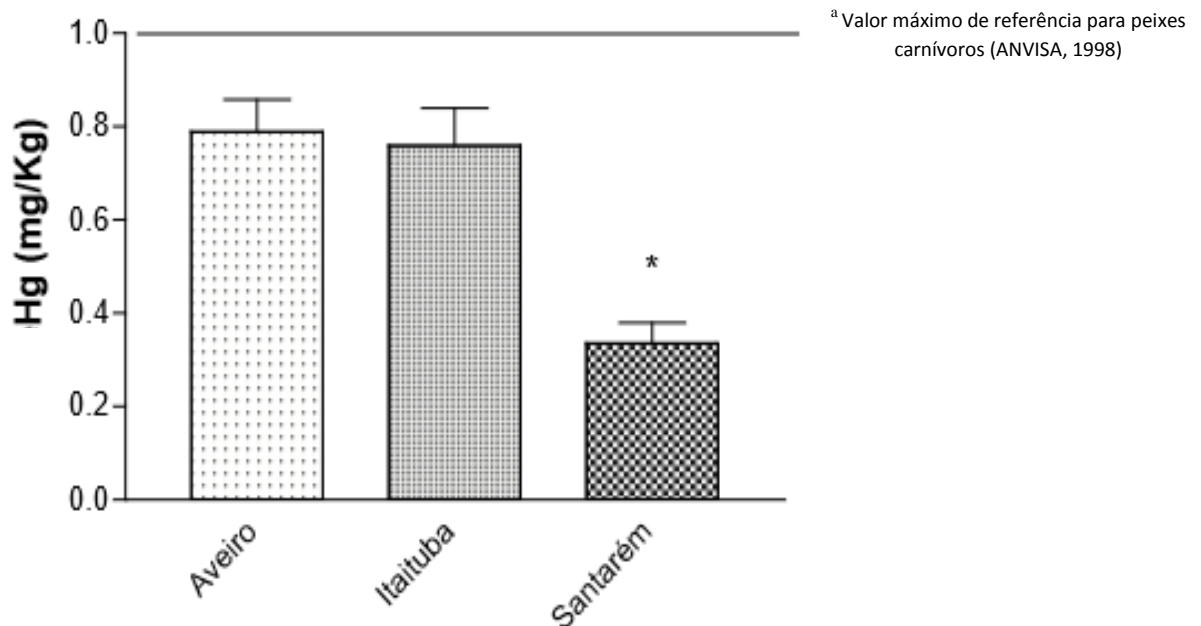


Figura 03. Concentrações de mercúrio total (mg/Kg) em peixes, segundo a área de coleta. <sup>a</sup> Limite máximo permitido da concentração de mercúrio na musculatura de peixes predadores no Brasil: 1,0 mg/Kg (Anvisa, Portaria nº 685 de 27 de setembro de 1998). \*Diferença em relação às amostras coletadas em Aveiro e Itaituba ( $P < 0,05$ ).

ouro que era produzido no Brasil (LIMA *et al.* 2000; SANTOS *et al.* 2003). Segundo Santos *et al.* (1999), tanto a cidade de Itaituba quanto a cidade de Aveiro, são consideradas áreas de

risco de exposição ao mercúrio, devido à suas proximidades com áreas de garimpo de ouro. Seguindo esse critério, a cidade de Santarém foi considerada fora da área de risco. Entretanto, embora a cidade esteja longe da influência direta das atividades de garimpo, Santarém foi responsável por uma intensa atividade de comercialização e queima de amálgamas. Além disso, a cidade representa um dos principais portos de desembarque de pesca artesanal da região Oeste do Pará, situação que a coloca como ponto de análise da qualidade do pescado em termos de concentração de mercúrio.

Desta forma, a diferença na concentração de mercúrio total no tecido de peixes (tucunaré) coletados nos três diferentes pontos, também poderia estar relacionada com a proximidade/distância, destas cidades com as áreas provavelmente ativas de garimpos de ouro. No entanto, segundo Wasserman *et al.* (2003, 2007), as atividades de garimpo aumentam indubitavelmente as concentrações de mercúrio no ambiente amazônico, porém, as cargas de mercúrio seriam insignificantes, considerando as altas concentrações observadas em solos distantes dessas áreas.

Roulet *et al.* (1998), por exemplo, estudaram a distribuição de mercúrio presente na coluna d'água do rio Tapajós, ao longo de um trajeto de 350 Km, iniciando a 50 Km de distância de áreas de garimpo para mais de 400 Km. Os autores concluíram que o teor de mercúrio na coluna de água é influenciado pela quantidade de partículas em suspensão, erodidas de solos perturbados, sendo independente de atividades de mineração de ouro.

Assim, é preciso levar em consideração que, além das atividades antropogênicas, as variáveis ambientais nas regiões de origem do pescado, tais como: dinâmica de fluxo e espessura da lâmina d'água, níveis de mercúrio nos sedimentos de fundo e em suspensão e nas comunidades planctônicas e bentônicas, bem como valores de pH, concentrações de cálcio e carbono orgânico dissolvido (LACERDA *et al.* 1988; REUTHER 1994; BOENING 2000), podem influenciar tanto na concentração de mercúrio encontrada nos corpos d'água, quanto na biodisponibilidade de mercúrio para organismos aquáticos, incluindo os peixes.

Na região do Tapajós, diversos estudos já foram realizados com o objetivo de avaliar os níveis de mercúrio em peixes, como indicador da contaminação do sistema aquático, relacionado à saúde pública. AKAGI *et al.* e MALM *et al.* (1995) realizaram os primeiros estudos de contaminação de peixes por mercúrio na região do Tapajós. Nestes estudos, os autores encontraram níveis de mercúrio acima do limite preconizado pela Organização Mundial de Saúde (OMS), em amostras de peixes do Rio Teles Pires, Brasília Legal e Santarém. Os níveis de mercúrio encontrados nestas amostras foram de

0,08 a 3,82 mg/Kg 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%,

Ainda em 1995, MALM *et al.* encontraram resultados semelhantes ao estudar diferentes espécies de peixes em seis locais distintos (Alta Floresta, Rio Rato, Itaituba, Brasília legal, Ponta de Pedras e Santarém) e aproximadamente 80% das espécies eram piscívoras, apresentando níveis de mercúrio com valores médios de 0,55 mg/Kg. Em 2000, LIMA *et al.* analisaram a concentração de mercúrio em espécies piscívoras provenientes de três diferentes pontos de coleta, próximos à cidade de Santarém (Enseada do Amorim, Igarapé do Jari, Ilha dos Patos e rio Tapajós) e encontraram valores de mercúrio entre 0,2 e 0,8 mg/Kg. Entre as espécies analisadas, o tucunaré apresentou os maiores níveis de mercúrio, com intervalo de 0,6 a 0,8 mg/Kg de peixe. Altos níveis de mercúrio também foram encontrados em espécies de tucunaré provenientes do reservatório de Balbina, no Amazonas, com valores entre 0,06 e 0,7 mg/Kg (KEHRIG *et al.* 1998) e reservatório de Tucuruí, com valores de até 1,1 mg/Kg (LODERNIUS 1992).

Estudos realizados por VERA (2004) analisaram os níveis de mercúrio total em espécimes do gênero *Chicla* (Tucunaré), coletados no ano de 1992 e 2001, nas cidades de Santarém, Itaituba/Jacareacanga. Nestes estudos, relatou-se que os níveis de mercúrio encontrados nos espécimes coletados em Itaituba/Jacareacanga foram de 3 a 4 vezes superiores ( $0,42 \pm 0,07$  mg/Kg em 1992 e  $0,73 \pm 0,09$  mg/Kg em 2001) aos níveis de mercúrio encontrados nos espécimes coletados em Santarém ( $0,12 \pm 0,02$  mg/Kg em 1992; e  $0,24 \pm 0,03$  mg/Kg em 2001). Resultado semelhante ao encontrado no presente estudo.

Ao analisarmos os teores de mercúrio descritos para peixes piscívoros, nos últimos 25 anos, a exemplo do tucunaré, evidencia-se que os níveis de mercúrio registrados nestes peixes não diminuíram, reforçando ainda mais a preocupação não somente ambiental, mas com a saúde da população que utiliza o pescado como sua principal fonte proteica, tornando imprescindível o monitoramento ambiental, para que políticas públicas sejam adotadas, no sentido de evitar a contaminação, tanto ambiental, quanto humana.

Segundo PASSOS *et al.* (2008), na maioria dos países amazônicos, as autoridades de saúde pública não forneceram orientações sobre o consumo de peixe, possivelmente em parte devido à importância do valor nutricional dos peixes e a consideração de que os efeitos do mercúrio sobre a saúde são menos graves do que os de outros problemas de saúde.

Mesmo que o pescado consumido por essas populações dos lagos de tabocal, lago do paraquazinho e rio Tapajós e Amazonas esteja com concentrações médias de mercúrio abaixo do que estabelece a legislação, a frequência de consumo e a quantidade diária ingerida é um componente essencial na avaliação do risco de contaminação humana por mercúrio. Vale lembrar que na região em estudo, o consumo semanal de pescado está bem acima da média mundial, que é de 140g de peixe/semana (PASSOS *et al.* 2008).

É importante destacar ainda que a OMS reconhece os efeitos clínicos na população, para níveis superiores a 50µg/g. No entanto, LEBEL (1996) fez observações referentes os efeitos não clínicos em uma população na região amazônica, onde a contaminação média encontrada em amostras de cabelo foi de 14 µg Hg/g. Nos estudos de Lebel, sugeriu-se alterações sensitivas e motoras posteriores a uma exposição crônica a baixos níveis de Hg (<50µg/g).

Em cidades localizadas no estado do Pará, a exposição humana com o mercúrio tem seus estudos direcionados à análise de amostras em cabelo da população 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; BORDINEAUD *et al.* 2015). O resultado dessas pesquisas, medindo nível de metilmercúrio em amostras de cabelos, apontaram valores de 7µg/g e até mais de 1.507µg/g.

Em adição às análises de concentração de mercúrio total presentes nos espécimes analisados, o presente estudo também avaliou a correlação entre peso e concentrações de mercúrio encontrados, por ponto de coleta. Os dados obtidos sobre o peso, o tamanho e os hábitos alimentares das espécies, são importantes no processo de avaliação de bioacumulação de mercúrio (BRABO *et al.* 1999), no entanto, neste estudo, não se verificou, de forma geral, a predominância de correlação forte entre a variável peso e os níveis de mercúrio em tecido muscular dos espécimes avaliados. No presente estudo, a relação hábito alimentar x concentração de mercúrio, não foi verificada. Os resultados de correlação entre comprimento padrão (em cm) e peso (em gramas) versus os níveis de mercúrio, agrupados por área de coleta, são observados nas Figuras 04 e 05 (A, B e C).

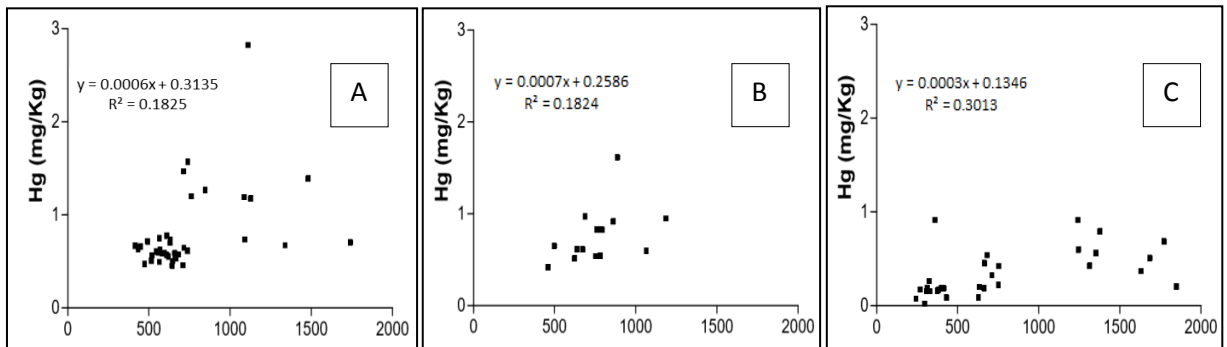


Figura 04. Correlação entre concentrações de mercúrio total e peso (g), em espécies do gênero *Chicla* agrupadas por área de coleta. A - Lago Paraquazinho (Aveiro, PA); B - Lago Tabocal (Itaituba, PA); C - Rios Amazonas e Tapajós (Santarém, PA).

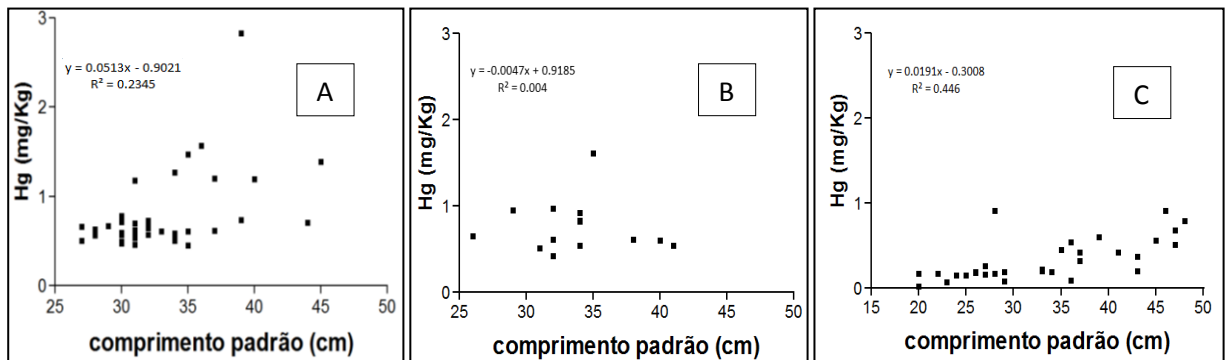


Figura 05. Correlação entre concentrações de mercúrio total e comprimento padrão (cm), em espécies do gênero *Chicla* agrupadas por área de coleta. A - Lago Paraquazinho (Aveiro, Pa); B - Lago Tabocal (Itaituba, Pa); C - Rios Amazonas e Tapajós (Santarém, Pa).

De maneira geral, as concentrações de mercúrio em amostras de tecido de peixe foram diretamente proporcionais ao tamanho e aumento de peso. Para os espécimes coletados em Aveiro, encontrou-se moderada correlação entre o comprimento total e níveis de mercúrio ( $r = 0,5 - P < 0,05$ ) e fraca correlação entre peso e níveis de mercúrio ( $r = 0,4 - P < 0,05$ ). Para a cidade de Itaituba, não houve correlação significativa para ambas as variáveis ( $P > 0,05$ ). Por outro lado, Santarém, apresentou correlação forte e moderada para as variáveis: comprimento padrão e peso ( $r = 0,7 - P < 0,05$ ;  $r = 0,5 - P < 0,05$ , respectivamente). Trabalhos anteriores realizados em espécimes de tucunaré, provenientes de lagos associados ao rio Tapajós, também apresentaram correlação positiva significativa entre as concentrações de mercúrio e o comprimento dos peixes (SAMPAIO DA SILVA *et al.* 2006).

Segundo Monteiro e Lopes (1990), não há na literatura um acordo geral sobre qual parâmetro do peixe (peso ou comprimento) é mais correlativo com o acúmulo do mercúrio.

Porém, Huckabee *et al.* (1979) destacam que os níveis de mercúrio nos peixes geralmente são melhor correlacionados com o comprimento do que com o peso pois, segundo os autores, o comprimento não decresce ao longo do ciclo de vida dos indivíduos.

Por outro lado, dados de correlação podem ser influenciados pelo nível de variação de parâmetros biométricos. Estudos conduzidos por Scott e Amstrong *et al.* (1972), por exemplo, não constata uma correlação significativa entre a concentração de mercúrio total e o comprimento dos peixes analisados, mas em um estudo subsequente (SCOTT *et al.* 1974) no mesmo local, e utilizando peixes com comprimento maiores e uma maior variação média de comprimento, foi encontrada uma correlação significativa e positiva. Entretanto, no presente trabalho, embora a variação no comprimento padrão não tenha sido tão evidente quanto a variação de peso; para os pontos A e C, os melhores resultados foram encontrados quando correlacionou-se os níveis de mercúrio com o comprimento padrão (Tabela 01).

Segundo Vieira *et al.* (2004), inúmeras variáveis podem também determinam o potencial de bioacumulação de mercúrio em peixes, podendo-se destacar a espécie, estágio metabólico, nível trófico (dieta), sexo, idade, local de captura, variáveis físico-químicas e biológicas da água. Roulet e Brachet, (2001), por exemplo, destacam que na Amazônia, as variações alimentares representam a maior causa das diferenças observadas entre as concentrações de metilmercúrio das populações de peixes provenientes de diferentes lagos.

## 6. CONCLUSÕES

- Os níveis de mercúrio total encontrados em espécimes do gênero *Chicla*, coletados nas cidades de Aveiro e Itaituba encontram-se próximos ao limite permissível pela ANVISA;
- Os espécimes coletados em Santarém apresentaram teores médios de mercúrio 3 vezes inferiores ao índice estabelecido pela legislação;
- As espécies em estudo representam um pescado com importância econômica e social na região do Tapajós, sendo amplamente comercializada e frequente consumida por pescadores e ribeirinhos, o que ressalta a necessidade de monitoramento ambiental, para subsidiar estratégias de prevenção perante a problemática da contaminação por mercúrio na região.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUIAR, C.P.O.; PELEJA, J.R.P.; SOUSA, K.N.S. Qualidade da água em microbacias hidrográficas com agricultura nos municípios de Santarém e Belterra, Pará. *Revista Árvore*, 38: 983-992, 2014.
2. AKAGI H, MALM O, KINJO Y, HARADA M, BRANCHES FJP, PFEIFFER WC, Kato H. Methylmercury pollution in the Amazon, Brazil. *The Science of Total Environment*, 175: 85-95, 1995.
3. AKAGI, H.; AKIBA, S.; ARIMURA, K.; SATOH, H.; TOGASHI, S.; NAGANUMA, A.; FUTATSUKA, M.; MATSUYAMA, A.; ANDO, T.; SAKAMOTO, M. Preventive Measures against Environmental Mercury Pollution and its health effects, Japan Public Health Association: Tokyo, 2001.
4. AKAGI, H.; MALM, O.; KINJO, Y.; HARADA, M.; BRANCHES, F.; PFEIFFER, W.; KATO, H. Methyl mercury pollution in the Amazon, Brazil. *Science of Total Environment*, 175, 85-95, 1995.
5. ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Legislação brasileira, portaria 685, 1998.
6. ARRIFANO, G.P.F. Metilmercúrio e mercúrio inorgânico em peixes comercializados no mercado municipal de Itaituba (Tapajós) e mercado Ver-o-Peso (Belém). Dissertação de Mestrado, Belém, 2011.
7. ARTAXO, P.; CALIXTO DE CAMPOS, R.; FERNANDES, E.T.V.; MARTINS, J.; XIAO, Z.; LINDQVIST, O.; FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, M.T.; MAENHAUT, W. Large scale mercury and trace element measurements in the Amazon basin. *Atmos. Environ*, 34: 4085-4096, 2000.
8. AZEVEDO, F. A. (2003) Toxicologia do mercúrio. Editora Rima, São Carlos, 272p.
9. BAIRD, C. *Environmental Chemistry*, Freeman and Company: U. S. A., 2001.
10. BERZAS NEVADO, J.J.; RODRÍGUEZ MARTIN-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. *Environment International*, 36: 593-608, 2010.
11. BISINOTI, M.C.; JARDIM, W.F.O comportamento do metilmercúrio (MetilHg) no ambiente. *Química Nova*, 27: 593-600, 2004.
12. BLAKE, M.; VERBRUGGE, D.A. Inorganic Elemental Analyses at the Alaska State Public Health Laboratory. (2005) Disponível em <http://acs.confex.com>.
13. BOENING D.W. (2000). Ecological effects, transport, and fate of mercury: a general review. *Chemosphere*, 40: 1335-1351, 2000.
14. BOURDINEAUD, J-P.; DURRIEU, G.; SARRAZIN, S.L.F.; SILVA, W.C.R.; MOURÃO, R.H.V.; OLIVEIRA, R.B. Mercurial exposure of residents of Santarém and Oriximiná cities (Pará, Brazil) through fish consumption. *Environ Sci Pollut Res*, 22: 12150–12161, 2015.

15. BRABO, E.D. *et al.* Mercury levels in fish consumed by the Sai Cinza indigenous. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 15: 325-331, 1999.
16. CLARKSON, T.W.; *Environ. Health Perspect.* 1993, 100, 31. Baird, C.; *Environmental Chemistry*, Freeman and Company: U. S. A., 2001.
17. CLARKSON, T.W.; MAGOS, L. The toxicology of mercury and its chemical compounds. *Critical Reviews in Toxicology*, 36: 609-662, 2006.
18. 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*, community, Munduruku Reservation, Jacareacanga County, State of Para, Brazil.
19. DIAS, A.C.L.; Guimarães, J.D.R.; Malm, O; Costa, P.A.S. Mercúrio total em músculo de cação *Prionace glauca* (Linnaeus, 1758) e de espadarte *Xiphias gladius* Linnaeus, 1758, na costa sul-sudeste do Brasil e suas implicações para a saúde pública. *Cad. Saúde Pública*, 24: 2063-2070, 2008.
20. DOUHRI, H.; SAYAH, F. The use of enzymatic biomarkers in two marine invertebrates *Nereis diversicolor* and *Patella vulgata* for the biomonitoring of Tangier's bay (Morocco). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72:394–399, 2009.
21. ETO, K. Minamata disease. *Neuropathology*, Sendai, 20, p. 14-19, 2000.
22. FEIJÃO, A.J. e PINTO, J.A., 1992. Amazônia e a saga do Ouro do Século 20. In: *Garimpo, Meio Ambiente e Sociedade Indígenas*, p.18-36. Ed. L. Barbosa; A.L. Lobato; J.A. Drummond, EDUFF- Ed. Universidade. Fluminense, Niterói, RJ.
23. FERREIRA, R. C. H.; Appel, L. E.; In: *Ann. I Inter. Symp. on Environmental Studies on Tropical Rain Forests*, Manaus, 1991.
24. Figueira, M.C.S.; Leite, T.M.C.; Silva, E.M. Educação em saúde no trabalho de enfermeiras em Santarém do Pará, Brasil. *Rev Bras Enferm.* 65: 414-9, 2012.
25. GAO, Y.; SHI, A.; LONG, Z.; WU, P.; ZHENG, C.; HOU, X. Determination and speciation of Mercury in environmental and biological samples by analytical atomic spectrometry. *Microchemical Journal*, 103: 1-14, 2012.
26. GOMIERO, L. M. and BRAGA, F. M. S. Reproduction of species of the genus *Cichla* in a reservoir in southeastern Brazil. *Braz. J. Biol.*, 64: 613-624, 2004.
27. GREEN, P.G.; JENSEN, J. Elemental mercury balance of a San Francisco Bay dominant tidal plant species, *Salicornia virginica*. *Abstracts of Papers*, 232nd ACS National Meeting, San Francisco, CA, United States, Sept. 10-14, (2006).
28. HARRIS, R.C.; SNODGRASS, W.J. A mechanistic model to examine Mercury concentration trends in aquatic systems. *Proc. Int. Heavy Metals Conf. Geneve Cep. Consultants*, 1989.
29. HUCKABEE, J.W., ELWOOD, J.W., HILDEBRAND. S.G. (1979), Accumulation of mercury in freshwater biota. In J.O. Nriagu, ed., *The Biogeochemistry of Mercury in the Environment*. Elsevier/ North-Holland, New York, NY, USA, pp. 277-302.

30. IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Síntese de indicadores sociais. Uma análise das condições de vida da população brasileira 2009.
31. IPOLYI I.; MASSANISSO P.; SPOSATO S.; FODOR P.; MORABITO R. Concentration levels of total and methyl- mercury in mussel samples collected along the coasts of Sardinia Island (Italy). *Analytica Chimica Acta*, 505: 145–151, 2004.
32. KEHRIG, H. A.; MALM, O.; AKAGI, A.; GUIMARÃES, J. R. D.; TORRES, J. P. M. Methylmercury in fish and hair samples from the Balbina Reservoir, Brazilian Amazon. *Environmental Research*, 77: 84-90, 1998.
33. KITAHARA, S.E.; OKADA, I.A.; SAKUMA, A.M.; ZENEBON, O.; JESUS, R.S. & TENUTA FILHO, A. Mercúrio total em pescado de água-doce. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 20: 267-273, 2000.
34. KOZMA, L. LENKEY, A.; VARGA, E.; GOMBA, Sz. Induction of renin release from isolated glomeruli by inorganic mercury(II). *Toxicology Letters*, Amsterdam, 85: 49-54, 1996.
35. 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: 289-398, 2006.
36. LACERDA, L. D.; PFEIFFER, W. C.; OTT, A. T. & SILVEIRA, E. G. Mercury contamination in the Madeira river, Amazon – Hg inputs to the environmental. *Biotropica*, 21: 91-93, 1988.
37. LEBEL, J.; MERGLER, D.; LUCOTTE, M.; AMORIM, M.; DOLBEC, J.; MIRANDA, D.; ARANTES, G.; RHEAULT, I.; PICHET, P. Evidence of early nervous system dysfunction in Amazonian populations exposed to low-levels of methylmercury. *Neurotoxicology*, 7: 157-167, 1996.
38. LI, D.; WUB, K.; HOWIE, A.F.; BECKETT, G.F.; WANG, W.; BAO, Y. Synergy between broccoli sprout extract and selenium in the upregulation of thioredoxin reductase in human hepatocytes. *Food Chem*, 110: 193-198, 2008.
39. LIMA, A.P.S.; MÜLLER, R.C.S.; SARKIS, J.E.S.; ALVES, C.N.; BENTES, M.H.S.; BRABO, E.; SANTOS. E.O. Mercury contamination in fish from Santarém, Pará, Brazil. *Environmental Research*, 83: 117-122, 2000.
40. LODERNIUS, M. Mercury contamination in the Tucuru|® Reser- voir, Brazil. International workshop on epidemiological studies on the effect of methylmercury, Kumamoto, 1992.
41. MAGGI, C.; BERDUCCI, M.T.; BIANCHI, J.; GIANI, M.; CAMPANELLA, L. Methylmercury determination in marine sediment and organisms by Direct Mercury Analyser. *Analytica Chimica Acta*, 641: 32-36, 2009.
42. MALM, O. Contaminação ambiental e humana por mercúrio na região garimpeira de ouro do Rio Madeira, Amazônia. Tese (Doutorado) – Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.
43. MALM, O. PFEIFFER, W.C.; SOUZA, C.M.; REUTHER, R. Mercury pollution due to gold mining in the Madeira river basin, Brazil. *Ambio*, Oslo, 19: 11-15, 1990.

44. 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. *Science of the Total Environment*. 175: 141–150, 1995.
45. MEILI, M.; IVERFELD, A.; HAKANSOV, L. Hg in the Surface Water of Swedish Forest Lakes – Concentration, Speciation and Controlling Factors, *Water, Air and Soil Pollution*. 56: 439-453, 1991.
46. MELAMED, R.; VILLAS BOAS, R.C. Interactions at the solid-liquid interface affecting the mercury geochemical cycle . In: *Mercury in the Tapajós Basin*. CETEM/CNPq/ CYTED. Rio de Janeiro, 2001.
47. MERONA, B.; RANKIN-DE-MERONA, J. Food resource partitioning in a fish community of the central Amazon floodplain. *Neotropical Ichthyology*, 2: 75-84. 2004.
48. 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.
49. MIRANDA, M.R. COELHO-SOUZA, S.A.; GUIMARÃES, J.R.D.; CORREIA, R.R.S.; OLIVEIRA, D. Mercúrio em sistemas aquáticos: fatores ambientais que afetam a metilação. *Oecol. Bras.*, 11: 240-251, 2007.
50. MONTEIRO, L.R.; LOPES, H.D. Mercury content of swordfish, *Xiphias gladius*, in relation to length, weight, age and sex. *Marine Pollution Bulletin*, 6: 293-296, 1990.
51. MOREL, F.M.M.; KRAEPIEL, A.M.L.; AMYOT, M. The chemical cycle and bioaccumulation of mercury. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 29: 543-66, 1998.
52. NASCIMENTO, E.S.; CHASIN, A.A.M.; *Ecotoxicologia do mercúrio e seus compostos*, Salvador: CRA, 2001.
53. NEVADO, J. J.B.; MARTÍN-DOIMEADIOS, R.C.R.; BERNARDO, F.J.; MORENO, M. J. Mercury in the Tapajós River basin, Brazilian Amazon: A review. *Environment International*, 36: 593–608, 2010.
54. NRIAGU, J., BECKER, C. Volcanic emissions of mercury to the atmosphere: Global and regional inventories. *Sci. Total Environ.*, 304: 3–12, 2003.
55. OLIVARES, I.R.B. Emissões antrópicas de mercúrio para atmosfera na região de Paulínia/SP. 2003. 70 f. Dissertações (Mestrado)- Universidade Estadual de Campinas/SP. 2003.
56. OLIVEIRA RIBEIRO, C.A.; FILIPACK NETO, F.; MELA, M.; SILVA, P.H.; RANDI, M.A.F.; COSTA, J.R.M.A.; PELLETIER, E. Hematological findings in neotropical fish *Hoplias malabaricus* exposed to subchronic and dietary doses of methylmercury, inorganic lead and tributyltin chloride. *Environmental Research*, 101: 74-80, 2006.
57. PASSOS, C.J.S.; MERGLER, D. Human mercury exposure and adverse health effects in the Amazon: a review. *Cadernos de Saúde Pública*, 24: 503-520, 2008.

58. PFEIFFER, W.C.; MALM, O.; SOUZA, C.M.; LACERD, L.D & SILVEIRA, E.G.A.. Ameaça de mercúrio nos garimpos. *Ciência hoje*, 11: 12-16, 1990.
59. PINHEIRO M.C.N.; HARADA, M.; YASODA, E., NAKANISHI, J.; OIKAWA, T.; VIEIRA J.L.F. Toxicological and epidemiological data on human exposure to mercury in the Tapajós River basin: 1994–1998. *Environmental Science*, 10: 99-105, 2003.
60. PINHEIRO, M.C.N. MACCHI, B.M.; VIEIRA, J.L.F.; 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. Mercury exposure and antioxidant defenses in women: A comparative study in the Amazon. *Environmental Research*, 107: 53-59, 2008.
61. PINHEIRO, M.C.N.; CRESPO – LÓPEZ, M. E.; J.L.F.; OIKAWA, G.A.; ARAÚJO, C. C.; AMORAS, WW.; RIBEIRO. D.R.; HERCULANO , A.M., NASCIMENTO, J. L. M and SILVEIRA L.C.L .Mercury pollution and childhood in Amazon riverside villages. *Environment International*, 33: 56-61, 2007.
62. PINHEIRO, M.C.N.; OIKAWA, T.; VIEIRA, J.L.F.; GOMES, M.S.V.; GUIMARÃES, G.A.; CRESPO-LÓPEZ, M.E., MÜLLER, R.C.S.;AMORAS, W.W.; RIBEIRO, D.R.G.; RODRIGUES, A.R.; CÔRTEZ, M.I.T.; SILVEIRA, L.C.L. Comparative study of human exposure to mercury in Riverside communities in the Amazon region. *Braz J Med Biol Res*, 39: 411-4, 2006.
63. REUTHER, R. Mercury accumulation in sediments and fish from rivers affected by alluvial gold mining in the Madeira river basin, Brazil. *Environ Monit Assess*, 32: 239-258, 1994.
64. RICOTTA, ANGELA C.; BOYLAN, HELEN M. Field application of the direct mercury analyzer ( DMA ). Annual Meeting & Exhibition Proceedings CD-ROM - Air & Waste Management Association, 92nd, St. Louis, MO, United States, June 20-24, 1999; 4346-4350, 1999.
65. ROULET, M.; BRACHET, R.M. Le mercure dans les sols d'Amazonie. In CARMOUSE, J. P; LUCOTTE, M; BOUDOU, A. Le mercure en Amazonie. IRD Éditions, 2001. 214p.
66. ROULET, M.; LUCOTTE, M.; SAINT-AUBIN, A.; TRAN, S.; RHÉAULT, I.; FARELLA, N.; DE JESUS DA SILVA, E.; DEZENCOURT, J.; SOUSA PASSOS, C.J.; SANTOS SOARES, G.; GUIMARÃES, J.R.; MERGLER, D.; AMORIM, M.. The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chão formation of the lower Tapajós River Valley, Pará 80 state, Brazil. *Sci. Total Environ*. 223, 1–24, 1998.
67. SÁ, A.L.; HERCULANO, A.M.; PINHEIRO, M.C.; SILVEIRAS, L.C.L.; NASCIMENTO, J.L.M.; CRESPO-LÓPEZ, M.E. Exposição humana ao mercúrio na região Oeste do Estado do Pará. *Revista Paraense de Medicina*, 20: 19-25, 2006.
68. SAMPAIO DA SILVA, D. LUCOTTE, M.; ROULET, M.; POIRIER H.; MERGLER, D.; CROSSA , M. Mercúrio nos peixes do Rio Tapajós, Amazônia brasileira. *Interfacehs*, p.1-31, 2006.
69. SANTOS, E.C.O.; DE JESUS, I.M.; BRABO, E.S.; FAYAL; K. F.; FILHO, J. C.S.; LIMA. M. O.; MIRANDA.A.M M.; MASCARENHAS, A. S.; De SÁ, L. L. C.; Da

- SILVA, A.P.; CÂMARA, V. M. Exposição ao mercúrio e ao arsênio em Estados da Amazônia: síntese dos estudos do Instituto Evandro Chagas/FUNASA, *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 6: 171-185, 2013.
70. SANTOS, L.S.N.; MULLER, R.C.S.; SARKIS, J.E.S.; ALVES, C.N.; BRABO, E.S.; SANTOS, E.O.; BENTES, M.H.S. Evaluation of total mercury concentrations in fish consumed in the municipality of Itaituba, Tapajos River Basin, Pará, Brazil. *The Science of the Total Environment*, 261: 1-8, 2000.
  71. SCHROEDER, W.H.; MUNTHES, J. Atmospheric mercury: an overview. *Atmospheric Environment*, 32: 809-822. 1998.
  72. SCOTT, D.P. Mercury concentration of white muscle in relation to age, growth, and condition in four species of fishes from Clay Lake, Ontario. *J. Fish. Res. Board Cm.*, 31: 1723-1729, 1974.
  73. SCOTT, D.P., AND F.A.J. AMISTRONG. Mercury concentration in relation to size in several species of freshwater fishes from Manitoba and northwestern Ontario. *J. Fish. Res. Board Can.*, 29: 1685-1690, 1972.
  74. SOARES, P.V. Estudo da contaminação por mercúrio e metais pesados em garimpo de ouro primário. O estudo de caso da região de Pilar de Goiás e Guarinos, GO. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas/SP. 1990.
  75. UNEP CHEMICALS. Impacts of mercury on the environment. In: Global mercury assessment. Switzerland: INEP, 2002. Disponível em: <http://www.chem.unep.ch/mercury/WGmeeting/revreport-Ch5.pdf>.
  76. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). 22nd session of the UNEP Governing Council. Global Mercury Assessment Report. Disponível em: <http://www.chem.unep.ch/mercury/Report/GMA-report-TOC.htm>.
  77. VERA, M. Y. Predição da concentração de mercúrio em tucunaré usando modelos de balanço de massa e bioenergético – Rio de Janeiro: PUC-Rio, Dissertação de Mestrado. Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, 2004.
  78. VIEIRA, L.M.; NUNES, V.S.; CAMPOS, R.C. Níveis de mercúrio total na carne de peixes como indicadores de contaminação em sistemas aquáticos do Pantanal. IV Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal. Corumbá/MS. 2004.
  79. WASSERMAN, J.C.; HACON, S.; Mercury in Soils and Sediments From Gold Mining Liabilities in Southern Amazonia. *Quimica Nova*, 30: 768-773, 2007.
  80. WASSERMAN, J.C.; WASSERMAN, M. A. Biogeochemistry of mercury in the Amazonian. *Ambio*, 32: 336-342. 2003.
  81. WHO (World Health Organization), 1990. *Environmental Health Criteria 101: Methylmercury*. Geneva: United Nations Environment Program/ International Labour Organization/World Health Organization.
  82. WINEMILLER, K.O. Ecology of peacock cichlids (*Cichla* spp.) in Venezuela. *J. Aquac. Aquat. Sci.*, 9: 93-112, 2001.