



**Universidade de Brasília**  
**Faculdade UnB Planaltina**  
**Programa de Mestrado em Ciências Ambientais**

**HENRIQUE NEUTO TAVARES**

**EXPOSIÇÃO HUMANA AO MERCÚRIO ASSOCIADA AOS HÁBITOS  
ALIMENTARES DE COMUNIDADES NO ALTO RIO MADEIRA**

**Brasília – DF, 2020.**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE UNB PLANALTINA  
PROGRAMA DE MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

HENRIQUE NEUTO TAVARES

**EXPOSIÇÃO HUMANA AO MERCÚRIO ASSOCIADA AOS HÁBITOS  
ALIMENTARES DE COMUNIDADES NO ALTO RIO MADEIRA**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Brasília.  
Linha de Pesquisa: Manejo e Conservação de Recursos Naturais

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fabrício Zara

BRASÍLIA – DF, 2020.

**TAVARES, Henrique Neuto.** Exposição humana ao mercúrio associada aos hábitos alimentares de comunidades no alto Rio Madeira. / **Henrique Neuto Tavares. Planaltina - DF, 2020. 67 f.**

Dissertação - Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília.

Curso de Mestrado em Ciências Ambientais.

Orientador: Luiz Fabrício Zara

1. Metilmercúrio. 2. Exposição humana. 3. Peixe. 4. Amazônia Brasileira. I. ZARA, Luiz Fabrício, orient.. II. Título.

HENRIQUE NEUTO AVARES

EXPOSIÇÃO HUMANA AO MERCÚRIO ASSOCIADA AOS HÁBITOS  
ALIMENTARES DE COMUNIDADES NO ALTO RIO MADEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Mestrado em Ciências Ambientais da UnB Planaltina, como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Banca Examinadora:

Planaltina-DF, 11 de março de 2020.

---

Prof. Dr. Luis Fabrício Zara, Faculdade UnB Planaltina (Presidente)

---

Prof. Dr. Antônio Felipe Couto Junior, Faculdade UnB Planaltina

---

Prof. Dr. Ezio Sargetini Junior, Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia

*Dedico este trabalho aos meus sobrinhos, Bárbara, Kauan e Isabela, para que compreendam a importância da Educação e que sirva de exemplo ao caminho que irão trilhar na vida.*

*À minha avó Alba, pelo amor dedicado a mim desde o meu nascimento e que sinto em todos os nossos encontros e conversas.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me dar força para enfrentar todos os desafios, mostrando-me, nos pequenos sinais, que viver é uma dádiva e que deve ser respeitada para que a felicidade se faça presente;

Agradeço aos meus pais, Nicinha e Neuto, por me proporcionarem possibilidades de me tornar o homem que sou, e especialmente a minha mãe, por se fazer presente em todos os bons momentos e nas dificuldades que a vida nos apresenta, sempre cheia de amor e de proteção aos filhos.

Agradeço aos meus irmãos, Ricardo e Mônica, pelo amor incondicional e por todo cuidado e proteção nos momentos que mais precisei e que tive a certeza de que o meu porto seguro se chama família.

Agradeço aos meus colegas de turma pela parceria e carinho de sempre, em especial as doutorandas Danielly, Lílian e Nayara, ao doutorando Rodrigo, ao mestrando Johnny e a nossa querida Jussara, que se permitiu trilhar outros caminhos.

Agradeço aos professores do Programa: Antônio Felipe, pelo apoio dado mesmo antes de ter entrado oficialmente no curso; Aos professores Ludgero e Salemi, pelo compartilhamento de experiências e conhecimentos na saída de campo, promovendo um olhar mais aguçado às questões afetas a interrelação entre o ser humano e o meio ambiente; Ao professor Carlos Passos, pelos diálogos e sugestões dadas sobre a minha pesquisa e que geraram novos e importantes questionamentos a este estudo e a todos os demais, que me propiciaram acesso à saberes na área das Ciências Ambientais, tornando-me um apaixonado.

À amiga Joana D'Arc, por toda preocupação demonstrada por meio das ligações e mensagens enviadas, incentivando-me à continuar caminhando nesta reta final, ajudando-me a não desistir, mesmo passando por tempos difíceis.

E agradeço, particularmente, a algumas pessoas pela contribuição direta na construção deste trabalho:

Ao professor Luiz Fabrício Zara, orientador desta Dissertação, por ter sido um dos principais agentes propulsores ao meu ingresso neste Programa, dando-me

orientações gerais desde o início dessa etapa, mostrando-me as possibilidades da realização de pesquisas transdisciplinares e a relevância disso para a Ciência;

À amiga Clarisse Serra Vasconcellos, por ter sido aquela que promoveu toda essa mudança em minha vida, incentivando-me à participar da seleção e que fôssemos, além de amigos, colegas de Pós graduação. Não poderia deixar de destacar o apoio dado durante todo esse percurso e nesta etapa final, por todas as sugestões dadas e que foram fundamentais para o encerramento desta importante fase da minha vida. Meu muito obrigado!

Às amigas Tânia Silva e Wllyane Figueiredo, pela parceria ao longo de todo o curso, pela generosidade de sempre e, principalmente, por terem sido os presentinhos que a UnB me deu. Vocês não têm noção da importância de vocês para mim em 2019 e nesses primeiros meses de 2020! Gratidão resume. À Venturo Consultoria Ambiental, pelo apoio financeiro aos trabalhos de campo e análises laboratoriais, assim como pela disponibilização dos dados.

À toda equipe de campo, Prof. Zara, Prof. Carlos Passos, Prof. Ademir, Prof. Felipe, Dra. Lívia, MsC Clarisse, MsC Tânia, MsC Wllyane, MsC Valéria, Norma e todos os demais que, de alguma forma, participaram das coletas de dados nas campanhas que fiz parte e das anteriores que propiciaram a obtenção de material tão rico para este estudo.

À Venturo Consultoria Ambiental e a Energia Sustentável do Brasil, pelo apoio nos trabalhos de campo e análises laboratoriais, assim como pela disponibilização de dados.

Às Comunidades dos distritos Nova Mutum-Paraná e Fortaleza do Abunã, pela presteza de sempre em nos receber, possibilitando espaços de diálogos importantes para que esta pesquisa fosse possível.

*A base de toda a sustentabilidade é o desenvolvimento humano que deve contemplar um melhor relacionamento do homem com os semelhantes e a Natureza.*

*Nagib Anderáos Neto*



## RESUMO

TAVARES, H. N. **EXPOSIÇÃO HUMANA AO MERCÚRIO ASSOCIADA AOS HÁBITOS ALIMENTARES DE COMUNIDADES NO ALTO RIO MADEIRA**. 67 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

A problemática das elevadas concentrações de mercúrio em diversos compartimentos ambientais na região Amazônica tem sido objeto de inúmeros estudos desde o final da década de 1980. Pesquisas apontam para concentrações elevadas de mercúrio em peixes e, como consequência, também elevado teor de metilmercúrio em amostras de cabelo de populações em que têm o consumo do peixe como predominância. Populações amazônicas parecem sofrer variâncias em suas dietas alimentares, a partir da interrelação com a dinâmica de proximidade com o rio, importando conhecer o impacto à exposição humana ao Hg. Assim, este estudo tem como objetivo analisar a exposição humana ao mercúrio associada aos hábitos alimentares das comunidades de Nova Mutum-Paraná e de Fortaleza de Abunã, localizadas no alto rio Madeira – Rondônia. Foi aplicado questionário sociodemográfico e Inquérito Alimentar Recordatório (07 dias). A determinação de mercúrio total (HgT) em amostras de cabelo foi feita a partir da técnica de análise direta de mercúrio SMS 100/ Perking Elmer. Os dados foram analisados por estatística multivariada na obtenção de ordenação, classificação, correspondência e discriminação de variáveis e fatores ambientais. A pesquisa utilizou a base de informações do estudo de saúde humana e estudo ambiental do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico do Mercúrio da Usina Hidrelétrica de Jirau, referente ao período temporal de 2009 a 2018. As concentrações de Mercúrio Total variaram entre 0,26 e 35,05  $\mu\text{g g}^{-1}$  ( $4,18 \pm 4,03 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e a mediana de 2,94  $\mu\text{g g}^{-1}$  em Fortaleza do Abunã e entre 0,21 e 25,28  $\mu\text{g g}^{-1}$  ( $2,88 \pm 2,13 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e a mediana de 2,41  $\mu\text{g g}^{-1}$ , inferindo maior exposição ambiental ao mercúrio em Fortaleza do Abunã quando comparado a Nova Mutum-Paraná. Os resultados deste estudo, apesar de não serem conclusivos, são fortes indicadores da relação entre os hábitos alimentares e a concentração de mercúrio em cabelos, demonstrando uma correlação plausível entre os níveis de mercúrio em peixes, confirmando a importância de estudos do gênero e à compreensão do ciclo de Hg na região amazônica por se tratar de investigação de saúde humana.

**Palavras-chaves:** 1. Mercúrio. 2. Exposição humana. 3. Peixe. 4. Amazônia Brasileira.

## ABSTRACT

TAVARES, H. N. **Human exposure to mercury associated to community food habits in high of the Madeira river.** 2019. p. Dissertation (Master) - Faculdade UnB Planaltina, University of Brasilia, Brasilia, 2019.

The problem of high concentrations of mercury in environmental compartments in the Amazon region has been the subject of numerous studies since the late 1980s. Research indicates high mercury concentrations in fish and high mercury content in samples of hair from populations in which it has the consumption of fish for food as a predominance. Amazonian populations seem to suffer variances in their diet, from the interrelation with the dynamics of proximity to the river, and it is important to know the impact of human exposure to Hg. This study aims to analyze the human exposure to methylmercury associated with changes in eating habits in Nova Mutum-Paraná and Fortaleza de Abunã communities, located on the high river Madeiram, Rondônia. Sociodemographic questionnaire was applied. The food intake was evaluated by recall food survey (07 days). The determination of total mercury (HgT) in hair samples was made using the SMS 100 / Perking Elmer mercury direct analysis technique. The data will be analyzed by multivariate statistics to obtain ordering, classification, correspondence and discrimination of variables and environmental factors. Multiple regression will be used to test cumulative dependencies of a single dependent variable on several independent variables. The research will use the information base of the human health study and environmental study of the Mercury Hydrobiogeochemical Monitoring Program of the Jirau Hydroelectric, for the period from 2009 to 2018. Mercury concentrations ranged between 0.26 and 35.05  $\mu\text{g g}^{-1}$  ( $4.18 \pm 4.03 \mu\text{g g}^{-1}$ ) and the median of 2.94  $\mu\text{g g}^{-1}$  in Fortaleza do Abunã and between 0.21 and 25.28  $\mu\text{g g}^{-1}$  ( $2.88 \pm 2.13 \mu\text{g g}^{-1}$ ) and the median of 2.41  $\mu\text{g g}^{-1}$ , concluding that the environmental exposure to mercury in Fortaleza do Abunã is higher than in Nova Mutum-Paraná. The results, although not conclusive, are strong indicators of the relationship between eating habits and the concentration of mercury in hair, demonstrating a plausible correlation between mercury levels in fish, confirming the importance of gender studies and understanding the cycle of Hg in the Amazon region as it deals with human health research.

**Key words:** 1. Methylmercury. 2. Human Exposure. 3. Fish. 4. Brazilian Amazon.

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

$\text{CH}_3\text{Hg}^+$	Metilmercúrio
$(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$	Dimetilmercúrio
cm	Centímetros
CVAAS	Espectrometria de absorção atômica acoplado a sistema de geração de vapor frio de mercúrio
g	Gramas
GFAAS	Espectrometria de absorção atômica em forno de grafite
Hg	Mercúrio
$\text{Hg}^0$	Mercúrio metálico ou elementar
$\text{Hg}^{+2}$	Mercúrio iônico ou mercúrico
$\text{Hg}_2^{2+}$	Íon mercuroso
$\text{HgCl}_2$	Cloreto de mercúrio
$\text{Hg}(\text{OH})_2$	Hidróxido de mercúrio
HgT	Mercúrio total
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
kg	Quilograma
km	Quilômetro
L	Litro
m	Metro
mA	Microamperagem
MeHg	Metilmercúrio
mg	Miligrama
mm	Milímetros
OMS	Organização Mundial de Saúde
$p$	Grau de significância nos testes estatísticos
SISBIO	Sistema de Autorização e Informação em Biodiver
UHE	Usina Hidrelétrica

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
2.1. MERCÚRIO .....	15
2.2. FONTES DE MERCÚRIO NA BACIA AMAZÔNICA .....	19
2.3. MERCÚRIO NA ICTIOFAUNA DA AMAZÔNIA .....	23
2.4. TOXICIDADE DO MERCÚRIO .....	24
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>26</b>
3.1. OBJETIVO GERAL .....	26
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>27</b>
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	27
4.2. DESENHO AMOSTRAL.....	28
4.2.1. Critérios de elegibilidade.....	28
4.2.2. Coleta de dados sociodemográficos e alimentares .....	29
4.2.3. Coleta de amostras biológicas e preparo de material.....	30
4.2.4. Determinação de mercúrio total.....	31
4.3. ANÁLISE DOS DADOS .....	32
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>33</b>
5.1. CARACTERIZAÇÃO DA POPULAÇÃO.....	33
5.1.1. Hábito alimentar .....	38
5.2. EXPOSIÇÃO AO MERCÚRIO .....	45
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	<b>52</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>54</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>60</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A reflexão quanto à interrelação entre o ser humano e o ambiente, bem como as ações antrópicas existentes, contribuindo ao desequilíbrio ecológico, imperam, percebendo-se a necessidade de mudanças comportamentais à busca por práxis de sustentabilidade ambiental. Nesse sentido, a paisagem deve ser compreendida sob um olhar holístico, sobretudo, à definição de cenários, sistemas, estruturas e funcionamentos (ANTROP, 2000). Não obstante, considerar a dinâmica dos fatos históricos, correlacionados ao entendimento da paisagem, também pode ser considerado um fator relevante por favorecer o entendimento e as aplicações práticas de ecologia da paisagem, favorecendo processos de mudanças (ANTROP, 2001; 2006).

Seguindo princípios da Gestalt, é importante perceber o ambiente em uma abordagem integrada, indivisível e articulada, levando-se em consideração as suas multifuncionalidades e dimensões, avaliando-o de forma minuciosa, de maneira que acrescente significados e contribua efetivamente para o desenvolvimento territorial sustentável (NAVEH, 2000; 2001), a partir da participação ativa do ser humano, percebendo-se como um ser integrado e transformador desse ambiente. De acordo com as premissas estabelecidas por Naveh (2001) sobre a concepção holística de paisagens multifuncionais, compreendida como a matriz espacial da função de todos os organismos, incluindo humanos, essa multifuncionalidade das paisagens é impulsionada tanto pela biogeosfera (natural), quanto pela noosfera (processos culturais, da mente humana e consciência).

É nessa aceção que se percebe a mesclagem desses elementos, estabelecendo uma dialogicidade transdisciplinar complexa entre o antrópico e o natural, interferindo nos processos de auto-organização, autoregulação e na capacidade de co-evolução dos processos da natureza e das sociedades humanas, havendo a necessidade de se observar o ambiente a partir de uma visão sistêmica e não dualista.

A partir desses pressupostos, este estudo traz como elemento central a relação ecossistêmica entre o ser humano e compartimentos bióticos da região Amazônica, em particular da bacia do rio Madeira, Rondônia, a fim de se contribuir ao entendimento dessa inter-relação, levando-se em consideração diferentes dimensões que perpassam desde fatores hidrobiogeoquímicos até fatores geoeconômicos e

sociais.

Os metais tóxicos representam riscos para a saúde ambiental, mesmo em concentrações relativamente baixas e em tempos de permanência prolongada. Eles podem entrar no corpo humano através do contato direto, inalação de gases ou partículas em suspensão ou ainda através da ingestão. A magnificação em níveis tróficos pode persistir por décadas devido à remoção de sedimentos acumulados em deposição nos sumidouros ou *hotspots* ambientais. Os impactos persistem à medida que as correntes de água se dissipam e removem os sedimentos, solubilizando metais pesados tóxicos e aumentando a sua biodisponibilidade (FERNANDES et al., 2016).

Dentre os metais tóxicos examinados, o mercúrio (Hg) associado à saúde humana vem sendo objeto de estudos há três décadas, em especial na Bacia Amazônica. A presença desse metal ocorre em consequência de ações antrópicas (LACERDA, 1995; CASTRO et al., 2016), mas também devido a características do solo, que, naquela região, contém grandes concentrações de origem natural (FADINI et al., 2001; BASTOS et al., 2004). O mercúrio pode ser considerado um elemento ubíquo, de comportamento acumulativo (BORREL et al., 2014) e a sua toxicidade se apresenta, particularmente, na forma de metilmercúrio (MeHg), composto nocivo ao sistema biológico humano, com evidências de alterações nos sistemas cardiovasculares, neurológicos, imunológicos e respiratórios (DE JESUS SILVA et al., 2017) e considerado um dos agentes mais citotóxicos e neurotóxicos para humanos disponíveis no meio ambiente (FAIAL et al., 2015).

Todavia, apesar da literatura apontar efeitos danosos ao sistema nervoso central e outros adversos à saúde humana a partir da contaminação por Hg, estudos recentes mostram que há uma relação mais complexa, incluindo consequências comportamentais, de desenvolvimento, nefrológicas, reprodutivas, endocrinológicas e imunológicas (CHEN et al., 2018), sendo necessária investigações mais minuciosas. Além disso, as rápidas mudanças globais estão alterando muitos processos ecológicos, padrões socioeconômicos e outros fatores, como incidência de doenças infecciosas, dificultando a determinação precisa dos riscos ecológicos e à saúde do ser humano a partir da exposição ao mercúrio (EAGLE-SMITH et al., 2018; BUDNIK; CASTELEYN, 2018).

Um grande vetor de impactos ambientais dessa magnitude e, conseqüentemente, gerando processos de contaminação de ecossistemas aquáticos, aumentando os riscos de exposição humana por via alimentar, tem sido a remobilização de mercúrio pela atividade antrópica (MARQUES et al., 2010; MORAES et al., 2013).

Dados sócio-históricos da região amazônica têm demonstrado que processos de biomagnificação de Hg em organismos aquáticos é latente (BASTOS et al., 2007), resultando na bioacumulação em peixes consumidos por comunidades ribeirinhas, sendo, a sua toxicidade, nociva ao sistema biológico humano. (FAIAL et al., 2015; DE JESUS SILVA et al., 2017), assim, torna-se necessário o estabelecimento de biomarcadores proteicos específicos à toxicidade do mercúrio em organismos aquáticos, bem como o monitoramento de seus níveis em regiões que sofrem impactos antropogênicos dessa natureza (VIEIRA et al., 2018).

A partir desses pressupostos, este estudo traz como elemento central a relação ecossistêmica entre a ação humana e compartimentos bióticos da região Amazônica, em particular da bacia do rio Madeira, Rondônia, a fim de se contribuir ao entendimento dessa inter-relação, levando-se em consideração diferentes dimensões que perpassam desde fatores hidrobiogeoquímicos até fatores geoeconômicos e saúde humana.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

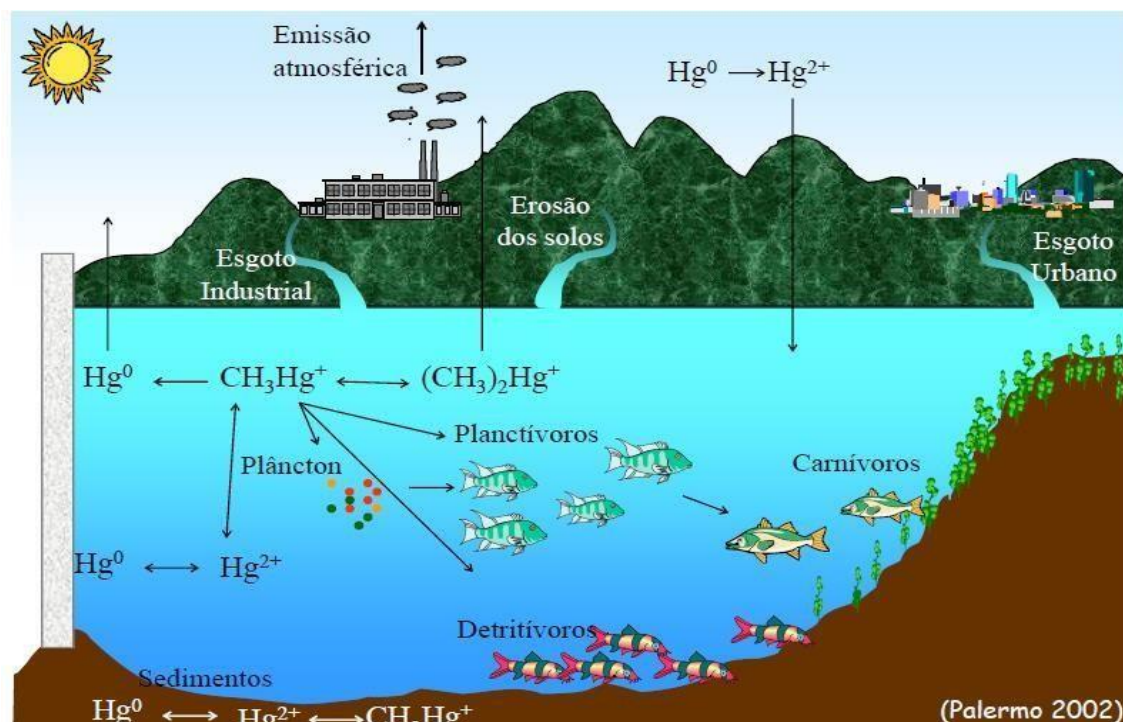
### 2.1. MERCÚRIO

Dentre os elementos considerados mais tóxicos para a saúde humana, de acordo com a *United States (US) Government Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ATSDR), o mercúrio (Hg) é considerado o terceiro maior causador de riscos à população, atingindo mais de 19 milhões de pessoas em todo o mundo (BUDNICK; CASTEIN, 2019). A contaminação do ambiente por mercúrio é uma ameaça global à saúde, dentre outros fatores, por ser o único metal capaz de aumentar a sua concentração nos níveis tróficos. Insta ressaltar que a complexidade do ciclo biogeoquímico do mercúrio pode dificultar a determinação precisa dos riscos para a saúde humana e ambiental (EAGLES-SMITH et al., 2018).

O mercúrio vem sendo estudado desde os grandes acidentes de contaminação ocorridos no Japão e no Iraque nas décadas de 1950 e 1960. Porém, historicamente, a fascinação pelo mercúrio iniciou-se quando os homens pré-históricos encontraram o mineral cinábrio (HgS) e o utilizaram como pigmento (SKOOG et al., 2006). As primeiras pesquisas foram feitas por Aristóteles, no século IV a.C., o qual descreveu o mercúrio como “prata líquida”. Há relatos de que as primeiras aplicações práticas foram feitas pelos romanos (MIRANDA, 2007).

No ambiente o mercúrio encontra-se no estado líquido em concentrações relativamente baixas, por volta de  $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$  (BIESTER et al., 1999). Seu ciclo biogeoquímico se caracteriza por diferentes rotas de exposição no ambiente, destacando-se os compartimentos da litosfera, da hidrosfera e da atmosfera. Quando há contato com solo ou sedimento, pode ocorrer sorção do mercúrio na forma insolúvel, seguida de metilação/desmetilação, completando o ciclo por meio das rotas de precipitação, bioconversão em formas voláteis ou solúveis, reinteração deste na atmosfera ou por meio da bioacumulação na cadeia alimentar aquática e terrestre, conforme pode ser observado na **Figura 01**. (BISINOTI; JARDIM, 2004).





**Figura 01** – Ciclo biogeoquímico do mercúrio.

Fonte: Santos (2013).

A emissão natural de mercúrio se dá devido à gaseificação da crosta terrestre, emissões vulcânicas e evaporação natural de corpos d'água. (GRIGOLETTO et al., 2008). O mercúrio se associa a outros elementos, como o enxofre, formando o minério cinabre ( $\text{HgS}$ ), geralmente encontrado em uma forma massiva, granular ou terrosa, de cor vermelha acentuada ou preta, sendo as maiores reservas encontradas na Espanha e na Itália (MICARONI et al., 2000). Estima-se que, mundialmente, entre os anos 1550 e 1800, as emissões antropogênicas de mercúrio para o ambiente foram de 200.000 toneladas. Nesse cenário, o Brasil teria liberado, no mesmo período, cerca de 400 toneladas, sendo sua maioria proveniente de garimpos ilegais (LACERDA, 1997a; MALM, 1998).

A sua presença nos diversos compartimentos se faz por diferentes formas: inorgânica como Hg elementar ( $\text{Hg}^0$ ), íon mercuroso ( $\text{Hg}_2(\text{II})$ ) e íon mercúrico ( $\text{Hg}^{2+}$ ) e na forma orgânica como íon mercúrico, o qual se associa com ligantes orgânicos naturais ou covalentemente a um radical orgânico, formando o metilmercúrio ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ) e o dimetilmercúrio ( $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ ) (HONDA et al., 2006; MICARONI; BUENO; JARDIM, 2000).

Dentre algumas de suas utilidades, o mercúrio metálico ( $\text{Hg}^0$ ), possui a propriedade de formar amálgama, tornando possível a extração do ouro disperso nos solos e sedimentos. Após a queima do amálgama, o mercúrio é lançado no ambiente

em forma de vapor e, quando há perdas no manuseio, também na forma líquida (BASTOS et al., 2004; BOISCHIO; BARBOSA, 1993). Durante o processo de fusão, uma quantidade significativa de Hg é perdida para os rios e solos através de manuseio e volatilização e, na maioria dos casos, rejeitos ricos em Hg são deixados na maioria dos sítios de mineração (OLIVERO-VERBEL et al., 2016). Durante a corrida do ouro, estima-se que no Brasil havia 1,6 milhão de pessoas trabalhando com garimpo (MALM, 1998).

A deposição de mercúrio de origem antrópica também se configura como outra fonte de aporte ao ambiente (LACERDA, 1995), como, por exemplo, sua remobilização por meio do setor hidrelétrico, podendo gerar processos de contaminação em ecossistemas aquáticos e o aumento dos riscos de exposição humana por via alimentar (MARQUES et al, 2010).

Insta ressaltar que o mercúrio, em maiores proporções, pode ter fator de toxicidade severa para os seres vivos e é poluidor para os ecossistemas (FIGUEIREDO, 2015), sendo caracterizado como um dos metais que, em razão de contaminação do ambiente, causou a morte de humanos, particularmente por meio de ingestão de peixes e outros organismos contaminados (DOREA et al., 2007).

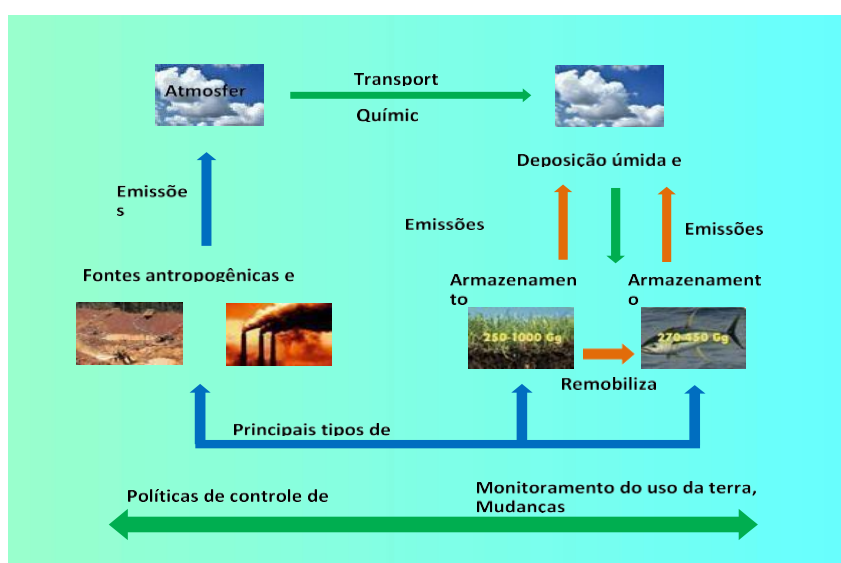
Existem duas rotas do mercúrio ao ser humano: a primeira, e a mais conhecida, está relacionada ao ambiente de trabalho, como a mineração e a indústria, geralmente associadas aos garimpos de ouro ou às fábricas de cloro-soda e de lâmpadas fluorescentes, nesses casos, tratando-se de uma contaminação por vias respiratórias. A segunda está relacionada à contaminação ambiental, por sua vez, provocada pela ingestão de peixes de água doce ou salgada (SOUZA et al., 2000).

No corpo, a meia vida do mercúrio é, em média, de 60 dias, enquanto no sistema nervoso central, ultrapassa um ano e é eliminado principalmente através da urina, das fezes, saliva, suor e pelo ar expirado (OIKAWA et al., 2007). Entretanto, não há evidências concretas de que seja totalmente eliminado do organismo. Os índices bioquímicos da toxicidade do mercúrio, bem como as medidas de mercúrio em líquido e tecidos corpóreos e a monitoração da sua relação com sinais clínicos são limitados.

No século XXI, foi ampliada a utilidade do mercúrio em diversas áreas, sobretudo em indústrias, na mineração, metalurgia, agricultura, medicina e odontologia. A mineração de ouro e prata, a extração de mercúrio, a queima de combustíveis fósseis e a fabricação de cimentos são exemplos de fontes antropogênicas de mercúrio (SOUZA et al., 2000). Logo, o grande problema está relacionado ao aumento dessas emissões de forma descontrolada, provocando um sério problema de contaminação. No Brasil, medidas vêm sendo tomadas para o controle, no intuito de se cumprir com os acordos assumidos pelo país na Convenção de Minamata, que debateu os riscos do uso do mercúrio para a saúde e para o meio ambiente. Assim, o Ministério da Saúde, após aprovação da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), publicou no Diário Oficial da União, em março de 2017, a proibição da fabricação de termômetros e de aferidores de pressão corporal que utilizam coluna de mercúrio para diagnóstico em saúde, tendo sido datado como marco, 1º de janeiro de 2019.

Por apresentar uma espécie química estável na atmosfera como sua forma volátil, o vapor de mercúrio ( $Hg^0$ ) pode ser transportado em escala global, afetando áreas remotas naturais, longe de fontes pontuais de contaminação (LACERDA; MALM, 2008), comprovando a importância de estudos relacionados.

Observa-se que os principais processos que contribuem à impulsão do ciclo global do mercúrio (Hg), em especial aqueles que afetam a troca em larga escala de Hg entre os principais compartimentos ambientais, sofreram um grande avanço nas últimas décadas, conforme mostram Obrist et al. (2018) na **Figura 02**.



**Figura 2** – Visão geral do ciclo global de Hg e impactos de políticas e mudanças globais. Fonte: OBRIST et al.(2018 - adaptada).

A partir dessa visão geral do ciclo global de Hg, pode-se observar que a deposição desse metal tóxico nos ecossistemas aquáticos e terrestres, por meio de emissões antropogênicas através da remobilização nesses ambientes e liberações de mercúrio na atmosfera, contribuiu para a deposição desse metal nos ecossistemas aquáticos e terrestres, favorecendo o acúmulo em reservatórios ambientais.

Outrossim, ressalta-se que mudanças globais, incluindo as climáticas, o uso da terra e as emissões de Hg, provavelmente alterarão, de forma significativa, a ciclagem de mercúrio e as concentrações de MeHg de maneira potencialmente não-lineares, incluindo mudanças na metilação e bioacumulação da cadeia alimentar (OBRIST et al., 2018), necessitando, sobretudo, de compreensão e do desenvolvimento de políticas de monitoramento em âmbito local, regional e mundial.

## 2.2. FONTES DE MERCÚRIO NA BACIA AMAZÔNICA

A contaminação ambiental por Hg está presente em todos os compartimentos ambientais, incluindo terra, ar, água e biota (OBRIST et al., 2018), passando por uma série de transportes e processos de transformação em seu ciclo biogeoquímico, associados às suas formas químicas em diferentes fases do ambiente (OLIVERO-VERBEL et al., 2016).

Há aproximadamente 30 anos, pesquisas ambientais relacionadas ao transporte de mercúrio para corpos d'água, o processo de metilação (MeHg) e a consequente contaminação nas cadeias alimentares da biota aquática e em seres humanos da região amazônica passaram a ser feitos por meio de experimentos com o solo, sedimentos, peixes, cabelo humano e outros (BASTOS et al., 2007; FAIAL et al., 2015; OLIVERO-VERBEL et al., 2016).

A princípio, as altas concentrações de mercúrio no ecossistema amazônico foram atribuídas principalmente às atividades antrópicas, tais como: a mineração de ouro (LACERDA, 1997a; VIEIRA et al., 2017), o transporte e a deposição na atmosfera, por meio da queima de combustíveis fósseis e outros (LACERDA, 1995; MICARONI; BUENO; JARDIM, 2000), ocupação do solo através do desmatamento para diferentes usos, como a conversão para pastos e/ou atividades agrícolas (LACERDA; MALM, 2008; OBRIST et al., 2018), a erosão e a lixiviação do mercúrio existente no solo e a sua reemissão para a atmosfera (LACERDA, 1995; BOISCHIO; HENSHEL, 1999), a mobilização de Hg, com possibilidade de produção deste em sua forma metilada, por

meio da formação de grandes lagos para geração de energia hidroelétrica, causando inundação de extensas áreas florestadas (LACERDA; MALM, 2008, CHEN et al., 2018). Entretanto, na década de 1990, estudos apontaram que os solos amazônicos são naturalmente ricos em mercúrio (ROULET et. al. 1998; FADINI e JARDIM, 2001; HACON et. al. 2008)

Além disso, o mercúrio é utilizado para separar partículas finas de ouro por meio da amalgamação após uma etapa de pré-concentração gravimétrica da fração pesada de sedimentos de rios, solos ou fragmentos de rochas (LACERDA; SALOMONS, 1992), aquecido a temperaturas elevadas (MICARONI; BUENO; JARDIM, 2000). Além da exposição humana ao Hg elementar e inorgânico em ambientes ocupacionais (BASU et al., 2018), estima-se que o mercúrio introduzido na Amazônia por meio das atividades garimpeiras chegue a 40% do total lançado aos rios e 60% liberado na atmosfera e transportado a longas distâncias, perfazendo o montante de 100 a 130 t/ano (JARDIM, 2001). Esse mercúrio liberado na biota aquática pode ser convertido por microorganismos em metilmercúrio, que se bioacumula e biomagnifica através da cadeia alimentar (OBRIST et al., 2018), se tornando uma importante fonte de exposição aos animais e à algumas comunidades humanas (BASU et al., 2018).

Estimativas apontam que tenham sido liberadas até o final do século XX o equivalente aproximado a 3000 toneladas de mercúrio no meio ambiente amazônico (BASTOS et al., 2004). Calcula-se uma perda de Hg metálico no processo de amalgamação em um garimpo no rio Madeira de 40 a 50% do total, totalizando 1,32 kg de mercúrio para a produção de 1 kg de ouro.

Apesar da perceptiva diminuição das atividades de extração de ouro usando Hg após a implantação de legislação mais restritiva (LACERDA, 1997b), ao longo do rio Madeira são observadas várias áreas com outorga para o garimpeiros de ouro utilizando dragas (**Figura 3**).



**Figura 3** – Draga localizada no leito do rio Madeira, em Rondônia, no mês de outubro de 2018.

Quanto ao desmatamento da Amazônia, seguido dos diferentes usos do solo que vem ocorrendo desde o início da década de 1970, agravado a partir do século XXI, é apontado como uma das causas da remobilização do mercúrio de origem antrópica (LACERDA; MALM, 2008). A erosão e a lixiviação do mercúrio presente nos solos, bem como a sua reemissão para a atmosfera mantêm elevadas as suas concentrações no ecossistema amazônico, mesmo após a diminuição da atividade de garimpo de ouro (LACERDA, 1995; MICARONI et al., 2000) que, por muito tempo, foi considerado o principal responsável pelos altos teores de Hg naquele ambiente.

Assim, a saúde humana na bacia Amazônica relacionada à contaminação por mercúrio (Hg) vem sendo objeto de estudo desde então, seja por consequência da exploração de garimpos, seja devido as características do solo que contém grandes concentrações de origem natural e em sua forma inorgânica (ROULET et al., 1998; 1999; FADINI et al., 2001; BASTOS et al., 2004).

Estudos datados das últimas décadas vêm mostrando a presença em altas concentrações de Hg em compartimentos bióticos e abióticos da região amazônica, não relacionados a ações antrópicas e em regiões de baixa atividade garimpeira



(FADINI; JARDIM, 2001), estabelecendo outros questionamentos sobre os mecanismos de toxicidade com vistas ao desenvolvimento socioambiental.

Porém, fatores antropogênicos, como o represamento de rios, podem apresentar grande potencial de facilitar o acúmulo de mercúrio. A metilação e a bioacumulação de Hg podem ser aumentadas pela submersão de áreas terrestres (ARRIFANO et al., 2018), devido à formação de microambientes críticos, que funcionam como reatores, a degradação do carbono orgânico pela microbiota e oscilações de temperatura, maximizando o processo de metilação do mercúrio ou solubilizando outras substâncias tóxicas (AMORIM, et al, 2000).

Historicamente, relata-se que a contaminação por mercúrio na região da bacia amazônica data de 1985, após pesquisas realizadas pelo francês Jacques Cousteau que identificaram a presença de Hg em peixes do rio Madeira (TORREZANI et al., 2016). O peixe consumido pela população da região do alto rio Madeira se configura como uma das principais fontes de proteína, além de ser o principal meio de exposição ao metilmercúrio que, a partir da bioacumulação, se torna nociva ao ser humano (MARINHO et al., 2014).

A bioacumulação do mercúrio ocorre preferencialmente em áreas de remanso, lagos marginais e reservatórios artificiais (ARRIFANO et al., 2018). O mercúrio, quando é absorvido no organismo, se deposita nos tecidos, podendo causar lesões graves, principalmente nos rins, fígado, aparelho digestório e sistema nervoso central. Os maiores riscos para a saúde humana surgem dos efeitos neurotóxicos do mercúrio em adultos e sua toxicidade para o feto, quando há exposição das mulheres ao metilmercúrio durante a gravidez (SOUZA et al., 2000). A Amazônia apresenta um agravante relacionado à identificação dos sintomas da contaminação por metilmercúrio, pois nessa localidade residem populações expostas a outras moléstias, como a malária ou o alcoolismo, que apresentam sintomas similares (WASSERMAN et al., 2001).

Observa-se que, a partir do conhecimento do quão tóxico é o metilmercúrio aos seres humanos e animais, faz-se necessária a compreensão sobre o ciclo hidrobiogeoquímico do mercúrio, seu acúmulo na biota e a sua biomagnificação na cadeia trófica, no intuito de se possibilitar um prognóstico do potencial impacto causado, além de se poder avaliar a qualidade de vida das populações envolvidas, favorecendo uma melhor gestão sobre o ecossistema, além do desenvolvimento de políticas e novos protocolos.

### 2.3. MERCÚRIO NA ICTIOFAUNA DA AMAZÔNIA

A bacia amazônica se caracteriza pela grande diversidade de corpos d'água, formada por grandes rios, lagos e igarapés, com uma grande dimensão de volume d'água e um vasto e heterogêneo ecossistema. A ictiofauna de água doce da Amazônia é considerada a mais rica do mundo, com mais de 1300 espécies já descritas. As populações ribeirinhas que lá vivem, herdaram práticas culturais de ameríndios, em relação à pesca e ao consumo de peixes, fazendo uso dessa disponibilidade abundante na região (SOUZA et al., 2000), se caracterizando como a principal fonte de alimento dessas comunidades (BOISCHIO; HENSHEL, 2000; FIGUEIREDO, 2015).

Estudos feitos nas últimas décadas, relacionando o mercúrio a peixes da região, indicam altas concentrações de Hg, em geral, sugerindo que isso se dá em razão da bioacumulação em toda a cadeia alimentar (BASTOS et al., 2008), necessitando o desenvolvimento de pesquisas aprofundadas no intuito de se conhecer sobre esse processo em função dos ciclos hidrológicos no ecossistema amazônico (DOREA; BARBOSA, 2007). Porém, ressalta-se que o Hg é um metal capaz de se associar a maior parte dos seres vivos que compõem os ecossistemas aquáticos, desde fitoplânctons a seres invertebrados e vertebrados (FIGUEIREDO, 2015).

Dentre os organismos que compõem a biota aquática, o peixe é considerado a principal rota de contaminação por Hg à população humana (BOISCHIO; HENSHEL, 2000) e se apresentam nesse ecossistema com diferentes hábitos alimentares, de vida e ocupam diferentes nichos (KASPER et al., 2007). Nesse sentido, populações que vivem ao longo do rio e que tem o peixe como a sua principal fonte de proteína (BASTOS et al., 2007) podem estar potencialmente expostas aos riscos decorrentes de uma contaminação por mercúrio. De acordo com a Organização Mundial da Saúde – OMS – o limite de tolerância recomendado para o consumo é de 0,50 mg kg<sup>-1</sup> para carnívoros e 0,30 mg kg<sup>-1</sup> para peixes não-carnívoros (FIGUEIREDO, 2015). No Brasil, os limites fixados estão em 0,50 mg kg<sup>-1</sup> para não carnívoros e 1,00 mg kg<sup>-1</sup> para peixes carnívoros (BASTOS et al., 2008).

Observa-se que os peixes carnívoros são as principais vias de exposição ao metilmercúrio à população, podendo ser qualificados como indicadores desse metal tóxico (QUEIROZ et al., 2019). O dado é explicado a partir da capacidade que o mercúrio tem de bioacumular, isto é, por tempo de exposição, e também de se



biomagnificar, que ocorre ao longo das cadeias alimentares. Estudos feitos por Svobodová et al. (1999) mostram que as diferenças na bioacumulação também podem estar relacionadas às diferentes necessidades nutricionais dos distintos estágios de vida dos organismos, ou seja, a idade, o peso e o comprimento dos peixes.

#### 2.4. TOXICIDADE DO MERCÚRIO

Os principais compartimentos ambientais: a atmosfera, os ecossistemas terrestres e os ecossistemas aquáticos, compreendidos como os principais reservatórios de mercúrio no mundo, vêm sofrendo influências significativas das alterações climáticas, das políticas de desenvolvimento, do uso e ocupação do solo e, sobretudo, das perturbações antropogênicas (OBRIST et al., 2018). E por ser o Hg reconhecidamente um contaminante global pelas características que o cercam: sofre transporte de longo alcance na atmosfera, persiste no meio ambiente, se acumula na cadeia alimentar e pode causar graves efeitos adversos à saúde humana e aos ecossistemas (OLIVERO-VERBEL et al., 2016), preocupações quanto a sua toxicidade se tornam cada vez mais importantes.

Na região amazônica, por exemplo, a exposição ao mercúrio se tornou um problema de saúde pública. Com foco nessa problemática, o Brasil, em 2013, passou a ser um signatário da Convenção de Minamata sobre Mercúrio ([www.mercuryconvention.org](http://www.mercuryconvention.org)), junto a 128 países, no intuito de envidarem esforços à redução e ao combate a exposição ambiental e humana a este metal (ARRIFANO et al., 2018), tendo sido endossado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 2014 (WHO, 2014).

O mercúrio, após entrar em contato com as diferentes formas de ambiente, passa por uma série de meios de transporte e processos de transformação durante o seu ciclo biogeoquímico (OLIVERO-VERBEL et al., 2016). A exemplo disso, nos ambientes aquáticos o mercúrio inorgânico passa por uma biotransformação em metilmercúrio, causando a contaminação da biota, propiciando a exposição e a intoxicação humana por meio do consumo desses (QUEIROZ et al., 2019; BASU et al., 2018) e sendo considerado um dos agentes mais citotóxicos e neurotóxicos para humanos que existe no meio ambiente (FAIAL et al.; 2015).

Okpala et al. (2017), a partir de análise de revisões feitas nas últimas três décadas sobre a relação entre as concentrações de Hg em peixes e humanos, destacam que os estudos têm focado em grande parte:

- Nas áreas que o mercúrio é apontado como contaminante e se tem como preocupação a exposição;
- Na necessidade de se conhecer sobre o acúmulo de Hg em peixes e os efeitos causados nas populações;
- Na biodisponibilidade do mercúrio;
- Na toxicidade do mercúrio em ecossistemas aquáticos;
- Nos processos de regulamentações preventivas;
- Na relação entre peixes contaminados por Hg exposição/implicação à saúde de públicos humanos distintos (crianças, adultos, mulheres grávidas);
- Outros.

Na Bacia Amazônica, a contaminação por Hg vem ocorrendo desde a década de 1970 (JARDIM; FADINI, 2001; LACERDA; MALM, 2008), impulsionadas pela utilização de técnicas de extração de ouro por meio de amalgamação de mercúrio (LACERDA, 1997b), sendo lançado no ambiente em sua forma inorgânica, podendo sofrer metilação por ação de bactérias e, conseqüentemente, assumindo a sua forma mais tóxica: o metilmercúrio (BASTOS et al., 2007). A partir da bioacumulação na cadeia alimentar, pessoas e biota são expostos ao MeHg, forma orgânica mais problemática em razão da sua potente neurotoxina (SELIN, 2009), podendo causar danos permanentes ao sistema nervoso, causando uma série de sintomas como parestesia, distúrbios sensoriais, tremores, comprometimento da audição, dificuldades em andar, visão embaçada, fala arrastada, dificuldade auditiva, cegueira, surdez e morte. Uma relação de outros efeitos adversos também pode ser apresentada: toxicidade renal, infarto, disfunção imunológica e pressão arterial irregular (OLIVERO-VERBEL et al., 2016; DE JESUS SILVA et al, 2017).

O mercúrio inorgânico também pode ser transportado pelo leite materno. Estes compostos de mercúrio, principalmente os orgânicos, causam sérios danos ao feto em desenvolvimento, principalmente a nível neurológico (CERBINO et al., 2017), podendo causar ao bebê déficit de QI, tônus muscular anormal e decréscimo nas habilidades motoras (OLIVERO-VERBEL et al., 2016).

Há também exposições inorgânicas de mercúrio (elementar ( $Hg^0$ ) e Hg iônico ( $Hg_2(II)$ )), associadas a processos industriais, como a mineração de ouro artesanal e

de pequena escala, além de usos médicos, que ocorrem principalmente por inalação, dermal e rotas orais (EAGLES-SMITH et al., 2018).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GERAL**

Analisar a exposição humana ao mercúrio associada aos hábitos alimentares das comunidades de Nova Mutum-Paraná e de Fortaleza do Abunã, localizadas no alto rio Madeira – Rondônia, Brasil.

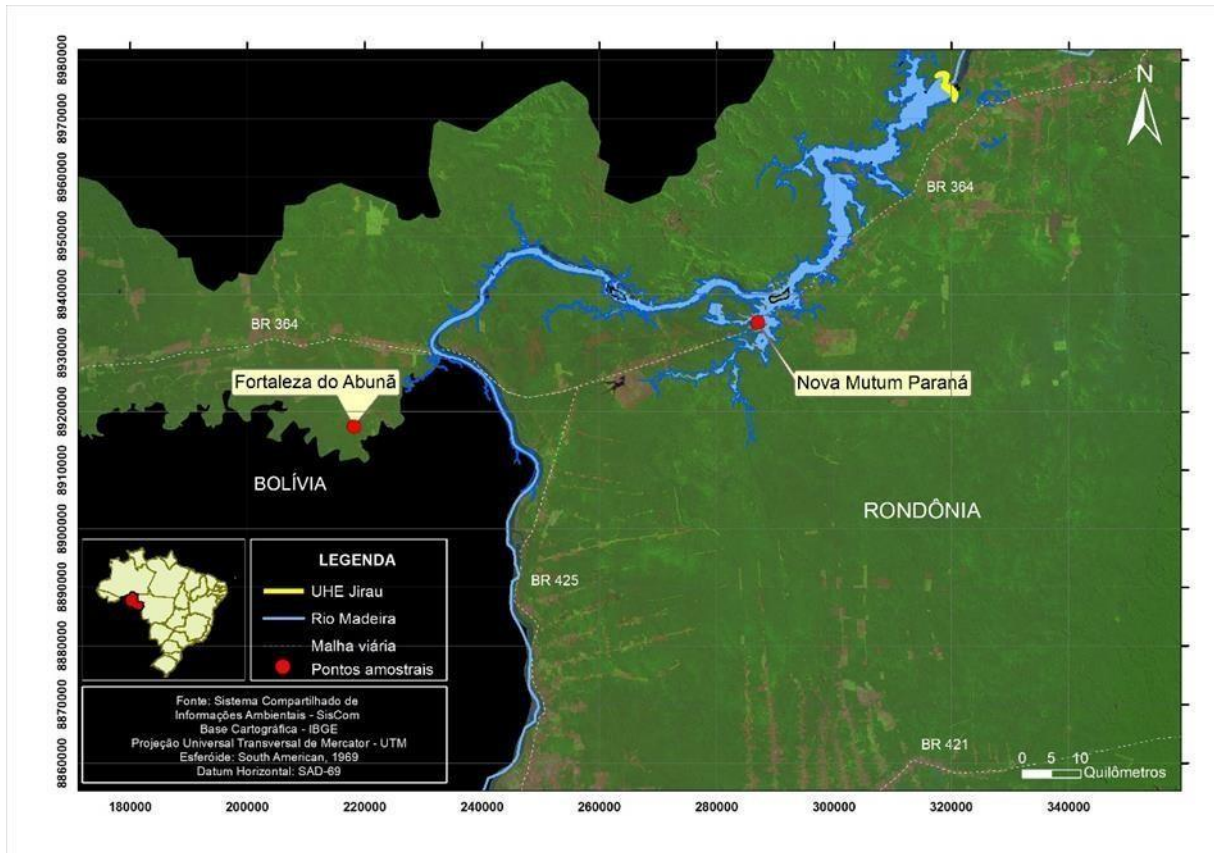
#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar os níveis de exposição ao mercúrio das comunidades de Nova Mutum-Paraná (RO) e de Fortaleza do Abunã (RO);
- Avaliar a relação entre os dados sociodemográficos e alimentar e as concentrações de mercúrio em amostras de cabelo de participantes dos distritos de Nova Mutum-Paraná (RO) e de Fortaleza do Abunã;
- Caracterizar a evolução temporal da exposição ao mercúrio nas comunidades, a partir de registros de pesquisas e coletas realizadas entre os anos de 2009 a 2018.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Este estudo se insere no âmbito do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico da Usina Hidrelétrica Jirau (UHE Jirau), tendo como alvo as comunidades de Nova Mutum-Paraná e Fortaleza do Abunã localizadas na área de influência direta e indireta da UHE Jirau, no estado de Rondônia (**Figura 04**).



**Figura 04** – Mapeamento com indicação das comunidades estudadas.

A UHE Jirau faz parte do Complexo Hidrelétrico do rio Madeira. O rio Madeira nasce na Cordilheira dos Andes e é afluente da margem direita do rio Amazonas, possui uma extensão total de aproximadamente 3.240 km, dos quais cerca de 1.425 km está em território brasileiro. A bacia hidrográfica do rio Madeira, ou vale do Madeira, tem uma área total de aproximadamente 1,47 milhões de km<sup>2</sup>, representando cerca de 21% da Bacia Amazônica, sendo aproximadamente o dobro do tamanho de qualquer outra bacia tributária, e abrange parcialmente os territórios da Bolívia (40%), Brasil (50%) e do Peru (10%). Em território brasileiro, estende-se pelos estados de Mato Grosso, Rondônia, Acre e Amazonas, sendo delimitado a leste pela bacia do rio Tapajós e a oeste pela bacia do rio Purus, ambos afluentes do rio Amazonas (CAMPOS, 2005).

Nessa região há um cenário de profundas mudanças ambientais em função do histórico de intensa atividade garimpeira, além da instalação de duas usinas hidrelétricas, a UHE Jirau e a UHE Santo Antônio, distantes apenas 110 quilômetros uma da outra. Conforme o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, elaborado considerando as duas usinas hidrelétricas, a implantação delas tem como principal objetivo gerar energia correspondente a 6.450 MW.

## **4.2. DESENHO AMOSTRAL**

O universo amostral dessa pesquisa compreende as pessoas recrutadas pelo Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico do Mercúrio da Usina Hidrelétrica de Jirau ao longo de dez anos (2009-2018), a partir de uma amostragem epidemiológica transversal realizada durante as diversas campanhas semestrais, contando com o apoio de lideranças locais. As amostras foram do tipo por conveniência, mediante verificação paralela de distribuição de parâmetros, tais como: gênero, faixa etária e local/tempo de residência, no intuito de se obter números representativos da população regional.

### **4.2.1. Critérios de elegibilidade**

Para o cumprimento de protocolos da pesquisa, foram estabelecidos os critérios de inclusão e de exclusão dos participantes da amostra, definidos a partir de identificação de características chaves da população alvo no intuito de atender ao objetivo do estudo. Nesse cenário, foram utilizadas características de ordem demográficas, clínicas e geográficas, eleitos da seguinte forma:

- i) ser voluntário;
- ii) residir na comunidade por pelo menos 12 meses;
- iii) ter idade a partir de 14 anos, mediante autorização do(a) responsável legal;
- iv) ter o peixe como importante fonte de proteína animal;
- v) ter cabelo suficiente para amostragem de uma mecha, visando a análise dos teores de Hg total.

Quanto aos critérios de exclusão, definidos como aspectos dos potenciais participantes que preenchem os critérios de inclusão, mas que apresentam características adicionais, gerando vieses aos resultados do estudo, foram definidos:

- i) não ser voluntário;
- ii) residir em comunidade distintas ao estabelecido no estudo;

- iii) ter idade inferior a 14 anos, mesmo que haja autorização do(a) responsável legal;
- iv) pertencer a grupos especiais, como ser deficiente intelectual;
- v) pertencer às comunidades indígenas ou quilombolas;
- vi) ter antecedentes de cirurgia ou tumor intracraniano;
- vii) ter antecedentes de acidentes vasculares cerebrais;
- viii) ter histórico de problemas de delírio e/ou demência;

Ressalta-se que os dados sociodemográficos e amostras de cabelo foram obtidos seguindo todos os critérios de biossegurança e de impactos negativos psicossociais, garantindo a integridade nas dimensões física, psíquica, moral, intelectual, social, cultural e espiritual dos participantes.

#### **4.2.2. Coleta de dados sociodemográficos e alimentares**

No intuito de se realizar um delineamento ecológico a partir de dados secundários, seguido de uma série de estudos com delineamento transversal, foi utilizado como instrumento de coleta de dados um questionário, dividido em módulos com itens específicos e que abrangeram: sociodemografia e hábitos alimentares, sociais e culturais (**ANEXO A**), a fim de se obter informações relativas à caracterização dos grupos potencialmente expostos ao mercúrio.

A amostra populacional foi composta por participantes de ambos os sexos, incluindo diversas faixas etárias, sendo todos os participantes recrutados voluntariamente às atividades.

A frequência do consumo de peixes foi determinada utilizando inquérito alimentar recordatório de 7 (sete) dias (**ANEXO B**). Para essa atividade, foi preparada uma lista com o nome das principais espécies de peixes da região, além de outros tipos de fonte de proteína, como carnes de gado, de frango, de porco e equilibrado. Os participantes indicaram o número de refeições que continham peixes, bem como as espécies consumidas, sendo que os espécimes de peixes não especificados na listagem também foram registrados (**Figuras 06 e 07**).



**Figura 06** – Aplicação de questionários sociodemográficos e de inquérito recordatório alimentar na comunidade de Fortaleza do Abunã, Rondônia, em outubro de 2018.



**Figura 07** – Aplicação de questionários sociodemográficos e de inquérito recordatório alimentar na comunidade de Nova Mutum-Paraná, Rondônia, em outubro de 2018.

#### **4.2.3. Coleta de amostras biológicas e preparo de material**

Foram feitas coletas de amostras de material biológico queratinizado (cabelo) dos participantes, destinados a determinar a concentração de mercúrio total (**Figura 08**). Para tanto, cerca de 5 g de cabelo da região da nuca foram coletados com tesouras de aço inoxidável, posteriormente, tais amostras foram acondicionadas em envelopes brancos novos, rotuladas e armazenadas à temperatura ambiente, em local limpo e seco.





**Figura 08** – Coleta de amostras de material biológico queratinizado (cabelo), realizada em outubro de 2018.

Insta ressaltar que a coleta das amostras de cabelo foi feita mediante prévia informação quanto aos objetivos da pesquisa, os procedimentos adotados para coleta e análise do material amostrado, bem como a assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido –TCLE (**ANEXO A**). A pesquisa foi avaliada e aprovada pelo Comitê de Ética da Faculdade de Medicina da Universidade de Brasília - UnB - (CEP-FM 038/2010), seguindo os protocolos estabelecidos internacionalmente (**Anexo C**).

#### **4.2.4. Determinação de mercúrio total**

As concentrações de mercúrio total (HgT) nas amostras de cabelo foram determinadas utilizando analisador automático de mercúrio em amostra sólida, o qual emprega decomposição térmica e amálgama de ouro (SMS 100 Mercury Analyzer, Perkin Elmer, Waltham, Massachusetts, EUA). A quantificação direta de HgT nas amostras de cabelo utilizou a técnica de espectrometria de absorção atômica dedicada a determinação de mercúrio. As amostras de cabelo preparadas (lavagem tríplice água/acetona) foram transferidas para barquinhas de níquel e alocadas no amostrador automático do equipamento de análise direta de mercúrio SMS 100 / Perking Elmer.



A massa de cabelo transferida para barquinhas de níquel depende da concentração de mercúrio na amostra de cabelo preparada, sendo ajustada a massa da amostra com o compromisso do intervalo da curva analítica de calibração do método analítico (MORAES et al., 2013). A dosimetria de mercúrio total nas amostras de cabelo foram executadas no laboratório da Venturo Análises Ambientais, Araraquara – SP, o qual possui acreditação junto ao Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO)

#### **4.3. ANÁLISE DOS DADOS**

Com vistas à caracterização sociodemográfica do universo amostral, bem como à compreensão das distribuições de frequências das variáveis de exposição ao mercúrio e seus fatores determinantes, foram feitas uma série de estatísticas descritivas.

O teste não-paramétrico Mann-Whitney U foi utilizado no intuito de verificar possíveis diferenças significativas em função do sexo dos participantes (feminino e masculino). No intuito de se testar a relação entre os teores de Hg e o consumo de proteína de peixes (inquérito alimentar recordatório de 7 dias), foram utilizadas análises não-paramétricas, tais como o coeficiente de correlação *Spearman*.

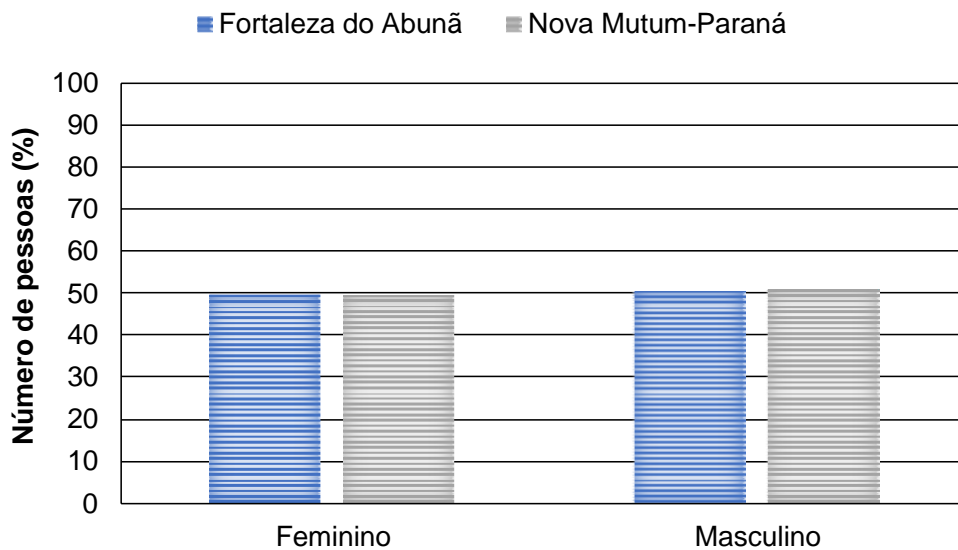
Variações inter-sazonais da exposição humana ao Hg foram comparadas por meio do teste de Kruskal-Wallis, além de análises comparativas entre as subáreas: distrito de Fortaleza do Abunã (caracterizada como Amazônia dos rios devido as suas características socioculturais e de relação com o rio Madeira) e do distrito de Nova Mutum-Paraná (caracterizada como Amazônia das estradas, levando-se em consideração também as características socioculturais e a relação com os hábitos mais urbanos, face às mudanças ocorridas naquela população).

As análises foram feitas utilizando o programa StatView 5.0 para Windows, sendo o nível de significância  $p=0,05$ .

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do anteposto, o universo amostral humano foi composto por 192 (cento e noventa e dois) voluntários de Fortaleza do Abunã e 935 (novecentos e trinta e cinco) de Nova Mutum-Paraná, perfazendo o total de 1.022 (um mil e vinte e dois) participantes, estratificado por 49,26% do sexo feminino e 50,74% do masculino.

Uma análise distinta dos dois grupos mostra que o percentual de participantes foi equilibrado (**Figura 10**), distribuídos da seguinte forma o quantitativo: em Fortaleza do Abunã com 49,48% e 50,52% do sexo feminino e masculino, respectivamente, e em Nova Mutum-Paraná, 49,22% do sexo feminino e 50,78% do sexo masculino.



**Figura 10** – Distribuição de participantes por sexo (feminino e masculino), por localidade.

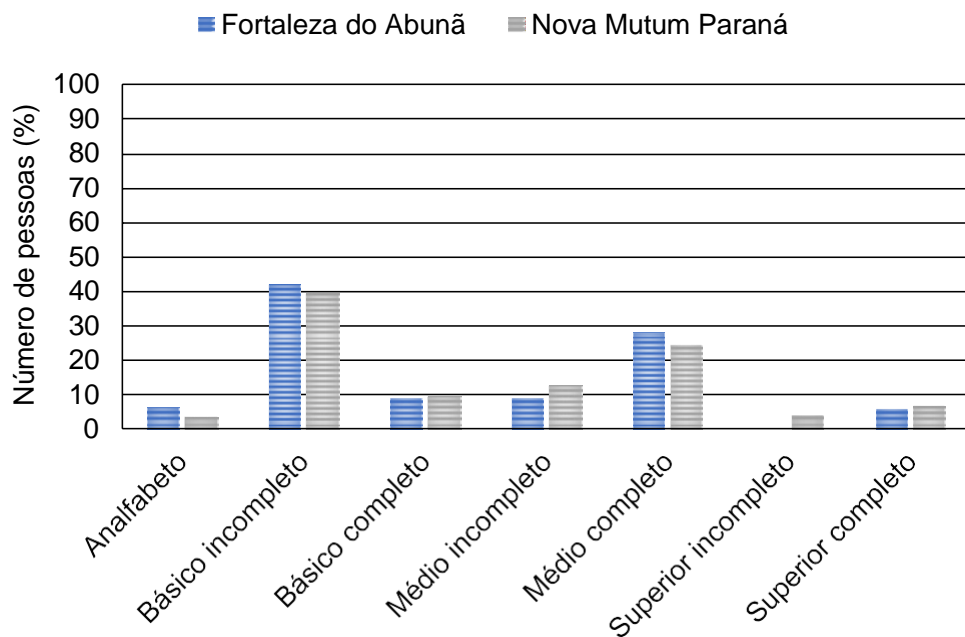
A faixa etária da população teve uma variação entre 16 e 60 anos, sendo a mediana da idade dos participantes corresponde a 36 anos, com média de  $36,90 \pm 12,24$  anos.

Ao considerar a idade dos participantes por distrito, em Fortaleza do Abunã observa-se uma variação entre 16 e 60 anos (média =  $39,18 \pm 12,51$ ), sendo os participantes do sexo masculino com média de  $40,76 \pm 12,36$  e do sexo feminino de  $37,57 \pm 12,536$  anos. Já Nova Mutum-Paraná, verifica-se uma variação entre 16 e 60 anos (média =  $36,47 \pm 12,15$ ), sendo os participantes do sexo masculino com média de  $37,26 \pm 12,60$  e do sexo feminino de  $35,66 \pm 11,62$  anos.

No que se refere ao grau de escolaridade, é possível observar que a população em estudo apresenta, no geral, baixo grau de escolaridade. A soma dos participantes dos dois distritos que se autodeclararam ter estudado até o ensino básico completo somou 53,25%. Considerando aqueles que responderam que não finalizaram o

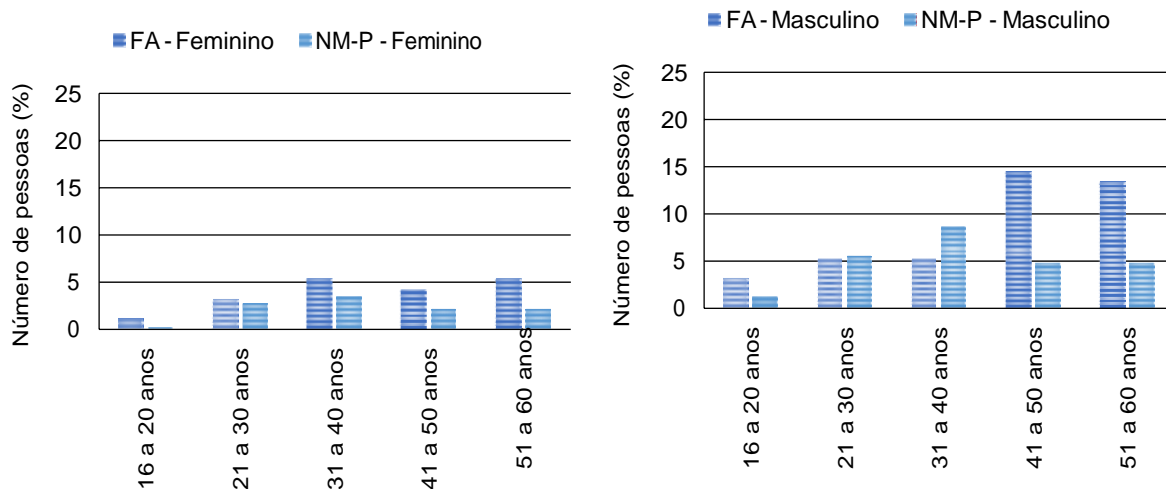
Ensino Médio, pode-se inferir que 65,34% dos participantes possuem até o Ensino Fundamental completo, seguido de Médio completo com 24,77% e de Ensino Superior, 6,51%.

Os dados apontam ainda que, comparativamente, o universo amostral que se autodeclarou possuir, no mínimo, ensino básico completo é um pouco menor em Nova Mutum-Paraná quando comparado a em Fortaleza do Abunã, 52,47% e 57,29%, respectivamente, mas pode-se observar que o nível de escolaridade que se destacou em ambos (básico incompleto) é bem próximo nas duas regiões, conforme se observa na **Figura 11**.



**Figura 11** – Distribuição da escolaridade da os voluntários de Fortaleza do Abunã e de Nova Mutum-Paraná, em porcentagem.

No que tange ao número de participantes que afirmaram fazer uso de cigarro ou cachimbo (**Figura 12**), pode-se observar que há prevalência do sexo masculino em ambos locais, com maiores índices entre 41 e 50 anos (14,43%) e 51 e 60 anos (13,40%) em Fortaleza do Abunã e entre 31 e 40 anos (8,51%) e 21 e 30 anos (5,54%) em Nova Mutum-Paraná. Todavia, destaca-se o elevado número de declarantes não fumantes tanto na primeira, 69,79%, quanto na segunda, 82,22%, sendo que o total do universo amostral, 80,19%, afirmou não terem o hábito do tabagismo.

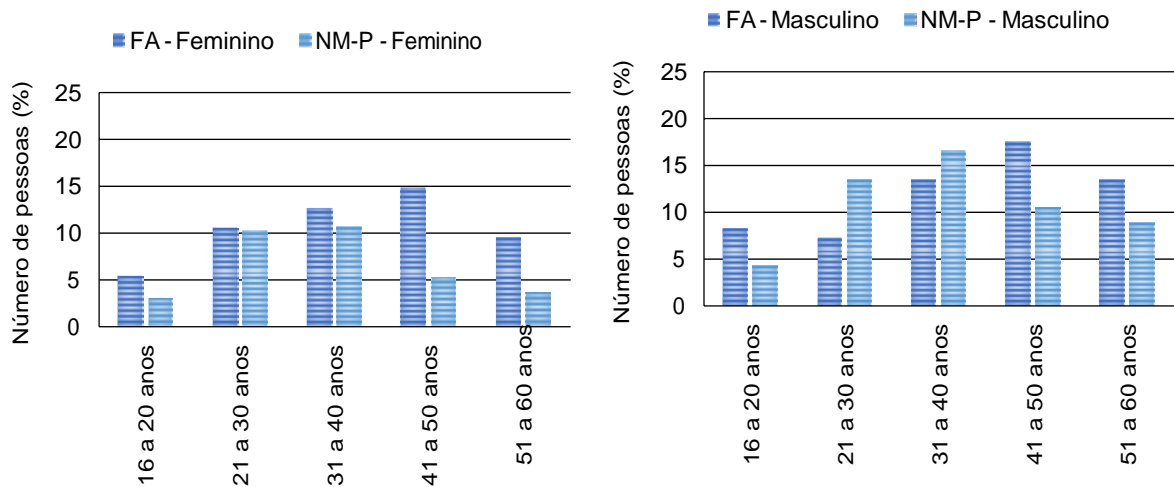


**Figura 12** – Porcentagem dos voluntário de Fortaleza do Abunã (FA) e de Nova Mutum-Paraná (NM-P) que declararam fazer uso de cigarro ou cachimbo, por faixa etária e gênero.

Ao se analisar os dados referentes ao consumo de bebida alcoólica (**Figura 13**), levando-se em consideração o total do universo amostral, 45,50% declarou consumir bebida alcoólica, desses, 61,57% são do sexo masculino e 38,43% do sexo feminino.

Em Fortaleza do Abunã (**Figura 13**), pode-se observar que um número significativo de participantes afirmou positivamente sobre o consumo de bebida alcoólica, 56,25% do total. Quando analisados os dados por gênero, observa-se que 59,79% dos homens e 52,63% das mulheres informaram que consomem algum tipo de bebida alcóolica.

Em Nova Mutum-Paraná, observa-se que existe uma tendência inversa quanto ao consumo de bebida alcoólica (**Figura 13**). Dos participantes, 56,59% afirmaram não consumir bebida alcóolica. Quando analisados os dados por gênero, observa-se que 53,86% dos homens e 32,43% das mulheres afirmaram que consomem algum tipo de bebida alcóolica, destacando-se a faixa etária de 41 a 50 anos em Fortaleza do Abunã com 17,53% composto por homens e 14,74% por mulheres e de 31 a 40 anos em Nova Mutum-Paraná com 16,63% dos homens e 10,60% das mulheres.



**Figura 13** – Porcentagem dos voluntários de Fortaleza do Abunã (FA) e de Nova Mutum-Paraná (NM-P) que declararam consumir bebida alcoólica, por faixa etária e gênero.

A comunidade de Fortaleza do Abunã está localizada em uma região de difícil acesso e as margens do rio Abunã, enquanto a comunidade de Nova Mutum-Paraná foi estruturada as margens da rodovia BR 364 (**Figura 4 – Mapeamento com indicação das comunidades estudadas**). A partir de análises comparativas entre esses dois distritos, pode-se observar que a comunidade com maior isolamento apresentou um número significativo de pessoas que consomem bebida alcóolica. Essa comunidade, caracterizada como Amazônia dos rios, tendo a sua construção sociocultural ligada a elementos marcados pela relação subjetiva de valor para com o lugar, influenciando, direta e indiretamente, à dinâmica da vida naquela localidade, apresenta alguns comportamentos que podem ser compreendidos a partir dessa relação entre o humano e o espaço (RIBEIRO, 2012). Assim, em espaços de convivência como esse, se faz comum práticas em que representações sociais fundamentadas no senso comum ou de universo consensual, em que o conhecimento é produzido a partir do cotidiano, geram comportamentos por vezes contrários àquilo apontado pelo conhecimento científico como maléfico ao indivíduo e/ou à comunidade, necessitando de outros estudos congêneres para aprofundamento sobre a temática ora posta.

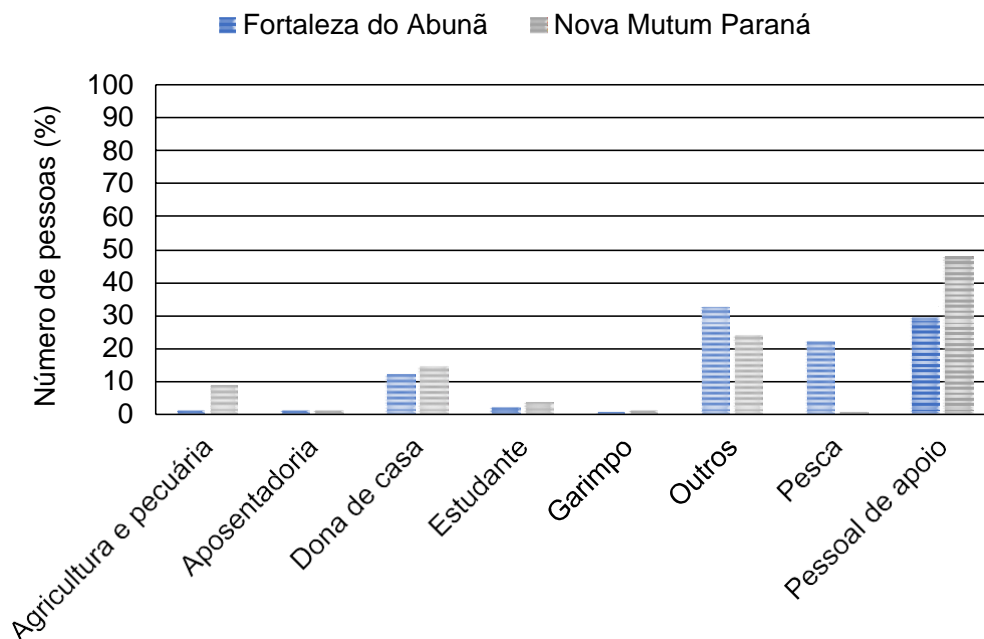
Não obstante, apesar do número do consumo de álcool e de tabaco ter se apresentado em menor porcentagem em Nova Mutum-Paraná, aqui caracterizado como Amazônia das estradas pela proximidade da BR 364 e maior distanciamento na relação direta dessa comunidade com o rio, como modo de vida e de sobrevivência, levando-se em consideração, mais uma vez, a influência da organização sócio-espacial de um determinado grupo, pode-se observar que, ainda assim, se apresentou

com valores significativos. Nesse quesito, há de se considerar a proximidade de centros urbanos, como Porto Velho, que está há uma distância aproximada de 106 km, absorvendo a cultura e hábitos das sociedades urbanizadas. Ela também se destaca por possuir um percentual maior de pessoas que possuem o ensino superior incompleto e superior completo, evidenciando, a interferência da formação acadêmica nas decisões aos hábitos sociais e pessoais.

Ressalta-se que, tanto o tabagismo quanto o alcoolismo, são tratados como questões de saúde pública e culminam em problemas de ordem social e de saúde. Assim, estudos dessa natureza podem ser relevantes, relacionando o consumo de bebida alcoólica e tabaco a fatores sociodemográficos, como também as representações sociais presentes para que se possam obter outros dados mais específicos quanto aos motivos que levam o uso dessas substâncias por comunidades ribeirinhas e, futuramente, gerar informações aos órgãos governamentais no intuito de se produzir materiais de alerta sobre as causas e consequências, preservando a identidade cultural e saúde dessas comunidades.

Quanto ao tipo de ocupação profissional, observa-se, a partir da **Figura 14**, que a categoria com maior destaque, tanto em Fortaleza do Abunã, quanto em Nova Mutum-Paraná, foi a de 'Pessoal de apoio', com 29,17% e 47,46%, respectivamente. Entende-se como 'Pessoal de apoio' aqueles profissionais que desempenham serviços generalizados, tais como limpeza, segurança, manutenções diversas, dentre outros.

Em Fortaleza do Abunã (**Figura 14**), a atividade pesqueira se destacou quando comparada a Nova Mutum-Paraná, sendo as percentagens de 21,88% e 3,87% dos respondentes, respectivamente. Esse é um dado interessante, tendo em vista que uma das principais fontes de exposição ao mercúrio para o humano se dá por via alimentar, através do consumo de peixe. Ressalta-se que, um dos fatores que distingue as comunidades amazônicas de muitas outras ao redor do mundo é o fato de que, para uma grande parcela dessa população, o peixe é à base da dieta e, para muitos, a principal proteína diária (PASSOS; MERGLER, 2008). Dependendo do nível trófico, pode constituir uma importante fonte de metil-mercúrio para essas populações (RUIZ, 2014).

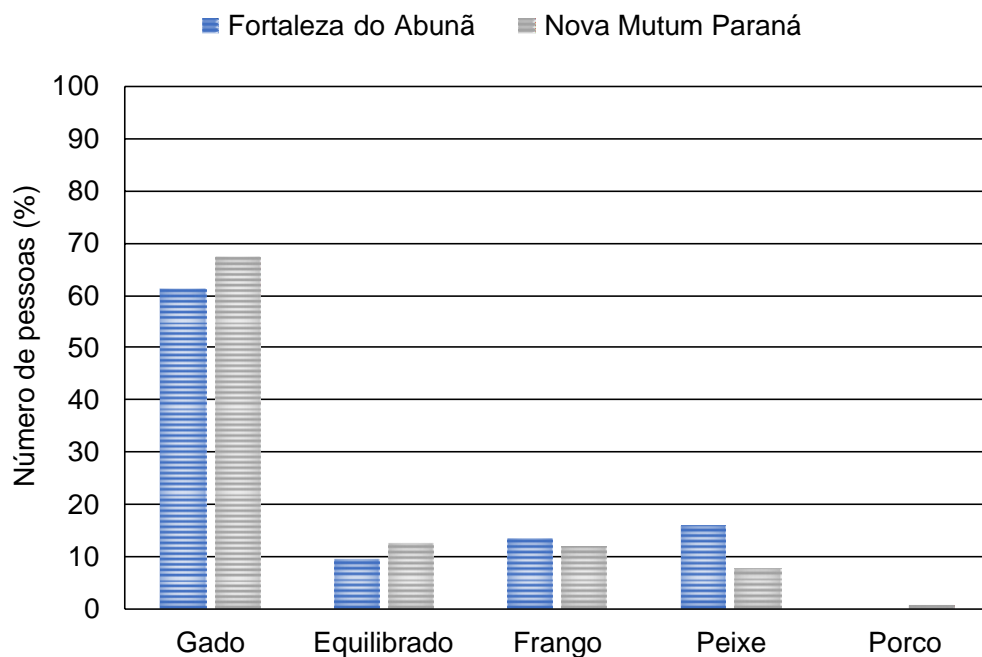


**Figura 14** – Ocupação por grupos dos voluntários residentes em Fortaleza do Abunã e Nova Mutum-Paraná, em porcentagem.

#### 4.3.1. Hábito alimentar

Em relação aos padrões gerais de consumo alimentar, os resultados do Inquérito Recordatório Alimentar de 7 dias apontaram que, de todo o universo amostral (1.022 participantes), a principal fonte de proteína animal consumida foi a bovina (66,41%), seguida de frango (12,24%) e peixe (8,81%).

A partir da análise feita separadamente dos dados obtidos dos residentes de Fortaleza do Abunã e de Nova Mutum-Paraná (**Figura 15**), observa-se que a porcentagem de consumo da proteína de gado é similar (61,15% e 67,36%). Entretanto, há grande disparidade quanto ao consumo de peixe, sendo aproximadamente o dobro em Fortaleza do Abunã (15,92%) quando comparado à Nova Mutum-Paraná (7,52%).



**Figura 15** – Padrões gerais de consumo alimentar dos voluntários residentes em Fortaleza do Abunã e Nova Mutum Paraná, em porcentagem.

É consenso de que os padrões alimentares, em especial de sociedades tradicionais, vêm sendo alterado, substituindo gradualmente produtos locais e naturais por industrializados e processados. Estudos de Nardoto et al. (2011); Piperata (2007) e De Jesus Silva et al. (2017) descrevem a mudança dos hábitos alimentares, identificando a transação nutricional na região, atribuindo tal alteração ao processo de urbanização, ao aumento da renda familiar provenientes dos programas governamentais e ao aumento do consumo de alimentos industrializados.

Quando se trata de comunidades que têm maior proximidade com o rio, como no caso de Fortaleza do Abunã, o peixe se torna uma importante fonte de energia na dieta das unidades domésticas por ser um recurso de grande disponibilidade. Além disso, há outros fatores associados, tais como a dependência em relação ao pescado, devido a sua importância econômica regional (RODRIGUES et al., 2016). Há de se considerar também a importância do peixe para essas comunidades da Amazônia dos rios devido a grande acessibilidade para as classes sociais de menor poder aquisitivo, onde, praticamente, inexistente uma pecuária efetiva e é deficiente o sistema de abastecimento através dos grandes centros comerciais (SILVA et al., 2016).

Nessa mesma direção, ao se analisar o comportamento de comunidades em que há maior proximidade da urbanização, como Nova Mutum-Paraná, alimentos tradicionais, com baixo teor de gordura, por exemplo, são substituídos por itens com

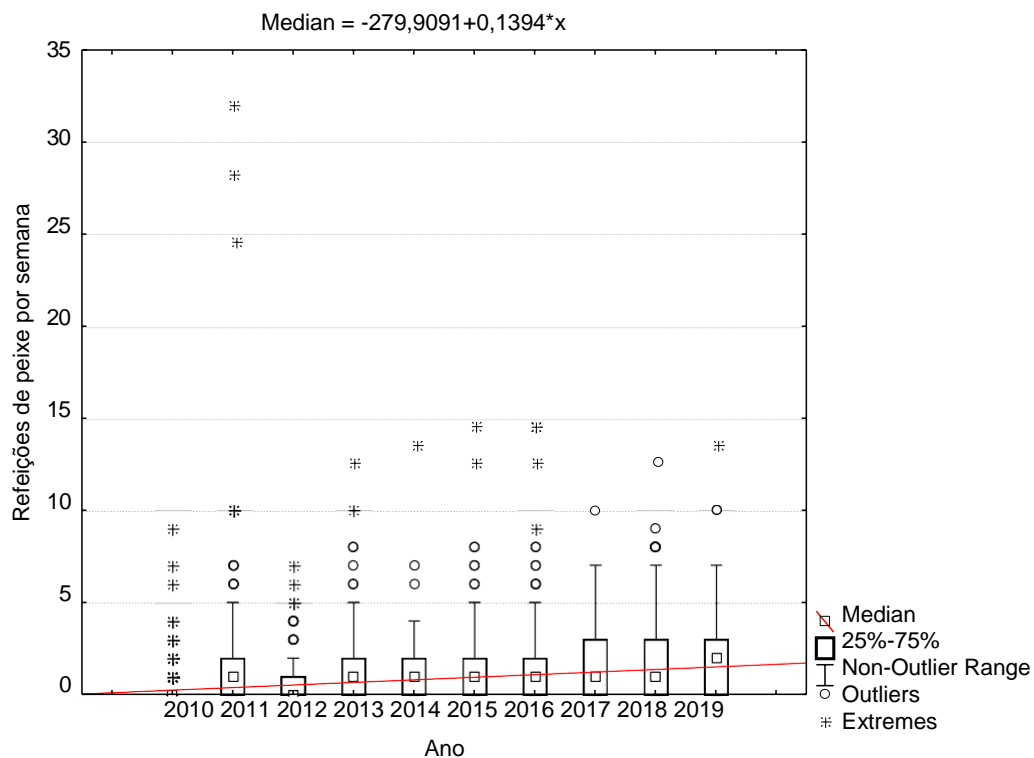


características contrárias, podendo impactar na saúde dessa população (NARDOTO et al., 2011). A dieta e os hábitos alimentares têm mudado nessas populações ao longo do tempo à medida que produtos industrializados de fácil acesso substituem a produção e os produtos locais, resultado da economia de mercado e da globalização (SILVA et al., 2016). Esse processo, conhecido como transição nutricional, tem sido associado ao aumento das doenças crônicas ligadas à dieta, incluindo doenças coronarianas, diabetes, acidente vascular cerebral e câncer (DREWNOWSKI e POPKIN, 1997; POLLAN, 2008 – VER SILVA et al., 2016). O aumento da mão-de-obra assalariada, da assistência governamental e de maior participação no mercado tem sido associado à mudança do consumo de alimentos processados localmente e para um aumento da ingestão de carboidratos refinados e carnes gordas por essas comunidades (PIPERATA et al., 2011b). Assim, a mudança na percepção sobre os custos e benefícios do trabalho de subsistência, a instabilidade da agricultura de subsistência e o aumento da assistência do governo podem estar desempenhando um papel significativo na transição nutricional que ocorre nessa região (MURRIETA et al., 1999; PIPERATA, 2007; NARDOTO et al., 2011; PIPERATA et al., 2011b).

Analisando comparativamente as características gerais das duas populações pesquisadas, Fortaleza do Abunã é uma comunidade mista (vivendo nem só de rio, nem só de estrada), diferentemente de Nova Mutum-Paraná, que se configura fortemente como Amazônia de estrada. Assim, Fortaleza do Abunã tem uma relação mais orgânica com o rio, confirmando a importância do pescado para essas populações ao situarem-se ao longo dos rios e lagos, com acesso direto ao peixe (SILVA et al., 2006). Assim, ratifica-se a distinção deste com Nova Mutum-Paraná, que tem seus hábitos alimentares configurados em uma multiplicidade de itens secundários, altamente sazonais e uma crescente dependência de produtos de mercado, principalmente os industrializados provenientes de outras regiões do país. Esta tendência parece vir acompanhada, na maioria dos casos, pelo abandono de práticas de subsistência tradicionais e perda total ou parcial da auto-suficiência na produção de alimentos (NARDOTO et al., 2011).

Levando-se em consideração a percentagem de consumo de peixe pelos participantes residentes em Fortaleza do Abunã e Nova Mutum-Paraná (**Figura 16**), pode-se inferir que, para o padrão que se observa em comunidades amazonenses com características similares (BASTOS et al., 2008; MARQUES et al., 2013), apesar da mediana do consumo de refeições à base de peixe por semana nas comunidades

estudadas ter aumentado no decorrer da década, o índice apresentado foi baixo. Todavia, sabendo-se que o mercúrio ocorre naturalmente no ecossistema amazônico, tendo como principal fonte de exposição humana o consumo de peixes (CASTRO et al., 2016; MARQUES et al., 2013), é de suma importância analisar os mecanismos de exposição por via alimentar de populações suscetíveis, bem como as tendências temporais na concentração de mercúrio, tanto na população quanto nos compartimentos bióticos e abióticos, e assim contribuir à compreensão no que se refere ao ciclo do Hg no rio Madeira e na Bacia Amazônica.



**Figura 16** – Distribuição por ano do número de refeições a base de peixes por semana das comunidades de Fortaleza do Abunã e Nova Mutum-Paraná.

Diversos estudos sobre a distribuição do Hg na região da bacia do Rio Madeira mostram processos de bioacumulação e biomagnificação na biota aquática, embora os teores atuais, medidos em sedimentos e águas, estejam dentro dos níveis considerados normais para a região, podendo sofrer processos de remobilização e de incorporação biológica, como em peixes e na população humana, em especial a ribeirinha (BASTOS et al., 2004; SILVA, 2012; SANTOS, 2013; QUEIROZ et al., 2019).

A partir de dados do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico da UHE Jirau, pode-se verificar que os principais peixes consumidos em Fortaleza do Abunã e Nova Mutum-Paraná são Jatuarana (*Brycon* sp.), Pacu (*Piaractus mesopotamicus*), Tucunaré (*Cichla* spp.), Piau (*Leporinus obtusidens*) e Surubim

(*Pseudoplatystoma fasciatum*). Nota-se relevante consumo de peixes com hábito alimentar não carnívoros, os quais geralmente apresentam menores concentrações de mercúrio total quando comparado aos peixes carnívoros (**Tabela 01**).

**Tabela 01** – Médias e desvios padrões das concentrações de Hg total e MetilHg em amostras de peixes do rio Madeira.

	<b>Espécie</b>	<b>N</b>	<b>Hg Total</b>	<b>MetilHg</b>
Reservatório	Jatuarana	204	0,27 ± 0,14	0,17 ± 0,09
	Pacu	92	0,17 ± 0,08	0,10 ± 0,05
	Piau	185	0,24 ± 0,09	0,15 ± 0,06
	Surubim	61	0,75 ± 0,46	0,58 ± 0,35
	Tucunaré	152	0,56 ± 0,21	0,46 ± 0,17

Fonte: Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico da UHE Jirau.

Assumindo-se que 60% a 95% do mercúrio encontrado nos tecidos de peixes estão na forma metilada (BRABO et al., 1999) devido ser lipossolúvel e ser bem absorvido pelas membranas biológicas em geral, assim como pelos tratos digestivos de praticamente todas as cadeias alimentares (LACERDA; MALM, 2008), esses processos facilitam a permanência e o transporte de mercúrio no meio aquático, assim como transferem a contaminação para ecossistemas bastante afastados da fonte de contaminação (FIGUEIREDO, 2015).

Dessa forma, observa-se que há uma tendência de que haja aumento dos níveis de Hg nas espécies devido esses processos de organificação em ambientes aquáticos no transporte do metal para as redes tróficas, a facilidade de absorção das espécies organomercuriais e a baixa taxa de excreção (LEBEL et al., 1997), associados aos processos de bioacumulação e disponibilidade do metal no meio aquático, importando, assim, conhecer os tipos de peixes e suas frequências de consumo pela população estudada (**Figura 17**).

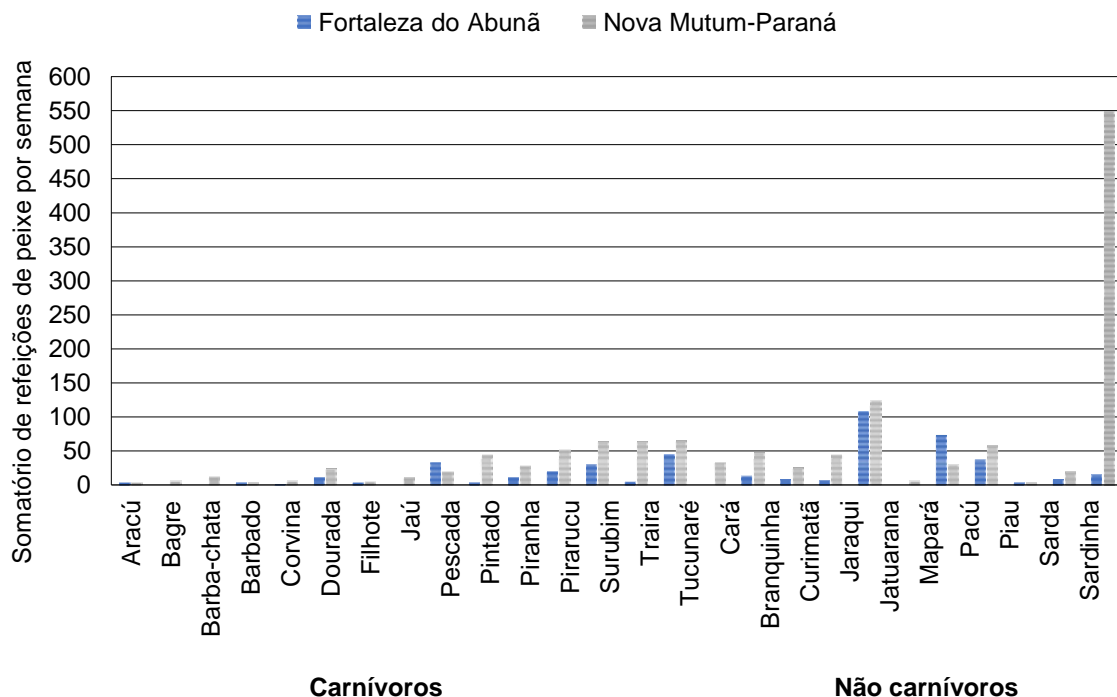
Foram identificadas 26 espécies no período, a partir das respostas obtidas no Inquérito Recordatório Alimentar de 7 dias, sendo 15 carnívoras e 11 não carnívoras entre as mais consumidas pelas comunidades de Fortaleza do Abunã e de Nova Mutum-Paraná.

As espécies de peixes carnívoros avaliadas na bacia do Rio Madeira vêm apresentando elevadas concentrações de Hg em seus tecidos (BASTOS et al., 2004), atingindo valores, para algumas espécies, superiores ao sugerido para a ingestão, fornecido pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (ANVISA) de 500 ng.g<sup>-1</sup> para espécies

não-carnívoras e de  $1.000 \text{ ng.g}^{-1}$  para espécies carnívoras.

Por suas propriedades toxicológicas, o metilmercúrio (MeHg) é a forma mais comprometedora do metal para humanos. Assim, os peixes e a biota aquática são os alimentos predominantemente envolvidos na exposição humana. Os efeitos adversos bem conhecidos do MeHg à saúde humana vão desde síndromes neurológicas sutis (déficits de quociente de inteligência, decréscimo no desempenho motor e de atenção e outros.) observados em crianças expostas a baixos níveis crônicos no útero a fatalidades e devastadores danos neurológicos nas mais altas exposições experimentadas nos episódios de Minamata e iraquianos (FAIAL, 2015).

Observa-se, a partir da **Figura 17**, que a espécie de peixe mais consumida do somatório de refeições de peixe por semana pela população de Nova Mutum-Paraná e de Fortaleza do Abunã foi o Tambaqui (*Colossoma macropomum*), 31,54%. Desse, 30,70% correspondiam ao primeiro distrito, podendo ser explicado, principalmente, pelo desenvolvimento do projeto de piscicultura na região. A Jatuarana (*Brycon* sp.) também apresentou número significativo dos tipos de peixes mais consumidos pela amostra populacional estudada, 12,94%. Nota-se que são espécies de hábito alimentar herbívoro, diminuindo-se a capacidade de bioacumulação e biomagnificação, quando comparado aos de hábito alimentar carnívoro, minimizando-se a rota de exposição humana via pescado. Considerando-se o total de refeições de peixe no recordatório de sete dias (1785 refeições), estima-se um consumo per capita de menos de duas refeições (1,74%) de peixe por semana, podendo ser considerado relativamente baixo quando comparado aos padrões observados em comunidades tradicionais do interior da Amazônia (PASSOS; MERGLER, 2008).



**Figura 17**– Frequências de consumo de peixe dos voluntários residentes em Fortaleza do Abunã e de Nova Mutum-Paraná.

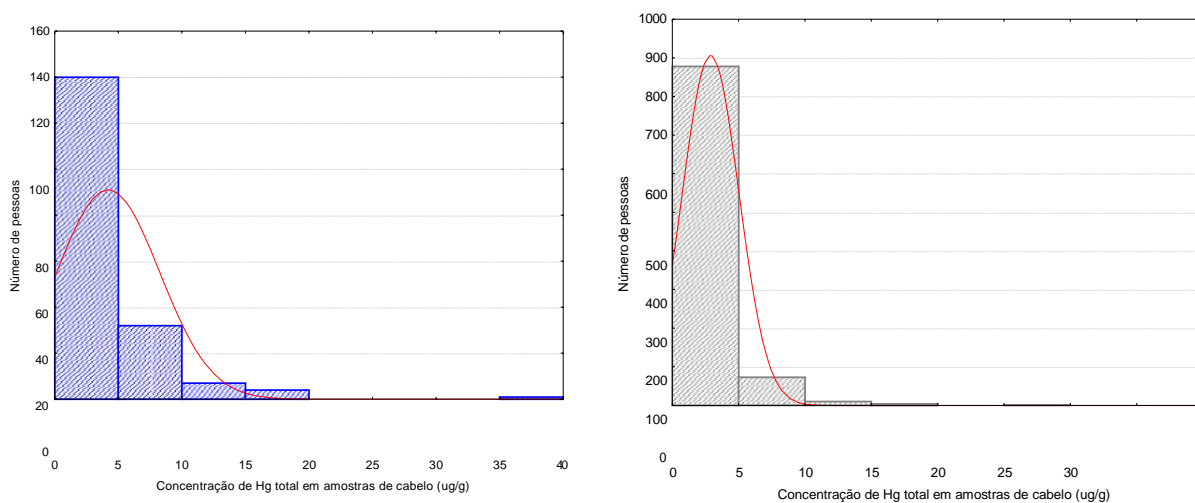
Insta ressaltar que o peixe é um dos recursos naturais mais abundantes e mais intensamente explorados na região amazônica, contabilizando uma variedade de espécies biológicas em torno de 2.500 e, assim, se tornando, tradicionalmente, uma importante proteína que consta da alimentação das famílias ribeirinhas e urbanas da região. Percentualmente, isso representa 8% do total existente no mundo, alcançando 30% dos peixes de água doce do mundo e 75% de água doce do Brasil (CERDEIRA; RUFFINO; ISAAC, 1997). Quando se trata do rio Madeira, observa-se que há a necessidade de se realizar amostragens de forma mais sistemáticas, visto as características específicas desse. De acordo com pesquisas realizadas por Santos (1991 apud OLIVEIRA, 2006), A maioria das espécies que ocorre em seus afluentes, como o rio Jamari (256 espécies listadas), o rio Mamoré (305 espécies) rio Machado (111 espécies) e, o rio Guaporé, com 174 espécies.

O estoque pesqueiro comercializado mais importante inclui as espécies reofílicas ou migratórias, que perfazem 60% das capturas da bacia Amazônica, como Piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*), Tambaqui (*Colossoma macropomum*), Jaraqui (*Emaprochylodus* sp.), Pacu (*Mylossoma* sp.) e Jatuarana (*Bricon* sp.) (BASTOS et al., 2004).

Outrossim, apesar dos hábitos alimentares regionais estarem associados à abundância de peixes no ecossistema amazônico (BOISHIO et al., 2000), a rápida taxa de ocupação da região trouxe um aumento na imigração e criou oportunidades de trabalho em centros urbanos e assentamentos recém-formados e, assim, lentamente, novos dados demográficos e hábitos alimentares têm surgido na região (MARQUES et al., 2013), podendo alterar a dieta de populações características deste estudo. Todavia, devido o consumo de peixe fazer parte da cultura local, além da biodisponibilidade presente.

### 4.3.2. Exposição ao Mercúrio

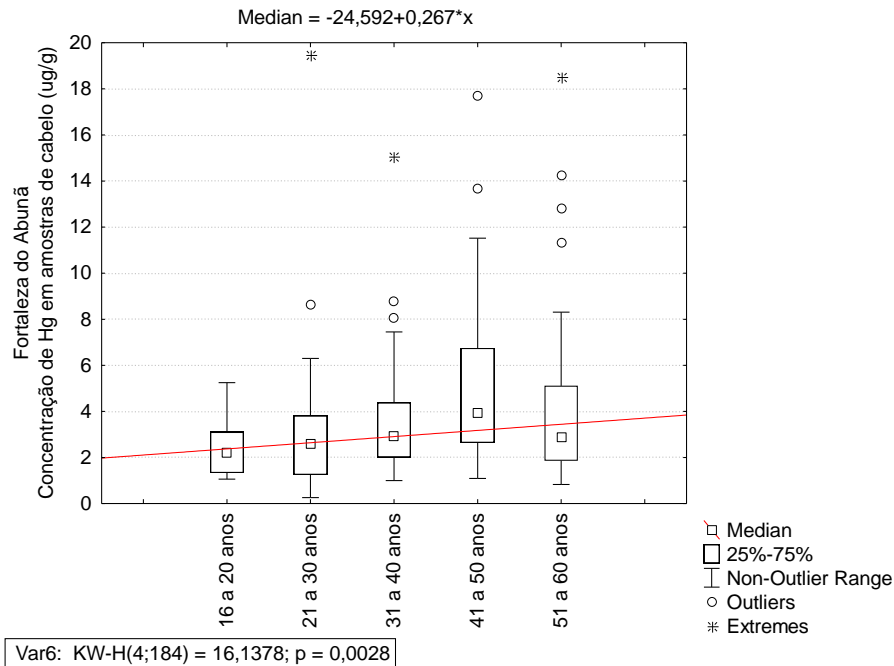
A distribuição das concentrações de mercúrio total determinado nas amostras de cabelo dos participantes residentes em Fortaleza do Abunã e Nova Mutum-Paraná estão apresentadas nas **Figuras 18 e 19**. As concentrações de mercúrio variaram entre 0,26 e 35,05  $\mu\text{g g}^{-1}$  ( $4,18 \pm 4,03 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e a mediana de 2,94  $\mu\text{g g}^{-1}$  em Fortaleza do Abunã e entre 0,21 e 25,28  $\mu\text{g g}^{-1}$  ( $2,88 \pm 2,13 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e a mediana de 2,41  $\mu\text{g g}^{-1}$ , inferindo maior exposição ambiental ao mercúrio em Fortaleza do Abunã quando comparado a Nova Mutum-Paraná.



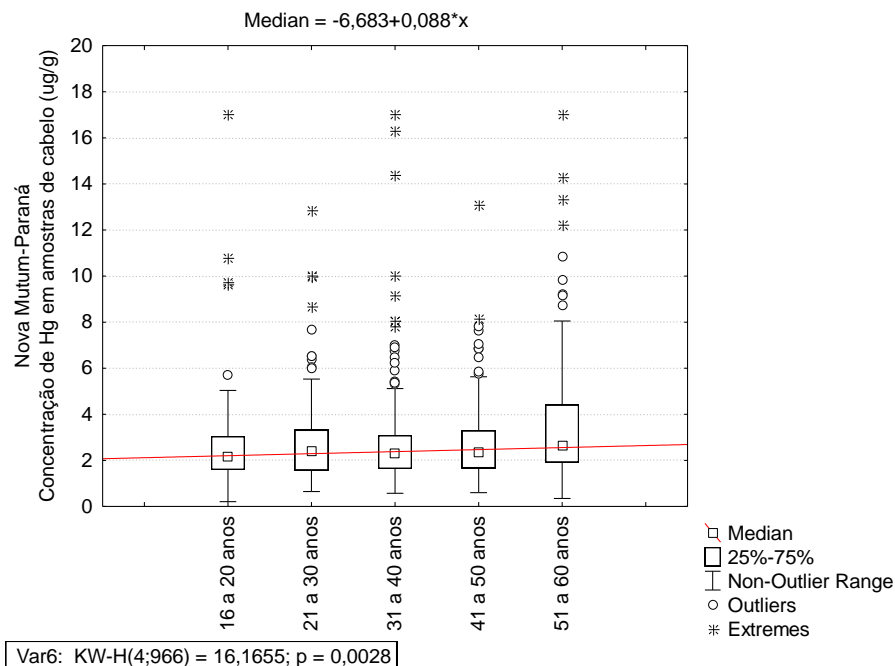
**Figuras 18 e 19**– Distribuição das concentrações de mercúrio total em amostras de cabelo dos voluntários residentes em Fortaleza do Abunã (esquerda) e Nova Mutum-Paraná (direita).

Quando as concentrações de mercúrio total no cabelo dos participantes são analisadas separadamente em função das localidades (Fortaleza do Abunã e Nova Mutum-Paraná) dos sexos (masculino e feminino) e das faixas etárias (16 a 20, 21 a 30, 31 a 40, 41 a 50, 51 a 60 anos), considerando todo o universo amostral, pelo teste não-paramétrico *Kruskal-Wallis* para grupos independentes, observam-se diferenças

significativas estatisticamente ( $p < 0,05$ ) entre as concentrações medianas. Observa-se que tais níveis variam levemente e aumentam ao longo das diferentes faixas etárias do grupo (Teste Kruskal Wallis para comparação de médias de amostras independentes,  $p > 0,05$ ) (**Figura 20 e 21**).



**Figura 20** – Distribuição das concentrações de mercúrio total em amostras de cabelo dos voluntários residentes em Fortaleza do Abunã, estratificados por faixas etárias.



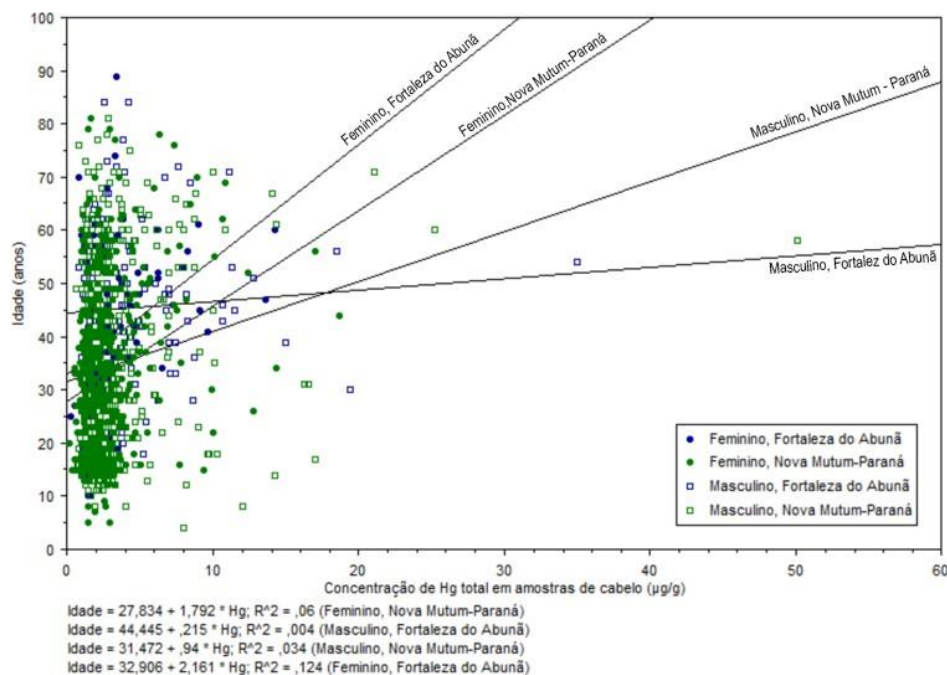
**Figura 21** – Distribuição das concentrações de mercúrio total em amostras de cabelo dos voluntários residentes em Nova Mutum-Paraná, estratificados por faixas etárias.

As pessoas dos diferentes grupos etários apresentaram valores medianos de mercúrio total no cabelo abaixo de  $5 \mu\text{g g}^{-1}$ , situando-se portanto em faixas de concentração de baixo risco de toxicidade, considerando-se as atuais normas de exposição utilizadas por agências reguladoras em saúde pública, tais como a Organização Mundial de Saúde (FAO/WHO, 2003), a qual, com base em grandes estudos longitudinais e internacionais, em 2003 estimou o valor de  $14 \mu\text{g}$  de Hg por grama de cabelo como a concentração de referência a partir da qual efeitos neurotóxicos podem ser esperados na população exposta (GRANDJEAN et al., 2005).

O mercúrio, por ser considerado um metal com efeito cumulativo, é considerado tóxico mesmo em baixas concentrações. Essas podem bioacumular de forma direta, a partir do meio ambiente e também de forma indireta pelo consumo alimentar, nesse caso o pescado. Segundo Dorea (2006), as espécies que estão no topo da cadeia alimentar, independente do nível trófico, exibem intervalos maiores de concentração de mercúrio.

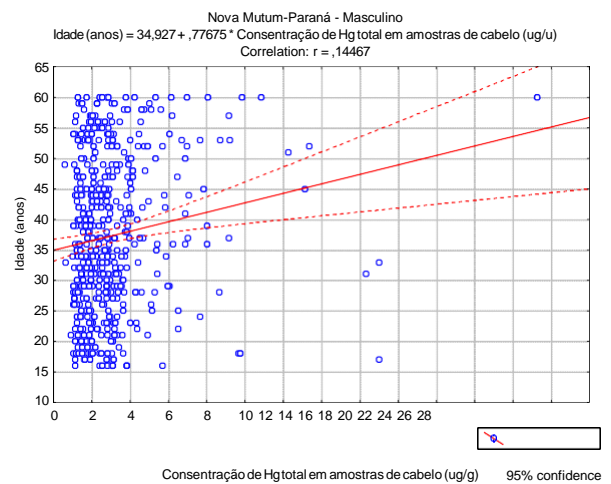
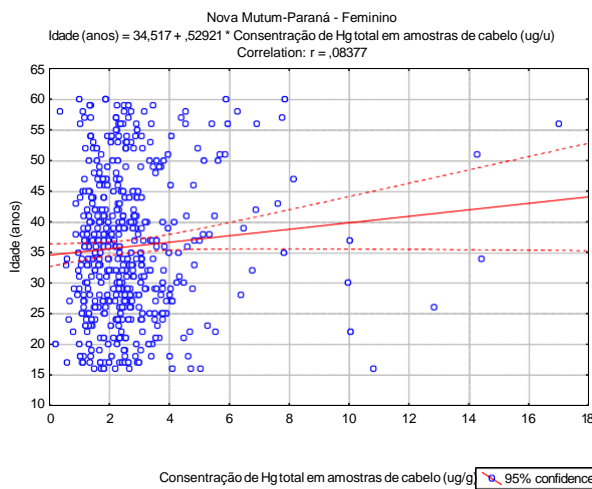
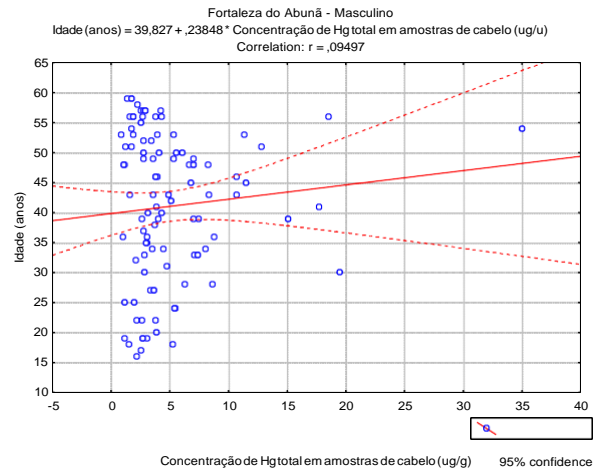
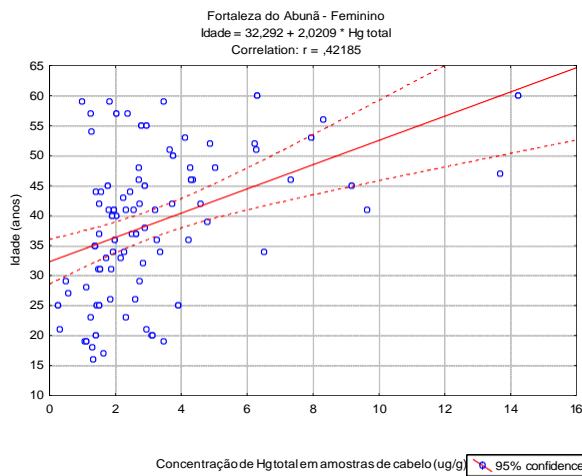
Vários estudos demonstram que a exposição ambiental ao mercúrio na Amazônia é por via alimentar, especialmente o consumo de peixe. A concentração de mercúrio bioacumula e biomagnifica na região Amazônica e os níveis tróficos interferem na concentração de MeHg e Hg. (BARBOSA et al., 2003; BASTOS et al., 2015). Sabendo disso, com o envelhecimento do indivíduo e o contínuo hábito alimentar de consumo de peixe, pode verificar que a concentração de Hg aumenta positivamente em relação a idade da pessoa. Com base na análise não-paramétrica *Spearman*, de maneira geral, as concentrações de mercúrio determinadas nas amostras de cabelo das populações amostradas encontram-se associadas à idade da população ( $p > 0,05$ ), corroborando com estudos já realizados na região amazônica, contudo, quando são analisados separadamente os grupos de homens e mulheres por localidade não é observada tal correlação ( $p < 0,05$ ) (**Figura 22**).





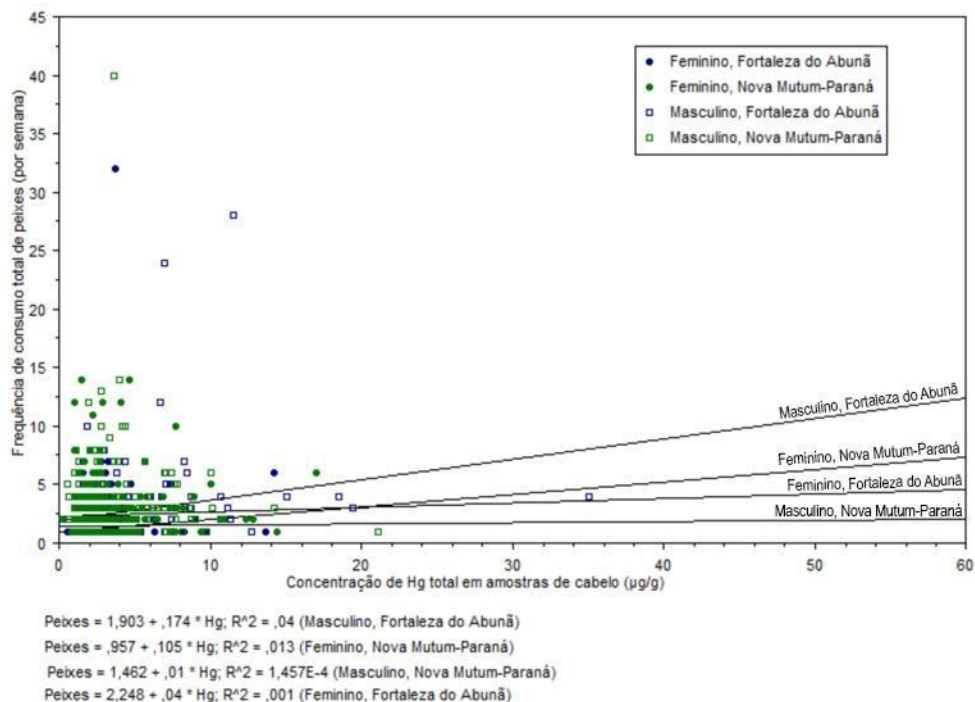
**Figura 22** – Correlação entre as concentrações de Hg em cabelo e idade da população masculina e feminina de Fortaleza do Abunã e Nova Mutum-Paraná (*Spearman*,  $p > 0,05$ ).

Análise de regressão comparando as concentrações de Hg em amostras de cabelo com a idade dos voluntários residentes em Fortaleza do Abunã e Nova Mutum Paraná (**Figura 23**), indicou que a dependência entre as variáveis é significativa ( $p < 0,05$ ) para os participantes do sexo feminino residentes em Fortaleza do Abunã (correlação de 42%) e para os participantes do sexo masculino residentes em Nova Mutum-Paraná (correlação de 14%). Apesar das concentrações de Hg das amostras de cabelo das pessoas do sexo masculino de Fortaleza do Abunã e do sexo feminino de Nova Mutum-Paraná apresentar correlações com a idade de 9%, a análise não se mostrou significativa ( $p > 0,05$ ).



**Figura 23** – Correlação entre as concentrações de Hg em cabelo e idade da população masculina e feminina de Fortaleza do Abunã e Nova Mutum-Paraná.

Como já mencionado, o peixe é a principal via de exposição ao mercúrio na região amazônica. Nessa perspectiva, a análise de correlação não-paramétrica Spearman foi utilizada no intuito de verificar a relação entre as concentrações de Hg nas amostras de cabelo da população estudada com o consumo de peixe (refeições diárias) desta (**Figura 24**). Por meio dessa análise, foi possível verificar correlação direta e altamente significativa ( $p < 0005$ ) das concentrações de Hg com o consumo de peixe, o que corrobora com os resultados já encontrados para a região.



**Figura 24** – Correlação direta e altamente significativa entre teores de Hg em cabelo e o consumo de peixe da população masculina e feminina de Fortaleza do Abunã e Nova Mutum-Paraná (*Spearman*,  $p < 0,005$ ).

Com base na análise quanto à ocupação dos participantes, observa-se que não há indícios de exposição por via ocupacional, dessa forma, ressalta-se que, mesmo com baixo consumo de peixes registrado com base nas análises apresentadas, é possível observar que a principal fonte de mercúrio para população se dá por via alimentar.

Entretanto, considerando-se as atuais normas de exposição utilizadas por agências reguladoras em saúde pública, tais como a Organização Mundial de Saúde (FAO/WHO, 2003), que tomaram como base estudos longitudinais e internacionais, em 2003 foi estimado o valor de 14 µg de Hg por grama de cabelo como sendo a concentração de referência a partir da qual efeitos neurotóxicos podem ser esperados na população exposta (GRANDJEAN et al., 2005), a população estudada apresentou concentração média de Hg total abaixo do indicado pela OMS, assim como nos resultados encontrados na região amazônica.

Estudos na região amazônica demonstram níveis elevados de exposição ao mercúrio quando comparadas com outras regiões do Brasil. No trabalho de Pinheiro et al (2000) o nível de mercúrio na região do rio Tapajós variam de 14,1 a 20,8 µg g<sup>-1</sup>, atingindo até 62,9 µg g<sup>-1</sup>. Na mesma região, a pesquisa de Costa Junior et al. (2018) relatam que a concentração média de mercúrio total variou de 7,25 µg g<sup>-1</sup> para 10,80 µg/g, observa uma não diferença dos resultados obtidos.

Boischio e Henshel (1996), em pesquisas feitas no rio Madeira, encontraram níveis de Hg de 0,8 a 6,4  $\mu\text{g kg}^{-1}$  em mulheres. Outro trabalho de Boischio e Henshel (2000) apresentou uma média de concentração de mercúrio no cabelo entre 10 e 50 ppm. Já Barbieri e Gardon (2009) relatam que as médias de concentração de Hg variaram entre 1.1 e 34.2  $\mu\text{g g}^{-1}$ .

Conseqüentemente, além da presença de mercúrio identificado na região do rio Madeira, avaliar a frequências de consumo de peixe do universo amostral residente em Fortaleza do Abunã e de Nova Mutum-Paraná e, posteriormente, os níveis de Hg total em amostras de peixe, bem como na população estudada, pode oportunizar respostas ao cenário de exposição.

## 5. CONCLUSÕES

Para o desenvolvimento de programas de saúde pública e de outras ações que objetivam diminuir os efeitos deletérios e minimizar a exposição ao Hg à população e à biota potencialmente expostas faz-se necessário obter-se conhecimento sobre as fontes de mercúrio, os efeitos de exposição, bem como as possíveis consequências à saúde humana.

Além disso, verifica-se que informações sobre o perfil sociodemográfico da população para que se possa fazer uma correlação às demais técnicas empregadas para a investigação de biomarcadores associados ao mercúrio por via alimentar se faz importante.

Pode-se observar que, tanto a Amazônia dos rios (aqui representada por Fortaleza do Abunã), quanto a Amazônia das estradas (caracterizada por Nova Mutum-Paraná) têm passado por transformações em seus estilos de vida, incluindo seus hábitos alimentares, possivelmente por motivos relacionados ao processo de urbanização dessas localidades, as mudanças socioeconômicas favorecidas pelos programas de governo e, no caso de Nova Mutum-Paraná, a proximidade com a capital, Porto Velho, confirmando outros estudos que apontam à transição nutricional. Assim, os resultados mostraram a prevalência do consumo da carne bovina como a principal fonte de proteína animal consumido pelo universo amostral total, também identificado como prevalente quando analisado individualmente as duas populações em estudo.

Outro dado relevante relacionado aos hábitos das populações estudadas e que estão relacionados à saúde pública diz respeito ao consumo de tabaco e álcool. Apesar do número de declarantes do universo total que apontou não fumar, ter sido relativamente baixo, observou-se que jovens até 40 anos vêm consumindo em número maior na localidade aqui representada como Amazônia das estradas, o que pode sugerir como hipótese a influência de centros urbanos, porém, necessitando de outros estudos para obter-se resposta mais precisa. Além disso, a influência dos fatores supracitados associados à dinâmica de funcionamento das comunidades estudadas merece atenção, visto que foi identificado um alto índice de consumo de bebida alcoólica em ambos os distritos. Por se tratar de saúde pública, faz-se necessário o entendimento em maior grau para subsidiar tomadas de decisão de gestores governamentais.

Pode-se verificar também que a relação orgânica com o rio continua fazendo

parte da realidade de comunidades identificadas como Amazônia dos rios, apesar de em menor grau, confirmando a importância do monitoramento contínuo para que seja avaliada a contaminação por Hg, em especial no pescado, fonte protéica consumida em abundância por vilas ribeirinhas. Além disso, ressalta-se a importância de se caracterizar precisamente o consumo de peixe por essas populações, bem como a influência da sazonalidade à dieta alimentar de populações ribeirinhas, levando-se em consideração a presença de Hg no rio Madeira em compartimentos abióticos e bióticos demonstrados pela literatura e passíveis de remobilização e incorporação biológica, conforme verificados nas amostras da população humana estudadas, a partir de processos de biomagnificação e de bioacumulação em peixes da região. Assim, informações sobre o peso, o tamanho e os hábitos alimentares das espécies podem ser importantes na avaliação dos processos de bioacumulação de mercúrio, já relatados por estudos anteriores.

Apesar de ter sido verificado em peixes consumidos pela população estudada concentrações médias de Hg abaixo do que está estabelecido na legislação, observa-se que a frequência do consumo e a quantidade diária ingerida se configura como importantes elementos à avaliação do risco de contaminação pelos seres humanos.

Assim, os resultados deste estudo, apesar de não serem conclusivos, são fortes indicadores da relação entre os hábitos alimentares e a concentração de mercúrio em cabelos, demonstrando uma correlação plausível entre os níveis de mercúrio em peixes, confirmando a importância de estudos do gênero e à compreensão do ciclo de Hg na região amazônica por se tratar de investigação de saúde humana.

Pode-se observar também que há forte correlação entre a idade e a concentração de mercúrio em populações humanas, confirmando processos de bioacumulação e de biomagnificação, permitindo mostrar a importância da existência de programas de orientação nessas comunidades referente à exposição ao Hg por via alimentar devido a real ameaça à saúde humana.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, M.I.M.; et al. Cytogenetic Damage Related to Low Levels of Methyl Mercury Contamination in the Brazilian Amazon. **An. Acad. Bras. Ci.** 72(4):497-507, 2000.

ANTROP, M. Background concepts for integrated landscape analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 77, n. 1–2, p. 17–28, 2000.

\_\_\_\_\_. The language of landscape ecologists and planners. A comparative content analysis of concepts used in landscape ecology. **Landscape and Urban Planning**, v. 55, n. 3, p. 163–173, 2001.

BARBIERI, F. L.; GARDON, J. Hair mercury levels in Amazonian populations: spatial distribution and trends. **International Journal of Health Geographics**, 8(1), 71, 2009.

BARBOSA, A.C., SOUZA, J., DOREA, J.G., JARDIM, W.F., FADINI, P.S.. Mercury biomagnification in a tropical black water, Rio Negro, Brazil. **Arch. Environ. Contam. Toxicol.** 45, 235–246, 2003.

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

BASTOS, W. R.; ALMEIDA, R.; DÓREA, J. G.; BARBOSA, A. C. Annual flooding and fish-mercury bioaccumulation in the environmentally impacted Rio Madeira (Amazon). **Ecotoxicology**, v.16, n. 3, p. 341-346, abr. 2007.

BASTOS, W. R. et al. Annual flooding and fish mercury bioaccumulation in the environmentally impactade Rio Madeira (Amazon). **Ecotoxicology**, v.16, p 341-346, 2007.

BASTOS, W. R. et al. A description of mercury in fishes from the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. **Acta Amaz.**, Manaus, v. 38, n. 3, p. 431-438, 2008.

BASTOS, W. R., et al. (2015). Mercury in fish of the Madeira river (temporal and spatial assessment), **Brazilian Amazon. Environmental Research**, 140, 191–197, 2015.

BIESTER, H.; GOSAR, M.; MULLER, G. Mercury speciation in tailings of the Idrija Mercury mine. **J. Geochem. Exploration**. v. 65, n. 3, p.195-204, 1999.

BISINOTI, M. C.; JARDIM, W.F. O comportamento do metilmercúrio (metilHg) no ambiente. **Química Nova**. 27, 593, 2007.

BISINOTI, M. C.; SARGENTINI, J. E.; JARDIM, W. F. Seasonal behavior of mercury species in waters and sediments from the Negro River Basin, Amazon, Brazil. **J. Brazilian Chem. Soc.**18, 544, 2007.

BOISCHIO, A. A. P.; BARBOSA, A. Exposure to organic mercury in riparian populations on the upper Madeira River, Rondonia, Brazil, 1991: preliminary results. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 2, p. 155-160, abr./jun. 1993.

BOISCHIO, A. A. P, HENSHEL D. Methylmercury exposure and food lore among an indigenous population along the Madeira River, Amazon. In “**Human Ecology and Health: Adaptation to a Changing World**” (M. J. Foller and L. O. Hansson,Eds.). Goteborg University, Sweden, 1996

BOISCHIO, A. A. P, HENSHEL D. Fish consumption, fish lore, and mercury pollution—risk communication for the Madeira River people. **Environ Research**. Section A 84:108–26, 2000.

BORRELL, A. et al. Concentrations of mercury in tissues of striped dolphins suggest decline of pollution in Mediterranean open waters. **Chemosphere**, v. 107, p. 319-323, 2014.

BRASIL, 2013 Resolução RDC nº 42, de 29 de agosto de 2013. Dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos Proceedings do VII SIMCOPE. **Inst. Pesca**, São Paulo, Estimativa da exposição humana ao mercúrio pelo consumo de atuns... 33 de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos. Diário Oficial da União, 30 de Agosto de 2013, n. 168, p. 33-35.

BUDNIK, L. T.; CASTELEYN; L. Mercury pollution in modern times and its socio-medical consequences. **Science of the Total Environment**. Elsevir, v.654, p.720-734, march, 2019.

CASTRO, N. S. S.; et al. Mercury in fish and sediment of Purus River, Acre State, Amazon. **Cad. saúde colet.**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 3, p. 294-300, Sept. 2016.

CERBINO, M. R. et al. . Metalloproteomics Approach to Analyze Mercury in Breast Milk and Hair Samples of Lactating Women in Communities of the Amazon Basin, Brazil. **Biological Trace Element Research**, v. 177, p. 1-11, 2017.

CHEN, C. Y.; et al. A Critical Time for Mercury Science to Inform Global Policy. **Environmental Science & Technology**. 2018.

COSTA JUNIOR, J. M. F. et al. Teores de mercúrio em cabelo e consumo de pescado de comunidades ribeirinhas na Amazônia brasileira, região do Tapajós. **Ciência & Saúde Coletiva**, 23(3), 805–812, 2018.

DE JESUS SILVA, R. et al. Factors influencing the food transition in riverine communities in the Brazilian Amazon. **Environment, Development and Sustainability**, v. 19, n. 3, p. 1087–1102, 2017.

DOREA J. G, BARBOSA A. C, SILVA G. S. Fish mercury bioaccumulation as a function of feeding behavior and hydrological cycles of the Rio Negro, Amazon. **Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol**, 142(3-4): 275-83, 2006.

DÓREA, J. G.; BARBOSA, A C. 2007. Anthropogenic impact of mercury accumulation in fish from the Rio Madeira and Rio Negro rivers (Amazônia). **Biological Trace Element Research**, 115: 243-254, 2007.



EAGLES-SMITH, C. A. et al. Modulators of mercury risk to wildlife and humans in the context of rapid global change. **Ambio** (2018) 47: 170, 2018.

FADINI, P. S., JARDIM, W. F. Is the Negro river Basin (Amazon) impacted by naturally occurring Mercury? **The Science of the total Environment**. 275: 71-82, 2001.

FAO (Organização para a Alimentação e Agricultura das Nações Unidas). 2014. “Estado da Pesca Mundial e Aquicultura: Desafios e Oportunidades .” Roma, Itália: FAO; <http://www.fao.org/3/a-i3720e.pdf> [acesso em 23 de janeiro de 2019].

FAIAL, K. et al. Mercury levels assessment in hair of riverside inhabitants of the Tapajós River, Pará State, Amazon, Brazil: Fish consumption as a possible route of exposure. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 30, p. 66–76, 2015.

FERNANDES, G. W., et al. (2016). Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **Natureza & Conservação**, 14(2), 35-45, 2016.

FIGUEIREDO, W. S. (2015). Estratégias metaloproteômicas na investigação de biomarcadores de mercúrio em amostras de tecido muscular de tucunaráes. **(Dissertação de Mestrado). Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.**

GUIMARÃES, R. M.; ASMUS, C. I. R. F. Por que uma saúde ambiental infantil? Avaliação da vulnerabilidade de crianças a contaminantes ambientais. **Pediatria (São Paulo)**, 32(4): 239-45, 2010.

HACON, S. S. et al. The influence of changes in lifestyle and mercury exposure in riverine populations of the Madeira river (Amazon basin) near a hydroelectric project. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 11, n. 3, p. 2437–2455, 2014.

HONDA, S.; HYLANDER, L.; SAKAMOTO, M. Recent Advances in Evaluation of Health Effects on Mercury with Special Reference to Methylmercury – A Minireview. **Environmental Health and Preventive Medicine**, v. 11, n. 4, p. 171-176, Jul. 2006

JARDIM, W. F.; FADINI, P. S. A origem do mercúrio nas águas do Rio Negro. **Ciênc. Hoje**, v. 30, n. 177, p.62-64, 2001.

KASPER, D., et al. Mercúrio em peixes - fontes e contaminação. Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca, Instituto de Biofísica Carlos Chagas, Universidade Federal do Rio de Janeiro. **Oecologia Australis**. 11, 2007.

KHOURY, E. D. T. et al. Somatosensory psychophysical losses in inhabitants of riverside communities of the Tapajós River Basin, Amazon, Brazil: Exposure to methylmercury is possibly involved. **PLoS ONE**. v. 10, n. 12, p. 1–19, 2015.

LACERDA, L. D.; SALOMONS, W. **Mercúrio na Amazônia: uma bomba relógio química?** Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1992, (série 3), 1992.

LACERDA, L. D. Amazon Mercury Emissions. **Nature**, 374, 20-21, 1995.

\_\_\_\_\_. Global mercury emissions from gold and silver mining. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 97, n. 3-4, p. 209-221, 1997a.

\_\_\_\_\_. Contaminação por mercúrio no Brasil: fontes industriais vs garimpo de ouro. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 196-199, Apr. 1997b.

LACERDA, L. D.; MALM, O. Contaminação por mercúrio em ecossistemas aquáticos: uma análise das áreas críticas. **Estud.** vol.22, n.63, 2008.

LI, P.; FENG, X.; QIU, G. Methylmercury Exposure and Health Effects from Rice and Fish Consumption: A Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 7: 2666-2691, 2010.

MALM, O. et al. Follow-up of mercury levels in fish, human hair and urine in the Madeira and Tapajós basins, Amazon, Brasil. **Water, Air and Soil Pollution**. 97,45, 1997.

MAILMAN, M.; STEPNUK, L.; CICEK, N.; BODALY, R.A. Strategies to lower methyl mercury concentrations in hydroelectric reservoirs and lakes: A review. **Science of the Total Environment**. 368: 224-235, 2006.

MARINHO, J. S. et al. Mercury speciation in hair of children in three communities of the Amazon, Brazil. **BioMed Research International**, v. 2014, 2014.

MARQUES, R. C. et al. Hydroelectric reservoir inundation (Rio Madeira Basin, Amazon) and changes in traditional lifestyle: impact on growth and neurodevelopment of pre-school children. **Public Health Nutrition**, 14 (4): 661-669, 2010.

MICARONI, R. C. C. M.; BUENO, I. M. S.; JARDIM, W. F. Compostos de mercúrio. Revisão de métodos de determinação, tratamento e descarte. **Química Nova**. 4, 23, 2000.

MIRANDA, M. R. **Mercúrio em Sistemas Aquáticos**: Fatores Ambientais que Afetam a Metilação. Laboratório de Traçadores Wolfgang Christian Pfeiffer, Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho. Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 24, 0-251, 2007.

MORAES, P. M. et al. GFAAS determination of mercury in muscle samples of fish from Amazon, Brazil. **Food Chem**, vol. 141, pp. 2614–2617, 2013.

NARDOTO, G. B. et al. Frozen chicken for wild fish: Nutritional transition in the Brazilian Amazon region determined by carbon and nitrogen stable isotope ratios in fingernails. **American Journal of Human Biology**, v. 23, n. 5, p. 642–650, 2011.

NAVEH, Z. What is holistic landscape ecology? A conceptual introduction. **Landscape and Urban Planning**, v. 50, n. 1–3, p. 7–26, 2000.

NAVEH, Z. Ten major premises for a holistic conception of multifunctional landscapes. **Landscape and Urban Planning**, v. 57, n. 3–4, p. 269–284, 2001.

OKPALA, C. O. R. et al. Hazardous properties and toxicological update of mercury: From fish food to human health safety perspective. **Critical reviews in food science and nutrition**, 2017.

PASSOS, C. J. S. et al. Epidemiologic confirmation that fruit consumption influences mercury exposure in riparian communities in the Brazilian Amazon. **Environmental Research**, 105: 183-193, 2007.

PINHEIRO, M.C.N. et al. Avaliação da contaminação mercurial mediante análise do teor de Hg total em amostras de cabelo em comunidades ribeirinhas do Tapajós, Pará, Brasil. **Rev Soc Brasileira Medicina Tropical**; 33(2): 181-4, 2000.

PIPERATA, B. A. Nutritional Status of Ribeirinhos in Brazil and the Nutrition Transition. **American Journal of Physical Anthropology**, v. 133, n. 2007, p. 865–878, 2007.

POZEBON, D.; DRESSLER, V. L.; CURTIUS, A. J. Análise de cabelo: Uma revisão dos procedimentos para a determinação de elementos traço e aplicações. **Quimica Nova**, v. 22, n. 6, p. 838–846, 1999.

QUEIROZ, J. V. et al. Identification of Biomarkers of Mercury Contamination in *Brachyplatystoma filamentosum* of the Madeira River, Brazil, Using Metalloproteomic Strategies **Biol Trace Elem Res** (2019) 187: 291, 2019.

ROULET, M.; et al. M. The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chao formation of the lower Tapajós River Valley, Para state, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 223, n. 1, p. 1-24, 1998.

SEBRENSKI DA SILVA, G. et al. Potential risks of natural mercury levels to wild predator fish in an Amazon reservoir. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, n. 8, p. 4815–4827, 2012.

SANTOS, F. A. (2013). Estudo metalômico do mercúrio em leite materno coletado da população ribeirinha da área de influência do AHE JIRAU - Bacia do rio Madeira. . **(Tese de Doutorado). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP**, São Paulo, Brasil, 2013.

SELIN, N. E. (2009). Global biogeochemical cycling of mercury: a review. **Annual Review of Environment and Resources**. Vol. 34:43-63, 2009)

SILVA, T. M. (2012). Biomonitoramento da exposição humana ao mercúrio (hg) na

população da área de influência do aproveitamento hidrelétrico de jirau, bacia do rio Madeira, estado de Rondônia. **(Dissertação de Mestrado). Universidade de Brasília**, Brasília, Brasil, 2012.

SOUZA, J. R., BARBOSA. A. C. Contaminação por mercúrio e o Caso da Amazônia. **Química e Sociedade**. 12, 2000.

STATSOFT, INC. **Programa computacional Statistica 7.0**. E.A.U. 2004.

SKOOG, D. A., WEST, D. M., HOLLER, F. J., CROUCH, S. R. Fundamentos de Química Analítica. **CENGAGE learning**. 821-823, 2006.

SVOBODOVA, Z., et al. Bioaccumulation of mercury in various fish species from Orlik and Kamyk water reservoirs in the Czech Republic. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 43, 231-240, 1999.

VAHABZADEH, M. et al. Mercury contamination of fish and shrimp samples available in markets of Mashhad, Iran. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 91, n. 3, p. 267–271, 2013.

YOKOO, E. M. et al. Low level methylmercury exposure affects neuropsychological function in adults. **Environmental health : a global access science source**, v. 2, n. 1, p. 8, 2003.

World Health Assembly, 67. (2014). Public health impacts of exposure to mercury and mercury compounds: the role of WHO and ministries of public health in the implementation of the Minamata Convention.

## ANEXOS

### Anexo A - Termo de consentimento livre e esclarecido

**Título do Projeto:** Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico do Mercúrio (Hg) e de Riscos à Saúde Humana.

**Coordenadores :** Prof. Dr. Luiz Fabrício Zara, Coordenador Geral  
Prof. Dr. Carlos J.S. Passos, Coordenador de Saúde Humana

**Endereço dos pesquisadores responsáveis**

Faculdade UnB Planaltina  
Universidade de Brasília  
Área Univer. 1, Vila N. Sra. de Fátima  
73.300-0000, Planaltina - DF  
Fones: 0xx61.3308.5185 / 1390  
Fax: 0xx61.3389.2601 / 3466  
Email: [cjpassos@unb.br](mailto:cjpassos@unb.br)

**Centro de Info.de Mutum**

Rua da Pista, 159  
Tel: (69) 3237-3067  
**Ligação Gratuita: 0800 647 7747**

Voluntário Nº:

#### **Termo de Consentimento Livre e Esclarecido**

Você está sendo convidado(a) a participar de um programa ambiental de monitoramento biológico, cujos detalhes são os seguintes:

1. A exposição (contato) de populações ribeirinhas ao mercúrio (Hg) na região amazônica, principalmente vinda do consumo de peixes, já é conhecida há muitos anos. Além do Hg utilizado nos garimpos de ouro e/ou presentes naturalmente nos solos da Amazônia, esta substância pode também se encontrar no meio ambiente de usinas hidrelétricas após o enchimento dos reservatórios. Assim, neste programa de monitoramento nós pretendemos avaliar a quantidade de Hg em diversas partes do ambiente da região da usina hidrelétrica, e também em amostras de cabelo da população local a fim de assegurarmos-nos que não haverá problemas de saúde humana devido à exposição ao Hg.
2. Este programa envolve profissionais da empresa VENTURO CONSULTORIA AMBIENTAL, visando a condução do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico do Aproveitamento Hidrelétrico Jirau, sob coordenação geral do Prof. Dr. Luiz Fabricio Zara, da Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília.
3. Sua participação no programa se dará da seguinte maneira:

Será coletada amostra de leite pela própria em frascos de vidro fornecidos pelo pesquisador, sendo eu a voluntária será previamente instruída sobre como higienizar a mama antes da coleta. As amostras serão armazenadas em freezer doméstico em sua residência até a data do recolhimento pelo pesquisador que as transferirá para o Laboratório de análises, onde permaneceram congeladas a -25°C até a análise.

Também pedimos que você responda um questionário que abrange questões sobre: perfil sócio-demográfico, história médica ambiental e ocupacional, morbidade referida, fatores de risco de adoecimento, além de hábitos sociais, culturais e alimentares.

Por fim, solicitamos que você se submeta a uma consulta com o profissional médico integrante de nossa equipe a fim de que este possa avaliar seu estado geral de saúde, particularmente em relação à exposição ao Hg.

4. As medidas dos níveis de concentração de elementos traço e mercúrio serão realizadas pela Venturo Consultoria Ambiental, em parceria com o Instituto de Química de Araraquara, Universidade do Estado de São Paulo - UNESP, coordenado pelo Prof. Dr. Julio Cesar Rocha.
5. Os benefícios de sua participação neste programa serão a obtenção de informações sobre a quantidade de substâncias químicas (metais) presentes no seu corpo, o acesso a um profissional médico que lhe instruirá sobre os resultados dos exames e avaliará seu estado geral de saúde com os devidos encaminhamentos, além de orientações gerais de outros profissionais da equipe quanto à problemática geral da presença de Hg no meio ambiente.
6. Assumimos que você compreende que os dados obtidos neste programa podem ser publicados, à condição que seu nome ou identificação não sejam revelados. Para manter a confidencialidade de seus registros, nossa equipe manterá sua identidade em forma de número e seus dados serão guardados dentro de envelopes, aos quais somente membros da coordenação terão acesso.
7. Nossa equipe não provê qualquer remuneração por sua participação voluntária no programa. Quaisquer dúvidas que você tiver em relação ao programa ou à sua participação, antes ou depois do seu consentimento, serão respondidas pela empresa Venturo Consultoria Ambiental.

### **CONSENTIMENTO**

Eu li as informações acima, recebi as explicações sobre a natureza, demanda, riscos e benefícios do programa. Assumo conscientemente os riscos envolvidos e compreendo que posso retirar meu consentimento e interromper minha participação a qualquer momento, sem penalidade ou perda de benefício.

Eu, \_\_\_\_\_, ao assinar o presente termo, estarei consentindo à utilização da amostra de cabelo para a análise de elementos traço (metais) e em específico mercúrio, cujas informações sejam, confidencialmente, utilizadas para fins do programa de monitoramento biológico que me foi apresentado.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do (a) voluntário (a)

Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_



**11) Tempo de serviço no garimpo de ouro (Caso a resposta da 10 seja afirmativa)**



Menos de 1 ano     De 1 a 5 anos     De 6 de 15 anos     Mais de 16 anos

## 12) Aspectos Cognitivos

**Em relação à memória você observa se ocorrem esquecimentos frequentes no seu dia-a-dia?**

Sim                       Não

**Apresenta dificuldade para se concentrar ou prestar atenção em conversas, TV, rádio, explicações de professores ou outras pessoas?**

Sim                       Não

**Apresenta dificuldade em compreender o que lê?**

Sim                       Não

**Apresenta dificuldade para escrever, copiar, redigir ou produzir textos?**

Sim                       Não

**Apresenta dificuldade em realizar operações matemáticas envolvendo as quatro operações?**

Sim                       Não

## 13) Você fuma?

Sim                       Não

**Quantos cigarros por dia? \_\_\_\_\_**

**Fuma há quanto tempo? \_\_\_\_\_**

## 14) Já fumou? (Caso a resposta da 13 seja negativa)

Sim                       Não

**Fumou por quanto tempo? \_\_\_\_\_**

## 15) Você consome bebida alcoólica?

Sim                       Não

## 16) Com qual frequência consome bebida alcoólica? (Caso a resposta da 15 seja afirmativa)

Diariamente     2 vezes/ semana     3 vezes/semana     final de semana

Datas comemorativas

## 17) Você achou estas perguntas difíceis ou alguma delas te deixou constrangido?

Sim                       Não

**Qual o número da pergunta? \_\_\_\_\_**

**Inquérito Alimentar Recordatório**

1) **Quais desses alimentos você come com mais frequência?**

Gado                       Peixe                       Porco                       Frango                       Todos

2) **Costuma comer peixe?**

Sempre                       Algumas vezes                       Raramente                       Não come

3) **Quantas vezes durante a última semana você se alimentou de peixe?**

De maneira geral, qual porção de peixe você consome? \_\_\_\_\_g

Peixes	Número de refeições para cada dia							
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Total
Aracu								
Bagre								
Barba chata								
Barbado								
Branquinha								
Cará								
Caratinga								
Charuto / Flexeira								
Curimatá								
Curvina								
Dentudo / Cangoia								
Dourada								
Filhote								
Jaraqui								
Jatuarana								
Jaú								
Mapará								
Pacu								
Pescada								
Piau								
Pintado								
Piranha								
Pirarucu								
Sarda / Apapá								
Sardinha								
Surubim								
Tambaqui								
Traira								
Tucunaré								
Outros								

4) **Quantas vezes você comeu carne durante a última semana?**

De maneira geral, qual porção de carne você consome? \_\_\_\_\_g

Carnes	Número de refeições para cada dia							
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Total
Carne de gado								
Charque (jabá)								
Miúdos de gado								
Carne de frango								

Ovos de galinha								
Miúdos de frango								
Carne de porco								
Miúdos de porco								
Carne de caça								
Jabuti								
Jacaré								
Paca								
Porco do mato								
Tatu								
Veado								
Outros, Qual (is)?								

## Anexo C – Aprovação do projeto no comitê de ética em pesquisa em seres humanos.



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE MEDICINA  
Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos

### ANÁLISE DE PROJETO DE PESQUISA

**Registro de Projeto:** CEP-FM 038/2010.

**Título:** “Aproveitamento hidrelétrico Jirau (AHE Jirau, estado de Rondônia): programa de monitoramento hidrobiogeoquímico do mercúrio e de riscos à saúde humana”.

**Pesquisador Responsável:** Carlos José Sousa Passos.

**Documentos analisados:** Folha de rosto, carta de encaminhamento, declaração de responsabilidade, protocolo de pesquisa, termo de consentimento livre e esclarecido, cronograma, bibliografia pertinente e currículo (s) de pesquisador (es).

**Data de entrega:** 30/04/2010.

Parecer do (a) relator (a)

**Aprovação**

**Não aprovação.**

**Data da primeira análise pelo CEP-FM/UNB:** 09/06/2010.

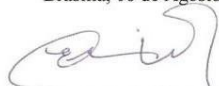
**Data do parecer final do projeto pelo CEP-FM/UNB:** 02/08/2010.

### PARECER

Com base na Resolução CNS/MS nº 196/96 e resoluções posteriores, que regulamentam a matéria, o Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade de Brasília decidiu **APROVAR** “*ad referendum*”, conforme parecer do (a) relator (a), o projeto de pesquisa acima especificado quanto aos seus aspectos éticos.

1. Modificações no protocolo devem ser submetidas ao CEP, assim como a notificação imediata de eventos adversos graves;
2. O (s) pesquisador (es) deve (m) apresentar relatórios periódicos do andamento da pesquisa ao CEP-FM, sendo o 1º previsto para até 10 de fevereiro de 2011.

Brasília, 06 de Agosto de 2010

  
**Prof. Elaine Maria de Oliveira Alves**  
Coordenadora do Comitê de Ética em Pesquisa  
Faculdade de Medicina-UnB